

SIMULASI JARINGAN RADIO OVER FIBER (RoF) DENGAN MENGIMPLEMENTASIKAN ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) PADA ARSITEKTUR PON

RADIO OVER FIBER (RoF) NETWORK SIMULATION BY IMPLEMENTING ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) ON ARCHITECTURE PON

Winda Ika Syukrina¹, Ir. Akhmad Hambali, M.T², M. Irfan Maulana, S.T., M.T³

1,2,3,Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹windaika23@gmail.com, ²akhmad.hambali@gmail.com,

³muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Sistem komunikasi serat optik mengalami perkembangan yang sangat pesat begitu juga dengan sistem komunikasi nirkabel, perpaduan antara *Radio over Fiber* (RoF) dan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dapat menghasilkan *data rate* yang tinggi dengan *bandwidth* yang rendah dalam teknologi jaringan nirkabel. Pada Tugas Akhir ini perancangan sistem mencakup tiga bagian utama yaitu bagian *transmitter*, *link transmitter* dan bagian *receiver* yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak simulator. Didalam penelitian ini analisis dilakukan hanya pada sisi *downstream* dengan bitrate sebesar 10Gbps, modulasi yang digunakan 4-QAM dengan menggunakan *radio frekuensi* sebesar 7,5 GHz sinyal radio dimodulasi menggunakan *Mach Zehnder Modulator* (MZM) dengan jarak maksimum link sistem ditransmisikan sejauh 100 Km menggunakan serat *Single Mode Fiber* (SMF). Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa jarak serat optik dan variasi *Power Splitter* (PS) mempengaruhi performansi, dimana semakin panjang jarak dan besarnya jumlah variasi PS maka nilai BER semakin besar. Dimana hasil simulasi menggunakan PS 1:2 dengan nilai BER $5,3 \times 10^{-9}$ memenuhi sampai pada jarak 60 km, PS 1:4 dengan nilai BER $7,645 \times 10^{-13}$ memenuhi sampai pada jarak 40 km, PS 1:8 dengan nilai BER $1,49 \times 10^{-14}$ memenuhi sampai pada jarak 20 km, PS 1:16 dengan nilai BER $1,8 \times 10^{-9}$ memenuhi sampai pada jarak 20 km. Diagram konstelasi mengalami penurunan amplitudo dan penyebaran simbol pada nilai *Real* (Q) dan *Imajiner* (I) dalam setiap penambahan jarak.

Kata kunci : RoF, OFDM, PON

ABSTRACT

Fiber optic communication systems are experiencing rapid growth, as well as wireless communication systems. The combination of Radio over Fiber (RoF) and Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) can generate high data rate with low bandwidth in the latest wireless network technology. In this Final Project, the system design includes three main parts, namely transmitter section, link transmitter and receiver section which are simulated using simulator software. In this study analysis is carried out only on the downstream side with a bitrate of 10Gbps, the modulation used by 4-QAM using a radio frequency of 7.5 GHz, radio signals modulated using Mach Zehnder Modulator (MZM) with a maximum link distance system transmitted as far as 100 Km using Single Mode Fiber (SMF) fiber. Based on the results of the study it can be concluded that the distance of optical fibers and variations in Power Splitter (PS) affect performance, where the longer the distance and the number of variations of PS, the greater the BER value. Where the simulation results using PS 1: 2 with a BER value of 5.3×10^{-9} meets up to a distance of 60 km, PS 1: 4 with a BER value of 7.645×10^{-13} meets up to a distance of 40 km, PS 1: 8 with a BER value of $1,49 \times 10^{-14}$ meets up to a distance of 20 km, PS 1:16 with a BER value of 1.8×10^{-9} meets up to a distance of 20 km. The constellation diagram has a decrease in the amplitude and spread of symbols in the Real (Q) and Imaginary (I) values in each additional distance.

Keywords: RoF, OFDM, PON

1. Pendahuluan

Kebutuhan data berkecepatan tinggi dengan kapasitas *bandwidth* yang lebar telah menjadi kemajuan teknologi terkini dalam jaringan akses. Integritas dari jaringan komunikasi nirkabel dan jaringan serat optik telah memberikan beberapa keuntungan yang besar seperti, kecepatan data yang tinggi, *bandwidth* yang lebar dan penggunaan daya yang rendah. Salah satu teknik yang menjanjikan untuk mendukung *data rate* dan *bandwidth* yang lebar yaitu dengan menggunakan *Passive Optical Network* (PON). *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) adalah teknik praktis yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengiriman bit-bit informasi dengan kecepatan data yang lebih tinggi. OFDM yang digunakan dalam jaringan serat optik akan lebih efektif dalam menghadapi kerentanan *noise* diudara karena ditransmisikan kedalam serat optik [1].

Berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari sistem *transmisi* gelombang radio (nirkabel) dan sistem transmisi melalui kabel maka, muncul suatu wacana untuk menggabungkan kedua sistem transmisi tersebut

dengan harapan akan diperoleh suatu sistem transmisi baru yang lebih baik dari pada keduanya, sistem tersebut dikenal sebagai *Radio Over Fiber* (RoF). *Radio Over Fiber* (RoF) merupakan suatu proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik sebagai media perantara yang memperoleh kecepatan transmisi yang lebih besar dibandingkan ketika dilakukan transmisi secara langsung. Dengan keunggulan yang dimiliki oleh OFDM maka didalam penelitian ini dilakukan pembuatan simulasi serta analisis performansi jaringan *Radio Over Fiber* (RoF) dengan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada arsitektur *Passive Optical Network* (PON), dengan jarak maksimum 100 Km sesuai dengan standar *Long-Reach Passive Optical Network* (LR-PON). Pada penelitian ini jarak pengukuran dimulai dengan jarak 20km, 40km, 60km, 80km dan 100km dengan variasi splitter yang digunakan yaitu 1:2, 1:4, 1:8 dan 1:16, berdasarkan standart ITU-T digunakan bitrate 10 Gbps. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuktikan keefektifan RoF – OFDM – PON serta menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya *fleksibel* dan hemat biaya namun juga menyediakan *data rate* yang signifikan.

2. Teori Dasar

2.1 OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

2.1.1 Pengertian OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

OFDM merupakan kepanjangan dari *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* yakni suatu sistem transmisi data yang melewati sejumlah data kedalam subcarrier sempit yang saling *orthogonal*. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dapat pula disebut sebagai metode modulasi *multicarrier* atau kombinasi dari modulasi dan multiplexing [2].

2.2 *Radio Over Fiber* (RoF)

2.2.1 Pengertian *Radio Over Fiber* (RoF)

Radio Over Fiber (RoF) merupakan suatu proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik. Saat ini kebutuhan industri menuntut efisiensi dengan menggunakan kabel serat optik sebagai medium perantara maka akan diperoleh kecepatan transmisi yang lebih besar dibandingkan ketika dilakukan transmisi secara langsung. Selain itu dengan menggunakan kabel serat optik dapat menghemat biaya serta menambah performansi untuk high speed fiber berdasarkan akses nirkabel [3].

2.3 *Passive Optical Network* (PON)

Passive Optical Network (PON) merupakan solusi jaringan akses broadband yang menjanjikan dengan konfigurasi yang sederhana dan hemat dalam penggunaan daya, sesuai dengan namanya jaringan ini tidak menggunakan perangkat aktif dibagian distribusinya atau diantara kantor pusat (sentral) dan lokasi pelanggan. Perangkat aktif dalam jaringan ini hanya berada dikantor pusat (sentral) dan dilokasi pelanggan. Dari kantor pusat (sentral) Single Mode Fiber (SMF) melalui power splitter pasif dengan ratio 1:N dimana setiap keluaran port power splitter terhubung ke pelanggan menggunakan SMF masing – masing [4].

2.4 Parameter Performansi

Terdapat beberapa parameter pengujian pada penelitian ini antara lain yaitu *Link Power Budget*, *Signal to Noise Ratio*, Q-factor, *Bit Error Rate*, *Rise Time Budget*, Konstelasi diagram, berikut penjelasan terhadap parameter tersebut:

2.4.1 *Link Power Budget* (LPB)

Link power budget berfungsi untuk mengetahui batasan redaman total yang diizinkan sesuai dengan daya pancar dan sensitifitas penerima. Redaman total ini berasal dari redaman serat optik, jumlah konektor yang digunakan, dan jumlah splice yang ada.

2.4.2 *Signal to Noise Ratio* (SNR)

SNR merupakan hasil perbandingan dari daya sinyal *transmisi* terhadap daya noise yang terdapat pada sistem. Nilai SNR [5] dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan.

2.4.3 Q-Factor dan *Bit Error Rate*

Dalam sistem komunikasi serat optik, minimal ukuran Q-Factor yang bagus adalah 6 atau 10^{-9} .

2.4.4 *Rise Time Budget* (RTB)

Pada rise time besar sistem tidak boleh lebih dari 70% data NRZ (Non Return Zero) atau 35% data RZ (Return Zero), NRZ dan RZ merupakan jenis line coding.

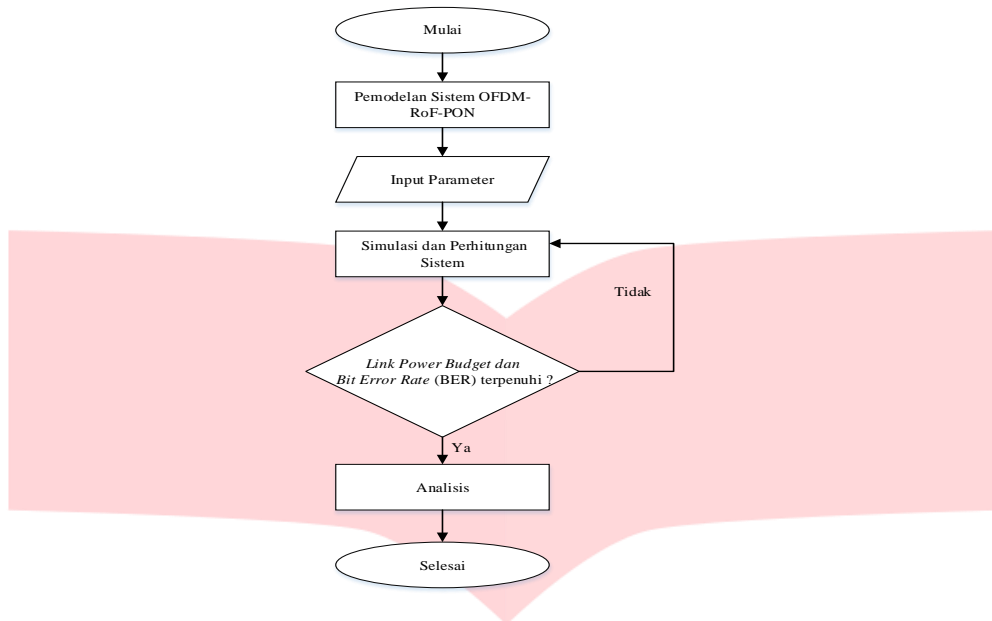
2.4.5 Diagram Konstelasi

Diagram konstelasi adalah sebuah penggambaran vektor yang merepresentasikan proyeksi kompleks dari sinyal berupa amplitudo dan fasa sinyal yang ditransmisikan oleh modulator pada arah sumbu tegak lurus.

3. Perancangan Model Sistem

3.1 Diagram Alir penelitian

Dibawah ini adalah diagram alir proses perencanaan simulasi pemodelan sistem OFDM – RoF – PON



Gambar 1 Diagram Alir Perancangan Simulasi

3.2. Parameter Simulasi

Tabel 1 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai	Satuan
Bit Rate	10	Gbps
Time Window	1.e-009 s	S
Sequence Length	2048	Bits
Sample per Bit	64	-
Number of sample	131072	-

3.2.1 Parameter Transmitter

Tabel 2 Parameter Optical Line Terminal (OLT)

Parameter	Nilai	Satuan
Wavelength	1575	nm
Power	0	dBm
Linewidth	5	MHz
Radio Frekuensi	7,5	GHz
Jumlah Subcarrier	512	-

3.2.2 Parameter Link Transmitter

Tabel 3 Parameter Optical Distribution Network (ODN)

Parameter	Nilai	Satuan
Reference Wavelength	1550	nm
Length	100	Km
Attenuation	0.2	dB/Km
Dispersion	16,7	Ps/nm/Km
Dispersion Slope	0,075	Ps/nm ² /km
Power Splitter	1:2 , 1:4, 1:8, 1:16	-

3.2.3 Parameter Receiver

Tabel 4 Parameter Optical Network Unit (ONT)

Parameter	Nilai	Satuan
Responsivity	0,8	A/W
Multiplikasi	10	-
Dark Current	10	nA
Center Wavelength	15575	Nm
Cut-off Radio Frekuensi	6	GHz

3.3 Skenario Penelitian

Skenario pertama mengenai pemilihan link serat optik sebagai *transmisi radio frekuensi* menggunakan *external modulated laser Mach-Zehnder Modulator* (MZM) untuk ditransmisikan melalui sinyal optik dimana jarak link system RoF-OFDM-PON ditransmisikan sejauh 100 Km dengan menggunakan serat *Single-Mode Fiber* (SMF). Jarak dari *Power Splitter* menuju ONU akan diubah-ubah dimulai dari 20 Km, 40 Km, 60 Km, 80 Km dan 100 Km. Skenario kedua yaitu adanya Variasi *Power Splitter* (PS) yaitu 1:2, 1:4, 1:8, dan 1:16. Jarak antara *Mach-Zehnder Modulator* (MZM) ke PS adalah 100 km dan diubah-ubah sesuai skenario pertama. Sebelum dilakukan skenario tersebut akan dilakukan perhitungan secara matematis yang meliputi, *Rise Time Budget* (RTB), *Link Power Budget* (LPB), *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Q-Factor* dan *Bit Error Rate*.

3.4 Perhitungan Performansi Model Sistem

3.4.1 Perhitungan Rise Time Budget (RTB)

Berikut adalah contoh perhitungan manual RTB jarak 20 Km dengan nilai $d_{mat} = 16 \text{ ps/nm.km}$, *Bit rate* = 10 Gbps dengan format NRZ sebagai berikut :

$$t_r = \frac{0,7}{Br} = \frac{0,7}{1 \times 10^9} = 0,07 \text{ ns}$$

Menentukan *rise time material*

$$T_{material} = \Delta\sigma \times L \times D \lambda$$

$$= 0,05 \text{ nm} \times 20 \text{ km} \times 0,0016 \frac{\text{ns}}{\text{nm}} \cdot \text{km} = 1,6 \times 10^{-3}$$

$T_{modus} = 0$, karena jenis serat optik *single mode*

$$T_{system} = \sqrt{(0,0025)^2 + (0,035)^2 + (0,016)^2}$$

$$= 0,0385649 \text{ ns}$$

Dari hasil perhitungan NRZ jarak 20 Km memenuhi karena besar *rise time* sistem tidak lebih besar dari 70% data NRZ, maka *rise time budget* layak dengan bit rate sebesar 10 Gbps. Perhitungan secara lengkap untuk keseluruhan jarak akan dijelaskan pada lampiran 1.

Berikut adalah perhitungan manual RTB jarak 20 Km dengan nilai $d_{mat} = 16 \text{ ps/nm.km}$, *Bit rate* = 10 Gbps dengan format RZ sebagai berikut:

$$t_r = \frac{0,35}{Br} = \frac{0,35}{10 \times 10^9} = 0,035 \text{ ns}$$

Menentukan *rise time material*

Laser Wavelength = 1575 nm

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta f \times \lambda^2}{c} = \frac{5 \times 1575^2}{3 \times 10^8} = 4.13 \times 10^{-5} \text{ nm}$$

$L = 20 \text{ km}$

$D_{mat} = 0,0016 \text{ ps/nm/km}$

$$t_{tx} = 20\% \ 35 \text{ ps} = 7 \text{ ps} = 0,007 \text{ ns}$$

$$t_{rx} = 20\% \ 150 \text{ ps} = 30 \text{ ps} = 0,03 \text{ ns}$$

$T_{material} = \Delta\sigma \times L \times D_{mat}$

$$= 0,0000413 \text{ nm} \times 20 \text{ km} \times 0,0016 \frac{\text{ns}}{\text{nm}} \cdot \text{km} = 1,32 \times 10^{-6} \text{ ns}$$

$T_{modus} = 0$ (nol) karena jenis serat optik *single mode*.

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

$$T_{system} = \sqrt{(0,007)^2 + (0,0000132)^2 + (0)^2 + (0,03)^2}$$

$$= 0,0308 \text{ ns}$$

Dari hasil perhitungan RZ jarak 20 Km memenuhi karena besar *rise time* sistem tidak lebih dari 35% data RZ, maka *rise time budget* layak dengan bit rate sebesar 10 Gbps.

3.4.2 Link Power Budget (LPB)

Data-data yang digunakan pada perhitungan antara lain :

- | | |
|---|---------------|
| a. Daya keluaran Laser (P_{TX}) | : 0 dBm |
| b. Sensitivitas detektor (APD) | : -29 dBm |
| c. Redaman Serat Optik G.655 (α_f) | : 0,2 dB / km |
| d. Redaman <i>Spiltter</i> 1x2 (α_{spt}) | : 3,01 dB |
| e. Redaman Sambungan (α_{spl}) | : 0,1 dB |
| f. Redaman Konektor (α_c) | : 0,2 dB |
| g. Jumlah Sambungan (N_{spl}) | : 4 buah |
| h. Jumlah Konektor (N_c) | : 2 buah |
| i. Margin System (MS) | : 6 dB |

Berikut adalah Perhitungan *Link Power Budget* OFDM-ROF-PON pada jarak 20 Km untuk Splitter 1 : 2 yaitu :

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_f + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + \alpha_{spt} + MS$$

$$= (20 * 0,2) + (2 * 0,2) + (4 * 0,1) + 3,01 + 6 = 13,81 \text{ dB}$$

$$P_{LASER} = 0 \text{ dBm}$$

$$Prx = Ptx - \alpha_{tot}$$

$$Prx = 0 - 13,81$$

$$Prx = -13,81 \text{ dBm}$$

Karena P_{R_x} dengan nilai -13,81 dBm lebih besar dari pada Sensitivitas Photodetector dengan nilai -29 dBm, maka *Link Power Budget* pada jarak 20 Km untuk *splitter* 1:2 terpenuhi.

3.4.3 Signal Noise to Ratio (SNR)

Berikut adalah hasil perhitungan SNR *splitter* 1:2, perhitungan secara lengkap untuk keseluruhan jarak akan dijelaskan pada lampiran 2. Dibawah ini adalah perhitungan SNR power *splitter* 1:2 pada jarak 20 km yaitu:

$$SNR = \frac{(Pr.R.M)^2}{2.q.Pr.R.M^2.F(M).Be + \frac{4.K_B.T.B_e}{R_L}}$$

$$= \frac{(4.15911x10^{-5} * 0.85*10)^2}{2*1.60x10^{-19}*4.15911x10^{-5} * 0.85*10^2*5.545*2x10^{10} + \frac{4*1.38x10^{-23}*300*2x10^{10}}{30}}$$

$$= 59,23266 \text{ dB}$$

3.4.4 Bit Error Rate dan Q factor

Berikut adalah perhitungan BER dan Q faktor pada OFDM-ROF-PON pada jarak 20 Km untuk *Splitter* 1:2 yaitu :

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{2}}}{2} = \frac{10^{\frac{59.23266}{2}}}{2} = 457.7232$$

Perhitungan BER pada panjang link 20 Km dengan Power Splitter (PS) yaitu: $= \frac{\exp\left(\frac{-457.7232^2}{2}\right)}{457.7282\sqrt{2\pi}} = 0.00E+00$

4 Simulasi dan analisis Sistem

4.1 Analisis Hasil Perhitungan Matematis

Pada penelitian ini perhitungan matematis bertujuan untuk mendapatkan data empiris dan untuk melihat komposisi dari setiap parameter apakah berhasil mendapatkan nilai performansi yang sudah di standarkan oleh ITU-T yaitu dengan nilai BER maksimum 10^{-9} atau $1E-9$. Selain BER, nilai Standar Q factor > 6 dan SNR diatas 20 dB. Berikut adalah hasil perhitungan SNR, Q-factor dan BER power *splitter* 1:2.

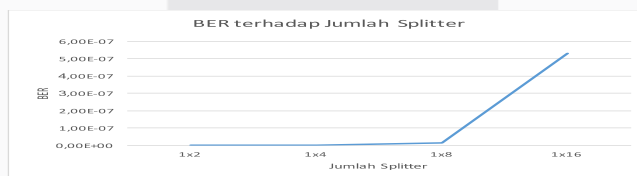
Tabel 5 Perhitungan SNR, Q-factor dan BER pada power *splitter* 1:2

Splitter 1:2 Jarak (Km)	Downstream		
	SNR (dB)	Q-Factor	BER
20 Km	59.23267	457.7236	0.00E+00
40 Km	55.05924	283.0948	0.00E+00
60 Km	43.37579	73.74954	0.00E+00
80 Km	29.51967	14.96076	6.63 x 10 ⁻⁵¹
100 Km	13.64356	2.405182	0.008082

4.2 Performansi Bit Error Rate (BER)

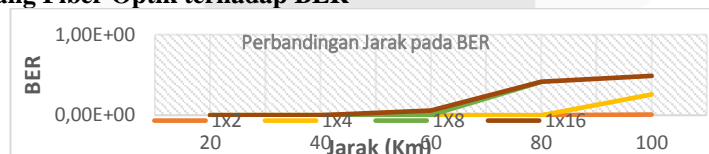
4.2.1 Pengaruh Jumlah Splitter terhadap BER

Jumlah *Splitter* yang akan dimodulasi OFDM mempengaruhi performansi dari Gambar 2 dapat dilihat pengaruh jumlah *Splitter* terhadap BER



Gambar 2 Pengaruh *Splitter* terhadap BER

4.2.2 Pengaruh Panjang Fiber Optik terhadap BER

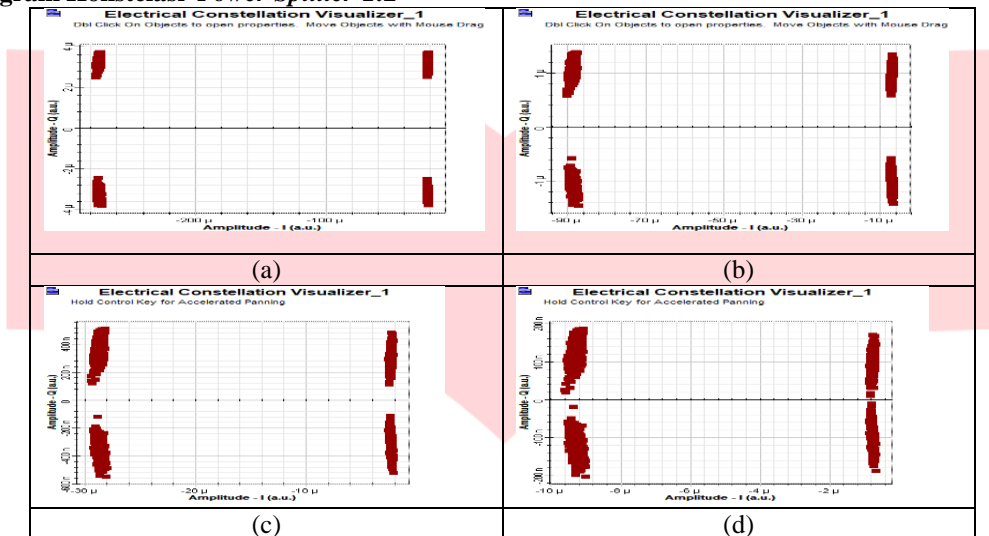


Gambar 3 Grafik pengaruh jarak fiber optik terhadap BER

Penggunaan *Splitter* 1:2 dengan nilai BER $5,3 \times 10^{-9}$, sampai jarak 60 km. *Splitter* 1:4 BER dengan nilai BER $5,3 \times 10^{-9}$, sampai jarak 60 km. *Splitter* dengan 1:8 dengan nilai BER $7,64 \times 10^{-12}$, sampai jarak 40 km. *Splitter* dengan 1:16 dengan nilai BER $1,8 \times 10^{-9}$, sampai jarak 20 km. Diagram konstelasi mengalami penurunan amplitudo dan penyebaran simbol pada nilai *Real* (Q) dan *Imajiner* (I) setiap penambahan jarak.

4.3 Hasil Simulasi Diagram Konstelasi

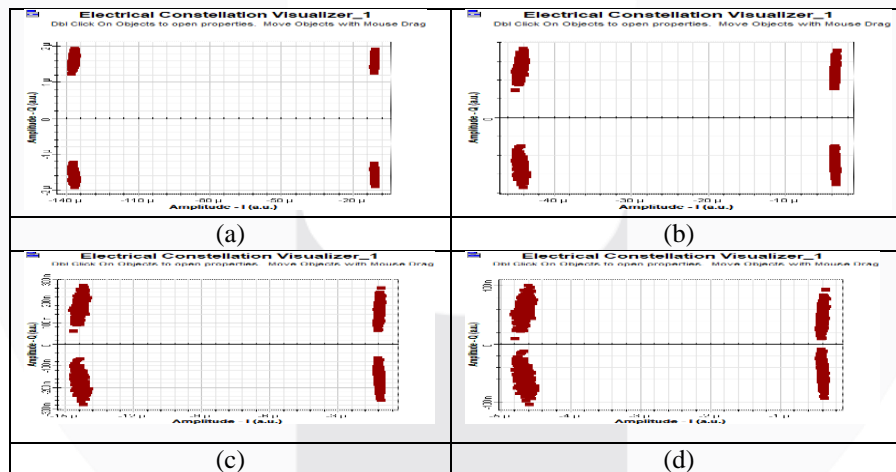
4.3.1 Diagram Konstelasi *Power Splitter* 1:2



Gambar 4 Diagram konstelasi untuk *splitter* 1:2 pada jarak (a) 20 Km, (b) 40 Km, (c) 60 Km dan (d) 80 Km

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin panjang serat optik maka penyebaran simbol-simbol semakin tidak linear. Hal ini tersebut berpengaruh terhadap performansi jaringan optik. Jarak yang semakin panjang memiliki nilai redaman dan serat kabel *imperfect* yang semakin buruk untuk sistem komunikasi optik. Amplitudo terbesar dapat dilihat pada jarak 20 Km dengan nilai tertinggi $3,8 \mu$ (a.u) disusul dengan $1,4 \mu$ (a.u) pada jarak 40 Km selanjutnya pada jarak 60 Km nilai tertinggi 520 n (a.u) dan terakhir pada jarak 80 Km nilai amplitudo tertinggi 190 n (a.u).

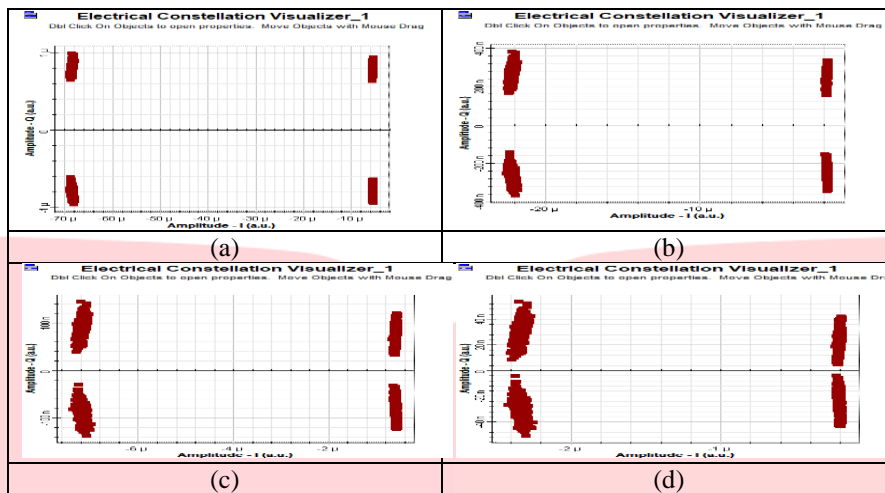
4.3.2 Diagram Konstelasi *Power Splitter* 1:4



Gambar 5 Diagram konstelasi untuk *splitter* 1:4 pada jarak (a) 20 Km, (b) 40 Km, (c) 60 Km dan (d) 80 Km

Gambar 5 memperlihatkan amplitudo terbesar berada pada jarak 20 km dengan nilai tertinggi 2μ (a.u) disusul dengan $0,8 \mu$ (a.u) pada jarak 40 km selanjutnya jarak 60 km dengan nilai 280 n (a.u) dan terakhir pad ajarak 80 km dengan amplitudo 100 n (a.u). Hal tersebut mempengaruhi terhadap performansi jaringan optik. Jarak yang semakin panjang, memiliki nilai redaman dan serat kabel *imperfect* yang semakin buruk untuk sistem komunikasi optik.

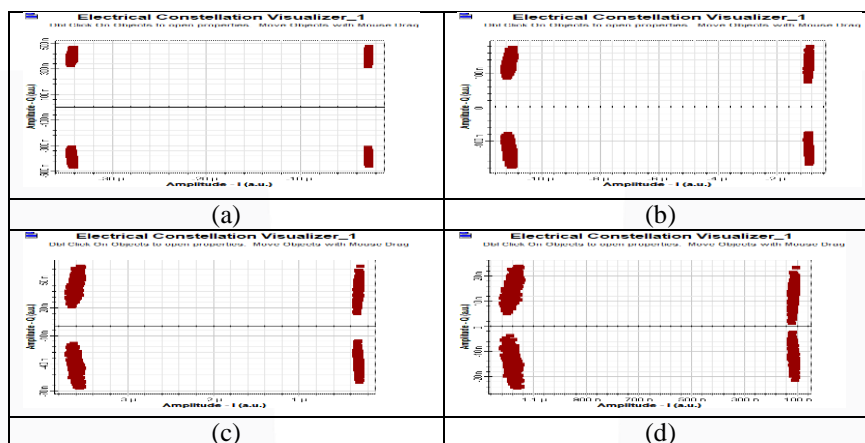
4.3.3 Diagram Konstelasi *Power Splitter* 1:8



Gambar 6 Diagram konstelasi untuk *splitter* 1:8 pada jarak (a) 20 Km, (b) 40 Km, (c) 60 Km dan (d) 80 Km

Gambar 6 memperlihatkan amplitudo terbesar berada pada jarak 20 km dengan nilai tertinggi 1μ (a.u) disusul dengan 360 n (a.u) $0,8 \mu$ (a.u) pada jarak 40 km selanjutnya jarak 60 km dengan nilai 140 n (a.u) dan terakhir pada jarak 80 km dengan amplitudo 56 n (a.u).

4.3.4 Diagram Konstelasi *Power Splitter* 1:16



Gambar 7 Diagram konstelasi untuk *splitter* 1:16 pada jarak (a) 20 Km, (b) 40 Km, (c) 60 Km dan (d) 80 Km

Gambar 7 memperlihatkan bahwa amplitudo terbesar dapat dilihat pada jarak 20 Km dengan nilai tertinggi 480 n (a.u) disusul dengan 180 n (a.u) pada jarak 40 Km selanjutnya pada jarak 60 Km nilai tertinggi 68 n (a.u) dan terakhir pada jarak 80 Km nilai amplitudo tertinggi 24 n (a.u).

5. Kesimpulan & Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada simulasi penelitian yang sudah dilakukan terhadap OFDM-ROF-PON maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin panjang jarak serat optik dan besarnya variasi *power splitter* mempengaruhi performansi, hal ini dapat diketahui dengan semakin besarnya nilai *Bit Error Rate* (BER) yang diperoleh.
2. Berdasarkan variasi jarak dan *power splitter* didapatkan hasil yaitu penggunaan *power splitter* 1:2 memenuhi hingga jarak 60 Km dengan nilai BER $5,3 \times 10^{-9}$, penggunaan *power splitter* 1:4 memenuhi hingga jarak 40 Km dengan nilai BER $7,64 \times 10^{-13}$, penggunaan *power splitter* 1:8 memenuhi hingga jarak 20 Km dengan nilai BER $1,49 \times 10^{-14}$, penggunaan *power splitter* 1:16 memenuhi hingga jarak 20 Km dengan nilai BER $1,8 \times 10^{-9}$.
3. Semakin panjang jarak serat optik nilai *Q-Factor* dan SNR semakin rendah hal tersebut terjadi pada setiap variasi *power splitter* dimana nilai *trend* yang paling kecil dimiliki oleh *power splitter* 1:16.
4. Diagram konstelasi mengalami penurunan amplitudo dan penyebaran simbol pada nilai Real (Q) dan *Imajiner* (I) pada setiap penambahan jarak.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya, model jaringan *Radio Over Fiber* (RoF) dengan menggunakan teknik multiplexing OFDM pada arsitektur *Passive Optical Network* (PON) dapat dikembangkan untuk transmisi *bidirectional* yaitu untuk *upstream* dan *downstream*.
2. Model OFDM-RoF-PON dapat dirancang pada perangkat lunak lain seperti, Matlab Simulink atau Linux NS2.
3. Model sistem proyek ini hanya menggunakan QAM untuk teknik modulasi digital disarankan untuk mencoba sistem dengan teknik modulasi lain seperti BPSK atau QPSK dll.

Daftar Pustaka

- [1] C.Chow,C.Yeh C.Wang, C. Wu, S.Chi and C. Lin, “ Study of OFDM Signal for Broadband Optical Access Network,” *IEEE Journal on selected Area in Communications*,Vol.28,No.6,2010,pp.800-807.
- [2] N.Nowshin, A. Arifuzzaman and M.Tarique, “Demonstration and Performance Analysis of RoF Based OFDM-PON System for Next Generation Fiber Optic Communication,” *International Journal of Communication*,”*International Journal of Computer Network & Communication*, Vol.4, No.1,2012,p193.
- [3] Pratama, Toga Agung.2013. Analisis Performansi OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Pada Jaringan Radio Over Fiber. Riau: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [4] Almasoudi Fahad, Khaled Alatawi dan Mohammad A.Matin.2013. Study of OFDM Technique on RoF Passive Optical Network. USA: University of Denver.
- [5] Johan.2008.Perbandingan bit rate antara OFDM-TDMA dengan OFDMA pada Teknologi WiMAX. Medan : Tugas Akhir, Departmen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara.
- [6] Shieh William and Djordjevic Ivan. 2010. *OFDM for Optical Communications*. Academic Press.
- [7] Wardana, Lingga dkk.”4G Handbook LTE Planning With Atoll by Edisi Bahasa Indonesia”.
- [8] Massimo T., Georgios E & Gee-Kung C (2017). *Optical Network : Fiber Wireless Convergen in Next Generation Communication Network*. Switzerland, Springer.
- [9] Fernando, Xavier. (2009). *Radio over fiber-an optical technique for wireless access*. IEEE Communications Society.
- [10] RNRT/BILBAO project: first results on Ultra Wide Band over fiber
S.Paquelet, S.Mallegol, G.Froc, A.Bisiaux, A.Pizzinat, B.Charbonnier, N.Malhouroux, S.Meyer, F.Payoux, I.Siaud, G.Salingue, D.Morche, H.Jacquinot, S.Bories, C.Algani, AL.Billabert, S.Mazer, JL.Polleux, C.Rumelhard, M.Terré, C.Sillans, Y.Le Guennec, B.Cabon, M.Lourdiane, G.Maury. International UWB Workshop 2007, Grenoble, France.
- [11] L.G.Kazovsky, N. Cheng, W-T. Shaw,D. Guitierrez and S.-W. Wong, *Broadband Optical Access Network Jersey: John Wiley & Sons,Inc.,2011*.
- [12] M.A.Elaydi,”Next Generation Passive Optical Network Stage Two NG-PON2,”The Islamic University, Gaza 2014.
- [13] Boonchuan Ng, Mohammad Syuhaimi Ab-Rahmar, Aswir Premadi dan Kasmiran jumari.2010. Optical Power Budget and Cost Analysis in PON-Based i-FTTH. *Academic journals Inc. Volume 2 (3): 127-138, 2010*.
- [14] Aditya Ananta, Imam Santoso, Ajub Ajulian Zahra. 2010. “Simulasi Perbandingan Kinerja Modulasi M- PSK dan M-QAM Terhadap Laju Kesalahan Data Pada Sistem Orthogonal Division Multiplexing (OFDM)”. Universitas Diponegoro :Semarang.
- [15] W. Herlin Ali, "Simulasi dan Analisis Jaringan Time and Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network Menuju Next Generation Network," Bandung, 2017.
- [16] A. Hidayat, *Desain dan Implementasi Perangkat Ukur Parameter – Parameter Kualitas Sinyal Pada Sistem Komunikasi Serat Optik DWDM Bandung,2012*.
- [17] G.Keiser, *Optical Fiber Communication (Second Edition) McGraw-Hill,1991*.