

Perancangan Jaringan *Sub Carrier Multiplexing (SCM) / Wavelength Division Multiplexing (WDM) Radio Over Fiber (ROF)* Menggunakan Teknik Modulasi DPSK

Dyan Anggreani D.¹⁾, 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 : dyan.anggreani6088@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The rapid development of telecommunications technology makes a network with a larger bandwidth capacity and higher speed. In order to meet these demands, optical communication technologies have been developed, one of which is Radio Over Fiber (ROF), which combines a wireless and an optical network using an analog optical cable that transmits a modulated Radio Frequency (RF) signal. This study uses a frequency of 15 GHz combined with Wavelength Division Multiplexing (WDM) and Sub Carrier Multiplexing (SCM) technology. It presents an SCM/WDM ROF using Diferensial phase shift keying (DPSK) modulation technique. The performance parameters are BER, Q-factor and eye diagram. The model system was simulated using the OptiSystem simulation software. Based on the results, the BER values are 1.00243×10^{-50} at SCM/WDM 1 and 1.24638×10^{-47} at SCM/WDM 2, respectively. Futhermore, the Q-Factor quality is 14,933 at SCM/WDM 1 and is 14,4503 on SCM/WDM 2. All parameters are in accordance with ITU standardization.

Keywords: DPSK, Eye Diagram, OptiSystem, ROF, SCM, WDM, Q-Factor

I. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi telekomunikasi membuat permintaan pelanggan akan layanan komunikasi berkecepatan tinggi semakin meningkat dari waktu ke waktu. Untuk memenuhi tuntutan ini, diperlukan jaringan dengan kapasitas bandwidth yang lebih besar dan kecepatan yang lebih tinggi. ROF adalah teknologi hybrid yang menggabungkan jaringan nirkabel dan optik menggunakan kabel optik analog yang mengirimkan sinyal frekuensi radio termodulasi dan mengirimkan sinyal *Radio Frequency (RF) downlink* dan *uplink* ke *Central Station (CS)* dan *Base Station (BS)*. Sistem ROF diharapkan dapat meningkatkan jangkauan seluler, mengurangi

kehilangan redaman, kapasitas yang lebih tinggi, *bandwidth* yang lebih besar dan kekebalan terhadap gangguan frekuensi radio.

Untuk meningkatkan kapasitas sistem *Radio Over Fiber (ROF)*, digunakan teknik *multiplexing* yaitu *Sub Carrier Multiplexing (SCM)* dan *Wavelength Division Multiplexing (WDM)*. *Sub Carrier Multiplexing (SCM)* adalah teknologi *multiplexing* yang digunakan dalam ROF, di mana sinyal dari beberapa saluran frekuensi yang berbeda dimultipleks dan ditransmisikan pada satu panjang gelombang. *Wavelength Division Multiplexing (WDM)* adalah perangkat pasif yang menggabungkan beberapa sinyal dengan panjang gelombang yang berbeda dari serat yang berbeda menjadi satu serat (Vyas, 2012).

Menggunakan kombinasi SCM dan WDM pada jaringan ROF dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan *bandwidth* jaringan dan mencapai *bit rate* yang besar dan kecepatan tinggi (Arief, 2008).

Penelitian terkait dilakukan oleh Mohan (2013) yang melakukan analisa performansi jaringan *Radio Over Fiber* (ROF) menggunakan WDM dan OADM dengan teknik modulasi DPSK, OQPSK, MSK, dan CPFSK. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa teknik modulasi DPSK merupakan teknik modulasi terbaik dan menghasilkan nilai BER paling kecil yaitu $1,117 \times 10^{-51}$ dan nilai *Q-Factor* yaitu 15,06 (Mohan, 2013).

Penelitian lain menganalisa performansi pada jaringan WDM *Radio Over Fiber Long-Haul* dengan menggunakan teknik modulasi DPSK dan QAM. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan teknik modulasi DPSK memberikan performansi jaringan yang lebih baik dibandingkan teknik QAM (Ait Ahmed, 2019). Penelitian Modgil (2019) menyimpulkan bahwa sistem ROF yang menggunakan modulasi DPSK memberikan *Q-Factor* tinggi dan BER minimum dan efisien untuk transmisi kecepatan data yang lebih tinggi. (Modgil, 2019).

Dalam penelitian ini, teknik modulasi DPSK akan digunakan untuk mensimulasikan desain SCM/WDM *Radio Over Fiber*, yang bekerja pada frekuensi 15 GHz. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang model sistem tersebut dengan frekuensi 15 GHz, dan menghasilkan nilai BER 10^{-12} dan nilai *Q-Factor* 6, sesuai dengan standar regulasi ITU. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model sistem yang memiliki kualitas jaringan yang layak untuk diimplementasikan. Tujuan lain dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jarak transmisi maksimum yang dapat dicapai jaringan tersebut.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Komunikasi Optik

Sistem komunikasi optik adalah pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya yang disalurkan melalui serat optik. Sinyal informasi yang dikirimkan dapat berupa sinyal audio, video ataupun data dalam bentuk sinyal elektrik dan kemudian diubah menjadi sinyal optik sebelum ditransmisikan melalui serat optik. Sistem komunikasi serat optik secara umum terdiri dari serat optik, sumber optik dan detektor optik.

1. Serat Optik

Serat optik adalah merupakan saluran transmisi atau sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik berdiameter lebih kurang 120 mikrometer yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah laser atau LED. Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai saluran komunikasi (Agrawal, 2012).

2. Sumber Optik

Sumber optik adalah pembangkit cahaya dalam sistem komunikasi serat optik. Ada dua jenis sumber cahaya yang digunakan untuk mentransmisikan informasi cahaya melalui serat optik, yakni *Light Emitting Diode* (LED) dan *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER).

3. 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* (PT. Telkom, 2004).

2.2 *Radio Over Fiber (ROF)*

Radio Over Fiber (ROF) adalah teknologi tautan optik analog yang mentransmisikan sinyal *Radio Frequency (RF)* termodulasi. Teknologi ROF menggunakan kabel serat optik untuk mendistribusikan sinyal RF. ROF mengirimkan sinyal RF *downlink* dan *uplink*. Ini mengirimkan sinyal RF dari *Central Station (CS)* ke *Base Station (BS)* dan sebaliknya. Sistem ROF memiliki keuntungannya 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 *Differential Phase-Shift Keying (DPSK)*

Differensial phase shift keying (DPSK) adalah jenis umum dari modulasi fase yang menyampaikan data dengan mengubah fase gelombang pembawa. DPSK yang digunakan untuk modulasi ini adalah versi PSK yang tidak koheren yang menghilangkan kebutuhan akan sinyal referensi yang koheren di penerima. Dalam DPSK fase sinyal termodulasi digeser relatif terhadap elemen sinyal sebelumnya. Fase sinyal mengikuti keadaan tinggi atau rendah dari elemen sebelumnya. DPSK tidak memerlukan pembawa sinkron (koheren) di demodulator (Asha, 2020).

2.4 *Parameter Performansi*

1. *Bit Error Rate (BER)*

Bit Error Rate (BER) adalah rasio jumlah bit yang diterima dalam kesalahan dengan jumlah total bit yang ditransmisikan dalam interval waktu tertentu. 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} . Jika BER adalah angka yang tepat

dan menawarkan cara sederhana untuk membandingkan sistem komunikasi di antara mereka, tidak selalu mudah untuk mengukurnya karena perlu mengetahui secara bersamaan bit yang diterima dan yang dipancarkan (Das, 2004).

$$BER = \frac{N_E}{N_T}$$

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).

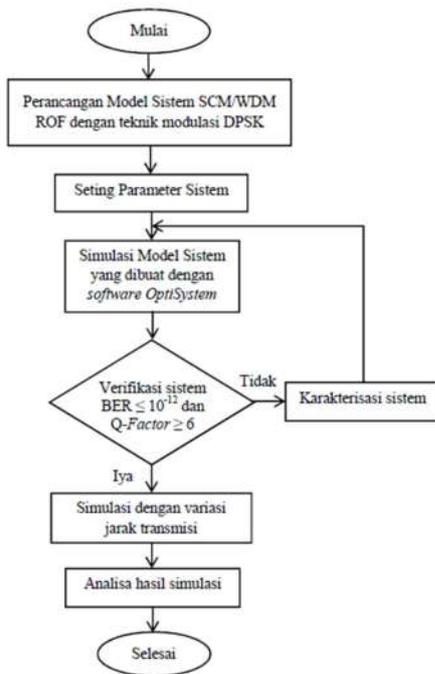
3. *Eye Diagram*

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 SCM/WDM *Radio Over Fiber* menggunakan teknik modulasi berupa *Differential Phase-Shift Keying (DPSK)* untuk implementasi *backhaul*

microwave. Model sistem yang dirancang bekerja pada frekuensi 15 GHz. Perancangan model sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak OptiSystem untuk simulasi. Dalam melakukan penelitian diperlukan tahapan yang sistematis untuk membantu proses penelitian.



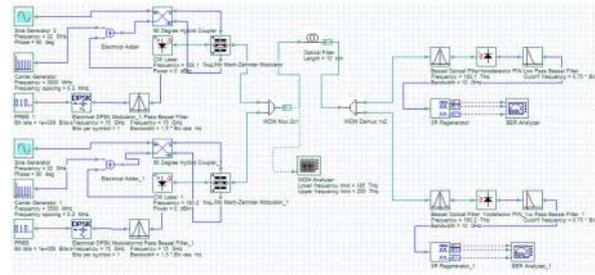
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian perancangan dan simulasi model sistem. Diagram alir dimulai dengan merancang model sistem SCM/WDM *Radio Over Fiber* menggunakan teknik modulasi DPSK, dan kemudian menentukan parameter sistem. Simulasi model sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak OptiSystem. Kemudian verifikasi bahwa sistem telah sesuai dengan nilai BER 10^{-12} yang telah distandarisasi oleh ITU-T dan nilai *Q-Factor* 6. Kemudian model sistem disimulasikan berdasarkan skenario jarak transmisi

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan model jaringan SCM/WDM ROF menggunakan

teknik modulasi DPSK pada *software* OptiSystem 7. Untuk mengetahui kelayakan penelitian diambil nilai BER 10^{-12} berdasarkan standar ITU-T dan nilai *Q-Factor* 6.



Gambar 2 Model Jaringan SCM/WDM ROF menggunakan teknik modulasi DPSK

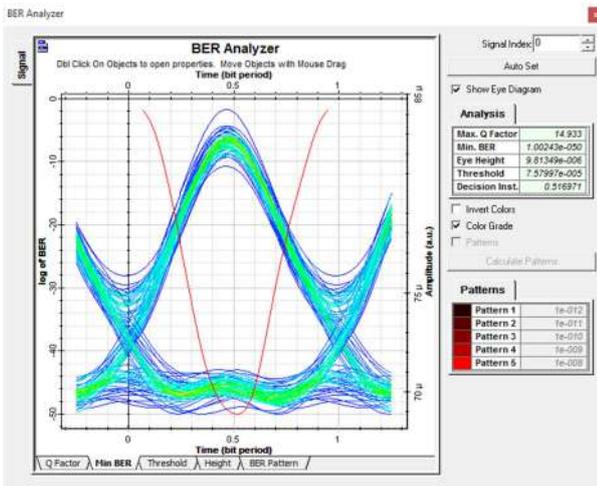
Kemudian dilakukan spesifikasi desain tabel parameter, yang digunakan dalam penelitian ini, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter Spesifikasi pada Optisystem

Spesifikasi	Nilai	Satuan
<i>Bit rate</i>	1×10^9	Bits/s
<i>Sequence Length</i>	128	Bit
<i>Sample per Bit</i>	32	
Panjang gelombang	193,1 dan 193,2	THz
<i>Daya input</i>	-6 sampai 6	dBm
Jumlah Kanal SCM	10 – 100	
Frekuensi Pembawa	3500	MHz
<i>Frequency Spacing</i>	0,2	MHz
Frekuensi Informasi	15	GHz
<i>Bits per symbol</i>	1	
<i>Fiber Reference Wavelength</i>	1550	Nm
<i>Fiber Length</i>	10-50	Km

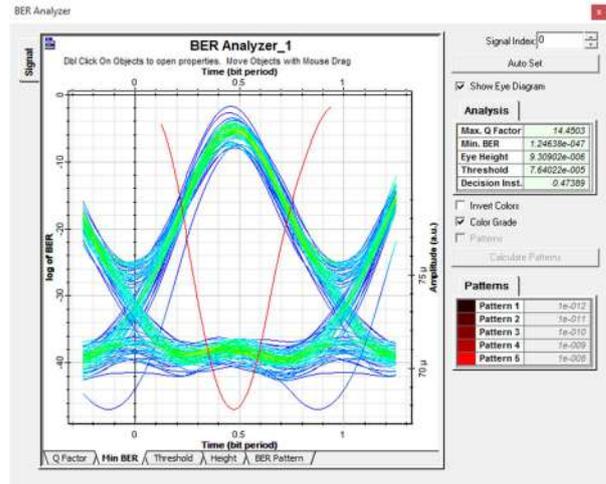
4.1 Verifikasi Model Sistem

Model sistem yang dirancang dalam penelitian ini adalah jaringan SCM/WDM ROF menggunakan teknologi modulasi DPSK. Model ini menggunakan *bit rate* 1 Gbps dan daya *input CW laser* sebesar 0 dBm untuk mensimulasikan pada jarak 10 km. Untuk menentukan kualitas performansi jaringan digunakan *Bit Error Rate* (BER) dan *Q-Factor*. Berikut adalah hasil simulasi model ROF SCM/WDM menggunakan teknologi modulasi DPSK pada jarak 10 km menggunakan *bit rate* 1 Gbps dan daya *input laser CW* sebesar 0 dBm.



Gambar 3 BER Analyzer Model Jaringan SCM/WDM RoF menggunakan teknik modulasi DPSK pada SCM/WDM 1

Gambar 3 menunjukkan jaringan SCM/WDM ROF menggunakan teknik modulasi DPSK pada SCM/WDM 1, dengan jarak 10 km, *bit rate* 1 Gbps, daya *input* 0 dBm, nilai BER yang dihasilkan $1,00243 \times 10^{-50}$ dan *Q-Factor* nilainya 14.933.



Gambar 4 BER Analyzer Model Jaringan SCM/WDM RoF menggunakan teknik modulasi DPSK pada SCM/WDM 2

Gambar 4 menunjukkan jaringan SCM/WDM ROF menggunakan teknik modulasi DPSK pada SCM/WDM 2. Jarak transmisi 10 km, *bit rate* 1 Gbps, daya *input* 0 dBm, dan nilai BER yang dihasilkan $1,24638 \times 10^{-47}$ dengan *Q-Factor* nilainya 14.4503. Nilai tersebut masih memenuhi standar nilai BER dan *Q-Factor* yang dapat diterapkan pada jaringan SCM/WDM ROF.

4.2 Jarak Transmisi Maksimum

Dalam hal ini, panjang kabel yang digunakan adalah 10 km sampai 50 km, dan *bit ratenya* adalah 1 Gbps. Jaringan SCM/WDM ROF menggunakan teknik modulasi DPSK. Hasil simulasi ini bertujuan untuk menentukan jarak transmisi maksimum yang dapat diterapkan pada jaringan dengan mempertimbangkan nilai parameter BER dan *Q-Factor*, seperti terlihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Jarak Transmisi Maksimum untuk Jaringan SCM/WDM ROF dengan Teknik Modulasi DPSK pada SCM/WDM 1

Jarak (km)	BER	Q-Factor
10	1.00243×10^{-50}	14.933
15	4.7288×10^{-38}	12.8426
20	3.6625×10^{-21}	9.36847
21	1.45668×10^{-18}	8.71414
22	2.99239×10^{-16}	8.08895
23	3.15564×10^{-14}	7.50088
24	1.42116×10^{-12}	6.98499
25	1.87212×10^{-11}	6.61385
30	2.44439×10^{-9}	5.85076
35	1.44553×10^{-7}	5.1304
40	9.30996×10^{-6}	4.28068
45	0.00137119	2.99359
50	1	0

Tabel 2 menunjukkan bahwa jarak transmisi maksimum jaringan SCM/WDM ROF pada SCM/WDM 1 menggunakan teknologi modulasi DPSK adalah 24 km, nilai BER sebesar $1,42116 \times 10^{-12}$, dan nilai *Q-Factor* sebesar 6,98499. Nilai tersebut masih memenuhi standar nilai BER dan *Q-Factor* yang dapat diterapkan pada jaringan SCM/WDM ROF.

Tabel 3 Jarak Transmisi Maksimum untuk Jaringan SCM/WDM ROF dengan Teknik Modulasi DPSK pada SCM/WDM 2

Jarak (km)	BER	Q-Factor
10	1.24638×10^{-47}	14.4503
15	6.59105×10^{-31}	11.5
20	4.38181×10^{-21}	9.34987
21	1.94155×10^{-19}	8.94009
22	7.24305×10^{-18}	8.53101
23	2.20235×10^{-16}	8.12669
24	5.18529×10^{-15}	7.73442
25	8.98261×10^{-14}	7.36289
30	6.21956×10^{-10}	6.07392
35	9.18252×10^{-8}	5.21516
40	1.04113×10^{-5}	4.25578
45	0.000403621	3.34884
50	0.00245288	2.81036

Tabel 3 menunjukkan bahwa jarak transmisi maksimum jaringan SCM/WDM ROF pada SCM/WDM 2 menggunakan teknologi modulasi DPSK adalah 24 km, nilai BER sebesar $5,18529 \times 10^{-15}$, dan nilai *Q-Factor* sebesar 7,73442. Nilai tersebut masih memenuhi standar nilai BER dan *Q-Factor* yang dapat diterapkan pada jaringan SCM/WDM ROF.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Teknik modulasi DPSK memberikan kinerja jaringan yang memenuhi standar nilai BER dan *Q-Factor* yang dapat diterapkan pada desain model sistem jaringan SCM/WDM ROF.
2. Pada jaringan SCM/WDM ROF menggunakan teknik modulasi DPSK SCM/WDM 1, dengan jarak 10 km, *bit rate* 1 Gbps, *daya input* 0 dBm, nilai BER yang dihasilkan $1,00243 \times 10^{-50}$ dan *Q-Factor* nilainya 14.933. Pada jaringan SCM/WDM RoF menggunakan teknik modulasi DPSK SCM/WDM 2. Jarak

tempuh 10 km, *bit rate* 1 Gbps, daya input 0 dBm, dan nilai BER yang dihasilkan $1,24638 \times 10^{-47}$ dengan *Q-Factor* nilainya 14.4503.

3. Jarak transmisi maksimum yang dapat dicapai oleh model jaringan SCM/WDM ROF menggunakan teknologi modulasi DPSK adalah 24km.
4. Dari hasil simulasi didapat jarak transmisi maksimum jaringan SCM/WDM ROF menggunakan teknologi modulasi DPSK sebagai berikut: Pada SCM/WDM 1 menggunakan teknologi modulasi DPSK adalah 24 km, nilai BER sebesar $1,42116 \times 10^{-12}$, dan nilai *Q-Factor* sebesar 6,98499. Pada SCM/WDM 2 menggunakan teknologi modulasi DPSK adalah 24 km, nilai BER sebesar $5,18529 \times 10^{-15}$, dan nilai *Q-Factor* sebesar 7,73442.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, diharapkan penelitian selanjutnya dapat menguji sistem ROF SCM/WDM 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. (n.d.). *Fiber-Optic Communication Systems*. 66.
- Ait Ahmed, B., Aghzout, O., Chakkour, M., Chaoui, F. and Naghar, A., 2019. Transmission performance analysis of WDM Radio Over Fiber technology for next generation Long-Haul optical networks. *International Journal of Optics*, 2019.
- Arief, M., Idrus, S.M. and Alifah, S., 2008, December. *The SCM/WDM system model for Radio Over Fiber communication link*. In 2008 IEEE International RF and Microwave Conference (pp. 344-347). IEEE.
- Arya Mohan, A.A., 2015. Performance comparison of radio over iber system using WDM and OADM with various digital modulation formats. *Int. J. Sci. Res*, 4, pp.2013-2016.
- Asha, R.S. and Jayasree, V.K., 2020. *Performance improvement of radio over fiber communication system with dispersion and nonlinearity compensation (Doctoral dissertation, Cochin University of Science and Technology)*.
- Chaudhary, K. and Malhi, K.S., 2019. Design and performance analysis of subcarrier multiplexed Radio Over Fiber optical transmission system. *International Journal Of Scientific cf: Technology Research*, 8(11), pp.3720-3725.
- 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).
- ITU-T. Recommendation G.698.1. "Multichannel DWDM applications with single-channel optical interfaces." International Telecommunication Union. 2009.
- ITU-T. Recommendation G.Sup55 : Radio-over-fibre (RoF) technologies and their applications. International Telecommunication Union. 2016.
- Modgil, S. and Prakash, D., 2019, Performance Analysis of Radio Over Fiber Simulation Model using DPSK Modulation. Al-Raweshidy, H. and Komaki, S., 2002. *Radio Over Fiber technologies for mobile communications networks*. Artech House.
- Optiwave Systems Inc. OptiSystem Getting Started. OptiSystem 7.0 documentation 2008.
- PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. *Dasar Sistem Komunikasi Optik*. 2004
- 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.