

Analisis Perbandingan Kinerja Sistem Radio Over Fiber Modulasi Optik Langsung dan Eksternal

FEBRIZAL UJANG, AINUL YAKIN

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Riau, Pekanbaru
Email : febrizal@eng.unri.ac.id

Received 17 Januari 2023 | *Revised* 7 Februari 2023 | *Accepted* 13 Februari 2023

ABSTRAK

Radio Over Fiber (ROF) adalah sistem komunikasi yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal radio frequency (RF) melalui serat optik. Kapasitas dan mobilitas jaringan akses dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan sistem ROF. Modulasi sinyal optik dapat dilakukan dengan teknik modulasi optik langsung maupun modulasi optik eksternal. Dalam jurnal ini dilakukan perbandingan kinerja dari kedua teknik modulasi optik tersebut. Input sinyal RF yang digunakan adalah sinyal RF termodulasi 4-QAM, 16-QAM, dan 64-QAM dengan frekuensi 60 GHz. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dispersi kromatik menyebabkan terjadinya penurunan daya yang sangat besar pada sinyal RF yang diterima secara berulang. Pada sistem ROF modulasi optik langsung dengan input berupa sinyal RF termodulasi 4-QAM, 16-QAM, dan 64-QAM terjadi penurunan daya pada panjang fiber yang sama yaitu pada Panjang fiber 1 dan 3 km. Pada sistem ROF modulasi optik eksternal terjadi penurunan daya pada titik yang sama yaitu pada pada panjang fiber 1 dan 3 km.

Kata kunci: *Dispersi, Modulasi Langsung, Modulasi Eksternal, QAM, ROF*

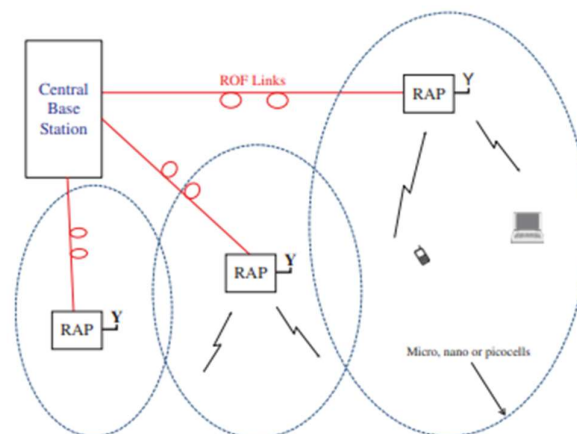
ABSTRACT

Radio Over Fiber (ROF) is a communication system used to transmit radio frequency (RF) signals through optical fiber. The capacity and mobility of access networks can be increased by utilizing ROF systems. Modulation of optical signals can be done with direct optical modulation techniques or external optical modulation. In this journal, the performance of the two optical modulation techniques is compared. The input RF signals used are 4-QAM, 16-QAM, and 64-QAM modulated RF signals with a frequency of 60 GHz. The simulation results show that chromatic dispersion causes a very large power decrease in the received RF signal repeatedly. In the direct optical modulation ROF system with input in the form of 4-QAM, 16-QAM, and 64-QAM modulated RF signals, there is a decrease in power at the same fiber length, namely at 1 and 3 km fiber length. In the external optical modulation ROF system, there is a decrease in power at the same point, namely at a fiber length of 1 and 3 km.

Keywords: *Dispersion, Direct Modulation, External modulation, QAM, ROF*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan layanan komunikasi nirkabel terus meningkat. Menurut perkiraan tim *Global Technology, Media and Telecom* (GTMT), jumlahnya global pengguna ponsel diperkirakan mencapai 7,6 miliar pada tahun 2020, naik 41% dari 5,4 miliar pengguna pada tahun 2011. Dengan kata lain, penetrasi pengguna nirkabel akan mendekati 99% dari populasi global pada tahun 2020, naik dari 87% pada tahun 2011 (**Fernando, 2014**). Alasan peningkatan permintaan ini ada dua. Pertama, ada peningkatan berkelanjutan dalam jumlah pelanggan. Kedua, permintaan *bandwidth* dari sebagian besar pelanggan ini juga menunjukkan peningkatan yang pesat, bahkan lebih tinggi dari peningkatan jumlah pelanggan. Peningkatan kebutuhan *bandwidth* pelanggan disebabkan oleh hadirnya ponsel cerdas dan tablet yang memungkinkan layanan multimedial. Infrastruktur jaringan seharusnya memberikan solusi kecepatan data tinggi yang hemat biaya, dan ada di mana-mana, untuk sejumlah besar pengguna seluler. Persyaratan ini, bagaimanapun, tidak selalu dituntut secara seragam di sepanjang jaringan (**Purwaningsih, dkk, 2018**). Semakin panjang jarak antara pemancar dan penerima nirkabel maka bit rate yang dapat didukung oleh kanal akan semakin berkurang. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk memperpendek kanal nirkabel adalah dengan memperbanyak jumlah titik akses radio (**Zheng, 2008**). Titik akses radio biasanya dihubungkan menggunakan kanal *microwave point-to-point* (**Agrawal, 2010**). Jika jumlah titik akses radio terlalu banyak, maka menghubungkan titik akses radio menggunakan kanal *microwave* menjadi tidak efektif. Teknologi *Radio over Fiber* (ROF) dapat digunakan sebagai pengganti kanal *microwave point-to-point* (**Fernando, 2014**) (**Singh, dkk, 2017**). ROF adalah teknik dimana sinyal *radio frequency* (RF) ditransmisikan melalui fiber optik untuk menyediakan layanan komunikasi nirkabel. Sistem ROF direalisasikan dengan memodulasi sinyal optik oleh sinyal RF dari jaringan nirkabel. Adapun arsitektur sistem ROF sederhana dapat dilihat pada Gambar 1 (**Fernando, 2014**), dimana sinyal RF dari *central office* (CO) pertama-tama merambat melalui fiber optik *radio access point* (RAP) dan kemudian menjangkau pengguna melalui saluran nirkabel. Modulasi sinyal optik oleh sinyal RF dapat dilakukan pada bagian amplitudo maupun fasa dari sinyal optik. Modulasi optik pada bagian amplitudo dikenal dengan *intensity modulation* (IM) (**Ma, dkk, 2007**), sedangkan modulasi fasa dikenal dengan *coherent modulation* (**Clark & Atlas, 2009**) (**Kikuchi, 2010**). Demodulasi sinyal IM dilakukan dengan metode *direct detection* (DD), sedangkan demodulasi dari *coherent modulation* dikenal dengan *coherent detection* (**Joseph & Prince, 2014**) (**Andrikogiannopoulos, 2006**).



Gambar 1. Arsitektur Sistem ROF Sederhana (Fernando, 2014)

Teknik modulasi Radio Frequency (RF) yang saat ini banyak dikembangkan adalah teknik modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). QAM dapat digunakan untuk memperoleh data rate yang tinggi pada bandwidth yang terbatas dan dapat diimplementasikan pada sistem *Radio over Fiber* (ROF) (Ali & Rhaif, 2020). Penelitian tentang sistem *Radio Over Fiber* (ROF) modulasi langsung dan eksternal ini sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu (Munshid, dkk, 2018), *Performance analysis of Radio over Fiber system using Direct and External Modulation Schemes* (Kathpal & Garg, 2017), *Design And Simulation Of External Modulation Technique Based Radio Over Fiber (RoF) Communication System* (Minshid, dkk, 2017) dan sebagainya. Adapun perbedaan dari penelitian sebelumnya ialah perancangan dari sistem ROF yang telah dibuat, dengan proses pentransmisian suatu sinyal dimana terdapat proses modulasi dan demodulasi, pada penelitian sebelumnya membandingkan kinerja dari *Phase modulation* (PM) modulasi secara langsung dan eksternal (Munshid, dkk, 2018). sedangkan pada penelitian ini membandingkan kinerja dari modulasi optik langsung dan eksternal menggunakan modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), desain sistem dan komponen yang digunakan lebih sedikit, murah dan dalam performansinya yang dihasilkan juga lebih baik.

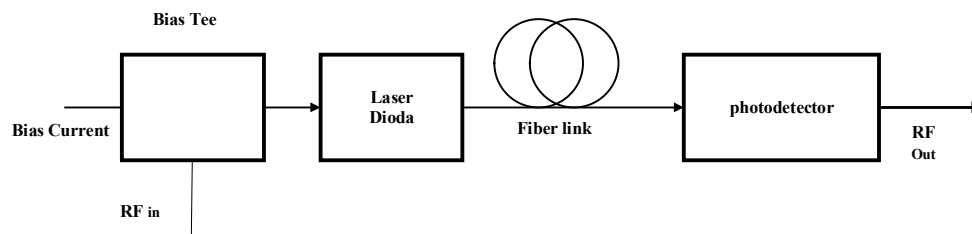
2. METODE

2.1 Modulasi RF-Optik

Modulasi sinyal pembawa optik oleh sinyal RF dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan memodulasi langsung sumber optik (yang dapat berupa dioda laser (LD) atau dioda pemancar cahaya (LED) (Christalia, dkk, 2020)) atau dengan modulasi eksternal dari sinyal optik yang telah dibangkitkan sebelumnya. Kedua teknik tersebut dapat digunakan untuk memodulasi amplitudo (intensitas atau daya) dan fase pembawa optik (Fernando, 2014) (Agrawal, 2010).

2.1.1 Modulasi Intensitas Langsung

Skema modulasi saluran *Radio Over Fiber* (ROF) dengan modulasi intensitas (IM) langsung dapat dilihat pada Gambar 2. Pada IM langsung, arus penggerak LD diubah-ubah secara langsung sesuai dengan sinyal RF pemodulasi sehingga intensitas cahaya yang dihasilkan akan berubah-ubah mengikuti sinyal RF pemodulasi. Teknik ini menghasilkan pembangkitan dan modulasi cahaya yang terjadi dalam satu langkah. Metode ini sangat sederhana, kuat, dan murah (Fernando, 2014).

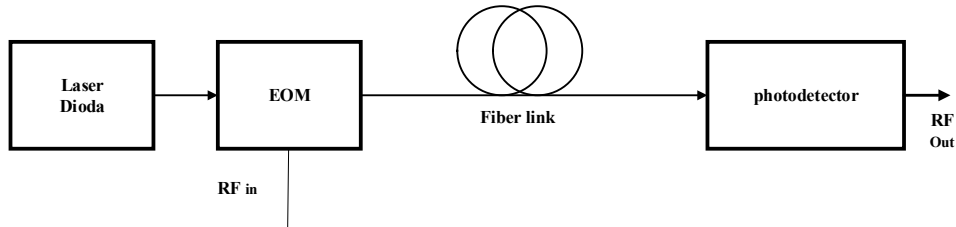


Gambar 2. Skema ROF *Direct Intensity Modulation* (Fernando, 2014)

2.1.2 Modulasi Intensitas Eksternal

Skema modulasi saluran *Radio Over Fiber* (ROF) dengan IM external ditunjukkan pada Gambar 3. Pada IM external, LD di-drive oleh arus bias konstan sehingga menghasilkan keluaran cahaya gelombang kontinyu (CW). Intensitas dari gelombang CW ini kemudian dimodulasi menggunakan *external optical modulator* (EOM) (Aji & Priyadarshini, 2018) (Singh,

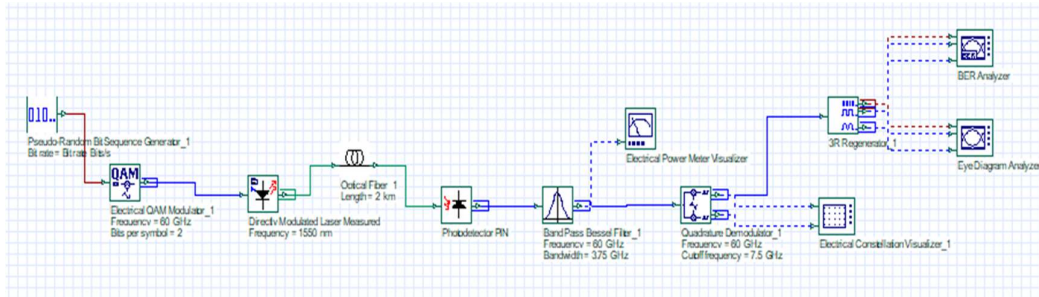
2017). Modulasi eksternal memberikan sejumlah keuntungan, oleh karena itu untuk aplikasi saluran optik dengan kinerja tinggi lebih baik jika menggunakan modulasi eksternal. Modulator eksternal yang paling banyak digunakan adalah *Mach-Zehnder interferometer* (MZI), dan *electroabsorption modulator* (EAM) (**Fernando, 2014**).



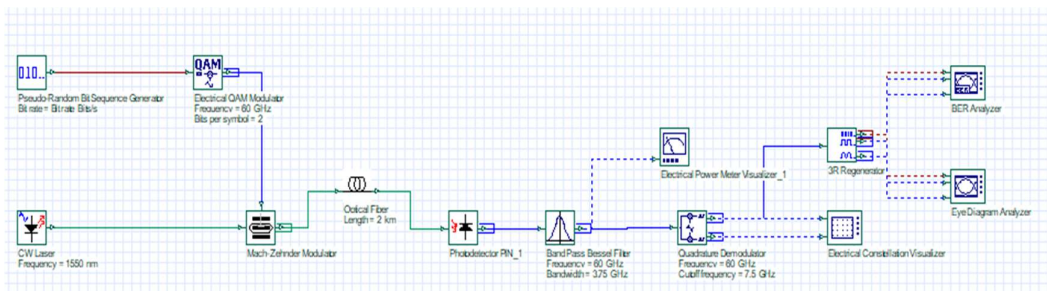
Gambar 3. Skema ROF External Intensity Modulation (Fernando, 2014)

2.2 Pemodelan Sistem ROF

Pemodelan sistem *Radio Over Fiber* (ROF) dalam jurnal ini dilakukan secara simulasi menggunakan *software OptiSystem 7.0* dengan rangkaian simulasi seperti yang dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Rangkaian simulasi terdiri atas *Pseudo-Random Bit Sequence Generator*, *Directly Modulated Laser Measured*, *QAM modulator*, *Optical Fiber*, *Photodetector PIN*, *Band Pass Bessel Filter*, *Optical Spectrum Analyzer*, 2 buah *RF Spectrum Analyzer*, *Oscilloscope Visualizer*, dan *Electrical Power Meter*, *Quadrature Modulator*, *3R generator*, *BER Analyzer* dan *Eye Diagram Analyzer* Untuk modulasi optik langsung sedangkan pada rangkaian modulasi eksternal terdiri dari *Pseudo-Random Bit Sequence Generator*, *Mach-Zehnder Modulator*, *QAM modulator*, *Optical Fiber*, *Photodetector PIN*, *Band Pass Bessel Filter*, *Optical Spectrum Analyzer*, 2 buah *RF Spectrum Analyzer*, *Oscilloscope Visualizer*, dan *Electrical Power Meter*, *Quadrature Modulator*, *3R generator*, *BER Analyzer* dan *Eye Diagram Analyzer*.



Gambar 4. Rangkaian ROF Modulasi Langsung dengan Input Sinyal RF Termodulasi QAM



Gambar 5. Rangkaian ROF Modulasi Eksternal dengan Input Sinyal RF Termodulasi QAM

Untuk mendapatkan kecepatan transfer data yang tinggi, diperlukan bandwidth yang lebar. Hal ini bisa diperoleh jika menggunakan sinyal RF pada frekuensi gelombang milimeter (antara 30 sampai 300 GHz). Pada rentang frekuensi tersebut, sinyal RF dengan frekuensi 60 GHz memberikan beberapa kelebihan yaitu: **(Insua, 2010)**.

1. Bandwidth Broadband yang tidak berlisensi (7 GHz)
2. Mempunyai pathloss dan penyerapan oksigen yang tinggi sehingga membatasi area yang kecil tanpa dinding. Hal ini memberikan keamanan yang tinggi, link yang bebas interferensi secara virtual yang memungkinkan penggunaan frekuensi berulang pada area yang kecil.
3. Ukuran antenna yang kecil sehingga dapat menjadi antenna terdistribusi dengan konfigurasi array dan integrasi on-chip.

Dengan pertimbangan tersebut, dalam jurnal ini akan dianalisa perbandingan kinerja sistem ROF dengan menggunakan modulasi optik langsung dan modulasi optik eksternal dengan input sinyal RF termodulasi QAM dengan frekuensi 60 GHz.

Setting parameter yang digunakan pada simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 1, 2 dan 3.

Tabel 1. Parameter *Optical Transmitter*

No	Nama	Nilai	Satuan
1.	<i>Frequency</i>	1550	nm
2.	<i>Daya Input</i>	10	dBm
3.	<i>Threshold current</i>	20	mA
4.	<i>Maximum current</i>	300	mA
5.	<i>Configuration</i>	<i>analog</i>	-
6.	<i>Power</i>	10	dBm
7.	<i>Extinction ratio</i>	10	dB
8.	<i>Linewidth</i>	10	MHz
9.	<i>Slope efficiency</i>	0,4	W/A

Untuk menghasilkan kinerja yang optimal, bias harus diatur pada titik tengah yang memenuhi Persamaan (1) dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 \text{Bias} &= \left(\frac{\text{max.current} - \text{threshold current}}{2} \right) + \text{threshold current} \quad (1) \\
 &= \left(\frac{300 - 20}{2} \right) + 20 = 160 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Dari data pada Tabel 1. dengan menggunakan persamaan (1) maka Bias dari Electrical QAM Modulator diatur sebesar 160 mA (0,16 a.u), sedangkan Frequency dan Phase-nya berturut-turut diatur sebesar 60 GHz dan 0 deg. Untuk menghasilkan modulasi yang sempurna, Amplitudo maksimum dari Electrical QAM Modulator yang bisa digunakan seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2) adalah:

$$\text{Max. Amplitude} = \text{Max. Current} - \text{Bias} = 300 - 160 = 140 \text{ mA} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2), amplitudo maksimum dari bisa yang digunakan adalah 140 mA (0,14 a.u). Keluaran dari Electrical QAM Modulator ini kemudian digunakan untuk menggerakkan *Directly Modulated Laser Measured*.

Di ujung fiber, sinyal optik dideteksi menggunakan Photodetector PIN dengan parameter Responsivity = 1 A/W dan Dark current = 10 nA. Untuk membuang sinyal yang tidak diinginkan, maka keluaran Photodetector PIN difilter menggunakan Band Pass bassel Filter dengan pengaturan parameter frequency = 60 GHz, Bandwidth = 10 MHz, insertion loss = 0

dB dan depth = 100 dB. Daya sinyal RF keluaran filter kemudian diukur menggunakan *Electrical Power Meter*. selanjutnya pada Tabel 2 merupakan setting parameter fiber optik.

Tabel 2. Setting Parameter Fiber Optik

No	Nama	Nilai
1.	<i>User defined reference wavelength</i>	<i>Checked</i>
2.	<i>Reference wavelength</i>	1550
3.	<i>Length</i>	0 – 5
4.	<i>Attenuation effect</i>	<i>Unchecked</i>
5.	<i>Group velocity dispersion</i>	<i>Checked</i>
6.	<i>Third-order dispersion</i>	<i>Unchecked</i>
7.	<i>Frequency domain parameter</i>	<i>Unchecked</i>
8.	<i>Dispersion</i>	17

Selain itu, selanjutnya setting parameter pada modulator eksternal *Mach-Zehnder Modulator* (MZM) yang digunakan seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Setting Parameter Modulator Eksternal (MZM)

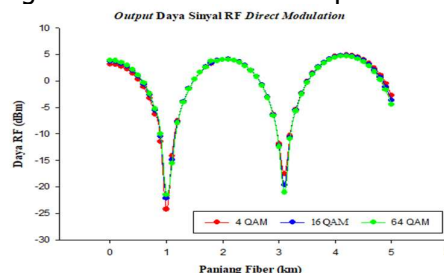
No	Nama	Nilai	Satuan
1.	<i>Extinction ratio</i>	30	dB
2.	<i>Symmetry factor</i>	-1	-
3.	<i>Frequency</i>	1550	nm
4.	<i>Power</i>	10	dBm
5.	<i>Linewidth</i>	10	MHz
6.	<i>Initial phase</i>	0	deg
7.	<i>Noise threshold</i>	-100	dB
8.	<i>Noise dynamic</i>	3	dB

3. HASIL DAN PEMBAHSAN

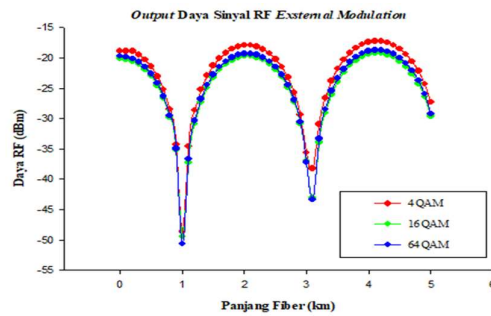
Pada bagian ini merupakan penjelasan dari bagaimana hasil dan analisa dari simulasi model sistem yang telah dilakukan. Model sistem *Radio Over Fiber* (ROF) input Radio Frekuensi (RF) menggunakan teknik modulasi langsung dan modulasi eksternal dengan QAM ini disimulasikan dengan beberapa skenario penelitian, yaitu Analisa kinerja sistem ROF input Radio Frekuensi (RF) menggunakan teknik modulasi 4-QAM, 16-QAM dan 64-QAM pada jarak transmisi 0 km sampai 5 km.

3.1 Pengukuran Daya RF Diterima

Agar daya sinyal Radio Frekuensi (RF) yang terbaca murni hanya sinyal frekuensi 60 GHz, maka pada pengukuran ini keluaran *Photodetector* difilter terlebih dahulu menggunakan *Band Pass Bessel Filter*. Daya input sinyal RF keluaran filter diukur menggunakan *Electrical Power Meter* pada panjang fiber yang diubah-ubah dari 0 sampai 5 km dengan step 0.1 km.



Gambar 7. Daya Sinyal RF yang Diterima untuk Sistem ROF Modulasi Langsung pada Panjang Fiber yang Berbeda

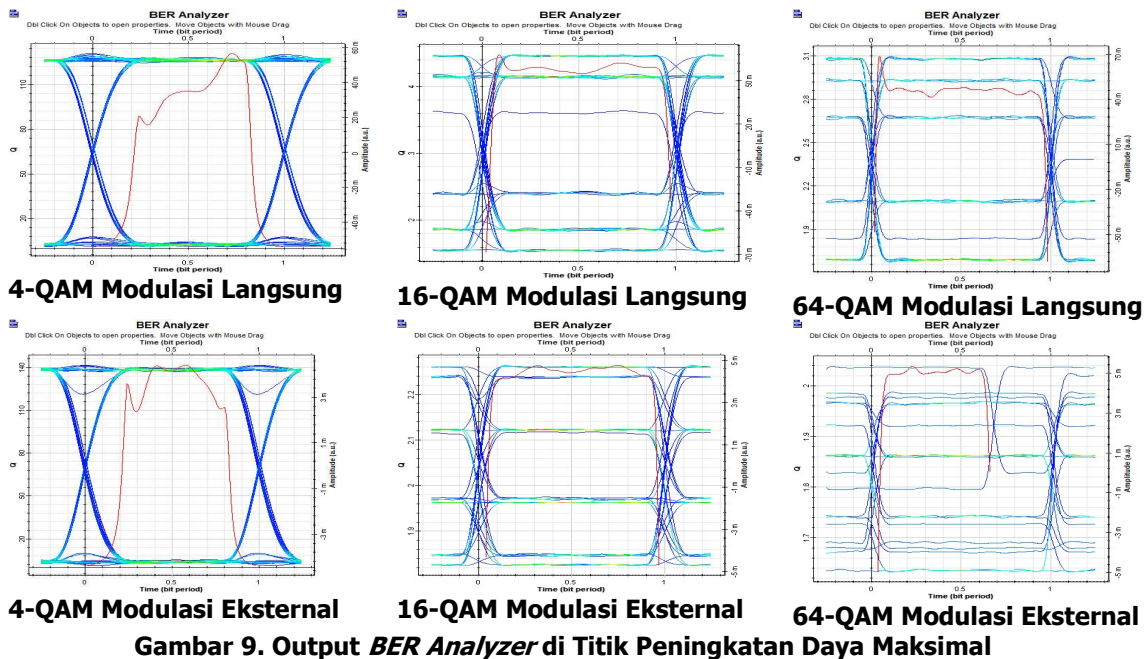


Gambar 8. Daya Sinyal RF yang Diterima untuk Sistem ROF Modulasi Eksternal pada Panjang Fiber yang Berbeda

Gambar 7 Gambar 8 merupakan grafik daya RF di sisi penerima yang menunjukkan adanya fluktuasi daya yang terjadi pada sistem ROF *Input Radio* Frekuensi (RF) dengan modulasi optik langsung dan modulasi optik eksternal menggunakan teknik modulasi 4-QAM, 16-QAM dan 64-QAM. Grafik menunjukkan fluktuasi daya terjadi setiap perubahan panjang fiber dan penurunan daya yang sangat besar terjadi pada jarak 1 dan 3 km pada modulasi langsung maupun pada modulasi eksternal. Daya sinyal RF maksimal yang diterima pada modulasi optik langsung maupun eksternal terjadi pada jarak 2 dan 4 km.

3.2 Pengukuran *Eye Diagram*

Gambar 9 dan 10 menampilkan bentuk *Eye Diagram* sinyal RF yang diterima pada sistem *Radio Over Fiber* (ROF) modulasi optik langsung dan modulasi optik eksternal pada titik dengan daya maksimal (panjang fiber 2 km) dan minimal (panjang fiber 1 km).

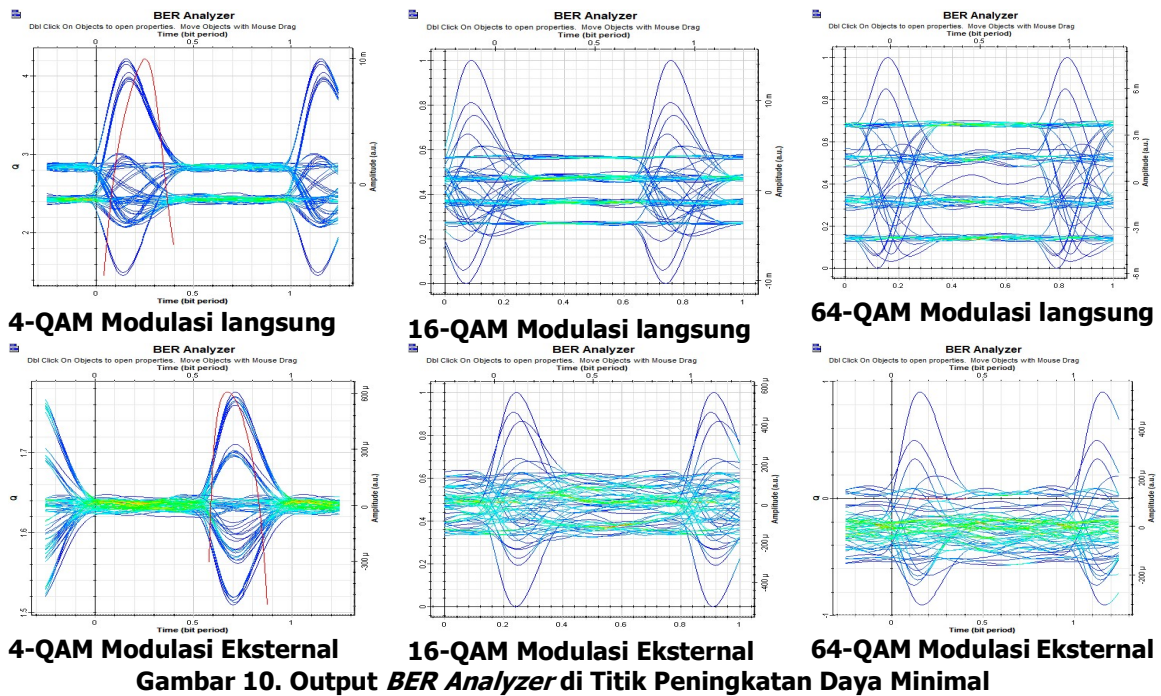


Gambar 9. Output BER Analyzer di Titik Peningkatan Daya Maksimal

Gambar 9 menunjukkan bahwa, perubahan dari adanya peningkatan daya modulasi terhadap *eye diagram* dapat dilihat dari *Eye height* dan *eye width* (Seraji & Kiaee, 2017) pada *eye diagram* apakah terdapat adanya ISI (inter symbol interference) pada jaringan fiber optik tersebut. Semakin kecil *eye height* dan *eye width* mengakibatkan adanya ISI (inter symbol

interference) yang meningkatkan sebagai konsekuensi dari efek non-linier serat dan batasan dispersi pada fiber optik. Meningkatnya ISI (inter symbol interference) menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah. Dimana jitter pada *eye diagram* menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. Peningkatan pada jitter dipengaruhi oleh distorsi sinyal pada jaringan fiber optik semakin besar. Hal itu disebabkan oleh adanya peningkatan dispersi fiber optik pada saat terjadi peningkatan modulasi. Dari penjelasan dan hasil simulasi berupa *eye diagram* diatas dapat dilihat sistem saluran *Radio Over Fiber* (ROF) dengan modulasi 4-QAM lebih unggul, dibandingkan dengan modulasi 16-QAM, dan 64-QAM.

Gambar 10 menampilkan bentuk *Eye diagram* sinyal pada sistem *Radio Over Fiber* (ROF) modulasi optik langsung dan modulasi optik eksternal pada titik daya minimal pada panjang fiber 1 km.



Gambar 10 menunjukkan perubahan dari titik daya minimal pada panjang fiber 1 km dengan modulasi terhadap *eye diagram* dapat dilihat dari bentuk diagram mata yang tidak maksimal, hal ini diakibatkan nilai BER dan Q-Faktor tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan, selain itu pada eye width, sinyal yang diterima oleh receiver mengalami error akibat interferensi yang menyebabkan penurunan kinerja yang besar yang dibutuhkan pada transmisi data. Seperti penjelasan tentang eye-diagram atau dengan kata lain *Eye height* dan *eye width* pada *eye diagram* menunjukkan adanya ISI (*inter symbol interference*) pada jaringan fiber optik. Semakin kecil *eye height* dan *eye width* mengakibatkan adanya ISI (*inter symbol interference*) meningkatkan sebagai konsekuensi dari efek non-linier serat dan batasan dispersi pada fiber optik.

3.3 Pengukuran Q-Faktor

Tabel 4 merupakan Q-faktor maksimum, untuk modulasi optik langsung dan modulasi optik eksternal dengan 4-QAM,16-QAM, dan 64-QAM pada frekuensi modulasi sinyal input radio frekuensi (RF) (60 GHz).

Tabel 4. Keluaran Simulasi Q-Faktor

Modulasi Optik Langsung			
Panjang Fiber (km)	4-QAM	16-QAM	64-QAM
0	5724,5	4,04	2,99
1	4,2	0	0
2	139,8	4,49	3,09
3	2,8	0	2,29
4	102,4	4,58	3,10
5	76,7	4,61	2,86
Modulasi Optik Eksternal			
0	1695,8	2,1	2,08
1	1,9	0	0
2	141,5	2,3	2,04
3	1,8	2,6	4,25
4	92,5	2,3	2,47
5	2,9	2,2	0

Dari Tabel 4 diatas dapat lihat bahwa penurunan Q-faktor yang sangat besar terjadi pada panjang fiber 1 dan 3 Km untuk modulasi langsung, sedangkan pada panjang fiber 1 km, 3 km dan 5 Km terjadi pada modulasi eksternal. Hal ini di sebabkan adanya fluktuasi daya yang terjadi pada kanal optik, dan mengakibatkan terjadinya dispersi pada kanal optik sehingga mengakibatkan penurunan daya pada penerima dan menghasilkan nilai Q-faktor yang kurang maksimal atau tidak sesuai dengan standar ketentuan dari Q-faktor untuk sistem ROF yaitu 10^{-9} .

3.4 Pengukuran *Bit Error Rate*

Tabel 5 Merupakan keluaran kinerja dari *Radio Over Fiber* (ROF) pada titik uji BER maksimum, untuk modulasi optik langsung dan modulasi optik eksternal dengan 4-QAM,16-QAM, dan 64-QAM pada frekuensi modulasi sinyal input radio frekuensi (RF) (60 GHz).

Tabel 5. Keluaran Simulasi BER

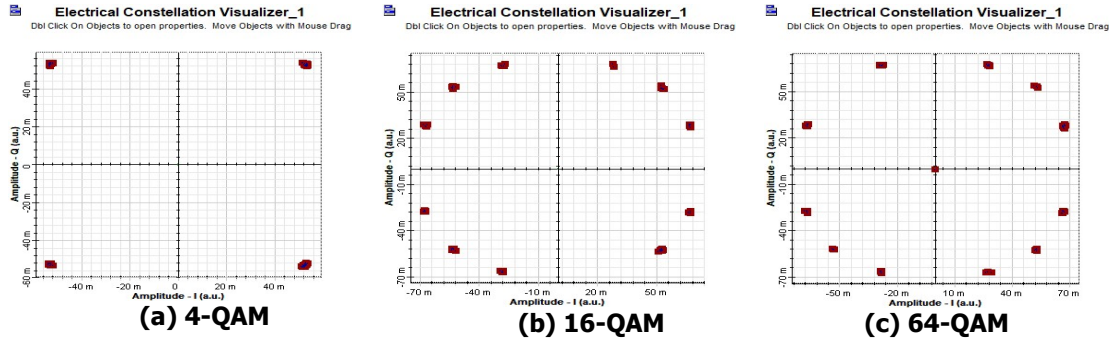
Modulasi Optik Langsung			
Panjang Fiber (km)	4-QAM	16-QAM	64-QAM
0	0	2,64e-5	0,001
1	1,22e-5	1	1
2	0	3,76e-6	0,002
3	0,0026	1	0,0006
4	0	2,29e-6	0,001
5	0	2,11e-6	0,002
Modulasi Optik Eksternal			
0	0	0,01	0,023
1	0,0332	1	1
2	0	0,013	0,021
3	0,0043	0,006	1,17e-5
4	0	0,016	0,007
5	0,0039	0,012	1

Dari tabel diatas dapat terlihat nilai *Bit Error Rate* (BER) pada hasil simulasi sistem ROF Input Radio Frekuensi (RF) modulasi optik langsung dan eksternal mempunyai kinerja yang tidak terlalu jauh berbeda. Namun pada panjang fiber 1 dan 3 km nilai BER tidak memenuhi standar yang di inginkan untuk modulasi optik langsung. Sedangkan pada panjang fiber 1 km, 3 km

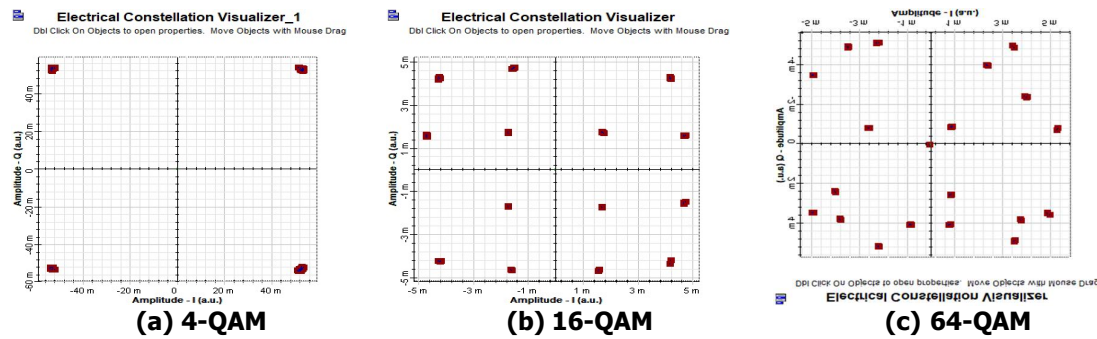
dan 5 km terlihat nilai BER pada modulasi optik eksternal juga tidak memenuhi standar yang di tentukan untuk nilai BER pada sistem *Radio Over Fiber* (ROF) yaitu 6.

3.5 Pengukuran Tingkat Kecocokan Diagram Konstelasi

Selanjutnya menampilkan bentuk diagram konstelasi pada sistem *Radio Over Fiber* (ROF) modulasi optik langsung dan modulasi optik eksternal menggunakan teknik modulasi (a) 4-QAM, (b) 16-QAM, dan (c) 64-QAM, pada titik peningkatan daya maksimum 2 km.



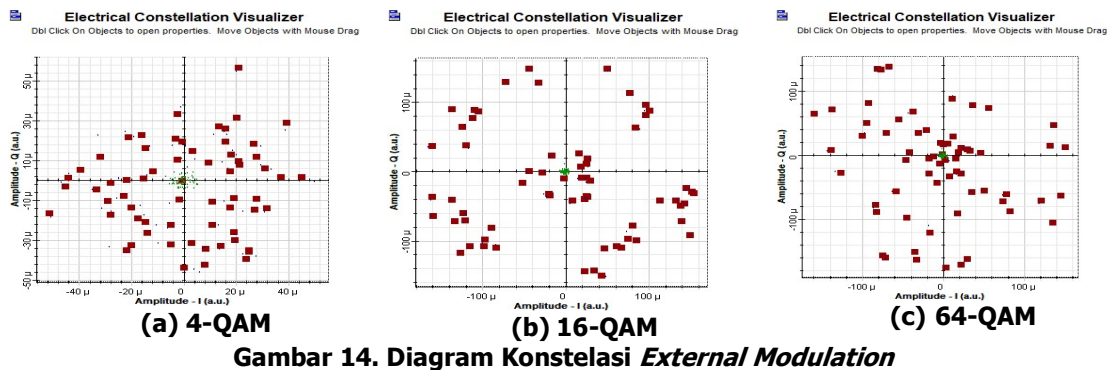
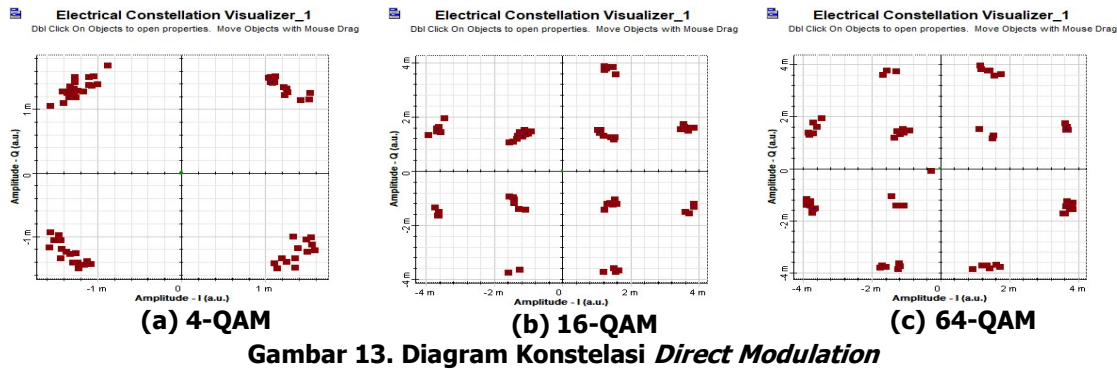
Gambar 11. Diagram Konstelasi *Direct Modulation*



Gambar 12. Diagram Konstelasi *External Modulation*

Berdasarkan hasil simulasi pengenalan pola konstelasi pada Gambar 11 dan Gambar 12 menggunakan modulasi QAM, hasilnya menunjukkan tingkat kecocokan pada tipe modulasi 16-QAM dan 64-QAM menunjukkan bahwa pola tersebut tidak dikenali atau dengan kata lain modulasinya tidak cocok. Sedangkan untuk 4-QAM pola konstelasi dapat dikenali atau modulasinya sesuai.

Gambar 13 dan Gambar 14 menampilkan bentuk diagram konstelasi pada sistem *Radio Over Fiber* (ROF) modulasi optik langsung dan modulasi optik eksternal menggunakan teknik modulasi (a) 4-QAM, (b) 16-QAM, dan (c) 64-QAM, pada titik daya minimal 1 km.



Berdasarkan hasil simulasi pengenalan pola konstelasi pada gambar 13 dan gambar 14 hasil menunjukkan tingkat kecocokan pada ketiga tipe modulasi 4-QAM, 16-QAM dan 64-QAM menunjukkan bahwa pola tersebut tidak dikenali atau dengan kata lain modulasinya tidak cocok. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan daya pada panjang fiber 1 km, yang mengakibatkan tingkat konstelasi yang di dihasilkan tidak stabil.

4. KESIMPULAN

Dalam jurnal ini dilakukan perbandingan kinerja sistem ROF dengan teknik modulasi optik langsung dan eksternal dengan input berupa sinyal Radio Frekuensi (RF) termodulasi QAM. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Sistem ROF yang menggunakan modulasi langsung dan eksternal tidak mendukung input sinyal RF dengan modulasi 16-QAM dan 64-QAM, yang ditandai dengan nilai BER dan Q-Faktor tidak memenuhi standar ROF. Nilai BER dan Q-Faktor untuk input sinyal RF dengan modulasi 16-QAM adalah $2,64e-5$ dan 4,04, sedangkan untuk 64-QAM adalah 0,001 dan 2,99 Dengan pengaturan parameter yang tepat dan dengan harga yang lebih murah, modulasi optik langsung dapat menghasilkan kinerja yang lebih baik dari modulasi optik eksternal. Pada sistem *Radio Over Fiber* (ROF) menggunakan modulasi optik langsung dan eksternal terjadi fluktuasi daya pada sinyal RF yang diterima. Penurunan daya yang sangat besar terjadi pada panjang fiber 1 dan 3 Km untuk modulasi langsung, sedangkan pada modulasi optik eksternal terjadi penurunan daya yang sangat besar pada panjang fiber 1 dan 3 km dan 5 km. Penurunan daya yang sangat besar baik pada modulasi langsung maupun eksternal menyebabkan kinerja sistem *Radio Over Fiber* (ROF) tidak memenuhi standar BER dan Q-Faktor dari ITU.T G984. Nilai BER dan Q Factor untuk sistem ROF yang menggunakan modulasi langsung pada panjang fiber 1 dan 3 km adalah $1,22e-5$ dan 0,0026 dan 4,2 dan 2,8. Sedangkan Nilai BER dan Q-Faktor untuk sistem ROF yang menggunakan modulasi eksternal panjang fiber 1 km, 3 km dan 5 km adalah 0,0332 dan 0,0043 dan 0,0039 dan 1,9 dan 1,8 dan juga 2,9. Fluktuasi nilai Q-faktor dan BER terjadi akibat adanya fluktuasi daya

sinyal RF yang diterima baik pada modulasi optik langsung dan juga pada modulasi optik eksternal. Kinerja modulasi optik langsung maupun eksternal mempunyai kinerja yang tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun modulasi optik langsung mempunyai konfigurasi yang lebih sederhana dapat menghasilkan kinerja yang tidak jauh berbeda dengan modulasi eksternal jika dilakukan setting parameter yang tepat.

DAFTAR RUJUKAN

- Agrawal, P. G. (2010). *Fiber Optic Communication Systems*. The Institute of Optics University of Rochester Rochester, New York. Wiley A John Wiley & Sons, Inc., Publication
- Aji, A., & Priyadarshini, P. (2018). *Hochschule Bremen Master of Science in Electronics Engineering Fiber Optic Test and Measurement Project Report External Optical Modulator (EOM) Submitted by : May 2017*.
- Ali, A. H., & Rhaif, S.h. (2020). Modeling and Analysis of the Receiver Performance in External OFDM-RoF Network Using QAM Modulation Modeling and Analysis of the Receiver Performance in External OFDM-RoF Network Using QAM Modulation. *IOP Conference Series*, (pp. 745 012055)
- Andrikogiannopoulos, N. I. (2006). *RF Phase Modulation of Optical Signals and Optical / Electrical Signal Processing*. Institut Teknologi Massachusetts
- Clark, P., & Atlas, L. E. (2009). Time-frequency coherent modulation filtering of nonstationary signals. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 57(11), 4323–4332.
- Christalia, W., Hambali, I. A., & Satria, R. (2020). Performansi Photodetektor Pin Dan Apd Pada Sistem Komunikasi Cahaya Tampak Di Bawah Air Dengan Pulse (Performance Of Pin Photodetector And Apd On Underwater Visible Light Communication With Pulse Position Modulation), *e-proceeding engineering*, 7(2), 4102–4108.
- Fernando, X. N. (2014). *Radio over Fiber for Wireless Communications*. Toronto, Canada. Ryerson Communications Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, Ryerson University: John Wiley & Sons,
- Insua, I. G. (2010). Optical generation of mm-wave signals for use in broadband radio over fiber systems, *Doktoringenieurs, von der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der, Technische Universität Dresden*.
- Joseph, A., & Prince, S. (2014). *Performance Analysis and Optimization of Radio over Fiber Link*. 1599–1604.
- Kathpal, N., & Garg, A. K. (2017). Performance analysis of Radio over Fiber system using Direct and External Modulation Schemes. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(4), 172–175.

- Kikuchi, K. (2010). Coherent optical modulation and demodulation. *Digest of the 9th International Conference on Optical Internet, COIN 2010*, (pp. 3–5).
- Ma, J., Yu, J., Yu, C., Xin, X., Zeng, J., & Chen, L. (2007). Fiber dispersion influence on transmission of the optical millimeter-waves generated using LN-MZM intensity modulation. *Journal of Lightwave Technology*, 25(11), 3244–3256.
- Minshid, Mohammed A. (2017). Design and simulation of external modulation technique based radio over fiber (rof) communication system. *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology*, 6(7), 1–9.
- Munshid, Mohamed A, Rasool, Q. A., & Kadhim, S. A. (2018). *Design And Comparison Between Direct And External Modulation Of Radio Over Fiber (Rof) Communication System*. 30(1), 37–43.
- Purwaningsih, H.E., Diah Kusumawati, Awangga Febian, Agung Rahmat Dwiardi, Raden Muhammad Agung Harimurti Purnomojati, Badar Agung Nugroho, Sri Wahyuningsih, Christiany Juditha, Qur'ani Dewi Kesumawardani, Krismassion Prihationo, Maulia Jayantina Islami, Nurlia Hikmah, Reza Bastanta Sitepu, Renyta Siregar (2018). *Rencana Pengembangan Sdm Tik Di Indonesia Melalui Sertifikasi Skkni Bidang Kominfo: indonesia. Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Informatika Badan Penelitian dan Pengembangan SDM Kementerian Komunikasi dan Informatika*.
- Seraji F. E., & M. S. Kiaee,(2017) "Eye-Diagram-Based Evaluation of RZ and NRZ Modulation Methods in a 10-Gb/s Single-Channel and a 160-Gb/s WDM Optical Network," dalam *International Journal of Optics and Application*, 7(2), pp. 31-36.
- Singh, R., Ahlawat, M., & Sharma, D. (2017). [1-4] A Review on Radio over Fiber communication System. *International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM)*, 5(4), 2455–6211.
- Zheng, R. (2008). Asymptotic bounds of information dissemination in power-constrained wireless networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 7(1), 251–259.