

PENGEMBANGAN MODUL PRAKTIKUM UNTUK MODULATOR OPTIK INTERNAL DAN EKSTERNAL

Nurulita Aini¹, Pande Ketut Sudiarta², Nyoman Putra Sastra³

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

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

Abstrak

Modulator optik adalah komponen yang digunakan untuk mengubah sinyal informasi ke dalam sinyal *carrier* berupa berkas cahaya. Pada dasarnya, ada 3 modulator optik yang banyak digunakan yaitu modulator internal, modulator *mach-zehnder* (MZM), dan modulator *electro-absorption* (EAM). Setiap modulator optik memiliki kelebihan dan kekurangan, tetapi secara umum tujuan dari modulator optik untuk memodulasi berkas cahaya. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbandingan kinerja modulator optik internal dan eksternal serta kelayakan modul praktikum. Metode yang digunakan dengan mensimulasikan modulator optik pada jaringan fiber optik menggunakan *software Optisystem*. Parameter kelayakan jaringan yang dianalisis yaitu *Q-factor*, BER, dan *eye diagram* hingga unjuk kerja mencapai standar ITU-T G.984.2 dengan batasan minimum *Q-factor* = 6 dan BER 10^{-9} . Pada modulator optik dilakukan perubahan variabel internal dan eksternal. Uji kelayakan modul praktikum menggunakan metode pengisian kuesioner dengan skala likert 1–5 serta pemberian *pre-test* dan *post-test* kepada praktikan. Perbandingan kinerja modulator optik menunjukkan bahwa kinerja MZM lebih baik dari EAM dan modulator internal. Pada pengujian *bit rate*, jarak transmisi yang digunakan adalah 65 km dan daya sinyal sebesar +7 dBm MZM mampu mengirim *bit rate* hingga 27 Gbps. Pada pengujian jarak transmisi, *bit rate* yang digunakan adalah 10 Gbps dan daya sinyal sebesar +7 dBm MZM mampu menempuh jarak hingga 70 km. Pada pengujian daya sinyal, *bit rate* yang digunakan adalah 10 Gbps dan jarak transmisi adalah 65 km MZM mampu bekerja pada daya sinyal +5 dBm. Modul praktikum ini sangat layak sebagai bahan ajar sesuai dengan persentase penilaian praktikan sebesar 88,2%.

Kata kunci: modulator *electro-absorption*, modulator *mach-zehnder*, modulator internal

Abstract

The optical modulator is a component used to convert information signals into a carrier signal in the form of a light beam. 3 optical modulators are widely used, namely the internal modulator, the mach-zehnder modulator (MZM), and the electro-absorption modulator (EAM). Each optical modulator has advantages and disadvantages, but in general, the purpose of an optical modulator is to modulate light beams. The purpose of this study was to determine the performance comparison of the internal and external optical modulator and the feasibility of the practicum module. The method used is to simulate an optical modulator on a fiber-optic network using Optisystem software. The network feasibility parameters analyzed were Q-factor, BER, and eye diagram until performance reached the ITU-T G.984.2 standard with a minimum limit of Q-factor = 6 and BER 10⁻⁹. The optical modulator changes internal and external variables. 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-test and post-test to the practitioner. The comparison of optical modulator performance shows that MZM performance is better than EAM and internal modulator. In the bit rate test, the transmission distance used is 65 km, and signal power of +7 dBm MZM is capable of sending bit rates of up to 27 Gbps. In testing the transmission distance, the bit rate used is 10 Gbps, and signal power of +7 dBm MZM can cover a distance of up to 70 km. In the signal power test, the bit rate used is 10 Gbps and the transmission distance is 65 km MZM capable of working at +5 dBm signal power. This practicum module is very feasible as teaching material according to the percentage of the practitioner's assessment of 88.2%.

Keywords: *electro-absorption modulator, mach-zehnder modulator, internal modulator.*

1. PENDAHULUAN

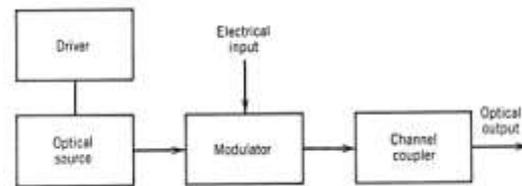
Salah satu alternatif untuk pengiriman data yang semakin besar dalam sistem komunikasi, adalah penggunaan sistem yang memanfaatkan cahaya sebagai pembawa informasi dan berkapasitas besar yaitu sistem komunikasi optik. Sinyal informasi nantinya akan ditumpangkan ke sinyal *carrier*. Oleh karena itu, diperlukan suatu komponen yang dapat mengubah sinyal informasi ke dalam sinyal *carrier* yang berupa berkas cahaya sehingga dapat ditransmisikan ke tujuan. Komponen ini disebut modulator optik [1]. Ada dua tipe modulator optik, yaitu modulator internal dan modulator eksternal. Modulator internal memiliki keunggulan, sebagai contoh mudahnya modulasi diperoleh dengan mengubah arus injeksi. Kekurangan yang dimiliki modulator internal yaitu dapat menyebabkan fluktuasi pada panjang gelombang yang ditransmisikan sangat besar (Efek *Chirping*) sehingga tidak layak diterapkan dalam sistem transmisi jarak jauh. Untuk mengatasi kekurangan tersebut, dikembangkannya modulator eksternal [2].

Keunggulan modulator eksternal adalah mempunyai efek *chirping* yang rendah, *bandwidth* yang lebar, dan *insertion loss* yang kecil sehingga mampu memodulasi sinyal dengan kapasitas besar dan kecepatan tinggi dibandingkan dengan modulator internal. Modulator eksternal yang secara luas dikembangkan adalah modulator *mach-zehnder* dan modulator *electro-absorption*. Untuk memaksimalkan kinerja modulator optik, beberapa parameter yang perlu diperhatikan, yaitu jarak transmisi, *bit rate*, dan daya sinyal optik [2].

2. KAJIAN PUSTAKA

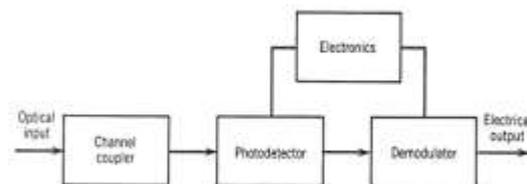
2.1 Sistem Komunikasi Optik

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 blok diagram pemancar optik yang terdiri dari sumber optik, modulator, dan coupler saluran. Laser semikonduktor digunakan sebagai optik sumber karena kompatibilitasnya dengan saluran komunikasi serat optik [3].



Gambar 1. Blok Diagram Pemancar Optik [3]

Penerima optik mengubah sinyal optik yang diterima di 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* [3].



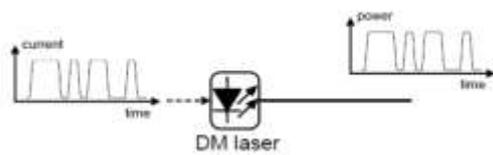
Gambar 2. Blok Diagram Penerima Optik [3]

2.2 Modulator Optik

Modulator optik adalah komponen yang digunakan untuk mengubah sinyal informasi ke dalam sinyal *carrier* berupa berkas cahaya sehingga dapat ditransmisikan ke tujuan. Secara umum, ada dua tipe modulator optik yaitu modulator internal (*direct modulator*) dan modulator eksternal (*indirect modulator*) [4].

2.2.1 Modulator Internal

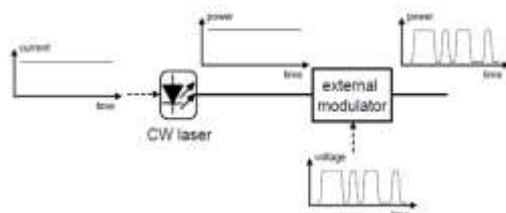
Modulator internal memodulasi cahaya di dalam perangkat sumber cahayanya. Prinsip kerja dari modulator internal, ditunjukkan pada Gambar 3, yaitu cahaya yang dipancarkan dari sumber laser semikonduktor hanya ketika tanda pengiriman sinyal memrepresentasikan nilai "1". Secara tidak langsung dapat dipastikan bahwa cahaya tidak akan dipancarkan ketika nilai yang didapatkan adalah "0" [4].



Gambar 3. Modulator Internal [4]

2.2.2 Modulator Eksternal

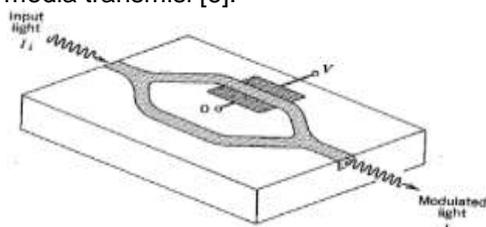
Pada modulasi eksternal, ditunjukkan pada Gambar 4, tegangan dari sinyal pemodulasi digunakan untuk mengontrol parameter cahaya keluaran laser dengan menambahkan perangkat modulator eksternal.



Gambar 4. Modulator Eksternal [5]

A. Modulator Mach-Zehnder

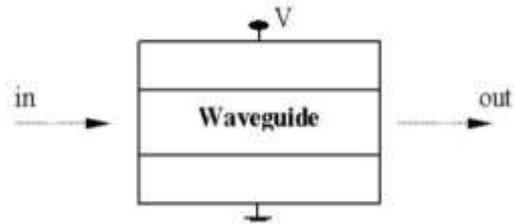
Modulator Mach-zehnder, Gambar 5, bekerja berdasarkan prinsip perpaduan (interfering) dua berkas cahaya koheren. Perpaduan dua berkas cahaya yang koheren menghasilkan pola garis-garis cahaya sesuai dengan besarnya beda fasa antara dua berkas cahaya tadi. Ketika terjadi persamaan fasa, maka intensitasnya menjadi maksimum sehingga ada cahaya yang merambat di media transmisi. Sebaliknya, ketika terjadi perbedaan fasa maka intensitasnya menjadi minimum sehingga tidak ada cahaya yang merambat di media transmisi [6].



Gambar 5. Modulator Mach-Zehnder [6]

B. Modulator Electro-Absorption

Modulator *electro-absorption*, Gambar 6, adalah perangkat semikonduktor yang dapat digunakan untuk memodulasi intensitas sinar laser melalui tegangan listrik. Modulator *Electro-Absorption* (EAM) bekerja menggunakan prinsip dasar efek *electro-absorption* yaitu perubahan koefisien absorpsi berdasarkan perubahan medan listrik [7].



Gambar 6. Modulator Electro-Absorption [7]

2.3 Bit Error Rate (BER) dan Q-factor

Menurut standar ITU-T G.984.2, pada jaringan komunikasi optik secara umum, nilai BER yang harus dipenuhi adalah $10^{-9} - 10^{-12}$. Artinya, tiap 10^9 hingga 10^{12} bit data yang dikirim, *error* yang terjadi hanyalah pada 1 bit. Sensitivitas merupakan daya optik minimum dari sinyal yang datang pada *bit error rate* yang dibutuhkan [8].

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

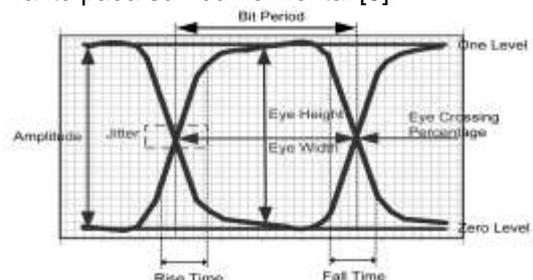
$$BER = P_e \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-Q^2/2}}{Q} \quad (1)$$

dengan nilai *Q-factor* adalah

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (2)$$

2.4 Eye diagram

Eye diagram, ditunjukkan pada Gambar 7, adalah metodologi untuk mewakili dan menganalisis sinyal listrik berkecepatan tinggi. *Eye diagram* memungkinkan parameter kunci dari sinyal divisualisasikan dan ditentukan. *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 [9].



Gambar 7. 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

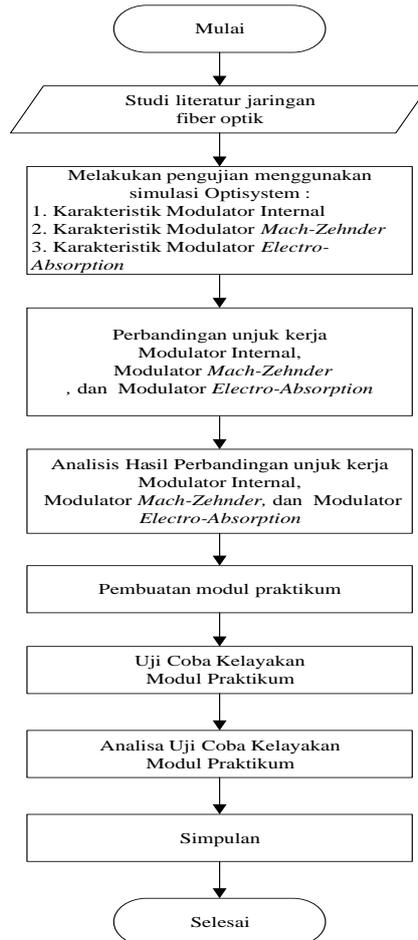
tanggapan responden atas dimensi kualitas pelayanan (X) dan keputusan tamu (Y) diberi skor sebagai berikut:

- 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.

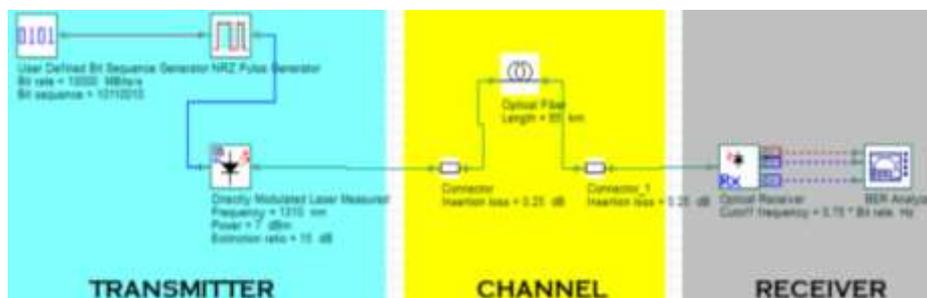
- d. Bobot nilai 2 berarti tidak setuju yang berada pada tingkat rendah.
- e. Bobot nilai 1 berarti sangat tidak setuju yang berada pada tingkat sangat rendah.

3. METODE PENELITIAN

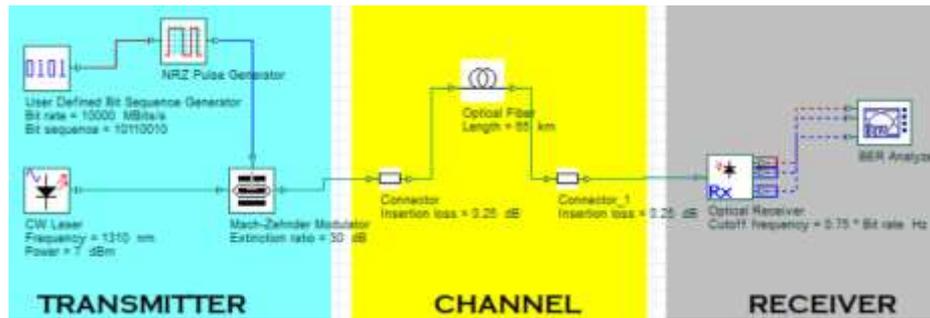
Ada beberapa tahapan yang dilakukan pada penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar 8.



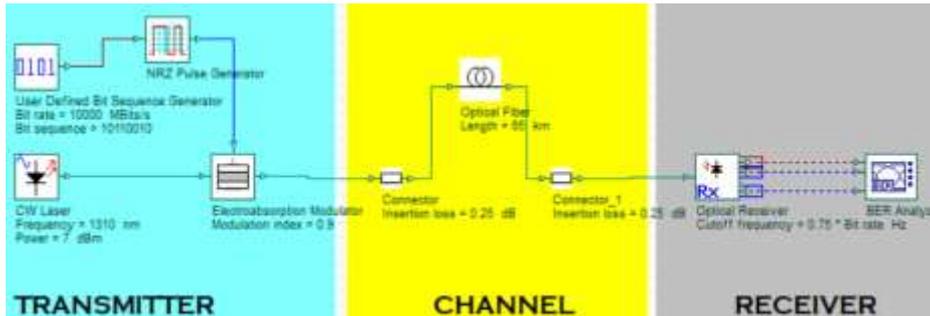
Gambar 8. Tahapan Penelitian



Gambar 9. Rancangan Simulasi Jaringan Modulator Internal



Gambar 10. Rancangan Simulasi Jaringan Modulator *Mach-Zehnder* (MZM)



Gambar 11. Rancangan Simulasi Jaringan Modulator *Electro-Absorption* (EAM)

Tahap awal penelitian ini adalah studi literatur jaringan yang berkaitan dengan modulator optik, jaringan fiber optik, dan berbagai penelitian terbaru. Kemudian melakukan pengujian pada simulator Optisystem yang terdiri dari 4 pengujian karakteristik disetiap modulator. Pengujian karakteristik yang dilakukan pada modulator internal dan *mach-zehnder* yaitu pengujian perubahan variabel internal *extinction ratio*. Sedangkan pengujian pada modulator *electro-absorption* adalah perubahan *modulation index*. Pengujian juga dilakukan pada variabel eksternal modulator internal dan eksternal yaitu *bit rate*, perubahan jarak transmisi, dan perubahan daya sinyal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 merupakan model jaringan fiber optik *point-to-point* yang terdiri dari 3 bagian yaitu *transmitter*, *channel*, dan *receiver*.

Modulator internal *transmitter* terdiri atas 4 komponen yaitu *bit sequence generator*, *NRZ pulse generator*, *directly modulated laser*, dan *optical receiver*. *Bit sequence generator* berfungsi membuat suatu *sequence* bit-bit untuk diuji kedalam sistem yang dirancang. Bit-bit tersebut diubah kedalam sinyal elektrik sesuai dengan moda prinsip NRZ. *Directly*

modulated laser memancarkan cahaya dalam frekuensi yang dipilih dan langsung memodulasi cahaya tersebut.

Modulator eksternal *transmitter* terdiri atas 4 komponen yaitu *bit sequence generator*, *NRZ pulse generator*, *CW laser*, modulator *mach-zehnder/electro-absorption* dan *optical receiver*. *Bit sequence generator* berfungsi membuat suatu *sequence* bit-bit untuk diuji kedalam sistem yang dirancang. Bit-bit tersebut diubah kedalam sinyal elektrik sesuai dengan moda prinsip NRZ. *CW laser* memancarkan cahaya dalam frekuensi yang dipilih, sebelum meneruskan cahaya ke modulator *Mach-zehnder/Electro-Absorption*.

Bagian *receiver* memiliki komponen utama berupa *photodetector*, *filter*, dan *regenerator*. Namun dalam simulasi ini digunakan satu blok *optical receiver* secara langsung. Beberapa alat ukur dapat disambungkan sekaligus untuk mengetahui karakteristik sinyal yang diterima oleh *receiver*. Parameter simulasi yang digunakan pada pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi

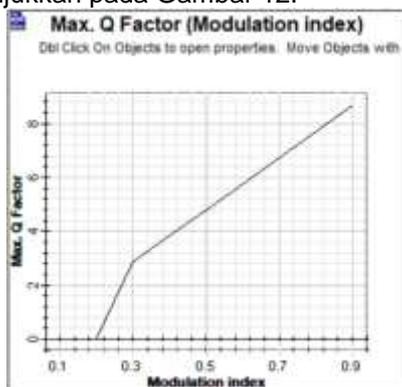
Parameter	Nilai
General	
<i>Bit sequence</i>	10110010
<i>Sequence length</i>	128 bits
<i>Samples per bit</i>	64

Number of samples	8192
Transmitter	
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
Redaman kabel	0.35 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

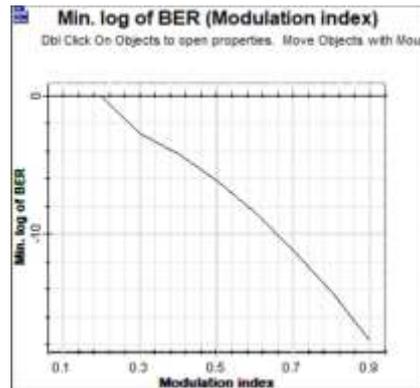
4.2 Pembahasan

4.2.1 Perubahan Modulation Index Terhadap Modulator Electro-Absorption

Berdasarkan pengujian nilai *modulation index* dengan nilai *bit rate* 10 Gbps, nilai daya sinyal +7 dBm, dan jarak transmisi 65 km diperoleh grafik yang ditunjukkan pada Gambar 12.



(a)

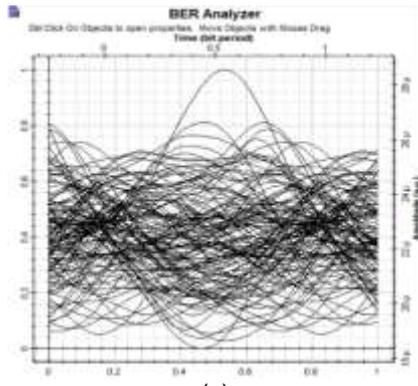


(b)

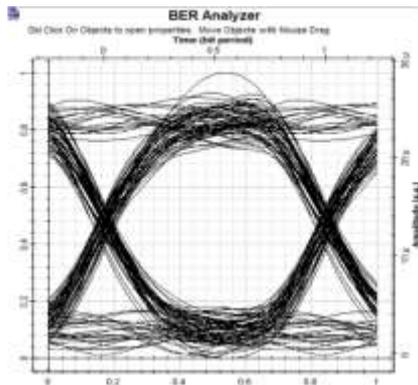
Gambar 12. Grafik Pengujian nilai *Modulation Index* (a) *Q-factor* (b) BER pada Modulator *Electro-Absorption*

Berdasarkan Gambar 12, terlihat peningkatan nilai *modulation index* mengakibatkan nilai *Q-factor* mengalami peningkatan dan nilai BER mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh sinyal termodulasi akan mendekati ideal ketika nilai *modulation index* mendekati 1. Pada saat *modulation index* bernilai 0 maka sinyal termodulasi akan sama seperti sinyal *carrier*, sedangkan ketika nilai *modulation index* berada pada nilai mendekati 1 resultan gelombang semakin terlihat signifikan karena nilai 1 pada *modulation index* menghasilkan sinyal termodulasi yang paling baik (kondisi ideal). Peningkatan indeks modulasi juga menyebabkan penggunaan *bandwidth* menjadi menurun sehingga nilai SNR menjadi meningkat [11].

Perubahan *modulation index* terhadap *eye diagram* ditunjukkan pada Gambar 13. *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 sebagai konsekuensi dari efek non-linier serat dan batasan dispersi fiber optik. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah. *Jitter* pada *eye diagram* menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. Peningkatan *jitter* berarti terjadi pengaruh distorsi sinyal pada jaringan fiber optik semakin besar. Hal itu disebabkan oleh adanya peningkatan dispersi pada fiber optik pada saat terjadi peningkatan *modulation index* [12].



(a)

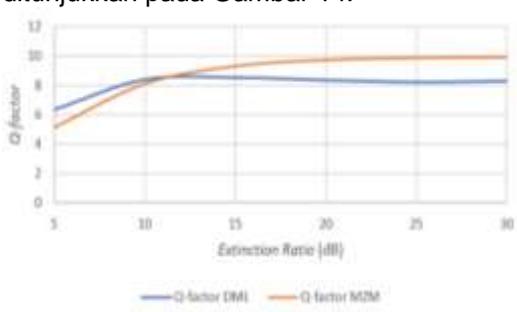


(b)

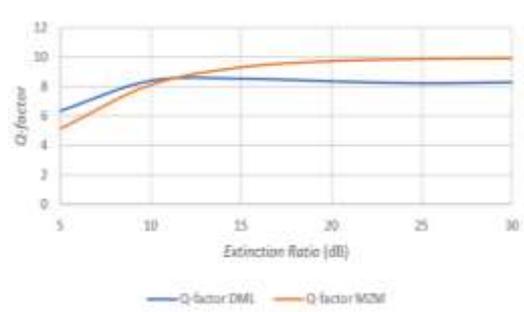
Gambar 13. Eye diagram Pengujian Modulation Index pada Modulator Electro-Absorption (a) Nilai 0,1 dan (b) Nilai 0,9

4.2.2 Perubahan Nilai Extinction ratio pada Modulator Internal dan Modulator Mach-zehnder

Berdasarkan pengujian nilai extinction ratio dengan nilai bit rate 10 Gbps, nilai daya sinyal +7 dBm, dan jarak transmisi 65 km diperoleh grafik yang ditunjukkan pada Gambar 14.



(a)



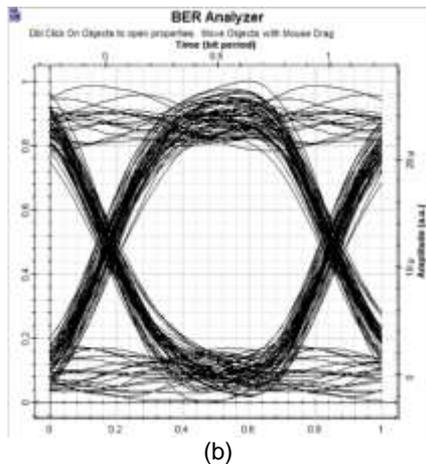
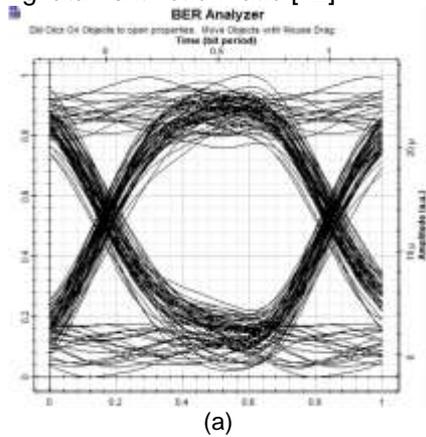
(b)

Gambar 14. Grafik Perbandingan Modulator Internal dan Modulator Mach-zehnder terhadap Perubahan Nilai Extinction ratio (a) Nilai Q-factor (b) BER

Dari grafik pada Gambar 14 terlihat bahwa pada saat terjadi peningkatan nilai extinction ratio mulai dari 5–15 dB menggunakan modulator internal mengakibatkan peningkatan nilai Q-factor. Hal ini disebabkan oleh penurunan penalti daya saat nilai extinction ratio ditingkatkan mulai dari 5–15 dB yang mengakibatkan noise semakin kecil. Oleh karena itu, penurunan penalti daya tersebut menyebabkan nilai SNR semakin meningkat [13]. Selain itu, pengaruh chirping yang terjadi pada modulator internal pada saat extinction ratio bernilai 5–15 dB masih sangat kecil. Namun, pada saat nilai extinction ratio lebih dari 15 dB dan dilakukan peningkatan hingga 30 dB, terjadi penurunan nilai Q-factor. Hal itu disebabkan oleh pengaruh chirping pada modulator internal meningkat. Pengaruh chirping diakibatkan oleh prinsip kerja modulator internal yang tidak membiarkan laser memancar secara terus menerus [3]. Sedangkan, pada modulator mach-zehnder pengaruh chirping dapat diatasi karena prinsip kerja modulator mach-zehnder yang membiarkan laser memancar secara terus menerus [3]. Sehingga, nilai Q-factor saat perubahan nilai extinction ratio pada modulator mach-zehnder mengalami peningkatan dan nilai BER mengalami penurunan.

Perubahan extinction ratio terhadap eye diagram ditunjukkan pada Gambar 15. 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 sebagai konsekuensi dari efek non-linier serat dan batasan dispersi fiber optik. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah. Jitter pada eye diagram

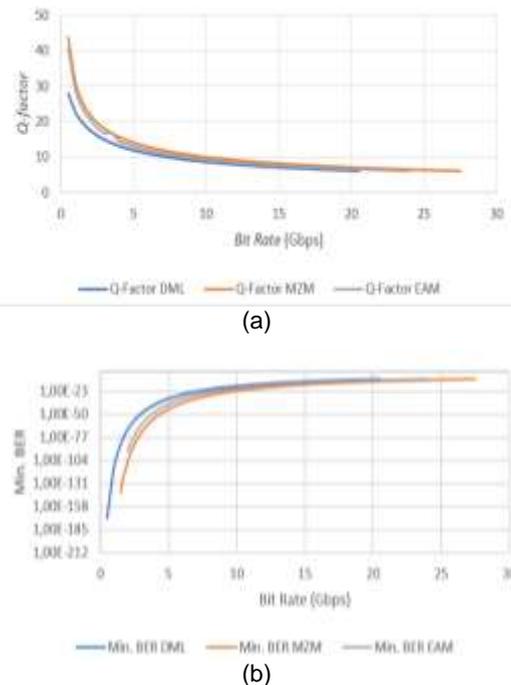
menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. Peningkatan *jitter* berarti terjadi pengaruh distorsi sinyal pada jaringan fiber optik semakin besar. Hal itu disebabkan oleh adanya peningkatan dispersi pada fiber optik pada saat terjadi peningkatan *extinction ratio* [12].



Gambar 15. Perbandingan *Eye diagram* Pengujian *Extinction Ratio* (a) Modulator Internal pada Nilai 15 dB dan (b) Modulator *Mach-Zehnder* pada Nilai 30 dB

4.2.3 Perubahan *Bit Rate* terhadap Modulator Internal dan Eksternal

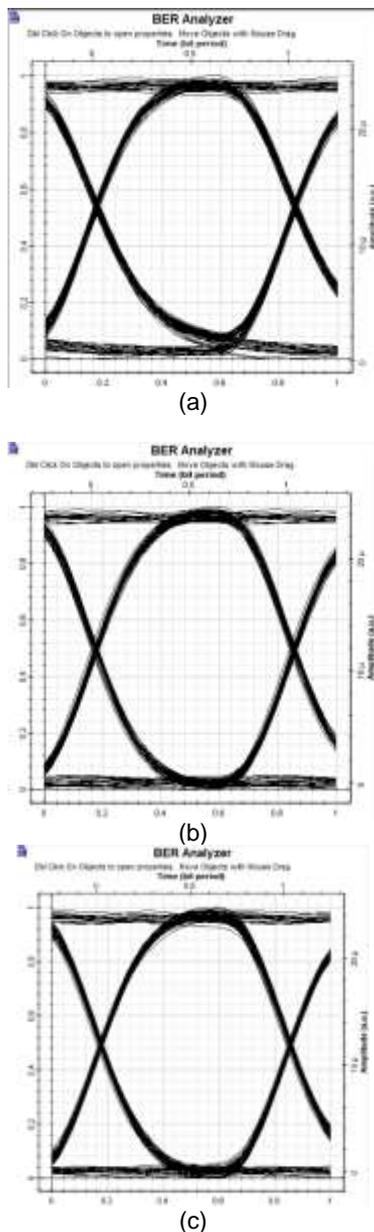
Berdasarkan pengujian nilai *bit rate* dengan nilai *extinction ratio* 15 dB pada modulator internal, nilai *extinction ratio* 30 dB pada modulator *mach-zehnder*, dan nilai *modulation index* 0,9 pada modulator *electro-absorption*, nilai daya sinyal +7 dBm, nilai dan jarak transmisi 65 km diperoleh grafik yang ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Modulator Internal dan Modulator Eksternal pada Perubahan Nilai *Bit Rate* (a) Nilai *Q-factor* (b) BER

Perbandingan antara modulator internal dan modulator eksternal menunjukkan bahwa kinerja suatu jaringan fiber optik menggunakan modulator eksternal lebih baik dari modulator internal. Hal itu disebabkan oleh kelemahan modulator internal dibandingkan dengan modulator eksternal adalah efek *chirping* yang cukup besar. Hal itu mengakibatkan terjadinya peningkatan efek dispersi kromatik pada serat optik menggunakan modulator internal lebih besar dibandingkan dengan modulator eksternal. Oleh karena itu, *bit rate* maksimum yang dapat diperoleh pada suatu jaringan fiber optik dapat berkurang akibat efek *chirping*. Perbandingan antara modulator eksternal MZM dan EAM menunjukkan MZM memiliki kinerja lebih baik dari modulator eksternal EAM karena nilai *extinction ratio* maksimum dari EAM lebih rendah dari modulator MZM. Maksimum *extinction ratio* untuk EAM adalah 10 dB sedangkan untuk MZM adalah 30 dB [14]. Semakin besar *extinction ratio* maksimum dari modulator eksternal tersebut maka kinerjanya akan semakin baik karena *power penalty* yang dihasilkan semakin menurun [5]. Oleh karena itu, kinerja MZM lebih baik daripada EAM ditinjau dari BER dan *Q-factor*.

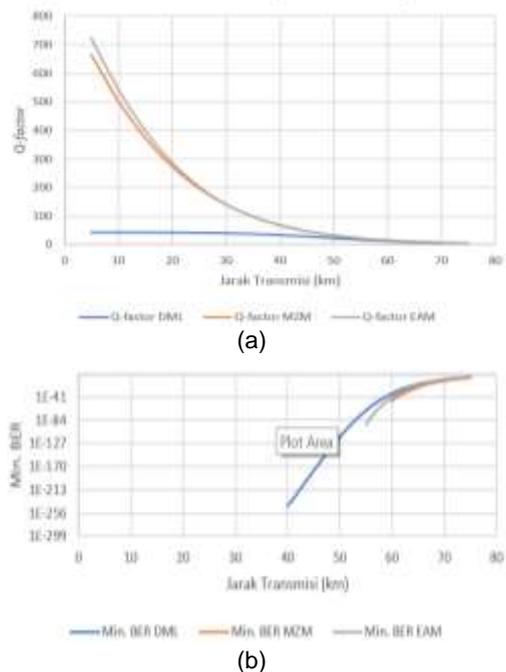
Analisis pengaruh perubahan *bit rate* terhadap *eye diagram* ditunjukkan pada gambar 17. *Eye height* dan *eye width* pada *eye diagram* menunjukkan adanya ISI pada jaringan fiber optik. Semakin kecil *eye height* dan *eye width* berarti kemunculan ISI semakin besar sebagai konsekuensi dari efek non-linier serat dan batasan dispersi fiber optik. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah. *Jitter* pada *eye diagram* menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. Peningkatan *jitter* berarti terjadi pengaruh distorsi sinyal pada jaringan fiber optik semakin besar. Hal itu disebabkan oleh adanya peningkatan dispersi pada fiber optik pada saat terjadi peningkatan *bit rate* [12].



Gambar 17. Perbandingan *Eye diagram* Pengujian *Bit Rate* 500 Mbps (a) Modulator Internal, (b) Modulator *Mach-Zehnder*, dan (c) Modulator *Electro-Absorption*

4.2.4 Perubahan Jarak Transmisi terhadap Modulator Internal dan Eksternal

Berdasarkan pengujian jarak transmisi dengan nilai *extinction ratio* 15 dB pada modulator internal, nilai *extinction ratio* 30 dB pada modulator *mach-zehnder*, dan nilai *modulation index* 0,9 pada modulator *electro-absorption*, nilai *bit rate* 10 Gbps, dan nilai daya sinyal +7 dBm diperoleh grafik seperti gambar 18.

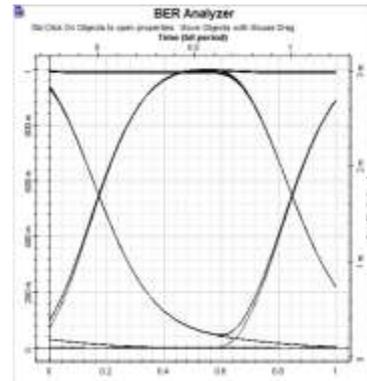


Gambar 18. Grafik Perbandingan Modulator Internal dan Modulator Eksternal pada Perubahan Nilai Jarak Transmisi (a) Nilai *Q-factor* (b) BER

Perbandingan antara modulator internal dan modulator eksternal menunjukkan bahwa kinerja suatu jaringan fiber optik menggunakan modulator eksternal lebih baik daripada modulator internal. Hal itu disebabkan oleh kelemahan modulator internal dibandingkan dengan modulator eksternal adalah efek *chirping* yang cukup besar. Hal itu mengakibatkan terjadinya peningkatan efek dispersi kromatik pada serat optik menggunakan modulator internal lebih besar dibandingkan dengan modulator eksternal. Oleh karena itu, jarak transmisi maksimum yang dapat diperoleh pada suatu jaringan fiber optik dapat berkurang akibat efek *chirping*.

Perbandingan antara modulator eksternal MZM dan EAM menunjukkan MZM memiliki kinerja lebih baik dari modulator eksternal EAM karena nilai *extinction ratio* maksimum dari EAM lebih rendah dari modulator MZM. *Extinction ratio* maksimum untuk EAM adalah 10 dB sedangkan untuk MZM adalah 30 dB [14]. Semakin besar maksimum *extinction ratio* dari modulator eksternal tersebut maka kinerjanya akan semakin baik karena *power penalty* yang dihasilkan semakin menurun [5]. Oleh karena itu, kinerja MZM lebih baik dari EAM ditinjau dari BER dan *Q-factor*.

Perubahan *bit rate* terhadap *eye diagram* ditunjukkan pada Gambar 19. *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 sebagai konsekuensi dari efek non-linier serat dan batasan dispersi fiber optik. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah. *Jitter* pada *eye diagram* menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. Peningkatan *jitter* berarti terjadi pengaruh distorsi sinyal pada jaringan fiber optik semakin besar. Hal itu disebabkan oleh adanya peningkatan dispersi pada fiber optik pada saat terjadi peningkatan jarak transmisi [12].

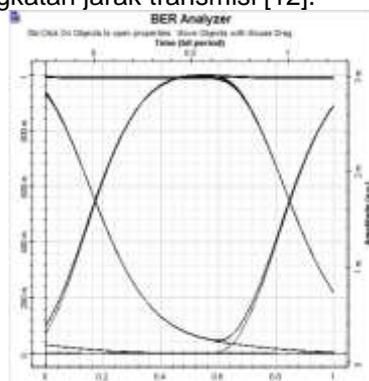


(c)

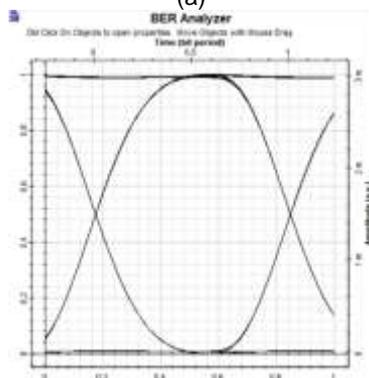
Gambar 19. Perbandingan *Eye diagram* Pengujian Jarak Transmisi 5 km (a) Modulator Internal, (b) Modulator Mach-Zehnder, dan (c) Modulator Electro-Absorption

4.2.5 Perubahan Daya Sinyal pada Modulator Internal dan Eksternal

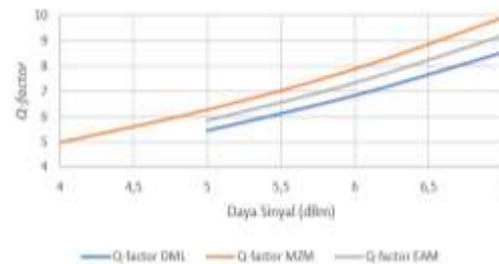
Berdasarkan pengujian jarak transmisi dengan nilai *extinction ratio* 15 dB pada modulator internal, nilai *extinction ratio* 30 dB pada modulator mach-zehnder, dan nilai *modulation index* 0,9 pada modulator electro-absorption, nilai *bit rate* 10 Gbps, dan jarak transmisi 65 km diperoleh grafik yang ditunjukkan pada Gambar 20.



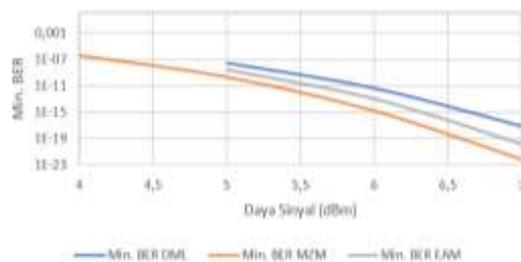
(a)



(b)



(a)

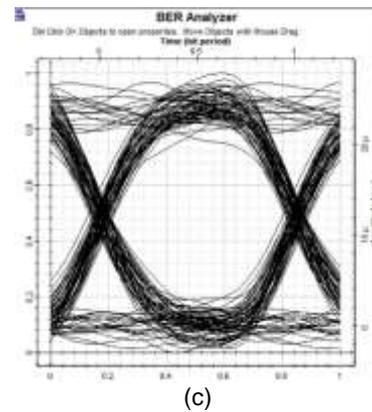
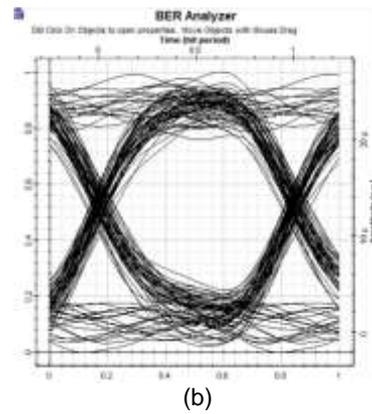
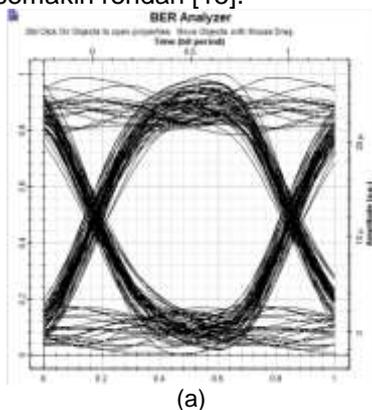


(b)

Gambar 20. Grafik Perbandingan Modulator Internal dan Modulator Eksternal pada Perubahan Nilai Daya Sinyal (a) Nilai *Q-factor* (b) BER

Perbandingan antara modulator internal dan modulator eksternal menunjukkan bahwa kinerja suatu jaringan fiber optik menggunakan modulator eksternal lebih baik daripada modulator internal. Hal itu disebabkan oleh kelemahan modulator internal dibandingkan dengan modulator eksternal adalah efek *chirping* yang cukup besar. Hal itu mengakibatkan terjadinya peningkatan efek dispersi kromatik pada serat optik menggunakan modulator internal lebih besar dibandingkan dengan modulator eksternal. Oleh karena itu, daya sinyal minimum yang dapat diperoleh pada suatu jaringan fiber optik dapat berkurang akibat efek *chirping*. Perbandingan antara modulator eksternal MZM dan EAM menunjukkan MZM memiliki kinerja lebih baik dari modulator eksternal EAM karena nilai *extinction ratio* maksimum dari EAM lebih rendah dari modulator MZM. *Extinction ratio* untuk EAM adalah 10 dB sedangkan untuk MZM adalah 30 dB [14]. Semakin besar maksimum *extinction ratio* dari modulator eksternal tersebut maka kinerjanya akan semakin baik karena *power penalty* yang dihasilkan semakin menurun [5]. Oleh karena itu, kinerja MZM lebih baik daripada EAM ditinjau dari BER dan *Q-factor*.

Perubahan *bit rate* terhadap *eye diagram* ditunjukkan pada Gambar 21. *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 sebagai konsekuensi dari efek non-linier serat dan batasan dispersi fiber optik. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah. Jitter pada *eye diagram* dihasilkan karena adanya pengaruh noise. Penurunan daya sinyal menyebabkan pengaruh peningkatan noise semakin signifikan. Hal tersebut menyebabkan nilai SNR semakin rendah [15].

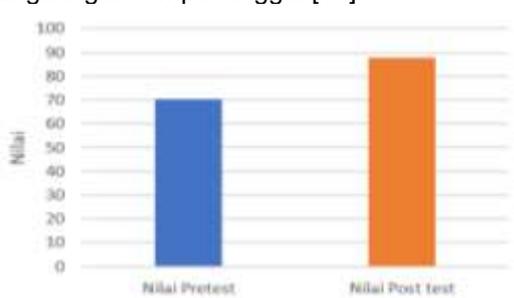


Gambar 21. Perbandingan *Eye diagram* Pengujian Daya Sinyal +7 dBm (a) Modulator Internal (b) Modulator *Mach-Zehnder*, dan (c) Modulator *Electro-Absorption*

4.2.6 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* dimana rata-rata nilai *pre-test* mahasiswa yaitu 70.5 sedangkan rata-rata nilai *post-test* mahasiswa adalah 88 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22. Hal ini menunjukkan bahwa modul praktikum perbandingan kinerja modulator optik internal dan eksternal 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 belum detail sesuai dengan teori fiber optik

khususnya mengenai praktikum praktikum modulator optik. Hal itu 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 [16].



Gambar 22. Perbandingan Nilai *Pre-test* dan *Post-test* Praktikan

kuesioner menggunakan skala likert dengan rentang skor 1 sampai dengan 5 untuk 10 butir pernyataan yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil penghitungan frekuensi observasi pada Tabel 3 menunjukkan persentase 88,2% (delapan puluh delapan koma dua persen). Persentase tersebut diperoleh dari penghitungan jumlah frekuensi observasi yaitu 441, dibagi jumlah frekuensi harapan yaitu 500, yang kemudian hasil pembagian tersebut dikalikan 100% [10].

Analisa kelayakan modul praktikum berdasarkan perhitungan skor hasil

Tabel 2. Hasil Rekapitulasi Kuesioner Praktikan

No	Aspek	Pernyataan	Sangat Tidak Setuju	Kurang Setuju	Cukup Setuju	Setuju	Sangat Setuju
1	Tampilan	Modul praktikum ini memberikan kemudahan untuk memahami jaringan fiber optik	1		1	4	4
2		Modul praktikum ini membantu mahasiswa untuk memahami secara cepat dan tepat cara menggunakan <i>Optisystem</i>	1		1	4	4
3	Penyajian Materi	Modul praktikum ini memberikan pemahaman kepada mahasiswa mengenai prinsip kerja modulator optik			1	3	6
4		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh peningkatan extinction ratio terhadap unjuk kerja DML dan MZM ditinjau dari <i>Q-factor</i> , BER dan <i>Eye diagram</i>			1	4	5
5		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh modulation index terhadap unjuk kerja EAM ditinjau dari <i>Q-factor</i> , BER dan <i>Eye diagram</i>				4	6
6		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh peningkatan bit rate terhadap unjuk kerja DML, MZM, dan EAM ditinjau dari <i>Q-factor</i> , BER dan <i>Eye diagram</i>			1	4	5
7		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh jarak transmisi terhadap unjuk kerja DML, MZM, dan EAM ditinjau dari <i>Q-factor</i> , BER dan <i>Eye diagram</i>			1	5	4
8		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh daya sinyal terhadap unjuk kerja DML, MZM, dan EAM ditinjau dari <i>Q-factor</i> , BER dan				3	7

		Eye diagram					
9	Manfaat	Setelah melihat modul praktikum ini, anda memahami materi modulator optik				3	7
10		Setelah melihat modul praktikum ini, anda memahami perbedaan antara DML, MZM, dan EAM			1	3	6

Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul praktikum berdasarkan penilaian mahasiswa masuk dalam kategori sangat layak. Oleh karena itu, modul praktikum ini 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 3. Frekuensi Penilaian oleh Mahasiswa

No. Butir	Frekuensi Observasi	Frekuensi Harapan
1	40	50
2	40	50
3	45	50
4	44	50
5	46	50
6	44	50
7	43	50
8	47	50
9	47	50
10	45	50
Jumlah	441	500

5. SIMPULAN

Hasil pengujian dari pada penelitian ini memberikan beberapa kesimpulan yang dijelaskan sebagai berikut. Nilai *extinction ratio* ketika berada pada rentang 5–15 dB akan meningkatkan kinerja, hal ini ditunjukkan pada nilai *Q-factor*, BER, dan *eye diagram* dan kinerja akan menurun ketika bernilai 20–30 dB. Pada MZM kinerja akan meningkat ketika *extinction ratio* bernilai 5–30 dB. Pada EAM, kinerja akan meningkat pada nilai *modulation index* direntang 0,1 – 0,9. Perbandingan kinerja modulator optik berdasarkan pengaruh perubahan variabel *bit rate*, jarak transmisi, dan daya sinyal menunjukkan bahwa kinerja MZM lebih baik dari EAM dan modulator internal. Berdasarkan persentase penilaian praktikan, yaitu sebesar 88,2%,

dan peningkatan pemahaman praktikan berdasarkan nilai *post-test* yang lebih tinggi daripada nilai *pre-test*, maka modul praktikum ini layak digunakan sebagai bahan ajar.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Mangiwa, A. Hambali, and B. Prasetya, "Analisa dan Simulasi Modulator Mach Zehnder Untuk Pengiriman Sinyal Informasi Video Menggunakan Teknik Modulasi BPSK dan QPSK," Telkom University, 2010.
- [2] J. Hect, *Understanding Fiber Optics*, Fourth. New York: Prentice Hall, Inc., 2001.
- [3] G. P. Agrawal, *Fiber Optic Communication System*, Third. New York: John Wiley & Sons Inc, 2002.
- [4] Gandaatmaja at al., "Analisis Simulasi Performansi Modulasi Direct Dan Eksternal Pada Jaringan FttH Dengan Gigabit Passive Optical Network (GPON)," *e-Proceeding Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 138–145, 2014.
- [5] C. Peucheret, *Direct And External Modulation Of Light*. Denmark: Technical University of Denmark, 2009.
- [6] R. Singh and D. Sharma, "Study and performance evaluation of Radio over Fiber using Mach Zehnder Modulator Study and performance evaluation of Radio over Fiber using Mach Zehnder Modulator," vol. 8, no. September, 2017.
- [7] L. Xu, "Electroabsorption Modulators Used for All- Optical Signal Processing and Labelling," *Thesis*, 2004.
- [8] S. M. J. Alam, M. R. Alam, G. Hu, and Z. Mehrab, "Improvement of Bit Error Rate in Fiber Optic Communications," vol. 3, no. 4, 2014.
- [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. Choi and P. Lyon, *Effects of Modulation Index On Telecommunications*. Washington DC: NAVAL RESEARCH Lab Washington DC, 1994.
- [12] J. M. Senior, *Optical Fiber Communications*, Third. Harlow: Pearson Education Limited, 2009.
- [13] R. Ramaswami, K. Sivarajan, and G. Sasaki, *Optical Networks: A Practical Perspective*, Third. San Fransisco: Morgan Kaufmann, 2009.
- [14] L. N. Binh, *Optical Modulation Advanced Techniques and Applications in Transmission Systems and Networks*. United States: CRC Press, 2018.
- [15] R. Hui and M. O'Sullivan, *Fiber Optic Measurement Techniques*, First. Academic Press, 2008.
- [16] H. Purnomo, "Psikologi Pendidikan," *Yogyakarta LP3M UMY*, vol. 66, 2019.