

Analisa Kinerja Sistem Radio Over Fiber (ROF) Menggunakan Teknik Quadrature Amplitude Modulation (QAM) untuk Jaringan Wireless Local Area Network (WLAN)

Nikmatul Halimah¹⁾, Yusnita Rahayu²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Binawidya Jl. H.R Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau 28293

E-mail : nikmatul.halimah2143@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The development of data telecommunications with high speed and wide coverage is currently getting higher and higher. Therefore a reliable network can provide a network with large bandwidth and capacity which is called Radio Over Fiber (ROF). Radio Over Fiber (ROF) is a combination of Radio Frequency (RF) and optical fiber-based communication, where ROF uses optical fiber as an intermediary medium. This study designed a ROF that operates at a frequency of 5.8 GHz using Quadrature Amplitude Modulation (QAM) techniques for the application of Wireless Local Area Network (WLAN). The parameters considered in this research simulation are the value of BER, Q-Factor, and eye diagram using optisystem software. Based on the results of the analysis, the best BER on the 8-QAM modulation technique with a distance of 50 km is 9.02362×10^{-13} and the Q-Factor is 7.00782.

Keywords: Radio Over Fiber, Bit Error Rate, Q-Factor, QAM, WLAN.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan komunikasi data semakin tinggi dan bertambah seiring dengan meningkatnya populasi masyarakat digital yang berakibat dengan pertumbuhan data meningkat dua kali lipat setiap dua tahun. Penggunaan media transmisi serat optik tak dapat lagi terelakkan pada jaringan akses pelanggan karena serat optik telah menunjukkan kualitas tinggi untuk berbagai macam aplikasi, karena kelebihanannya dapat mentransmisikan informasi pada beberapa panjang gelombang yang berbeda dan dapat mentransmisi *bit rate* yang tinggi. Maka diperlukan jaringan yang andal yang dapat menyediakan jaringan dengan *bandwidth* dan kapasitas yang besar yang disebut juga ROF.

ROF merupakan teknologi yang menggabungkan jaringan akses fiber dengan sistem *wireless* dimana ROF menggunakan kabel serat optik sebagai media perantara untuk memperoleh kecepatan transmisi yang lebih besar dibandingkan ketika dilakukan transmisi secara langsung (Ajay, 2012).

Arsitektur jaringan RoF terdapat *central unit* yang masing-masing tersebut terhubung ke beberapa *Base Station* (BS) menggunakan media transmisi berupa kabel serat optik. Adapun komponen dari BS yaitu *Remote Access Units* (RAU) sebagai tempat untuk mendistribusikan sinyal RF. Pada transmisi sinyal RF menggunakan kabel optik, sinyal yang datang dari jaringan akan diubah menjadi sinyal RF kemudian

ditransmisikan melalui kabel optik menuju BS. Kemudian pada BS akan diubah kembali dari sinyal optik menjadi sinyal RF (Kabonzo dan Yufeng, 2015).

Simulasi perancangan ROF ini menggunakan perangkat lunak Optisystem yang beroperasi pada frekuensi 5,8 Ghz. Frekuensi ini merupakan frekuensi *Wireless Local Area Network* (WLAN). WLAN adalah jaringan area lokal tanpa kabel. WLAN menggunakan frekuensi radio (RF) untuk mengirim dan menerima data melalui udara. Transmisi WLAN menggunakan frekuensi radio diatur oleh standar yang sama seperti radio AM/FM. *Bandwidth* radio yang disetujui untuk komunikasi WLAN terletak di pita frekuensi 900 MHz, 2,4 GHz, 5,16 GHz, dan 5,8 GHz (Nand, 2006).

Berbagai metode telah digunakan untuk mempelajari sistem komunikasi ROF untuk aplikasi jaringan area lokal nirkabel (WLAN), seperti WLAN multi-saluran yang dimodulasi oleh OFDM-64QAM, yang sesuai dengan standar IEEE 802.11a dan IEEE 802.11b, dan memiliki kecepatan data 54 Mbps dan 11 Mbps, (Niiho et al., 2004). Metode teknologi modulasi OFDM dari sistem WLAN yang konsisten dengan standar IEEE 802.11a menggunakan skema modulasi QAM untuk mencapai kecepatan data yang lebih tinggi yaitu 24 Mbps dan 54 Mbps (Singh dan Alphones, 2003). Metode perancangan sistem *downlink* sistem WLAN 64 QAM dengan frekuensi 5,8 GHz didukung oleh sistem yang menggunakan 50 kilometer serat optik dua arah dan jarak nirkabel 10 kilometer (Elfaki. et al, 2011).

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem ROF dengan teknik modulasi QAM frekuensi 5,8 GHz WLAN dengan batasan nilai BER mencapai nilai maksimum dan *Q-Factor* minimum. Nilai BER $\leq 10^{-12}$ dan nilai *Q-Factor* ≥ 6 . Perancangan dilakukan

menggunakan teknik modulasi QAM yang bervariasi seperti 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, dengan maksimal jarak 50 km. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah menentukan teknik modulasi terbaik yang dapat ditransmisikan pada jarak serat optik 50 km dengan pertimbangan hasil parameter sesuai standar BER, *Q-Factor* dan *Eye diagram*.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi secara umum terdiri dari pengirim dan penerima. Sistem komunikasi serat optik secara umum terdiri dari sumber optik, kabel serat optik, *detector* optik.

1. Sumber Optik

Sumber optik merupakan pembangkit cahaya pada sistem komunikasi serat optik. Terdapat dua jenis sumber cahaya yang digunakan untuk mengirim cahaya informasi melalui serat optik, yakni LED (*Light Emitting Diode*) dan LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) (Susanti, 2017).

2. Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus, dan dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya. Pada prinsipnya, serat optik memantulkan dan membiaskan sejumlah cahaya yang merambat di dalamnya. Serat optik memiliki bandwidth yang besar sehingga pentransmisi data menjadi lebih banyak dan lebih cepat, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi sistem telekomunikasi (Agrawal, 2012).

3. *Detector Optik (Photodetector)*

Photodetector merupakan perangkat penerimaan sinyal cahaya pada sistem komunikasi serat optik. Perancangan dan pemilihan perangkat penerima sangat berpengaruh dalam analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang dapat dideteksi oleh *photodetector*. Jenis-jenis *photodetector* yang umum digunakan adalah *Positive Intrinsic Negative (PIN)* dan *Avalanched Photo Diode (APD)* (PT. Telkom, 2004).

2.2 *Radio Over Fiber (ROF)*

Radio over fiber merupakan suatu proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik. Sinyal yang bisa dilewatkan kedalam serat optik dapat berupa sinyal *baseband*, sinyal IF (*Intermediete Frequency*) atau sinyal RF (*Radio Frequency*). Sinyal yang dapat dikirimkan pada media transmisi serat optik mampu menjangkau jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan melalui media transmisi udara. Hal ini disebabkan redaman yang ada pada serat optik jauh lebih kecil daripada media transmisi udara. Jenis modulasi yang digunakan adalah modulasi eksternal dengan cara mempengaruhi intensitas cahaya dengan intensitas langsung dari sinyal informasi. Modulator yang digunakan pada sistem komunikasi *Radio over Fiber* adalah *Electroabsorption Modulator* atau *Mach Zehnder Modulator* (Laksana, 2016).

Sistem ROF memiliki kelebihan seperti, *bandwidth* besar, kekebalan terhadap gangguan frekuensi radio, mengurangi konsumsi daya, operasi multi-operator dan multi-layanan, alokasi sumber daya dinamis, dll (Al-Raweshidy, 2002).

2.3 *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*

Modulasi adalah sebuah proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier*. Sinyal informasi dapat ditumpangkan dengan cara mengubah amplitudo, frekuensi atau fase dari sinyal *carrier*. *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)* mengkombinasikan modulasi *Amplitude Shift Keying (ASK)* dan *Phase Shift Keying (PSK)*. Konstelasi sinyal berubah sesuai dengan amplitudo (jarak dari titik asal ke titik konstelasi) juga berdasarkan *phase* (titik konstelasi tersebar di bidang kompleks), QAM merupakan suatu cara pentransmisi data pada laju *bit-bit* yang tinggi pada satu saluran atau kanal transmisi dengan lebar pita yang terbatas (Electronics-notes.com).

2.4 *Parameter Performansi*

1. *Bit Error Rate (BER)*

Tingkat kesalahan *bit* (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 10^9 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, tetapi ada area yang diarsir dengan probabilitas kesalahan (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 berikut ini (Vyas dan Agrawal, 2012).

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \quad (1)$$

Dimana :

NE : Jumlah *bit* yang salah

NT : Jumlah *bit* yang diterima

2. Q-Factor

Faktor kualitas (*Q-Factor*) mewakili *Signal-to-Noise Ratio* untuk sistem komunikasi optik dan analisis kinerja sistem yang disederhanakan. Tingkat faktor kualitas yang tinggi dapat bermanfaat, tetapi dalam beberapa aplikasi tingkat Q yang ditentukan mungkin diperlukan (Das, 2004).

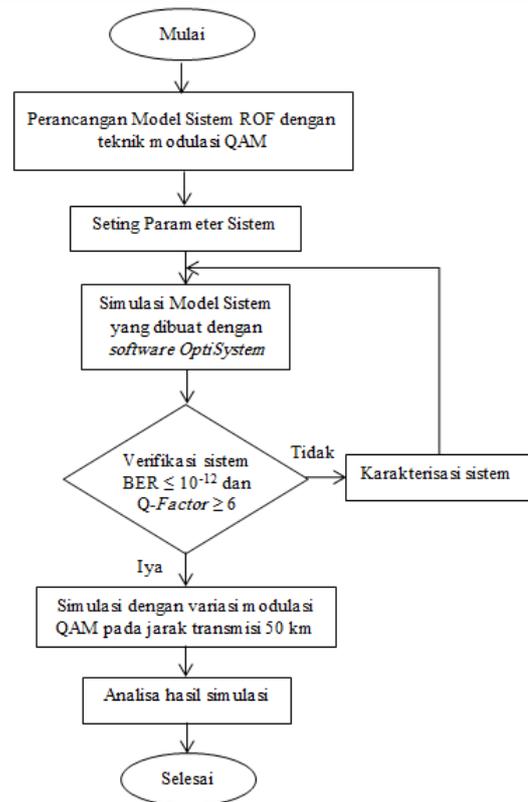
3. Eye Diagram

Pola atau diagram mata digunakan untuk memvisualisasikan bagaimana bentuk gelombang yang digunakan untuk mengirim beberapa *bit* data berpotensi menyebabkan kesalahan dalam interpretasi *bit* tersebut. Pembukaan mata vertikal menunjukkan jumlah perbedaan level sinyal yang ada untuk menunjukkan perbedaan antara *bit* 1 dan *bit* 0. Semakin besar perbedaannya, semakin mudah untuk membedakan antara satu dan nol. Pembukaan mata horizontal menunjukkan jumlah *jitter* yang ada dalam sinyal (Das, 2004).

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dirancang model sistem jaringan *Radio Over Fiber* menggunakan teknik modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) untuk implementasi jaringan WLAN. Model sistem yang dirancang bekerja pada frekuensi 5,8 GHz dan kecepatan data transmisi 54 Mbps. Perancangan model sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak OptiSystem untuk simulasi.

Dalam melakukan penelitian diperlukan tahapan yang sistematis untuk membantu proses penelitian. Gambar 1 merupakan diagram alir dari tahap penelitian.



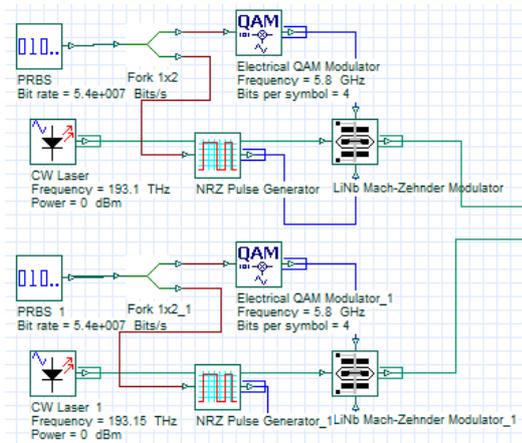
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian perancangan dan simulasi model sistem. Diagram alir dimulai dengan merancang model sistem *Radio Over Fiber* menggunakan teknik modulasi QAM, dan kemudian menentukan parameter sistem. Simulasi model sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak OptiSystem. Kemudian verifikasi bahwa sistem telah sesuai dengan nilai $BER \leq 10^{-12}$ yang telah distandarisasi oleh ITU-T dan nilai $Q-Factor \geq 6$. Kemudian model sistem disimulasikan berdasarkan skenario variasi modulasi 4-QAM, 8-QAM dan 16-QAM.

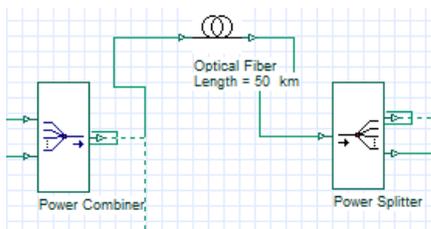
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Model sistem ROF pada sisi *transmitter* menggunakan teknik modulasi QAM pada *software* OptiSystem 7 dapat dilihat pada gambar 2. Kemudian pada gambar 3 menunjukkan model sistem sisi *optical link*, dan gambar 4 menunjukkan model sistem pada sisi *receiver*. Untuk mengetahui kelayakan penelitian diambil nilai

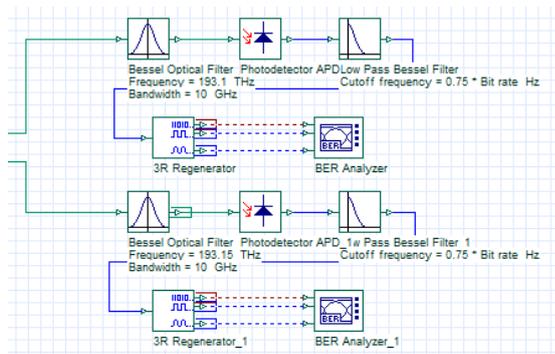
BER $\leq 10^{-12}$ berdasarkan standar ITU-T dan nilai *Q-Factor* ≥ 6 .



Gambar 2. Model Sistem ROF sisi *transmitter* menggunakan teknik Modulasi QAM



Gambar 3. Model Sistem ROF sisi *Optical Link*



Gambar 4. Model Sistem ROF sisi *Receiver*

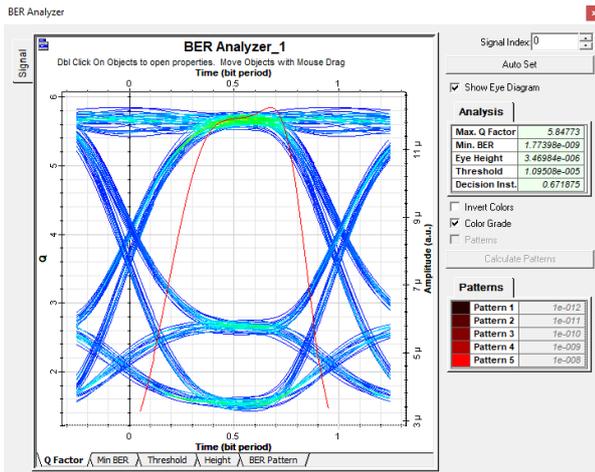
Kemudian dilakukan spesifikasi desain tabel parameter, yang digunakan dalam penelitian ini, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Spesifikasi pada Optisystem

Spesifikasi	Nilai	Satuan
Global Parameter		
<i>Bit rate</i>	$5,4 \times 10^7$	<i>Bits/s</i>
<i>Sequence Length</i>	128	<i>Bit</i>
<i>Sample per Bit</i>	64	
Laser Source		
<i>Frekuensi</i>	193,1 - 193,15	THz
<i>Daya input</i>	0	<i>dBm</i>
Modulator QAM		
<i>Frekuensi</i>	5800	MHz
<i>Bit Per Symbol</i>	2, 3 dan 4	
Fiber Optik		
<i>Reference Wavelength</i>	1550	Nm
<i>Attenuation</i>	0,2	<i>dB/km</i>
<i>Fiber Length</i>	50	Km

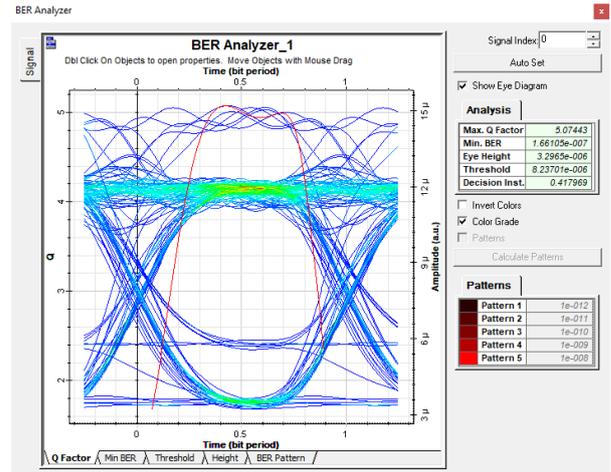
4.1 Verifikasi Model Sistem

Penelitian ini merancang model sistem ROF menggunakan teknologi modulasi QAM untuk pengaplikasian jaringan *Wireless LAN*. Model ini menggunakan *bit rate* 54 Mbps dan frekuensi 5.8 GHz untuk disimulasikan pada jarak 50 km. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kualitas performansi modulasi QAM dengan jaringan ROF WLAN yang berdasarkan pada parameter pertimbangan seperti *Bit Error Rate* (BER), *Q-Factor* dan *Eye Diagram*. Berikut adalah hasil simulasi model ROF WLAN menggunakan teknologi modulasi QAM pada jarak 50 km.



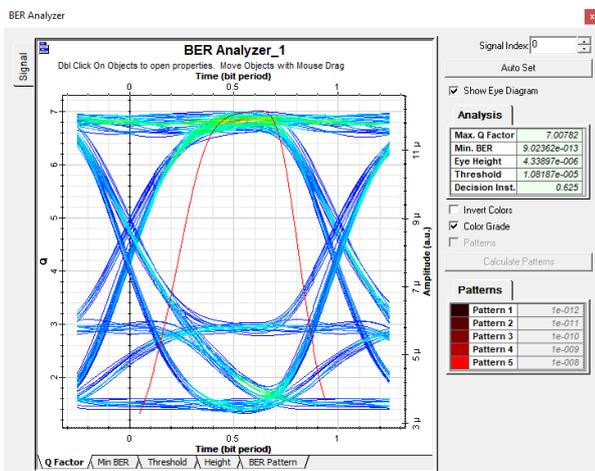
Gambar 5. BER Analyzer ROF Pada jarak 50 km 4-QAM

Gambar 5 menunjukkan jaringan ROF WLAN menggunakan teknik modulasi 4-QAM, dengan jarak 10 km, frekuensi 5,8 GHz, dan *bit rate* 54 Mbps, menghasilkan nilai BER $1,77398 \times 10^{-9}$ dan *Q-Factor* nilainya 5,84773.



Gambar 7. BER Analyzer ROF Pada jarak 50 km 16-QAM

Gambar 7 menunjukkan jaringan ROF WLAN menggunakan teknik modulasi 16-QAM, dengan jarak 10 km, frekuensi 5,8 GHz, dan *bit rate* 54 Mbps, menghasilkan nilai BER $9,03013 \times 10^{-8}$ dan *Q-Factor* nilainya 5,18877.



Gambar 6. BER Analyzer ROF Pada jarak 50 km 8-QAM

Gambar 6 menunjukkan jaringan ROF WLAN menggunakan teknik modulasi 8-QAM, dengan jarak 50 km, frekuensi 5,8 GHz, dan *bit rate* 54 Mbps, menghasilkan nilai BER $9,02362 \times 10^{-13}$ dan *Q-Factor* nilainya 7,00782.

4.2 Teknik Modulasi QAM

Dalam hal ini, panjang kabel yang digunakan adalah 50 km. Jaringan ROF WLAN menggunakan teknik modulasi QAM dengan urutan 4-QAM, 8-QAM, dan 16-QAM. Hasil simulasi ini bertujuan untuk menentukan teknik modulasi mana yang dapat menjangkau jarak transmisi fiber optik 50 km pada jaringan dengan mempertimbangkan nilai parameter BER dan *Q-Factor*, seperti terlihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Teknik modulasi QAM untuk Jaringan ROF WLAN dengan jarak 50 km

Modulasi	BER	<i>Q-Factor</i>
4-QAM	$1,77398 \times 10^{-9}$	5,84773
8-QAM	$9,02362 \times 10^{-13}$	7,00782
16-QAM	$1,66105 \times 10^{-7}$	5,07443

Tabel 2 merupakan rangkuman hasil simulasi rangkaian jaringan ROF WLAN menggunakan teknik modulasi 4-QAM, 8-

QAM dan 16-QAM untuk parameter BER dan *Q-Factor*. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat modulasi maka nilai BER semakin meningkat seperti pada modulasi 16-QAM dengan nilai BER $1,66105 \times 10^{-7}$ dan nilai *Q-Factor* 5,07443. Namun pada modulasi 8-QAM nilai BER yang dihasilkan lebih rendah daripada 10^{-12} yaitu $9,02362 \times 10^{-13}$ dengan *Q-Factor* 7,00782.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pada jaringan ROF WLAN menggunakan teknik modulasi 4-QAM, dengan jarak 50 km, *bit rate* 54 Gbps, frekuensi 58 GHz, nilai BER yang diterima adalah $1,77398 \times 10^{-9}$ dan *Q-Factor* 5,84773. Dari nilai pada tabel 2 jaringan ROF WLAN dengan modulasi 4-QAM berdasarkan nilai BER dan *Q-Factor* dapat disimpulkan bahwa performansi transmisi tidak mencapai standar dan tidak dapat diterima.
2. Pada simulasi selanjutnya menggunakan 8-QAM dengan *bit rate* dan frekuensi yang sama. Nilai BER yang diterima adalah $9,02362 \times 10^{-13}$ dan *Q-Factor* bernilai 7,00782. Sehingga dapat disimpulkan bahwa performansi transmisi ROF pada jarak 50 km telah mencapai standar yang ditetapkan dan performansi dikatakan baik.
3. Pada simulasi selanjutnya menggunakan 16-QAM dengan *bit rate* dan frekuensi yang sama. Nilai BER yang diterima adalah $1,66105 \times 10^{-7}$, dan nilai *Q-Factor* yang rendah yaitu 5,07443. Dapat disimpulkan bahwa performansi pada jarak transmisi 50 km dengan nilai BER di atas 10^{-12} dan nilai *Q-Factor* di bawah 6 menunjukkan performansi yang buruk dan tidak dapat diterima karena tidak memenuhi standar.

4. Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa untuk sistem ROF jaringan WLAN, teknik modulasi yang bagus untuk digunakan adalah modulasi 8-QAM dibanding modulasi lainnya, dengan BER mencapai standar ketetapan $\leq 10^{-12}$ dan nilai *Q-Factor* ≥ 6 .

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, diharapkan penelitian selanjutnya dapat menguji sistem ROF menggunakan teknik modulasi jenis lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat memperbaiki model sistem sehingga memberikan hasil yang baik pada *bit rate* yang lebih tinggi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, G.P., 2012. *Fiber-optic communication systems* (Vol. 222). John Wiley & Sons.
- Al-Raweshidy, H. and Komaki, S., 2002. *Radio over fiber technologies for mobile communications networks*. Artech House.
- Das, S. and Zahir, E., 2014. Modeling and performance analysis of rof system for home area network with different line coding schemes using optisystem. *international journal of multidisciplinary sciences and engineering*, 5(6).
- Elfaki, S., Khider, I., Omer, M., Almomen, F. and Abdulllah, A., 2011, December. Evaluation of Bit Error Rate (BER) in WLAN IEEE 802.11 a with radio over fiber (RoF) downlink system. In *8th International Conference on High-capacity Optical Networks and Emerging Technologies* (pp. 153-158). IEEE.
- Electronics-notes.com. *QAM Modulator and Demodulator*. Diakses pada 17

- November 2021, dari <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/quadrature-amplitude-modulation-qam-modulator-demodulator.php>
- Kabonzo, F.M. and Yufeng, P., 2015, April. Performance analysis of OFDM signals in WDM Radio over Fiber system using Fiber Bragg Grating as a compensator of dispersion. In *2015 International Conference on Information and Communications Technologies (ICT 2015)* (pp. 1-5). IET.
- Laksana, G.T., Hambali, A. and Pambudi, A.D., 2016. Analisis Sistem Komunikasi RoF (Radio Over Fiber) Berbasis WDM (Wavelength Division Multiplexing) Dengan OADM (Optical Add Drop Multiplexing) Untuk Jarak Jauh. *eProceedings of Engineering*, 3(2).
- Niiho, T., Nakaso, M., Masuda, K., Sasai, H., Utsumi, K. and Fuse, M., 2004, November. Multi-channel wireless LAN distributed antenna system based on radio-over-fiber techniques. In *The 17th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society, 2004. LEOS 2004*. (Vol. 1, pp. 57-58). IEEE.
- PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. 2004. *Dasar Sistem Komunikasi Optik*. Bandung.
- R.R.S., Nand. 2006, September. Simulation and Performance of Multiple Input Multiple Output Orthogonal Frequency Division Multiplexing Wireless Local Area Network 802.11a. University Teknologi Malaysia Institutional Repository. Malaysia.
- Singh, G. and Alphones, A., 2003, December. OFDM modulation study for a radio-over-fiber system for wireless LAN (IEEE 802.11 a). In *Fourth International Conference on Information, Communications and Signal Processing, 2003 and the Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia. Proceedings of the 2003 Joint* (Vol. 3, pp. 1460-1464). IEEE.
- Susanti, R., Gusmawandi, G., Sutoyo, S. and Amilia, F., 2017, May. Performansi Scm/Wdm Radio Over Fiber Dengan Arsitektur Pon Menggunakan M-Ary Psk. In *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri* (pp. 494-500)
- Vyas, A.K. and Agrawal, N., 2012. Radio over fiber: Future technology of communication. *International Journal of Emerging Trends & technology in computer science (IJETTCS)*, 1(2), pp.233-237.

