



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN KOMPONEN *POLARIZATION DAN GAUSSIAN OPTICAL FILTERS* UNTUK MENEKAN EFEK FWM PADA SISTEM SCM WDM-ROF

## TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Syarat untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh:

**RUDI ILHAM**  
**11655103494**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**  
**PEKANBARU**  
**2023**



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN KOMPONEN  
POLARIZATION DAN GAUSSIAN OPTICAL FILTERS UNTUK  
MENEKAN EFEK FWM PADA SISTEM SCM WDM-ROF**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**RUDI ILHAM**  
**11655103494**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik  
Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 06 Juli 2023

Ketua Prodi Teknik Elektro

**Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.**  
**NIP. 19721021 200604 2 001**

Pembimbing

**Rika Susanti, ST, M.Eng**  
**NIP. 19770731 200710 2 003**

UIN SUSKA RIAU



© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN KOMPONEN POLARIZATION DAN GAUSSIAN OPTICAL FILTERS UNTUK MENEKAN EFEK FWM PADA SISTEM SCM WDM-ROF

#### TUGAS AKHIR

Oleh:

**RUDI ILHAM**  
11655103494

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
Tugas Akhir sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 06 Juli 2023

Pekanbaru, 06 Juli 2023  
Mengesahkan,



Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

**Dr. Hartono M. Pd**  
NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Prodi Teknik Elektro

**Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.**  
NIP. 19721021 200604 2 001

#### DEWAN PENGUJI:

Ketua : Ahmad Faizal, S.T., M.T.

Sekretaris : Rika Susanti, ST, M.Eng.

Anggota I : Prof. Dr. Teddy Purnamirza, S.T., M.Eng.

Anggota II : Dr. Fitri Amillia, S.T., M.T.





## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**LEMBARAN PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka. Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 06 Juli 2023

Yang membuat pernyataan

  
  
**RUDI ILHAM**  
 11655103494

UIN SUSKA RIAU



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN KOMPONEN *POLARIZATION* DAN *GAUSSIAN OPTICAL FILTERS* UNTUK MENEKAN EFEK FWM PADA SISTEM SCM WDM-ROF

**RUDI ILHAM**  
**11655103494**

Tanggal Sidang: 06 Juli 2023

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Jl. HR. Soebrantas No.155  
Panam, Pekanbaru

## ABSTRAK

*Radio over Fiber* merupakan *hybrid technology* yang menggabungkan jaringan *wireless* yang fleksibel dengan jaringan optik. Teknologi *Wavelength Division Multiplexing* diimplementasikan pada *Radio over Fiber* untuk menghasilkan jaringan dengan *bandwidth* yang besar dan *bitrate* yang tinggi. Penerapan teknologi *Wavelength Division Multiplexing* yang diimplementasikan pada *Radio over Fiber* dapat menyebabkan timbulnya efek *Nonlinear Four Wave Mixing* yang dapat menghasilkan sinyal-sinyal lain yang tidak diinginkan. Pada penelitian ini menggunakan, *Gaussian Optical Filter*, *Polarization Controller* dan *Polarization Waveplate* yang diletakkan pada bagian *transmitter* digunakan untuk menekan daya *Four Wave Mixing*. Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh, penggunaan *Polarization Controller* dapat menurunkan daya *Four Wave Mixing* sebesar -10 dBm, penggunaan *Polarization Waveplate* dapat menurunkan daya *Four Wave Mixing* sebesar -10 dBm, sedangkan *Gaussian Optical Filter* dapat menurunkan daya FWM sebesar -2 dBm. Dari 3 komponen yang digunakan, *Polarization Controller* lebih baik karena dapat pada jarak 50 Km pada *channel 1* dapat menurunkan daya *Four Wave Mixing* sebesar -6 dBm. Sehingga pada sistem *Radio over Fiber*, penggunaan *Polarization Controller* merupakan salah satu alternatif terbaik dalam menekan *Four Wave Mixing*.

**Kata Kunci:** *Gaussian Optical Filters, Polarization, Four Wave Mixing, Radio Over Fiber*



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE ADDITION OF POLARIZATION COMPONENTS AND GAUSSIAN OPTICAL FILTER TO REDUCE FWM EFFECT ON SCM WDM-ROF SYSTEM

**RUDI ILHAM**  
**11655103494**

*Session Date: July 06, 2023*

*Electrical Engineering Study Program Faculty of Science and Technology  
Sultan Syarif Kasim Riau State Islamic University, Riau Jl. HR. Seobrantas No.  
155 Panam, Pekanbaru*

## ABSTRACT

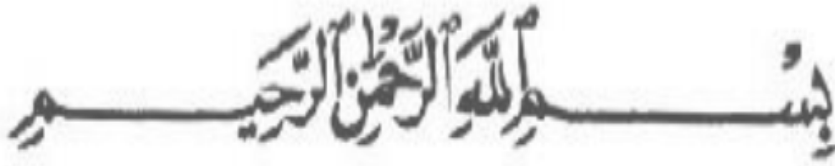
*Radio over Fiber is a hybrid technology that combines a flexible wireless network with an optical network. Wavelength Division Multiplexing technology is implemented on Rodio over Fiber to produce a network with large bandwidth and high bitrate. The application of Wavelength Division Multiplexing technology implemented on Rodio over Fiber can cause Nonlinear Four Wave Mixing effects which can produce other unwanted signals. In this study, the Gaussian Optical Filter, Polarization Controller and Polarization Waveplate which are placed on the transmitter are used to suppress the Four Wave Mixing power. Based on the simulation results obtained, the use of a Polarization Controller can reduce the Four Wave Mixing power by -11 dBm, the use of a Polarization Waveplate can reduce the Four Wave Mixing power by -10 dBm, while the Gaussian Optical Filter can reduce the FWM power by -2 dBm. Of the 3 components used the Polarization Controller is better because at a distance of 50 Km on channel 1 it can reduce the Four Wave Mixing power by -6 dBm. So that in Radio over Fiber systems, the use of Polarization Controller is one of the best alternatives in suppressing Four Wave Mixing.*

**Keyword: Gaussian Optical Filters, Polarization, Four Wave Mixing, Radio Over Fiber**





## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala syukur *Alhamdulillah Rabbil'alamiin* senantiasa penulis ucapkan kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala* yang senantiasa memberikan hidayah serta inayah-Nya, sehingga pada kesempatan ini penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir dengan judul "**Analisis Pengaruh Penambahan Komponen *Polarization* dan *Gaussian Optical Filters* Untuk Menekan Efek FWM Pada Sistem SCM WDM-RoF**" *Allohumma sholli 'ala sayidina muhammadin wa 'ala alihi sayidina muhammad* senantiasa penulis ucapkan kepada baginda Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi wa Sallam*.

Laporan ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau. Laporan Tugas Akhir ini sangat berguna bagi mahasiswa untuk dapat mengetahui implementasi dari teori yang telah dipelajari dan juga untuk penelitain selanjutnya mengenai topik pembahasan yang sejalan. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang memberikan banyak kontribusi dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, baik berupa materil, moral maupun fikiran yang sangat bermanfaat, antara lain kepada:

1. Teristimewa kepada keluarga penulis, kedua orang tua penulis yakni bapak dan mamak tercinta, abang, kakak, dan adik yang telah mendoakan maupun memberikan semangat, dukungan moril maupun materil serta senantiasa mendoakan penulis sehingga lancar dalam menyelesaikan pembuatan laporan Tugas Akhir dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Khairunnas, M.Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Hartono, M. Pd. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.





5.

Ibu Rika Susanti ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang rela meluangkan waktu ditengah kesibukannya, dan selalu memberikan inspirasi, motivasi serta dukungan penuh semangat sehingga penulis selalu bersemangat dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

6.

Ibu Dr. Liliana, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu mengarahkan dan memotivasi serta membimbing penulis dalam menyelesaikan masa studi pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Elektro Kosentrasi Telekomunikasi dengan bidang kajian penelitian sistem komunikasi optik pada Fakultas Sains dan Teknologi.

7.

Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T. selaku ketua sidang Tugas Akhir penulis yang telah memberi masukan di dalam laporan Tugas Akhir ini.

8.

Bapak Prof. Dr. Teddy Purnamirza, ST, M.Eng selaku Dosen Penguji 1 yang telah memberikan masukan dan ide disaat pengujian laporan Tugas Akhir ini.

9.

Ibu Dr. Fitri Amillia, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan masukan dan ide disaat pengujian laporan Tugas Akhir ini.

10.

Seluruh Teman-Teman Telekomunikasi Angkatan 16 yang begitu banyak membantu dan memberikan motivasi serta semangat.

11.

Seluruh Staf Dosen dan Karyawan Fakultas Sains dan Teknologi, khususnya Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

12.

Seluruh pihak yang telah banyak membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu penulis menerima dengan terbuka kritik dan saran yang membangun agar laporan Tugas Akhir ini tersusun lebih baik lagi.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini bermanfaat untuk banyak orang.

*Wassalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuuh*

Pekanbaru, 06 Juli 2023

**RUDI ILHAM**  
**11655103494**

UIN SUSKA RIAU

## DAFTAR ISI

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

<b>LEMBAR PERSETUJUAN.....</b>	<b>II</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>III</b>
<b>LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....</b>	<b>IV</b>
<b>LEMBARAN PERNYATAAN .....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>VIII</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>XV</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Penelitian Terkait.....	6
2.2 Sistem Komunikasi Optik .....	8
2.3 <i>Fiber Optic</i> .....	10
2.4 <i>Sumber Optik</i> .....	11
2.5 <i>Photodetector</i> .....	13
2.6 <i>Radio Over Fiber</i> .....	14
2.7 Modulasi ASK .....	15
2.8 <i>Wavelength Division Multiplexing</i> .....	17
2.9 <i>Arrayed Waveguide Gratings</i> .....	17
2.10 Efek Non-linieritas <i>Four Wave Mixing</i> .....	18
2.11 Polarization.....	20
2.12 <i>Gaussian Optical filters</i> .....	23





**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

2.13	<i>Bit Error Rate (BER)</i> .....	24
2.14	<i>Software Optisystem</i> .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		<b>26</b>
3.1	<i>Flow Chart</i> Penelitian.....	26
3.2	Pemodelan Sistem SCM WDM-RoF Dengan Modulasi ASK.....	27
3.3	<i>Parameter Set Up</i> .....	33
3.4	Skenario Penelitian .....	35
3.5	Analisis Hasil Simulasi .....	40
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		<b>41</b>
4.1.	Verifikasi Model Sistem.....	41
4.2.	Penambahan komponen <i>Polarization Controller</i> dan <i>Polarization Waveplate</i> .....	45
4.3.	Penambahan <i>Gaussian Optical Filters</i> .....	48
4.4.	Hasil Analisa Sebelum dan Setelah Penambahan Komponen PC, PW dan GOF.....	50
4.5.	Sebelum Penambahan Komponen.....	56
4.6.	Penambahan Komponen <i>Polarization</i> .....	56
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		<b>59</b>
5.1.	Kesimpulan.....	59
5.2.	Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>61</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b> .....		<b>64</b>

UIN SUSKA RIAU



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
Sate Iskandar University of Sultan Syarif Kasim Riau

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Blok Sistem Komunikasi Optik.....	8
Gambar 2.2	Struktur <i>Fiber Optic</i> .....	10
Gambar 2.3	Simbol LED .....	11
Gambar 2.4	Struktur Dasar LASER .....	12
Gambar 2.5	Struktur <i>Radio Over Fiber</i> .....	15
Gambar 2.6	Bentuk Gelombang Sinyal ASK.....	16
Gambar 2.7	<i>Wavelength Division Multiplexing</i> .....	17
Gambar 2.7	<i>Arrayed Waveguide Gratings (AWG)</i> .....	18
Gambar 2.8	<i>Spectrum</i> Frekuensi pada Efek FWM.....	19
Gambar 2.9	<i>Polarization Controller</i> .....	21
Gambar 2.10	<i>Polarization Waveplate</i> .....	22
Gambar 2.12	<i>Gaussian Optical Filter</i> .....	23
Gambar 2.11	<i>Software Optisystem</i> .....	25
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penelitian.....	27
Gambar 3.2	<i>Flow Chart</i> Simulasi.....	28
Gambar 3.3	Model Sistem SCM WDM-RoF Modulasi ASK pada sisi <i>transmitter</i> .....	29
Gambar 3.4	Komponen <i>Polarization Controller</i> .....	36
Gambar 3.5	Komponen <i>Polarization Waveplate</i> .....	37
Gambar 3.6	Komponen <i>Gaussian Optical Filters</i> .....	38
Gambar 3.7	Iterasi Jarak Transmisi Maksimum .....	39
Gambar 4.1	Verifikasi Model Sistem Keluaran <i>Optical Spectrum Analyzer</i> ....	42
Gambar 4.2	Hasil Keluaran BER <i>Channel 1</i> dan <i>Eye Pattern</i> .....	43
Gambar 4.3	Hasil Keluaran BER <i>Channel 2</i> dan <i>Eye Pattern</i> .....	44
Gambar 4.4	Keluaran <i>Optical Spectrum Analyzer</i> dengan Penambahan Komponen PC.....	45
Gambar 4.5	Keluaran <i>Optical Spectrum Analyzer</i> dengan Penambahan Komponen <i>Polarization Waveplate</i> .....	47
Gambar 4.6	Keluaran <i>Optical Spectrum Analyzer</i> dengan Penambahan Komponen GOF.....	49

Gambar 4.7	Grafik hasil analisa sebelum dan setelah penambahan komponen pada <i>channel</i> 1 .....	55
Gambar 4.8	Grafik hasil analisa sebelum dan setelah penambahan komponen pada <i>channel</i> 2 .....	55

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.







## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu .....	6
Tabel 3.1	Komponen Optisystem.....	31
Tabel 3.2	<i>Global Parameter Set Up</i> pada <i>Optisystem</i> .....	33
Tabel 3.3	Parameter CW LASER.....	33
Tabel 3.4	Parameter <i>Carrier Generator</i> .....	33
Tabel 3.5	Parameter AWG .....	34
Tabel 3.6	Parameter <i>Fiber Optic</i> .....	34
Tabel 3.7	Parameter <i>Photodetector</i> PIN.....	34
Tabel 4.1	Hasil <i>Bit Error Rate</i> (BER) Dengan Penambahan Komponen PC.....	46
Tabel 4.2	Hasil <i>Bit Error Rate</i> (BER) Dengan Penambahan Komponen PW ....	48
Tabel 4.3	Hasil <i>Bit Error Rate</i> (BER) Dengan Penambahan Komponen GO.....	50
Tabel 4.4	Sebelum dan setelah penambahan komponen PC, PW dan GOF pada <i>Channel 1</i> dan <i>channel 2</i> .....	50
Tabel 4.5	Hasil analisa simulasi pada <i>Channel 1</i> dan <i>channel 2</i> .....	53

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Zaman yang kemajuan teknologinya terjadi dengan sangat cepat, keinginan konsumen akan adanya layanan komunikasi berkecepatan tinggi terus mengalami peningkatan. Secara umum jaringan antar *Base Transceiver Station* (BTS) ataupun jaringan *backhaul* memanfaatkan frekuensi radio untuk pengiriman informasi dari *central station* ke BTS, akan tetapi penggunaan radio frekuensi mempunyai interferensi ataupun gangguan pada saat pengiriman informasi sedang berlangsung. Perkembangan teknologi telah terjadi dimana radio frekuensi di *hybrid* dengan teknologi *fiber optic*. Kelebihan sistem komunikasi optik adalah memiliki interferensi yang rendah dan mampu mentransmisikan informasi hingga *Gigabit per second* (Gbps) [1]. *Fiber optic* digunakan sebagai *backhaul network* pada jaringan *mobile* untuk mendukung pentransmisian data dengan *bitrate* yang tinggi pada. *Hybrid technology* ini dikenal dengan *Radio over Fiber* (RoF). Disamping memiliki *bandwidth* yang besar, RoF juga memiliki redaman yang kecil, serta kebal akan adanya gangguan frekuensi radio [2].

Penerapan teknologi RoF merupakan perkembangan yang luar biasa untuk jaringan 3G, 4G, serta 5G. Jaringan 4G memiliki kecepatan yang lebih baik dari teknologi 3G sampai 3 kali lebih cepat. Komunikasi nirkabel/seluler generasi keempat atau lebih dikenal sebagai 4G, memungkinkan streaming suara, data, video, dan multimedia berbasis IP berkualitas tinggi pada perangkat seluler, serta kecepatan transfer data di modem melalui kabel. Jaringan 5G merupakan evolusi dari jaringan internet cepat 4G LTE (*Long Term Evolution*), yang saat ini banyak digunakan di *smartphone* [3][4].

Dalam mentransmisikan *bitrate* supaya mencapai lebih dari Gbps perlu adanya penggunaan *multiplexing*. *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) merupakan teknik *multiplexing* yang menggabungkan beberapa *channel* ke dalam satu saluran yang memiliki panjang gelombang yang berbeda, kemudian di transmisikan secara bersamaan dalam *bitrate* yang besar melalui *fiber optic* [5]. Teknologi WDM menyebabkan adanya efek non-linieritas diantaranya *Four Wave*



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

*Mixing* (FWM), *Self Phase Modulation* (SPM), dan *Cross Phase Modulation* (XPM) yang menyebabkan terjadinya penurunan performansi disaat pentransmisian sinyal informasi. Efek non-linieritas yang sangat berpengaruh terhadap performansi sistem RoF yaitu FWM. FWM yaitu kemunculan beberapa sinyal baru yang tidak diharapkan dan ikut ditransmisikan. Kemunculan sinyal baru tersebut terjadi akibat adanya indeks bias non-linieritas pada *fiber optic* sehingga menyebabkan termodulasinya sinyal baru yang mempunyai nilai spektrum frekuensi yang hampir mirip dengan spektrum frekuensi sinyal informasi yang ditransmisikan [2].

Gangguan performansi sistem RoF yang disebabkan oleh efek FWM harus ditekan sekecil mungkin agar performansi jaringan semakin baik. Penelitian [6] sistem DWDM-*Optical Networks* telah dilakukan untuk menekan efek FWM dengan menambahkan *Circular Polarization* dan *Optical Gain*. Hasil yang diperoleh adalah penurunan daya FWM sebesar 9 dBm pada *Circular Polarization* dan penurunan daya FWM sebesar 7 dBm pada *Optical Gain*. Penelitian [7] menganalisa pengaruh FWM pada sistem RoF menggunakan *Bessel Optical Filters*. Dari penelitian tersebut diperoleh pengurangan daya FWM sebesar 4 dBm.

Penelitian [8] menganalisis sistem Bi-directional DWDM-Fiber Optic untuk menekan dampak FWM dengan menambahkan *Circular Polarization* ke *transmitter*, dan diperoleh hasil penurunan daya FWM sisi *downlink* 10 dBm dan pengurangan daya FWM sisi *uplink* 7 dBm. Penelitian [9] Melakukan penelitian dengan penambahan komponen *Bessel* dan *Gaussian Optical Filters* pada sistem (DP-QPSK) WDM. Hasilnya menunjukkan bahwa filter optik *Gaussian* memberikan kinerja yang lebih baik pada jaringan optik.

Pada tahun 2020 [8] Penelitian untuk menekan efek FWM pada jaringan komunikasi optik di bawah air pada model sistem *Bi-directional* DWDM dengan penambahan *Circular Polarization*. Hasil menunjukkan penurunan FWM sebesar 10 dBm pada *downlink* dan 7 dBm pada *uplink*.

Dari hasil penelitian di atas, hanya penelitian [7] yang menekan efek FWM pada jaringan RoF. Oleh sebab itu perlu adanya penelitian lanjutan untuk dapat menekan efek FWM dengan menggunakan komponen optik lainnya dengan tujuan





#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari beberapa komponen yang digunakan.

Pada penelitian ini dilakukan analisa dengan melakukan penambahan komponen *Polarization*, yaitu *Polarization Controller* (PC), *Polarization Waveplate* (PW) dan komponen *Gaussian Optical Filters* (GOF) untuk menekan efek FWM yang mempengaruhi performansi Sistem SCM WDM-RoF. Pemilihan penggunaan komponen *Polarization Controller* dan *Polarization Waveplate* dikarenakan pada penelitian [8] menggunakan salah satu komponen *Polarization* yaitu komponen *Circular Polarization* di dapatkan hasil penurunan FWM sampai dengan 10 dBm untuk komunikasi optik bawah air. Inilah yang menjadi dasar penulis melakukan pengujian menggunakan komponen *Polarization* yang lain untuk menekan efek FWM pada sistem SCM WDM-RoF. Pemilihan penggunaan komponen optik *Gaussian Optical Filter*, karena pada penelitian [7] menganalisa pengaruh FWM pada sistem RoF menggunakan *Bessel Optical Filters*. Dari penelitian tersebut diperoleh pengurangan daya FWM sebesar 4 dBm. Inilah yang menjadi dasar penulis untuk menggunakan komponen *Gaussian* yang lain yaitu *Gaussian Optical Filter* untuk melihat dampak yang di hasilkan untuk menekan efek FWM pada sistem SCM WDM-RoF. Oleh kerana itu penulis tertarik untuk mendasain model sistem yang diangkat dalam judul penelitian “**Analisis Pengaruh Penambahan Komponen *Polarization* dan *Bessel Optical Filters* Untuk Menekan Efek FWM pada Sistem SCM WDM-RoF**”. Maka dari itu dengan melakukan pengujian tersebut bertujuan untuk mendapatkan hasil pengurangan daya yang maksimal dari salah satu komponen yang digunakan, serta meningkatkan kualitas performansi sistem RoF.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka terdapat masalah yang dapat diteliti antara lain:

1. Apakah ada penurunan daya *Four Wave Mixing* (FWM) setelah adanya penambahan komponen *Polarization Controller* (PC), *Polarization Waveplate* (PW), dan *Gaussian Optical Filters* (GOF) pada sisi *transmitter*?
2. Bagaimanakah performansi dari sistem SCM WDM-RoF setelah adanya

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

penambahan komponen *Polarization Controller* (PC), *Polarization Waveplate* (PW), dan *Gaussian Optical Filters* (GOF) pada sisi *transmitter*?  
 3. Komponen manakah yang paling efisien untuk mengurangi daya *Four Wave Mixing* (FWM) yang mempengaruhi performansi sistem SCM WDM-RoF?  
 4. Berapa jarak maksimum yang dapat diperoleh oleh model sistem SCM WDM-RoF setelah adanya penambahan komponen *Polarization Controller* (PC), *Polarization Waveplate* (PW), dan *Gaussian Optical Filters* (GOF) pada sisi *transmitter*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengurangan atau penambahan daya dari *Four Wave Mixing* (FWM) yang dapat diamati dari *optical spectrum analyzer* pada model sistem SCM WDM-RoF mulai dari sebelum penambahan komponen sampai setelah penambahan komponen *Polarization* dan *Bessel Optical Filter*.
2. Mengukur kinerja *Bit Error Rate* (BER) terhadap penambahan komponen *Polarization Controller* (PC), *Polarization Waveplate* (PW), dan *Gaussian Optical Filters* (GOF) pada sisi *transmitter* pada model sistem SCM WDM-RoF.

### 1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas pembahasan dan menghindari perluasan pembahasan, maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Parameter performansi yang dianalisa adalah daya dari *Four Wave Mixing* (FWM), dan *Bit Error Rate* (BER)
2. Penggunaan Komponen *Polarization Controller*, *Polarization Waveplate*, dan *Bessel Optical Filters* pada sisi *transmitter*.
3. Memodelkan sistem menggunakan *Multiplexing* jenis *Arrayed Waveguide Grating* dengan *channel spacing* sebesar 50 GHz.
4. Pemodelan sistem dan simulasi sistem menggunakan *software optisystem*.
5. Menggunakan 2 *Channel* pada Sistem WDM-RoF untuk melihat keefektifan dari setiap komponen yang di gunakan untuk menekan efek FWM.



## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ada pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan dapat diimplementasikan ke sistem komunikasi RoF yang mana masih terdapat efek FWM yang mengganggu performansi sistem SCM WDM-RoF sebelum adanya penambahan komponen pada sisi *transmitter*.
2. Sebagai referensi untuk penelitian yang dimana dapat dilanjutkan maupun dipelajari oleh pembaca.

## 1.6 Sistematika Penulisan

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan penjelasan singkat dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini merupakan penjelasan dari penelitian terkait yang mana berhubungan dengan topik dari pembahasan penulis. Berisi teori-teori tentang *Radio over Fiber* serta efek non-linieritas yang mempengaruhi performansi sistem pada saat pentransmisian sinyal informasi.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang proses dan alur penelitian yang mencakup beberapa tahapan seperti studi literatur, memodelkan sistem serta mengatur *setting* parameter *set up*.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi penjelasan dari hasil simulasi yang diperoleh serta analisis hasil yang dilakukan oleh penulis.

### BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang mana merupakan semua inti dari penelitian yang dilakukan serta saran jika kemungkinan ada pengembangan penelitian selanjutnya.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Dalam proses penelitian Tugas Akhir ini, penulis melakukan studi literatur dengan mencari referensi untuk penelitian yang terkait. Referensi yang didapat yakni dari kajian literatur dengan berbagai sumber jurnal internasional maupun nasional dan sumber-sumber lainnya. Berikut uraian dari sumber jurnal internasional maupun nasional yang didapat penulis.

Salah satu teknologi optik yang sedang dikembangkan saat ini adalah *Wavelength division multiplexing* (WDM). WDM adalah metode *multiplexing* di mana beberapa saluran dengan panjang gelombang berbeda digabungkan menjadi satu saluran, dengan sejumlah besar kecepatan bit ditransmisikan melalui serat optik pada saat yang bersamaan. WDM memiliki spektrum optik yang lebih baik karena jarak antar panjang gelombang kecil, yang meningkatkan kapasitas transmisi data [5].

Teknologi WDM digunakan pada sistem *Radio over Fiber* (RoF) untuk dapat meningkatkan *bitrate* yang besar dalam mentransmisikan sinyal informasi. RoF sendiri merupakan teknologi komunikasi *hybrid* yang mana pengiriman sinyal radio frekuensi melalui *fiber optic* dengan memiliki interferensi yang rendah. RoF sudah diimplementasikan pada komunikasi antara central station ke BTS [5]. Namun dengan menggunakan teknologi WDM dapat menimbulkan daya FWM yang mana merupakan efek non-linieritas yang mengganggu performansi sistem komunikasi pada RoF. Untuk itu perlu adanya penekanan daya FWM sekecil mungkin.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

NO	Tahun	Penulis	Hasil
1	2020	N. Sharma, H. Singh, and P. Singh [6]	Model sistem DWDM-Optical Networks, komunikasi optik murni, melakukan penelitian serta menganalisa efek non-linieritas. penelitian melakukan penambahan

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

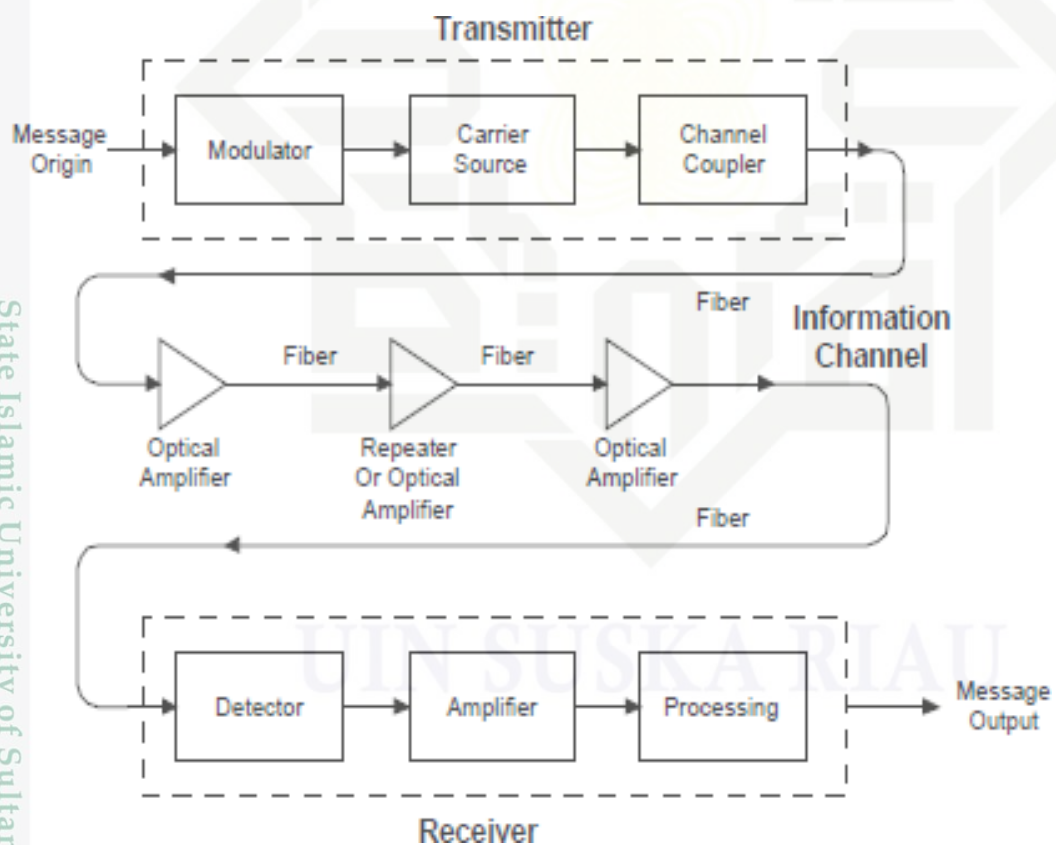
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau			<i>Circular Polarizers</i> dan <i>Optical Gain</i> yang untuk menekan efek FWM. Penelitian mendapatkan hasil pengurangan daya FWM sebesar 9 dBm pada <i>Circular Polarizers</i> dan pengurangan daya FWM sebesar 7 dBm pada <i>Optical Gain</i> .	
	2	2019	N. Kathpal and A. K. Garg [7]	melakukan penelitian menganalisa efek FWM sistem RoF, dengan penambahan <i>Bessel Optical Filters</i> pada sisi <i>transmitter</i> . Penelitian menemukan pengurangan daya <i>sideband</i> FWM sebesar 4 dBm dari hasil yang didapatkan.
	3	2020	H. U. Mazoor, M. Rehman, S. Manzoor, A. Aslam, and T. Manzoor [8]	sistem komunikasi optik murni model sistem <i>Bi-directional DWDM-Fiber Optic</i> , yang melakukan penelitian untuk menekan efek FWM dengan penambahan <i>Circular Polarization</i> pada sisi <i>transmitter</i> . didapatkan hasil pengurangan daya FWM sebesar 10 dBm pada sisi <i>downlink</i> dan 7 dBm pada sisi <i>uplink</i> .
	4	2021	N. Sharma, S. Agrawal, and V. Kapoor [9]	Melakukan penelitian dengan penambahan komponen <i>Bessel</i> dan <i>Gaussian Optical Filters</i> pada sistem (DP-QPSK) WDM. Hasilnya menunjukkan bahwa filter optik <i>Gaussian</i> memberikan kinerja yang lebih baik pada jaringan optik.
	5	2020	H. U. Manzoor, T. Manzoor, A. Hussain, and M. H. Aly [10]	Sistem <i>DWDM-Fiber Optic</i> penambahan <i>Modulation Techniques</i> dan <i>Optical Filters</i> untuk menekan efek FWM. menunjukkan hasil pengurangan daya FWM sebesar 9 dBm pada <i>Modulation Techniques</i> serta <i>Optical Filters</i> meningkatkan nilai <i>Q-factor</i> .

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## 2.2 Sistem Komunikasi Optik

Komunikasi adalah proses penyampaian informasi, baik berupa data maupun audio dan video, dari tujuan yang diinginkan kepada penerima informasi. Sistem komunikasi optik mentransmisikan sinyal informasi berupa sinyal informasi data (audio dan video) dari sisi pemancar berupa sinyal elektrik, kemudian diubah menjadi sinyal optik pada modulasi yang digunakan yaitu Modulator *Mach-Zehnder* ( MZM) sebelum ditransmisikan melalui siaran serat optik [11]. Sistem komunikasi serat optik biasanya terdiri dari sumber optik, serat optik, dan detektor cahaya. Dalam sistem komunikasi optik yang bertindak sebagai media informasi transmisi adalah *fiber optic*.



Gambar 2.1 Blok Sistem Komunikasi Optik [12]



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa sistem komunikasi optik terdiri dari tiga bagian penting yaitu [12]:

1. *Transmitter* terdiri dari beberapa bagian yaitu:
  - a. *Message origin* adalah data informasi yang akan dikirim dalam hal ini dapat berupa *voice*, *image*, dan *video*.
  - b. *Modulator* berfungsi sebagai pengubah sinyal informasi elektrik ke dalam bentuk sinyal informasi optik yang sesuai dan menumpangkan sinyal tersebut pada gelombang yang dibangkitkan oleh *carrier source*.
  - c. *Carrier source* dimana terdapat komponen sumber optik yaitu *Laser Diode (LD)* dan *Light Emitting Diode (LED)* yang berfungsi sebagai pembangkit gelombang dari sinyal optik.
  - d. *Channel Coupler* berfungsi untuk menyalurkan daya gelombang dari sinyal optik yang telah dimodulasikan oleh *carrier source* ke *fiber optic*.
2. *Information Channel* atau media transmisi yang berfungsi sebagai media untuk mengirimkan informasi dari *transmitter* untuk diteruskan ke *receiver*. Pada media transmisi *fiber optic* yang digunakan. Pada sistem komunikasi optik jarak jauh daya sinyal optik akan melemah dan akan terjadinya pengurangan daya transfer informasi yang menyebabkan kualitas performansi menurun maka dari itu dibutuhkan perangkat tambahan untuk menjaga kualitas performansi sistem, adapun perangkat tersebut ialah:
  - a. *Repeater* dimana berfungsi sebagai pengubah sinyal optik yang lemah ke bentuk dalam bentuk sinyal elektrik kemudian dikuatkan dan dikembalikan ke bentuk sinyal optik. *Repeater* hanya dapat bekerja pada sistem komunikasi digital.
  - b. *Optical Amplifier* berfungsi sebagai penguat sinyal optik secara langsung tanpa adanya pengkonversian ke sinyal elektrik terlebih dahulu.
3. *Receiver* terdiri dari beberapa bagian yakni:
  - a. *Detector* berfungsi sebagai konversi atau pengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik dengan menggunakan komponen *photodetector*.
  - b. *Amplifier* berfungsi sebagai penguat sinyal elektrik yang telah dikonversikan pada komponen *photodetector*.
  - c. *Processing* terdiri dari bagian penyaringan sinyal dan serangkaian pembuat



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

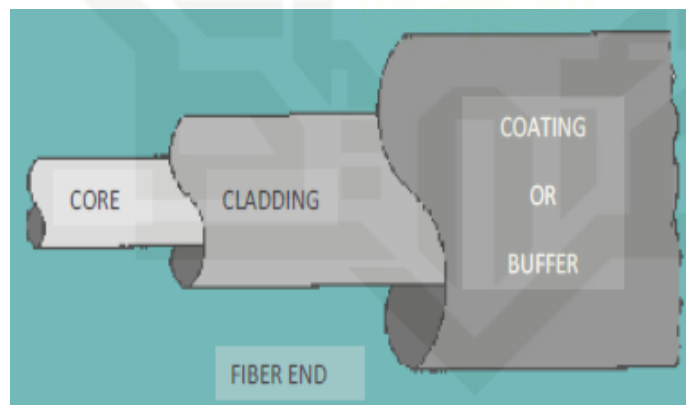
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

keputusan, di mana tugas dari rangkaian keputusan adalah memutuskan apakah bilangan biner 0 atau 1 diterima selama setiap interval bit tunggal.

- d. *Message Output* merupakan data informasi yang diterima di bagian receiver dalam bentuk sinyal elektrik.

### 2.3 Fiber Optic

*Fiber Optic* adalah media transmisi kaca atau plastik yang beroperasi pada panjang gelombang optik atau cahaya. Serat optik memiliki struktur dasar yang terdiri dari 3 bagian yaitu *core* (inti), *cladding* (kulit) dan *coating* (mantel) atau *buffer* (pelindung). *Core* adalah batang silinder silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), sebagian besar diolah dengan germanium oksida ( $\text{GeO}_2$ ) atau fosfor pentoksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) untuk meningkatkan indeks bias, yang tidak menghantarkan listrik, jari-jari *core* sekitar 8-200  $\mu\text{m}$  dan indeks bias adalah  $n_1$ , urutan besarnya sekitar 1,5. *Core* ditutupi dengan lapisan bahan yang disebut kelongsong, yang terbuat dari bahan dielektrik (silikon oksida dengan sedikit atau tanpa doping). Jari-jari *cladding* sekitar 125-400  $\mu\text{m}$ , indeks biasanya  $n_2$ , ukurannya sedikit lebih kecil dari  $n_1$  [13]. struktur dari *fiber optic* dapat dilihat dari gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur *Fiber Optic* [13]

*Cladding* memiliki peranan yang penting di dalam pentranmisian *fiber optic*, dimana *cladding* memiliki beberapa fungsi [13]:

- a. Mengurangi *loss* hamburan pada permukaan *core* pada saat proses pentrasmisian.
- b. Melindungi *fiber optic* dari kontaminasi penyerapan permukaan dan noise lainnya.

- c. Mengurangi cahaya yang loss pada saat pentrasnmisian data.
- d. Menambah kekuatan mekanis sistem dari *fiber optic*.

Fiber *optic* memiliki keunggulan dibandingkan dengan media transmisi yang lainnya, diantaranya adalah sebagai berikut [14]:

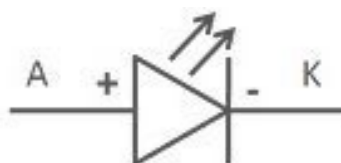
- e. Mempunyai lebar *bandwidth* yang sangat lebar serta dapat mentransmisikan bitrate
- f. mencapai Gbps.
- g. Ukuran *fiber optic* yang sangat kecil dan harga yang relatif murah.
- h. Sinyal cahayanya tidak terpengaruh oleh medan elektrik dan medan magnetik.
- i. Sinyal dalam serat tersebut terjamin keamanannya.
- j. Tidak akan terjadi percikan api karena di dalam serat tidak terdapat tenaga listrik.
- k. Redaman dan interferensi yang rendah sehingga mampu digunakan untuk komunikasi jarak jauh.

Selain kelebihanannya sendiri, serat optik memiliki beberapa kelemahan, antara lain bentuk fisik serat optik yang sangat lemah sehingga jika mengalami tekanan *eksternal* yang berlebihan dapat merusak inti (*core*) dan tidak mengirimkan informasi data apapun. Untuk menghindari redaman tinggi, penyambungan inti (*core*) harus presisi dengan ketelitian yang tinggi.

## 2.4 Sumber Optik

Sumber optik adalah pembangkit sinyal optik dari sistem komunikasi optik yang juga berfungsi sebagai pengubah kekuatan sinyal listrik menjadi sinyal optik. Dua jenis sumber optik digunakan untuk mengirimkan sinyal data melalui serat optic, yaitu: *Light Emitting Diodes* (LED) dan *Light Amplification Stimulated Radiation Emission* (LASER).

### 1. *Light Emitting Diode* (LED)

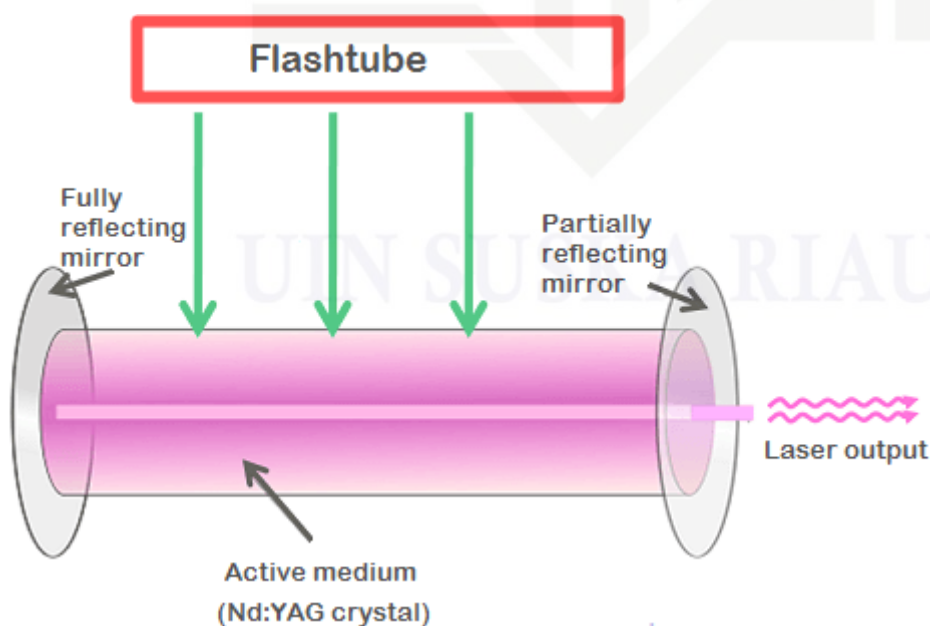


Gambar 2.3 Simbol LED [15]

LED adalah dioda semikonduktor yang memancarkan cahaya dikarenakan memancarkan emisi. LED mengubah jumlah daya transmisi optik nyata, yang memiliki fungsi linier, menjadi intensitas cahaya. Cahaya yang dipancarkan oleh LED tidak koheren, menghasilkan dispersi *chromatic*, sehingga LED hanya cocok untuk transmisi data *bitrate* rendah atau sedang. Daya keluaran LED adalah -33 hingga -10dBm. Lebar spektrum LED adalah 30-50 nm pada panjang gelombang 850 nm dan 50-150 nm pada panjang gelombang 1300 nm. LED biasanya digunakan dalam sistem komunikasi optik jarak pendek di mana *bitrate* rendah [15].

## 2. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

Dioda LASER adalah komponen atau material *solid-state* dengan kemampuan untuk memperkuat cahaya dengan emisi radiasi terstimulasi dan terarah. Sinyal optik yang dipancarkan oleh LASER bersifat koheren. Spektral pada diode LASER memiliki lebar yang lebih sempit yaitu  $< 4$  nm, sehingga dispersi kromatik bisa ditekan. LASER diterapkan untuk transmisi data dengan *bit rate* tinggi serta komunikasi sistem jarak jauh. LASER mempunyai daya keluaran optik -12 s.d. + 3 dBm. Karakteristik kinerja daya optik tidak linier. LASER memiliki permukaan aktif yang lebih kecil dan sudut dari *beam* sangat sempit dengan *distorsi* yang sangat rendah [15].



Gambar 2.4 Struktur Dasar LASER



Sistem kerja LASER berdasarkan gambar diatas didasarkan pada prinsip dasar emisi stimulasi. Sinar cahaya masuk ke sistem LASER melalui cermin reflektif (*Reflective Mirror*), Cahaya yang memasuki medium penghasil LASER (*Lasing Medium*) akan berinteraksi dengan atom atau molekul di dalamnya, merangsang emisi radiasi. Medium penghasil LASER dapat berupa padat, cair, atau gas yang memiliki sifat penguatan cahaya. Di dalam medium penghasil LASER (*Lasing Medium*), partikel atom atau molekul yang merespons dengan emisi stimulasi akan melepaskan energi dalam bentuk foton yang beresonansi. Proses ini menghasilkan penguatan cahaya secara *eksponensial* ketika foton-foton ini berinteraksi dengan partikel yang lain, menciptakan efek luar biasa yang dikenal sebagai penguatan serentak. *Partially-Transmitting Mirror* berfungsi untuk membatasi sejumlah cahaya yang lolos, sedangkan sebagian besar cahaya dipantulkan kembali ke dalam *lasing medium* untuk terus mengalami penguatan, sehingga menghasilkan intensitas cahaya yang tinggi [15]

## 2.5 Photodetector

Komponen optik *photodetector* berperan penting dalam sistem komunikasi optik. Fungsi utama dari *photodetector* adalah untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik yang dapat diolah dan dideteksi oleh perangkat elektronik. *Photodetector* terdapat pada bagian *receiver* dimana merupakan perangkat yang berbasis semikonduktor yang memiliki sambungan p-n dimana mengubah foton cahaya menjadi sinyal elektrik yang kemudian foton cahaya tersebut akan diserap dan akan membuat pasang elektron yang akan diteruskan ke *filters* elektrik.

Ada dua jenis detektor transmisi serat optik: PIN *photodiode* dan *avalanche photodiode* (APD). Berikut beberapa perbedaan antara kedua sensor cahaya tersebut [16]:

1. APD memiliki kepekaan dan respon yang tinggi terhadap sumber optik LASER sebagai pembawa sinyal informasi optik. Komunikasi jarak jauh menggunakan APD, yang dapat beroperasi pada panjang gelombang 1300nm, 1500nm dan 1550nm dengan kualitas transmisi yang lebih efisien.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Untuk pentransmisi data untuk jarak dekat lebih efisien jika menggunakan PIN photodiode, karena PIN baik digunakan untuk bitrate rendah dan sensitivitas sedang untuk sistem yang menggunakan sumber optik LED.

Pada detektor penerima PIN untuk bitrate yang tinggi kurang efisien dibandingkan dengan bit rate rendah yang bereaksi baik.

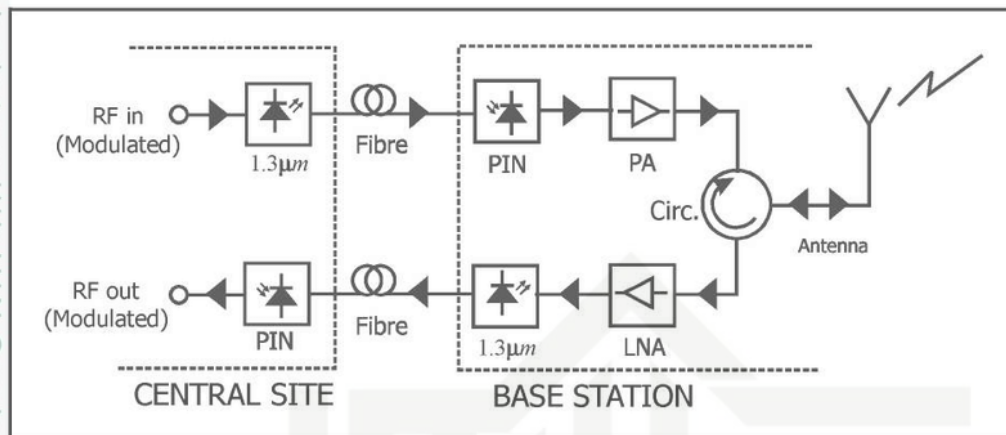
Pada detektor penerima APD untuk bitrate yang tinggi lebih sangat efisien dibandingkan dengan bitrate rendah yang bereaksi kurang baik karena APD menggunakan sumber optik LASER. Dalam sistem komunikasi serat optik jarak jauh, LASER digunakan sebagai sumber cahaya dan APD sebagai detektor penerima karena memancarkan cahaya yang koheren. Sedangkan untuk transmisi jarak pendek, cukup menggunakan LED sebagai sumber optik dan kode PIN sebagai detektor penerima.

## 2.6 Radio Over Fiber

*Radio over Fiber* (RoF) adalah teknologi komunikasi *hybrid* yang banyak digunakan untuk memproses transmisi sinyal frekuensi radio melalui serat optik untuk mempercepat transmisi data. RoF menggabungkan teknologi radio frekuensi (RF) dan serat optik untuk mengirimkan sinyal radio jarak jauh dengan kualitas yang baik dengan menggunakan media kabel *fiber optic* sebagai media saluran transmisi, dengan interferensi yang rendah dan kecepatan transmisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan transmisi langsung. RoF dapat meningkatkan performansi BER dan *bandwidth* [1].

Sistem RoF secara keseluruhan digunakan untuk mengirimkan sinyal gelombang mikro dan memanfaatkan fungsi mobilitas *Central Site* (CS). Memusatkan fungsi pemrosesan sinyal RF memiliki banyak keuntungan, seperti kemampuan mengizinkan berbagi perangkat, alokasi sumber daya dinamis, penyederhanaan pengoperasian, dan pemeliharaan sistem. Keunggulan ini dapat menghasilkan penghematan yang signifikan dalam pemasangan sistem dan pengoperasian sistem, terutama dalam sistem komunikasi nirkabel pita lebar yang memerlukan kepadatan tinggi. [11]. *Remote Site* (RS) dan *Central Site* (CS) yang disatukan oleh sebuah jaringan *fiber optic* merupakan bagian dari sistem RoF. Jika

di jaringan GSM, maka CS bisa menjadi *Mobile Switching Center* (MSC) dan RS adalah *Base Station* (BS).



Gambar 2.5 Struktur *Radio Over Fiber* [10]

Sistem kerja *Radio over Fiber* berdasarkan gambar di atas sinyal frekuensi radio dikirimkan melalui serat optik untuk kemudian melewati LASER agar mendapatkan penguatan cahaya karena LASER sangat cocok untuk komunikasi sistem jarak jauh. Cahaya yang telah melalui laser dikirimkan melalui kabel optik untuk jarak tertentu, yang kemudian memasuki *Power Amplifier* yang salah satu fungsinya untuk mempertahankan kualitas sinyal sebaik mungkin. Setelah melalui *Power Amplifier* sinyal optik di teruskan untuk memasuki *Low Noise Amplifier* (LNA) yang berfungsi untuk mengurangi kontribusi *noise* pada sinyal optik. Setelah melalui *Low Noise Amplifier* sinyal optik masuk ke *Photodetector* yang berfungsi mendeteksi dan mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik yang dapat diukur atau diproses lebih lanjut.

## 2.7 Modulasi ASK

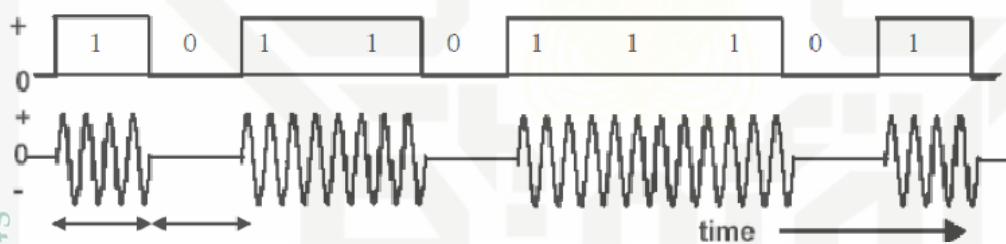
Modulasi *Amplitude Shift Keying* (ASK) adalah metode modulasi yang digunakan dalam komunikasi digital untuk mengirimkan informasi melalui perubahan amplitudo sinyal pembawa. Pada modulasi ASK, dua keadaan amplitudo yang berbeda digunakan untuk merepresentasikan *bit* data yang berbeda. Dengan *amplitudo shift keying* (ASK), sinyal informasi ditransmisikan, yang kemudian ditumpangkan pada sinyal pembawa (*carrier*) yang dimodulasi

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

karena pergeseran amplitudo. ASK adalah metode modulasi dengan mengubah amplitudo. Dengan metode modulasi ini, kemunculan frekuensi pembawa bergantung pada ada atau tidaknya sinyal informasi digital. Ketika logika sinyal informasi adalah 1, sistem mentransmisikan sinyal pembawa dengan suatu amplitudo, sedangkan ketika logika sinyal informasi adalah 0, sistem mentransmisikan sinyal pembawa dengan amplitudo lainnya [17]. Secara sistematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t) & \text{untuk simbol "1"} \\ 0 & \text{untuk simbol "0"} \end{cases} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan demikian, maka sinyal ASK yang ditransmisikan adalah sinyal sinusoidal dengan frekuensi dan fase konstan namun dengan amplitudo yang berubah-ubah sesuai dengan arus data pada sinyal informasi. Bentuk gelombang sinyal ASK sebagai berikut:



Gambar 2.6 Bentuk Gelombang Sinyal ASK [15]

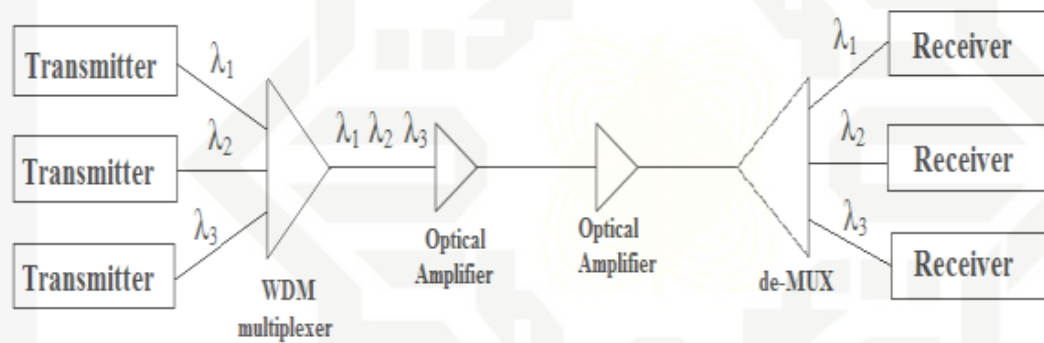
Demodulasi ASK dapat dilakukan secara *coherent* (koheren) dan *inkoheren* (tidak koheren). Demodulator yang koheren mengacu pada demodulator yang waktunya (dalam hal ini lebih mudah untuk diidentifikasi sebagai fase) sama persis dengan sinyal pembawa (*carrier*) yang masuk. Dengan deteksi yang koheren, filter yang relevan diperlukan untuk mencapai deteksi yang baik. Deteksi koheren ini membutuhkan tegangan referensi untuk menentukan pengkodean dalam bilangan biner. Pada saat yang sama, demodulator non-koheren tidak membutuhkan fase yang persis sama dengan sinyal pembawa yang masuk. Demodulator sinkron (*Synchronous demodulator*) adalah contoh demodulator yang koheren. Dengan deteksi koheren, cukup mendeteksi sinyal



termulasi sedemikian rupa sehingga hanya ada dua keadaan sinyal, yaitu keadaan on berupa pulsa RF dan keadaan off berupa spasi [17].

## 2.8 Wavelength Division Multiplexing

*Wavelength Division Multiplexing* (WDM) adalah metode *multiplexing* di mana beberapa saluran dengan panjang gelombang berbeda digabungkan menjadi satu saluran sehingga dapat ditransmisikan melalui *fiber optic* dalam jumlah bitrate yang besar pada waktu yang bersamaan. WDM memiliki spektrum optik yang lebih baik karena jarak antar panjang gelombang yang kecil sehingga kapasitas transmisi data meningkat [5]. Selain menggunakan WDM untuk teknik *multiplexing* terdapat komponen lain untuk melakukan teknik *multiplexing* yakni *Arrayed Waveguide Gratings* (AWG).



Gambar 2.7 Wavelength Division Multiplexing [5]

AWG merupakan teknik *multiplexing* yang menggabungkan beberapa panjang gelombang yang berbeda sehingga dapat dikirimkan secara bersamaan melalui satu kanal optik. Namun yang membedakan teknik *multiplexing* ini ialah ketika AWG dipakai pada model sistem RoF memiliki performansi BER yang stabil, sedangkan pada WDM performansi BER cenderung tidak stabil.

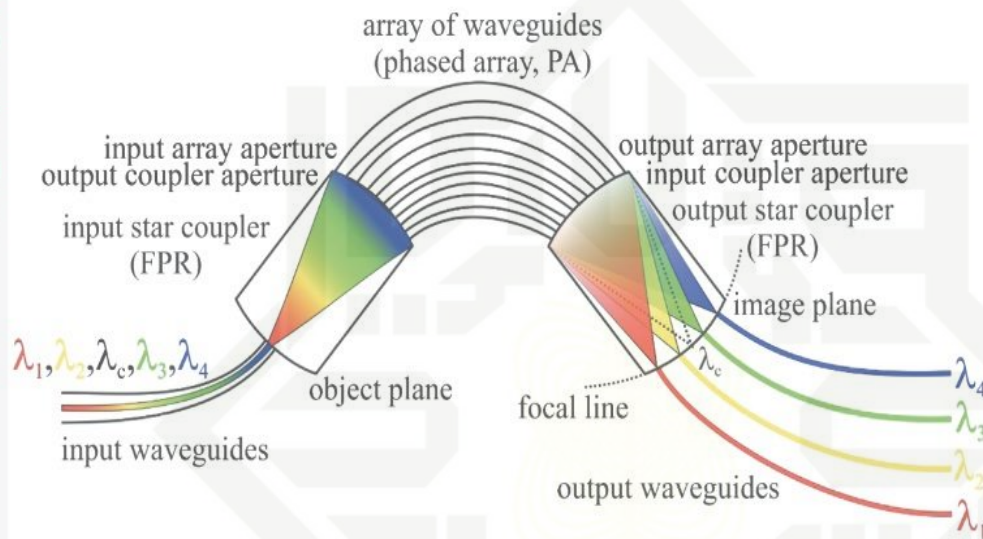
## 2.9 Arrayed Waveguide Gratings

*Arrayed Waveguide Grating* (AWG), terkadang disebut *Phased Array* (PHASAR), adalah sistem *multiplexer* dan *demultiplexer* dalam sistem WDM. Keuntungan AWG saat terintegrasi dalam jaringan optik termasuk kehilangan



transmisi yang sangat rendah, jarak saluran yang lebih akurat, jumlah saluran yang banyak, dan stabilitas sistem yang tinggi. [18].

AWG merupakan jenis teknologi yang terpenting untuk diterapkan di *multiplexing* jaringan. Kemajuan teknologi pada AWG memiliki Sirkuit terpadu fotonik yang mana diharapkan menjadi yang paling penting. Teknologi terpenting yang digunakan untuk merealisasikan AWG saat ini adalah teknologi *silica-on-silicon* dan semikonduktor berbasis *Indiumphosphide* (InP) [18].



Gambar 2.8 Arrayed Waveguide Gratings (AWG) [17]

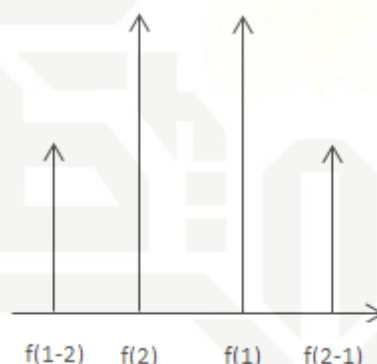
*Input dan Output Arrayed Waveguide Gratings (AWG) memiliki multiple input waveguides dan multiple output waveguides. Input waveguides menerima sinyal optik dari multiple saluran yang berbeda pada panjang gelombang yang ditentukan untuk di salurkan di dalam satu saluran. Sinyal optik dari masing-masing input waveguide masuk ke komponen AWG, untuk kemudian di salurkan menuju output secara bersamaan di dalam satu saluran. Setelah mencapai jarak yang di tentukan, komponen AWG akan kembali di pisahkan menjadi setiap saluran yang berbeda seperti semula.*

## 2.10 Efek Non-linieritas *Four Wave Mixing*

Efek Non-Linearitas terjadi akibat adanya interaksi indeks bias dalam media *fiber optic* dengan sinyal informasi berupa optik yang ditransmisikan dalam satu saluran atau *channel*. Interaksi sinyal informasi optik yang terjadi

berhubungan dengan *kerr effect*. Pada fenomena ini akan menyebabkan munculnya modulasi sinyal pada *phasa* yang mana akibat perubahan indeks bias berbanding lurus dengan intensitas optik. Sinyal *phasa* tersebut juga terjadi akibat adanya material inti dari *fiber optic* yang memiliki nilai *non-linier susceptibility*. Apabila nilai *non-linier susceptibility* semakin besar maka akan terjadi gangguan dari efek non-linieritas terhadap *phase* pulsa sinyal *optic* juga akan semakin besar pula terpolarisasikan [19]. *Kerr-effect* pada non-linieritas terbagi atas tiga gangguan yaitu *Self-Phase Modulation* (SPM), *Cross-Phase Modulation* (XPM) dan *Four-Wave Mixing* (FWM).

FWM merupakan efek nonlinear dimana munculnya sinyal-sinyal baru yang tidak diharapkan serta ikut ditransmisikan. FWM terjadi akibat efek *kerr* dimana adanya perubahan indeks bias *nonlinear* dari cahaya sumber optik yang digunakan dengan panjang gelombang berbeda pada saat pentransmisian melalui *fiber optic*, sehingga terjadi modulasi sinyal-sinyal baru. Sinyal-sinyal baru tersebut memiliki nilai *spectrum* frekuensi yang hampir sama dengan *spectrum* frekuensi sinyal informasi asli [19].



Gambar 2.9 *Spectrum* Frekuensi pada Efek FWM [19]

Hadirnya sinyal-sinyal baru  $f(1-2)$ ,  $f(2-1)$  pada gambar diatas dapat mengganggu kualitas sinyal disaat proses *transmisi* sinyal terjadi. Kualitas sinyal utama akan semakin terganggu apabila sinyal-sinyal baru semakin menyerupai sinyal utama. Berikut rumus perhitungan efek *Four Wave Mixing*:

$$M = \frac{N^2}{2} (N - 1) \dots \dots \dots (2.2)$$



Secara umum,  $M$  merupakan percampuran dari beberapa gelombang dengan panjang yang berbeda dan ditransmisikan secara bersamaan atau produk percampuran silang.  $N$  merupakan panjang gelombang saluran input. Jika penambahan sinyal-sinyal baru ini tidak ditekan maka akan mengganggu performansi suatu jaringan dan menyebabkan nilai *Bit Error Rate* yang tinggi [19].

## 2.11 Polarization

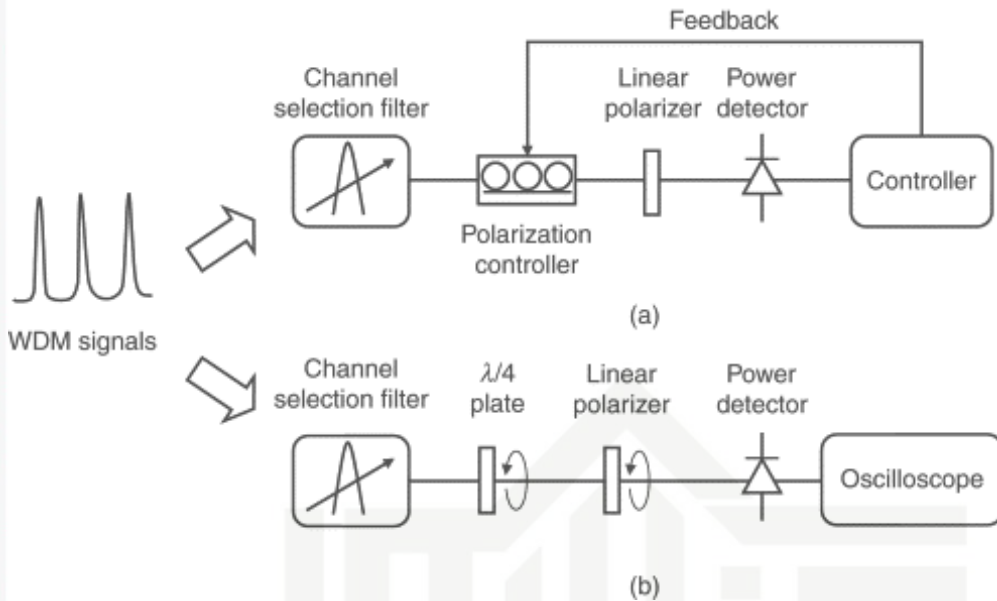
Penambahan komponen *Polarization* merupakan perangkat atau komponen yang akan digunakan untuk menekan efek FWM yang mengganggu performansi sistem. Komponen *Polarization* dibagi menjadi 2 komponen yaitu *Polarization Controller* dan *Polarization Waveplate*.

### 2.11.1 Polarization Controller

*Polarization controller* merupakan sistem komunikasi serat optik yang mengubah keadaan polarisasi keluaran yang biasanya berfluktuasi dari serat optik standar secara terus menerus menjadi keadaan polarisasi yang stabil. *Polarization Controller* memungkinkan komponen optik peka terhadap polarisasi pada ujung jalur transmisi serat optik. Namun, stabilisasi berkelanjutan dari fluktuasi polarisasi yang berpotensi besar dan cepat membutuhkan pengontrol polarisasi dengan rentang transformasi tak terbatas dan kecepatan kontrol yang cepat [20].

*Polarization controller* dapat digunakan dalam berbagai aplikasi komunikasi optik, seperti pemancar optik, penerima optik, atau dalam pengukuran dan pengujian sistem optik. Fungsi utama dari komponen ini adalah untuk mengatur atau menstabilkan polarisasi cahaya yang masuk atau keluar dari serat optik. Dengan mengontrol polarisasi cahaya, sinyal optik dapat diproses lebih efektif dan dihindari terjadinya gangguan polarisasi yang dapat mempengaruhi kinerja sistem [20].





Gambar 2.10 *Polarization Controller* [21]

*Polarization controller* merupakan komponen optik yang digunakan untuk mengendalikan dan memanipulasi polarisasi cahaya dalam sistem komunikasi optik. Tujuannya adalah untuk mengubah atau mempertahankan keadaan polarisasi cahaya saat melalui serat optik atau komponen optik lainnya [21].

Fungsi utama *polarization controller* adalah untuk memastikan bahwa cahaya yang dikirim melalui serat optik atau komponen optik lainnya memiliki polarisasi yang diinginkan. Hal ini penting dalam sistem komunikasi optik karena polarisasi yang tidak sesuai atau bervariasi dapat menyebabkan penurunan kualitas sinyal dan penurunan kinerja sistem [21].

### 2.11.2 *Polarization Waveplate*

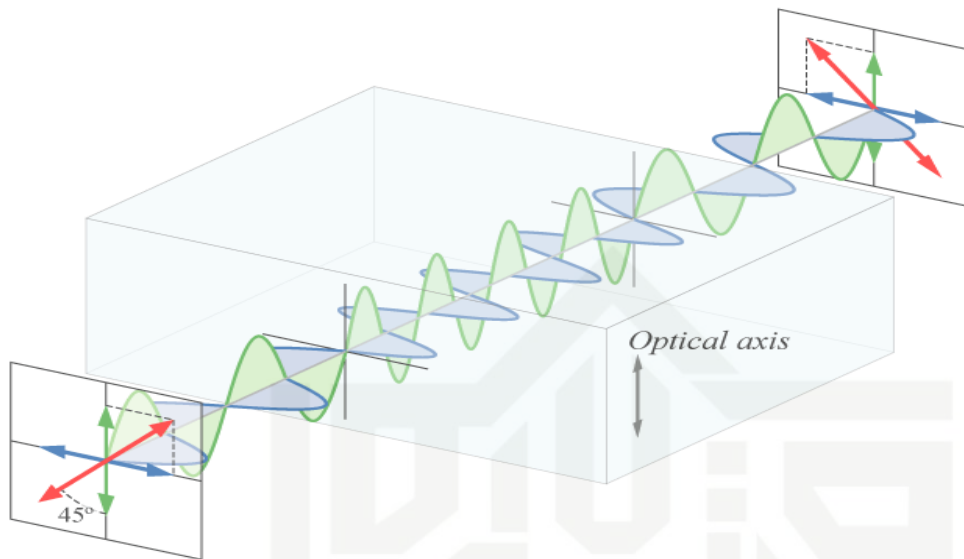
*Polarization waveplate* mengubah orientasi sumbu utama berkas terpolarisasi umum dengan cara menginduksi perbedaan fasa  $\pi$  antara dua komponen terpolarisasi. Sinar cahaya terpolarisasi homogen dapat diubah menjadi sinar CV terpolarisasi tidak homogen saat melewati pelat gelombang [22]. *polarization waveplate* adalah komponen yang digunakan untuk mengubah arah polarisasi cahaya.

*Polarization waveplate*, juga dikenal sebagai pelat gelombang polarisasi, adalah komponen optik yang digunakan untuk mengubah atau memanipulasi



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

polarisasi cahaya. Ini adalah pelat tipis yang terbuat dari bahan optik khusus, seperti kalsit, kuarza, atau kaca dengan orientasi kristal tertentu.



Gambar 2.11 Polarization Waveplate [23]

*Polarization waveplate* bekerja berdasarkan prinsip *birefringence*, yaitu sifat material optik yang memiliki indeks bias yang berbeda terhadap polarisasi cahaya yang berbeda. Ketika cahaya melalui pelat gelombang, polarisasi cahaya dapat mengalami perubahan sesuai dengan orientasi kristal dan ketebalan pelat [23].

Berikut adalah beberapa fungsi dari *polarization waveplate*:

1. Mengubah arah polarisasi: Fungsi utama dari komponen ini adalah untuk mengubah arah polarisasi cahaya. Hal ini sangat berguna dalam banyak aplikasi seperti pemrosesan sinyal optik, mikroskopi, dan pembuatan gambar.
2. Meningkatkan kontras gambar: Dalam aplikasi pemrosesan gambar, *polarization waveplate* dapat digunakan untuk meningkatkan kontras gambar dengan menghilangkan polarisasi yang tidak diinginkan.
3. Menstabilkan polarisasi cahaya: Dalam aplikasi yang membutuhkan stabilitas polarisasi cahaya, seperti dalam bidang komunikasi optik,

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

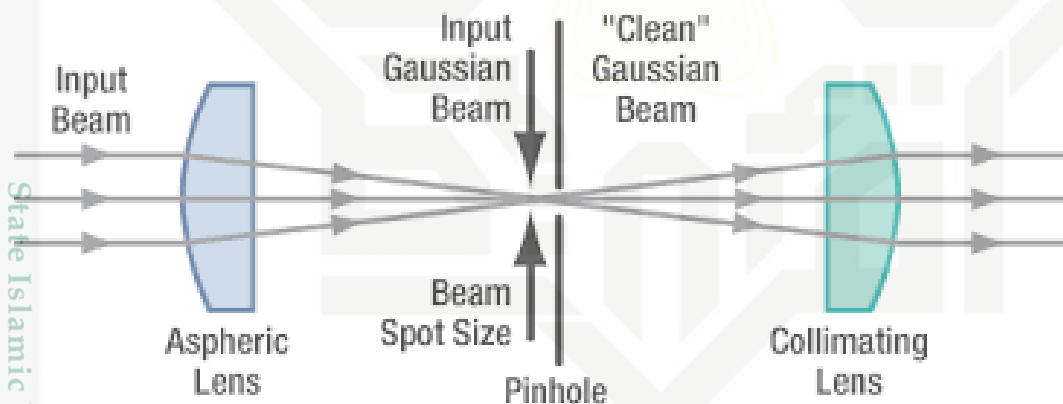
komponen optik polarization waveplate dapat digunakan untuk menstabilkan polarisasi cahaya dalam sinyal optik.

4. Menurunkan noise: Komponen ini dapat digunakan untuk menurunkan noise pada sinyal optik dengan menghilangkan komponen polarisasi yang tidak diinginkan.

5. Pemrosesan sinyal: polarization waveplate juga dapat digunakan dalam pemrosesan sinyal optik, seperti dalam pembuatan filter polarisasi atau dalam komunikasi optik [23].

## 2.12 Gaussian Optical filters

*Gaussian optical filter* (GOF) bertindak sebagai filter optik dengan fungsi transfer frekuensi *Gaussian*. Ini dapat digunakan untuk menggabungkan saluran yang berbeda (*multiplexing*) dan untuk memilih saluran panjang gelombang tertentu (*demultiplexing*). Karakteristik pembentuk *pulse* dari *Gaussian optical filter* dan *Bessel* dapat dibandingkan untuk mengamati hasil dari perubahan berbagai propertinya [9].



Gambar 2.12 *Gaussian Optical Filter* [9]

*Gaussian optical filter* (GOF) adalah komponen optik yang digunakan untuk memodifikasi spektrum cahaya dengan menerapkan fungsi filter *Gaussian*. Filter ini mengatur intensitas cahaya pada berbagai panjang gelombang secara proporsional terhadap distribusi *Gauss*, Prinsip kerja *Gaussian optical filter* didasarkan pada interaksi antara cahaya dan filter dengan karakteristik Gaussian. Filter ini memiliki lebar pita yang terdefinisi dengan baik, sehingga dapat mempersempit atau membatasi spektrum cahaya yang melewati filter.



Dalam penggunaannya, *Gaussian Optical Filter* biasanya dibuat dari material optik yang memiliki transmisi optik yang tinggi pada spektrum cahaya tertentu. Filter ini juga dapat dibuat dalam berbagai ukuran dan bentuk, sesuai dengan kebutuhan aplikasi [9].

### 2.13 Bit Error Rate (BER)

BER adalah rasio antara probabilitas jumlah *bit* salah yang diterima oleh *receiver* dan jumlah *bit* yang dikirim oleh *transmitter*. BER adalah perbandingan jumlah kesalahan *bit* yang mungkin terjadi ( $N_E$ ) dengan jumlah *bit* total ( $N_T$ ) yang dikirim selama selang waktu tertentu. Dalam komunikasi serat optik, menurut standar ITU-T, persyaratan BER minimum harus minimal  $10^{-9}$ . Berikut persamaan matematis BER [24]:

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

$N_E$  : Jumlah *bit* yang salah

$N_T$  : Jumlah *bit* yang benar

### 2.14 Software Optisystem

*Optisystem* adalah perangkat lunak yang memungkinkan pengguna merancang, menguji, dan mensimulasikan jaringan optik modern. Selain itu, sistem optik dilengkapi dengan instrumen virtual yang memudahkan penelitian pengguna tanpa batasan perangkat jaringan optik. Dalam sistem optik virtual, dapat berkisar dari jaringan transmisi video analog ke jaringan *backbone*. *Optisystem* adalah simulator berdasarkan pemodelan sistem komunikasi optik nyata. *Optisystem* menawarkan cara mudah untuk menambahkan komponen dan dilengkapi dengan antarmuka ke program simulasi lainnya seperti *Matlab*. [25].



Gambar 2.13 Software Optisystem [25]

*Optisystem* dilengkapi dengan *Graphical User Interface* (GUI) yang menyeluruh yang terdiri dari *project layout*, komponen *netlist*, model komponen dan tampilan grafik. *Library optisystem* terdiri dari komponen aktif dan pasif yang tergantung kepada parameter *wavelength*. Parameter *sweep* memudahkan pengguna dalam meneliti pengaruh dari *device* tertentu terhadap performansi sistem. *Optisystem* memungkinkan untuk desain otomatis secara virtual untuk beberapa tipe saluran optik dalam *physical layer*, dan dapat menganalisis *spectrum* jaringan optik dari *long haul* sistem sampai kepada *Metropolitan Area Network* (MAN) dan *Local Area Network* (LAN). Aplikasi *optisystem* meliputi [25]:

1. *Optical communication system design from component to system level at the physical layer.*
2. *Wavelength Division Multiplexing (WDM).*
3. *Passive optical networks (PON) based FTTx.*
4. *Free Space Optic (FSO).*
5. *Wireless Optical Communication (WOC)*
6. *Amplified system BER and link budget calculations.*
7. *Radio Over Fiber (ROF).*
8. *SONET/SDH ring design.*
9. *Transmitter (informasi dikirim), channel (media transmisi), amplifier (penguat), and receiver (penerima).*
10. *Dispersion map design.*
11. *Estimation of BER and system penalties with different receiver models.*





## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

1. Hasil penelitian di dapatkan bahwa adanya pengaruh penambahan komponen *polarization controller* (PC) dan *polarization waveplate* (PW) untuk meminimalisir efek *Four Wave Mixing* (FWM) baik pada *channel 1* dan *channel 2*. Penambahan komponen *Polarization Controller* dan *Polarization Waveplate* dapat meminimalisir efek FWM sampai dengan -6 dBm pada *channel 1* dan -10 dBm pada *channel 2*.
2. Penggunaan komponen *polarization controller* lebih baik dibandingkan komponen *polarization waveplate*, karena pada jarak 50 KM pada *channel 1* komponen *polarization controller* masih dapat meminimalisir efek FWM hingga -6 dBm.
3. Penggunaan *gaussian optical filter* (GOF) dapat menurunkan daya Four Wave Mixing baik pada *channel 1* dan *channel 2*. Pada *channel 1* komponen GOF dapat meminimalisir efek FWM -2 dBm. Sedangkan untuk *channel 2* dapat meminimalisir efek FWM -3 dBm. Hasil ini sudah cukup baik, walaupun tidak sebaik dengan penambahan komponen *Polarization*.
4. Penggunaan *polarization controller* (PC) yang paling efisien untuk menekan efek FWM, dimana hasil menunjukan dengan penggunaan komponen PC pada sisi *transmitter*, dapat menurunkan daya FWM yang jauh lebih baik dari komponen PW dan GOF.
5. Penambahan komponen *polarization controller* (PC), *polarization waveplate* (PW), dan *Gaussian Optical Filter* (GOF) untuk jarak dekat antara 10 Km – 35 Km, sudah mendapatkan hasil yang baik. Akan tetapi untuk jarak yang lebih jauh sampai dengan 50 Km tidak menunjukkan hasil yang begitu baik, hanya komponen *polarization controller* (PC) yang masih mendapatkan hasil.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## 5.2. Saran

Penelitian yang dilakukan telah mendapatkan hasil bahwa dengan penambahan komponen *polarization controller* (PC), *polarization waveplate* (PW), dan *Gaussian Optical Filter* (GOF) pada sisi *transmitter* model sistem SCM WDM-RoF 2 Channel modulasi ASK dapat membantu menurunkan efek FWM. Dari semua komponen yang digunakan juga telah di dapatkan bahwa penggunaan komponen *polarization controller* (PC) yang lebih efisien. Saran untuk penelitian selanjutnya supaya dapat melakukan pengujian dengan jumlah *channel* yang lebih banyak menggunakan komponen *polarization controller* (PC) untuk melihat performansi dari sistem SCM WDM-RoF. Atau dapat melakukan pengujian menggunakan *signal digital* dengan komponen yang sama.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. S. Pratama, A. Hambali, and B. Pamukti, "Performansi Digitized Radio-over-fiber (d-rof) Pada Jaringan 40g Wdm-pon Sisi Downstream," *eProceedings Eng.*, vol. 5, no. 3, 2018.
- [2] P. Aldila, A. Hambali, and I. Irawati, "Analisis Efek Nonlinier di Sistem CWDM Pada Sistem Komunikasi Serat Optik," *e-Proceeding Eng.*, vol. 2, no. 2, p. 3078, 2015.
- [3] G. Santoso, "Perkembangan Jaringan Komunikasi Wireless Menuju Teknologi 4G," *Pros. SNAST*, pp. 250–254, 2016.
- [4] T. Yuniarto, "Masa Depan Jaringan 5G dan Perilaku Komunikasi Digital," *War. Ikat. Sarj. Komun. Indones.*, vol. 2, no. 01, pp. 1–7, 2019.
- [5] R. Susanti, G. Gusmawandi, S. Sutoyo, and F. Amilia, "Performansi SCM / WDM Radio Over Fiber dengan Arsitektur PON menggunakan M-ary PSK," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*, 2017.
- [6] N. Sharma, H. Singh, and P. Singh, "Mitigation of fwm in the fiber optic dwdm system by using different modulation techniques and optical filters," in *2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), IEEE, 2020*, pp. 343–348.
- [7] N. Kathpal and A. K. Garg, "Analysis of radio over fiber system for mitigating four-wave mixing effect," *Digit. Commun. Networks*, vol. 6, no. 1, pp. 115–122, 2020.
- [8] H. U. Mazoor, M. Rehman, S. Manzoor, A. Aslam, and T. Manzoor, "Improved FWM Efficiency for Already Deployed Bidirectional Fiber Optic Cable using Polarization Manipulation for Underwater Applications," in *2020 17th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST), IEEE, 2020*, pp. 567–572.
- [9] N. Sharma, S. Agrawal, and V. Kapoor, "Performance Comparison of Bessel and Gaussian Optical Filters for Pulse Shaping and as a Mux-Demux Filter for DP-QPSK WDM Systems," in *2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

(ICCCNT), *IEEE*, 2021, pp. 1–7.

- [10] H. U. Manzoor, T. Manzoor, A. Hussain, and M. H. Aly, “FWM mitigation in DWDM optical networks,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2020, p. 12033.
- [11] T. A. Pratama, “Analisis Performansi OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Pada Jaringan Radio Over Fiber (ROF).” *Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau*, 2013.
- [12] Y. NASRENDRA, “Studi Perbandingan Performansi Semiconductor Optical Amplifier dengan Erbium Doped Fiber Amplifier.” *Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau*, 2013.
- [13] S. Yin, P. B. Ruffin, and T. S. Francis, *Fiber optic sensors*. CRC press, 2017.
- [14] F. A. Nurdiana and S. N. Hertiana, “Perancangan dan Analisis Sistem Komunikasi Serat Optik Link Makassar-Maumere Menggunakan DWDM,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 3, pp. 166–171, 2015.
- [15] M. V Allmen and A. Blatter, *Laser-beam interactions with materials: physical principles and applications*, vol. 2. Springer Science & Business Media, 2013.
- [16] A. Kurniawan, “Kinerja BER Terhadap Jarak Transmisi Menggunakan Teknik Modulasi DQPSK pada Sistem WDM-RoF,” *Pekanbaru*, 2020.
- [17] R. R. Taufik, T. N. Damayanti, and A. H. Fauzi, “Perancangan Media Pembelajaran Modulasi Digital (*ask*, *Fsk*, *Bpsk*) Berbasis Augmented Reality,” *eProceedings Appl. Sci.*, vol. 6, no. 2, 2020.
- [18] F. O. Hariyadi and S. Rahayu, “Perencanaan Arrayed Waveguide Grating (AWG) untuk Wavelength Division Multiplexing (WDM) pada C-Band,” *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 2, 2015.
- [19] R. Nelson, A. Hambali, and B. Pamukti, “Analisis Efek Non Linier Four Wave Mixing (fwm) Pada Sistem Long Haul Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing (u-dwdm),” *eProceedings Eng.*, vol. 6, no. 1, 2019.
- [20] N. Moroney et al., “A Kerr polarization controller,” *Nat. Commun.*, vol. 13, no. 1, p. 398, 2022.
- [21] P. Velha et al., “Wide-band polarization controller for Si photonic





Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

*integrated circuits,” Opt. Lett., vol. 41, no. 24, pp. 5656–5659, 2016.*

- [22] B. S. B. Ram, P. Senthilkumaran, and A. Sharma, “Polarization-based spatial filtering for directional and nondirectional edge enhancement using an S-waveplate,” *Appl. Opt.*, vol. 56, no. 11, pp. 3171–3178, 2017.
- [23] S. K. Pal and P. Senthilkumaran, “Polarization singularity index sign inversion by a half-wave plate,” *Appl. Opt.*, vol. 56, no. 22, pp. 6181–6190, 2017.
- [24] R. A. Aprillian, E. Wahyudi, and K. Masykuroh, “Analisis Parameter Bit Error Rate 10 Gbps OFDM-RoF dengan Sistem Mapping 4-QAM,” *J. Litek J. List. Telekomun. Elektron.*, vol. 18, no. 2, pp. 52–56, 2021.
- [25] R. Susanti, “Modul Pratikum Sistem Komunikasi Jaringan Optik,” Pekanbaru, 2017.
- [26] R. Zhang *et al.*, “Polarization-maintaining photonic crystal fiber based quarter waveplate for temperature stability improvement of fiber optic current sensor,” *J. Mod. Opt.*, vol. 60, no. 12, pp. 963–969, 2013.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Rudi Ilham lahir di Duri, Kabupaten Bengkalis, Kecamatan Mandau, Riau, 14 November 1997. Merupakan anak ketiga dari 6 bersaudara dari pasangan Yasrizal dan Jusni yang beralamatkan di Jalan Rokan, BTN Rokan Permai, Block C. No 33, Kecamatan Mandau, Kabupaten Bengkalis, Riau.

Pengalaman pendidikan dimulai dengan pendidikan formal di SDN 045 Air Jamban, Mandau pada 2004-2010. Kemudian dilanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 3 Mandau selama 2010-2013, dan kemudian dilanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Negeri 1 Mandau pada 2013- 2016 dengan jurusan Teknik Instalasi Tenaga Listrik (TITL). Setelah menempuh pendidikan SMK selama kurang lebih 3 tahun setelah itu penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat yang lebih tinggi dengan jalur MANDIRI dan diterima di Universitas Negeri Islam Sultan Syarif Kasim Riau dan mengambil Program Studi Teknik Elektro pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NIM 11655103494 di Program Studi Teknik Elektro dan penulis mengambil konsentrasi Telekomunikasi.

Alhamdulillah penulis telah menyelesaikan studi selama kurang lebih 14 semester pada tahun 2023. Akhir kata selalu mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas telah menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan Judul “Analisis Pengaruh Penambahan Komponen *Polarization* dan *Gaussian Optical Filters* untuk Menekan Efek FWM pada Sistem SCM WDM-RoF”.

Nomor handphone : 0823-8676-7202

E-Mail : [11655103494@students.uin-suska.ac.id](mailto:11655103494@students.uin-suska.ac.id)

Judul Tugas Akhir : “Analisis Pengaruh Penambahan Komponen *Polarization* dan *Gaussian Optical Filters* untuk Menekan Efek FWM pada Sistem SCM WDM-RoF”