

**ANALISIS DAN SIMULASI *ENCRYPTION* PADA JARINGAN WDM
(*WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING*) MENGGUNAKAN
*OPTISYSTEM***

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro

Program Studi S-1 Teknik Elektro



Disusun oleh :

Putri Aulia Wulandari

E.5051.2005837

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2024

**ANALISIS DAN SIMULASI *ENCRYPTION* PADA JARINGAN WDM
(*WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING*) MENGGUNAKAN
*OPTISYSTEM***

Oleh:

Putri Aulia Wulandari

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Elektro pada Program Studi
S1 Teknik Elektro

© Putri Aulia Wulandari

Universitas Pendidikan Indonesia

April 2024

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
Dengan dicetak ulang, di *fotocopy*, atau cara lain tanpa izin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

PUTRI AULIA WULANDARI

E.5051.2005837

**ANALISIS DAN SIMULASI *ENCRYPTION* PADA JARINGAN WDM
(*WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING*) MENGGUNAKAN
*OPTISYSTEM***

Disetujui dan disahkan oleh:

Dosen Pembimbing,



Iwan Kustiawan, S.Pd., M.T., Ph.D.

NIP. 19770908 200312 1 002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro,



Iwan Kustiawan, S.Pd., M.T., Ph.D.

NIP. 19770908 200312 1 002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan berjudul ”Analisis dan simulasi encryption pada jaringan WDM (Wavelength Division Multiplexing) menggunakan Optisystem” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko atau sanksi apabila kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, 02 April 2024

Yang menyatakan,



Putri Aulia Wulandari

NIM. 2005837

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Alhamdulillah hirobbil 'aalamiin. Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini dengan baik sampai selesai. Shalawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, para keluarganya, para sahabatnya para tabi'in, para wali Allah dan sampai kepada kita selaku umat-Nya yang mudah-mudahan mendapatkan keselamatan dan kebahagiaan di dunia dan di akhirat nanti *aamiin allahumma aamiin.*

Skripsi yang berjudul "Analisis dan simulasi *encryption* pada jaringan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) menggunakan *Optisystem*" disusun sebagai bagian dari persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik di Universitas Pendidikan Indonesia, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Program Studi S1 Teknik Elektro. Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dukungan dan do'a dari berbagai pihak skripsi ini tidak akan terwujud. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Solehuddin, M.Pd., M.A., selaku Rektor Universitas Pendidikan Indonesia.
2. Bapak Iwan Kustiawan, S.Pd., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia dan selaku dosen pembimbing yang selalu sabar membimbing, memberikan waktu, ilmu, tenaga dan pikiran selama melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Orangtua dan keluarga penulis yang tidak pernah berhenti mendoakan, memberikan dukungan dan kasih sayang selama ini.

4. Rekan-rekan seperjuangan “Barliwanita”, Dilla, Areej, Odilia, Oktarisa, Ghina, dan Eritrina yang telah berjuang bersama-sama dan memberikan motivasi serta semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Rekan-rekan yang banyak membantu selama masa perkuliahan 4 tahun di teknik elektro, Fauzi Amiduddin, Sofia Amalia, Hasna Tuzahra, Ainna Janatin Adni, Rifki Alfian, dan Ilhan Husaeri.
6. Rekan-rekan DPPA HME FPTK UPI Periode 2023-2024 yang telah berjuang bersama-sama dan memberikan motivasi serta semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro angkatan 2020 Universitas Pendidikan Indonesia atas dukungan dan kerja samanya selama menempuh pendidikan.
8. Serta kepada pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu namanya yang ikut andil membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu saya menyusun skripsi ini. Saya menyadari bahwa skripsi ini tidaklah sempurna dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca yang dapat dijadikan referensi demi pengembangan dan perbaikan ke arah yang lebih baik. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Bandung, 02 April 2024

Putri Aulia Wulandari

ABSTRAK

Wavelength Division Multiplexing (WDM) adalah teknik yang memungkinkan transmisi paralel berbagai saluran optik pada frekuensi yang berbeda dalam satu serat optik. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis tingkat keamanan jaringan WDM saat menggunakan *optical encryption* atau tidak. *Optisystem* digunakan sebagai perangkat lunak untuk merancang rangkaian dan mensimulasikan link optik pada lapisan transmisi jaringan serat optik. Hasil yang akan dianalisis pada pada penelihan ini adalah nilai Q-Factor, BER (*Bit Error Rate*), dan *Eye Diagram*. Hasil uji coba menunjukkan bahwa metode *optical encryption* dapat diterapkan pada jaringan WDM yang menggunakan penguat EDFA. Penggunaan metode ini menghasilkan nilai BER yang lebih kecil, Q-Factor yang lebih tinggi, dan *Eye Diagram* yang lebih tinggi menandakan kualitas sinyal yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa *optical encryption*. Dengan demikian, penggunaan *optical encryption* dapat meningkatkan keamanan dan kualitas transmisi pada jaringan WDM.

Kata Kunci: Jaringan WDM, EDFA, *Optical Encryption*

ABSTRACT

Wavelength Division Multiplexing (WDM) is a technique that enables parallel transmission of various optical channels at different frequencies over a single optical fiber. The objective of this study is to analyze the security level of WDM networks when using optical encryption. OptiSystem is utilized as the software for designing circuits and simulating optical links in the transmission layer of fiber optic networks. The results that will be analyzed in this research are the Q-Factor, BER (Bit Error Rate), and Eye Diagram values. Experimental results demonstrate that optical encryption can be applied to WDM networks that utilize EDFA amplification. Using this method yields a lower BER, a higher Q-Factor, and an improved Eye Diagram, indicating better signal quality compared to scenarios without optical encryption. Thus, the adoption of optical encryption enhances both security and transmission quality in WDM networks.

Keywords: *Wavelength Division Multiplexing (WDM), EDFA, Optical Encryption*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Wavelength Division Multiplexing (WDM)</i>	5
2.1.1 <i>Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)</i>	6
2.1.2 <i>Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)</i>	7
2.2 <i>Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)</i>	7
2.3 <i>Secure Communication in Fiber Optic Networks</i>	8
2.3.1 <i>Optical Encryption</i>	9
2.4 <i>Bit Error Rate</i>	10
2.5 Q-Factor.....	11
2.6 <i>Eye Diagram</i>	12
2.7 <i>Optisystem</i>	12
2.8 Penelitian lain yang relevan.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Alur Penelitian.....	17
3.2 Metode Pengumpulan Data	20

3.3	<i>Software</i> Pendukung.....	21
3.4	Model Sistem Simulasi.....	21
3.5	Penentuan Parameter	24
3.5.1	Parameter <i>transmitter</i>	24
3.5.2	Parameter media transmisi	24
3.5.3	Parameter penguat sinyal	25
3.5.4	Parameter <i>receiver</i>	26
3.5.5	Parameter <i>Optical Encryption</i>	27
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Analisis skenario 1 sistem menggunakan penguat EDFA dan tanpa <i>optical encryption</i>	29
4.2	Analisis skenario 2 sistem menggunakan penguat EDFA dan <i>optical encryption</i>	40
4.3	Analisis Perbandingan antara skenario 1 dan skenario 2	51
4.4	Diskusi.....	54
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI		58
5.1	Simpulan.....	58
5.2	Implikasi.....	59
5.3	Rekomendasi	59
DAFTAR PUSTAKA		60
Lampiran 1. Surat Tugas Dosen Pembimbing.....		63
Lampiran 2. Kartu Asistensi/Bimbingan Skripsi		64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konsep Sistem WDM	6
Gambar 2. 2 Diagram Level Energi dan Proses Transisi dari ion erbium di silika	7
Gambar 2. 3 <i>Schematic</i> Diagram Optical Encryption	9
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian	17
Gambar 3. 2 Model Sistem Simulasi Penguat EDFA tanpa <i>Optical Encryption</i> .	21
Gambar 3. 3 Model Sistem Simulasi Penguat EDFA menggunakan <i>Optical Encryption</i>	22
Gambar 4. 1 Model Simulasi Sistem Jaringan WDM menggunakan Penguat EDFA tanpa <i>Optical Encryption</i>	31
Gambar 4. 2 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 50 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	32
Gambar 4. 3 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 60 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	32
Gambar 4. 4 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 70 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	33
Gambar 4. 5 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 80 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	33
Gambar 4. 6 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 90 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	34
Gambar 4. 7 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 50 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	34
Gambar 4. 8 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 60 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	35
Gambar 4. 9 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 70 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	35
Gambar 4. 10 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 80 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	36
Gambar 4. 11 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 90 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	36
Gambar 4. 12 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber <i>length</i> 50 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	37

Gambar 4. 13 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 60 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	37
Gambar 4. 14 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 70 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	38
Gambar 4. 15 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 80 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	38
Gambar 4. 16 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 90 km tanpa menggunakan <i>Optical Encryption</i>	39
Gambar 4. 17 Model Simulasi Sistem Jaringan WDM menggunakan Penguat EDFA dengan <i>Optical Encryption</i>	42
Gambar 4. 18 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber length 50 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	43
Gambar 4. 19 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber length 60 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	43
Gambar 4. 20 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber length 70 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	44
Gambar 4. 21 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber length 80 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	44
Gambar 4. 22 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 10 dBm dengan Optical fiber length 90 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	45
Gambar 4. 23 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber length 50 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	45
Gambar 4. 24 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber length 60 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	46
Gambar 4. 25 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber length 70 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	46
Gambar 4. 26 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber length 80 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	47
Gambar 4. 27 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 20 dBm dengan Optical fiber length 90 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	47
Gambar 4. 28 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 50 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	48

Gambar 4. 29 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 60 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	48
Gambar 4. 30 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 70 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	49
Gambar 4. 31 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 80 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	49
Gambar 4. 32 Hasil BER <i>Analyzer</i> dengan <i>Pump Power</i> 30 dBm dengan Optical fiber length 90 km menggunakan <i>Optical Encryption</i>	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sejenis.....	13
Tabel 3. 1 Parameter yang akan dicapai	19
Tabel 3. 2 Parameter Transmitter.....	24
Tabel 3. 3 Parameter media transmisi.....	25
Tabel 3. 4 Parameter Penguat EDFA	26
Tabel 3. 5 Parameter <i>Receiver</i>	27
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi dari Skenario 1	39
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi dari Skenario 2	50
Tabel 4. 3 Perbandingan Nilai Q-Factor Hasil Skenario 1 dan 2	51
Tabel 4. 4 Perbandingan Nilai BER Hasil Skenario 1 dan 2	52
Tabel 4. 5 Perbandingan Nilai <i>Eye Height</i> Hasil Skenario 1 dan 2	53

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, T., Hambali, A., & Pamukti, B. (2019). Analisis Performansi Ber Pada Jaringan Optik Dense Wavelength Division Multiplexing Menggunakan Penguat Hybrid Raman Edfa. *eProceedings of Engineering*, 6(2).
- Aldila, P., Hambali, A., & Irawati, I. D. (2015). Analisis Efek Nonlinier Di Jaringan Cwdm Pada Sistem Komunikasi Serat Optik. *eProceedings of Engineering*, 2(2).
- Alfarizi, M. (2015). Pembuatan Desain Jaringan Fiber To The Home (FTTH) Pada Perumahan Buah Batu Square Bandung. *eProceedings of Applied Science*, 1(2).
- Bhatt, U. R., Ahmed, T., & Tokekar, S. (2017). Hop Based Protection: A protection solution for heavily loaded WDM optical networks. *Optik*, 137, 298-307.
- Bobrovs, V., & Berezins, S. (2013). EDFA application research in WDM communication systems. *Elektronika ir Elektrotehnika*, 19(2), 92-96.
- Chan, K., Chan, C. K., Tong, F., & Chen, L. K. (2001, September). A novel FFT-based EDFA supervisory scheme for WDM transmission systems. In *Proceedings 27th European Conference on Optical Communication (Cat. No. 01TH8551)* (Vol. 3, pp. 470-471). IEEE.
- Chen, C., Zhe, Y., Siyu, Y., Tao, C., Liqiong, J., & Xiangqing, W. (2021, January). Research on key distribution and encryption control system of optical network physical layer. In *2021 World Conference on Computing and Communication Technologies (WCCCT)* (pp. 1-5). IEEE.
- Fadila, T., Hambali, A., & Pamukti, B. (2018). Analisis Karakteristik Hybrid Optical Amplifier (fiber Raman Amplifier-Erbium Doped Fiber Amplifier) Dengan Konfigurasi Parallel In-line Pada Sistem Long Haul Ultra-dense Wavelength Division Multiplexing. *eProceedings of Engineering*, 5(1).
- G. Keiser. *Optical fiber length Communication (Fifth Edition)*. McGraw-Hill Higher Education. 2017
- Gandhi, D., Gupta, S., & Gambhir, M. (2022). EDFA gain flattening optimization with long period fiber gratings in WDM system. *Journal of Optical*

- Communications, 43(4), 465-471.
- Herbster, A. F., & Romero, M. A. (2017). EDFA design and analysis for WDM optical systems based on modal multiplexing. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, 16, 194-207.
- Iskak, F., Darmawan, E., & Nastiti, D. N. (2018). Perancangan Jaringan Wavelength Division Multiplexing (WDM) Sebagai Backbone Berkapasitas 80 Gbps Untuk Fiber To The Home (FTTH). Seminar Nasional Microwave, Artikel dan Prosiding SMAPI 2018 Unpik
- Jiang, N., Zhao, A., Xue, C., Tang, J., & Qiu, K. (2019). Physical secure optical communication based on private chaotic spectral phase encryption/decryption. *Optics Letters*, 44(7), 1536-1539.
- Keiser, G., & Keiser, G. (2021). *Fiber optic communication networks* (pp. 507-575). Springer Singapore.
- Lang, J., Chen, C., Zhang, P., Qi, M., & Chen, H. (2023, December). C-and L-Bands Wavelength-Tunable Mode-Locked Fiber Laser. In *Photonics* (Vol. 10, No. 12, p. 1379). MDPI.
- Mukherjee, B. (2006). *Optical WDM networks*. Springer Science & Business Media.
- Nasaruddin, N. (2011). Konsep dan Kinerja dari Sistem Hybrid OCDMA/WDM untuk Local Area Network. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 9(4), 145-150.
- Praja, P. A., Hambali, A., & Pambudi, A. D. (2017). Analisis Performansi Hybrid Optical Amplifier Pada Sistem Long Haul Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing. *eProceedings of Engineering*, 4(1).
- Prestanty, D. A., Kamansastra, A. D. R., Alamsyah, A., & Aribowo, D. (2023). Simulasi Dense Wavelength Division Multiplexing (Dwdm) Dengan Menggunakan Aplikasi Cisco Packet Tracer. *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 114-123.
- Putra, T. E., Mufti, N., & Maulana, M. I. (2022). Analisis Performansi Wdm Uvlc Menggunakan Laser Dengan Modulasi Ook-rz Dan Ook-nrz. *eProceedings of Engineering*, 9(2).

- Rosmiati, M., Depari, I. P., & Purba, A. R. (2017). Penggunaan Teknik Keamanan Pada Jaringan Serat Optik Dengan Metode Anti-Jamming Dan Steganografi Menggunakan Modul Optisystem. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 37-42.
- Shin, S. Y., Kim, D. H., Kim, S. C., Lee, S. H., & Song, S. H. (2006). A novel technique to minimize gain-transient time of WDM signals in EDFA. *Journal of the Optical Society of Korea*, 10(4), 174-177.
- Singh, S., & Kaler, R. S. (2015). Review on recent developments in hybrid optical amplifier for dense wavelength division multiplexed system. *Optical Engineering*, 54(10), 100901-100901.
- Siregar, U. S. S., Rosmiati, M., & fachru Rizal, M. (2017). Pembangunan Teknik Keamanan Pada Jaringan Serat Optik Dengan Metode Optical Encryption Melalui Modul Optisystem. *eProceedings of Applied Science*, 3(3).
- Wu, B., Shastri, B. J., & Prucnal, P. R. (2013). Secure communication in fiber-optic networks. In *Emerging trends in ICT security* (pp. 173-183). Morgan Kaufmann.
- Zafrullah, M., Iqbal, M. B., Asif, M. R., & Islam, M. K. (2013). Performance analysis of BER optimization in WDM systems using EDFA. *Journal of Modern Optics*, 60(21), 1926-1930.
- Zhao, A., Jiang, N., Liu, S., Zhang, Y., & Qiu, K. (2021). Physical layer encryption for WDM optical communication systems using private chaotic phase scrambling. *Journal of Lightwave Technology*, 39(8), 2288-2295.