

Performansi Sistem *Free Space Optic* dengan SS-WDM-MIMO Menggunakan Teknik Modulasi QPSK pada Beberapa Cuaca

Norvan Mukhtar¹, Rika Susanti^{2*}

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293
Email: norvanmukhtar@gmail.com, rika.susanti@uin-suska.ac.id*

ABSTRAK

Sistem komunikasi *Free Space Optic* memiliki kecepatan akses data yang tinggi dibandingkan sistem komunikasi *wireless* lain. Sistem *Free Space Optic* ditransmisikan melalui udara, sehingga keadaan cuaca sangat mempengaruhi kinerja sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh cuaca pada sistem *Free Space Optic* dengan teknologi SS-WDM-MIMO. Pada penelitian ini diperoleh daya input minimum dan jarak transmisi maksimum sistem SS-WDM MIMO pada beberapa kondisi cuaca, mencakup cuaca cerah, hujan ringan, hujan sedang, hujan berat, salju basah, salju kering, kabut tipis, kabut asap tipis, kabut tebal, dan kabut asap tebal. Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK. Berdasarkan hasil simulasi, sistem SS-WDM MIMO FSO dengan daya 0 dBm, dapat memberikan kinerja yang baik dalam berbagai kondisi cuaca, kecuali pada kondisi cuaca hujan berat dan kabut asap tebal. Daya minimum yang dibutuhkan sistem untuk dapat memberikan kinerja yang baik pada jarak 1 km pada kondisi cuaca hujan berat adalah 3 dBm, sedangkan pada kondisi cuaca kabut asap tebal adalah 9 dBm. Dengan daya sebesar 9 dBm, jarak transmisi maksimum sistem pada kondisi cuaca yang memiliki nilai redaman terkecil (cuaca cerah) dapat mencapai 13 km, sedangkan jarak transmisi maksimum untuk sistem dengan cuaca yang memiliki nilai redaman terbesar (cuaca kabut asap tebal) hanya mencapai 1 km.

Kata Kunci: BER, FSO, Pengaruh Cuaca, QPSK, SS-WDM-MIMO

ABSTRACT

The Free Space Optic communication system has a high data access speed compared to other wireless communication systems. The Free Space Optic system uses air as the transmission medium, so weather conditions greatly affect the performance of the Free Space Optic system. This study aims to determine the effect of weather on the Free Space Optics system with SS-WDM-MIMO technology, include of sunny weather, light rain, moderate rain, heavy rain, wet snow, dry snow, light fog, light smog, thick fog, and thick smog. The modulation technique used is QPSK. In this research, the minimum input power and maximum transmission distance of the system are determined under various weather conditions. Based on simulation results, the system with a power of 0 dBm can provide good performance in various weather conditions, except in heavy rain and thick smog. The minimum power required for the system to provide good performance at a distance of 1 km in heavy rainy weather conditions is 3 dBm, while in thick smog weather conditions is 9 dBm. The system's maximum transmission distance with a power of 9 dBm in sunny weather condition that has smallest attenuation is 13 km, while for thick smog condition that has largest attenuation is only 1 km.

Keywords: BER, FSO, Wheater Effect, QPSK, SS-WDM-MIMO

Pendahuluan

Free Space Optic (FSO) merupakan teknologi yang dapat mentransmisikan sinyal cahaya melalui udara[1]. FSO memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem komunikasi *wireless* lainnya, seperti pemasangan yang mudah[2], biaya yang murah[3], memiliki kecepatan akses data yang tinggi[4], serta merupakan sistem dengan *free license*[5]. Link FSO memberikan kecepatan data hingga gigabit per detik dengan sistem yang lebih

seederhana[6]. FSO menjadi alternatif yang lebih baik untuk teknologi frekuensi radio[7].

Penelitian [8][9] menerapkan konsep *Multi Input Multi Output* (MIMO) pada sistem FSO. Dengan penambahan MIMO, redaman sinyal pada FSO dapat dikurangi. Pada penelitian tersebut dilakukan perbandingan sistem MIMO dengan 1 *Transmitter* (Tx) / 1 *Receiver* (Rx), 2Tx/2Rx, 3Tx/3Rx, dan 4Tx/4Rx. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa MIMO dengan 4Tx/4Rx memberikan kinerja yang lebih baik. Semakin

banyak jumlah pancaran cahaya dapat menghasilkan nilai BER yang lebih rendah sehingga terjadi peningkatan kinerja.

Untuk meningkatkan *bandwidth* dan sistem dapat mencakup area yang cukup luas, teknik multiplexing *Wave Division Multiplexing* (WDM) dapat diimplementasikan pada sistem FSO[10][11]. Teknik WDM yang dapat menjamin berbagai sumber optik dengan beberapa panjang gelombang dapat ditransmisikan melalui satu kanal sehingga dapat meningkatkan *bandwidth*, kapasitas, dan kecepatan transmisi sistem[12]. Pada penelitian [13] dilakukan perbandingan kinerja sistem *Spectrum Slicing – Wave Division Multiplexing* (SS-WDM) MIMO dengan WDM tanpa *Spectrum Slicing* (SS). Dimana sistem dengan SS-WDM MIMO, data dapat ditransmisikan menggunakan kanal FSO dan menghasilkan nilai BER lebih baik dari pada sistem tanpa SS-WDM-MIMO.

Penelitian [14] menganalisis sistem FSO menggunakan SS-WDM-MIMO dengan teknik modulasi *Amplitude Shift Keying* (ASK). Penggunaan teknik modulasi pada sistem telekomunikasi berpengaruh terhadap laju kesalahan data dan mempengaruhi nilai BER yang dapat berdampak terhadap jarak transmisi. Penelitian [15] melakukan analisis perbandingan sistem FSO menggunakan teknik modulasi ASK dan PSK, dan diperoleh bahwa FSO dengan teknik modulasi PSK menghasilkan nilai *Q factor* yang lebih baik dibandingkan dengan FSO menggunakan modulasi ASK. Berdasarkan uraian di atas, maka penulis tertarik untuk mendesain sistem komunikasi FSO dengan teknik SS-WDM-MIMO menggunakan modulasi QPSK.

Sistem komunikasi FSO ditransmisikan melalui udara, sehingga keadaan cuaca dan keadaan mikrofisika atmosfer sangat mempengaruhi propagasi sinyal cahaya [16][17]. Kondisi cuaca juga mempengaruhi besarnya redaman sinyal[18][19]. Melihat pentingnya cuaca yang dapat memberikan pengaruh terhadap jarak transmisi yang dapat dicapai oleh sistem FSO, maka pada penelitian ini dianalisis pengaruh cuaca terhadap jarak transmisi sistem FSO menggunakan teknologi SS-WDM-MIMO dengan teknik modulasi QPSK.

Metode Penelitian

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dijabarkan di atas, maka pada penelitian ini didesain sistem SS-WDM-MIMO pada komunikasi FSO dengan menggunakan modulasi QPSK. Model sistem disimulasikan pada beberapa kondisi cuaca, yaitu cuaca cerah, hujan (ringan, sedang, berat), salju (basah dan kering), kabut (tipis dan tebal), dan kabut asap (tipis dan tebal).

a. SS- WDM

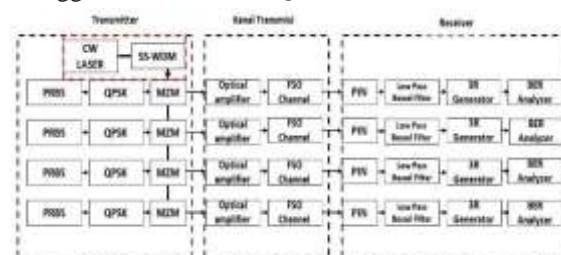
Teknologi *Spectrum Slicing* (SS) dapat mengurangi penggunaan laser koheren pada pengaplikasian *Wavelength Division Multiplexing* (WDM)[20]. SS bertindak sebagai *transistor* di jalur optik, sehingga dapat meningkatkan toleransi dispersi dan meningkatkan *bandwidth* dalam sistem komunikasi optik[21]. Selain itu keunggulan lain dari SS adalah dapat meningkatkan jumlah data yang ditransmisikan menggunakan bentuk gelombang yang sama empat kali lebih banyak [13].

b. Modulasi QPSK

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) merupakan pengembangan dari teknik modulasi PSK[22]. QPSK setiap fasenya berbeda 90° dan menggunakan transmisi 2-bit dalam satu interval sinyal. Jika fasenya terletak pada fase 0, maka mewakili sinyal data (0, 0)[23]. Jika fasenya terletak pada fase $\pi / 2$ maka mewakili sinyal data (0, 1). Jika fasenya terletak pada fase π , maka mewakili sinyal data adalah (1, 0). Jika fasenyanya terletak pada fase $3\pi / 2$, maka mewakili sinyal data (1, 1)[24].

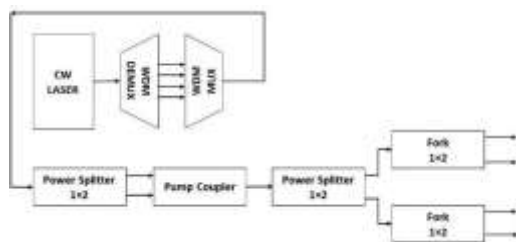
c. SS-WDM-MIMO dengan Modulasi QPSK

Gambar 1 menampilkan model sistem dan cara kerja sistem FSO dengan Teknik SS-WDM MIMO menggunakan modulasi QPSK.



Gambar 1. Blok diagram sistem FSO

Dalam proses pengiriman informasi dalam sistem FSO dibagi ke dalam tiga kelompok komponen utama yaitu *transmitter*, kanal transmisi, *receiver*. Pada bagian *transmitter*, sinyal informasi dibangkitkan oleh *Pseudo Random Bit Sequence* (PRBS). Sinyal informasi tersebut dimodulasikan menggunakan *generator Phase shift Keying* (PSK) yang kemudian diteruskan ke modulator optik *Mach Zender Modulator* (MZM) yang akan mengirimkan sinyal informasi elektrik dengan menggunakan sinyal optik yang berasal dari CW Laser yang kemudian memasuki *subsystem* SS-WDM yang dapat dilihat lebih jelas pada gambar 2.



Gambar 2. Kanal SS-WDM

Sebelum mengirimkan sinyal optik ke MZM, sumber optik berupa *Laser* diiris menjadi 4 kanal menggunakan WDM DeMUX 1×4 kemudian dilanjutkan ke WDM MUX 4×1 untuk diteruskan ke masing-masing modulator optik. Keluaran sinyal optik tersebut diteruskan ke kanal transmisi lalu ke *Optical Amplifier* untuk memperkuat level daya sinyal. Kemudian diteruskan melalui kanal FSO. Pada kanal FSO diinputkan nilai parameter redaman pada kondisi cuaca yang berbeda-beda. Nilai redaman dapat dilihat pada tabel 1 [25]. Pada penelitian ini, model sistem disimulasikan dengan menggunakan daya input 0 hingga 9 dBm, dengan panjang gelombang 1550 nm, dan *bitrate* 10 Gbps.

Pada bagian *receiver* sinyal optik diterima oleh PIN *Photodiode* dan diubah menjadi sinyal elektrik yang kemudian melewati filter sebelum berakhir di BER *Analyzer* untuk mengetahui laju kesalahan data yang terjadi selama proses penransmisian data pada sistem tersebut. Hasil tersebut yang dijadikan sebagai acuan untuk melihat pengaruh cuaca terhadap performansi sistem FSO dengan teknologi SS-WDM-MIMO.

Tabel 1. Nilai redaman kanal FSO

Kondisi Cuaca	Nilai Redaman
Cerah	0,23 dB/km
Hujan Ringan	6,27 dB/km
Hujan Sedang	9,64 dB/km
Hujan Berat	19,2 dB/km
Salju Basah	6,2 dB/km
Salju Kering	14,3 dB/km
Kabut Tipis	0,55 dB/km
Kabut Asap tipis	15,5 dB/km
Kabut Tebal	2,37 dB/km
Kabut Asap Tebal	25,5 dB/km

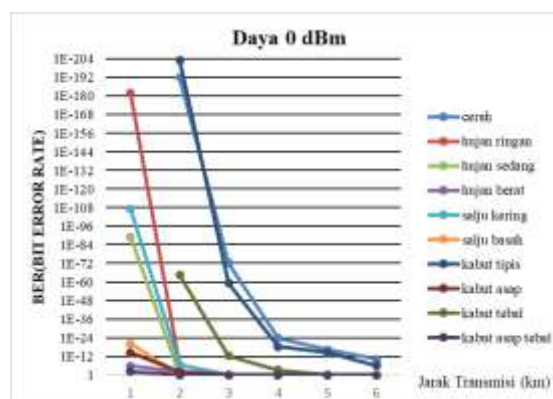
Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan nilai parameter yang telah disebutkan pada paragraf di atas, dilakukan simulasi untuk menentukan daya minimum yang dibutuhkan oleh sistem agar dapat beroperasi dengan baik pada seluruh kondisi cuaca. Standar nilai *Bit Error Rate*

(BER) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar $\leq 10^{-12}$ [26].

a. Kinerja Sistem menggunakan Daya 0 dBm

Skenario penelitian ini untuk mendapat jarak transmisi maksimum yang dapat dicapai sistem pada kondisi cuaca yang berbeda-beda dengan daya 0 dBm. Gambar 3 menampilkan performansi BER terhadap jarak transmisi untuk beberapa kondisi cuaca.

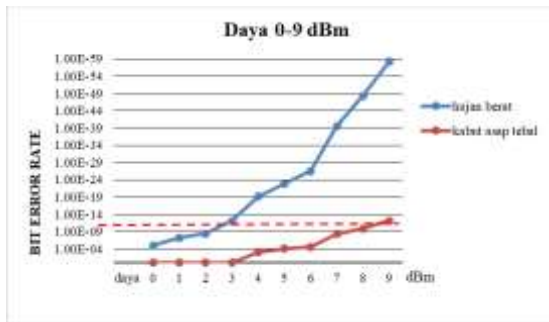


Gambar 3. Kinerja sistem dengan daya input 0 dBm

Berdasarkan grafik di atas diperoleh bahwa sisten SS-WDM MIMO FSO dengan daya 0 dBm dapat beroperasi dengan baik dalam berbagai kondisi cuaca, kecuali pada kondisi cuaca hujan berat dan kabut asap tebal. Jarak maksimum yang dapat dicapai oleh sistem pada cuaca cerah dan kabut tipis adalah 5 km, dengan nilai BER $7,04 \times 10^{-17}$ dan $4,04 \times 10^{-15}$. Jarak transmisi maksimum untuk kondisi cuaca kabut tebal adalah 3 km dengan nilai BER sebesar $6,31 \times 10^{-13}$. Sedangkan jarak transmisi sistem pada kondisi cuaca hujan ringan, hujan sedang, salju kering, salju basah, dan kabut asap hanya 1 km, dengan nilai BER $1,31 \times 10^{-182}$ (hujan ringan), $7,87 \times 10^{-90}$ (hujan sedang), $9,92 \times 10^{-21}$ (salju kering), $6,38 \times 10^{-108}$ (salju basah), dan $4,27 \times 10^{-15}$ (kabut asap).

b. Kinerja Sistem menggunakan Daya 0-9 dBm

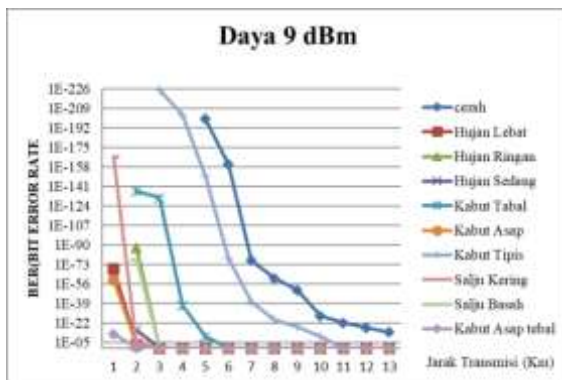
Untuk menentukan daya minimum yang dibutuhkan sistem SS-WDM MIMO FSO agar dapat mentransmisikan sinyal pada jarak 1 km pada kondisi cuaca hujan berat dan kabut asap tebal, maka dilakukan simulasi sistem dengan menggunakan beberapa daya input. Gambar 4 menampilkan grafik nilai BER sistem SS-WDM MIMO FSO pada kondisi hujan berat dan kabut asap tebal dengan beberapa daya input



Gambar 4. Kinerja sistem dengan daya 0-9 dBm untuk jarak 1 km

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa untuk daya minimum sistem pada kondisi hujan berat adalah 3 dBm, dengan nilai BER sebesar $7,42 \times 10^{-13}$. Sedangkan pada kondisi kabut asap tebal, daya minimum yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sinyal sejauh 1 km adalah 9 dBm, dengan nilai BER sebesar $7,69 \times 10^{-13}$.

Gambar 5 menampilkan performansi BER terhadap jarak transmisi sistem SS-WDM MIMO FSO dengan daya input 9 dBm.



Gambar 5 Kinerja sistem dengan daya 9 dBm

Berdasarkan grafik di atas, jarak transmisi maksimum sistem pada kondisi cuaca yang memiliki nilai redaman terkecil (cuaca cerah) adalah 13 km, dengan nilai BER sebesar $1,28 \times 10^{-13}$. Sedangkan jarak transmisi maksimum untuk sistem dengan cuaca yang memiliki nilai redaman terbesar (cuaca kabut asap tebal) adalah 1 km dengan nilai BER sebesar $7,69 \times 10^{-13}$.

Kesimpulan

Pada penelitian ini diperoleh bahwa sistem SS-WDM MIMO FSO dengan daya 0 dBm dapat memberikan kinerja yang baik pada 8 dari 10 kondisi cuaca, yaitu kondisi cuaca cerah, hujan ringan, hujan sedang, salju kering, salju basah, kabut tipis, kabut asap, dan kabut tebal. Pada kondisi cuaca hujan berat, sistem dapat bekerja dengan baik dengan dayainput minimum sebesar 3 dBm. Sedangkan pada cuaca kabut asap tebal, dibutuhkan daya minimum

sebesar 9 dBm agar sistem dapat bekerja dengan baik. Jarak transmisi maksimum sistem pada kondisi cuaca yang memiliki nilai redaman terkecil (cuaca cerah) adalah 13 km, sedangkan jarak transmisi maksimum untuk sistem dengan cuaca yang memiliki nilai redaman terbesar (cuaca kabut asap tebal) adalah 1 km.

Daftar Pustaka

- [1] D. K. Singh, "Performance Optimization of Intelligent- Reflecting- Surfaces assisted-FSO link Performance Optimization of Intelligent-Reflecting- Surfaces assisted-FSO link," 2022.
- [2] R. Harada, N. Shibata, S. Kaneko, T. Imai, J. I. Kani, and T. Yoshida, "Adaptive Beam Divergence for Expanding Range of Link Distance in FSO with Moving Nodes Toward 6G," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 34, no. 20, pp. 1061–1064, 2022, doi: 10.1109/LPT.2022.3199789.
- [3] S. M. Sheikh, A. Tripathi, and A. Verma, "Performance Analysis of High Speed Spectrum Sliced FSO System," no. April 2019, 2021.
- [4] Y. Wu, M. Jiang, G. Li, and D. Kong, "Systematic Performance Analysis of Hybrid FSO / RF System over Generalized Fading Channels with Pointing Errors," 2022.
- [5] N. Hameed, T. M. Jatoti, and H. U. Manzoor, "Effect of weather conditions on FSO link based in Islamabad," *arXiv*, pp. 10–13, 2017.
- [6] R. Samy, H. C. Yang, T. Rakia, and M. S. Alouini, "Ergodic Capacity Analysis of Satellite Communication Systems With SAG-FSO/SH-FSO/RF Transmission," *IEEE Photonics J.*, vol. PP, pp. 1–9, 2022, doi: 10.1109/JPHOT.2022.3201046.
- [7] S. A. Zabidi, M. R. Islam, W. Al-Khateeb, and A. W. Naji, "Analysis of Rain Effects on Terrestrial Free Space Optics based on Data Measured in Tropical Climate," *IJUM Eng. J.*, vol. 12, no. 5, pp. 45–51, 2012, doi: 10.31436/iiumej.v12i5.232.
- [8] H. A. E. M. Ali, E. S. S. A. Said, and M. E. Yousef, "Effect of Environmental Parameters on the Performance of Optical Wireless Communications," *Int. J. Opt.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/1828275.
- [9] F. K. Shaker, M. A. A. Ali, and F. S. A. Ameer, "Utilization of MIMO concept for optical communication system under fog condition," *ECTI Trans. Electr. Eng. Electron. Commun.*, vol. 17, no. 2, pp. 130–135, 2019, doi: 10.37936/ecti-eec.2019172.219183.

- [10] H. A. Naser, "Dispersion compensation by utilizing WDM based fiber optics technique," no. October, 2022.
- [11] A. H. M. Husein and F. I. El Nahal, "Optimal design of 32 channels spectrum slicing WDM for optical fiber access network system," *Optik (Stuttg.)*, vol. 125, no. 18, pp. 5141–5143, 2014, doi: 10.1016/j.jjleo.2014.04.076.
- [12] N. Dayal, P. Singh, and P. Kaur, "Long Range Cost-Effective WDM-FSO System Using Hybrid Optical Amplifiers," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 97, no. 4, pp. 6055–6067, 2017, doi: 10.1007/s11277-017-4826-7.
- [13] F. Rashidi, J. He, and L. Chen, "Spectrum slicing WDM for FSO communication systems under the heavy rain weather," *Opt. Commun.*, vol. 387, no. July 2016, pp. 296–302, 2017, doi: 10.1016/j.optcom.2016.11.070.
- [14] M. Kumar, H. Kaur, S. Mahajan, and A. Sharma, "Design & Performance Analysis of MIMO-FSO Communication System Based on Four channel Spectrum Slicing using AM Technique," vol. m, pp. 3693–3698, 2018.
- [15] M. Ashraf, G. Baranwal, D. Prasad, S. Idris, and M. T. Beg, "Performance Analysis of ASK and PSK Modulation Based FSO System Using Coupler-Based Delay Line Filter under Various Weather Conditions," *Opt. Photonics J.*, vol. 08, no. 08, pp. 277–287, 2018, doi: 10.4236/opj.2018.88023.
- [16] S. H. Ali, "Advantages and Limits of free Space Optics," *Int. J. Adv. Smart Sens. Netw. Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 1–6, 2019, doi: 10.5121/ijassn.2019.9301.
- [17] F. P. Guiomar *et al.*, "High-capacity and rain-resilient free-space optics link enabled by time-adaptive probabilistic shaping," *arXiv*, pp. 3–6, 2019, doi: 10.1049/cp.2019.0864.
- [18] M. Twati, "Analysis of Rain Effects on Free Space Optics Based on Data Measured in the Libyan Climate," *Int. J. Inf. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 6, 2014, doi: 10.7763/ijjee.2014.v4.485.
- [19] S. Robinson and S. Jasmine, "Performance Analysis of Hybrid WDM-FSO System under Various Weather Conditions," *Frequenz*, vol. 70, no. 9–10, pp. 433–441, 2016, doi: 10.1515/freq-2015-0287.
- [20] P. Kumar, P. Verma, R. Singh, and R. K. Patel, "Proceeding of International Conference on Intelligent Communication, Control and Devices," no. September, pp. 979–989, 2016, doi: 10.1007/978-981-10-1708-7.
- [21] A. O. Aladeloba, M. S. Woolfson, and A. J. Phillips, "WDM FSO network with turbulence-accentuated interchannel crosstalk," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 5, no. 6, pp. 641–651, 2013, doi: 10.1364/JOCN.5.000641.
- [22] Y. Li *et al.*, "Single-carrier transmission scheme for extracting characteristic parameters of 32-Point 6PolSK-QPSK," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2022, no. 1, 2022, doi: 10.1186/s13634-022-00935-7.
- [23] R. Marwa, H. Vidyaningtyas, and ..., "Analisis Performansi Fso Dengan Teknik Ofdm Pada Kanal Kim Dan Kruse Menggunakan Modulasi Qpsk (performance Analysis Of Fso With Ofdm Technique ...)," *eProceedings ...*, vol. 8, no. 1, pp. 142–152, 2021, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversiti.ac.id/index.php/engineering/article/viewFile/14261/14045>.
- [24] K. Prabu, S. Charanya, M. Jain, and D. Guha, "BER analysis of SS-WDM based FSO system for Vellore weather conditions," *Opt. Commun.*, vol. 403, no. July, pp. 73–80, 2017, doi: 10.1016/j.optcom.2017.07.012.
- [25] S. Burdah, O.N. Samijayani, A. Syahriar, R. Ramdhani, dan R. Alamtaha, "Performance Analysis of Q Factor Optical Communication in Free Space Optics and Single Mode Fiber," *ujeee*, vol. 6, no. 3, hlm. 167-175, Jul 2019, doi: 10.13189/ujeee.2019.060311.