

# ANALISIS KINERJA JARINGAN *RADIO OVER FIBER* (RoF) MENGUNAKAN *OPTICAL AMPLIFIER*

Sabiqun Naufal<sup>1</sup>, Misriana<sup>2</sup>, Hanafi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Email: sns37297@gmail.com<sup>1</sup>, misriana@pnl.ac.id<sup>2</sup>, hanafi\_hf@pnl.ac.id<sup>3</sup>

**Abstrak** – Perkembangan teknologi telekomunikasi menuntut peningkatan kecepatan dan keandalan pertukaran data. Meskipun sistem transmisi kabel memiliki kecepatan tinggi dan performa prima, namun biaya instalasi yang dibutuhkan cukup besar. Sebagai solusi, *Radio over Fiber* (RoF) dihadirkan untuk mengintegrasikan jaringan nirkabel dan kabel. Pilihan penguat optik, seperti *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA), dan modulator RF *QAM* yang tepat dapat meningkatkan kinerja transmisi *Radio over Fiber*. Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat sistem RoF yang disimulasikan menggunakan *software Optisystem*. Sistem menggunakan modulasi 4-QAM, yang dijalankan dengan menggunakan EDFA dan tanpa EDFA. Parameter yang dianalisis adalah *Q-factor*, OSNR, dan BER. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dengan menggunakan EDFA, pada jarak 85 km diperoleh nilai *Q-factor* sebesar 6,1427, OSNR 23,20993, dan nilai BER  $4,05625 \times 10^{-10}$ . Sedangkan pada skema pengujian jarak 90 km s/d jarak 200 km, kondisi transmisi tidak memenuhi standar kelayakan yang ditetapkan. Hal ini disebabkan oleh panjang *link* yang dilewati semakin jauh dan menimbulkan *dispersi loss* yang semakin besar.

**Kata-kata kunci:** *Radio over Fiber, QAM, EDFA, Q Factor, BER, OSNR*

**Abstract** – The development of telecommunication technology demands an increase in the speed and reliability of data exchange. Although the cable transmission system has high speed and excellent performance, the installation costs required are quite large. As a solution, *Radio over Fiber* (RoF) is presented to integrate wireless and cable networks. The choice of optical amplifiers, such as *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA), and the right RF *QAM* modulator can improve the performance of *Radio over Fiber* transmission. This study aims to design and create a RoF system that is simulated using *Optisystem* software. The system uses 4-QAM modulation, which is run using EDFA and without EDFA. The parameters analyzed are OSNR, BER, and *Q-factor*. The results of the study showed that the system using EDFA, at a distance of 85 km obtained a *Q-factor* value of 6.1427, OSNR 23.20993, and BER value of  $4.05625 \times 10^{-10}$ . While in the test scheme for a distance of 90 km to 200 km, the transmission conditions did not meet the established feasibility standards. This is caused by the length of the link being passed getting further and causing greater dispersion loss.

**Keywords:** *Radio over Fiber, QAM, EDFA, Q Factor, BER, OSNR*

## I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan teknologi komunikasi data memicu laju pertumbuhan layanan informasi yang kompleks dan berkualitas tinggi. Dua teknologi telekomunikasi yang digunakan saat ini, untuk memenuhi layanan informasi tersebut adalah teknologi komunikasi seluler dan teknologi fiber optik. Kedua teknologi ini memiliki kekurangan dan kelebihan tersendiri. Teknologi komunikasi seluler yang menggunakan gelombang radio memiliki kinerja rendah meskipun dapat mencakup area yang luas. Sedangkan teknologi fiber optik yang menggunakan gelombang cahaya menawarkan kinerja tinggi namun memiliki cakupan yang terbatas. Tujuan utama dari suatu transmisi sinyal optik adalah untuk mencapai nilai BER yang diinginkan di antara dua *node* dalam jaringan. Banyak hal dapat menyebabkan *loss* dalam sistem komunikasi fiber optik, seperti absorpsi, *scattering*, dan *bending loss* [1].

*Radio over Fiber* (RoF) muncul sebagai solusi kebutuhan teknologi komunikasi karena jangkauannya mampu mencakup daerah yang luas dengan performa

yang tinggi [2]. Meski komunikasi jarak jauhnya memiliki kerentanan terhadap nilai *Bit Error Rate* (BER) dan redaman yang relatif tinggi, keberadaan *optical amplifier* seperti EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) dan ROA (*Raman Optical Amplifier*) dapat meningkatkan performa tersebut [3][4].

Salah satu penelitian yang dilakukan mengenai Analisa Kinerja Sistem RoF dengan menggunakan teknik modulasi QAM untuk jaringan WLAN, membuktikan bahwa pemanfaatan modulator optik MZM dan *pulse generator* pada sisi *transmitter* dapat meningkatkan kinerja transmisi RoF. Jarak transmisi yang digunakan pada penelitian ini mencapai 50 Km dengan modulasi 4-QAM, 8-QAM dan 16-QAM. Kelemahan dari penelitian ini terletak pada simulasi 16-QAM yang menghasilkan nilai BER sebesar  $1,66105 \times 10^{-7}$  dan nilai *Q-Factor* yang rendah, yaitu 5,07443. Sementara pada simulasi 4-QAM nilai *Q-factor* yang diperoleh adalah sebesar 5,84773 [5].

Pada penelitian ini dirancang dan dibuat sistem komunikasi RoF menggunakan *software Optisystem*. Sistem dibuat dengan menggunakan EDFA dan tanpa

EDFA, dengan modulasi 4-QAM. Sistem diuji untuk jarak transmisi 50 - 200 km.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem komunikasi serat optik umumnya terdiri dari sumber cahaya, kabel serat optik, dan fotodetektor. Sumber cahaya merupakan pembangkit cahaya pada sistem komunikasi serat optik. Ada dua jenis sumber cahaya yang digunakan untuk mengirimkan informasi cahaya melalui serat optik, yaitu LED (*light emitting diode*) dan laser (penguatan cahaya dengan stimulasi emisi radiasi).

Serat optik merupakan media transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus, dan dapat digunakan untuk mentransmisi sinyal cahaya. Pada prinsipnya, serat optik memantulkan dan membiaskan sejumlah cahaya yang merambat di dalamnya. Serat optik memiliki *bandwidth* yang besar sehingga proses transmisi data menjadi lebih banyak dan lebih cepat [6].

RoF merupakan sebuah proses pengiriman data informasi dalam bentuk sinyal radio melalui media transmisi kabel serat optik. Pada sistem jaringan RoF, digunakan perangkat modulator eksternal yang mempengaruhi redaman daya pada sinyal informasi. Jenis modulator eksternal yang digunakan untuk sebuah sistem jaringan RoF adalah *Mach-Zehnder Modulator* (MZM).

Dalam sistem komunikasi serat optik, *loss management* memegang peranan penting dalam keberhasilan sebuah koneksi telekomunikasi. *Optical amplifier* atau penguat optik merupakan salah satu upaya *loss management* [7]. *Optical amplifier* yang dapat digunakan antara lain *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA), *Raman Amplifier*, dan *Erbium-Doped Fiber Amplifier* (EDFA).

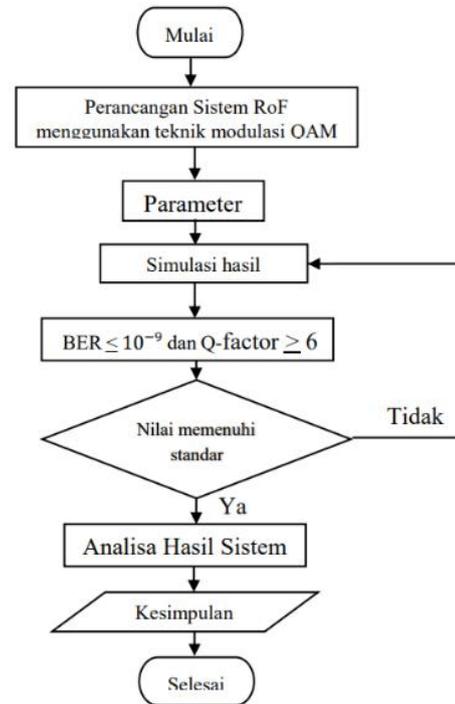
Dalam modulasi QAM, terdapat diagram konstelasi yang merepresentasi secara visual untuk menampilkan semua kemungkinan simbol modulasi (atau keadaan sinyal) sebagai kumpulan titik konstelasi. Posisi setiap titik dalam diagram mencerminkan amplitudo dan fase dari simbol yang sesuai [8].

## III. METODOLOGI

Model sistem RoF dirancang untuk bekerja pada frekuensi 60 GHz. Modulasi yang digunakan adalah 4-QAM dan *optical amplifier* menggunakan EDFA. Sistem disimulasikan menggunakan *software OptiSystem 7.0*. Data yang diperoleh dalam penelitian dihitung menggunakan Microsoft excel dalam beberapa kali percobaan untuk memastikan nilai yang muncul akurat. Dalam melakukan penelitian diperlukan tahapan yang sistematis untuk membantu proses penelitian.

Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian perancangan dan simulasi model sistem. Diagram alir dimulai dengan merancang model sistem RoF menggunakan teknik modulasi 4-QAM, dan kemudian menentukan parameter sistem. Kemudian verifikasi

bahwa sistem telah sesuai dengan nilai  $BER \leq 10^{-9}$  yang telah distandarisasi oleh ITU-T dan nilai  $Q\text{-Factor} \geq 6$ . Sistem disimulasikan berdasarkan skenario variasi modulasi 4-QAM pada jarak 50 - 100 km.



Gbr.1 Diagram Alir Penelitian

### Parameter Performansi

Simulasi sistem RoF dengan modulasi 4-QAM dilakukan menggunakan perangkat lunak *Optisystem 7.0* untuk mengukur performa transmisi pada jarak lebih dari 50-200 km. Parameter tetap meliputi format data, *bandwidth*, dan standar performa minimum seperti  $BER \leq 10^{-9}$  (berdasarkan ITU-T), dan  $Q\text{-Factor} \geq 6$ . Variabel yang diubah adalah jarak transmisi. *Optical Spectrum Analyzer* (OSA) digunakan untuk mengukur OSNR yang bergantung pada daya sinyal dan noise tanpa dipengaruhi format data atau *bandwidth*. Simulasi ini bertujuan untuk memastikan kualitas transmisi tetap sesuai standar internasional meski pada skenario jarak jauh [9]. Rumus untuk OSNR dan  $Q\text{-Factor}$  seperti pada Persamaan 1 dan 2.

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

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

*Bit Error Rate* (BER) didefinisikan sebagai tingkat di mana kesalahan terjadi dalam sistem transmisi. Secara umum pada jaringan komunikasi optik, nilai BER yang harus dipenuhi adalah  $BER \leq 10^{-12}$ . Artinya untuk setiap  $10^{-6}$  sampai  $10^{-12}$  bit data yang dikirim, hanya terjadi satu *bit error*. Setiap bit data yang

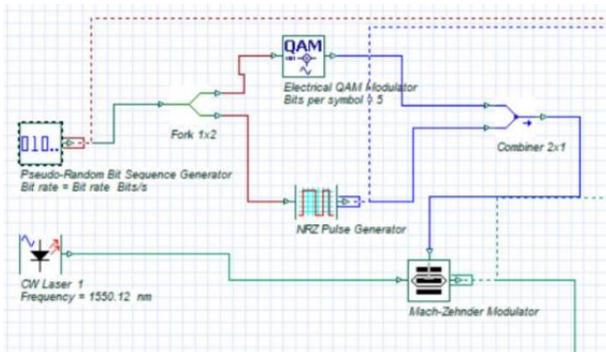
diterima oleh penerima memiliki probabilitas 0 dan 1 bit yang seimbang (Agrawal, 2002). Aplikasi pada ITU-T G.691, ITU-T G.692 dan ITU-T G.959.1 menyatakan bahwa sistem optik harus didesain dengan nilai BER tidak besar dari  $10^{-12}$ .

Definisi *Bit Error Rate (BER)* dapat diterjemahkan ke dalam rumus sederhana seperti pada Persamaan 3. Pada jaringan komunikasi optik secara umum, nilai BER yang harus dipenuhi adalah  $BER 10^{-6} - 10^{-12}$ . Artinya, tiap  $10^9$  hingga  $10^{12}$  bit data yang dikirim, *error* yang terjadi hanyalah pada 1 bit. BER juga disebut dengan *error probability (Pe)*, atau probabilitas munculnya error dalam transmisi data. Dalam proses transmisi, bit tertentu memiliki amplitudo sinyal yang terlalu dekat dengan threshold sehingga tidak dapat dibedakan nilainya dengan benar. Nilai BER dapat pula dinyatakan dalam *Q-factor* melalui persamaan berikut [9].

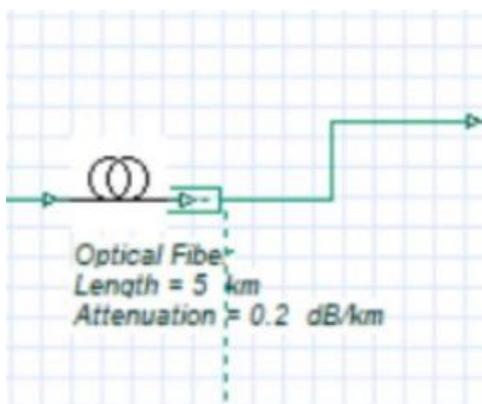
$$BER = P_e(Q) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-Q^2/2}}{Q} \tag{3}$$

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

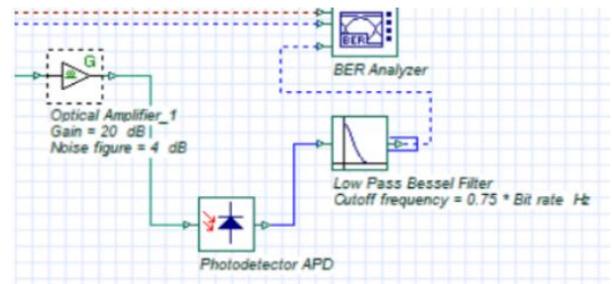
Model sistem RoF yang digunakan pada sisi transmitter adalah teknik modulasi QAM pada *Software Optisystem 7.0* dapat dilihat pada Gambar 2, blok pengirim. Sedangkan pada Gambar 3, menunjukkan model sistem blok transmisi dan pada Gambar 4, menunjukkan blok penerima. Untuk mendapatkan kelayakan dalam penelitian maka peneliti mengambil nilai BER dan *Q-factor* sesuai dengan ketentuan ITU-T.



Gbr. 2 Blok Pengirim



Gbr. 3 Transmisi

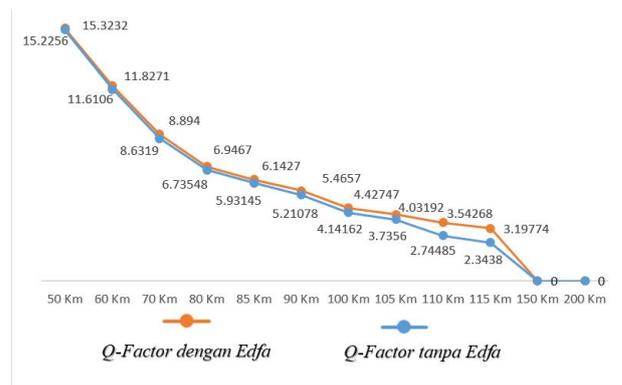


Gbr. 4 Blok Penerima

Verifikasi Model Sistem

Penelitian ini merancang model sistem RoF menggunakan modulasi QAM dan *Optical Amplifier*. Model ini menggunakan *bit rate* 10 Gbps pada frekuensi 60 GHz untuk disimulasikan dalam jarak 50-200 km untuk mengevaluasi performa transmisi. Kualitas sistem berdasarkan parameter BER dan *Q-Factor*, mengikuti standar ITU-T, yaitu  $BER \leq 10^{-9}$  dan  $Q-Factor \geq 6$ .

Gambar 5 adalah perbandingan *Q-Factor* menggunakan *Optical Amplifier* dan tanpa menggunakan *Optical Amplifier*.



Gbr. 5 *Q-factor* 4-QAM dengan dan Tanpa Penguat EDFA

Dari data pada gambar di atas dapat dianalisa bahwa *Q-factor* semakin menurun jika panjang *link* yang dilewati semakin jauh. Ini disebabkan oleh dispersi/loss yang terjadi ketika panjang *link* semakin jauh juga semakin besar. Pada skema pengujian kedua kondisi tidak memenuhi standar kelayakan yaitu sebesar 3,19774 menggunakan *optical amplifier* pada jarak 115 km dan 2.3438 pada jarak 115 km tidak menggunakan *optical amplifier* dimana berdasarkan ITU-T bahwa minimal nilai *Q-factor* adalah  $\geq 6$ .

Namun di sisi lain semakin besar *bitrate* yang digunakan maka semakin menurun pula nilai *Q-factor* nya. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi *bitrate* maka data yang dikirimkan perdetiknya semakin banyak sehingga *delay* yang terjadi semakin besar. Nilai *Q-factor* pada jarak di atas 115 km bernilai 0, disebabkan oleh panjang *link* yang dilewati terlalu jauh sehingga besarnya dispersi/loss terjadi terlalu besar. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan bahwa sistem tersebut hanya dapat digunakan hingga jarak 85 km untuk

mendapatkan hasil yang distandarisasi oleh ITU-T yaitu  $\geq 6$ .

Tabel 1 adalah BER sistem komunikasi 4-QAM dengan dan Tanpa Penguat EDFA. Pada pengujian skema 4-QAM menggunakan *optical amplifier* EDFA nilai BER paling baik pada jarak 100 km sebesar  $4,76658 \times 10^{-6}$ . Nilai tersebut tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh ITU-T karena dibawah nilai  $10^{-9}$ . Sedangkan nilai BER paling buruk pada jarak di atas 115 km, yaitu 1 yang berarti dari semua data yang dikirimkan *error*. Saat tidak menggunakan penguat nilai BER paling baik pada jarak 100 km sebesar  $1.72427 \times 10^{-5}$ . Nilai tersebut tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh ITU-T karena dibawah nilai  $10^{-9}$ . Sedangkan nilai BER paling buruk yaitu pada jarak di atas 115 km, yaitu 1 yang berarti dari semua data yang dikirimkan *error*. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan bahwa sistem tersebut hanya dapat digunakan hingga jarak 85 km untuk mendapatkan hasil yang distandarisasi oleh ITU-T yaitu  $10^{-9}$ .

Tabel I  
Bit Error Rate 4-QAM

Jarak (km)	BER dengan EDFA	BER tanpa EDFA
50	$2,6747 \times 10^{-53}$	$1,9564 \times 10^{-52}$
60	$1,3966 \times 10^{-32}$	$1,80032 \times 10^{-31}$
70	$2,93912 \times 10^{-19}$	$3,38905 \times 10^{-18}$
80	$1,84212 \times 10^{-12}$	$8,16456 \times 10^{-12}$
85	$4,05625 \times 10^{-10}$	$1,50132 \times 10^{-9}$
90	$2,30462 \times 10^{-8}$	$9,50132 \times 10^{-9}$
100	$4,76658 \times 10^{-6}$	$1,72427 \times 10^{-5}$
105	$2,76397 \times 10^{-5}$	$9,36085 \times 10^{-5}$
110	0,000197782	0,000374369
115	0,000691395	0,0013331
150	1	1
200	1	1

Pemilihan modulasi memainkan peran penting dalam mempengaruhi kinerja *Optical Signal-to-Noise Ratio* (OSNR) dalam sistem komunikasi serat optik. Pada bagian ini dianalisa pengaruh OSNR 4-QAM terhadap parameter performansi *Q-Factor & Bit Error Rate*. Tabel 2 adalah OSNR sistem komunikasi 4-QAM dengan dan Tanpa Penguat EDFA.

Tabel II  
OSNR 4-QAM

Jarak (km)	OSNR dengan EDFA	OSNR tanpa EDFA
50	128,23537	126,67557
60	78,30317	75,61295
70	45,84063	43,35852
80	29,04038	27,44605
85	23,20993	21,78522
90	18,80177	17,26069
100	12,93194	12,09702
105	10,97919	10,17229
110	8,78034	6,80296
115	7,37391	5,40475
150	0	0
200	0	0

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan EDFA meningkatkan kualitas transmisi jarak sebesar 5 km dibandingkan jika tidak menggunakan EDFA.
2. Semakin banyak jumlah bit informasi yang dikirim maka sistem akan lebih rentan terhadap gangguan dan noise. Semakin meningkat nilai SNR maka jumlah noise akan berkurang dan mengakibatkan nilai BER juga menurun.
3. Penggunaan modulasi 4-QAM memberikan peningkatan fungsionalitas yang signifikan pada jarak dibawah 85 km dibandingkan dengan jarak lainnya. Hal ini dibuktikan pada pengukuran jarak dibawah 85 km, disebabkan oleh panjang link yang dilewati semakin jauh dan menimbulkan dispersi loss yang semakin besar. Pada skema pengujian selanjutnya, kondisi transmisi tidak memenuhi standar kelayakan yang ditetapkan.

## REFERENSI

- [1] Dat, P. T., Kanno, A., Umezawa, T., Yamamoto, N., & Kawanishi, T. (2017, July). Millimeter-and terahertz-wave radio-over-fiber for 5G and beyond. In *2017 IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series (SUM)* (pp. 165-166). IEEE.
- [2] Maharani, A., & Kusumawardhani, A. (2009). Pengukuran Pengaruh Kelengkungan Serat Optik terhadap Rugi Daya Menggunakan Optical Time Domain Reflectometer (OTDR). *Jurnal POMITS ITS*, 1-5.
- [3] D. J. Blumenthal. (2006). *Lecture 8: Intro to Optical Amplifiers*. Sumber: [https://courses.ece.ucsb.edu/ECE228/228B\\_S11Blumenthal/Lecture8\\_228B\\_S11pdf.pdf](https://courses.ece.ucsb.edu/ECE228/228B_S11Blumenthal/Lecture8_228B_S11pdf.pdf).
- [4] Beshr, A. H., & Aly, M. H. (2007, March). Raman gain and Raman gain coefficient for SiO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> glasses. In *2007 National Radio Science Conference* (pp. 1-7). IEEE.
- [5] Halimah, N., & Rahayu, Y.. (2021). Analisa Kinerja Sistem Radio Over Fiber (ROF) Menggunakan Teknik Quadrature Amplitude Modulation (QAM) untuk Jaringan Wireless Local Area Network (WLAN). *Jom FTEKNIK*, 8(2).
- [6] Agrawal, G.P., 2012. *Fiber-optic communication systems* (Vol. 222). John Wiley & Sons.
- [7] Llorente, R., & Beltrán, M. (2010). Radio-over-fibre techniques and performance. *Frontiers in Guided Optics and Optoelectronics*, 119-138.
- [8] Hidayat, A., Hambali, A., & Pamukti, B. (2018). Perbandingan Performansi Edfa & Roa Pada Sistem Twdm-pon Berbasis Next Generation

Passive Optical Network Stage 2. *eProceedings of Engineering*, 5(3).

[9] Keiser, G. (2000). *Optical fiber communications* (Vol. 2). New York: McGraw-Hill.