

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.

**PENGARUH DEBU TERHADAP JARAK TRANSMISI
SISTEM SS-WDM-MIMO *FREE SPACE OPTICS*
MENGUNAKAN MODULASI QPSK**

TUGAS AKHIR

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



Oleh :

DEDI RIO SAPUTRO
11655101135

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

2020

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 DEBU TERHADAP JARAK TRANSMISI
SISTEM SS-WDM-MIMO *FREE SPACE OPTICS*
MENGUNAKAN MODULASI QPSK**

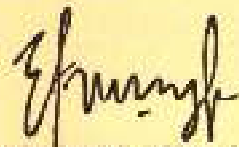
TUGAS AKHIR

Oleh:

DEDI RIO SAPUTRO
11655101135

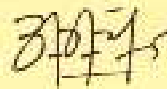
Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 8 Juli 2020

Ketua Program Studi



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

Pembimbing



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

Hak cipta dimiliki oleh 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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH DEBU TERHADAP JARAK TRANSMISI SISTEM SS-WDM-MIMO *FREE SPACE OPTICS* MENGUNAKAN MODULASI QPSK

TUGAS AKHIR

Oleh :

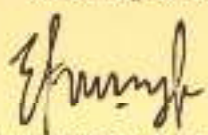
DEDI RIO SAPUTRO
11655101135

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 8 Juli 2020

Pekanbaru, 8 Juli 2018

Mengesahkan,


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


Ketua Program Studi
Evi Ismaradah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

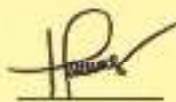
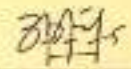
DEWAN PENGUJI :

Ketua : Dr. Harris Simaremare, ST., M.T

Sekretaris : Rika Susanti, ST., M.Eng

Anggota I : Mulyono, ST., MT

Anggota II : Husdi Radiles, ST., MT



Juli 2020

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.



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, 8 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,

Dedi Rio Saputro
NIM. 11655101135

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 mengurniikan 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.

LEMBAR PERSEMBAHAN

*Tugas Akhir ini tercipta atas inisiasi saya sendiri dan saya persembahkan untuk
Kedua Orang tua saya dan seluruh komponen yang mendukung saya.
Dan sebagai penutup atas karya ini*

*Roses are red
Violet are blues
And My Tugas Akhir Goes
ST-ST-ST-ST...*

R Saputro Dedi 2020



PENGARUH DEBU TERHADAP JARAK TRANSMISI SISTEM SS-WDM-MIMO *FREE SPACE OPTICS* MENGUNAKAN MODULASI QPSK

DEDI RIO SAPUTRO
NIM : 11655101135

Tanggal Sidang : 23 Juni 2020

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

ABSTRAK

Penggunaan serat optik sebagai teknologi *backbone* masih menjadi primadona namun proses pemasangan yang rumit menjadikan kelemahan yang belum dapat diatasi hingga kini. Teknologi FSO (*Free Space Optic*) menawarkan proses instalasi yang mudah karena menggunakan media transmisi atmosfer. FSO merupakan teknologi *backbone wireless* yang menawarkan *bandwidth* dan *bitrate* yang besar dan juga proses pemasangan yang mudah. Debu menyebabkan absorpsi cahaya dan mempengaruhi kinerja FSO. Pada penelitian ini menentukan jarak transmisi maksimum dan *bitrate* maksimum yang bisa ditransmisikan pada sistem ini dengan kondisi konsentrasi debu 20, 40, 60, 80, 100, dan 120 gr/bulan/m². Berdasarkan hasil simulasi sistem SS-WDM-MIMO FSO dapat mencapai jarak transmisi maksimum dengan *bitrate* 1,25 Gbps di kondisi debu 20 gr/bulan/m² dengan model kim sejauh 29.000 m dan model kruse sejauh 37.000 m. Pada konsentrasi debu 120 gr/bulan/m² dengan *bitrate* yang sama data mampu ditransmisikan dengan model kim hingga 1.000 m dan model kruse hingga 6.000 m. Pada *bitrate* 40 Gbps dan konsentrasi debu 20 gr/bulan/m² sistem mampu mentransmisikan jarak hingga 4.000 m pada model kim dan 12.000 m pada model kruse. Dan pada konsentrasi debu 120 gr/bulan/m² dengan *bitrate* yang sama data mampu ditransmisikan hingga 3.000 m pada model kruse sedangkan pada model kim tidak dapat mentransmisikan data.

Kata Kunci: *Free Space Optic*, BER, SS-WDM, MIMO, Debu



THE DUST EFFECT OF A TRANSMISSION RANGE SS-WDM-MIMO FREE SPACE OPTICS SYSTEM USING QPSK MODULATION

DEDI RIO SAPUTRO
Student Number : 11655101135

Date of Examination : 23 Juni 2020

Program Study of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas KM 15 No. 155 Pekanbaru

The use of optical fiber as a backbone technology is still to be excellent, but the complicated installation process makes weaknesses that have not been overcome until now. FSO (Free Space Optic) technology offers an easy installation process because it uses atmospheric transmission media. FSO is a wireless backbone technology that offers a large bandwidth and bitrate as well as an easy installation process. Dust causes light absorption and affects FSO performance. In this study determine the maximum transmission distance and maximum bit rate that can be transmitted in this system with the conditions of dust concentration of 20, 40, 60, 80, 100, and 120 gr/month/m². Based on the simulation results of the SS-WDM-MIMO FSO system, it can achieve maximum transmission distances with a bitrate of 1.25 Gbps in dust conditions of 20 gr/month/m² with kim models as far as 29.000 m and kruse models as far as 37.000 m. At a dust concentration of 120 gr/month/m² with the same bitrate the data can be transmitted with kim models up to 1.000 m and kruse models up to 6.000 m. At a bitrate of 40 Gbps and a dust concentration of 20 gr/month/m² the system is able to transmit distances of up to 4.000 m on the kim model and 2.000 m on the kruse model. And at a dust concentration of 120 gr/month/m² with the same bitrate the data can be transmitted up to 3.000 m in the kruse model while in the kim model it cannot transmit data.

Key Words : Free Space Optic, BER, SS-WDM, MIMO, Dust

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Mengucap puji dan syukur kehadiran Allah SWT. yang telah menaruhkan karunia, rahmat, nikmat dan hidayah-Nya kepada penulis. Shalawat beriring salam untuk rasul kita Nabi Muhammad SAW. sebagai seorang tauladan bagi seluruh umat di dunia yang telah membawa kita dari alam kegelapan hingga alam yang terang benderang seperti yang kita rasakan saat ini. Atas izin Allah SWT penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "PENGARUH DIBU TERHADAP JARAK TRANSMISI SISTEM SS-WDM-MIMO FREE SPACE OPTICS MENGGUNAKAN MODULASI QPSK".

Maksud dan tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan program Studi Strata-I pada Program Studi Teknik Elektro di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Penulis menyadari bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang berpengaruh dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Diantara lain kepada :

1. Teristimewa Kedua Orang tua penulis, serta adik yang telah mendukung dan memberikan dukungan, serta motivasi agar penulis dapat tawakal dan sabar sehingga sukses memperoleh kelancaran dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Kh. Ahmad Mujahidin, 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 Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri 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.

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

5. Bapak Mulyono, S.T., M.T selaku Sekretaris Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dan sebagai selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan ide dalam menyusun laporan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T, selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi selalu membantu memberikan inspirasi dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Ibu Rika Susanti, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Bapak Hasdi Radiles, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan ide dalam menyusun laporan Tugas Akhir ini.
9. Pimpinan, staff pengajar (Dosen) dan karyawan Program Studi Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi.
10. Della Indriyani dan keluarga yang telah menemani penulis selama menempuh perkuliahan.
11. Sahabat sepermainan Bobby Desriyanto, Bima Alnur, Norvan Mukhtar, Muhammad Fadli Pratama, yang telah menemani penulis selama diperkuliahan.
12. Teman-Teman Telekomunikasi angkatan 2016 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu, memberikan dorongan dan motivasi selama diperkuliahan.
13. Kakanda Angga Kurniawan, Ismawardi, Fadly Gustiawan, serta kakanda dan adinda Telecomunitas lainnya yang telah memberikan dorongan dan semangat kepada penulis.
14. Rekan-Rekan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau khususnya angkatan 2016
15. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberi motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini mulai dari awal hingga selesai yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya semogailmu yang diberikan dapat bermanfaat.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik dimasa yang akan datang.

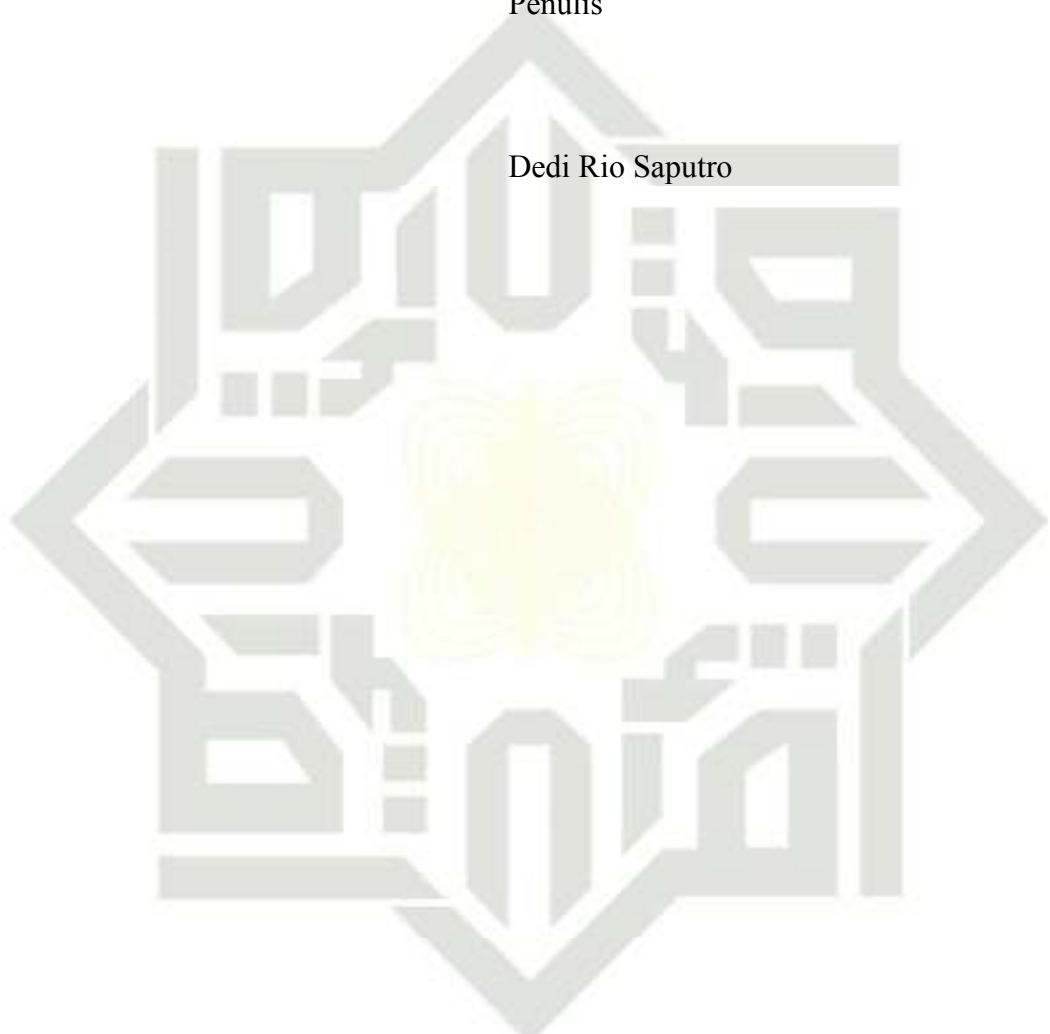
Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca dimasa mendatang.
Amin

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Pekanbaru, Juli 2019

Penulis

Dedi Rio Saputro



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.

DAFTAR ISI

COVER.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-4
1.4 Batasan Masalah.....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 <i>Free Space Optic</i> (FSO)	II-2
2.3 <i>Optical Source</i>	II-3
2.3.1 <i>Light Emitting Diode</i> (LED)	II-3
2.3.2 <i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> (LASER)	II-4
2.4 <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK).....	II-6
2.5 <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO)	II-7
2.6 <i>Spectrum Slicing Wavelength Division Multiplexing</i> (SS-WDM)	II-8
2.7 <i>Optical Receiver</i>	II-9
2.8 Efek Debu.....	II-10

2.9 <i>Bit Error Rate</i> (BER)	II-11
2.10 <i>Optisystem</i>	II-12
2.11 Desain Simulasi	II-13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	III-1
3.2 Tahapan Penelitian	III-1
3.3 Model Sistem	III-3
3.4 Parameter <i>Set-Up</i>	III-7
3.5 Skenario Penelitian	III-11
3.5.1 Penentuan Jarak Transmisi Maksimum	III-11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Verifikasi Model Sistem	IV-1
4.2 Pengaruh <i>Bitrate</i> Terhadap Jarak Transmisi Pada Konsentrasi Debu Menggunakan Model Kim	IV-3
4.3 Pengaruh <i>Bitrate</i> Terhadap Jarak Transmisi Pada Konsentrasi Debu Menggunakan Model Kruse	IV-12
4.4 Pengaruh Konsentrasi Debu Terhadap Jarak Transmisi Pada Konsentrasi Debu Menggunakan Model Kim	IV-23
4.5 Pengaruh Konsentrasi Debu Terhadap Jarak Transmisi Pada Konsentrasi Debu Menggunakan Model Kruse	IV-33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

2.1 Blok Diagram FSO	II-3
2.2 Simbol LED	II-4
2.3 Struktur Dasar Laser	II-4
2.4 Skema QPSK	II-6
2.6 Blok diagram QPSK	II-7
2.7 Hasil Sinyal Modulasi QPSK	II-7
2.8 Blok Diagram MIMO	II-8
2.9 Diagram Mata	II-12
3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	III-2
3.2 <i>Flowchart</i> Simulasi	III-3
3.3 Model sistem Menggunakan Software Optisystem	III-4
3.4 Kanal WDM	III-5
3.5 Loop System	III-5
3.6 Grafik Konsentrasi Debu Terhadap <i>Visibilty</i>	III-10
3.7 Grafik Perbandingan Redaman Model KIM dan Kruse	III-10
4.1 Eye Pattern Model Sistem <i>Bitrate</i> 2.5 Gbps Daya 25 dBm Jarak 1000m	IV-2
4.2 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 1,25 Gbps	IV-3
4.3 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 2,5 Gbps	IV-4
4.4 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 10 Gbps	IV-5
4.5 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 20 Gbps	IV-6
4.6 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 40 Gbps	IV-7
4.7 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 1,25 Gbps	IV-8
4.8 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 2,5 Gbps	IV-9
4.9 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 10 Gbps	IV-10
4.10 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 20 Gbps	IV-11
4.11 Grafik Performansi FSO pada Bitrate 40 Gbps	IV-12

DAFTAR TABEL

2.1 <i>Range</i> Panjang Gelombang	II-5
2.2 Klasifikasi Penggunaan Sumber Optik (IEC).....	II-5
2.3 Klasifikasi Keamanan Sumber Optik (IEC)	II-6
3.1 Komponen <i>Optisystem</i>	III-6
3.2 Parameter <i>Global Set up</i> pada <i>Optisystem</i>	III-7
3.3 Parameter CW LASER.....	III-8
3.4 Parameter Masukan PRBS	III-8
3.5 Parameter Redaman <i>FSO Channel</i>	III-9
3.6 Parameter <i>Photodetector</i> PIN.....	III-11

DAFTAR RUMUS

Persamaan 2.1	II-8
Persamaan 2.2	II-8

DAFTAR SINGKATAN

BER	=	<i>Bit Error Rate</i>
CW	=	<i>Continuous Wave</i>
SS-WDM	=	<i>Spectrum Slicing-Wavelength Division Multiplexing</i>
ITU-T	=	<i>International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector</i>
LASER	=	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LED	=	<i>Light Emitting Diode</i>
MZM	=	<i>Mach Zender Modulator</i>
NRZ	=	<i>Non Return to Zero</i>
RZ	=	<i>Return to Zero</i>
PD	=	<i>Photodetector</i>
PIN	=	<i>Possitive Intrinsic Negatif</i>
PRBS	=	<i>Pseudo Random Binary Sequence</i>
M	=	<i>Meter</i>
Gr	=	<i>Gram</i>
Gbps	=	<i>Gigabyte Per Second</i>
QPSK	=	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
FSO	=	<i>Free Space Optics</i>

BAB I PENDAHULUAN

1 Latar Belakang

Layanan telekomunikasi telah menjadi kebutuhan dasar makhluk hidup, sehingga permintaan layanan telekomunikasi yang semakin tinggi mengikuti alur perkembangan zaman. Layanan telekomunikasi terus berkembang demi menjawab kebutuhan tersebut. Dalam perkembangannya telah digunakan beberapa media transmisi untuk menghantarkan informasi.

Dalam kurun waktu dua dekade ini serat optik telah digunakan sebagai media transmisi pada jaringan *backbone*. Karena mampu menghantarkan sinyal informasi dalam kecepatan cahaya selain itu penggunaan serat optik menawarkan keamanan data lebih baik dari media transmisi lain[1]. Namun penggunaan serat optik sebagai media transmisi memiliki kekurangan karena membutuhkan biaya pemasangan yang besar, proses pemasangan yang sulit. Dengan adanya aturan pelarangan penggunaan kabel di udara sehingga pemasangan serat optik dilakukan melalui di dalam tanah. Sehingga dibutuhkan teknologi *backhaul* yang pemasangannya mudah dan tidak membutuhkan lisensi. Oleh karena itu digunakan teknologi FSO (*Free Space Optic*).

Sistem komunikasi FSO (*Free Space Optic*) merupakan inovasi pada sistem komunikasi optik yang mampu menjawab kebutuhan teknologi komunikasi di masa yang akan mendatang, dengan menghadirkan komunikasi data yang fleksibel. FSO digunakan karena memiliki *bandwidth* dan *bitrate* yang lebih besar dibandingkan sistem komunikasi nirkabel lainnya. Sistem komunikasi FSO menawarkan komunikasi optik *wireless point to point* di atmosfer dengan konsep *line of sight* yang mengirimkan sinyal informasi menggunakan sinyal cahaya yang bersumber dari Laser dan LED[2].

Akan tetapi penggunaan FSO rentan terhadap pengaruh yang disebabkan oleh kondisi atmosfer, sehingga mempengaruhi kinerja FSO. Debu merupakan salah satu kondisi yang mampu mempengaruhi kinerja FSO. Dekade ini penelitian tentang FSO telah banyak dilakukan oleh para peneliti untuk melihat pengaruh atmosfer FSO. Pada Tahun 2018 [2] melakukan penelitian dan membahas sistem komunikasi FSO dengan pengaruh efek debu. Pada penelitian ini digunakan dua pemodelan debu yaitu model kim dan kruse. Pada penelitian ini didapatkan grafik konsentrasi debu terhadap jarak pandang dan juga grafik konsentrasi debu terhadap redaman.

Pada tahun 2018 [3] melakukan penelitian dan membahas FSO pada efek debu, untuk mengetahui jarak transmisi maksimum yang dapat ditempuh dengan konsentrasi debu yang bervariasi. Pada konsentrasi debu terbesar 1.300 *m* pada panjang gelombang 1.550 *nm*

Teknik modulasi menjadi pemeran utama dalam sistem komunikasi sebagai pengirim sinyal informasi. Teknik modulasi mempengaruhi laju kesalahan data yang dapat mempengaruhi BER (*Bit Error Rate*) sehingga dapat mempengaruhi jarak tempuh transmisi.

Pada tahun 2018 [4] melakukan penelitian dan membahas sistem komunikasi FSO dengan membandingkan modulasi ASK dan PSK. Penelitian ini meneliti menggunakan pengaruh berbagai cuaca. Pada penelitian menyatakan bahwa modulasi PSK lebih baik daripada modulasi ASK.

Dengan meningkatkan jumlah kanal dapat meminimalkan jumlah dispersi sehingga dapat meningkatkan *bandwidth*. pada tahun 2016 [5] melakukan penelitian dan membahas sistem komunikasi optik nirkabel dengan metode Single Input Single Output (SISO), dan Multi Input Multi Output (MIMO). dan MIMO 4 Transmitter (TX) / 4 Receiver (RX). Pada penelitian ini menyatakan bahwa teknik MIMO lebih baik daripada teknik SISO. Dengan menggunakan teknik MIMO mampu meningkatkan jarak transmisi karena jumlah kanal yang lebih banyak sehingga mampu mengurangi atenuasi.

Untuk meningkatkan kinerja FSO digunakan teknik *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Teknik *multiplexing* berguna untuk meningkatkan *bitrate* sehingga meningkatkan *bandwidth*. Teknologi WDM berkembang agar dapat mentoleransi dispersi yang terjadi. Pada tahun 2018 [6] membandingkan teknik *multiplexing* dengan menggunakan *Spectrum Slicing Wavelength Division Multiplexing* (SS-WDM) dan tanpa menggunakan SS-WDM-MIMO. Memperhatikan pengaruh cuaca hujan lebat. Dihasilkan bahwa teknik SS-WDM-MIMO memiliki performansi lebih baik daripada komunikasi tanpa menggunakan SS-WDM. Dengan teknologi SS-WDM-MIMO mampu efisiensi *bandwidth*

Pada tahun yang sama dilakukan penelitian [7] membahas mengenai desain dan analisis performansi sistem komunikasi FSO menggunakan modulasi ASK dan menggunakan teknik *multiplexing* SS-WDM menggunakan 4 kanal. menghasilkan BER yang masih memenuhi standar di jarak 2,5 Km.

Dari penelitian yang telah dipaparkan, sistem FSO pada penelitian [3] dapat ditingkatkan jarak transmisinya dengan menggunakan teknik SS-WDM-MIMO. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melanjutkan penelitian [3] dengan judul Pengaruh Debu Terhadap Performansi Sistem *Free Space Optics* Dengan Teknologi SS-WDM-MIMO-FSO Menggunakan Teknik Modulasi QPSK.

2

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian adalah bagaimana pengaruh debu terhadap jarak sistem SS-WDM-MIMO-FSO menggunakan teknik modulasi QPSK?

3

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui Pengaruh Debu Terhadap jarak sistem SS-WDM-MIMO-FSO menggunakan teknik modulasi QPSK.

4

Batasan Masalah

Agar penulisan ini lebih dari terarah dan tujuan yang diharapkan tercapai, maka di tetapkan batasan-batasan masalah yang akan diteliti, yaitu :

1. Parameter performansi yang di analisis menggunakan *Bit Error Rate* (BER).
2. Pada penelitian tidak membahas mengenai konsep MIMO

5

Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi tambahan atau penelitan selanjutnya. Disamping itu juga dapat dijadikan sebagai acuan untuk *engineer* dalam mengimplementasikan sistem komunikasi FSO dengan teknik SS-WDM-MIMO menggunakan teknik modulasi QPSK dengan memperhatikan pengaruh debu di atmosfer.

BAB II

PENELITIAN TERKAIT

2.1 Penelitian Terkait

Free Space Optics (FSO) Merupakan sebuah teknologi komunikasi yang mengirimkan sinyal informasi berupa cahaya yang bersumber dari Laser dan *Light Emitting Diode* (LED). Informasi ditransmisikan melalui atmosfer berupa paket data, suara, dan komunikasi video.

Sistem komunikasi FSO telah banyak dikembangkan dan diteliti. Pada Tahun 2018 [2] melakukan penelitian dan membahas sistem komunikasi FSO dengan pengaruh efek debu. Peneliti menggunakan dua panjang gelombang sebesar 784 nm dan 1550 nm. Dengan memperhatikan konsentrasi debu sebesar 20, 40, 60, 80, 100, dan 120 gr/bulan/m². Diperoleh grafik konsentrasi debu terhadap jarak pandang dan juga grafik konsentrasi debu terhadap redaman.

Pada tahun 2018 [3] melakukan penelitian dan membahas FSO pada efek debu, untuk mengetahui jarak transmisi maksimum yang dapat ditempuh dengan konsentrasi debu yang bervariasi. Menggunakan panjang gelombang sebesar 784 nm dan 1550 nm. Menggunakan daya 10 dBm dan *bitrate* 2,5 Gbps. Pada penelitian tersebut meneliti kinerja FSO dengan pengaruh konsentrasi debu. Pada konsentrasi debu terbesar jarak transmisi maksimum sejauh 1.200 m pada panjang gelombang 784 nm dan 1.300 m pada panjang gelombang 1.550 nm.

Pada tahun 2018 [4] melakukan penelitian dan membahas sistem komunikasi FSO dengan membandingkan modulasi ASK dan PSK. Pada penelitian ini digunakan *bitrate* 10 Gbps dengan frekuensi 193.1 THz. Dan menambahkan Coupler-Based Delay untuk meminimalkan dispersi yang terjadi. Penelitian ini meneliti menggunakan pengaruh berbagai cuaca berupa kabut tebal, hujan, kabut tipis, salju, dan kabut sedang. Pada penelitian menyatakan bahwa modulasi PSK memiliki nilai Q-Factor lebih baik daripada modulasi ASK.

Dengan menggandakan jumlah *transmitter* dan *receiver* mampu meningkatkan jumlah kanal sehingga meningkatkan *bandwidth*. pada tahun 2016 [5] melakukan penelitian dan membahas sistem komunikasi FSO dengan metode *Single Input Single Output* (SISO), dan MIMO 4 Transmitter (TX) / 4 Receiver (RX). Dengan menggunakan *bitrate* 5 Gbps, daya 300 mW, dan panjang gelombang 650, 850, dan 1550 nm. Penelitian ini

memperhatikan pengaruh hujan dan kabut. Pada penelitian ini menyatakan bahwa teknik MIMO memiliki Q-Factor lebih baik daripada teknik SISO. Dengan menggunakan teknik MIMO mampu meningkatkan jarak transmisi karena jumlah kanal yang lebih banyak sehingga mampu mengurangi atenuasi.

Pada tahun 2018 [6] membandingkan teknik multiplexing dengan menggunakan *Spectrum Slicing Wavelength Division Multiplexing* (SS-WDM) dan tanpa menggunakan *Spectrum Slicing Wavelength Division Multiplexing*. Memperhatikan pengaruh cuaca hujan lebat. Pada penelitian ini menggunakan *bitrate* 1.56 Gbps, dengan panjang gelombang 1550 nm dan daya 25 dbm. Dihasilkan bahwa teknik SS-WDM memiliki BER lebih baik daripada komunikasi tanpa menggunakan SS-WDM. Sehingga pada menggunakan SS-WDM jarak dapat ditempuh lebih jauh daripada tanpa menggunakan SS-WDM.

Di tahun yang sama [7] melakukan penelitian tentang mendesain sistem dan melakukan analisis performansi pada sistem komunikasi FSO dengan menggunakan teknik modulasi ASK dan teknik multiplexing SS-WDM menggunakan 4 kanal. Dan menggunakan redaman sebesar 5 db/Km dan menggunakan jarak sejauh 2,5 Km.

2.2 Free Space Optics

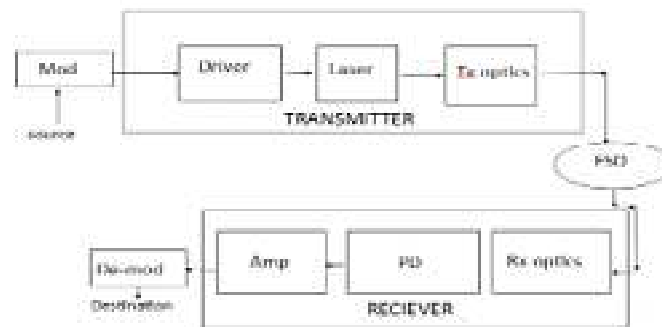
Sistem Komunikasi FSO merupakan pengembangan dari sistem komunikasi optik, di mana komunikasi FSO tidak menggunakan kabel pada media transmisinya. Melainkan Menggunakan media atmosfer untuk melewatkan informasi yang dibawanya melalui cahaya. FSO merupakan komunikasi *wireless point to multi point*. FSO sendiri merupakan sistem komunikasi andalan pada jaringan *backbone* karena sifatnya yang fleksibel dan memiliki durability lebih baik dibandingkan dengan komunikasi serat optik[8]

Terdapat keunggulan dari penggunaan sistem komunikasi FSO bila dibandingkan dengan sistem komunikasi nirkabel lainnya, yaitu memiliki *bandwidth* yang lebih lebar, biaya instalasi yang lebih murah bila dibandingkan dengan serat optik, lebih mudah dan cepat pada proses transmisi, tidak membutuhkan lisensi, praktis karena *transceiver* FSO dapat diletakkan di dekat jendela maupun pada atap gedung, serta memiliki tingkat keamanan sistem yang tinggi karena tidak dapat dideteksi oleh *spectrum analyzer* maupun RF meter[8].

Sistem FSO dapat dioperasikan pada *bitrate* 1-100 Gbps bergantung dari panjang gelombang dan teknik modulasi yang digunakan. Sistem FSO yang digunakan secara komersial akan desain untuk beroperasi pada daerah inframerah dalam spektrum

elektromagnetik, yaitu dengan panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm bergantung pada penggunaan..Dengan frekuensi *carrier* FSO yaitu 193 THz (1550 nm) sampai dengan 350 THz (850 nm).

Prinsip kerja Sistem komunikasi FSO memiliki kesamaan dengan sistem komunikasi optik. Adapun cara kerja sistem komunikasi FSO dapat dilihat pada blok diagram di gambar 2.1,



Gambar 2.1 Blok Diagram FSO[9]

Dimana sumber pesan merupakan sinyal elektrik yang kemudian diubah menjadi sinyal digital, dan kemudian sinyal digital diubah menjadi sinyal informasi berbentuk cahaya yang dihasilkan dari sumber optik di *transmitter*. Kemudian sinyal informasi dikirim menuju penerima yang diterima oleh *receiver* dan diubah menjadi sinyal elektrik.

2.3 Optical Source

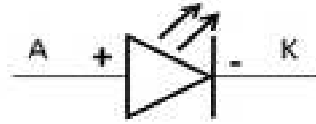
Pada suatu sistem komunikasi optik, *optical source* merupakan satu *subsystem* yang terdiri dari beberapa komponen yang dapat memancarkan cahaya yang membawa sinyal informasi. Bagian utama pada *optical source* ini berupa perangkat yang dapat mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik dan mentransmisikan menuju penerima.

Pada komponen *optical source* terdapat dua jenis sumber cahaya yang digunakan untuk mengirim suatu cahaya informasi melalui atmosfer, yakni LED (*Light Emitting Diode*) dan juga LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)[10].

2.3.1 Light Emitting Diode (LED)

LED merupakan suatu diode semikonduktor yang dapat 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[10].

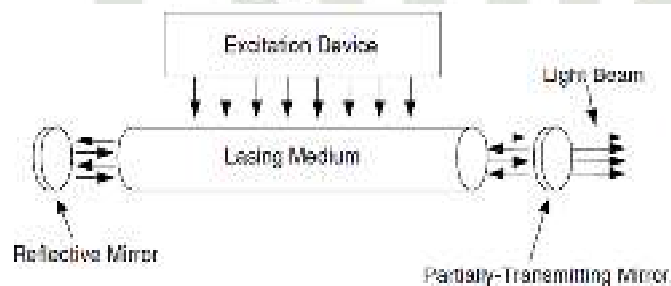


Gambar 2.2 Simbol LED[9]

LED memiliki lebar spektral (*spectral width*) 30-50 nm pada panjang gelombang 850 nm dan 30-150 nm pada panjang gelombang 1300 nm[10].

2.3.2 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

Laser dalam hal 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 tersebut dapat dilihat dari aspek keluaran daya optik, panjang gelombang, dan umur sistem yang sangat dipengaruhi oleh temperatur operasi. Pada gambar 2.3 merupakan struktur dasar Laser[10].



Gambar 2.3 Struktur Dasar Laser

Beberapa keuntungan dari penggunaan laser, antara lain :

- Daya optik yang dikeluarkan tinggi.
- Memiliki lebar spektrum yang kecil.
- Terlindung penguatan cahaya.
- Radiasi yang dikeluarkan terarah.

Komunikasi optik semakin berkembang sehingga menuntut adanya standarisasi dalam penggunaan panjang gelombang. Standarisasi ditetapkan agar perangkat optik yang berbeda pabrikan dapat digunakan dalam satu jaringan serat optik. Dilakukan pembagian panjang gelombang menurut wilayah kerjanya, baik dalam jarak transmisi ataupun besar rugi-rugi yang terjadi. Terdapat tiga *range* panjang gelombang dalam komunikasi optik sebagai berikut yang diterangkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Range* Panjang Gelombang

Wilayah Kerja	Range Jendela Panjang Gelombang	Operasi Panjang Gelombang
Jendela Pertama	800 nm – 900 nm	850 nm
Jendela Kedua	1260 nm – 1360 nm	1310 nm
Jendela Ketiga	1500 nm – 1600 nm	1550 nm

Penggunaan daya pada transmitter diawasi dan memiliki ketentuan oleh *International Electrotechnical Commission* (IEC). IEC mengklasifikasikan ketentuan penggunaan laser sebagai sumber optik. Penggunaan daya dan frekuensi dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Klasifikasi Penggunaan Sumber Optik (IEC)

Kelas	650 nm cahaya tampak	880 nm infrared	1310 nm infrared	1550 nm infrared
Kelas 1	<0,2 mW	< 0,5 mW	< 8,8 mW	< 10 mW
Kelas 2	0,2 – 1 mW	n/a	n/a	n/a
Kelas 3A	1 – 5 mW	0,5 – 2,5 mW	8,8 – 45 mW	10 – 50 mW
Kelas 3B	5 – 500 mW	2,5 – 500 mW	45 – 500 mW	50 – 500 mW

Tabel 2.3 memperlihatkan tingkat keamanan untuk setiap kelas. Sistem *wireless* optik jarak jauh menggunakan sumber optik kelas 3B untuk menghasilkan *bitrate* yang tinggi. Kelas 1 sangat dianjurkan untuk sistem *wireless* optik *indoor* karena pancarannya aman dalam berbagai keadaan. Perangkat optik yang digunakan dapat digunakan tanpa memerlukan tindakan pencegahan atau penanganan keselamatan yang khusus.

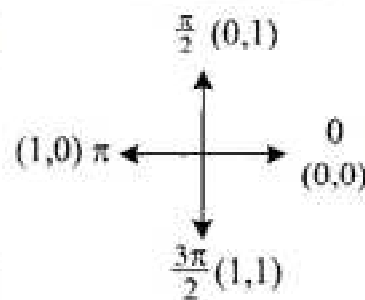
Tabel 2.3 Klasifikasi Keamanan Sumber Optik (IEC)

Kelas	Interpretasi
Kelas 1	Aman untuk dilihat langsung
Kelas 2	Diperlukan pelindung mata untuk mengatasi respon kedipan mata
Kelas 3A	Aman untuk dilihat tanpa pelindung mata
Kelas 3B	Melihat langsung sangat membahayakan

Dari tabel 2.3 tentang jendela panjang gelombang diatas telah dijelaskan bahwa panjang gelombang yang biasa digunakan adalah 850 nm, 1310 nm dan 1550 nm. Adapun fungsi pada panjang gelombang 850 nm digunakan untuk komunikasi data yang beroperasi pada transmisi jarak yang dekat seperti LAN, sedangkan fungsi pada panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm digunakan untuk mentransmisikan data pada jarak jauh karena memiliki kelebihan atenuasi yang kecil[11]

2.4 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) merupakan pengembangan dari modulasi PSK. QPSK merupakan transmisi 2-bit yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 menggambarkan skema modulasi QPSK. Jika variasi terletak pada fase 0, maka mewakili sinyal data (0, 0). Jika variasi terletak pada fase $\pi/2$ maka mewakili sinyal data adalah (0, 1). Jika variasi terletak pada fase π , maka mewakili sinyal data adalah (1, 0). Jika variasinya terletak pada fase $3\pi/2$, maka mewakili sinyal data (1, 1)[8].



Gambar 2.4 Skema QPSK[8]

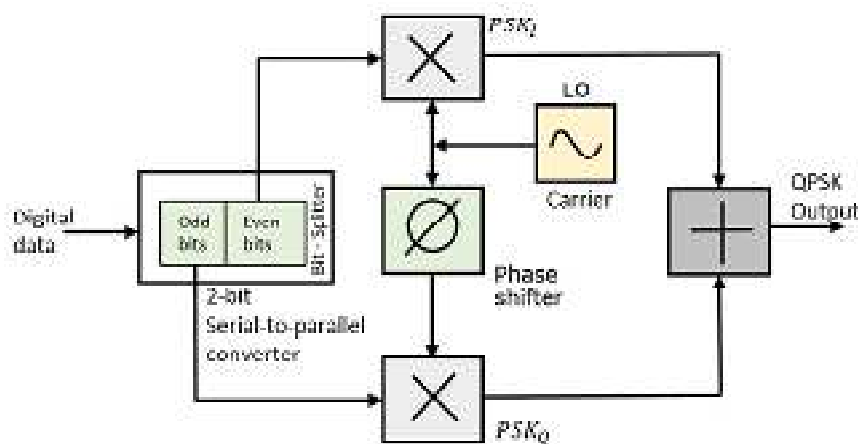
Modulasi QPSK bekerja dengan blok diagram yang tertera di Gambar. 2.5 Port input akan menghasilkan biner 00, 01, 10, 11. Yang dihasilkan dari odd bits dan even bits[8]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

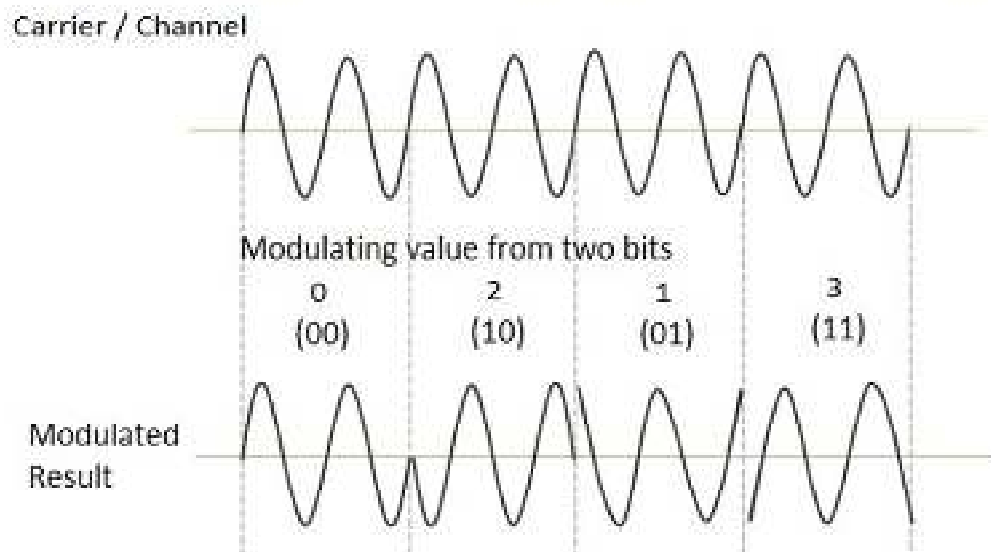
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan aporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengutipkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN SUSKA RIAU.



Gambar 2.5 Blok diagram QPSK[8]

Hasil gelombang keluaran yang dihasilkan dari modulasi QPSK dapat dilihat pada gambar 2.6 bentuk gelombang inilah yang kemudian ditransmisikan menuju penerima.



Gambar 2.6 Hasil Sinyal Modulasi QPSK[8]

2.5 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) 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 antena tiap pasangan antena pemancar dan penerima, sistem MIMO memperoleh peningkatan kapasitas yang signifikan sehingga kinerja sistem menjadi lebih baik

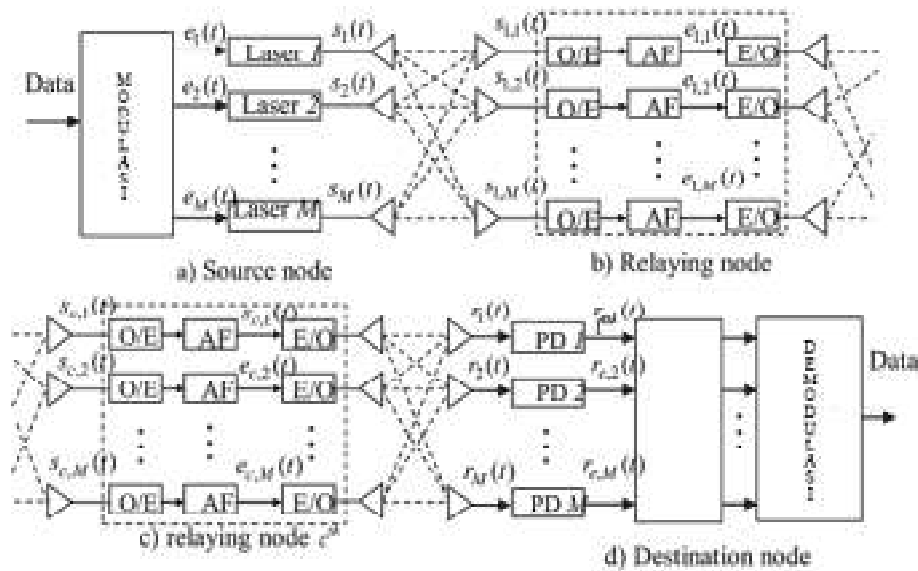
Hak Cipta di Lindungi Undang-Undang

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.

libandingkan dengan sistem konvensional *Single Input Single Output* (SISO) dimana informasi yang sama dapat dikirim dan diterima dari beberapa antena secara bersamaan[12].

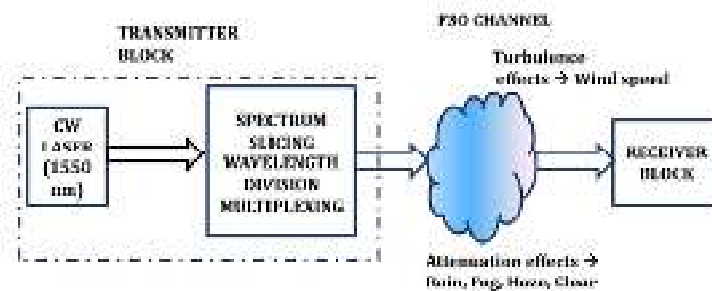


Gambar 2.7 Blok Diagram MIMO[12]

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[5].

2.6 *Spectrum Slicing Wavelength Division Multiplexing* (SS-WDM)

Teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) adalah merupakan teknologi penggabungan data dengan menggunakan *multi light source* yang memiliki panjang gelombang berbeda dalam satu media tunggal secara bersamaan. Iringan WDM dapat digunakan untuk aplikasi jarak jauh (*long haul*) maupun jarak dekat (*short haul*). Blok diagram SS-WDM dapat dilihat pada gambar 2.8[6].



Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem SS-WDM-FSO [6].

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 yaitu mengoptimalkan *bandwidth* dapat menggandakan jumlah data yang ditransmisikan empat kali lipat dengan menggunakan bentuk gelombang yang sama[6].

2.7 Optical Receiver (Photodetector)

Optical Receiver atau (*Photodetector*) merupakan perangkat penerimaan sinyal cahaya pada sistem komunikasi optik. *Optical receiver* merupakan kombinasi antara *optical detector*, *amplifier*, dan komponen-komponen lainnya untuk merubah kembali sinyal optik menjadi sinyal listrik. Dalam perancangan dan pemilihan perangkat *receiver* sangat berpengaruh dalam analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang dapat dideteksi oleh *photodetector*[13].

Untuk dapat persyaratan kinerja yang harus dipenuhi oleh *photodetector* yang meliputi:

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

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 untuk transmisi FSO terdapat 2 macam yaitu dioda PIN dan *Avalanche Photo Diode* (APD). Berikut ini merupakan perbedaan antara dua jenis detektor cahaya, yaitu diantaranya adalah[14] :

- 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.
- c. Detektor penerima PIN bereaksi baik pada *bit rate* rendah tetapi kurang sensitif ketika *bit ratenya* dinaikkan.
- d. 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 Efek Debu

Debu adalah partikel padat yang berukuran 0,1 hingga 25 mikro meter yang terbentuk dari proses penghancuran, peledakan dan pemecahan dari material organik atau anorganik seperti batu, bijih metal, batubara, kayu dan biji-bijian. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dan simulasi untuk menghitung performansi *Bit Error Rate* sistem FSO yang memiliki redaman yang disebabkan oleh partikel debu di atmosfer. Redaman yang disebabkan oleh debu dapat dihitung dengan cara menghitung jarak pandang mata dan konsentrasi debu di atmosfer. Visibilitas menjadi acuan dasar dalam menghitung attenuasi yang terjadi akibat pengaruh partikel debu di atmosfer. Untuk menghitung visibilitas dapat ditentukan dengan persamaan [2] :

$$V=7080 \times C^{-0,8} \quad (2.1)$$

dimana :

V adalah Visibilitas (dalam km)

C adalah Konsentrasi Debu

Besaran attenuasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [6] :

$$\alpha = \frac{3.19}{V} \times \left(\frac{\lambda}{8.55 \text{ nm}} \right)^{-q} \quad (2.2)$$

dimana :

α adalah attenuasi (dalam dB/km)

λ adalah panjang gelombang (dalam nm)

q adalah partikel di atmosfer

Nilai q diperoleh dengan menggunakan permodelan kruse :

Kruse : 1,6 jika $V > 50 \text{ Km}$

1,3 jika $6 \text{ Km} > V > 50 \text{ Km}$

$0,585 V^{\frac{1}{3}}$ jika $V < 6 \text{ Km}$

Jika menggunakan pemodelan kim :

Kim : 1,6 jika $V > 50 \text{ Km}$

1,3 jika $6 \text{ Km} > V > 50 \text{ Km}$

$0,16V + 0,34$ jika $1 \text{ Km} < V < 6 \text{ Km}$

$V - 0,5$ Jika $0,5 \text{ Km} < V < 1 \text{ Km}$

0 if $V < 0,5 \text{ Km}$

2.9 Bit Error Rate (BER)

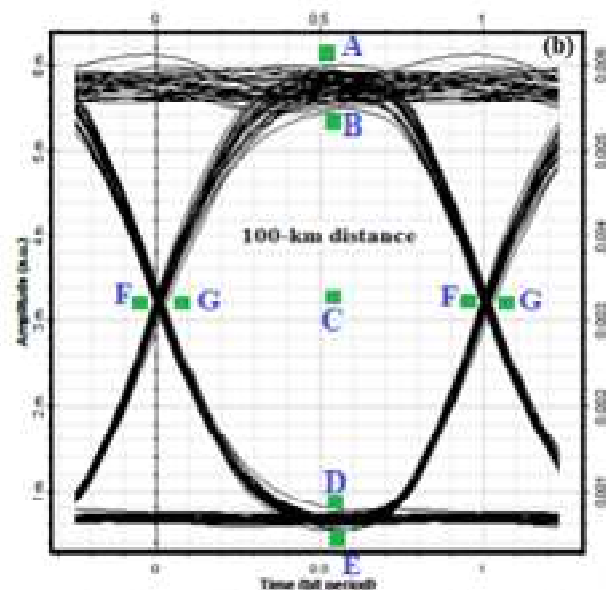
Bit Error Rate (BER) merupakan parameter performansi untuk jaringan komunikasi digital. BER didefinisikan sebagai jumlah kesalahan bit (NE) yang terjadi selama rentang waktu tertentu di bagi dengan jumlah bit (NT) yang dikirim dalam tentang waktu tertentu. Dalam komunikasi optik, BER menjadi indikator keberhasilan dan menjadi standar komunikasi optik. Standar BER untuk sistem komunikasi optik menggunakan WDM adalah 10^{-12} . Hal ini dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis berikut :

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

Pada *software Optisystem* terdapat komponen *BER Analyzer* yang berfungsi sebagai indikator untuk mengetahui performansi komunikasi. Pada gambar 2.9 ditampilkan diagram mata.

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 2.9 Diagram Mula[15]

Adapun A merupakan simbol untuk bit nilai 1 dan E untuk bit nilai 0. Semakin besar bukaan pada C maka semakin baik komunikasi. Dan pada F dan G merupakan delay yang terjadi pada sistem komunikasi[15].

2.10 Optisystem

Optisystem adalah perangkat lunak berupa *simulation tool* yang dapat digunakan untuk mendesain, melakukan pemodelan sistem, pengujian, dan optimasi jaringan optik secara virtual mulai dari jaringan video analog *broadcasting* sampai dengan jaringan *backbone*. *Optisystem* merupakan program simulasi yang dapat berdiri sendiri dan tidak bergantung kepada program simulasi yang lain. *Optisystem* juga berbasis pada pemodelan sistem komunikasi optik yang bersifat nyata dan mempunyai kemudahan dalam penambahan komponen dan dilengkapi dengan *interface* ke program simulasi yang lain seperti Matlab. Disamping itu *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 tertentu terhadap performansi sistem.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Pada bab ini akan dibahas bagaimana tahapan yang akan dilakukan oleh peneliti untuk melakukan penelitian. Adapun model sistem yang akan peneliti simulasikan adalah sistem *Free Space Optic* menggunakan teknik Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) dan menggunakan teknologi *Multi Input Multi Output* (MIMO) 4TRx dengan memperhatikan pengaruh efek debu. Pemodelan sistem akan di simulasikan menggunakan *Software Optisystem*. *Optisystem* merupakan perangkat lunak yang memungkinkan *user* untuk mendesain, mensimulasikan juga melakukan pengujian terhadap sistem komunikasi optik. Sehingga penelitian yang dilakukan menggunakan *Optisystem* mampu menghasilkan nilai yang akurat dan tanpa keterbatasan.

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif karena peneliti melakukan perancangan, permodelan, dan simulasi kemudian hasil perancangan di analisis dengan memperhatikan nilai *Bit Error Rate* (BER) dan *Quality Factor* (Q-Factor)

3.2 Tahapan Penelitian

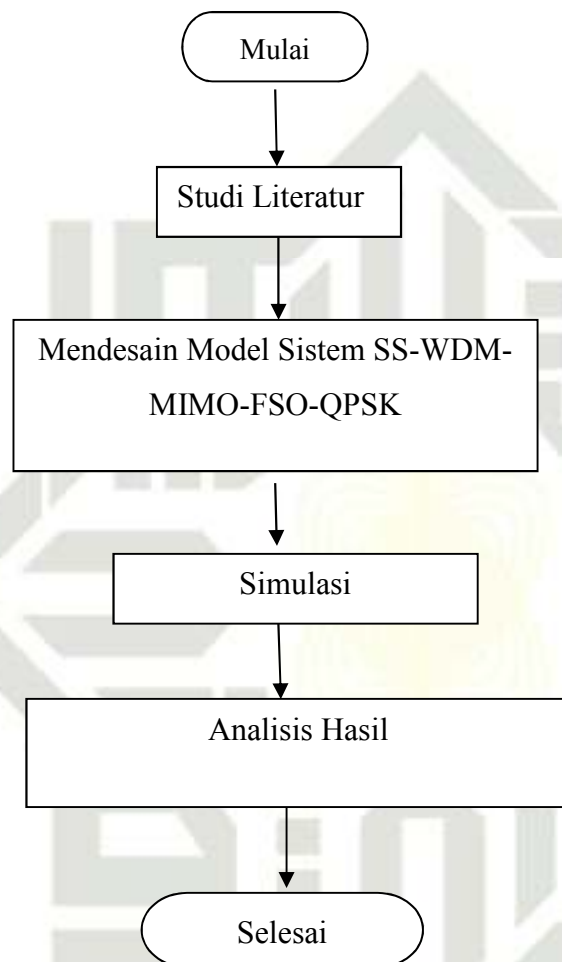
Pada tahapan penelitian ini dijelaskan bagaimana peneliti melakukan penelitian yang dilakukan untuk pembuatan Tugas Akhir. Langkah pertama yang dilakukan peneliti adalah melakukan *literatur review* di mana proses ini peneliti mencari referensi guna menemukan masalah yang dapat digunakan untuk pembuatan Tugas Akhir ini.

Selanjutnya setelah menemukan masalah dilakukan perumusan masalah untuk memperkecil topik yang kemudian menjadi sebuah rumusan masalah. Setelah di dapatkan rumusan masalah dan tujuan penelitian. Tahap selanjutnya adalah melakukan perancangan permodelan sistem *Multi Input Multi Output* 4TRx pada sistem komunikasi *Free Space Optics* dengan menggunakan modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) dan teknik SS-WDM. yang disimulasikan menggunakan *Software Optisystem* dengan hasil BER minimum 10^{-12} untuk sistem komunikasi WDM-FSO.

Tahap akhir penulisan ini penulis melakukan analisis terhadap simulasi yang digunakan untuk dan dilakukan analisa dan juga memberikan saran untuk pihak yang membutuhkan selanjutnya. Gambar 3.1 menampilkan *flowchart* yang akan menjelaskan bagaimana penelitian ini dilakukan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

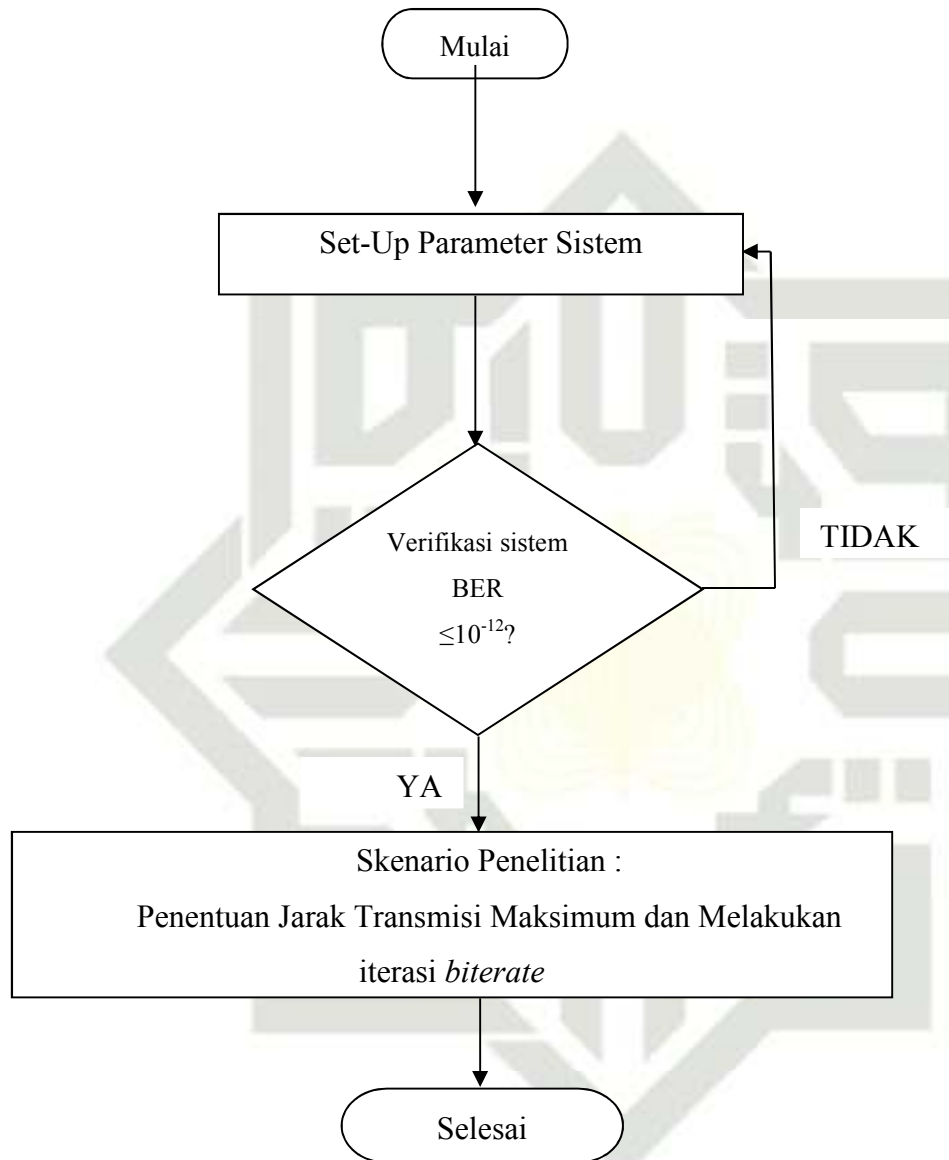
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 3.1 *Flow Chart* Penelitian

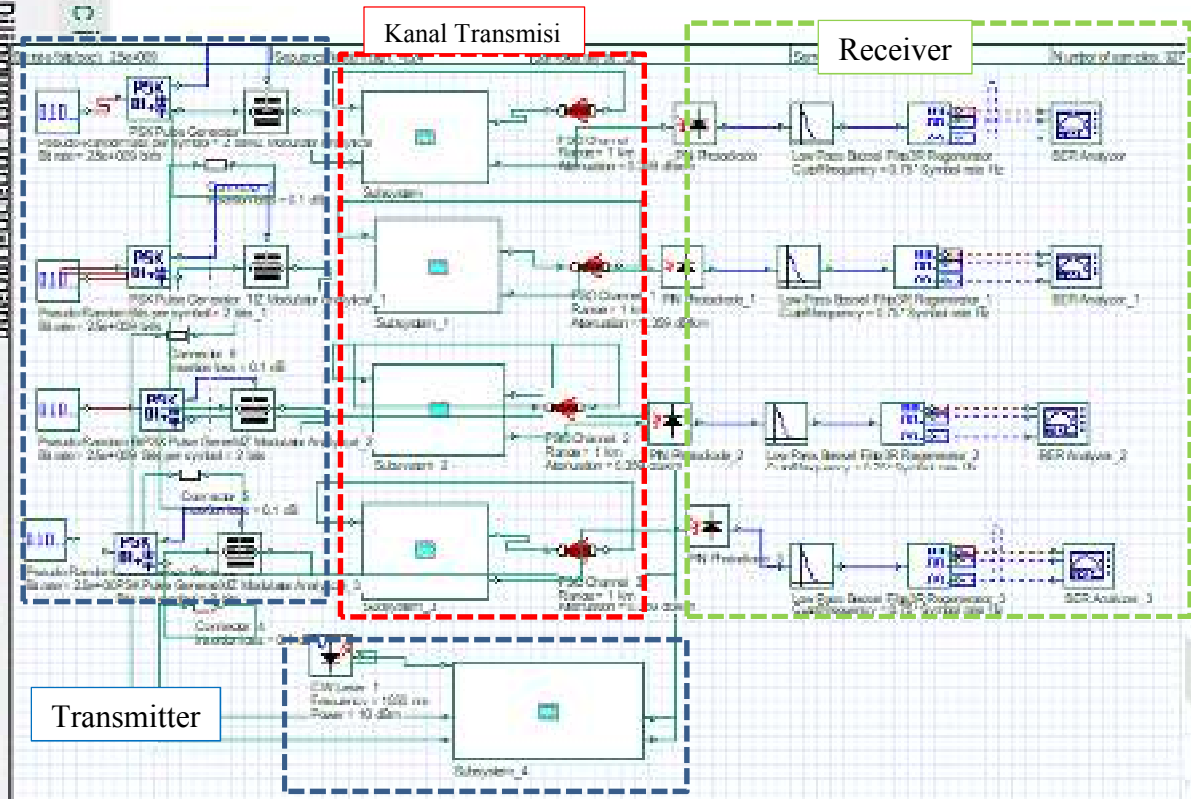
3.3 Model Sistem

Adapun tahapan pemodelan sistem dilakukan menurut *flowchart* simulasi pada gambar 3.2



Gambar 3.2 *Flowchart* Simulasi

Pada penelitian ini telah di rancang simulasi menggunakan software optisystem 13 yang tertera pada gambar 3.2 dibawah ini.

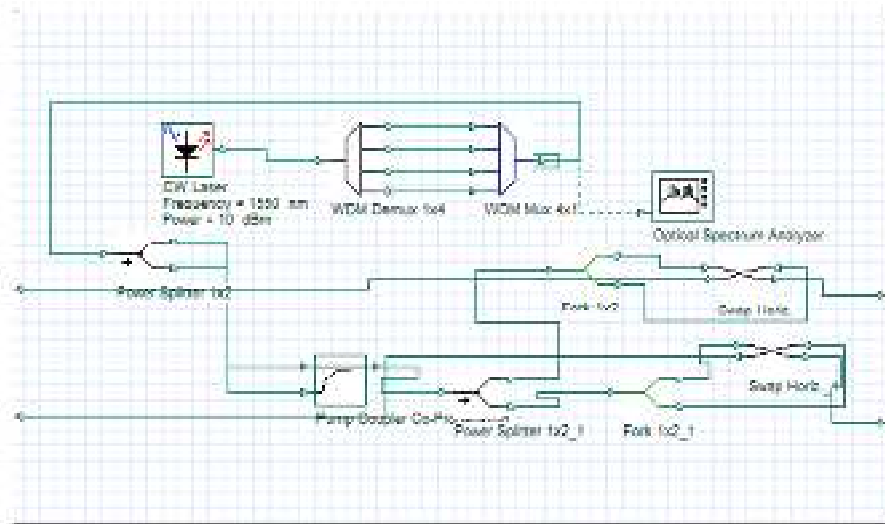


Gambar 3.3 Model sistem Menggunakan Software Optisystem

Adapun proses pentransmision data terdapat 3 komponen utama yaitu bagian *transmitter*, kanal transmisi, dan *receiver*. Pada bagian *transmitter*, Sinyal informasi dibangkitkan dengan menggunakan *Pseudo Random Bit Sequence* (PRBS), lalu diteruskan ke *modulator*. Sinyal informasi tersebut dimodulasi dengan menggunakan *Phase Shift Keying Pulse Generator* yang kemudian akan diteruskan ke modulator optik *Mach Zehnder Modulator* (MZM) yang akan mengirmkan sinyal informasi elektrik dengan sinyal optik yang berasal dari *Light Amplication by Stimulated Emission of Radiation* (LASER). Lalu keluaran dari sinyal optik tersebut diteruskan dibagian kanal transmisi.

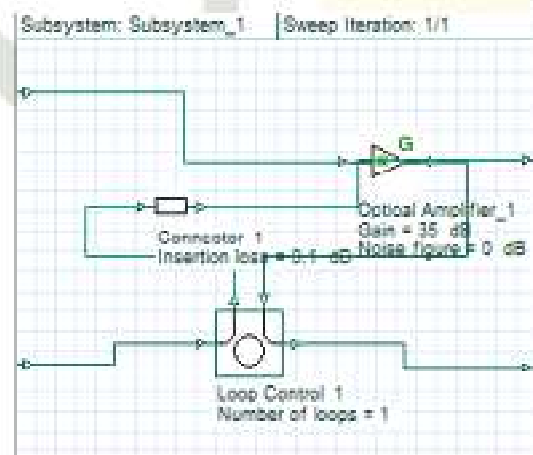
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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 aporan, 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 3.4 Kanal WDM

Pada bagian kanal transmisi, terjadi proses *multiplexing* yang menggabungkan sinyal optik dari ke empat sumber optik. Kemudian media transmisi yang digunakan dalam model sistem ini yaitu *Free Space Optic*.



Gambar 3.5 Loop System

Kemudian sinyal dikuatkan dengan menggunakan *Optical Amplifier* agar transmisi mampu lebih jauh. Media transmisi ini digunakan karena dapat mentransmisikan data dengan jarak tempuh yang jauh, *bit rate* yang tinggi, serta mampu memberikan performansi sistem yang baik. Kemudian setelah diproses dibagian kanal transmisi lalu sinyal tersebut masuk di bagian *receiver*. Pada bagian *receiver* merupakan bagian perangkat yang dapat menerima sinyal informasi dari bagian *transmitter*. Pendeteksian sinyal cahaya dan diubah menjadi sinyal listrik akan dilakukan oleh *Photodetector*. Jenis

photodetector yang digunakan adalah PIN. Sinyal digital ditransmisikan oleh media optik yaitu *Free Space Optic* dan diterima oleh *optical receiver* dimana fungsi dari *optical receiver* yaitu menerima sinyal yang berasal dari media transmisi tersebut, dan kemudian sinyal tersebut akan dianalisa dengan *BER Analyzer* guna untuk dilakukannya perhitungan tingkat kesalahan *bit error* dalam pengiriman sinyal pada sistem tersebut. Adapun komponen-komponen yang terdapat pada gambar 3.2 di deskripsikan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komponen *Opticsystem*

No.	Gambar Komponen	Nama Komponen	Keterangan
1		<i>CW Laser</i>	Sumber Optik
2		<i>Pseudo-Random Bit Sequence Generator</i>	Pembangkit sinyal acak
3		<i>PSK Pulse Generator</i>	Line Coding
4		<i>Mach-Zehnder Modulator</i>	Modulator
5		WDM Demux 1 X 4	Demultiplexing
6		WDM Mux 4 X 1	Multiplexing
7		Connector	Konektor
8		Optical Amplifier	Gain (Penguat Sinyal)
9		<i>FSO Channel</i>	Kanal Transmisi
10		<i>PIN Photodiode</i>	Penerima Sinyal
11		<i>Low Pass Bessel Filter</i>	Filter
12		<i>3R-Regenerator</i>	Pembangkit Sinyal
13		<i>BER Analyzer</i>	Indikator Bit Error Rate

3.4 Parameter Set-Up

Dalam *software Optisystem* 13 terdapat sebuah *parameter Global* yang digunakan dalam proses simulasi dan analisa dari suatu rangkaian, pada penelitian ini digunakan beberapa *parameter global* yang dipengaruhi oleh *bitrate*. Seperti tabel 3.2 yang terlihat parameter global pada bitrate 1,2, 2,5, 10, 20, dan 40 Gbps dibawah ini:

Tabel 3.2 Parameter *Global Set up* pada *Optisystem*

Nama	1,25 Gbps	2,5 Gbps	10 Gbps	20 Gbps	40 Gbps
	Nilai				
<i>Bit rate</i>	$1,25 \times 10^9$	$2,5 \times 10^9$	10×10^9	20×10^9	40×10^9
<i>Time Window</i>	$1,06 \times 10^{-8}$	$5,12 \times 10^{-8}$	$1,28 \times 10^{-8}$	$6,4 \times 10^{-9}$	$3,2 \times 10^{-9}$
<i>Sample Rate</i>	$772,8 \times 10^9$	160×10^9	640×10^9	128×10^{10}	256×10^{10}
<i>Sequence Length</i>	128 Bit	128 Bit	128 Bit	128 Bit	128 Bit
<i>Sample Per Bit</i>	64	64	64	64	64
<i>Number f Sample</i>	8192	8192	8192	8192	8192
<i>Sencitivity</i>	-100 dBm	-100 dBm	-100 dBm	-100 dBm	-100 dBm

Pada parameter *Global* yang terdapat diatas untuk nilai *time window*, *sample rate* dan *number of samples* dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$Time Window = \frac{Sequences Length \times 1}{Bitrate} \quad (3.1)$$

Adapun untuk perhitungan menggunakan rumus *Time Window* sebagai berikut :

$$Time Window = \frac{Sequences Length \times 1}{Bitrate}$$

$$Time Window = \frac{128 \times 1}{1,25 \times 10^9}$$

$$Time Window = 1,06 \times 10^{-8}$$

Kemudian untuk melakukan perhitungan *Number Of Samples* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Number of samples = Sequence length \times Sample per bit \quad (3.2)$$

Adapun untuk melakukan perhitungan untuk mencari *Number Of Samples* sebagai berikut

$$Number of samples = Sequence length \times Sample per bit$$

$$Number of samples = 128 \times 64$$

$$\text{Number of samples} = 8192$$

Adapun untuk melakukan perhitungan untuk mencari *Sample Rate* sebagai berikut

$$\text{Sample rate} = \frac{\text{Number of Samples}}{\text{Time window}} \quad (3.3)$$

$$\text{Sample rate} = \frac{\text{Number of Samples}}{\text{Time window}}$$

$$\text{Sample rate} = \frac{8192}{1,06 \times 10^{-8}}$$

$$\text{Sample rate} = 772,8 \times 10^9$$

Disamping *Global* parameter, setiap komponen yang terdapat dalam model sistem ini juga harus diset beberapa parameternya. Pada *transmitter* ada beberapa parameter yang akan diset. Set parameter dapat dilihat pada tabel 3.3 dibawah ini:

Tabel 3.3 Parameter CW LASER

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang Gelombang	1550	nm
Daya	25	dBm

Pada tabel 3.3 diatas merupakan *setting* parameter pada CW Laser, dengan panjang gelombang 1550 nm atau sebesar 193.4 THz. Dengan daya input sebesar 25 dBm. Langkah selanjutnya *setting* pada bagian PRBS. *Setting* parameter dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini

Tabel 3.4 Parameter Masukan PRBS

Nama	Nilai (Gbps)
<i>Bit rate</i>	1.25
	2.5
	10
	20
	40

Pada tabel 3.4 diatas merupakan *setting* parameter pada bagian PRBS, dimana nilai *bit rate* yang digunakan bervariasi. Adapun untuk menghitung redaman debu yang terjadi

digunakan rumus (2.1) berikut perhitungan matematis menghitung *visibilty* untuk konsentrasi debu 20 gr/bulan/m²

$$V = 7080 \times C^{-0,8}$$

$$V = 7080 \times 20^{-0,8}$$

$$V = 0,644 \text{ km}$$

Setelah menghitung *visibilty* dilakukan penghitungan redaman digunakan rumus (2.3), berikut perhitungan matematis untuk menghitung redaman menggunakan model kim.

$$\alpha = \frac{3.19}{V} \times \left(\frac{\lambda}{8.55 \text{ nm}} \right)^{-q}$$

$$\alpha = \frac{3.19}{0.644} \times \left(\frac{1550 \text{ nm}}{8.55 \text{ nm}} \right)^{-0,144}$$

$$\alpha = 0,49$$

dan untuk menghitung redaman menggunakan model kruse :

$$\alpha = \frac{3.19}{V} \times \left(\frac{\lambda}{8.55 \text{ nm}} \right)^{-q}$$

$$\alpha = \frac{3.19}{0,644} \times \left(\frac{1550 \text{ nm}}{8.55 \text{ nm}} \right)^{-0,83}$$

$$\alpha = 0.066$$

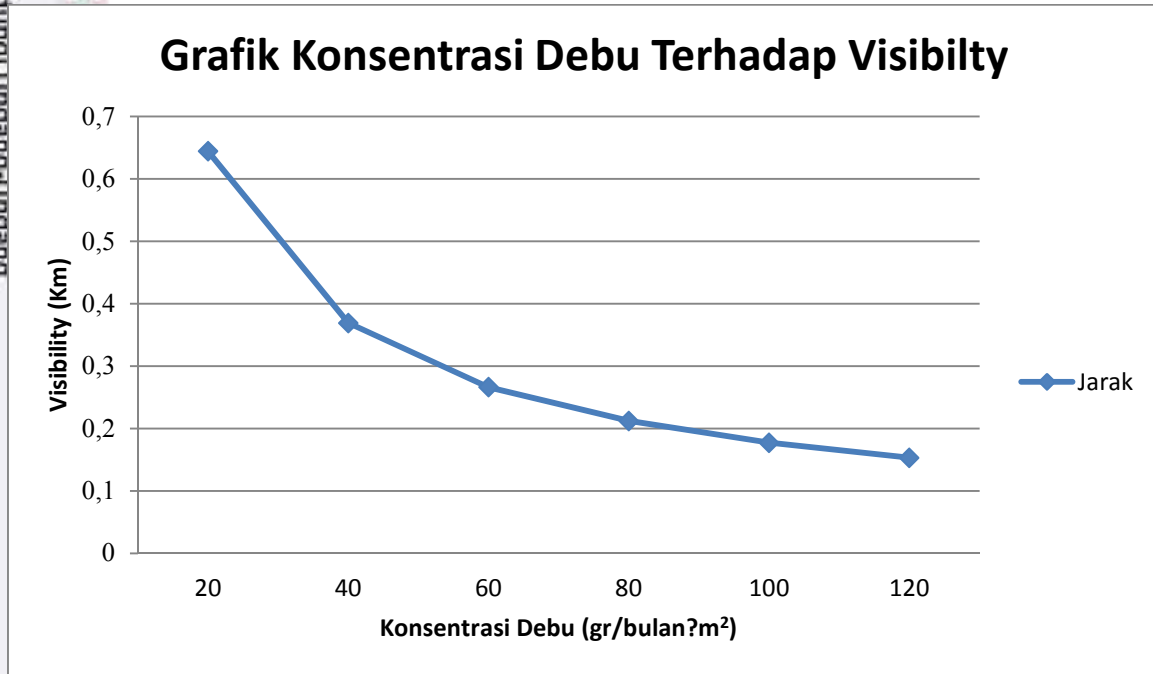
untuk konsentrasi selanjutnya terdapat pada bagian *FSO Channel* yang dapat dilihat pada tabel 3.5 dibawah ini

Tabel 3.5 Parameter Redaman *FSO Channel*

Konsentradi Debu (gr/bulan/m ²)	<i>Visibility (Km)</i>	Redaman	
		Kim	Kruse
20	0,644	0,49	0,359
40	0,369	8,64	0,968
60	0,266	11,99	1,69
80	0,212	15,04	2,45
100	0,177	18,02	3,26
120	0,153	20,84	4,107

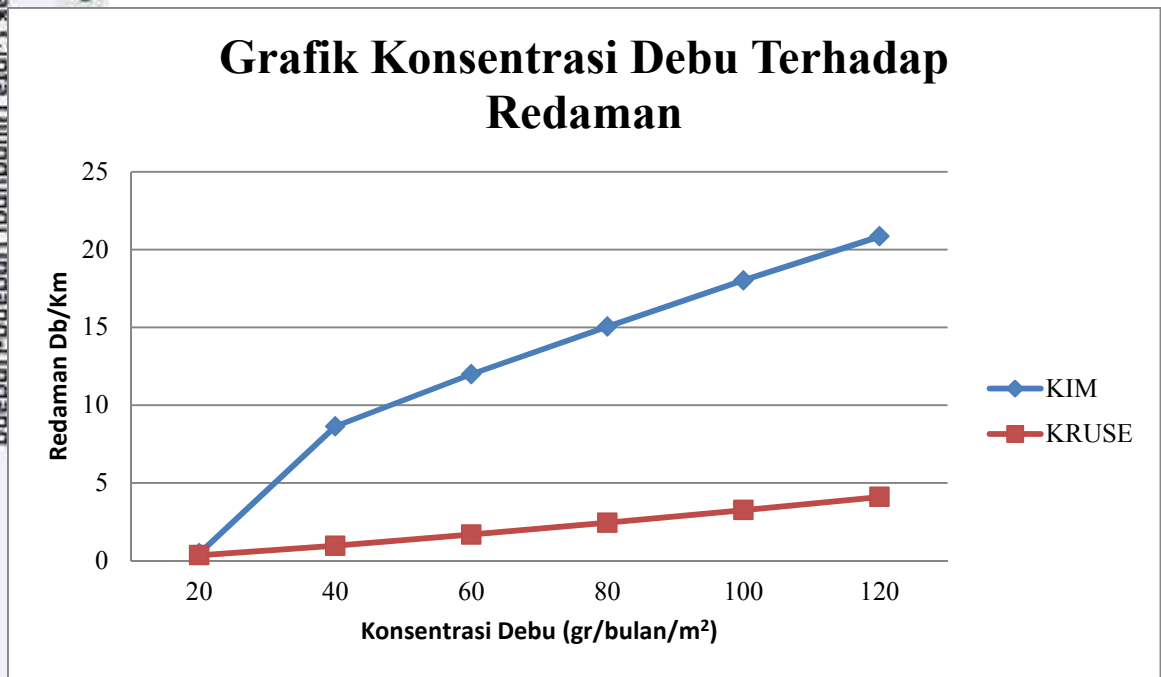
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Pada tabel 3.5 diatas pada FSO *channel* melakukan iterasi jarak hingga transmisi maksimum dengan redaman yang bervariasi sesuai dengan nilai tabel diatas. Adapun grafik konsentrasi debu terhadap visibility dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.6 Grafik Konsentrasi Debu Terhadap *Visibilty*

Pada gambar 3.5 merupakan grafik yang dihasilkan dari konsentrasi debu terhadap *visibilty* atau *Line Of Sight*. Di mana semakin besar konsentrasi debu maka semakin kecil pula *visibilty*. Kemudian nilai *visibilty* ini digunakan untuk menentukan redaman. Adapun grafik konsentrasi debu terhadap redaman dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 3.7 Grafik Perbandingan Redaman Model KIM dan Kruse

Pada gambar 3.6 dapat dilihat perbandingan redaman dengan model kim dan kruse. Apabila semakin tinggi nilai konsentrasi debu maka semakin tinggi redaman yang dihasilkan. Setelah *setting* parameter pada *FSO channel* selesai setelah itu dilanjutkan dengan *setting* parameter di bagian *Photodetector*. Jenis *photodetector* yang digunakan adalah jenis *photodetector* PIN. *Setting* parameter dapat dilihat pada tabel 3.6 dibawah ini

Tabel 3.6 Parameter *Photodetector* PIN

Nama	Nilai	Satuan
Gain	3	dBm
Responsitivity	1	A/W

Setelah *setting* parameter selesai, maka akan dilanjutkan dengan proses simulasi model sistem. Dan dilakukan skenario penelitian

3.5 Skenario Penelitian

Apabila model sistem tersebut menghasilkan performansi yang baik sesuai dengan nilai standar yang telah ditentukan, maka langkah yang akan dilakukan selanjutnya adalah skenario penelitian. Langkah pertama adalah melakukan suatu verifikasi model sistem

yang dibuat dengan melihat besaran parameter *Bit Error Rate* (BER) pada *receiver*. Setelah itu dilanjutkan langkah kedua, yakni dengan melakukan uji coba dengan cara running simulasi tersebut. Apabila simulasi berhasil dan berjalan dengan baik maka penulis dapat menganalisa hasilnya. Model sistem untuk *Free Space Optic* harus memberikan nilai BER sebesar $\leq 10^{-12}$ berdasarkan standar ITU-T.

3.5.1 Penentuan Jarak Transmisi Maksimum

Pada skenario penelitian ini penulis ingin melihat kinerja dari sistem FSO dengan teknologi SS-WDM menggunakan modulasi QPSK pada pengaruh debu, serta melihat jarak transmisi maksimum pada FSO *channel* dengan redaman yang bervariasi berdasarkan konsentrasi debu. Dan juga memperhatikan pengaruh *bitrate* terhadap jarak transmisi maksimum yang baik pada sistem FSO. Kemudian dilakukan suatu analisa dengan melihat adanya nilai keluaran dari *Q-Factor* dan *Bit Error Rate* (BER).

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

Sistem SS-WDM-MIMO FSO dengan teknik modulasi QPSK mampu mentransmisikan data hingga bitrate 40 Gbps dengan baik . Sistem SS-WDM-MIMO FSO mampu mentransmisikan jarak hingga 29.000 m pada model kim dan mampu mentransmisikan jarak hingga 37.000 m pada model kruse di konsentrasi debu 20 gr/bulan/m² dan bitrate 1.25 Gbps. Dan pada konsentrasi debu 120 gr/bulan/m² dengan bitrate yang sama data mampu ditransmisikan hingga 1000 m pada model kim dan pada model kruse hingga 6000 m. Sistem SS-WDM-MIMO FSO mampu mentransmisikan jarak hingga 4.000 m pada model kim dan 12.000 m pada model kruse di konsentrasi debu 20 gr/bulan/m² dengan bitrate 40 Gbps. Dan pada konsentrasi debu 120 gr/bulan/m² dengan bitrate yang sama data mampu ditransmisikan hingga 3000 m pada model kruse sedangkan pada model kim tidak dapat mentransmisikan data.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan untuk melakukan analisa sistem Free Space Optic menggunakan SS-WDM-MIMO dengan teknik modulasi QPSK dengan memperhatikan pengaruh cuaca lainnya. Seperti cuaca cerah, hujan, salju, kabut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suriza A. Z., Wajdi A.K., Rafiqul M. I. and Naji A.W. , 2011, "Preliminary analysis on the effect of rain attenuation on Free Space Optics (FSO) propagation measured in tropical weather condition", In: Proceeding of the 2011 IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpace), pp: 96-101.
- [2] Fadel Abdul-Zahra Murad, Ibrahim Abdullah Murdas Dust Effect on The Performance of Optical Wireless Communication System, 2018 Journal of University of Babylon, Engineering Sciences, Vol.(26), No.(1) and page 259-268.
- [3] Susanti, Rika, R., Dedi., Saputro, Indriyani., Della, Firdaus, Agus., Chandra, 2018 Performansi Sistem Free Space Optic Dengan Efek Debu, Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri 10. Hal. 471-476
- [4] Ashraf, M., Baranwal, G., Prasad, D., Idris, S. and Beg, M.T. (2018) Performance Analysis of ASK and PSK Modulation Based FSO System Using Coupler-Based Delay Line Filter under Various Weather Conditions. Optics and Photonics Journal, 8, 277-287.
- [5] 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* (IJISSET), Vol. 3 Issue 8, August 2016..
- [6] K. Prabu, S. Charanya, M. Jain, Debapriya Guha, *BER analysis of SS-WDM based FSO system for Vellore weather conditions*, *Department of Communication Engineering, School of Electronics Engineering, VIT University, Vellore 632014, India*, 2017.
- [7] Octiana., Widyarena, G. Hendrantoro, A. Mauludiyanto., *Kinerja Sistem Komunikasi Free Space Optics (FSO) Menggunakan Cell-site Diversity di Daerah Tropis*, *Jurnal Teknik ITS* Vol. 1, (Sept, 2012) ISSN: 2301-9271
- [8] Keiser, Gerd. Optical Fiber Communication. McGraw-Hill. 1991:1-10
- [9] M. Kumar, H. Kaur, S. Mahajan, A. Sharma, *Design & Performance Analysis of MIMO-FSO Communication System Based on Four channel Spectrum Slicing using AM Technique*, *International Research Journal of Engineering and Technology* (IRJET), Vol.5 Issue 3, 2018.
- [10] R. Susanti., *Dasar Sistem Komunikasi Optik Edisi Pertama*. Riau : Daulat Riau, 2013

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

[13]

[14]

[15]

[16]

- 1] Satria., Aulia, Performansi Modulasi 16-Qam Oprical OFDM pada Jaringan Radio over Fiber dengan Metode Pendeteksian Koheren. Skripsi, Pekanbaru: Teknik Elektro UIN Suska Riau, 2016.
- 2] E. Roza, dan M. Mujirudin, Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya, Rekayasa Teknologi Vol. 6, No. 2, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta, 2013.
- 3] ITU. "ITU-T O.201 SPECIFICATIONS OF MEASURING EQUIPMENT" ITU-T 2007
- 4] S. Anugrah, Analisis Performansi Sistem FSO-DWDM pada Kondisi Cuaca Berbeda-beda, Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi, UIN SUSKA Riau, 2017.
- 5] Mayanti, Sri, "*Analisa Performansi Sub Carrier Multiplexing/Wavelength Divisionmultiplexing (SCM/WDM) Radio over Fiber dengan Arsitektur Gigabit Passive Optical Network*" Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2015.
- 6] Faramarz E. Seraji, Marzieh Sadat Kiaee, Eye-Diagram-Based Evaluation of RZ and NRZ Modulation Methods in a 10-Gb/s Single Channel and a 160-Gb/s WDM Optical Networks International Journal of Optics and Applications 2017, 7(2): 31-36

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 RIWAYAT HIDUP



Dedi Rio Saputro lahir di Pacitan, Jawa Timur 18 Mei 1998 adalah anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Tumadi dan Bonatin yang bertempat tinggal di Duri, Riau. Pengalaman pendidikan dimulai dari TK-IT Al-Jauhar pada 2003, kemudian melanjutkan sekolah dasar di SDN 007 Mandau pada 2004-2010. Kemudian dilanjutkan ke jenjang menengah pertama di SMPN 1 Mandau selama 2010-2013 dan melanjutkan ke SMAN 2 Mandau pada 2013-2016 dengan jurusan IPA. Kemudian melanjutkan ke perguruan tinggi melalui jalur SBMPTN di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Selama menempuh perkuliahan penulis mendapatkan beasiswa penuh dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia dan turut serta sebagai speaker dan penulis jurnal di SNTIKI-10 dengan judul Performansi Free Space Optik Dengan Efek Debu. Dan lulus pada tahun 2020 dengan penelitian Tugas Akhir “Pengaruh Debu Terhadap Performansi Sistem SS-WDM-MIMO Free Space Optic Menggunakan Modulasi QPSK”

LAMPIRAN A

1. Model Kim

Lampiran A.1 Performansi FSO Bitrate 1,25 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	1,13E-101	1,45E-05	1,45E-05
3000	0	6,21E-107	2,33E-05	0,061991	1	1
4000	0	7,50E-07				
5000	0					
6000	0					
7000	0					
8000	0					
9000	0					
10000	0					
11000	0					
12000	0					
13000	0					
14000	1,02E-119					
15000	1,01E-236					
16000	3,47E-279					
17000	4,30E-181					
18000	2,03E-142					
19000	1,69E-114					
20000	1,40E-104					
21000	1,20E-60					
22000	7,65E-54					
23000	3,43E-45					
24000	3,96E-36					
25000	2,09E-30					

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

26000	9,95E-26					
27000	8,69E-22					
28000	3,35E-18					
29000	4,88E-13					
30000	2,42E-10					

Lampiran A.2 Performansi FSO Bitrate 2,5 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	5,09E-292	1,42E-78	3,70E-17	3,92E-04
3000	0	8,49E-111	3,65E-07	1	1	1
4000	0	1,37E-05				
5000	0					
6000	0					
7000	0					
8000	0					
9000	0					
10000	0					
11000	0					
12000	0					
13000	1,29E-189					
14000	3,29E-152					
15000	8,29E-280					
16000	1,29E-273					
17000	3,82E-185					
18000	2,10E-137					
19000	1,96E-108					
20000	9,00E-106					
21000	7,92E-63					
22000	3,38E-54					

23000	4,16E-43					
24000	2,99E-33					
25000	1,41E-23					
26000	1,03E-21					
27000	1,55E-18					
28000	1,34E-14					
29000	1,74E-13					
30000	5,48E-10					

Lampiran A.3 Performansi FSO Bitrate 10 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	0	0	0	2,03E-44	0	0
2000	0	0	7,86E-242	6,44E-35	1,09E-09	1,15E-01
3000	0	3,31E-26	4,72E-05	1	1	1
4000	0	8,88E-04				
5000	0					
6000	0					
7000	0					
8000	0					
9000	0					
10000	0					
11000	0					
12000	0					
13000	0					
14000	5,78E-218					
15000	2,19E-220					
16000	2,50E-171					
17000	3,49E-123					
18000	3,47E-101					
19000	1,14E-53					

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

20000	1,96E-65					
21000	3,22E-55					
22000	9,87E-32					
23000	4,35E-28					
24000	3,28E-23					
25000	6,16E-12					
26000	3,55E-06					

Lampiran A.4 Performansi FSO Bitrate 20 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	4,35E-238	4,69E-131	8,29E-127	1,72E-144	4,14E-13	4,96E-210
2000	2,51E-196	1,99E-91	4,43E-72	2,21E-25	1,25E-03	3,41E-02
3000	1,06E-178	1,38E-37	1,03E-02	1	1	1
4000	2,10E-168	2,38E-02				
5000	2,17E-156					
6000	1,84E-152					
7000	3,41E-150					
8000	1,41E-145					
9000	6,76E-135					
10000	5,43E-123					
11000	7,07E-115					
12000	4,05E-111					
13000	2,34E-91					
14000	1,07E-80					
15000	1,45E-79					
16000	2,81E-62					
17000	4,84E-58					
18000	2,18E-46					
19000	2,93E-45					
20000	2,22E-25					

21000	3,20E-25					
22000	8,97E-19					
23000	2,70E-12					
24000	6,69E-12					
25000	2,12E-07					

Lampiran A.5 Performansi FSO Bitrate 40 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	5,27E-14	6,48E-14	8,09E-14	2,54E-13	3,19E-13	8,98E-02
2000	1,17E-13	2,82E-13	3,17E-12	2,44E-07	1,25E-02	1
3000	2,33E-13	4,26E-09	6,31E-02	1	1	1
4000	3,24E-12					
5000	7,31E-02					

2. Model Kruse

Lampiran A.6 Performansi FSO Bitrate 1,25 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0
3000	0	0	0	0	0	0
4000	0	0	0	0	0	0
5000	0	0	0	1,46E-305	3,79E-268	3,89E-132
6000	0	0	1,47E-276	5,61E-127	1,64E-126	2,28E-32
7000	0	0	9,68E-186	2,21E-41	3,36E-38	3,18E-07
8000	0	0	3,94E-154	1,55E-12	7,87E-13	
9000	0	0	1,62E-75	3,79E-04	1,57E-07	
10000	0	0	2,00E-52			

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

11000	0	2,16E-258	7,94E-23			
12000	0	5,47E-239	1,03E-12			
13000	0	6,84E-161	9,63E-10			
14000	0	1,01E-98				
15000	0	1,07E-60				
16000	0	1,19E-34				
17000	1,05E-307	2,28E-27				
18000	3,62E-284	1,41E-21				
19000	6,01E-222	1,14E-13				
20000	1,13E-172	1,05E-10				
21000	4,01E-118					
22000	6,02E-116					
23000	3,79E-105					
24000	8,45E-105					
25000	2,73E-82					
26000	2,76E-54					
27000	2,09E-48					
28000	3,90E-40					
29000	3,78E-39					
30000	1,31E-33					
31000	6,59E-32					
32000	4,53E-24					
33000	3,38E-22					
34000	6,34E-18					
35000	5,74E-17					
36000	3,46E-14					
37000	6,01E-12					
38000	1,75E-09					

Lampiran A.7 Performansi FSO Bitrate 2,5 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

	BER					
1000	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0
3000	0	0	0	0	0	0
4000	0	0	0	0	0	0
5000	0	0	0	2,21E-121	8,79E-94	5,49E-130
6000	0	0	0	2,38E-54	4,47E-33	6,02E-27
7000	0	0	2,70E-269	8,93E-23	9,71E-11	1,17E-08
8000	0	0	2,38E-125	8,79E-10		
9000	0	2,08E-280	2,45E-57			
10000	0	4,94E-267	3,01E-35			
11000	0	1,68E-148	1,15E-18			
12000	0	4,24E-110	7,22E-11			
13000	0	7,36E-100				
14000	0	3,85E-80				
15000	0	3,38E-49				
16000	0	1,81E-29				
17000	4,96E-293	3,26E-25				
18000	1,46E-237	3,82E-19				
19000	8,21E-224	6,66E-11				
20000	1,18E-172					
21000	8,44E-129					
22000	6,93E-125					
23000	9,80E-83					
24000	1,83E-74					
25000	2,24E-72					
26000	4,68E-61					
27000	2,33E-48					
28000	5,42E-33					
29000	5,94E-27					
30000	4,18E-22					
31000	7,60E-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 mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

32000	7,47E-16					
33000	2,22E-14					
34000	3,56E-12					
35000	2,61E-10					

Lampiran A.8 Performansi FSO Bitrate 10 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0
3000	0	0	0	0	0	2,74E-63
4000	0	0	0	0	1,11E-244	4,52E-57
5000	0	0	0	0	1,12E-58	4,09E-14
6000	0	0	0	6,61E-93	8,38E-19	4,66E-11
7000	0	0	0	2,00E-12	5,79E-10	
8000	0	0	4,88E-87	8,91E-05		
9000	0	0	1,04E-42			
10000	0	1,29E-208	2,15E-21			
11000	0	1,74E-122	7,19E-13			
12000	0	2,70E-110	1,12E-11			
13000	0	1,78E-67				
14000	0	1,56E-56				
15000	3,45E-306	9,70E-29				
16000	1,35E-291	3,85E-15				
17000	4,61E-192	1,18E-12				
18000	8,11E-163	2,24E-10				
19000	9,55E-131					
20000	4,91E-97					
21000	1,29E-68					
22000	7,55E-58					
23000	2,77E-53					

24000	9,81E-45					
25000	3,18E-37					
26000	1,94E-30					
27000	2,68E-22					
28000	9,25E-18					
29000	1,04E-14					
30000	3,56E-12					
31000	3,39E-10					

Lampiran A.9 Performansi FSO Bitrate 20 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	9,11E-140	2,00E-238	4,56E-255	9,85E-167	1,52E-144	1,79E-128
2000	3,39E-129	5,46E-178	7,85E-189	9,85E-123	7,53E-112	2,38E-83
3000	5,85E-128	1,34E-130	8,96E-100	1,42E-86	4,47E-82	1,29E-44
4000	6,06E-119	8,95E-129	3,47E-104	1,97E-76	4,28E-51	3,17E-12
5000	2,14E-107	4,16E-111	3,64E-87	2,64E-23	1,72E-36	3,90E-09
6000	1,43E-101	1,58E-110	6,31E-72	1,92E-19	1,18E-13	
7000	7,25E-100	6,98E-95	4,20E-47	2,14E-05	8,17E-05	
8000	3,53E-99	9,35E-93	1,21E-21			
9000	5,31E-99	2,37E-89	3,29E-19			
10000	1,10E-87	2,50E-82	1,05E-12			
11000	2,21E-86	3,34E-77	1,05E-08			
12000	8,55E-80	4,83E-54				
13000	5,79E-61	1,34E-36				
14000	2,08E-51	1,68E-24				
15000	9,45E-57	1,65E-18				
16000	1,08E-40	2,75E-12				
17000	7,71E-37	1,77E-05				
18000	5,05E-44					
19000	2,76E-40					

20000	9,92E-35					
21000	1,95E-23					
22000	5,00E-13					
23000	9,07E-09					

Lampiran A.10 Performansi FSO Bitrate 40 Gbps

Jarak	Konsentrasi Debu					
	20	40	60	80	100	120
	BER					
1000	2,29E-58	4,72E-41	4,53E-14	6,21E-14	5,14E-14	6,36E-14
2000	8,61E-42	1,63E-34	1,13E-13	6,73E-14	2,63E-13	4,60E-13
3000	8,94E-41	7,94E-23	3,51E-13	1,89E-13	1,78E-13	1,46E-12
4000	2,80E-21	5,64E-14	1,75E-13	3,07E-13	1,47E-12	1,25E-10
5000	1,80E-17	3,35E-13	3,66E-12	5,78E-10	1,12E-11	
6000	5,89E-14	2,54E-13	1,46E-12			
7000	7,63E-14	4,16E-13	2,51E-11			
8000	1,00E-13	2,26E-12				
9000	2,99E-13	3,27E-12				
10000	1,05E-12	3,48E-11				
11000	5,83E-13					
12000	1,30E-12					
13000	5,62E-11					

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
- 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.
 - Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.