

ANALISIS PARAMETER BIT ERROR RATE 10 Gbps OFDM-RoF DENGAN SISTEM MAPPING 4-QAM

Ryan Andre Aprillian¹, Eka Wahyudi, S.T., M.Eng², Kholidiyah Masykuroh, S.T., M.T³

¹Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Email: 17101118@ittelkom-pwt.ac.id¹, ekawahyudi@ittelkom-pwt.ac.id², kholidiyah@ittelkom-pwt.ac.id³

Abstrak – Radio over Fiber (RoF) adalah teknologi *hybrid* yang menggabungkan teknologi serat optik dan gelombang radio dengan kecepatan akses yang tinggi. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan teknik transmisi data dengan pembawa *multicarrier* dalam sinyal yang saling tegak lurus. Kinerja dari sistem RoF bergantung pada modulator optik, saluran fiber optik, dan tingkat daya yang digunakan. Variasi daya laser yang digunakan adalah -8 sampai 8 dBm. Variasi *subcarrier* 128, 256, 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192. Jarak fiber optik yang digunakan 100 km dan 150 km serta panjang gelombang 1550 nm. Model jaringan OFDM-RoF pada jarak 100 km memiliki performansi yang baik pada *subcarrier* 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192. Sedangkan untuk jarak 150 km memiliki performansi yang baik pada *subcarrier* 8.192. Daya laser yang bagus pada jarak 100 km adalah -6 sampai 8 dBm. Sedangkan untuk jarak 150 km adalah 3 sampai 8 dBm.

Kata-kata kunci: *Radio over Fiber, RoF, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*

Abstract – *Radio over Fiber (RoF) is a hybrid technology that combines fiber optic technology and radio waves with high access speeds. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is a data transmission technique with multicarrier carriers in mutually perpendicular signals. The performance of the RoF system depends on the optical modulator, fiber optic line, and the power level used. The variation of the laser power used is -8 to 8 dBm. Subcarrier variation 128, 256, 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192. The optical fiber distance used is 100 km and 150 km and the wavelength is 1550 nm. The OFDM-RoF network model at a distance of 100 km has good performance on 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192 subcarriers. While for a distance of 150 km has good performance on the subcarrier 8.192. Good laser power at a distance of 100 km is 06 to 8 dBm. As for the distance of 150 km is 3 to 8 dBm.*

Keywords: *Radio over Fiber, RoF, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Terdapat dua macam sistem transmisi data yaitu sistem transmisi dengan menggunakan gelombang radio (nirkabel) dan transmisi radio jaringan melalui kabel. Transmisi data melalui kabel lebih cepat dari pada melalui gelombang radio karena menggunakan kabel serat optik[1]. Serat optik mempunyai kelebihan yaitu transmisi datanya yang cepat dan performansi prima, namun memiliki kekurangan yaitu daerah kerjanya yang kurang luas dan proses instalasi kabel yang membutuhkan biaya besar. Sedangkan dengan menggunakan gelombang radio (nirkabel), daerah kerjanya cukup luas dan biaya pemasangannya secara umum cukup murah, akan tetapi memiliki kekurangan yaitu kualitas dan performansi yang kurang maksimal[2].

Untuk menggabungkan kedua macam transmisi tersebut, dengan harapan akan diperoleh suatu sistem transmisi baru yang lebih baik daripada keduanya, yang dikenal dengan *Radio over Fiber*[2]. *Radio over Fiber* (RoF) merupakan integrasi dari teknologi nirkabel dan kabel. Teknologi ini menggunakan serat optik disisi kabel fisiknya sehingga dapat menjangkau daerah yang cukup jauh serta memiliki rugi-rugi yang kecil[3].

Dengan menggunakan kabel serat optik, maka kualitas sinyal yang ditransmisikan berkapasitas besar dan memiliki tingkat kendala yang sangat tinggi. Selain itu, dengan menggunakan kabel serat optik dapat menghemat biaya serta menambah performansi untuk *high speed fiber* berdasarkan akses nirkabel[2].

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan suatu teknik modulasi dan *multiplexing* sinyal *multicarrier* yang memungkinkan sinyal dapat dimodulasikan dengan bertumpang tindih antara sinyal satu dengan lainnya. Teknologi RoF memanfaatkan kelebihan teknik *multiplexing* OFDM, yaitu suatu kemampuan untuk memanipulasi sinyal menjadi beberapa *subcarrier*, dan kelebihan media serat optik yaitu memiliki ketahanan terhadap interferensi dan kecepatan transmisi yang tinggi[4]. OFDM-RoF merupakan sistem transmisi dengan menggunakan modulasi radio, dengan kecepatan akses yang sangat tinggi.

B. Tinjauan Pustaka

Penelitian Analisis Performansi OFDM pada Jaringan RoF menyajikan model jaringan *Radio over Fiber* dengan menggunakan teknik OFDM dengan arsitektur *Passive Optical Network* (PON). Sistem OFDM-RoF

menggunakan frekuensi 193,1 THz, *power* laser -7 sampai 1 dBm, panjang gelombang 1.552,5 nm dan panjang serat optik 50 km. Berdasarkan hasil penelitian model RoF memiliki performansi baik pada *subcarrier* 256, 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192. Jumlah *Optical Network Unit* maksimal yang bisa digunakan pada model ini adalah 16 ONU. Daya minimum yang bisa digunakan pada jaringan RoF menggunakan teknik OFDM-PON adalah -5 dBm[2].

Penelitian Analisis unjuk kerja sistem 4-qam OFDM RoF dengan menggunakan sistem *Dithering* untuk mengatasi efek *nonlinier*, menggunakan *bit rate* 40 Gbps, panjang fiber 100 km dan daya laser -8, -4, -2, 0, 2, 4, 8 dBm. Berdasarkan hasil pengujian bahwa daya masukan pada *CW Laser* dengan daya 8 dBm memberikan hasil yang baik, sedangkan pada daya -8 dBm mengalami perubahan yang kurang baik[5].

Penelitian Analisis unjuk kerja sistem OFDM-RoF 10 Gbps dengan Mapping 4-qam menggunakan sistem *Dithering*, yaitu merancang sistem OFDM-RoF dengan menggunakan mapping 4-qam, variasi daya *input* -8 sampai 8 dBm, dan panjang fiber 10, 50, 100 km. Berdasarkan hasil pengujian daya input -8 dBm pada jarak 10 km dari hasil *power* meter menunjukkan performansi *spectrum* sinyal sebesar 100,577 Hz. Sedangkan daya input 8 dBm pada jarak 10 km dari hasil *power* meter menunjukkan performansi sinyal sebesar 116,471 Hz. Dari pengujian tersebut didapatkan kesimpulan panjang fiber dan daya *input* sangat berpengaruh terhadap performansi sinyal[6].

Penelitian Simulasi jaringan RoF dengan menggunakan OFDM pada arsitektur PON, menggunakan *bit rate* 10 GHz, frekuensi radio 7,5 GHz, jarak yang digunakan 100km. Berdasarkan hasil pengujian, pada penggunaan *power splitter* 1:2 dapat digunakan hingga 60 km dengan nilai *Bit Error Rate* (BER) $5,3 \times 10^{-9}$. Pada *power splitter* 1:4 dapat digunakan hingga 40 km dengan nilai BER $1,49 \times 10^{-14}$. Penggunaan *power splitter* 1:16 dapat digunakan hingga 20 km dengan nilai BER $1,8 \times 10^{-9}$ [7].

C. Maksud dan Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat suatu pemodelan (simulasi) jaringan RoF dengan mengimplementasikan teknik OFDM dalam jaringan tersebut untuk jarak 100 km dan 150 km dengan menganalisa unjuk kerja sistem berdasarkan parameter BER dan *output* dari *transmitter*.

II. METODOLOGI

Dalam perancangan sistem OFDM-RoF diperlukan beberapa metode. Metode tersebut meliputi :

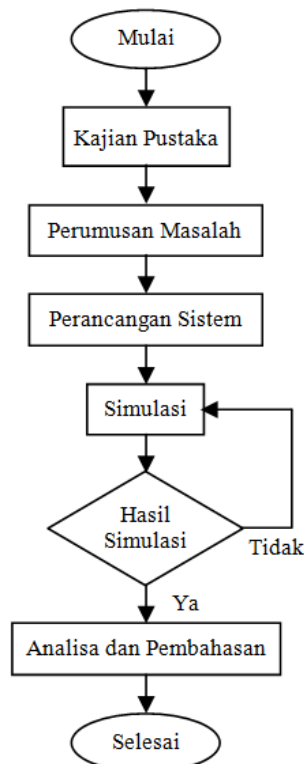
A. Alat Yang Digunakan

Dalam penelitian ini digunakan satu buah laptop untuk melakukan simulasi, dan beberapa perangkat lunak yaitu:

1. *Optisystem 18.0*
2. *Microsoft Visio*

B. Blok Diagram Alur Penelitian

Terdapat beberapa tahapan dalam penelitian yang dilakukan, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



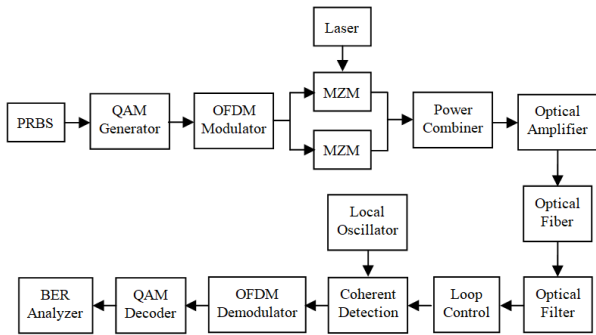
Gbr. 1 Blok Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan meninjau kajian pustaka yang sudah dikumpulkan oleh penulis untuk menentukan konsep dari suatu permasalahan penelitian yang telah ada sebelumnya. Tujuannya adalah untuk membedakan penelitian ini dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh orang lain. Permasalahan masalah dilakukan setelah mendapat konsep dari kajian pustaka yang telah ditentukan.

Tahap selanjutnya adalah melakukan perancangan sistem dan simulasi. Dalam hal ini penulis membuat model jaringan OFDM-RoF dengan menggunakan sistem mapping 4-qam dengan menggunakan *software optisystem*. Setelah simulasi dilakukan sesuai parameter yang telah dibuat, tahap selanjutnya adalah analisis hasil dari simulasi yang telah dilakukan. Dengan hasil tersebut maka akan diketahui performansi dari sistem yang telah dibuat.

C. Blok Diagram Sistem

Desain jaringan yang digunakan seperti pada Gambar 2.



Gbr. 2 Blok Diagram Sistem

Dari sisi *transmitter* terdapat *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS) yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal informasi berupa sinyal digital. Kemudian sinyal akan dibentuk ke dalam *orthogonal* pada masing-masing *subcarrier* di OFDM modulator. OFDM modulator akan menghasilkan sinyal elektrik yang kemudian akan melewati dua buah *Mach Zehnder Modulator* (MZM), dimana MZM berfungsi memodulasikan sinyal elektrik ke dalam sinyal cahaya, agar dapat ditransmisikan ke dalam serat optik.

Sinyal optik yang sudah dihasilkan oleh MZM kemudian akan disalurkan ke dalam serat optik. Kemudian sinyal akan diperkuat oleh penguat optik yaitu *Optical Amplifier* dan melalui *Optical Filter* yang berfungsi mengambil sinyal informasi.

Pada sisi *receiver* sinyal optik yang dikirim oleh *transmitter* akan diubah menjadi sinyal elektrik oleh *Photodetector*. Blok *OFDM Demodulator* dan *QAM Decoder* merupakan pengembalian proses dari sisi *Transmitter*.

D. Parameter Setup

Parameter-parameter yang digunakan untuk simulasi sistem OFDM-RoF dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini.

TABEL I
Global Parameter Setup

| Parameter | Nilai | Satuan |
|-----------------|------------------|--------|
| Bit Rate | 10×10^9 | Bit/s |
| Sample Rate | 40×10^9 | Hz |
| Sequence Length | 16384 | Bits |

Sumber cahaya disebut sebagai komponen aktif dalam sistem komunikasi serat optik. Fungsi sumber cahaya adalah mengubah arus listrik menjadi energi optik sehingga dapat disalurkan ke serat optik. Sumber Optik yang digunakan pada model jaringan yang dibuat adalah CW Laser. Tabel 2 merupakan parameter yang digunakan.

TABEL II
Parameter CW Laser

| Parameter | Nilai | Satuan |
|-----------|-------------|--------|
| Frequency | 193.1 | THz |
| Power | -8 sampai 8 | dBm |
| Linewidth | 0.15 | MHz |

Serat optik adalah media pengirim yang terbuat dari kaca atau plastik, dengan media pembawa adalah cahaya. Serat optik adalah media transmisi yang mampu menghantarkan data dengan waktu yang sangat cepat[2]. Jenis serat optik yang digunakan sebagai media transmisi adalah *Single Mode Fiber* (SMF) sesuai standar ITU-T G.655. Tabel 3 merupakan parameter SMF yang digunakan.

TABEL III
Parameter Serat Optik

| Parameter | Nilai | Satuan |
|-------------------------|-------------|------------------------|
| Reference Wavelength | 1550 | nm |
| Length | 100 dan 150 | Km |
| Attenuation | 0.2 | dB/km |
| Dispersion | 16.75 | Ps/nm/km |
| Dispersion Slope | 0.075 | ps/nm ² /Km |
| Lower Calculation Limit | 1200 | nm |
| Upper Calculation Limit | 1700 | nm |

Photodetector berfungsi mengubah energi optik yang diterima menjadi arus keluaran. *Photodetector* yang digunakan dalam model jaringan ini adalah *photodetector* model PIN (P *Intrinsic* N). Tabel 4 merupakan parameter *photodetector* yang digunakan.

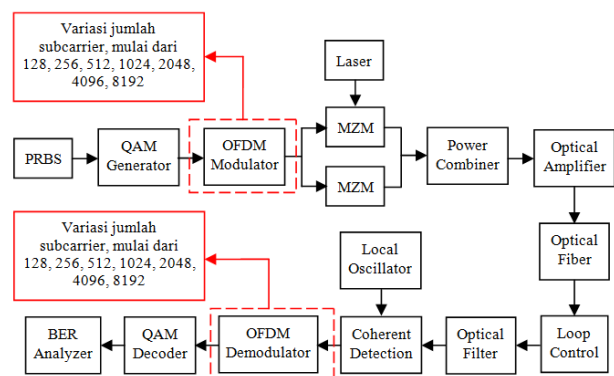
TABEL IV
Parameter Photodetector PIN

| Parameter | Nilai | Satuan |
|------------------|-------|--------|
| Responsivity | 1 | A/W |
| Dark Current | 10 | nA |
| Center Frequency | 193,1 | THz |

E. Skenario Penelitian

Ada beberapa skenario penelitian yang dilakukan, yaitu memberi variasi jumlah *subcarrier* pada OFDM Modulator dan Demodulator dan memberi variasi ukuran daya input pada CW Laser.

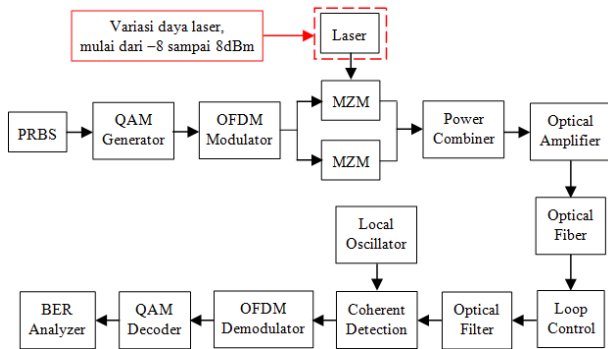
1. Skenario pemberian variasi jumlah *subcarrier* terhadap BER, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gbr. 3 Skenario Penelitian 1

Pada skenario penelitian pertama, dilakukan untuk melihat pengaruh dari jumlah *subcarrier* terhadap performansi BER yang akan dihasilkan. Simulasi dilakukan dengan cara memberi beberapa variasi jumlah *subcarrier* pada OFDM modulator dan demodulator, yaitu 128, 256, 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192.

2. Skenario pemberian variasi daya laser terhadap BER, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gbr. 4 Skenario Penelitian 2

Pada skenario penelitian kedua adalah memasukkan variasi daya laser dan jarak yang akan digunakan. Simulasi ini untuk melihat pengaruh daya *input* terhadap BER yang didapatkan. Daya *input* laser yang digunakan adalah -8 sampai 8 dBm.

F. BER

BER adalah perbandingan antara probabilitas jumlah bit salah yang diterima oleh *receiver* terhadap jumlah bit yang dikirim pada sisi *transmitter*. Dalam komunikasi serat optik, sesuai standar ITU-T, persyaratan minimum BER harus setidaknya 10^{-9} [8].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

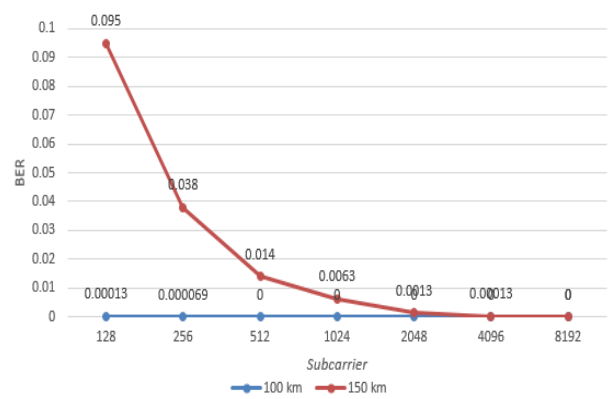
Bagian ini berisi tentang hasil penelitian dan pembahasan/analisis dari sistem OFDM-RoF yang sudah dirancang.

A. Pengaruh Jumlah *Subcarrier* Terhadap Nilai BER

Hasil variasi *subcarrier* terhadap BER seperti diperlihatkan pada Tabel 5, sedangkan dalam bentuk grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 5.

TABEL V
Pengaruh *Subcarrier* Terhadap Nilai BER

| Jumlah <i>Subcarrier</i> | Bit Error Rate (BER) | |
|--------------------------|----------------------|---------|
| | 100 km | 150 km |
| 128 | 0,00013 | 0,095 |
| 256 | 0,000069 | 0,038 |
| 512 | 0 | 0,014 |
| 1024 | 0 | 0,063 |
| 2048 | 0 | 0,0013 |
| 4096 | 0 | 0,00013 |
| 8192 | 0 | 0 |



Gbr. 5 Grafik Hasil Pengukuran *Subcarrier* Terhadap Nilai BER

Berdasarkan hasil dari Tabel 5, didapatkan hasil dari pengaruh *subcarrier* pada jarak 100 km dan 150 km. Untuk jarak 100 km, nilai BER yang didapatkan pada *subcarrier* 512 – 8192 adalah 0, yang artinya pengiriman data dilakukan dengan sempurna tanpa ada satupun data yang rusak. Sedangkan pada *subcarrier* 128 dan 256 mendapatkan nilai BER 0,00013 dan 0,000069. Pada *subcarrier* 128 membuktikan bahwa terdapat *error* sejumlah 13 pada setiap 100.000 bit yang terkirim. Sedangkan pada *subcarrier* 256 terdapat *error* sejumlah 69 pada setiap 1.000.000 bit yang terkirim.

Pada jarak 150 km, BER yang bagus hanya terdapat pada *subcarrier* 8192 yaitu 0, yang berarti telah memenuhi standar minimum BER yang harus didapat yaitu 10^{-9} . Untuk *subcarrier* 128 sampai 4096 terdapat *error* pada pengiriman bit yang terkirim. *Subcarrier* 128 mendapat nilai BER 0,095, terdapat *error* sejumlah 95 pada setiap 1.000 bit yang terkirim. Pada *subcarrier* 1.024 mendapatkan nilai BER 0,0063, terdapat *error* sejumlah 63 pada setiap 10.000 bit yang terkirim. Pada *subcarrier* 4.096 mendapat nilai BER 0,00013, terdapat *error* sejumlah 13 setiap 100.000 bit yang terkirim. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar *subcarrier* yang digunakan maka akan semakin bagus. Sedangkan jarak sangat mempengaruhi terhadap jumlah BER yang didapatkan.

B. Pengaruh Daya Laser Terhadap BER

Hasil variasi *subcarrier* terhadap BER dapat diperlihatkan pada Tabel 6. Berdasarkan hasil dari Tabel 6, didapatkan hasil dari pengaruh variasi *input* daya laser. Daya laser yang digunakan adalah -8 sampai 8 dBm pada jarak 100 dan 150 km. Pada jarak 100 km didapatkan hasil BER yang bagus pada *input* daya laser -6 sampai 8 dBm, yaitu BER sebesar 0 dan telah memenuhi hasil minimum BER yang harus didapatkan yaitu 10^{-9} , yang artinya semua bit yang terkirim tidak terjadi *error*. Untuk *input* daya laser -8 dBm mendapatkan BER 0,0016, terdapat 16 *error* setiap 10.000 bit yang terkirim. Sedangkan untuk *input* daya laser -7 dBm mendapatkan BER 0,0002, terdapat 2 *error* setiap 10.000 bit yang terkirim. *Error* pada jarak 100 km mulai terjadi pada daya -7 dBm ke bawah dan daya laser yang bagus terdapat pada -6 dBm keatas.

TABEL VI
Pengaruh Daya Laser Terhadap Nilai BER

| Transmitter Power (dBm) | Bit Error Rate (BER) | |
|----------------------------|----------------------|--------|
| | 100 km | 150 km |
| -8 | 0,0016 | 0,13 |
| -7 | 0,0002 | 0,092 |
| -6 | 0 | 0,050 |
| -5 | 0 | 0,026 |
| -4 | 0 | 0,014 |
| -3 | 0 | 0,0060 |
| -2 | 0 | 0,0041 |
| -1 | 0 | 0,0016 |
| 0 | 0 | 0,0011 |
| 1 | 0 | 0,0003 |
| 2 | 0 | 0,0001 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 |

Variasi *input* daya laser kedua adalah untuk jarak 150 km. Pada jarak 150 km didapatkan hasil BER yang bagus pada *input* daya laser 3 sampai 8 dBm. Sedangkan untuk daya laser 2 sampai -8 dBm mendapatkan BER yang cukup tinggi.

Dari pengujian yang sudah dilakukan, untuk variasi *input* daya laser yang bagus pada jarak 100 km adalah -6 sampai 8 dBm. Sedangkan untuk jarak 150 km, variasi *input* daya laser yang bagus terdapat pada 3 sampai 8 dBm. Pada jarak 100 dan 150 km telah memenuhi hasil minimum BER yang harus didapatkan yaitu 10^{-9} . Hal ini membuktikan bahwa *input* daya laser mempengaruhi hasil yang didapat pada BER. Semakin besar *input* daya laser, maka akan semakin bagus BER yang didapatkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sistem OFDM-RoF, perubahan *subcarrier* pada OFDM memiliki pengaruh terhadap unjuk kerja BER. Berdasarkan hasil pengujian pada jarak 100 km, didapatkan hasil yang baik pada *subcarrier* 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192. Sedangkan untuk jarak 150 km didapatkan hasil yang baik pada *subcarrier* 8192. Semakin tinggi *subcarrier* yang dipakai, maka akan semakin bagus nilai BER yang didapatkan. Jarak fiber optik sangat mempengaruhi terhadap nilai BER yang didapatkan. Semakin jauh jarak yang dipakai, maka *subcarrier* yang dipakai juga harus tinggi supaya mendapatkan hasil yang bagus.

Input daya laser pada kinerja OFDM-RoF memiliki pengaruh terhadap nilai BER yang didapatkan. Untuk jarak 100 km, didapatkan hasil yang bagus pada daya laser -6 sampai 8 dBm. Sedangkan untuk jarak 150 km didapatkan hasil yang bagus pada daya laser 3 sampai 8 dBm. Semakin besar daya laser yang diberikan, maka akan semakin bagus nilai BER yang didapatkan.

REFERENSI

- [1] Basalamah, A. (2018). ANALISIS TEKNOLOGI OFDM PADA RADIO OVER FIBER (ROF). *Logitech Teknik Elektro*, 1(1), 40-44.
- [2] Pratama, T. A. (2013). *Analisis Performansi OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Pada Jaringan Radio Over Fiber (ROF)*. UIN SUSKA RIAU. [Online] April 5, 2016. [Cited: January 14, 2021] <http://repository.uin-suska.ac.id/3192/>.
- [3] Khoirunnisa, A. Z., Purnomowati, E. B., & Mustofa, A. (2013). Analisis Pengaruh Penggunaan Antena Jamak MIMO 2x2, SIMO 1x2 dan SISO 1x1 terhadap Performansi Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) pada Teknologi Radio over Fiber (RoF). *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 1(2).
- [4] Dianto, T. W., Zulherman, D., & Khair, F. (2018). STUDI PERANCANGAN SISTEM RoF-OFDM POLARISASI TIDAK SEIMBANG MENGGUNAKAN MODULASI QPSK DAN QAM. *Prosiding SENIATI*, 307-311.
- [5] Choerunisa, E. L., & Khair, F. (2019). *Analisis Unjuk Kerja Sistem 4-Qam Ofdm Rof yang Menggunakan Sistem Dithering untuk Mengatasi Efek Nonlinier*. Purwokerto : Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM).
- [6] Nugraha, N. H., Khair, F., & Zulherman, D. (2019). *Analisis Unjuk Kerja Sistem OFDM-RoF 10 Gbps dengan mapping 4-QAM menggunakan Sistem Dithering*. Purwokerto : Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM).
- [7] Syukrina, W. I., Hambali, A., & Maulana, M. I. (2018). Simulasi Jaringan Radio Over Fiber (RoF) Dengan Mengimplementasikan Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Arsitektur PON. *eProceedings of Engineering*, 5(3), 5521-5528.
- [8] ITU. (2016). *Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks*. ITU-T Telecommunication Standardization Sector of ITU.