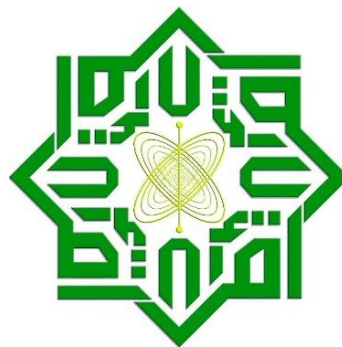


**PENGARUH CUACA TERHADAP PERFORMANSI SISTEM *FREE SPACE*
OPTIC DENGAN TEKNOLOGI SS-WDM MIMO**

TUGAS AKHIR

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



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

RENDI RAHMADHAN S.

11555102623

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

2019

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

PENGARUH CUACA TERHADAP PERFORMANSI SISTEM *FREE* *SPACE OPTIC* DENGAN TEKNOLOGI SS-WDM MIMO

TUGAS AKHIR

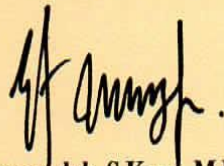
Oleh :

RENDI RAHMADHAN S.

11555102623

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 20 Desember 2019

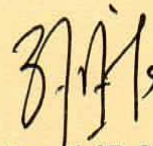
Ketua Program Studi



Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom

NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing



Rika Susanti, ST., M.Eng

NIP. 19770731 200710 2 003

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

PENGARUH CUACA TERHADAP PERFORMANSI SISTEM *FREE SPACE OPTIC* DENGAN TEKNOLOGI SS-WDM MIMO

TUGAS AKHIR

Oleh:

RENDI RAHMADHAN S.

11555102623

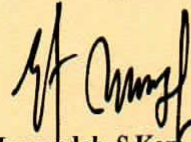
Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 20 Desember 2019

Pekanbaru, 20 Desember 2019


Mengesahkan,


Dekan
Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag.
NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi


Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19750922 200912 2 002

Dewan Penguji :

Ketua : Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom. 

Sekretaris : Rika Susanti, S.T., M.Eng. 

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

Anggota II : Mulyono, 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:

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

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa didalam 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, 20 Desember 2019

Yang membuat pernyataan,

Rendi Rahmadhan S.
NIM. 11555102623

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.

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah *subhanahu wata'ala* yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya masih diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. *Shalawat* dan salam tak lupa saya doakan untuk Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah mengajarkan kita sebagai umatnya akan pentingnya menuntut ilmu dan beribadah dalam mencari *ridho* Allah SWT untuk keselamatan dunia dan akhirat.

Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah menjadi pelita dan menopang semangat hidup saya atas semua pengorbanan, doa, dan jerih payahnya agar saya dapat mencapai cita-cita. Adapun cita-cita saya kelak dapat membahagiakan Ayahanda dan Ibunda tercinta. Kepada dosen pembimbing saya ucapkan terimakasih telah membimbing, membantu, menasehati, dan memberi saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga selesai tepat pada waktunya. Kepada dosen penguji terimakasih juga telah memberikan kritik dan saran yang sifatnya membangun sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur. Rasa terima kasih juga saya ucapkan kepada Rekan-rekan seperjuangan yang telah menemani saya ketika suka maupun duka, memotivasi dan menginspirasi hingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua dengan pahala yang berlipat ganda. *Aamiin.*

PENGARUH CUACA TERHADAP PERFORMANSI SISTEM *FREE SPACE OPTIC* DENGAN TEKNOLOGI SS-WDM MIMO

RENDI RAHMADHAN S.

11555102623

Tanggal sidang : 20 Desember 2019

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Free Space Optic (FSO) merupakan sistem komunikasi yang mentransmisikan sinar inframerah termodulasi melalui atmosfer untuk komunikasi *broadband*. Untuk mendukung potensi FSO mencapai kemampuan dalam memperbanyak pengguna dengan kecepatan *bit rate* yang tinggi, maka digunakan teknik multiplexing *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Selain itu, WDM juga memiliki *spectrum slicing* (SS) sebagai transistor dalam jalur optik dengan keuntungan yaitu meningkatkan toleransi dispersi pada sistem komunikasi optik. Teknologi *multiple input multiple output* (MIMO) merupakan gagasan penting dalam penambahan beberapa pemancar dan penerima untuk FSO. Pada penelitian ini bertujuan untuk melihat performansi dari sistem SS-WDM-MIMO FSO menggunakan teknik modulasi ASK terhadap kondisi cuaca yang berbeda-beda. Skenario penelitian ini yaitu menentukan daya *input* maksimum dan transmisi maksimum yang dapat dicapai oleh sistem ini dengan sebagai hasil acuan yang digunakan standar ITU-T WDM dengan BER minimal 10^{-12} . Kemudian untuk beberapa kondisi cuaca seperti sangat cerah *attenuasi* 0.065 dB/km mampu memberikan performansi yang baik pada jarak transmisi maksimum 20 km dengan daya *input* 15 dBm, untuk kondisi cuaca salju kering, kabut asap cahaya, hujan berat dan kabut asap tebal dengan *attenuasi* 14.3 dB/km sampai dengan 25.5 dB/km mampu memberikan performansi yang baik pada jarak *input* km daya *input* 15 dBm. Jadi kondisi cuaca yang berbeda-beda dapat berpengaruh terhadap daya *input* maksimum dan jarak transmisi maksimum dari performansi sistem SS-WDM-MIMO FSO.

Kata kunci : *Free Space Optic*, SS-WDM, MIMO, *Optisystem13*, ASK, *Attenuasi*

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.

EFFECT OF WEATHER ON PERFORMANCE OF *FREE SPACE OPTIC* SYSTEM WITH MIMO SS-WDM TECHNOLOGY

RENDI RAHMADHAN S.
11555102623

Date of Final Exam : Desember 20 , 2019

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas St. No. 155 Pekanbaru – Indonesia*

ABSTRACT

Free Space Optic (FSO) is a communication system that transmits modulated infrared light through the atmosphere for broadband communication. To support the potential of the FSO to achieve the ability to multiply users with high bit rate speeds, the multiplexing Wavelength Division Multiplexing (WDM) technique is used. In addition, WDM also has spectrum slicing (SS) as a transistor in the optical path with the advantage of increasing dispersion tolerance in optical communication systems. Multiple input multiple output (MIMO) technology is an important idea in the addition of multiple transmitters and receivers to FSO. In this study aims to see the performance of the FSO SS-WDM-MIMO system using ASK modulation techniques for different weather conditions. The scenario of this research is to determine the maximum input power and maximum transmission that can be achieved by this system as a result of the reference used by the ITU-T WDM standard with a minimum BER of 10^{-12} . Then for some weather conditions such as very bright attenuation 0.065 dB / km can provide good performance at a maximum transmission distance of 20 km with 15 dBm input power, for weather conditions of dry snow, light smog, heavy rain and thick smog with attenuation of 14.3 dB / km up to 25.5 dB / km can provide good performance at a distance of 1 km of input power 15 dBm. So different weather conditions can affect the maximum input power and maximum transmission distance from the performance of the SS-WDM-MIMO FSO system.

Keywords : *Free Space Optics, SS-WDM, MIMO, Optisystem13, ASK, Attenuation*

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdu lillahi rabbil 'alamin bersyukur pada Allah *subhanahu wata'ala atas nikmat dan karunia yang telah* melimpahkan nikmat, rahmat, rizki, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaruh Cuaca Terhadap Performansi Sistem *Free Space Optic* dengan Teknologi SS-WDM MIMO”. Shalawat beserta salam penulis sampaikan kepada nabi besar Muhammad shallallahu ‘alaihi wa sallam sebagai suri tauladan bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman.

Laporan Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata 1 (S1) Program Studi Teknik Elektro dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, baik berupa bantuan moril, spiritual, materi, serta pikiran yang tidak akan pernah terlupakan antara lain kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta yang telah memberikan doa, motivasi, dan dukungan serta moril, maupun materil demi keberhasilan penulis dalam meraih cita-cita.
2. Bapak Prof. DR, H. Akhmad Mujahidin, S.Ag., M.Ag selaku rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom.,M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Bapak Ahmad Faizal, ST, MT selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi yang telah banyak memberikan penulis saran dalam menyusun jadwal dengan pembimbing maupun penguji sehingga Tugas Akhir ini berjalan dengan lancar.
6. Ibu Rika Susanti, ST, M.Eng selaku dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dalam menyelesaikan dan menyusun laporan Tugas Akhir.
7. Bapak Dr. Teddy Purnamirza, ST, M.Eng selaku dosen Penguji I yang telah banyak memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini

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.

Bapak Mulyono, ST, MT selaku dosen Penguji II yang telah banyak memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir.

Bapak Abdillah Mahyuddin, M.IT selaku dosen Penasehat Akademik yang mengarahkan dan membimbing penulis dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

10. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat kepada penulis selama mengikuti perkuliahan pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

11. Teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Elektro khususnya angkatan 2015 terima kasih atas segala motivasi, inspirasi, dan dukungan yang telah diberikan selama ini.

12. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun penulis harapkan agar laporan ini tersusun sesuai dengan yang diharapkan. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Pekanbaru, 20 Desember 2019

Penulis,

UIN SUSKA RIAU

Rendi Rahmadhan S.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR RUMUS	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian	I-3
1.4 Batasan Masalah	I-3
1.5 Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Sistem Komunikasi <i>Free Space Optic</i>	II-2
2.3 <i>Link Budget</i>	II-3
2.3.1 <i>Optical Losses</i>	II-4
2.3.2 <i>Geometric Loss</i>	II-4
2.3.3 <i>Atmospheric attenuation</i>	II-5
2.3.4 <i>Rain Attenuation</i>	II-6
2.3.5 <i>Snow Attenuation</i>	II-6

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.

BAB III METODE PENELITIAN

2.3.6 Fog Attenuation	II-7
2.4 Multiple Input Multiple Output (MIMO)	II-7
2.5 Spectrum Slicing Wavelength Division Multiplexing (SS-WDM)	II-8
2.6 Sumber Optik	II-9
2.7 Photodetector	II-10
2.8 Pengkodean Data	II-11
2.9 Modulasi Amplitude Shift Keying (ASK)	II-12
2.10 Bitt Error Rate (BER)	II-13
2.11 Optisystem	II-14

3.1 Flow Cart Penelitian	III-1
3.2 Pemodelan Sistem SS-WDM-MIMO-FSO 4 kanal	III-3
3.3 Parameter Setup	III-6
3.4 Verifikasi Model Sistem	III-9
3.5 Simulasi Model Sistem dengan Penentuan Daya Input Minimum dan Jarak Transmisi Maksimum Pada Kondisi Cuaca Yang Berbeda-Beda	III-9
3.6 Analisis Hasil Simulasi	III-11
3.7 Kesimpulan	III-11

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Verifikasi Model Sistem	IV-1
4.2 Daya Input Maksimum	IV-4
4.3 Pengaruh Cuaca Terhadap Jarak Transmisi Maksimum	IV-6

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

Gambar

Halaman

Gambar 2.1	LOS pada sistem FSO	II-4
Gambar 2.2	Blok Diagram MIMO	II-7
Gambar 2.3	Blok Diagram Sistem SS-WDM-FSO	II-8
Gambar 2.4	Blok Diagram Sistem SS-WDM	II-9
Gambar 2.5	Simbol LED	II-9
Gambar 2.6	Struktur Dasar Laser	II-10
Gambar 2.7	Format Modulasi RZ	II-11
Gambar 2.8	Format Modulasi NRZ	II-12
Gambar 2.9	Modulasi <i>Amplitude Shift Keying</i> (ASK)	II-12
Gambar 2.10	Optisystem	II-14
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penelitian	III-2
Gambar 3.2	Blok Diagram SS-WDM-MIMO-FSO	III-4
Gambar 3.3	Model Jaringan SS-WDM-MIMO FSO	III-5
Gambar 3.4	Model Jaringan <i>Subsystem</i>	III-5
Gambar 3.5	Model Jaringan <i>Subsystem</i> SS-WDM-MIMO	III-6
Gambar 3.6	Iterasi Daya <i>input</i> pada CW LASER	III-10
Gambar 3.7	Penentuan Iterasi Jarak Transmisi Maksimum	III-10
Gambar 3.8	<i>Initial Result</i> BER Pada cuaca hujan	III-12
Gambar 4.1	Grafik hasil nilai BER dari 11 kondisi cuaca yang berbeda-beda Dengan daya <i>input</i> 0 dBm dan jarak transmisi 1 km sampai 4 km	IV-3
Gambar 4.2	Grafik performansi BER terhadap beberapa cuaca pada jarak transmisi 1 km	IV-5
Gambar 4.3	Kondisi Cuaca Sangat Cerah dengan Jarak Transmisi Maksimum 20 km	IV-6
Gambar 4.4	Kondisi Cuaca Cerah dengan Jarak Transmisi Maksimum 15 km	IV-7
Gambar 4.5	Kondisi Cuaca Kabut Cahaya dengan Jarak Transmisi Maksimum 11 km	IV-7

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.

<p>1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:</p> <p>a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.</p> <p>b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.</p> <p>2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.</p>	<p>Gambar 4.6 Kondisi Cuaca Kabut Tebal dengan Jarak Transmisi Maksimum 5 km IV-8</p> <p>Gambar 4.7 Kondisi Cuaca Salju Basah dengan Jarak Transmisi Maksimum 2 km IV-8</p> <p>Gambar 4.8 Kondisi Cuaca Hujan Ringan dengan Jarak Transmisi Maksimum 2 km IV-9</p> <p>Gambar 4.9 Kondisi Cuaca Hujan Sedang dengan Jarak Transmisi Maksimum 2 km IV-9</p> <p>Gambar 4.10 Kondisi Cuaca Salju Kering dengan Jarak Transmisi Maksimum 1 km IV-10</p> <p>Gambar 4.11 Kondisi Cuaca Kabut Asap Cahaya dengan Jarak Transmisi Maksimum 1 km IV-10</p> <p>Gambar 4.12 Kondisi Cuaca Hujan Berat dengan Jarak Transmisi Maksimum 1 km IV-11</p> <p>Gambar 4.13 Kondisi Cuaca Kabut Asap Tebal dengan Jarak Transmisi Maksimum 1 km IV-11</p> <p>Gambar 4.14 Grafik hasil ke 11 cuaca yang berbeda-beda dengan jarak transmisi 1 sampai dengan 22 km IV-14</p>
--	--

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
Tabel 3.1	Parameter <i>Global setup</i> pada <i>Optisystem</i>	III-7
Tabel 3.2	Parameter PRBS dan <i>Connector</i>	III-7
Tabel 3.3	Parameter CW LASER dan Sistem WDM	III-8
Tabel 3.4	Parameter FSO <i>Channel</i>	III-8
Tabel 4.1	Hasil nilai BER dari kondisi cuaca cerah, hujan, salju basah dan kabut cahaya dengan daya <i>input</i> 0 dBm	IV-2
Tabel 4.2	Hasil nilai BER dari cuaca kabut dan hujan berat dengan daya input 0 dBm.....	IV-2
Tabel 4.3	Performansi nilai BER terhadap beberapa cuaca pada jarak transmisi 1 km	IV-4
Tabel 4.4	Performansi nilai BER dari kondisi cuaca cerah, hujan, kabut dan salju basah dengan jarak transmisi maksimum 22 km	IV-12
Tabel 4.5	Performansi nilai BER dari cuaca kabut, hujan dan salju kering dengan jarak transmisi maksimum 22 km	IV-13

DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
Persamaan 2.1	II-3
Persamaan 2.1	II-3
Persamaan 2.2	II-4
Persamaan 2.3	II-4
Persamaan 2.4	II-5
Persamaan 2.5	II-5
Persamaan 2.6	II-6
Persamaan 2.7	II-6
Persamaan 2.8	II-6
Persamaan 2.9	II-7
Persamaan 2.10	II-10

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 SINGKATAN

BER	=	<i>Bit Error Rate</i>
CW	=	<i>Continuous Wave</i>
FSO	=	<i>Free Space Optic</i>
WDM	=	<i>Wavelength Division Multiplexing</i>
SS	=	<i>Spectrum Slicing</i>
MIMO	=	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
ITU-T	=	<i>International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector</i>
LASER	=	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LED	=	<i>Light Emmitting Diode</i>
ASK	=	<i>Amplitudo Shift Keying</i>
NRZ	=	<i>Non Return to Zero</i>
RZ	=	<i>Return to Zero</i>
PD	=	<i>Photodetector</i>
APD	=	<i>Avalanche Photo Diode</i>
PIN	=	<i>Possitive Intrinsic Negatif</i>
PRBS	=	<i>Pseudo Random Binary Sequence</i>

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.

DAFTAR SIMBOL

R	= <i>Range</i> (km)
R_{ud}	= <i>Redaman pada udara</i> (dB/km)
I	= Intensitas hujan (mm/hr)
R_{h}	= Redaman hujan (dB/km)
R_{s}	= Redaman salju (dB/km)
α_m	= Koefisien penyerapan molekul
α_a	= Koefisien penyerapan aerosol
β_m	= Koefisien molekul atau <i>Rayleigh scattering</i>
β_a	= Koefisien aerosol atau <i>mie scattering</i>
σ	= Total koefisien peredam
A_r	= <i>Receive Aperture Area</i> (m^2)
θ	= <i>Beam Divergence</i> (mrad)
x	= Koefisien <i>AR-coated lenses</i>
P_t	= <i>Transmitted power</i> (dBm)
Att_{Geo}	= <i>Geometrical attenuation</i> (dB)
Att_{Atm}	= <i>Atmosfer attenuaton</i> (dB)
P_{tot}	= <i>Other loss</i> (dB)
A	= Atenuasi atmosfer
$P(S)$	= Kekuatan dari sumber
$P(D)$	= Daya yang diterima pada penerima
T	= Transmisi yang diperoleh pada jarak R

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi di era digitalisasi ini memicu manusia untuk dapat memenuhi kebutuhan komunikasi secara cepat, efektif dan efisien, khususnya dalam komunikasi jarak jauh. Besarnya kebutuhan komunikasi jarak jauh membuat para peneliti melakukan penelitian untuk teknologi yang tepat, yang dapat mengatasi problematika komunikasi jarak jauh. Pada umumnya media transmisi komunikasi jarak jauh menggunakan kabel serat optik dikarenakan kabel serat optik memiliki kelebihan bandwidth yang besar dengan kecepatan tinggi akan tetapi penggunaan kabel serat optik memiliki kendala dalam penginstalasinya yang tidak *fleksibel* [1]. Penggunaan media transmisi *wireless* dapat memudahkan dalam permasalahan penginstalasi yang *fleksibel* tersebut melalui media udara, akan tetapi *wireless* rentan terhadap interferensi. Sehingga dibutuhkan media transmisi yang memiliki *bandwidth* yang besar dengan kecepatan tinggi dan penginstalasi yang *fleksibel* melalui media udara [2][3]. Karena itu teknologi sistem komunikasi *Free Space Optic* (FSO) dapat dijadikan sebagai salah satu solusinya.

Free Space Optic (FSO) adalah sistem komunikasi yang mentransmisikan sinar inframerah termodulasi melalui atmosfer untuk komunikasi *broadband*. Pada dasarnya FSO memiliki konsep bahwa berkas cahaya sempit yang dibawa oleh sinyal optik dari stasiun pemancar kemudian ditransmisikan melalui atmosfer dan diterima oleh stasiun penerima. Keuntungan dari FSO yaitu tidak mencemari lingkungan dengan gelombang radiasi elektromagnetiknya dan fitur terbaiknya adalah pengurangan biaya penginstalasi sistem. Performa FSO akan menurun seiring dengan peningkatan jarak antara pemancar dan penerima. Kinerja FSO dipengaruhi oleh fenomena atmosfer, Klimatologi, dan karakteristik fisik lokasi pemasangan juga mempengaruhi kinerja FSO [4]. Dari tahun ke tahun penelitian dibidang FSO ini terus berkembang. Pada tahun 2016 [5] melakukan penelitian FSO dan keandalan *Radio Frequency* (RF) terhadap iklim tropis yang terdapat di Malaysia selama 3 tahun berturut-turut dengan 3 cuaca yaitu hujan dengan kabut, kabut tebal dan kabut normal. pada penelitian ini hanya memprediksi nilai attenuasi setiap cuaca dengan sistem FSO [5]. kemudian dilanjutkan dengan penelitian tahun 2017 [6] melakukan penelitian tentang membandingkan hasil *Bit Error Rate* (BER) paling bagus pada teknologi

FSO dengan 3 cuaca yaitu kabut, kabut sedang, dan kabut tebal dengan menggunakan teknik modulasi NRZ, PAM, OQPSK, dan QAM [6]. Dilanjutkan dengan penelitian pada tahun 2019 [7] melakukan penelitian FSO dengan membandingkan hasil BER dan maksimum Q-faktor dari 2 cuaca yaitu cerah dan kabut. Hasil nilai BER dan Q-faktor yang paling bagus dari penelitian ini adalah pada cuaca cerah dengan nilai BER 10^{-276} pada transmisi sinyal dengan *bitrate* 10 Gbps dan jarak 4 km [7].

Untuk mendukung potensi FSO mencapai kemampuan dalam memperbanyak pengguna dengan kecepatan *bit rate* yang tinggi, maka digunakan teknik multiplexing *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Keuntungan dari WDM adalah sistem komunikasi dua arah yang dapat meningkatkan *bandwidth* dan dapat memperluas area jangkauan FSO. Selain itu, WDM juga memiliki *spectrum slicing* (SS) sebagai transistor dalam jalur optik dengan keuntungan yaitu meningkatkan toleransi dispersi pada sistem komunikasi optik [8][9].

Beberapa tahun terakhir telah berkembang beberapa penelitian tentang SS-WDM-FSO. Pada tahun 2016 [9] melakukan analisis kinerja terhadap sistem SS-WDM-FSO pada kondisi hujan lebat. Jarak maksimum yang dapat ditransmisikan pada saat kondisi hujan lebat adalah 2,5 km dengan *bitrate* 1,56 Gbps [9]. Pada tahun 2017 [10] melanjutkan penelitian tersebut dan melakukan analisis kinerja sistem SS-WDM-FSO pada kondisi cuaca cerah, sangat cerah, kabut cahaya, hujan cahaya, kabut asap cahaya, kabut tebal, hujan lebat, kabut asap tebal, dan hujan sedang dengan *bitrate* 1,56 Gbps [10]. Teknik modulasi yang digunakan oleh kedua jurnal ini adalah *Mach Zender Modulator* (MZM) [9][10].

Pada umumnya sistem FSO berbasis *Line of Sight* (LOS) yaitu menggunakan pemancar dan penerima tunggal yang digunakan untuk mengirimkan sinyal optik, tetapi dimungkinkan untuk menggabungkan lebih dari satu pemancar dan penerima untuk meningkatkan kinerja FSO [4].

Teknologi *multiple input multiple output* (MIMO) merupakan gagasan penting dalam penambahan beberapa pemancar dan penerima untuk FSO. Selain itu MIMO juga dapat meningkatkan kapasitas data melalui *multiplexing* spasial dengan meningkatkan jumlah titik pada pemancar dan penerima. Keuntungan MIMO juga dapat meningkatkan kecepatan data dan keandalan sistem melalui keragaman spasial [11].

Hak Cipta Diindungi 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.

Penelitian SS-WDM-MIMO-FSO pada tahun 2018 [8] berbasis empat saluran yang dapat menawarkan transmisi sinyal informasi dalam 2,5 km dan hasil BER minimum 10^{-22} BER maksimum 10^{-84} dengan menggunakan teknik modulasi AM [8].

Dari penelitian sebelumnya seperti yang telah dipaparkan di atas, sistem SS-WDM-MIMO-FSO hanya meneliti performansi sistem pada kondisi hujan saja. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melanjutkan penelitian tersebut dengan penambahan beberapa cuaca yaitu cuaca cerah, sangat cerah, hujan ringan, hujan sedang, hujan berat, salju kering, salju basah, kabut cahaya, kabut asap cahaya, kabut tebal dan kabut asap tebal menggunakan teknik modulasi ASK dengan judul “Pengaruh Cuaca Terhadap Performansi Sistem *Free Space Optic* Dengan Teknologi SS-WDM MIMO [19].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana performansi sistem SS-WDM-MIMO-FSO pada kondisi cuaca berbeda-beda dengan memperhatikan parameter *Bit Error Rate* (BER), menentukan jarak transmisi dan daya *input* maksimum yang dapat diberikan oleh sistem pada kondisi cuaca yang berbeda-beda.

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk melihat performansi sistem SS-WDM-MIMO-FSO pada kondisi cuaca berbeda-beda dengan memperhatikan parameter *Bit Error Rate* (BER), menentukan jarak transmisi dan daya *input* maksimum yang dapat diberikan oleh sistem pada kondisi cuaca yang berbeda-beda.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya pembahasan yang akan dibahas pada penelitian ini, penulis membatasi penelitian ini sebagai berikut:

1. Parameter performansi yang dianalisis berupa *Bit Error Rate* (BER).
2. Jumlah kanal WDM yang digunakan pada model sistem adalah 4 kanal.
3. Kondisi cuaca yang diterapkan pada sistem SS-WDM-MIMO-FSO adalah pada cuaca cerah, hujan, bersalju, dan berkabut dengan menggunakan teknik modulasi ASK.

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.

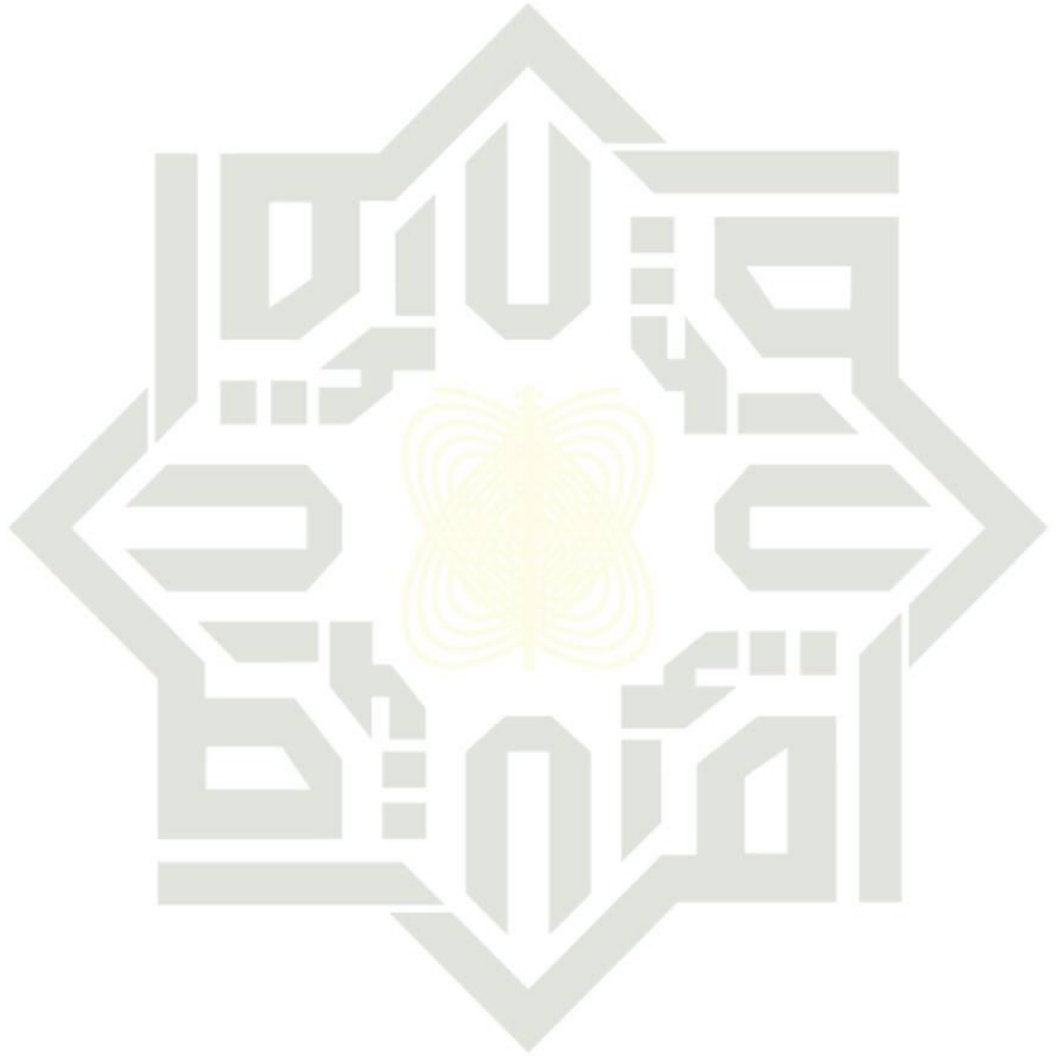
Pemodelan jaringan dan simulasi menggunakan *Software Opty Sistem 13*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu dapat dijadikan referensi tambahan bagi peneliti-peneliti selanjutnya dalam mengimplementasikan jaringan SS-WDM MIMO-FSO di bidang telekomunikasi khususnya pada *Optical Wireless*.

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.



UIN SUSKA RIAU

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Pada penelitian terkait ini tahun 2016 [5] melakukan penelitian FSO dan keandalan *Radio Frequency* (RF) terhadap iklim tropis yang terdapat di Malaysia selama 3 tahun berturut-turut dari tahun 2005 sampai 2007, iklim tropis yang akan dibahas ada 3 cuaca yaitu hujan, kabut tebal, dan kabut normal dengan jarak minimum 10 m dan maksimum 75 km. Pada penelitian ini hanya memprediksi nilai atenuasi FSO dari rentang minimum 6dB/km dan maksimum 155dB/km [5]. kemudian dilanjutkan dengan penelitian tahun 2017 [6] melakukan penelitian tentang membandingkan hasil *Bit Error Rate* (BER) paling bagus pada teknologi FSO dengan 3 cuaca yaitu kabut atenuasi yang diberikan 9.2 dB, kabut sedang atenuasi yang diberikan 32 dB, dan kabut tebal atenuasi yang diberikan 169 dB dengan menggunakan beberapa teknik modulasi yang berbeda yaitu NRZ, PAM, OQPSK, dan QAM [6]. Dilanjutkan dengan penelitian pada tahun 2019 [7] melakukan penelitian FSO dengan membandingkan hasil BER dan maksimum Q-faktor dari 2 cuaca yaitu cerah dan kabut. hasil nilai BER dan Q-faktor yang paling bagus dari penelitian ini adalah pada cuaca cerah dengan nilai BER 10^{-276} dan nilai maksimum Q-faktor 35.5035 pada transmisi sinyal dengan dengan *bit rate* 10 Gbps dan jarak 4 km [7].

Setelah itu dilakukan penelitian tentang SS-WDM-FSO oleh [9] pada tahun 2016 yang melakukan analisis kinerja terhadap sistem SS-WDM-FSO pada kondisi hujan lebat dengan teknik modulasi MZM berbasis 4 saluran. Jarak maksimum yang dapat ditransmisikan pada saat kondisi hujan lebat adalah 2.5 km dengan *bit rate* 1.56 Gbps. Pada jurnal ini melakukan perbandingan antara WDM dengan SS-WDM. Hasil yang didapat nilai BER maksimum pada sistem WDM pada kondisi hujan lebat adalah 10^{-3} dengan daya masukan pada cw laser 10 dBm sedangkan hasil yang didapat menggunakan SS-WDM nilai BER maksimum adalah 10^{-12} pada kondisi cuaca yang sama dengan daya masukan pada cw laser 0 dBm. Pada penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa teknik SS-WDM dapat mendukung dari kinerja sistem FSO [9].

Kemudian pada tahun 2017 [10] melanjutkan penelitian tersebut dan melakukan analisis kinerja sistem SS-WDM-FSO pada kondisi cuaca cerah, sangat cerah, hujan ringan, hujan berat, kabut cahaya, kabut asap cahaya, kabut tebal, dan kabut asap tebal

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.

dengan menggunakan teknik modulasi *Mach Zender Modulator* (MZM) berbasis 4, 8, dan 16 saluran. Jarak maksimum yang dapat ditransmisikan pada kondisi cuaca tersebut adalah dari 2.35 km sampai 257.5 km dengan *bit rate* 1.56 Gbps. Pada jurnal ini juga melakukan perbandingan antara WDM dengan SS-WDM. Hasil yang didapat nilai BER maksimum pada sistem WDM pada kondisi hujan lebat adalah dari 10^{-0} sampai 10^{-10} sedangkan hasil yang didapat menggunakan SS-WDM nilai BER maksimum adalah dari 10^{-0} sampai 10^{-10} . Pada penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa teknik SS-WDM dapat mendukung dari kinerja sistem FSO [10].

Setelah itu pada tahun 2018 [8] melakukan penelitian tentang sistem SS-WDM-MIMO-FSO berbasis empat saluran yang dapat menawarkan transmisi sinyal informasi dalam 2.5 km menggunakan teknik AM dengan kecepatan data hingga 10 Gbps. Hasil penelitian menunjukan bahwa nilai BER yang didapat adalah dari 10^{-22} sampai 10^{-84} dengan daya masukan pada cw laser 0 hingga 4 dBm. FSO rentan terhadap efek atenuasi atmosfer sebesar 5 dB/km maka teknologi MIMO dengan teknik AM adalah solusi terbaik yang dapat membantu dalam meningkat kan hasil BER maksimum yang dicapai [8].

Melihat keunggulan dari sistem tersebut dapat meningkatkan dari kinerja sistem FSO, maka penulis tertarik untuk mengembangkan penelitian [8] dengan menggunakan teknik modulasi ASK pada sistem SS-WDM-MIMO-FSO dalam kondisi cuaca yang berbeda-beda.

2.2. Sistem Komunikasi *Free Space Optic*

Sistem komunikasi *Free Space Optic* (FSO) atau sering disebut dengan *wireless optic* adalah sistem komunikasi yang mentransmisikan sinar inframerah termodulasi melalui atmosfer untuk komunikasi *broadband*. FSO menggunakan sorotan cahaya untuk mengirim *full-duplex Gigabit Ethernet throughput* data, suara, dan komunikasi video secara simultan melalui udara. Sistem FSO dioperasikan pada *rate* 1-100 Gbps bergantung dari panjang gelombang dan teknik modulasi yang digunakan. Pada dasarnya FSO memiliki konsep bahwa berkas cahaya sempit yang dibawa oleh sinyal optik dari stasiun pemancar kemudian ditransmisikan melalui atmosfer dan diterima oleh stasiun penerima. Keuntungan dari FSO yaitu tidak mencemari lingkungan dengan gelombang radiasi elektromagnetiknya dan fitur terbaiknya adalah pengurangan biaya pengintalasi sistem. Rentang panjang gelombang yang umum digunakan FSO adalah antara 850 nm dan 1550 nm [4] [12].

Sistem FSO berbasis *Line of Sight* (LOS). Performa FSO akan menurun seiring dengan peningkatan jarak antara pemancar dan penerima. Kinerja FSO dipengaruhi oleh fenomena atmosfer. Klimatologi dan karakteristik fisik lokasi pemasangan juga mempengaruhi kinerja FSO. Umumnya sistem FSO menggunakan pemancar dan penerima tunggal yang digunakan untuk mengirimkan sinyal optik tetapi dimungkinkan untuk menggabungkan lebih dari satu pemancar dan penerima untuk meningkatkan kinerja FSO [4].

2.3. Link Budget

Link budget mempunyai pengaruh terhadap komunikasi FSO dari *transmitter* ke *receiver*, yaitu sebagai berikut :

- a. *Optical losses*
- b. *Geometrical loss*
- c. *Atmosfer attenuation*

Komunikasi FSO sangat bergantung pada daya pancar dan besarnya redaman yang terjadi pada media transmisi, yaitu kondisi udara. Penentuan level daya terima sangat berguna dalam perencanaan jaringan link komunikasi FSO. Sebagai berikut adalah perumusan dalam mengetahui penentuan level daya terima [13].

$$Prx = Pt - AttGeo(dB) - AttAtm(dB) - Ptot(dB) \quad (2.1)$$

Keterangan :

Pt = Transmitted power (dBm)

$AttGeo$ = Geometrical attenuation (dB)

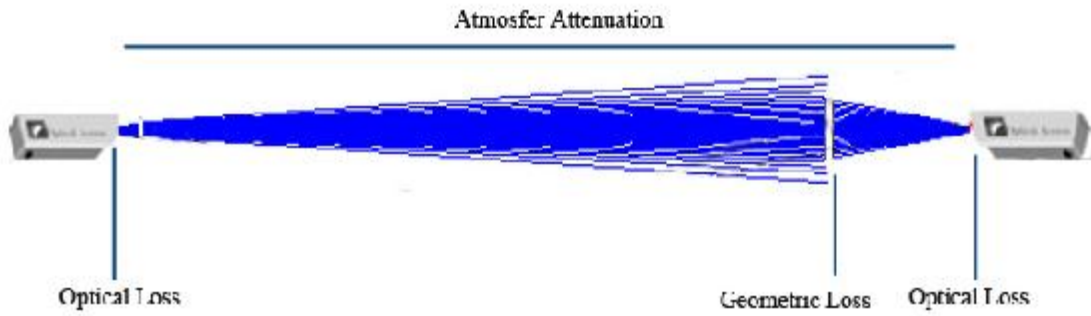
$AttAtm$ = Atmosfer attenuaton (dB)

$Ptot$ = Other loss (dB)

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 Diindungi 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.



Gambar 2.1. LOS pada sistem FSO [13].

2.3.1 Optical Losses

Setiap transisi sinyal optik dari medium kaca ke udara atau sebaliknya dari udara ke kaca tentunya terdapat loss karena pengaruh *fresnel reflection*. Dan untuk mengurangi efek *fresnel reflected*, permukaan lensa dilengkapi dengan *Anti Reflection (AR)* sebagaimana juga pada komunikasi *Optical Wireles* [13].

$$\text{Optical loss (dB)} = 10 \log (0,999-2x) \quad (2.2)$$

Keterangan :

x = Koefisien *AR-coated lenses*

Bahan Anti Reflection yang digunakan adalah Al₂O₃ dengan koefisien *AR-coated lenses* sebesar 2,48. Menggunakan bahan Al₂O₃ karena materialnya yang lebih stabil dan tahan terhadap perubahan struktur bahan yang akan ditembus oleh laser [13].

2.3.2 Geometric Loss

Geometric loss merupakan redaman yang terjadi dalam kaitannya dengan penyebaran berkas cahaya yang dipancarkan dari *transmitter* ke *receiver*. Pendekatan rumusan *geometric loss* diberikan sebagai berikut [13].

$$\text{Geometric Loss} = 10 \log \frac{\pi(R\theta)^2}{4Ar} \quad (2.3)$$

Keterangan :

Ar = *receive Aperture Area (m²)*

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.

$$R = \text{Range (Km)}$$

$$\theta = \text{Beam Divergence (mrad)}$$

Beam divergence merupakan sudut pancaran dari cahaya yang di propagasikan melalui *atmosfer*. Dengan jelas, pancaran yang luas, dengan diameter yang lebih besar, akan memudahkan untuk pancaran tidak keluar di area penerima. Bagaimanapun, suatu pancaran laser yang luas tidak bisa menyebarkan sejauh berkas pancaran yang sempit karena energinya akan terbentangkan keluar lebih banyak (tidak fokus). Lagipula dengan pancaran yang lebar akan memerlukan spasi antara *transceiver* lebih luas pula, lantaran menghindari adanya *interferensi* dari *transceiver* sebelahnya. Suatu berkas yang sempit dapat menembus cuaca yang buruk dengan lebih baik di bandingkan dengan pancaran yang lebar [13].

2.3.3. Atmospheric attenuation

Atmospheric attenuation merupakan redaman atau daya yang hilang akibat *fluktuasi* kondisi udara. Atmosfir dapat memberikan defleksi *beam* acak. Sebagai contoh, pada cuaca cerah, udara panas naik mengakibatkan indeks bias udara naik sebagai fungsi ketinggian dan pada kondisi ekstrim dapat menyebabkan fatamorgana. Perubahan indeks bias seperti itu yang terjadi di dekat *transmitter*, mengakibatkan penyimpangan arah *beam*. Efek yang sama di dekat *receiver* mengakibatkan sinyal dari *transmitter* terjadi efek pembelokan sinyal cahaya. Besar efek ini tergantung dari fluktuasi indeks bias dan jarak propagasi sinyal. Pada kondisi ekstrim pada jarak beberapa kilometer atmosfer dapat menyebabkan kemiringan arah cahaya dapat bervariasi hingga 100 μ rad pada *rate* puluhan hertz. *Atmospheric attenuation* merupakan hasil dari efek *absortion* dan *dispersion* pada sinar laser yang disebabkan oleh aerosol dan molekul yang mengisi udara. Perumusan yang digunakan untuk *Atmospheric attenuation* sebagai berikut [13].

$$Att_{atm} = 10 \log(e^{\sigma R}) \tag{2.4}$$

Keterangan :

σ = Total koefisien peredam

R = Jarak transmisi (Km)

$$\sigma = \sigma_m + \alpha_a + \beta_m + \beta_a \tag{2.5}$$

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.

Keterangan :

- α_m = Koefisien penyerapan molekul
- α_a = Koefisien penyerapan aerosol
- β_m = Koefisien molekul atau *Rayleigh scattering*
- β_a = Koefisien aerosol atau *mie scattering*

2.3.4. Rain Attenuation

Rain attenuation merupakan redaman yang terjadi akibat curah hujan yang menghalangi pancaran laser untuk bisa diterima dengan baik di penerima. Hubungan besarnya intensitas hujan dengan besarnya redaman yang ditimbulkan akibat intensitas hujan tersebut adalah sebagai berikut [13][14].

$$Att_{rain} = 1,076 * (R)^{0,67} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- R = Intensitas hujan (mm/hr)
- Att_{rain} = Redaman hujan (dB/km)

Hujan merupakan salah satu penyebab terjadinya *loss* daya pada transmisi *Free Space Optic* selain kabut dan asap. Sehingga rumusan redaman yang ditimbulkan oleh hujan adalah sebagai berikut.

$$Atmosfer\ loss\ (dB) = a * R \quad (2.7)$$

Keterangan :

- R = Range (km)
- a = Redaman pada udara (dB/km)

2.3.5. Snow Attenuation

Snow Attenuation merupakan redaman yang terjadi karena pengaruh besar intensitas salju. Hubungan intensitas salju dan panjang gelombang yang digunakan dalam sistem FSO didekatkan dengan rumusan sebagai berikut [13].

$$Att_{snow} = (0,0001023 * \lambda_{nm} + 3,7855) * S^{0,72} \text{ (dB/km)} \quad (2.8)$$

2.3.6. Fog Attenuation

Fog Attenuation merupakan partikel kabut memiliki periode yang lebih lama daripada hujan. Tingkat visibilitas menentukan jumlah redaman pada suatu waktu. Redaman kekuatan laser kabut diberikan oleh hukum Beers-Lambert. Perumusan dari *Fog Attenuation* sebagai berikut [14].

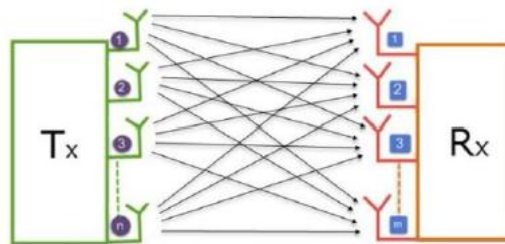
$$T = P(D) / P(S) = e^{-AR} \tag{2.9}$$

Keterangan :

- A = Atenuasi atmosfer
- P(S) = Kekuatan dari sumber
- P(D) = Daya yang diterima pada penerima
- T = Transmisi yang diperoleh pada jarak R

2.4. Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan suatu sistem *wireless* yang dapat meningkatkan kapasitas kanal dengan menggunakan multi antena di sisi pengirim maupun di penerima. Pada lingkungan *multipath* dengan *fading* yang independen antara tiap pasangan antena pemancar dan penerima, sistem MIMO memperoleh peningkatan kapasitas yang signifikan sehingga kinerja sistem menjadi lebih baik dibandingkan dengan sistem konvensional *Single Input Single Output* (SISO) dimana informasi yang sama dapat dikirim dan diterima dari beberapa antena secara bersamaan [15].



Gambar 2.2. Block Diagram MIMO [21].

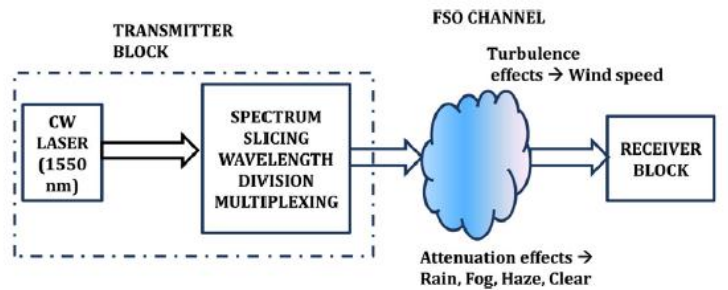
Teknologi MIMO merupakan gagasan penting dalam penambahan beberapa Pemancar dan Penerima untuk FSO. Selain itu MIMO juga dapat meningkatkan kapasitas data melalui *multiplexing* spasial dengan meningkatkan jumlah titik pada pemancar dan penerima. Keuntungan MIMO juga dapat meningkatkan kecepatan data dan keandalan sistem melalui keragaman spasial [11].

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.

2.5. Spectrum Slicing Wavelength Division Multiplexing (SS-WDM)

Teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) adalah salah satu jenis *multiplexing* yang merupakan teknologi jaringan *transport* yang mampu menyalurkan berbagai jenis trafik seperti data, suara dan video dengan menggunakan panjang gelombang berbeda dalam satu serat tunggal secara bersamaan. Jaringan WDM dapat digunakan untuk aplikasi jarak jauh (*long haul*) maupun jarak dekat (*short haul*) [14].

Untuk mendukung potensi FSO mencapai kemampuan dalam memperbanyak pengguna dengan kecepatan *bit rate* yang tinggi, maka digunakan teknik *multiplexing Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Keuntungan dari WDM adalah sistem komunikasi dua arah yang dapat meningkatkan *bandwidth* yang tinggi dan dapat memperluas area jangkauan FSO. Teknologi *Spectrum Slicing* (SS) dapat meminimalkan penggunaan laser koheren dalam pengaplikasian ke *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). SS sebagai transistor dalam jalur optik yang dapat meningkatkan toleransi dispersi dan meningkatkan *bandwidth* pada sistem komunikasi optik. Selain itu SS memiliki keuntungan lain yaitu dapat menggandakan jumlah data yang ditransmisikan empat kali lipat dengan menggunakan bentuk gelombang yang sama [8][9].

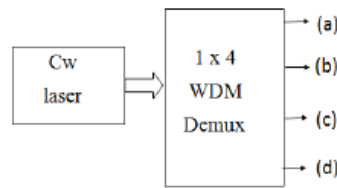


Gambar 2.3. Blok Diagram Sistem SS-WDM-FSO [8][10].

Blok diagram SS-WDM ditunjukkan pada Gambar 2.3. Dimana CW Laser tunggal terhubung ke Demux WDM 1×4 untuk mendispersikan sumber pencahayaannya. Kemudian sinyal dibagi menjadi empat saluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. masing-masing saluran memiliki frekuensi dengan jarak yang berbeda. Selain itu pembagian saluran ditransmisikan ke Point-To-Multipoint (P2MP) pada setiap terminal jalur optik [8][10].

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.

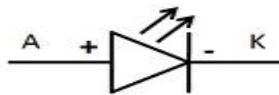


Gambar 2.4. Blok Diagram Sistem SS-WDM [8].

2.6. Sumber Optik

Sumber optik merupakan pengubah besaran sinyal elektrik menjadi sinyal cahaya. Sumber optik memiliki dua jenis sumber cahaya, yang akan digunakan untuk mengirim suatu cahaya informasi melalui FSO yaitu sebagai berikut ini [18]:

A. LED (*Light Emitting Diode*)



Gambar 2.5. Simbol LED [18].

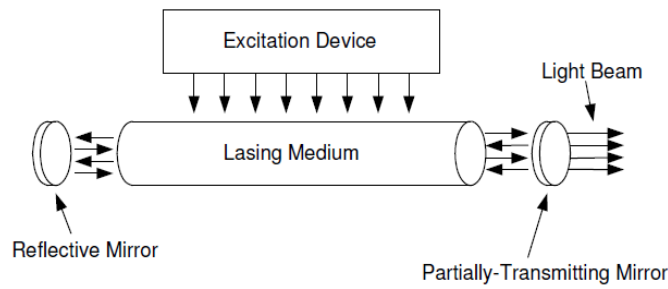
LED merupakan diode semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme emisi spontan. LED mengubah besaran arus menjadi besaran intensitas cahaya. Cahaya yang dipancarkan LED bersifat tidak koheren yang akan menyebabkan dispersi kromatik sehingga LED hanya cocok untuk transmisi data dengan *bit rate* yang rendah sampai sedang. Daya keluaran LED adalah -33 s.d. -10 dBm. LED memiliki lebar spektral (*spectral width*) 30-50 nm pada panjang gelombang 850 nm dan 50-150 nm pada panjang gelombang 1300 nm [18].

B. LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)

Laser ini merupakan diode semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme pancaran/emisi terstimulasi (*stimulated emission*). Cahaya yang dipancarkan oleh laser bersifat koheren. Diode laser memiliki lebar spektral yang lebih sempit (s.d. 1 nm), sehingga dispersi kromatik dapat ditekan. Laser diterapkan untuk transmisi data dengan *bit rate* yang tinggi. Laser mempunyai daya keluaran optik -12 s.d. +3 dBm. Kinerja dari laser dapat dilihat dari aspek keluaran daya optik, panjang gelombang, serta umur sistem yang sangat dipengaruhi oleh temperature operasi [18].

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.



Gambar 2.6. Struktur Dasar Laser [18].

2.7. Photodetector

Photodetector merupakan perangkat penerimaan sinyal cahaya pada sistem komunikasi serat optik. Perancangan dan pemilihan perangkat penerima sangat berpengaruh dalam analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang dapat dideteksi oleh *photodetector* [18].

Persyaratan kinerja yang harus dipenuhi oleh *photodetector* terletak di bawah ini sebagai berikut :

- a. Memiliki sensitivitas tinggi.
- b. Memiliki kecepatan respon yang cukup untuk mengakomodasi *bit rate* data yang diterima.
- c. Memberi noise tambahan yang minimum.
- d. Tidak terlalu peka terhadap suhu.

Detektor untuk transmisi *Wireless optic* ada 2 macam yaitu dioda PIN dan *Avalanche Photo Diode* (APD). Berikut ini beberapa perbedaan antara dua jenis detektor cahaya [18] :

- a. Untuk komunikasi jarak jauh digunakan detektor APD yang dapat bekerja pada Panjang gelombang 1300 nm, 1500 nm serta 1550 nm dengan kualitas yang baik. Artinya detektor APD mempunyai sensitivitas dan respon yang tinggi terhadap LASER sebagai pembawa gelombang optik informasi.
- b. Untuk komunikasi jarak pendek lebih efisien jika menggunakan detektor PIN diode, karena PIN baik digunakan untuk *bit rate* rendah dan sensitivitasnya tinggi untuk sistem yang menggunakan LED sebagai sumber optiknya.

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.

Detektor penerima PIN bereaksi baik pada *bit rate* rendah tetapi kurang sensitif ketika *Bit ratenya* dinaikkan.

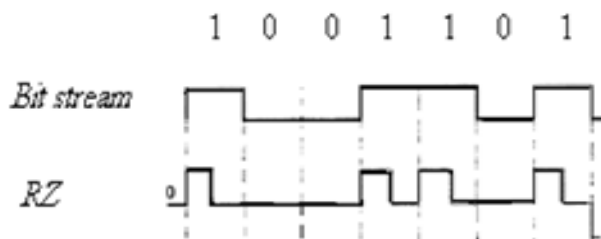
Detektor penerima APD lebih sensitif pada *bit rate* tinggi. Untuk transmisi jarak jauh diperlukan daya pancar yang lebih besar dan sensitifitas yang tinggi. Untuk sistem komunikasi serat optik jarak jauh, akan menggunakan LASER sebagai sumber cahaya dan APD sebagai detektor penerima. Sedangkan untuk transmisi jarak dekat cukup digunakan LED sebagai sumber optik dan PIN sebagai detektor penerima.

2.8. Pengkodean Data

Sebelum membuat perencanaan sistem jaringan, yang pertama dilakukan terlebih dahulu yaitu teknik pengkodean data yang akan digunakan. Pada transmisi sinyal digital, proses *recovery* data disisi penerima membutuhkan rangkaian *sampling* yang beroperasi pada sistem *clock*. Oleh karena itu, pemilihan jenis pengkodean juga akan mempengaruhi sistem yang akan dibangun [17]. Teknik Pengkodean data terbagi menjadi 2 yaitu sebagai berikut :

A. Return To Zero(RZ)

Return To Zero (RZ) merupakan deretan bit yang akan ditransmisikan dikodekan dengan bit 1 dinyatakan oleh pulsa positif dan bit 0 dinyatakan dengan pulsa negatif. Untuk setiap bit, level sinyal akan kembali pada level nol (sehingga disebut *return to zero*) [17].



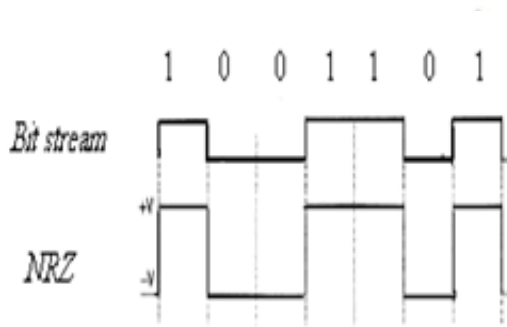
Gambar 2.7. Format Modulasi RZ [17].

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.

Non Return to Zero (NRZ)

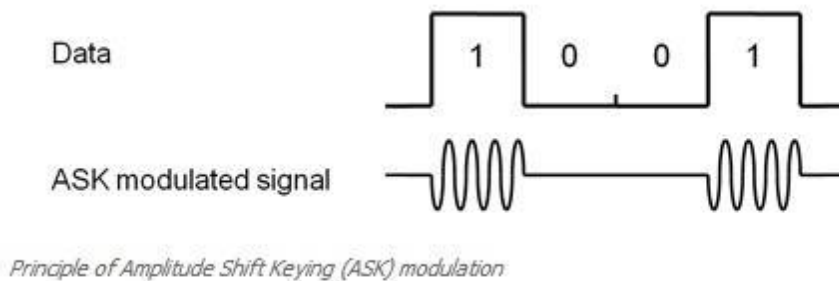
Kode NRZ yang paling sederhana adalah NRZ-level (NRZ-L). Pada sebuah serial aliran data, sebuah sinyal hidup dan mati (*unipolar*) direpresentasikan sebagai 1 jika melewati sebuah tegangan pulsa atau cahaya yang dimasukkan pada seluruh periode bit dan 0 dimana tidak ada pulsa atau cahaya yang ditransmisikan [17].



Gambar 2.8. Format Modulasi NRZ[17]

2.9. Modulasi Amplitudo Shift Keying (ASK)

Amplitude Shift Keying (ASK) merupakan suatu metode modulasi dengan mengubah-ubah amplitudo. Dalam proses modulasi ini kemunculan frekuensi gelombang pembawa tergantung pada ada atau tidaknya sinyal informasi digital. Keuntungan yang diperoleh dari metode ini adalah *bit per baud* (kecepatan digital) lebih besar. Sedangkan kesulitannya adalah dalam menentukan level acuan yang dimilikinya, yakni setiap sinyal yang diteruskan melalui saluran transmisi jarak jauh selalu dipengaruhi oleh redaman atau distorsi lainnya [16].



Gambar 2.9. Modulasi *Amplitude Shift Keying*[16].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2.10.

Bit Error Rate (BER)

Indikator performansi untuk jaringan komunikasi digital adalah *Bit Error Rate* (BER). BER didefinisikan sebagai jumlah kesalahan *bit* N_E yang terjadi selama suatu interval waktu tertentu, dibagi dengan jumlah *bit* total (N_T) yang dikirim selama selang waktu tersebut. Dalam bentuk persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut [18] :

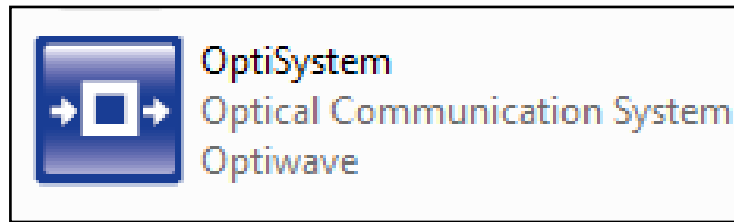
$$BER = \frac{N_E}{N_T} \tag{2.10}$$

Pada sistem modulasi ASK, biner 1 direpresentasikan dengan mentransmisikan sinyal pembawa sinusoidal dengan amplitudo maksimum A dan frekuensi f , dimana kedua besaran tersebut konstan, selama durasi bit T_b detik. Amplitudo frekuensi pembawa akan berubah sesuai dengan logik sinyal informasi. Sedangkan biner 0 direpresentasikan dengan tanpa mengirimkan sinyal pembawa tersebut selama durasi bit T_b detik atau disebut *On Off Keying* (OOK)[16].

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.

2.11. Optisystem

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



Gambar 2.10. Optisystem

Optisystem merupakan sistem *simulation tool* yang sangat inovatif dan dapat digunakan untuk mendesain atau melakukan pemodelan sistem, pengujian, dan optimasi jaringan optik secara virtual mulai dari jaringan video analog broadcasting sampai dengan jaringan backbone. Optisystem mempunyai kemudahan dalam penambahan komponen dan dilengkapi dengan interface ke program simulasi yang lain seperti Matlab.

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 system [20].

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.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada pembahasan bab ini akan menceritakan bagaimana tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian. Model sistem yang akan disimulasikan yaitu menggunakan SS-WDM-MIMO-FSO dengan 4 *channel spacing*, yang akan disimulasikan menggunakan *Software optisystem*. *Software optisystem* dilengkapi dengan *virtual instrument*, sehingga pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan lancar tanpa terkendala dan keterbatasan peralatan [20].

3.1 Flow Chart Penelitian

Pada *flow chart* penelitian ini dapat dijelaskan bahwa bagaimana cara sistematis yang penulis lakukan untuk pembuatan Tugas Akhir ini. Langkah awal yang dilakukan oleh penulis adalah *literature review* dimana proses ini penulis mencari referensi-referensi yang berkaitan dengan materi yang akan di kerjakan dalam pembuatan Tugas Akhir.

Selanjutnya setelah menemukan masalah yang akan dibahas, kemudian penulis melakukan perumusan masalah untuk menentukan judul dan tujuan dari Tugas Akhir [19].

Tahap akhir penelitian ini penulis melakukan analisa terhadap hasil simulasi yang telah didapatkan, kemudian penulis dapat mengambil kesimpulan dalam proses mengerjakan penelitian ini. Berikut adalah *flow Chart* penelitian yang akan dilakukan :

UIN SUSKA RIAU

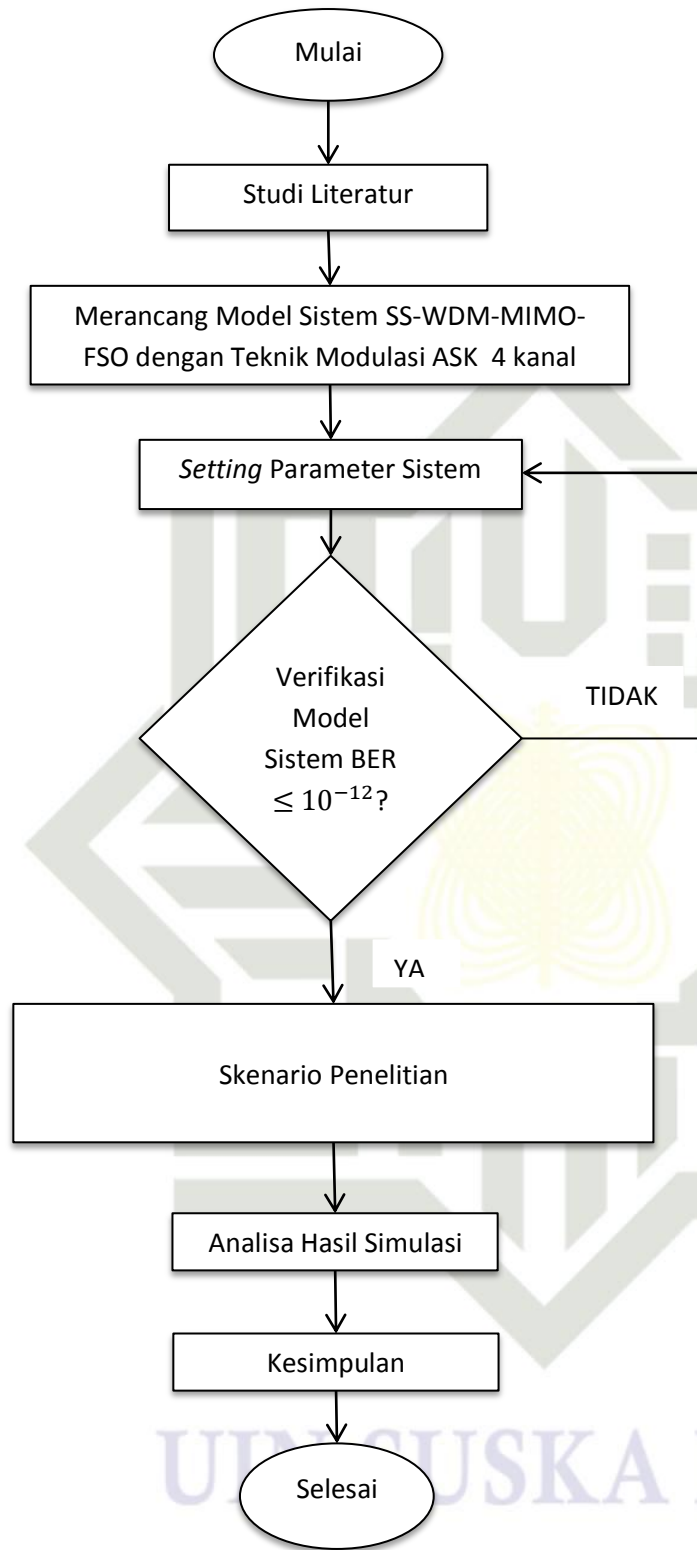
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

Hak Cipta Diindungi 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.



Gambar 3.1. *Flow Chart* Penelitian

3.2 Pemodelan Sistem SS-WDM-MIMO-FSO 4 kanal.

Pada penelitian ini dirancang sebuah model sistem SS-WDM-MIMO-FSO 4 kanal menggunakan *Software Optisystem 13*. Berikut ini merupakan komponen-komponen yang digunakan dalam merancang model sistem pada *software Optisystem 13* sebagai berikut :

1. *Pseudo Random bit Sequence (PRBS)*
PRBS adalah komponen yang dapat membangkitkan sinyal informasi berupa sinyal digital.
2. *Non Return to Zero (NRZ)*
NRZ adalah proses terjadinya *line coding* yang memiliki fungsi untuk mengkodekan bit-bit yang dikirimkan oleh PRBS
3. *Amplitude Modulation (AM)*
AM adalah proses modulasi dimana *amplitudo* sinyal pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan amplitude sinyal informasi (sinyal pemodulasi), dimana frekuensi pembawa konstan.
4. *Connector*
Connector digunakan sebagai penghubung satu komponen dengan komponen lainnya.
5. CW LASER
CW LASER adalah sumber daya yang mentransmisikan sinyal ke dalam saluran optik.
6. WDM DEMUX
WDM DEMUX adalah komponen yang memisahkan informasi dalam beberapa panjang gelombang, dan menyalurkan dalam satu kanal optik.
7. WDM MUX
WDM MUX adalah komponen yang menggabungkan informasi dalam beberapa panjang gelombang, dan menyalurkan dalam satu kanal optik.
8. *Optical Spektrum Analyzer*
Optical Spektrum Analyzer adalah untuk mengetahui kekuatan dan panjang gelombang sumber optik.
9. *Passive Splitter*
Passive Splitter adalah komponen pasif yang berfungsi sebagai pembagi jaringan.
10. *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)*
Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) adalah komponen penguat optik.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

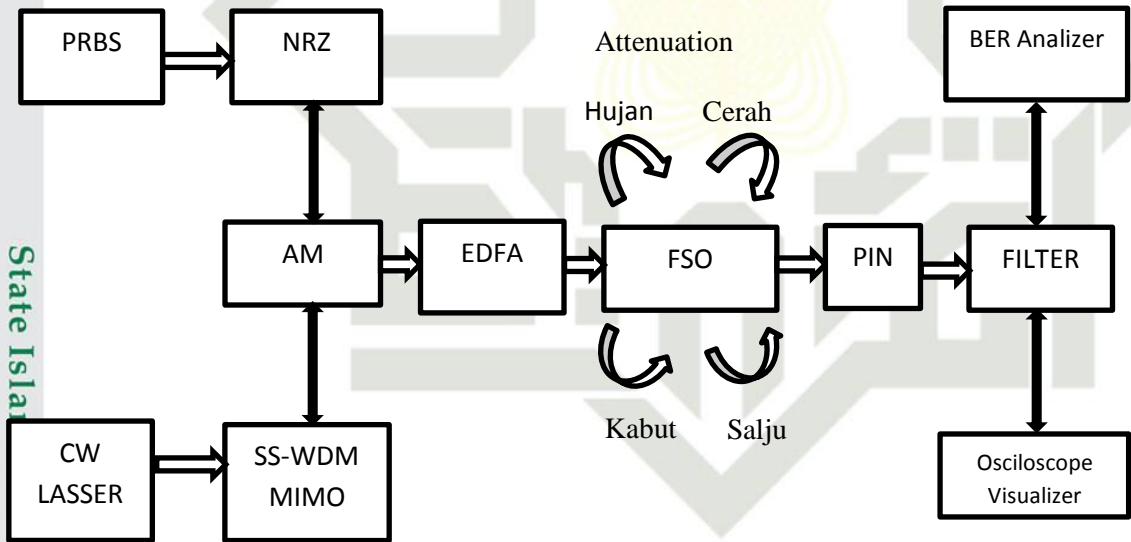
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- 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.

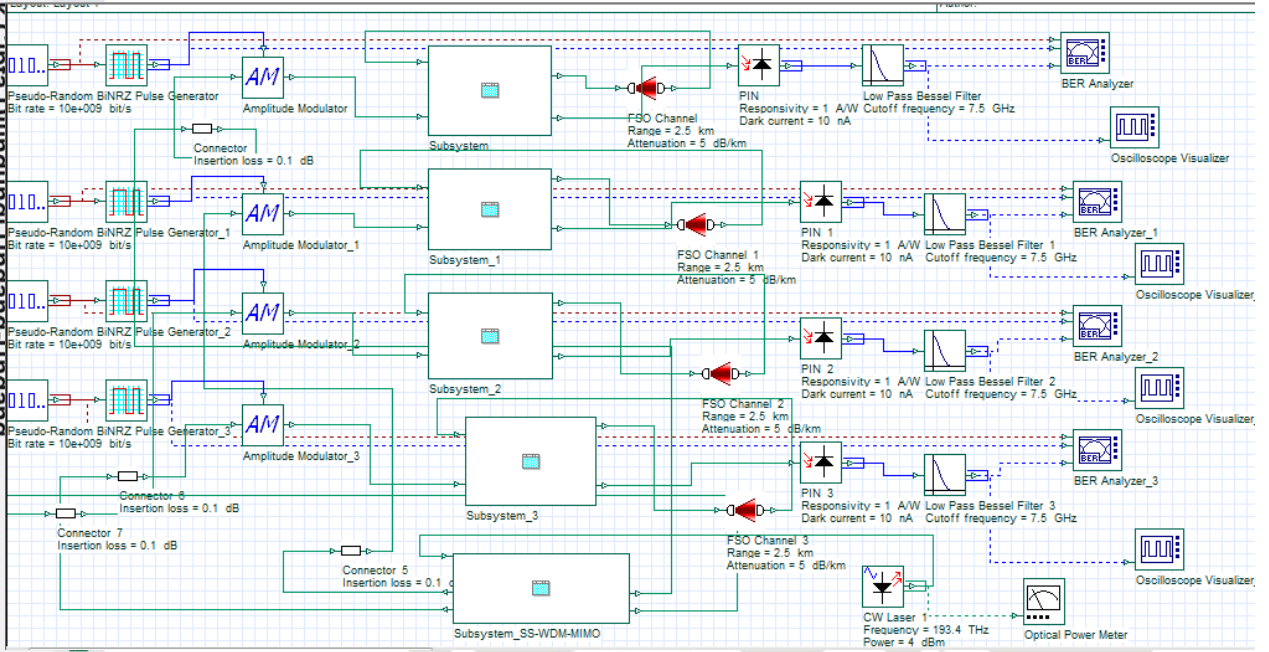
11. *FSO Channel*
FSO Channel adalah komponen ruang bebas udara berfungsi sebagai *Wireless optic*.
12. *Photodetector (PD)*
 PD adalah Komponen detektor optik yang digunakan adalah PIN.
13. *Low Pass Bessel Filter*
Low Pass Bessel Filter adalah komponen *filter* dari sinyal optik ke sinyal listrik.
14. *BER analyzer*
 BER adalah komponen untuk mengetahui banyaknya tingkat kesalahan bit dalam sistem.
15. *Oscilloscope Visualizer*
Oscilloscope Visualizer adalah komponen untuk menampilkan sinyal listrik setelah PIN dalam domain waktu.



Gambar 3.2. Blok Diagram SS-WDM-MIMO-FSO

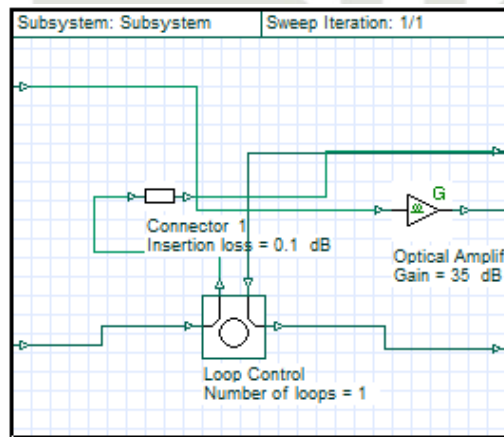
Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

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



Gambar 3.3. Model Jaringan SS-WDM-MIMO FSO

Model perancangan SS-WDM-MIMO FSO ini memiliki beberapa bagian yaitu pada *Subsystem* SS-WDM-MIMO merupakan sebagai *Transmitter*, sedangkan *Subsystem* sampai *Subsystem_3* merupakan sebagai komponen penguat optik, dan komponen *FSO Channel* merupakan bagian utama dari sistem tersebut. Untuk proses *Transmitter* yaitu sebagai sumber optik yang mentransmisikan sinyal ke dalam saluran optik kemudian masuk ke dalam AM proses modulasi dimana *amplitudo* sinyal pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan amplitude sinyal informasi (sinyal pemodulasi), dimana frekuensi pembawa konstan.

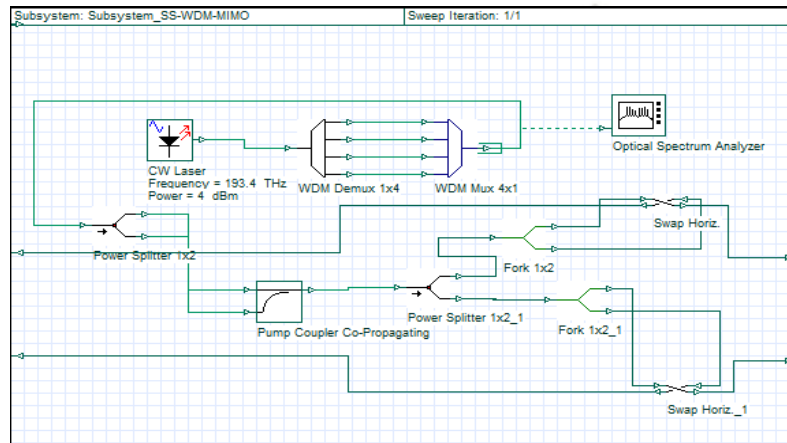


Gambar 3.4. Model Jaringan *Subsystem*

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.

Sedangkan dengan PRBS sebagai pembangkitkan sinyal informasi berupa sinyal digital lalu disalurkan ke NRZ juga masuk kedalam proses AM. Kemudian sinyal tersebut dikirim ke bagian *Subsystem* sebagai komponen penguat untuk menghitung kinerja sistem dan menuju ke bagian utama yaitu *FSO channel* sebagai media transmisi yang memiliki data dengan *bit rate* yang tinggi dan kapasitas *bandwidth* yang besar sehingga performansi menjadi lebih baik untuk komunikasi jarak jauh.



Gambar 3.5. Model Jaringan *Subsystem* SS-WDM-MIMO

Sebelum masuk pada tahap akhir masuk ke bagian *receiver* sinyal optik yang dikirim akan di ubah menjadi sinyal listrik oleh *photodetektor* kemudian di *filter* oleh komponen *low pass besel filter* dan sinyal tersebut dianalisa oleh komponen *BER analyzer* untuk mengetahui besar kesalahan pada saat pengiriman sinyal dan *Oscilloscope Visualizer* untuk menampilkan sinyal listrik setelah PIN dalam domain waktu.

3.3 Parameter Setup

Pada *Software optisystem 13* memiliki sebuah parameter *Global* yang dapat digunakan dalam proses simulasi dan analisa suatu rangkaian pada sistem *free space optic* dengan teknologi SS-WDM MIMO tersebut, Seperti pada tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Parameter *Global setup* pada *Optisystem*

NO.	Nama	Nilai	Satuan
1.	<i>Bit rate</i>	10×10^9	Bps
2.	<i>Time window</i>	$12,8 \times 10^{-9}$	S
3.	<i>Sample rate</i>	640×10^9	Hz
4.	<i>Sequence length</i>	128	Bit
5.	<i>Sample per bit</i>	64	
6.	<i>Number of sample</i>	8192	
7.	<i>Sensitivity</i>	-100	dBm

Pada tabel parameter *Global* tersebut untuk nilai *time window*, *sample rate* dan *number of samples* memiliki perhitungannya yaitu sebagai berikut:

- $$Time\ Window = \frac{Sequences\ Length \times 1}{Bitrate} = \frac{128 \times 1}{10 \times 10^9} = 12,8 \times 10^{-9} s$$
- $$Number\ of\ samples = Sequence\ length \times Sample\ per\ bit = 128 \times 64 = 8192$$
- $$Sample\ rate = \frac{Number\ of\ samples}{Time\ window} = \frac{8192}{12,8 \times 10^{-9}} = 640 \times 10^9\ Hz$$

Di samping dari parameter *Global* terdapat beberapa komponen pada model sistem yang harus diset parameternya. Pada bagian *Transmitter* ada 2 komponen yang harus diset yaitu sebagai berikut :

Tabel 3.2 Parameter PRBS dan *Connector* [8].

NO.	Komponen	Parameter	Nilai
1.	<i>PRBS Generator</i>	<i>Bit Rate</i>	10 Gb/s
2.	<i>Connector</i>	<i>Insertion Loss</i>	0.1 dB

Pada tabel 3.2 tersebut merupakan nilai parameter PRBS yaitu *bitrate* nya menggunakan 10 Gb/s, Untuk *Connector* memiliki *Insertion loss* 0.1 dB pada setiap komponen nya. selanjutnya yaitu Parameter CW LASER dan Sistem WDM yang dapat dilihat pada tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Parameter CW LASER dan Sistem WDM [8][19].

NO.	Komponen	Parameter	Nilai
1.	WDM System	<i>Wavelength</i>	1550.11 s/d 1554 nm
2.	CW LASER	<i>Frequency</i>	193.4 THz
		<i>Power</i>	0 s/d 15 dBm
		<i>Line – width</i>	10 MHz

Pada tabel 3.3 tersebut merupakan nilai parameter CW LASER yaitu frekuensinya 193.4 THz dengan *power* 0 s/d 15 dBm dan *line-width* 10 MHz. Dan untuk sistem WDM memiliki panjang gelombang 1550.11 nm sampai dengan 1554 nm. Langkah Selanjut nya masuk ke bagian komponen penguat optik terdiri dari komponen EDFA. Pada nilai parameter EDFA *Amplifire* yaitu *Gain* nya menggunakan 35 dB. Selanjut masuk bagian parameter utama yaitu FSO *Channel* di bagian komponen ini nilai parameter akan di ubah-ubah sesuai dengan kondisi cuaca dan jarak maksimum yang ingin dicapai oleh penulis dapat dilihat pada tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Parameter FSO *Channel* [10][18].

No.	Nama Kondisi Cuaca	Nilai	Satuan
1.	<i>Attenuation</i> Cerah	0.23	dB/km
2.	<i>Attenuation</i> Sangat Cerah	0.065	dB/km
3.	<i>Attenuation</i> Hujan Ringan	6.27	dB/km
4.	<i>Attenuation</i> Hujan Sedang	9.64	dB/km
5.	<i>Attenuation</i> Hujan Berat	19.2	dB/km
6.	<i>Attenuation</i> Salju Basah	6.2	dB/km
7.	<i>Attenuation</i> Salju Kering	14.3	dB/km
8.	<i>Attenuation</i> Kabut Cahaya	0.55	dB/km
9.	<i>Attenuation</i> Kabut Asap Cahaya	15.5	dB/km
10.	<i>Attenuation</i> Kabut Tebal	2.37	dB/km
11.	<i>Attenuation</i> Kabut Asap Tebal	25.5	dB/km
12.	<i>Range</i>	1 s/d 22	Km
13.	<i>Transmitter Loss</i>	0.1	dB
14.	<i>Receiver Loss</i>	0.1	dB

Pada tabel 3.4 tersebut nilai parameter dari setiap *Attenuation* berdasarkan dari penelitian [10] dan [18] dengan menggunakan 0.1 dB pada setiap *Transmitter Loss* dan *Receiver Loss* dari *FSO Channel*. Dan untuk *Low Pass Bessel Filter* yaitu sebagai komponen *filter* dari sinyal optik ke sinyal listrik dengan nilai *Cut off Frequency* 7.5 GHz.

3.4 Verifikasi Model Sistem

Pada tahap ini setelah penulis selesai melakukan *set up* parameter jaringan, selanjutnya adalah melakukan uji coba simulasi terhadap model sistem yang dirancang. Simulasi sistem dilakukan dengan *software Optisystem* 13. Hal ini dilakukan untuk melihat baik atau buruknya kualitas performansi yang dihasilkan sistem tersebut. Sistem dapat dikatakan bekerja baik, dengan melihat apakah sistem tersebut memenuhi standar minimum BER pada [19] yaitu 10^{-12} . Untuk tahap verifikasi awal penulis melakukan simulasi menggunakan daya *input* 0 dBm dengan jarak transmisi maksimum 1 sampai dengan 4 km sesuai dengan mengikuti dari sistem SS-WDM-MIMO FSO pada [8]. Jika simulasi berhasil, langkah selanjutnya adalah menganalisa hasilnya dengan menggunakan beberapa tahap skenario penelitian.

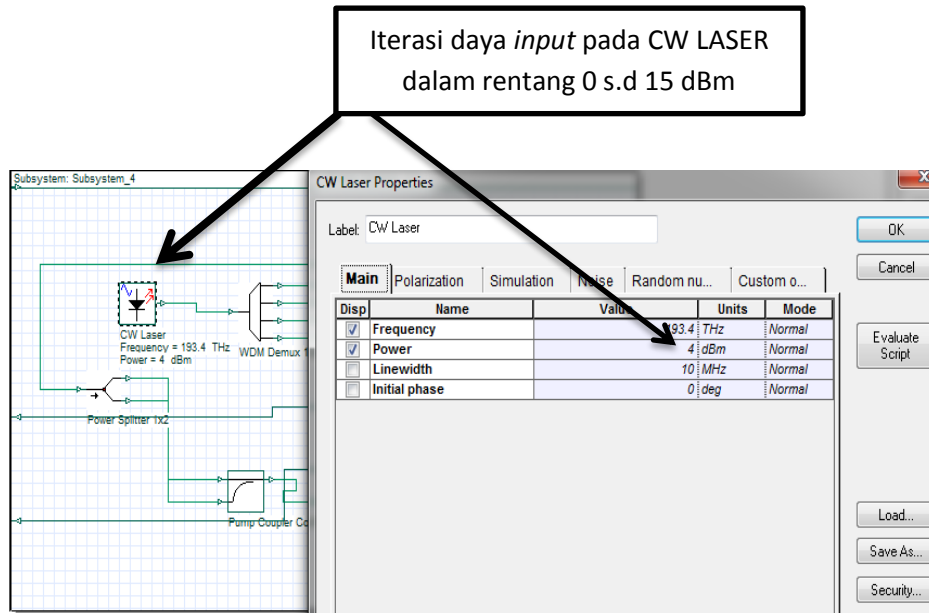
3.5 Simulasi Model Sistem dengan Penentuan Daya Input Maksimum dan Jarak Transmisi Maksimum Pada Kondisi Cuaca Yang Berbeda-Beda.

Setelah model sistem berjalan baik sesuai dengan standar keberhasilan BER. Maka selanjutnya dilakukan skenario penelitian. Penelitian ini menggunakan skenario penelitian yaitu melakukan perubahan iterasi daya *input* pada CW LASER dalam rentang 0 s.d 15 dBm dan untuk daya *input range* pada jarak transmisi FSO *Channel* dari rentang 1 s.d 22 km. Model sistem ini diterapkan dalam kondisi cuaca yang berbeda. Berikut gambaran iterasi daya *input* sistem pada gambar 3.6 di bawah ini.

UIN SUSKA RIAU

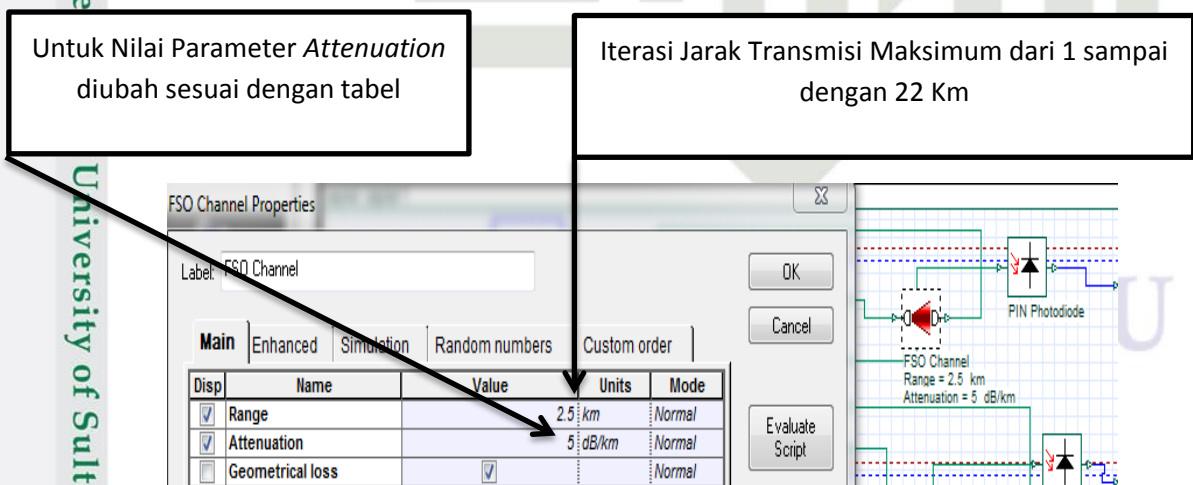
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.



Gambar 3.6 Iterasi Daya *input* pada CW LASER

Langkah selanjutnya yaitu melakukan perubahan iterasi pada jarak transmisi FSO Channel dimulai dari 1 sampai dengan jarak maksimum 22 Km. Perubahan jarak dilakukan pada setiap komponen FSO Channel. Dan memberikan nilai Attenuation atau gangguan kondisi cuaca yang berbeda-beda pada FSO Channel. Gambaran iterasi jarak transmisi mode sistem dalam kondisi berbeda – beda pada gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7 Penentuan Iterasi Jarak Transmisi Maksimum

3.6 Analisis Hasil Simulasi

Pada tahap penelitian ini adalah hasil dari skenario tentang perubahan iterasi daya *input* pada CW LASER dalam rentang 0 s.d 15 dBm dapat dianalisis bahwa semakin besar daya *input* pada CW LASER maka hasil dari simulasi peformanya akan bagus dan dapat juga menghasilkan BER melebihi hasil dari standar 10^{-12} . FSO *Cahannel* juga berpengaruh terhadap jarak tansmisi semakin jauh jarak sinyal optik yang dikirimkan, maka semakin banyak yang menghambat performa dari FSO *Channel* karena *Attenuation* atau sannguan dari kondisi cuaca yang berbeda - beda.

3.7 Kesimpulan

Pada hasil simulasi yang telah didapatkan dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem SS-WDM-MIMO-FSO pada kondisi cuaca yang berbeda - beda sangat berpengaruh terhadap daya *input* pada CW LASER, jarak transmisi dan *Attenuation* sinyal optik pada sistem tersebut.

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.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini berdasarkan analisa dan pembahasan pada bab sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Sistem SS-WDM-MIMO FSO dengan daya *input* 0 dBm hanya mampu memberikan performa yang baik pada kondisi cuaca cerah, sangat cerah, kabut cahaya, kabut tebal, salju basah, hujan ringan dan hujan sedang. Sedangkan untuk kondisi cuaca kabut asap cahaya, kabut asap tebal, salju kering dan hujan berat tidak memiliki performa yang baik pada sistem ini, sehingga dilakukanlah skenario penelitian dengan menambah daya *input* maksimum yang dapat mendukung sistem untuk kondisi cuaca tersebut.
2. Daya *input* maksimum yang didapatkan dengan menggugurkan sistem ini untuk jarak 1 km yaitu pada kondisi cuaca salju kering dengan daya *input* maksimum 3 dBm telah mencapai performa yang baik dengan nilai BER 9.81×10^{-15} , untuk kondisi cuaca kabut asap cahaya daya *input* maksimum yang dibutuhkan 4 dBm dengan nilai BER 7.43×10^{-14} , untuk kondisi cuaca hujan berat daya *input* maksimum yang dibutuhkan 8 dBm dengan nilai BER 4.71×10^{-15} , dan untuk kondisi cuaca kabut asap tebal membutuhkan daya *input* maksimum dengan 15 dBm dengan nilai BER 2.65×10^{-13} agar performa menjadi baik sesuai dengan standar dari BER 10^{-12} .
3. Jadi kondisi cuaca yang berbeda-beda dan daya *input* maksimum yang digunakan dapat mempengaruhi jarak transmisi maksimum maupun performansi sistem SS-WDM-MIMO FSO tersebut.

UIN SUSKA RIAU

Saran

Penggunaan sistem SS-WDM-MIMO FSO terhadap pengaruh kondisi cuaca yang berbeda-beda dengan menggunakan teknik modulasi ASK telah dilakukan pada penelitian ini. Penelitian ini melakukan pengujian terhadap 11 kondisi cuaca yaitu cuaca sangat cerah, cerah, hujan ringan, hujan sedang, hujan berat, salju basah, salju kering, kabut cahaya, kabut asap cahaya, kabut tebal dan kabut asap tebal. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian sistem ini dengan menggunakan teknik modulasi digital lainnya dengan memperhatikan daya input terhadap jarak transmisi yang didapat pada sistem SS-WDM-MIMO FSO tersebut.

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

- © Hak cipta milik UIN Suska Riau
- State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
- [1] R. A. Kalin Chaniago, Analisis Performa *Gigabit Passive Optical Network (GPON)* pada data *Rates* yang berbeda-beda, Program studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Wiyatama, Bandung 2017.
 - [2] S. Arnon, J. R. Barry, dan G. K. Karagiannidis, “Advanced Optical Wireless Communication Systems”, Cambridge University Press 2012.
 - [3] R. Hartono, dan A. Purnomo, “*Wireless Network*” D3 TI FMIPA UNS, 1/1/2011.
 - [4] H. Singh, G. Singh, *Performance Analysis of MIMO FSO Link Employing Different Modulation Techniques*, *International Journal of Scientific Research in Science and Technology (IJSET)* , Vol. 3 Issue 4, 14 May 2017.
 - [5] A. Basahel, Islam Md. Rafiqul, M. H. Habaebi, A.Z. Suriza, Visibility effect on the availability of a terrestrial free space optics link under a tropical climate, Electrical & Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, International Islamic University Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia 2016.
 - [6] E. M. Reddy, dan A. B. Therese, *Analysis of Atmospheric Effects on Free Space Optical Communication*, School of Electronics Engineering, VIT University, Chennai, India 2017.
 - [7] S. Mahajan, D. Prakesh, H. Singh, *Performance Analysis of Free Space Optical System Under Different Weather Conditions*, International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), Department of ECE Chandigarh University Chandigarh University Chandigarh University Gharuan, Mohali – Punjab, INDIA 2019.
 - [8] M. Kumar, H. Kaur, S. Mahajan, A. Sharma, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* , *Design & Performance Analysis of MIMO-FSO Communication System Based on Four channel Spectrum Slicing using AM Technique*, Vol.5 Issue 3, 2018.
 - [9] F. Rashidia, J. Hea, L. Chena, *Spectrum slicing WDM for FSO communication systems under the heavy rain weather*, *College of Computer Science and Electronic Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China*, 2017.
 - [10] K. Prabu, S. Charanya, M. Jain, Debapriya Guha, *BER analysis of SS-WDM based FSO system for Vellore weather conditions*, *Department of Communication*

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.

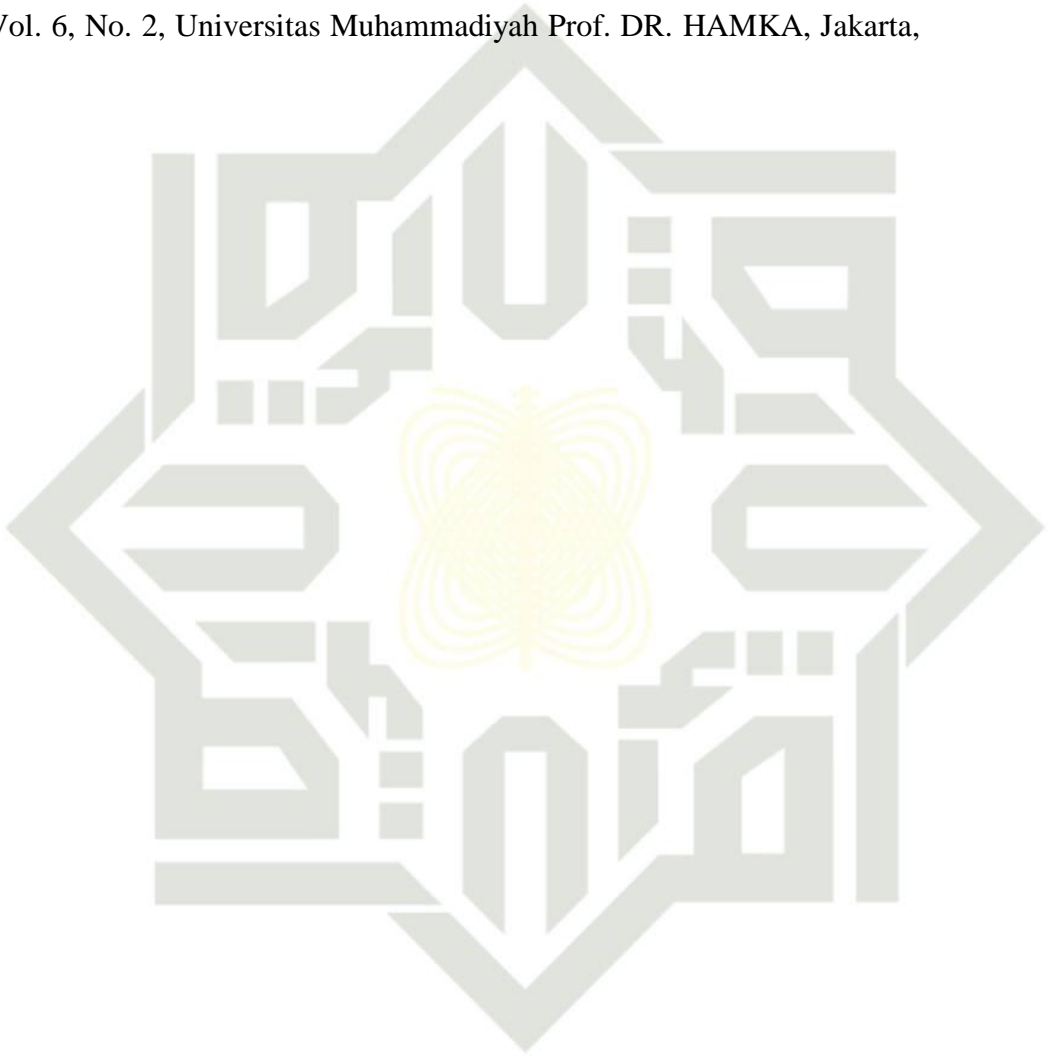
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Engineering, School of Electronics Engineering, VIT University, Vellore 632014, India, 2017.
- [11] Dr. Shehab A. Kadhim, Dr. Salah Aldeen A. Taha, Ali Q. Baki, *Characterization Study and Simulation of MIMO Free Space Optical Communication under Different Atmospheric Channel*, *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJSET)*, Vol. 3 Issue 8, August 2016.
 - [12] A. Arum M. , B. Supeno, I. Fibriani, *Analisis Throughput Pada Komunikasi Optik Ruang Bebas (Korub) Untuk Two Site*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember (UNEJ) Jln. Kalimantan 37, Jember 68121, 2014.
 - [13] S. Faiq, Sugito, I Nyoman Suidiana, *Analisa Unjuk Kerja Teknologi Komunikasi Free Space Optic Dengan Lambda 1550nm*, Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2007.
 - [14] G. Sharma, dan L. Tharani, *Performance Evaluation of WDM-FSO based Hybrid Optical Amplifier using Bessel filter*, *Department of Electronics Engineering, Rajasthan Technical University*, Kota 32401, (IEEE), India, April 3-5, 2018.
 - [15] E. Roza, dan M. Mujirudin, *Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya*, *Rekayasa Teknologi Vol. 6, No. 2*, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta, 2013.
 - [16] N. E. Musa, *Analisis Performansi Arrayed Waveguide Gratings Menggunakan Filter Fiber Bragg Gratings Pada Jaringan Scm/Wdm Radio Over Fiber*, Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi, UIN SUSKA Riau, 2016.
 - [17] A. F. Isnawati, Riyanto, dan A. E. Wijayanti, *Pengaruh Dispersi Terhadap Kecepatan Data Komunikasi Optik Menggunakan Pengkodean Return To Zero (Rz) Dan Non Return To Zero (Nrz)*, *Jurnal Infotel Volume 1, Nomor 2*, November, 2009.
 - [18] S. Anugrah, *Analisis Performansi Sistem FSO-DWDM pada Kondisi Cuaca Berbeda-beda*, Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi, UIN SUSKA Riau, 2017.

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.

- [19] ITU. "ITU-T G. 698.1 *SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Multichannel DWDM applications with single-channel optical interfaces*".ITU-T.2009.
- [20] R. Susanti, Modul Praktikum Sistem Komunikasi Jaringan Optik, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN SUSKA Riau, 2017.
- [21] E. Roza, dan M. Mujirudin, Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya, Rekayasa Teknologi Vol. 6, No. 2, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta, 2013.



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Rendi Rahmadhan Saifullah, lahir di Duri pada 27 Januari 1996 anak kedua dari lima bersaudara dari Bapak Saiful Efendi dan Ibu Erna Wati yang beralamat di Jln. Bakti Kopelapip Kec. Pematang Pudu Kab. Bengkalis Riau. Penulis dapat dihubungi melalui :

Email : rendiramadhan73@gmail.com

HP. : +6282288010159

Pengalaman Pendidikan yang pernah ditempuh penulis dimulai dari SD Negeri 17 Mandau pada tahun 2003 – 2009 dan dilanjutkan di SMP Negeri 15 Mandau pada tahun 2009 - 2012, Kemudian melanjutkan di SMA Negeri 4 Mandau pada tahun 2012 -2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan kuliah di perguruan tinggi UIN SUSKA RIAU Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Telekomunikasi dengan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Cuaca Terhadap Performansi Sistem *Free Space Optic* dengan Teknologi SS-WDM MIMO”

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.