

PENGEMBANGAN MODUL PRAKTIKUM UNTUK PERBANDINGAN UNJUK KERJA SUMBER CAHAYA OPTIK LED DAN LASER DALAM SISTEM KOMUNIKASI OPTIK

Ni Komang Utari Yulianingsih¹, Pande Ketut Sudiarta², Nyoman Putra Sastra³

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

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

Abstrak

Sumber cahaya optik LED dan Laser Diode berfungsi sebagai pembawa informasi pada sistem komunikasi optik. Setiap sumber cahaya optik berupa LED, CW Laser dan VCSEL Laser memiliki kelebihan dan kekurangan. Berdasarkan kekurangan dan kelebihan tersebut, dilakukan kajian terhadap karakteristik internal dan eksternal sumber cahaya optik untuk mengetahui sumber cahaya optik yang optimal digunakan sesuai dengan kebutuhan. Simulasi dilakukan pada *software* optisystem. Unjuk kerja yang dianalisis yaitu *Q-Factor*, BER dan *Eye Diagram* hingga mencapai standar ITU-T G.984.2 dengan batasan minimum $Q\text{-Factor}=6$ dan $BER=10^{-9}$. Uji kelayakan modul praktikum menggunakan metode pengisian kuesioner dengan skala *likert* 1–5 dan pemberian *pre test* dan *post test* kepada praktikan. Hasil dari penelitian ini yaitu, peningkatan karakteristik internal LED, penurunan daya sinyal CW Laser, dan peningkatan *bias current* VCSEL Laser mengakibatkan penurunan *Q-Factor* dan peningkatan nilai BER. Perbandingan peningkatan *bit rate* dan jarak transmisi menunjukkan CW Laser dapat mentransmisikan *bit rate* yang lebih tinggi dan jarak transmisi lebih jauh. Perbandingan jangkauan jarak transmisi yang dapat ditempuh menunjukkan CW Laser menempuh jarak transmisi terjauh dibandingkan VCSEL Laser dan LED. Peningkatan pemahaman praktikan berdasarkan nilai *post test* yang lebih tinggi daripada nilai *pre test* dapat digunakan sebagai dasar bahwa modul praktikum ini secara keseluruhan sangat layak digunakan sebagai bahan ajar. Hal ini juga didukung dengan uji kelayakan metode pengisian kuesioner dengan skala likert 1-5 dengan presentase penilaian praktikan sebesar 88.6%.

Kata Kunci: LED, Laser Diode

Abstract

LED optical light source and laser diode function as an information carriers in the optical communication systems. Each optical light source in the form of LED, CW Laser, and VCSEL Laser has advantages and disadvantages. Based on these advantages and disadvantages, a study was carried out on the internal and external characteristics of optical light sources to determine the optimal optical light source to use as needed. Simulations are carried out in optical system software. The performance analyzed is Q-Factor, BER, and Eye Diagram until it reaches the ITU-T G.984.2 standard with a minimum limit of $Q\text{-Factor} = 6$ and $BER = 10^{-9}$. The feasibility test of the practicum module uses the method of filling out a questionnaire with a Likert scale of 1–5 and giving pre and post-test to the practitioner. The results of this study were an increase in the internal characteristics of the LED, a decrease in the signal power of the CW Laser, and an increase in the bias current of the VCSEL Laser resulting in a decrease in Q-Factor, and an increase in the BER value. The comparison of the increase in bit rate and transmission distance showed that CW Laser can transmit a higher bit rate and a longer transmission distance. The comparison of the transmission distance that can be covered by each optical light source shows that the CW Laser travels the farthest transmission distance. Increased understanding of the practitioner based on the post-test score which is higher than the pre-test score can be used as the basis that this practicum module as a whole is very suitable for use as teaching material. This is also supported by the feasibility test of the questionnaire filling method with a Likert scale of 1-5 with a percentage of the practitioner's assessment of 88.6%.

Keywords: LED, Laser Diode

1. PENDAHULUAN

Transmitter merupakan bagian dari sistem komunikasi serat optik. Komponen utama *transmitter* adalah sumber cahaya optik [1]. Sumber cahaya optik LED dan Laser Diode berfungsi sebagai pemancar yang membawa informasi. Kedua sumber cahaya tersebut dapat diaplikasikan pada sistem komunikasi serat optik karena mempunyai dimensi yang sesuai dengan diameter serat optik. *Light Emitting Diode* (LED) dan *Laser Diode* (LD), merupakan susunan semikonduktor sambungan P-N yang apabila diberi *bias* maju akan memancarkan energi optik dalam bentuk foton [2].

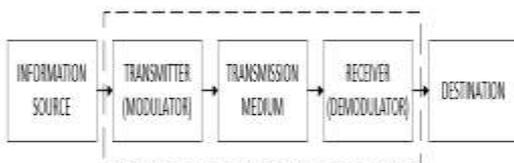
Laser Diode memiliki karakteristik berupa *Continous Wave* (CW) *Laser*. CW laser memiliki kemampuan untuk memancarkan sinyal optik secara terus menerus. Pada VCSEL Laser memiliki struktur sangat koheren dengan bagian (*multilayer*) yang serupa, sehingga meningkatkan efisiensi perangkat laser [3]. LED beroperasi pada *bit rate* rendah dan jangkauan area yang tidak terlalu luas. Laser Diode beroperasi pada *bit rate* tinggi dengan jangkauan area yang luas.

Penelitian ini bertujuan mengkaji karakteristik masing-masing sumber cahaya optik. Setelah pengujian karakteristik, unjuk kerja akan ditinjau dari *Bit Error Rate*, *Q Factor*, dan *Eye Diagram*. Hasil dari penelitian ini berupa modul praktikum yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi dalam pembelajaran khususnya di bidang Teknik Elektro.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Optik

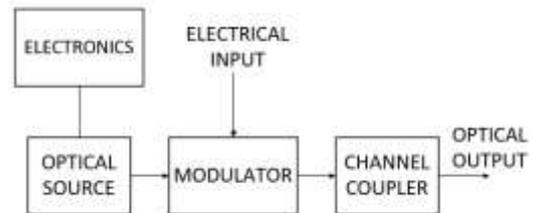
Sistem komunikasi serat optik merupakan proses pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya dari bagian pemancar ke penerima [4]. Secara umum konfigurasi sistem komunikasi serat optik ditunjukkan pada Gambar 1 yang terdiri dari pemancar optik dan penerima optik.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Komunikasi Optik [1]

2.1.1 Transmitter

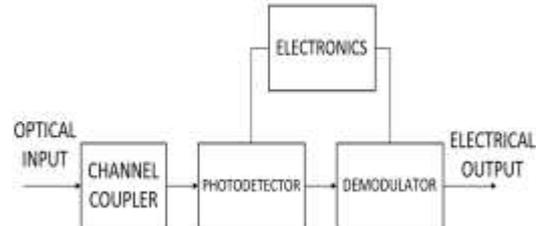
Transmitter berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi bentuk optik dan menyalurkan sinyal optik yang dihasilkan menuju serat optik. Gambar 2 menunjukkan blok diagram pemancar optik. Komponen utama dari *transmitter* adalah sumber optik [1].



Gambar 2. Blok Diagram Pengirim Optik [1]

2.1.3 Receiver

Receiver merupakan bagian sistem komunikasi optik yang mengubah sinyal optik yang diterima di *output* serat optik kembali menjadi sinyal listrik asli. Gambar 3 menunjukkan blok diagram dari penerima optik. *Coupler* memfokuskan sinyal optik yang diterima ke *photodetector* [1].



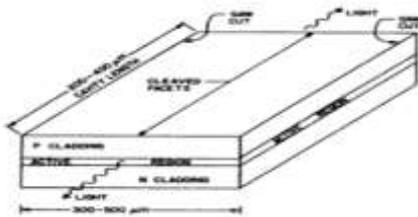
Gambar 3. Blok Diagram Penerima Optik [1]

2.2 Sumber Cahaya Optik

Sumber cahaya optik berfungsi sebagai pemancar cahaya yang membawa informasi. Sumber cahaya optik yang memiliki dimensi sesuai dengan serat optik adalah LED dan Laser Diode. Keduanya merupakan susunan semikonduktor P-N yang apabila diberi *bias* maju akan menghasilkan energi optik [5].

2.2.1 Laser Diode

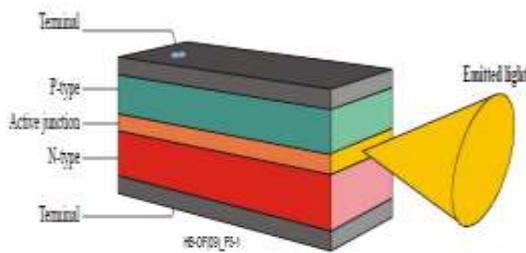
Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation Diode (Laser Diode) Gambar 4, merupakan sumber cahaya optik yang terpolarisasi dan memiliki frekuensi tunggal sehingga laser diode disebut sumber cahaya optik yang koheren [6]. Karakteristik laser yaitu *Continous Wave*, yaitu memiliki kemampuan untuk memancarkan sinyal optik secara terus [5].



Gambar 4. Laser Diode (LD) [7]

2.2.2 Light Emmiting Diode (LED)

Light Emmiting Diode (LED), Gambar 5 adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik ketika diberi tegangan maju. Elektron yang melewati sambungan P-N melepaskan energi berupa energi panas dan energi cahaya. LED mengubah sinyal data elektrik menjadi sinyal optik ketika sinyal dielektrik melewati sambungan P-N (dua terminal LED) [5].



Gambar 5. Light Emmiting Diode (LED) [5]

2.3 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) adalah jumlah bit yang memiliki kesalahan relatif terhadap total jumlah bit yang diterima dalam suatu transmisi. Menurut standar ITU-T G.984.2, BER maksimum untuk sistem komunikasi optik sebesar 10^{-9} . Semakin rendah nilai bit error rate maka semakin baik kondisi suatu jaringan telekomunikasi[8]. Apabila jumlah bit error adalah N_E dan jumlah bit total terkirim adalah N_T maka [9].

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \tag{1}$$

Nilai BER dapat pula dinyatakan dalam Q-factor melalui persamaan (2)

$$BER = P_e \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-Q^2/2}}{Q} \tag{2}$$

dengan nilai Q-factor dinyatakan melalui persamaan (3)

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \tag{3}$$

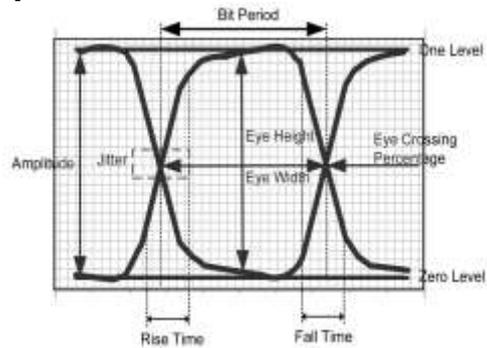
Nilai OSNR dalam Q-factor dinyatakan melalui persamaan (4)

$$Q = \frac{2\sqrt{2} OSNR}{1 + \sqrt{1 + 4OSNR}} \tag{4}$$

μ dan σ berturut-turut adalah rata-rata dari varians kemunculan bit 1 dan 0[1]. Nilai BER pada persamaan (2) merupakan estimasi dari error function $[erfc(Q/\sqrt{2})]$ yang akurat pada nilai $Q > 3$.

2.4 Eye Diagram

Eye diagram, Gambar 6 adalah metode untuk mewakili dan menganalisis sinyal. Eye Diagram dibangun dari bentuk gelombang digital dengan melipat bentuk gelombang yang sesuai dengan setiap bit dengan amplitudo sinyal pada sumbu vertikal dan waktu pada sumbu horizontal [10].



Gambar 6. Pengukuran Eye Diagram [10]

2.5 Skala Likert

Skala likert digunakan untuk mengukur sikap, pendapat, dan persepsi seseorang atau sekelompok orang tentang fenomena sosial [11]. Skor skala likert yaitu:

- a. Skor 1 sangat tidak setuju
- b. Skor 2 tidak setuju
- c. Skor 3 kurang setuju
- d. Skor 4 setuju
- e. Skor 5 sangat setuju

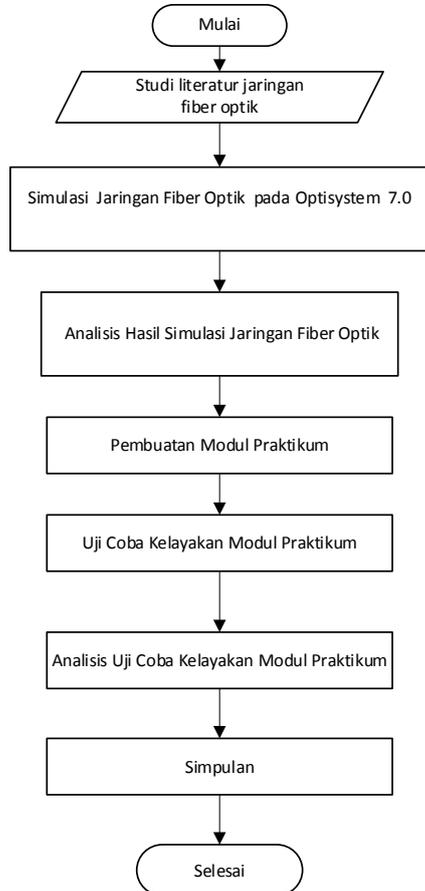
2.6 Optisystem

Optisystem merupakan sebuah software yang didesain untuk merencanakan, menguji, dan mensimulasikan hampir semua jenis jaringan serat optik. Software ini dikembangkan oleh perusahaan bernama Optiwave Company. Optisystem menyediakan berbagai layanan pada sistem komunikasi serat optik mulai dari CATV, WDM, GPON, SONET/SDH hingga free space optic yang memungkinkan pengguna menyajikan analisis dan skenario secara visual[12]

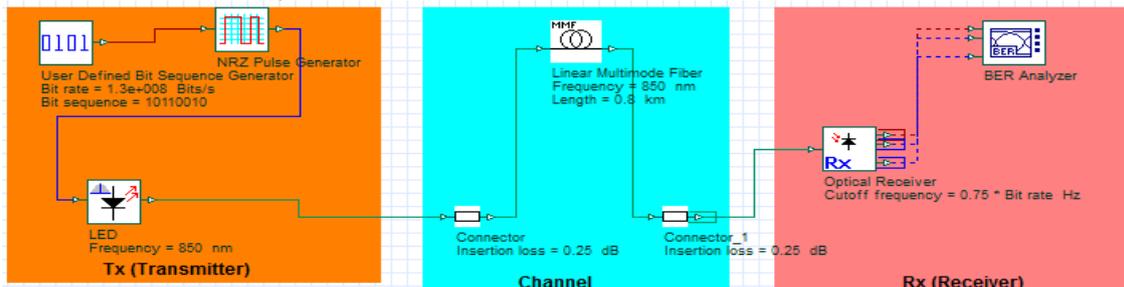
3. METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

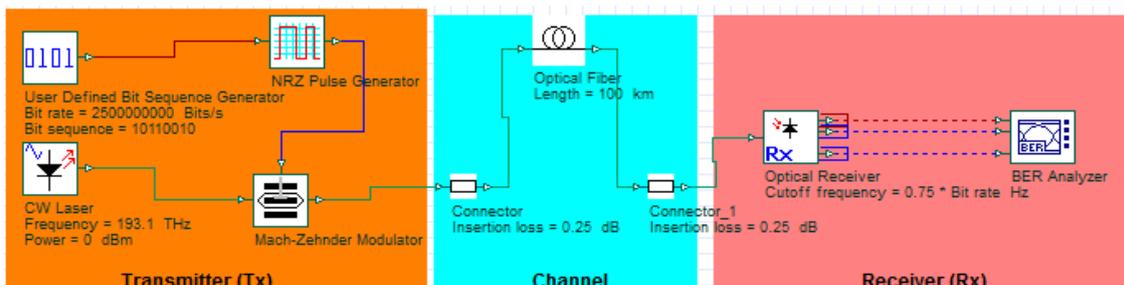
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tahapan Penelitian



Gambar 8. Simulasi Jaringan Fiber Optik Karakteristik Sumber Cahaya Optik LED



Gambar 9. Simulasi Jaringan Fiber Optik Karakteristik Sumber Cahaya Optik CW Laser

3.2 Studi Literatur

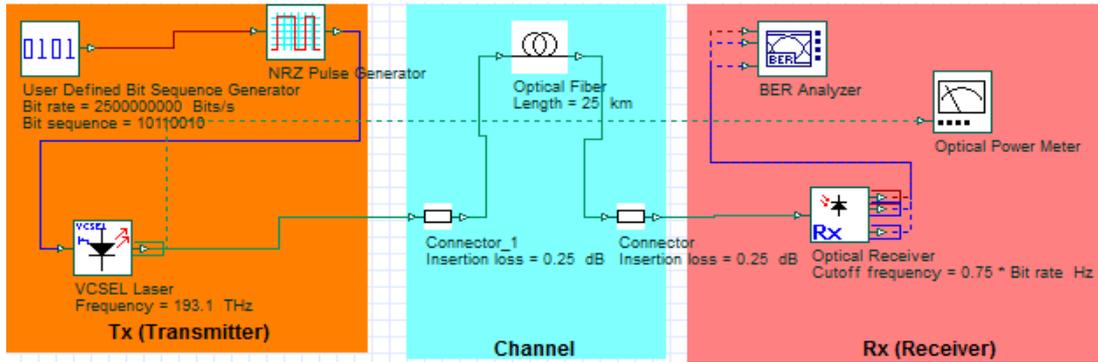
Tahap awal dari penelitian ini adalah studi literatur mengenai sumber cahaya optik LED dan Laser yaitu dengan jenis laser berupa CW dan VCSEL Laser, jaringan fiber optik, dan berbagai penelitian terbaru.

3.3 Simulasi Jaringan Fiber Optik

Simulasi dilakukan pada simulator optisystem 7.0 . Gambar 8 merupakan model simulasi jaringan karakteristik sumber cahaya optik LED, Gambar 9 merupakan model simulasi jaringan sumber cahaya optik CW Laser, dan Gambar 10 merupakan model jaringan sumber cahaya optik VCSEL Laser. Ketiga jaringan tersebut merupakan jaringan *point-to-point* yang terdiri dari 3 bagian yaitu *transmitter*, *channel*, dan *receiver*. Alat ukur pada bagian *receiver* berfungsi untuk mengetahui kondisi sinyal optik setelah melalui transmisi fiber optik.

3.4 Analisis Hasil Simulasi Jaringan Fiber Optik

Tahap selanjutnya yaitu analisis hasil simulasi berupa perbandingan karakteristik masing-masing sumber cahaya optik ditinjau dari unjuk kerja berupa nilai *Q-Factor*, *BER* dan *Eye Diagram* sesuai standar ITU-T G984.2.



Gambar 10. Simulasi Jaringan Fiber Optik Menggunakan Sumber Cahaya Optik VCSEL Laser

3.5 Pembuatan Modul Praktikum

Pembuatan Modul Praktikum untuk Perbandingan Unjuk Kerja Sumber Cahaya Optik LED dan Laser dalam Sistem Komunikasi Optik ini terdiri dari 3 percobaan yaitu karakteristik sumber cahaya optik LED, CW Laser dan VCSEL Laser

3.6 Uji Coba Kelayakan Modul Praktikum

Uji kelayakan Modul Praktikum untuk Perbandingan Unjuk Kerja Sumber Cahaya Optik LED dan Laser dalam Sistem Komunikasi Optik ini dilakukan dengan mengambil sampel 10 mahasiswa Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik UNUD yang telah lulus mata kuliah Sistem Komunikasi Optik, sehingga mahasiswa praktikan telah memahami penggunaan optisystem dan memahami desain jaringan fiber optik dan sistem komunikasi optik.

3.7 Analisis Hasil Kelayakan Modul Praktikum

Kelayakan Modul Praktikum di lihat berdasarkan hasil analisis berupa perhitungan skor hasil kuesioner menggunakan skala likert dengan rentang skor 1 sampai dengan 5 untuk 10 butir pernyataan (kuesioner).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL

Hasil simulasi didapatkan dengan proses pada optisystem yaitu bit diubah ke dalam sinyal elektrik sesuai dengan moda prinsip NRZ. Sumber Cahaya Optik LED, CW Laser, dan VCSEL Laser memancarkan cahaya sesuai dengan frekuensi yang dipilih, sebelum cahaya tersebut diteruskan ke modulator *Mach-Zehnder* bila jenis jaringannya

menggunakan modulator eksternal, seperti pada model jaringan CW Laser pada Gambar 9.

Bagian *receiver* memiliki komponen utama berupa *photodetector*, *filter*, dan *regenerator*. Namun dalam simulasi ini digunakan satu blok *optical receiver* secara langsung. *BER analyzer* disambungkan untuk mengetahui karakteristik sinyal yang diterima oleh *receiver* dengan hasil simulasi berupa nilai *Q-factor*, BER dan *Eye Diagram*. Tabel 1, 2, dan 3 merupakan parameter simulasi pada optisystem untuk sumber cahaya optik LED, CW Laser, dan VCSEL Laser.

Tabel 1. Parameter Simulasi Sumber Cahaya LED

Parameter	Nilai
General	
Bit sequence	10110010
Sequence length	128 bits
Samples per bit	64
Number of samples	8192
Transmitter	
Bit Rate	0.1 Gbps
Frekuensi	352.69 THz 850 nm
Line Coding	NRZ
Rise Time/Fall Time	0.01 bit
Channel	
Mode Fiber Optik	SMF
Panjang Gelombang	850 nm
Jarak transmisi	0.5 km
Redaman kabel	2.61 dB/km
Dispersi kromatis (D)	-100 ps/nm/km
Dispersi slope	0.5 ps/nm ² /km
Redaman konektor	0.25 dB/buah
Receiver	
Photodetector	PIN
Filter	Bessel

Tabel 2. Parameter Simulasi Sumber Cahaya Optik CW Laser

Parameter	Nilai
General	
Bit sequence	10110010
Sequence length	128 bits
Samples per bit	64
Number of samples	8192
Transmitter	
Bitrate	10 Gbps
Frekuensi	228.84 THz 1310 nm
Line Coding	NRZ
Rise Time/Fall Time	0.01 bit
Channel	
Mode Fiber Optik	SMF
Panjang Gelombang	1310 nm
Jarak transmisi	65 km
Redaman kabel	0.2 dB/km
Dispersi kromatis (D)	0.1 ps/nm/km
Dispersi slope	0.07 ps/nm ² /km
Redaman konektor	0.25 dB/buah
Receiver	
Photodetector	PIN
Filter	Bessel

Tabel 3. Parameter Simulasi Sumber Cahaya Optik VCSEL Laser

Parameter	Nilai
General	
Bit sequence	10110010
Sequence length	128 bits
Samples per bit	64
Number of samples	8192
Transmitter	
Bitrate	2.5 Gbps
Frekuensi	193.414THz/ 1550 nm
Line Coding	NRZ
Rise Time/Fall Time	0.01 bit
Channel	
Mode Fiber Optik	SMF
Panjang Gelombang	1550 nm
Jarak transmisi	5 km
Redaman kabel	0.2 dB/km
Dispersi kromatis (D)	16.75 ps/nm/km
Dispersi slope	0,07 ps/nm ² /km
Redaman konektor	0.25 dB/buah
Receiver	
Photodetector	PIN
Filter	Bessel

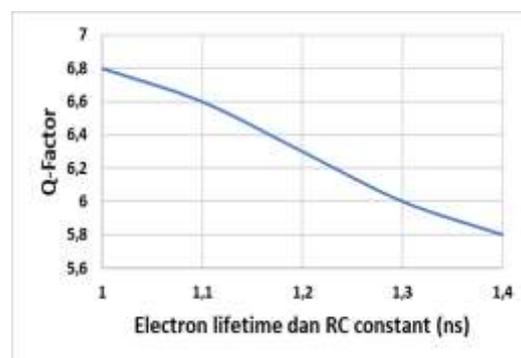
4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Karakteristik Internal Sumber Cahaya Optik LED

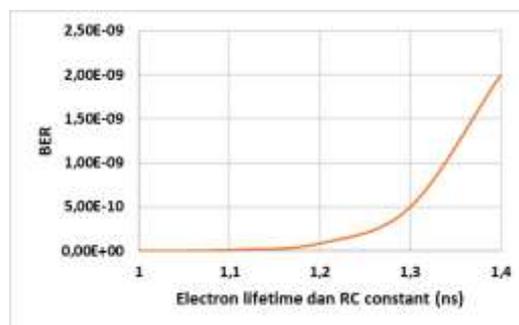
Analisis karakteristik internal pada sumber cahaya optik LED dilakukan dengan mengubah nilai karakteristik sumber cahaya optik LED berupa *electron lifetime* dan *RC Constant*. Hasil simulasi karakteristik internal tersebut ditinjau dari unjuk kerja sesuai standar ITU-T G.984.2 yaitu *Q-Factor*, BER, dan *Eye Diagram*.

Pengujian karakteristik sumber cahaya optik LED dilakukan mulai dari nilai *electron lifetime* dan RC constant sebesar 1 ns dengan peningkatan nilai *electron lifetime* dan RC constant setiap 0,1 ns pada *bit rate* 0,1 Gbps dan jarak transmisi 0,5 Km.

Hasil pengujian *electron lifetime* dan RC constant ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Gambar 11 merupakan hasil pengujian *electron lifetime* dan RC constant berupa grafik nilai *electron lifetime* dan RC constant terhadap Q-Factor dan BER. Gambar 12 merupakan hasil pengujian nilai *electron lifetime* dan RC constant saat berada pada nilai 1 ns dan 1,3 ns

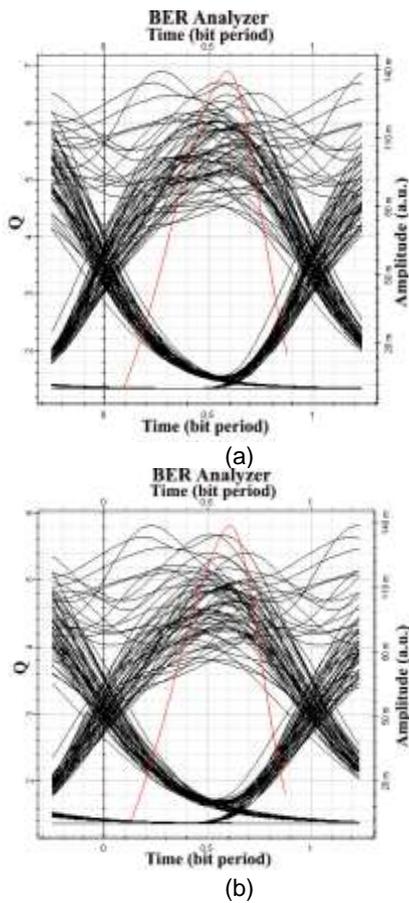


(a)



(b)

Gambar 11. Grafik perubahan *Electron lifetime* dan RC constant terhadap (a) Q-Factor dan (b) BER Sumber Cahaya Optik LED



Gambar 12. Eye Diagram Perubahan Electron lifetime dan RC constant (a) 1 ns (b) 1.3 ns Sumber Cahaya Optik LED

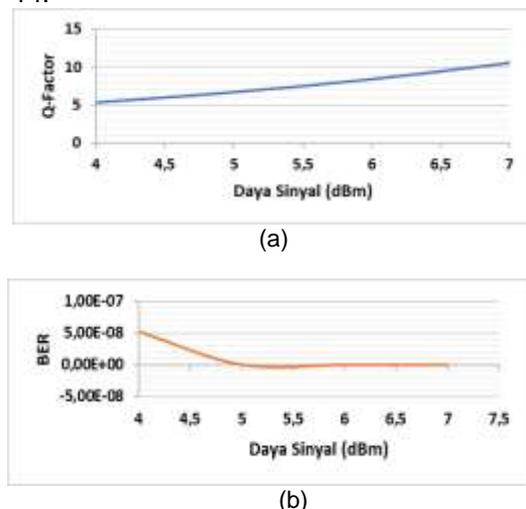
Gambar 11a dan 11b menunjukkan grafik pengaruh perubahan *electron lifetime* dan *RC constant* sumber cahaya optik LED terhadap *Q-Factor* dan BER. Peningkatan *electron lifetime* dan *RC constant* sumber cahaya optik LED mengakibatkan penurunan nilai *Q-factor* dan peningkatan nilai BER. Peningkatan *electron lifetime* dan *RC constant* mengakibatkan penurunan nilai modulasi *bandwidth* [13]. Penurunan nilai modulasi *bandwidth* menyebabkan sinyal listrik menjadi lebih rentan terhadap dispersi [14]. Peningkatan dispersi menyebabkan pulsa menyebar ke periode bit yang berdekatan dan membuatnya sulit dibedakan sehingga terjadi tumpang tindih sinyal atau ISI. ISI mengakibatkan penurunan nilai SNR [15]. Penurunan nilai SNR mengakibatkan penurunan nilai *Q-factor* dan peningkatan nilai BER sesuai persamaan (4)

Eye diagram perubahan *electron lifetime* dan *RC constant* ditunjukkan Gambar 12a dan 12b. Eye height dan eye

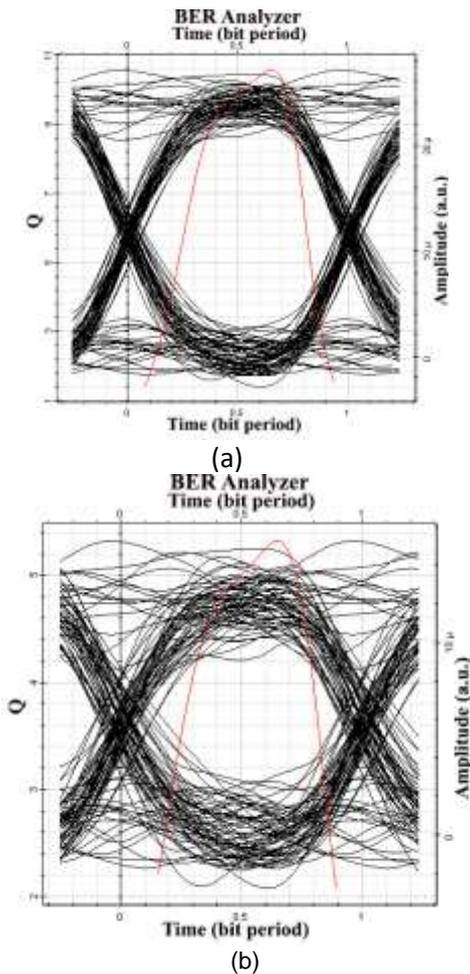
width pada eye diagram menunjukkan adanya ISI pada jaringan fiber optik. Semakin kecil eye height dan eye width maka kemunculan ISI semakin besar sebagai konsekuensi dari efek nonlinier serat dan batasan dispersi fiber optik. Pada sumber cahaya optik LED adanya dispersi disebabkan oleh spectral width yang lebar. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR semakin rendah [15]. Penurunan nilai SNR menyebabkan nilai *Q-factor* menurun. Jitter pada eye diagram terjadi karena pengaruh distorsi sinyal pada jaringan fiber optik yang semakin besar. Hal itu disebabkan oleh peningkatan dispersi pada fiber optik saat terjadi peningkatan *electron lifetime* dan *RC constant*. Dispersi menyebabkan terjadinya pelebaran pulsa cahaya yang dikirim sehingga terlihat pada eye diagram pulsa-pulsa yang melebar dan tidak ideal [15]. Saat *electron lifetime* dan *RC constant* yang dikirimkan mengalami peningkatan dengan modulasi bandwidth menurun, akan menyebabkan pengaruh ISI dan jitter semakin signifikan.

4.2.2 Analisis Karakteristik Sumber Cahaya Optik CW Laser

Perubahan karakteristik internal sumber cahaya optik CW Laser berupa nilai daya sinyal ditinjau dari *Q Factor*, BER, dan Eye Diagram berdasarkan standar ITU-T G.984.2. Pengujian dilakukan dimulai dari nilai 7 dBm dengan penurunan nilai daya sinyal setiap 1 dBm pada bit rate 10 Gbps dan jarak transmisi 65 Km. Hasil pengujian daya sinyal sumber cahaya optik CW Laser ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Grafik Perubahan Daya Sinyal terhadap (a) *Q-Factor* (b) BER Sumber Cahaya Optik CW Laser



Gambar 14. Eye Diagram Perubahan Daya Sinyal (a) 7 dBm (b) 5 dBm Sumber Cahaya Optik CW Laser

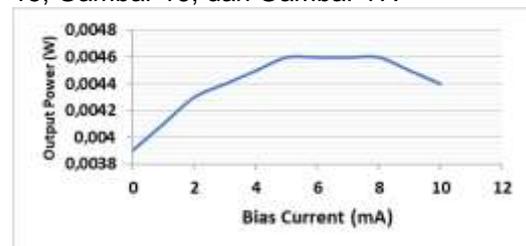
Gambar 14a dan 14b menunjukkan grafik pengaruh perubahan daya sinyal sumber cahaya optik CW Laser terhadap *Q-Factor* dan BER. Penurunan daya sinyal pada sumber cahaya optik CW Laser mengakibatkan penurunan nilai *Q-factor* dan peningkatan nilai BER. Penurunan nilai *Q-factor* dapat disebabkan oleh penurunan sensitivitas penerima. Sensitivitas penerima adalah salah satu spesifikasi penerima optik yang umum digunakan dalam sistem serat optik yang di definisikan sebagai tingkat daya optik sinyal minimum yang dibutuhkan oleh penerima untuk mencapai kinerja BER dan *Q-factor* tertentu. Penurunan sensitivitas penerima dapat disebabkan oleh dua parameter penting yaitu daya sinyal dan total *loss*. Dengan asumsi total *loss* adalah konstan karena diujikan pada jarak dan dengan nilai redaman total yang sama, maka penurunan daya sinyal yang ditransmisikan

menyebabkan penurunan sensitivitas penerima. Penurunan sensitivitas penerima menyebabkan penurunan nilai *Q-factor*. Penurunan *Q-Factor* menyebabkan peningkatan BER sesuai persamaan (4).

Eye diagram pengaruh perubahan daya sinyal sumber cahaya optik CW Laser ditunjukkan Gambar 14a dan Gambar 14b. Penurunan daya sinyal menyebabkan peningkatan *noise* semakin signifikan karena adanya *jitter* sehingga terjadi penurunan nilai SNR[16] yang menyebabkan kemunculan ISI semakin besar [14]. *Eye height* dan *eye width* pada *eye diagram* menunjukkan adanya ISI pada jaringan fiber optik. Semakin kecil *eye height* dan *eye width* berarti kemunculan ISI semakin besar. Saat daya sinyal 7 dBm pengaruh *jitter*, *noise*, dan ISI tidak terlalu signifikan. Saat daya sinyal bernilai 5 dBm pengaruh *noise* yang terjadi cukup signifikan karena terjadi penurunan daya sinyal yang menyebabkan pengaruh *jitter* semakin besar sehingga terjadi penurunan nilai SNR dan peningkatan ISI yang menyebabkan *Q-factor* menurun menurut persamaan (4).

4.2.3 Analisis Karakteristik Sumber Cahaya Optik VCSEL Laser

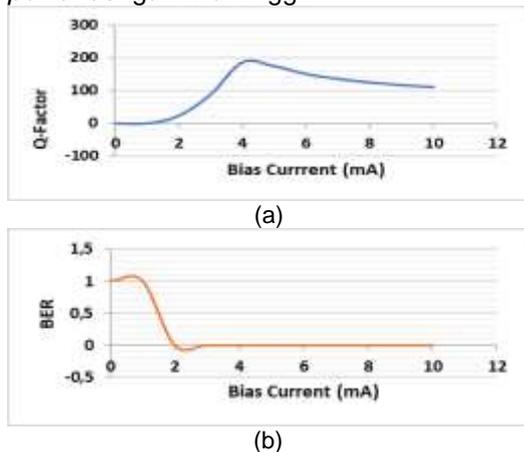
Perubahan karakteristik internal sumber cahaya optik VCSEL Laser berupa nilai *bias current* terhadap *output power* dan ditinjau dari *Q Factor*, BER dan *Eye Diagram* sesuai standar ITU-T G.984.2. Pengujian dilakukan mulai dari 1 mA dengan peningkatan setiap 1 mA pada *bit rate* 2,5 Gbps dan jarak transmisi 5 Km. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17.



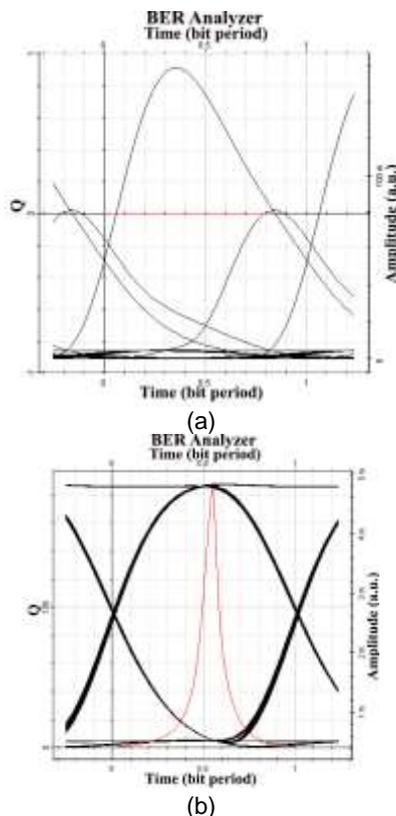
Gambar 15. Grafik Perubahan Bias Current terhadap Output Power Sumber Cahaya Optik VCSEL Laser

Gambar 15 menunjukkan grafik karakteristik sumber cahaya optik VCSEL Laser terhadap *output power*. Pada sumber cahaya optik VCSEL Laser nilai *threshold current* adalah 1,3 mA [14]. Gambar 15 menunjukkan ketika nilai *bias current*

berada di atas nilai *threshold current* yaitu 1,3 mA maka nilai *output power* mengalami peningkatan. Setelah nilai saturasi *bias current* yaitu 6 mA, nilai *output power* menurun dengan meningkatnya nilai *bias current*. Hal itu karena setelah nilai saturasi maka *bias current* yang terlalu besar dapat menurunkan kinerja sistem karena pada VCSEL Laser tidak dapat mengemisikan *power* dengan nilai tinggi.



Gambar 16. Grafik Perubahan *Bias Current* terhadap (a) *Q-Factor* dan (b) BER Sumber Cahaya Optik VCSEL Laser



Gambar 17. *Eye Diagram* Perubahan *Bias Current* (a) 0 mA (b) 4 mA Sumber Cahaya Optik VCSEL Laser

Gambar 16a dan 16b menunjukkan grafik karakteristik sumber cahaya optik VCSEL Laser terhadap *Q-Factor* dan BER. Pada VCSEL Laser *threshold current* merupakan arus yang dibutuhkan untuk menghidupkan suatu perangkat, apabila nilai *bias current* kurang dari nilai *threshold current* maka tidak akan ada *output power* yang dihasilkan oleh VCSEL Laser [17]. Nilai *threshold current* dari sumber cahaya optik VCSEL Laser adalah 1,3 mA [18]. Setelah *bias current* ditingkatkan mulai dari nilai 2-5 mA, terjadi peningkatan nilai *Q-factor* karena nilai *bias current* berada diatas *threshold current*. Saat nilai *bias current* ditingkatkan mulai dari 5 mA-10 mA, terjadi penurunan nilai *Q-factor*. Hal itu disebabkan pengaruh non-linear yang terjadi karena arus yang dipancarkan terlalu besar dan dapat menurunkan kinerja sistem [17]. Sesuai persamaan (4) bila nilai *Q-Factor* menurun maka akan meningkatkan nilai BER seperti ditunjukkan pada Gambar 16b.

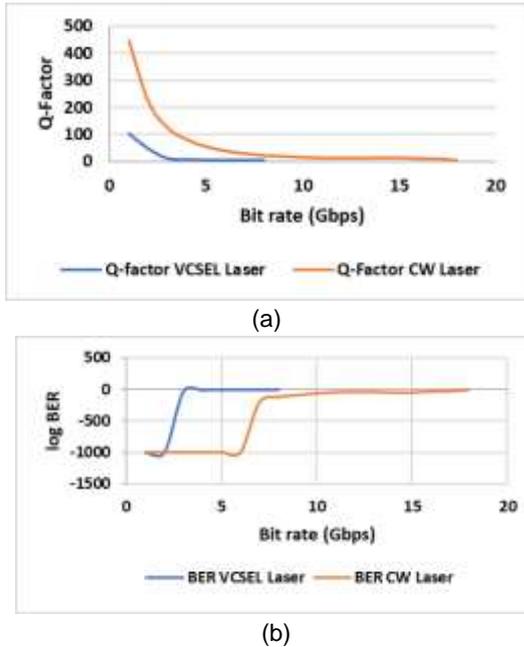
Eye height dan *eye width* pada *eye diagram* menunjukkan adanya ISI. Semakin kecil *eye height* dan *eye width* berarti kemunculan ISI semakin besar sebagai konsekuensi dari efek nonlinier serat dan batasan dispersi fiber optik. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah [15]. Penurunan nilai SNR menyebabkan nilai *Q-factor* menurun menurut persamaan (4). Peningkatan *jitter* terjadi karena pengaruh distorsi sinyal pada jaringan fiber optik semakin besar. Hal ini disebabkan oleh peningkatan dispersi pada fiber optik. Dispersi menyebabkan terjadinya pelebaran pulsa cahaya yang dikirim sehingga pada *eye diagram* terdapat pulsa-pulsa yang melebar dan tidak ideal [15]. Pada Gambar 4.17(a), efek nonlinier terjadi dan menyebabkan timbulnya ISI. ISI menyebabkan dispersi dan *jitter* bernilai besar. Pada Gambar 17(b) efek dari ISI dan *jitter* tidak terjadi secara signifikan.

4.2.4 Analisis Perbandingan Karakteristik Eksternal Sumber Cahaya Optik CW Laser dan VCSEL Laser

Perbandingan unjuk kerja sumber cahaya optik CW Laser dan VCSEL Laser berdasarkan perubahan *bit rate* dan jarak transmisi ditinjau dari *Q-Factor* dan BER akan dijelaskan sebagai berikut.

A. Analisis Perbandingan Perubahan Bit Rate Sumber Cahaya Optik CW Laser dan VCSEL Laser

Perbandingan pengaruh perubahan bit rate CW Laser dan VCSEL Laser diujikan pada jarak transmisi 25 Km dan daya sinyal 6 dBm. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 18.



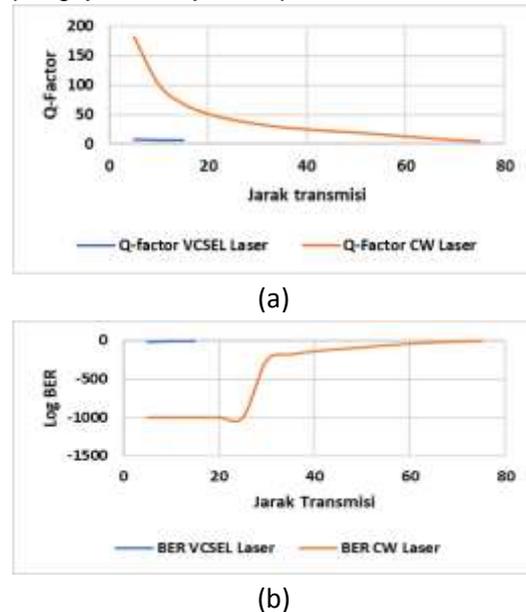
Gambar 18. Grafik Perbandingan Perubahan Bit Rate terhadap (a) Q-Factor (b) BER Sumber Cahaya Optik CW Laser dan VCSEL Laser

Gambar 18a dan 18b menunjukkan grafik perbandingan bit rate sumber cahaya optik CW Laser dan VCSEL Laser terhadap Q-Factor dan BER. Peningkatan nilai bit rate pada sumber cahaya optik VCSEL Laser dan CW Laser mengakibatkan penurunan nilai Q-factor dan peningkatan nilai BER. Ketika dispersi terjadi akibat bit rate meningkat, pulsa menyebar ke periode bit yang berdekatan dan membuatnya sulit untuk dibedakan sehingga terjadi tumpang tindih sinyal ke dalam periode bit yang berdekatan atau ISI. ISI mengakibatkan penurunan nilai SNR [15] Penurunan nilai SNR tersebut mengakibatkan penurunan nilai Q-factor dan peningkatan nilai BER sesuai dengan Persamaan (4). Perbandingan antara sumber cahaya optik VCSEL Laser dan CW Laser menunjukkan bahwa sumber cahaya optik VCSEL Laser memiliki jangkauan bit rate yang lebih rendah yaitu 7 Gbps dibandingkan sumber cahaya optik CW Laser yang mencapai 32 Gbps. Hal tersebut karena karakteristik

VCSEL Laser yang tidak dapat mengemisikan nilai power yang terlalu besar sehingga hanya dapat digunakan di jaringan area lokal dengan bit rate rendah.

B. Analisis Perbandingan Perubahan Jarak Transmisi Sumber Cahaya Optik CW Laser dan VCSEL Laser

Perbandingan perubahan jarak transmisi sumber cahaya optik CW Laser dan VCSEL Laser diujikan pada bit rate 6 Gbps dan daya sinyal 6 dBm. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 19.



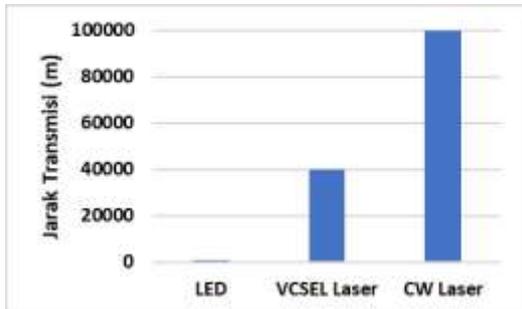
Gambar 19. Grafik Perbandingan Perubahan Jarak Transmisi terhadap (a) Q-Factor (b) BER Sumber Cahaya Optik CW Laser dan VCSEL Laser

Gambar 19a dan 19b menunjukkan grafik perbandingan karakteristik eksternal jarak transmisi sumber cahaya optik CW Laser dan VCSEL Laser terhadap Q-Factor dan BER. Peningkatan jarak transmisi pada sumber cahaya optik VCSEL Laser dan CW Laser mengakibatkan penurunan nilai Q-factor dan peningkatan nilai BER. Peningkatan jarak mengakibatkan nilai dispersi semakin lebar. Dispersi yang semakin lebar pada suatu jaringan fiber optik menyebabkan pulsa menyebar ke periode bit yang berdekatan dan membuatnya sulit untuk dibedakan sehingga terjadi tumpang tindih sinyal ke dalam periode bit yang berdekatan atau ISI [15] Hal tersebut menyebabkan penurunan nilai SNR sehingga nilai Q-factor menjadi semakin rendah sesuai dengan Persamaan

(4). Selain itu, hal yang menyebabkan penurunan nilai *Q-factor* yang cukup signifikan adalah adanya peningkatan redaman ketika jarak transmisi semakin jauh [1]. Perbandingan unjuk kerja berupa *Q-Factor* dan BER pada perubahan jarak transmisi sumber cahaya optik VCSEL Laser dan CW Laser menunjukkan bahwa sumber cahaya optik VCSEL Laser memiliki jangkauan jarak transmisi yang lebih pendek yaitu 10 Km dibandingkan dengan sumber cahaya optik CW Laser yang dapat menempuh jarak 75 Km.

4.2.5 Perbandingan Jangkauan Jarak Transmisi Sumber Cahaya Optik

Perbandingan karakteristik eksternal jangkauan jarak transmisi sumber cahaya optik LED, VCSEL Laser dan CW Laser dilakukan dengan mengujikan setiap sumber cahaya dengan nilai daya sinyal maksimum dan nilai *bit rate* 500 Mbps hingga mencapai batas unjuk kerja sesuai standar. Gambar 20 menunjukkan grafik perbandingan jangkauan jarak transmisi sumber cahaya optik LED, VCSEL Laser, dan CW Laser.



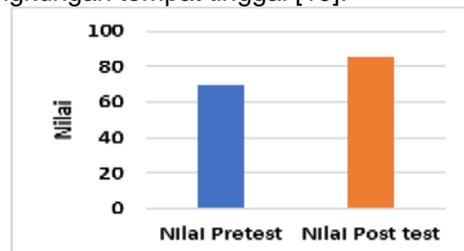
Gambar 20. Grafik Perbandingan Jangkauan Jarak Transmisi Sumber Cahaya Optik LED, VCSEL Laser, dan CW Laser

Gambar 20 menunjukkan bahwa sumber cahaya optik CW Laser dapat menempuh jarak transmisi terjauh yaitu 90 Km dibandingkan sumber cahaya optik LED dan VCSEL Laser. Pada VCSEL Laser dapat menempuh jarak transmisi dengan nilai 40 Km. Pada sumber cahaya optik LED dapat menempuh jarak transmisi sebesar 0,2 Km. Perbedaan jangkauan jarak transmisi yang dapat ditempuh karena daya sinyal yang digunakan pada setiap sumber cahaya optik. Pada LED dan VCSEL Laser nilai daya sinyal yang dapat diemisikan bernilai rendah. Hal tersebut menyebabkan LED dan VCSEL Laser menempuh jarak transmisi dengan

jangkauan yang tidak terlalu luas atau berada pada area lokal.

4.2.6 Uji Kelayakan Modul Praktikum

Uji kelayakan modul praktikum dilakukan dengan mengambil sampel 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*. Nilai rata-rata *pre test* mahasiswa adalah 70 sedangkan nilai rata-rata *post test* mahasiswa adalah 85 hal ini ditunjukkan pada Gambar 21. Hasil ini menunjukkan bahwa modul praktikum perbandingan unjuk kerja sumber cahaya optik LED dan Laser dalam Sistem Komunikasi 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 belum detail seperti yang diharapkan dari tujuan praktikum ini. Hal ini 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 [19].



Gambar 21. Perbandingan rata-rata 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 yang ditunjukkan pada tabel 4. Hasil penghitungan frekuensi observasi pada tabel 5 menunjukkan persentase 88,6% (delapan puluh tujuh koma enam persen). Persentase tersebut diperoleh dari penghitungan jumlah frekuensi observasi yaitu 443, dibagi jumlah frekuensi harapan yaitu 500, yang

kemudian hasil pembagian tersebut dikalikan 100% [11].

Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul praktikum berdasarkan penilaian mahasiswa termasuk dalam kategori sangat 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 5. Frekuensi Penilaian oleh Praktikan

No. Butir	Frekuensi Observasi	Frekuensi Harapan
1	44	50
2	41	50
3	44	50
4	44	50
5	45	50
6	44	50
7	46	50
8	44	50
9	46	50
10	45	50
Jumlah	443	500

Tabel 4. Hasil Rekapitulasi Kuesioner

No	Aspek	Pernyataan	Sangat Tidak Setuju	Kurang Setuju	Cukup Setuju	Setuju	Sangat Setuju	
1	Tampilan	Modul praktikum ini memberikan kemudahan dalam memahami sistem komunikasi optik (jaringan fiber optik)			1	4	5	
2		Modul praktikum ini membantu mahasiswa untuk memahami secara cepat dan tepat cara menggunakan Optisystem	1		1	3	5	
3	Penyajian Materi	Modul praktikum ini memberikan pemahaman kepada mahasiswa mengenai pengaruh karakteristik internal LED <i>electron lifetime</i> dan <i>RC Constant</i> terhadap unjuk kerja LED ditinjau dari <i>Q-Factor</i> , BER dan <i>Eye Diagram</i>				6	4	
4		Modul praktikum ini memberikan pemahaman kepada mahasiswa mengenai pengaruh karakteristik internal Laser Diode (CW Laser) yaitu daya sinyal terhadap unjuk kerja CW Laser ditinjau dari <i>Q-Factor</i> , BER dan <i>Eye Diagram</i>				6	4	
5		Modul praktikum ini memberikan pemahaman kepada mahasiswa mengenai pengaruh karakteristik internal Laser Diode (VCSEL Laser) yaitu <i>bias current</i> terhadap <i>output power</i> unjuk kerja VCSEL Laser ditinjau dari <i>Q-Factor</i> , BER dan <i>Eye Diagram</i>				5	5	
6		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh peningkatan <i>bit rate</i> terhadap unjuk kerja sumber cahaya optik LED dan Laser Diode ditinjau dari <i>Q-Factor</i> , BER dan <i>Eye Diagram</i>				6	4	
7		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh jarak transmisi terhadap unjuk kerja sumber cahaya optik LED dan Laser Diode ditinjau dari <i>Q-Factor</i> , BER dan <i>Eye Diagram</i>				4	6	
8		Manfaat	Melalui modul praktikum ini anda dapat memahami materi sumber cahaya optik LED				6	4
9			Melalui modul praktikum ini anda dapat memahami materi sumber cahaya optik Laser Diode				4	6
10	Melalui modul praktikum ini anda memahami perbedaan karakteristik antara sumber cahaya optik pada sistem komunikasi optik				1	3	6	

5. SIMPULAN

Adapun simpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu peningkatan karakteristik internal pada LED berupa *electron lifetime* dan *RC Constant*, penurunan karakteristik internal CW Laser berupa daya sinyal, dan Peningkatan karakteristik internal VCSEL Laser berupa *bias current* dan *output power* mengakibatkan penurunan nilai *Q-Factor* dan Peningkatan nilai BER. Perbandingan karakteristik eksternal berupa *bit rate* dan jarak transmisi pada sumber cahaya optik Laser menunjukkan bahwa CW Laser mampu menempuh *bit rate* dan jarak transmisi yang lebih tinggi dibandingkan sumber cahaya optik VCSEL Laser. Pada perbandingan *bit rate* CW Laser mencapai nilai 32 Gbps sedangkan VCSEL Laser mencapai nilai 7 Gbps. Pada perbandingan jangkauan jarak transmisi sumber cahaya optik laser, CW Laser mencapai jarak transmisi 75 Km, sedangkan pada sumber cahaya optik VCSEL Laser mencapai jarak transmisi 10 Km. Perbandingan jangkauan jarak transmisi pada setiap sumber cahaya optik berupa LED, CW Laser dan VCSEL Laser menunjukkan bahwa CW Laser mampu menempuh jarak transmisi yang lebih jauh dibandingkan VCSEL Laser dan LED yaitu 90 Km, VCSEL Laser menempuh jarak tranmisi 40 Km dan LED 0,2 Km pada *bit rate* dan daya sinyal maksimum di setiap sumber cahaya optik. Peningkatan pemahaman praktikan berdasarkan nilai *post test* yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *pre test* dapat digunakan sebagai dasar bahwa modul praktikum secara keseluruhan sangat layak digunakan sebagai bahan ajar sesuai dengan presentase penilaian praktikan sebesar 88,6%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. P. Agrawal. 2002. Fiber Optic Communication System. New York: John Wiley & Sons Inc.
- [2] H. Zanger and C. Zanger. 1991. Fiber Optics: Communication and Other Applications. Singapore: Macmillan.
- [3] N. Mohamed Nawawi. 2008. "Investigation of Stimulated Brillouin Scattering for the Generation of Millimeter Wave for Radio Over Fiber System" Universiti Teknologi Malaysia.
- [4] B. Chomycz. 2008. Planning Fiber Optics Networks. New York: McGraw-Hill.
- [5] G. Bonaventura. 2009. Optical Fibres, Cables and Systems. Geneva: International Telecommunication Union.
- [6] J. Hecht. 1992. The Laser Guidebook. New York: McGraw-Hill
- [7] C. Webb. 2003. Handbook of Laser Technology and Applications: CRC Press.
- [8] G. Ajoy and T. K. 1998. An Introduction to Fiber Optics. Cambridge: Cambridge University Press
- [9] G. Keiser. 2000. Optical Fiber Communication. Singapore: McGraw-Hill.
- [10] Onsemiconductor .2012. "Understanding Data Eye Diagram Methodology for Analyzing High Speed Digital Signals". pp. 1–7.
- [11] Sugiyono. 2014. Metode Penelitian Pendidikan. Bandung: Alfabeta.
- [12] I. P. Yuda Pramana Putra, P. K. Sudiarta, and G. Sukadarmika. 2018. "Studi Perbandingan Jaringan Optik Eksisting dengan Gigabit Passive Optical Network (GPON) di Kampus Universitas Udayana Bukit Jimbaran," J. SPEKTRUM, vol. 5, no. 2.
- [13] K. Manivannan, A. Sivanantha Raja, and S. Selvendran. 2016. "Study of the Impact of Receiver Aperture Diameter, Led Electron Carrier Life Time and Rc Time Constant on Visible Light Communication Using Optisystem Simulation," Int. J. Adv. Eng. Technol. E Int J Adv Engg Tech, vol. 7, no. 1.
- [14] M. Bass and E. Van Stryland. 2002. Fiber Optics Handbook—Fiber, Devices and Systems for Optical Communications. Orlando: McGraw-Hill.
- [15] J. M. Senior. 2009. Optical Fiber Communication Principles and Practice. Harlow: Pearson Education.
- [16] R. Hui and M. O'sullivan. 2008. Fiber Optic Measurement Techniques. Cambridge: Academic Press.
- [17] T. K and G. Ajoy. 2010. Laser Fundamentals and Applications. New York: Springer.
- [18] M. C. Y. Huang, Y. Zhou, and C. J. Chang-Hasnain. 2007. "Nano electromechanical optoelectronic tunable VCSEL," Opt. InfoBase Conf. Pap., vol. 15, no. 3, pp. 1532–1535.
- [19] H. Purnomo. 2019. Psikologi Pendidikan, vol. 66. Yogyakarta: LP3M UMY.