

**ANALISIS PERFORMANSI
OFDM (*ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION
MULTIPLEXING*) PADA JARINGAN *RADIO OVER FIBER (ROF)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro



UIN SUSKA RIAU

oleh :

TOGA AGUNG PRATAMA
10655004568

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2013

***ANALYSIS PERFORMANTION OFDM (ORTHOGONAL
FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING) at NETWORK RADIO
OVER FIBER (ROF)***

**TOGA AGUNG PRATAMA
NIM : 10655004568**

Date of Final Exam : February 14, 2013

Graduation Date : November , 2013

*Electrical Engineering Departement
Faculty of Sains and Techonology
State Islamic University Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas Street No. 155 Pekanbaru*

ABSTRACT

Performance is the result of work that can be achieved within a system. Optical fiber communication system has developed rapidly, as well as wireless communication systems. However, the two are basically the communication system has advantages and disadvantages of each other. It pushed new system was called Radio over Fiber technology, which is merging the advantages of both systems. In this final project was designed a Radio over Fiber network model by using Orthogonal Frequency Division Multiplexing and Passive Optical Network techniques. The simulation result shows that the model has been worked very well. Radio over Fiber models have good performance on 256, 512, 1024, 2048, 4096, and 8192 subcarriers. Maximum number of Optical Network Unit that can be implemented in this model is 16 ONU. Range of dispersion values that can be given to the system are 15-19 ps/nm/km. While the minimum input power for system is -5 dBm.

Keywords : Radio over Fiber, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Optical Network Unit

**ANALISIS PERFORMANSI OFDM (*ORTHOGONAL
FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING*) PADA JARINGAN
*RADIO OVER FIBER (ROF)***

**TOGA AGUNG PRATAMA
NIM : 10655004568**

Tanggal Sidang : 14 Februari 2013

Periode Wisuda : November 2013

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Performansi merupakan hasil kerja yang dapat dicapai dalam suatu sistem. Sistem komunikasi serat optik mengalami perkembangan yang sangat pesat, begitu juga dengan sistem komunikasi nirkabel. Namun, pada dasarnya kedua sistem komunikasi ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Maka lahirlah teknologi *Radio over Fiber* yang merupakan penggabungan kelebihan dari kedua sistem tersebut. Pada Tugas Akhir ini dirancang sebuah model jaringan *Radio over Fiber* dengan menggunakan teknik multiplexing *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* dengan arsitektur *Passive Optical Network*. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa model yang dibuat telah bekerja dengan baik. Model *Radio over Fiber* memiliki performansi yang baik pada *subcarrier* 256, 512, 1024, 2048, 4096, dan 8192. Jumlah *Optical Network Unit* maksimal yang bisa diimplementasikan pada model ini adalah 16 ONU. Range nilai dispersi yang bisa diberikan pada sistem sebesar 15 – 19 ps/nm/km. Sedangkan daya minimum yang bisa diinputkan pada sistem yakni -5 dBm.

Kata Kunci : *Radio over Fiber, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Optical Network Unit*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis. Shalawat beriring salam buat junjungan kita Nabi Muhammad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Performansi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) pada Jaringan *Radio Over Fiber* (ROF)”

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada disekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Papa dan Mama tercinta, yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Prof. Dr. H. Nazir Karim selaku rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Dra. Hj. Yenita Morena, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah membuat proses administrasi menjadi lebih efektif sehingga penulis lebih mudah dalam melengkapi berkas-berkas untuk Tugas Akhir dan pengalaman-pengalaman luar biasa beliau yang penulis rasakan.
5. Rika Susanti, ST., M.Eng. dan Liliana, ST., 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.

6. Fitri Amilia, ST., MT dan Hasdi Radiles, ST., MT selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis pada bangku kuliah sehingga dengan pembekalan tsb penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Novrilaya Anugerah yang telah memberi banyak semangat, motivasi, dan waktunya buat penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Dian Mayasari, Dedi Wahyudi, Setyadi, Ilham Wahid, Harisudin, Yohan Fernanda, Candra, Bustam, Jefriadi, sahabat DJATY, seluruh teman-teman Teknik Elektro 06 khususnya konsentrasi Teknik Telekomunikasi, serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Kakanda dan Adinda Teknik Elektro yang telah memberikan dorongan kepada penulis.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN <i>COVER</i>	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
ABSTRAK.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah.....	I-3
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Sistematika Penulisan.....	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>).....	II-1

2.1.1	Pengertian OFDM	II-1
2.1.2	Kelebihan OFDM.....	II-3
2.1.3	Kekurangan OFDM.....	II-5
2.2	Komponen Sistem Komunikasi Serat Optik	II-6
2.2.1	Sumber Cahaya	II-6
2.2.2	Modulasi Optik	II-8
2.2.3	Detektor Optik (<i>Photodetector</i>)	II-9
	2.2.3.1 <i>Photodetector</i> PIN.....	II-10
	2.2.3.2 <i>Photodetector</i> APD.....	II-11
2.2.4	Serat Optik	II-12
2.3	<i>Quadrature Amplitude Modulation (QAM)</i>	II-15
2.4	<i>Radio over Fiber (ROF)</i>	II-15
2.4.1	Pengertian ROF.....	II-15
2.4.2	Prinsip Kerja ROF.....	II-16
2.4.3	Kelebihan ROF	II-17
2.4.4	Jenis Jenis <i>Radio over Fiber</i>	II-17
2.5	<i>Passive Optical Network (PON)</i>	II-19
2.6	<i>Gigabit-Capable Passive Optical Network (GPON)</i>	II-20
2.7	Parameter Performansi.....	II-21
	2.7.1 <i>Bit Error Rate</i>	II-21
	2.7.2 <i>Power Link Budget</i>	II-21
2.8	<i>Optisystem</i>	II-22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Model Simulasi untuk Jaringan OFDM-ROF pada Transmisi <i>Downlink</i>	III-2
-----	--	-------

3.1.1	Pembuatan Blok Diagram pada Sisi <i>Central Station</i>	III-2
3.1.2	Pembuatan Blok Diagram pada Kanal Transmisi	III-3
3.1.3	Pembuatan Blok Diagram pada Sisi <i>Base Station</i>	III-3
3.2	<i>Parameter Setup</i>	III-4
3.3	Skenario Penelitian	III-5
3.3.1	Pengaruh Variasi Jumlah <i>Subcarrier</i> pada OFDM <i>Modulator</i> dan <i>Demodulator</i> terhadap Performansi BER	III-6
3.3.2	Pengaruh Dispersi pada Fiber Optik terhadap Performansi BER	III-7
3.3.3	Pengaruh Index ONU terhadap Performansi BER	III-8
3.3.4	Pengaruh Daya Input terhadap Performansi BER	III-9
3.4	Model Jaringan	III-10

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Verifikasi Model Jaringan	IV-1
4.2	Performansi <i>Bit Error Rate</i> (BER)	IV-2
4.2.1	Pengaruh Jumlah <i>Subcarrier</i> terhadap BER	IV-3
4.2.2	Pengaruh Dispersi Fiber Optik terhadap BER	IV-4
4.2.3	Pengaruh Index ONU terhadap BER	IV-5
4.2.4	Pengaruh Daya Input terhadap BER	IV-6
4.3	Performansi <i>Power Link Budget</i>	IV-7

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transmisi pada prinsipnya secara umum merupakan proses pemindahan informasi dari satu titik ke titik yang lain dan beberapa titik tujuannya (*multipoint*). Perkembangan teknologi telekomunikasi yang semakin pesat pada zaman sekarang ini mendorong penyampaian dan pertukaran data informasi tersebut mengutamakan aspek terpentingnya, yakni kecepatan dalam transmisi. Upaya-upaya baru diciptakan untuk membantu manusia mempermudah menjalankan berbagai kegiatan, diantaranya dalam hal pengolahan data dan penyediaan sarana prasarana telekomunikasi dalam mengirimkan data untuk berbagai keadaan dan wilayah.

Ada dua macam sistem transmisi data, yaitu sistem transmisi dengan menggunakan media transmisi gelombang radio (nirkabel) dan media transmisi dengan menggunakan kabel (*on-wire*). Salah satu media transmisi *on-wire* adalah serat optik. Kedua sistem transmisi tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Serat optik mempunyai kelebihan yaitu transmisi datanya yang cepat dan performansi yang prima, namun memiliki kekurangan yaitu daerah kerjanya yang kurang luas dan proses instalasi kabel yang membutuhkan biaya yang besar. Sedangkan dengan menggunakan nirkabel, daerah kerjanya cukup luas dan biaya pemasangannya secara umum cukup murah, akan tetapi memiliki kekurangan yaitu kualitas dan performansi yang kurang maksimal. Maka muncul suatu wacana untuk menggabungkan kedua macam transmisi tersebut, dengan harapan akan diperoleh suatu sistem transmisi baru yang lebih baik daripada keduanya, yang dikenal dengan *Radio over Fiber* (ROF).

Radio over Fiber merupakan suatu proses pengiriman sinyal radio melalui serat optik. Dengan menggunakan serat optik, maka kualitas sinyal yang ditransmisikan berkapasitas besar dan memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi. Selain itu, dengan menggunakan kabel serat optik dapat menghemat biaya serta menambah performansi untuk *high speed fiber* berdasarkan akses nirkabel. (Wikipedia, 2010).

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan kasus khusus dari transmisi *multicarrier*, dimana aliran data tunggal ditransmisikan melalui

sejumlah *subcarrier rate* rendah. Salah satu alasan utama untuk menggunakan OFDM adalah untuk meningkatkan ketahanan terhadap *frequency selective fading* atau *narrowband interference*. (Ramjee Prasad, 2004).

Pada SCM/WDM jumlah sinyal digital dimodulasi dengan menggunakan frekuensi yang berbeda dan dipisahkan dengan menggunakan *channel spacing*, dengan tujuan agar kanal dengan frekuensi yang bersebelahan tidak saling mengganggu satu dengan yang lainnya. Dalam hal ini, pada SCM/WDM tidak diperbolehkan frekuensi yang overlap satu dengan yang lain. (Arief dkk, 2008).

Pada OFDM, overlap antar frekuensi yang bersebelahan diperbolehkan, karena masing-masing sudah saling *orthogonal* satu dengan yang lainnya. Berbeda dengan sistem *multicarrier* konvensional (FDM) dimana untuk mencegah interferensi antar frekuensi yang bersebelahan perlu diselipkan frekuensi penghalang (*guard band*). Karakteristik dari OFDM adalah tingginya tingkat efisiensi dalam pemakaian frekuensi. Dengan menggunakan OFDM kita dapat menyimpan hampir 50% dari *bandwidth*. (Ramjee Prasad, 2004).

Dewasa ini, teknologi 3G pada sistem komunikasi seluler sudah bukan merupakan hal yang luar biasa. Saat ini sudah banyak peneliti melakukan riset tentang sistem dan jaringan untuk aplikasi 4G. Rika Susanti (2010) mendesain sistem *Radio over Fiber* untuk mendistribusikan *Base Station* untuk aplikasi 4G dengan menggunakan arsitektur *Passive Optical Network* (PON). Di dalam penelitian yang dilakukannya, kanal-kanal pada *Central Office* dimultipleks dengan menggunakan teknik SCM/WDM. Melihat keunggulan OFDM, maka saya tertarik untuk mendesain jaringan *Radio over Fiber* dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM dengan arsitektur PON.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahannya yakni bagaimana menganalisis performansi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) pada jaringan *Radio over Fiber* (ROF) dengan arsitektur PON yang meliputi parameter *Bit Error Rate* (BER) dan *power link budget*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir dengan judul “Analisis performansi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) pada jaringan *Radio over Fiber* (ROF)” ini adalah :

1. Simulasi yang digunakan adalah simulasi *baseband* dengan *software Optisystem Versi 10*.
2. Parameter performansi yang dianalisa meliputi *Bit Error Rate* (BER) dan *Power Link Budget*.
3. Panjang gelombang yang digunakan adalah 1552,5 nm.
4. Model jaringan yang dibuat untuk transmisi *downstream* saja.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan jaringan *Radio over Fiber* dengan mengimplementasikan teknik OFDM ke dalam jaringan tersebut untuk arsitektur PON.
2. Menganalisa pengimplementasian OFDM terhadap performansi jaringan *Radio over Fiber* meliputi parameter BER dan *Power Link Budget*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan ini dibagi menjadi lima bab, hal ini dimaksudkan agar dalam penulisan laporan Tugas Akhir dapat diketahui tahapan dan batasannya. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan secara umum dan singkat mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang teori-teori yang mendukung topik penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi mengenai perancangan program simulasi *optisystem* terhadap jaringan *Radio over Fiber* dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM dan arsitektur PON.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi mengenai hasil simulasi *optisystem* terhadap jaringan *Radio over Fiber* dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM dan arsitektur PON.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari penelitian pada bab-bab sebelumnya dan saran-saran dari pengamatan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

2.1.1 Pengertian OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Istilah *orthogonal* OFDM, mengandung arti hubungan matematis antara frekuensi-frekuensi yang digunakan. Dengan persamaan matematika, dua buah sinyal dikatakan *orthogonal*, apabila : (Johan, 2008)

a. Untuk sinyal waktu kontinu

$$\int_0^{T_s} \cos(2\pi n f_0 t) \times \cos(2\pi m f_0 t) dt = 0 \quad ; n \neq m \quad (2.1)$$

b. Untuk sinyal waktu diskrit

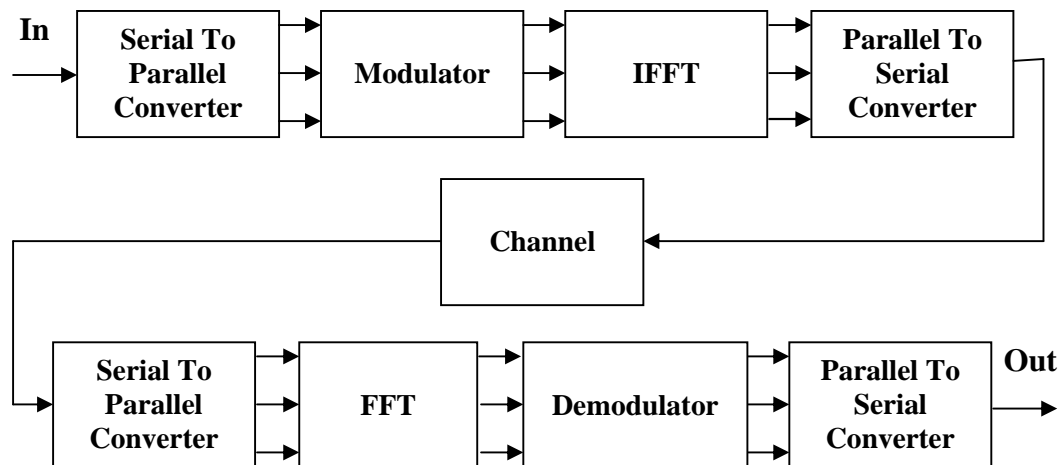
$$\int \sum_{k=0}^{N-1} \cos\left(\frac{2\pi k n}{N}\right) \times \cos\left(\frac{2\pi k m}{N}\right) = 0 \quad ; n \neq m \quad (2.2)$$

dimana : T_s adalah periode simbol

N adalah jumlah *subcarrier*

f_0 adalah frekuensi awal

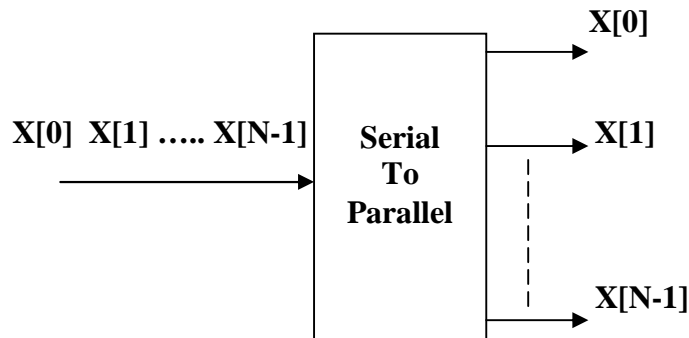
Prinsip kerja dari OFDM dapat dijelaskan melalui gambar blok diagram berikut :



Gambar 2.1. Blok Diagram OFDM (Johan, 2008)

Dari gambar 2.1 di atas dapat dijelaskan secara rinci proses dari OFDM baik pada pengirim maupun penerima.

Blok pengirim OFDM terdiri dari blok-blok *serial to paralel*, *modulator*, IFFT dan *paralel to serial*. Deretan data yang akan ditransmisikan (*data in*) yaitu deretan bit-bit serial dikonversikan ke dalam bentuk paralel oleh *serial to paralel converter*, sehingga bila *bit rate* semula adalah R maka *bit rate* di tiap jalur paralel adalah R/N dimana N adalah jumlah jalur paralel atau jumlah *subcarrier*. Prinsip konversi bit serial ke paralel ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini :



Gambar 2.2. Konversi Bit Serial ke Paralel (Johan, 2008)

Kemudian bit paralel ini ($X[0]$, $X[1]$, ..., $X[N-1]$) dimodulasikan pada tiap-tiap *subcarrier* yang berbeda dimana setiap *subcarrier* dipisahkan sejauh f . Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain secara adaptif.

Sinyal OFDM hasil modulasi kemudian dialirkan ke dalam *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT). Metode IFFT adalah *inverse* atau kebalikan dari FFT (*Fast Fourier Transform*), yang mana FFT merupakan metode untuk pemecahan sinyal diskret. IFFT merupakan algoritma komputasional yang cepat untuk menghitung IDFT (*Inverse Discrete Fourier Transform*). IFFT berfungsi mengubah sinyal dari domain frekuensi ke dalam sinyal domain waktu. Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*).

Sinyal OFDM yang telah diaplikasikan ke dalam IFFT ini kemudian dikonversikan lagi ke dalam bentuk serial. Setelah disisipi *Cyclic Prefix* (CP) dengan cara menyalin bagian akhir simbol sepanjang periode CP yang digunakan dan menempatkannya pada awal simbol, baru data dikirim.

Setelah melalui kanal maka sinyal informasi tadi diterima oleh penerima. Blok diagram penerima terdiri dari blok-blok *serial to paralel*, FFT, demodulasi, dan *Paralel to Serial*.

Di penerima terjadi proses kebalikan dari proses yang ada di pengirim. Sinyal yang telah dialirkan ke dalam FFT kemudian didemodulasikan dan dikonversi lagi ke

dalam bentuk serial oleh *Parallel to Serial Converter* dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi. Dengan sistem OFDM ini *throughput* dari kanal yang diberikan dapat ditingkatkan tanpa harus meningkatkan *bandwidth*.

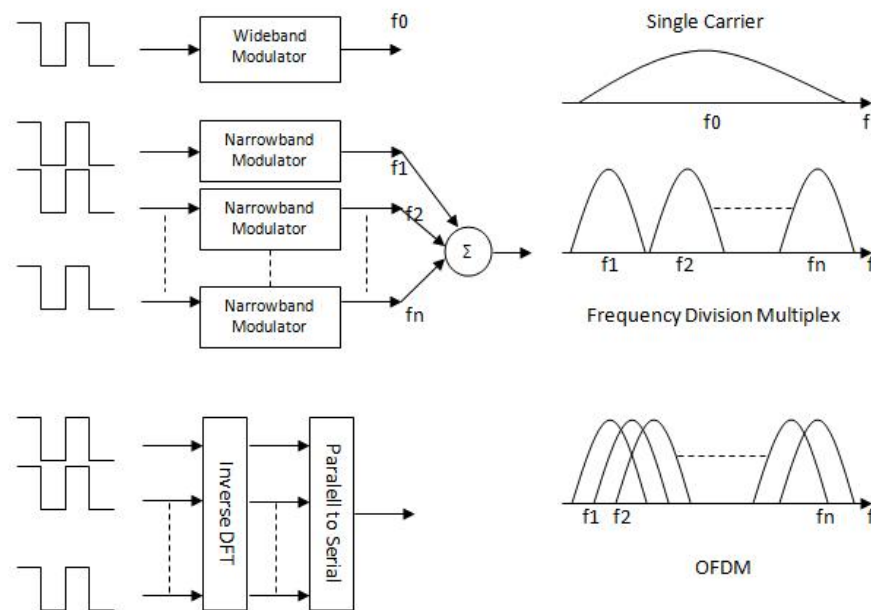
2.1.2 Kelebihan OFDM

Beberapa kelebihan OFDM di antaranya:

1. Efisien dalam pemakaian *bandwidth*

OFDM adalah salah satu jenis dari *multicarrier* (FDM), tetapi memiliki efisiensi pemakaian frekuensi yang jauh lebih baik. Pada OFDM *overlap* antar frekuensi yang bersebelahan diperbolehkan, karena masing-masing sudah saling *orthogonal*, sedangkan pada sistem *multicarrier* konvensional untuk mencegah interferensi antar frekuensi yang bersebelahan perlu diselipkan frekuensi penghalang (*guard band*), dimana hal ini memiliki efek samping berupa menurunnya kecepatan transmisi bila dibandingkan dengan sistem *singlecarrier* dengan lebar spektrum yang sama.

Selain itu pada *multicarrier* konvensional juga diperlukan *band pass filter* sebanyak frekuensi yang digunakan, sedangkan pada OFDM cukup menggunakan FFT saja. Perbandingan transmisi *singlecarrier*, *multicarrier* konvensional dan OFDM dapat dilihat pada gambar berikut :



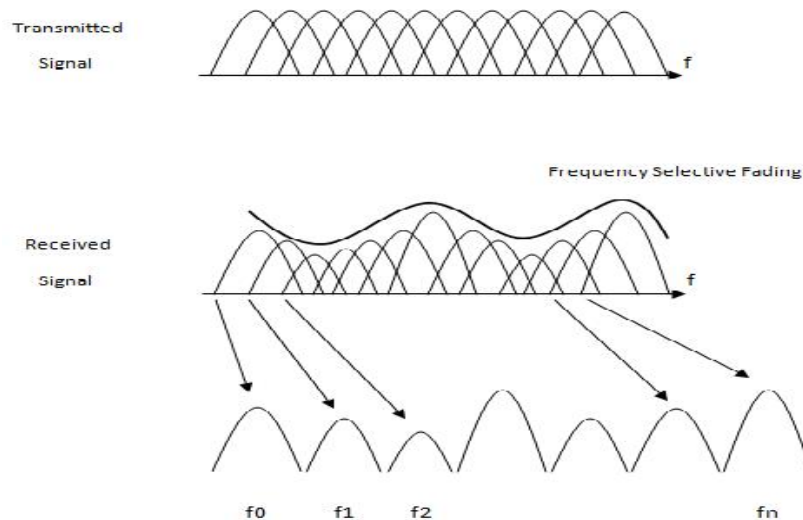
Gambar 2.3. Perbandingan *Singlecarrier*, *Multicarrier* dan OFDM

(Sigit Puspito Wigati Jarot, 2011)

2. Kuat menghadapi *frequency selective fading*

Dengan menggunakan teknologi OFDM, meskipun jalur komunikasi yang digunakan memiliki karakteristik *frequency selective fading* (dimana *bandwidth channel* lebih sempit daripada *bandwidth* transmisi sehingga mengakibatkan pelemahan daya terima secara tidak seragam pada beberapa frekuensi tertentu), tetapi tiap *subcarrier* dari sistem OFDM hanya mengalami *flat fading* (pelemahan daya terima secara seragam). Pelemahan yang disebabkan oleh *flat fading* ini lebih mudah dikendalikan, sehingga performansi dari sistem mudah untuk ditingkatkan.

Teknologi OFDM bisa mengubah *frequency selective fading* menjadi *flat fading*, karena transmisi menggunakan *subcarrier* dengan jumlah yang sangat banyak, sehingga kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* sangat rendah dan *bandwidth* dari tiap *subcarrier* sangat sempit, lebih sempit daripada *coherence bandwidth* (lebar daripada *bandwidth* yang memiliki karakteristik yang relatif sama). Dengan demikian masing-masing *subcarrier* hanya terkena *flat fading*. Perubahan dari *frequency selective fading* menjadi *flat fading* bisa diilustrasikan seperti gambar berikut :



Gambar 2.4. *Frequency Selective Fading*

(Sigit Puspito Wigati Jarot, 2011)

3. Tidak sensitif terhadap sinyal tunda

Dengan rendahnya kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* berarti periode simbolnya menjadi lebih panjang sehingga kesensitifan sistem terhadap *delay spread* (penyebaran sinyal-sinyal yang datang terlambat) menjadi relatif berkurang.

4. Tahan terhadap ISI dan *fading* yang disebabkan oleh perambatan jalur jamak.

Untuk memudahkan proses demodulasi pada bagian FFT di *receiver*, tiap-tiap subkanal OFDM haruslah terjaga orthogonalitasnya. Tetapi akibat respon kanal yang buruk, akan terjadi *distorsi linear* yang menyebabkan energi pada tiap-tiap subkanal menyebar ke subkanal di sekitarnya. *Delay spread* menyebabkan waktu kedatangan sinyal bervariasi. Hal-hal ini lah yang menyebabkan terjadinya *inter symbol interference* (ISI).

ISI pada sistem OFDM dapat dihilangkan dengan menyisipkan *guard interval* atau yang sering dikenal dengan *cyclic prefix* (CP). Caranya dengan menyalin bagian akhir simbol sepanjang periode CP yang digunakan dan menempatkannya pada awal simbol. Dengan memberikan CP, maka interferensi simbol hanya terjadi pada sisi *Cyclic Prefix*-nya saja. Efek tersebut dapat dihilangkan saat dilakukan sinkronisasi waktu pada *windowing FFT*, dengan cara membuang bagian CP yang mengalami interferensi.

2.1.3 Kekurangan OFDM

Adapun kekurangan yang dimiliki dari teknik *multiplexing* OFDM ini adalah sebagai berikut :

1. Sensitif terhadap masalah efek *doppler* dan sinkronisasi frekuensi.

Diantara kelebihan di atas sistem OFDM memiliki sensitivitas pada *error* frekuensi yang diakibatkan oleh perbedaan frekuensi yang diterima dengan osilator lokal pada penerima. Perbedaan ini diakibatkan oleh adanya pergeseran pada frekuensi akibat efek pergerakan atau efek *doppler* dan pengaruh *intercarrier interference* (ICI) antar *subcarrier*. Fenomena ini disebut dengan *frequency offset*.

2. Rentan terkontaminasi *distorsi nonlinear*

Teknologi OFDM adalah sebuah sistem modulasi yang menggunakan multi-frekuensi dan multi-amplitudo, sehingga sistem ini mudah terkontaminasi oleh *distorsi nonlinear* yang terjadi pada *amplifier* dari daya transmisi.

2.2 Komponen Sistem Komunikasi Serat Optik

Dalam suatu sistem komunikasi diperlukan beberapa komponen yang menyebabkan terjadinya komunikasi, begitu juga dengan sistem komunikasi serat optik. Berikut merupakan komponen – komponen sistem komunikasi serat optik (PT. Telkom, 2004) :

2.2.1 Sumber Cahaya

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

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan sumber pengirim optik adalah (PT. Telkom, 2004) :

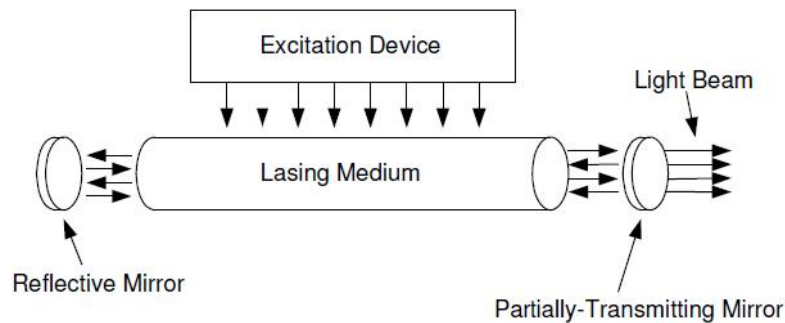
1. Proses penguatan sinyal dari sinyal elektrik ke sinyal optik agar daya yang dikeluarkan optimal.
2. Umpan balik sebagai pengontrol kinerja seiring dengan perubahan terhadap panas dan waktu.
3. Kestabilan kinerja dan lamanya siklus hidup perangkat/sumber pengirim.
4. *Loss koping*, yaitu rugi-rugi daya yang ditimbulkan saat pertama kali sinyal optik ditransmisikan ke dalam serat optik.

Salah satu jenis sumber cahaya yang digunakan untuk mengirimkan cahaya informasi melalui serat optik adalah laser.

Laser adalah sumber gelombang elektromagnetik koheren yang memancarkan gelombang pada frekuensi infra merah dan cahaya tampak. Koheren dalam hal ini adalah berfrekuensi tunggal, *seface*, dan terpolarisasi. Hal ini yang memungkinkan laser untuk dapat menghasilkan *intens* berkas cahaya koheren yang berdaya tinggi (cahaya yang mengandung satu atau lebih frekuensi yang berbeda). Bahan dasarnya berupa gas, cairan, kristal dan semikonduktor. Pengoperasian laser harus menggunakan arus bias yang besar di atas arus *threshold* (PT. Telkom, 2004) :

1. *Absorpsi foton* yaitu proses perpindahan elektron dari energi valensi ke energi konduksi.
2. Emisi Spontan yaitu proses di mana elektron dalam keadaan tereksitasi di energi konduksi kembali ke energi dasar dengan melepaskan foton.
3. Emisi terangsang yaitu proses saat keadaan inversi populasi elektron tereksitasi yang mendapat rangsangan akan serentak melepaskan foton dalam jumlah banyak.

Gambar dibawah ini merupakan struktur dasar dari laser :



Gambar 2.5. Struktur Dasar Laser (PT. Telkom, 2004)

Karakteristik dari dioda laser adalah sebagai berikut (PT. Telkom, 2004):

1. Memiliki keluaran daya optik yang besar.
2. Memiliki penguatan optik.
3. Harus bekerja di atas arus *threshold*.
4. Memiliki rongga resonan optik (*Fabry Perrot Resonator*).
5. Disipasi panas besar, sehingga diperlukan stabilisasi temperatur.
6. Arus *threshold* dipengaruhi temperatur.

Ada beberapa jenis laser yang biasa digunakan, diantaranya adalah sebagai berikut (Norizan, 2008):

1. *Continuous Wave (CW)*

Laser ini dibangun untuk memancarkan sinyal yang terus menerus (*kontinyu*). Hal ini membuat perbedaan mendasar dalam konstruksi. Dalam pengoperasiannya, output dari laser relatif konsisten terhadap waktu. Sumber pompa mantap dibutuhkan untuk penguatan tetap stabil dan terus dipelihara.

2. *Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL)*

Laser ini beroperasi pada 850 nm dan sebagian besar adalah *multimode*. Biaya sangat rendah karena diproduksi dalam volume tinggi untuk aplikasi komunikasi data.

3. *Fabry-Perot Laser (FP)*

Laser ini adalah tepi emisi dan biasa beroperasi pada panjang gelombang (1310 atau 1550 nm) dengan beberapa longitudinal mode. Biaya menengah antara VCSEL dan DFB.

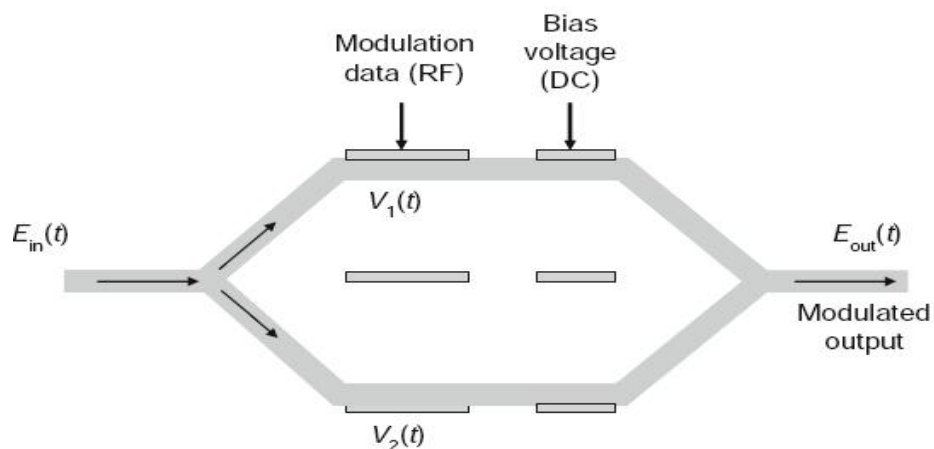
4. *Distributed Feedback Laser (DFB)*

DFB merupakan tepi-laser emitter dan terutama beroperasi pada panjang gelombang (1310 atau 1550 nm) dengan *single longitudinal mode*. Biaya lebih tinggi daripada VCSEL atau FP.

2.2.2 Modulasi Optik

Modulator merupakan proses penumpangan sinyal pada media transmisi. Modulator optik yang sering digunakan pada sistem komunikasi serat optik adalah *Mach Zehnder modulator (MZM)*.

Mach Zehnder Modulator merupakan *device* yang terintegrasi dan dapat mendukung suatu jaringan serat optik agar menjadi lebih handal. *Device* tersebut memiliki kapasitas *bandwidth* yang besar. *Device* tersebut memiliki kecepatan pemodulasian sampai dengan orde giga. *Mach Zehnder Modulator* juga merupakan salah satu *device* elektro optik yang bekerja berdasarkan interferensi yang dihasilkan dari gelombang cahaya yang koheren. Gambar dibawah ini merupakan bentuk umum dari komponen *Mach Zehnder Modulator* :



Gambar 2.6. MZM (William Shieh and Ivan Djordjevic, 2010)

Pada *Mach Zehnder Modulator*, gelombang cahaya terbagi 2 oleh coupler 3-dB sehingga menghasilkan gelombang yang sama besar dan sefasa. Pada lengan interaksi pertama diberikan tegangan listrik dengan tegangan yang berbeda-beda. Sehingga mengakibatkan suatu perpaduan antar dua gelombang yang menimbulkan interferensi. Fasa gelombang datang pada lengan pertama akan berbeda dengan fasa yang awal karena terjadi interferensi pada lengan *modulator*. Namun tidak hanya peristiwa interferensi yang menyebabkan perubahan fasa tetapi bahan penyusun juga menyebabkan perubahan fasa pada lengan berikutnya, gelombang akan kembali dipadukan dengan gelombang yang tidak diberi tegangan listrik. Namun kedua gelombang cahaya tidak lagi sefasa sehingga pada saat penggabungan akan terlihat intensitas yang berbeda pada keluaran. (Yunan Hutagaol, 2011).

2.2.3 Detektor Optik (*Photodetector*)

Photodetector merupakan perangkat penerimaan sinyal cahaya pada sistem komunikasi serat optik. Perancangan dan pemilihan perangkat penerima, sangat berpengaruh dalam analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang dapat dideteksi oleh *photodetector* (PT. Telkom, 2004).

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam memilih perangkat penerima *photodetector* antara lain (PT. Telkom, 2004):

1. Pemilihan panjang gelombang optik yang digunakan. Sifat redaman serat optik sebagai fungsi dari panjang gelombang dan jarak, akan menentukan berapa daya yang diterima *detector*.
2. *Range* atau jangkauan penerimaan daya optik. *Range* yang lebih lebar akan membuat fleksibilitas yang tinggi dalam penerapan dilapangan.
3. Penguatan daya optik sesaat setelah cahaya optik dideteksi. Daya sinyal optik yang sampai diujung penerima, biasanya tidak terlalu besar karena berkurang sepanjang transmisinya dalam serat optik, sehingga perlu dikuatkan terlebih dahulu sehingga pemrosesan penterjemahan informasi dapat dilakukan dengan sempurna.
4. *Loss koping* yaitu rugi-rugi daya sesaat setelah sinyal keluar dari serat optik dan masuk ke *detector* penerima.

Jenis-jenis *photodetector* yaitu *Positive-Intrinsic Negative* (PIN) dan APD *Avalanched Photo Diode* (APD).

2.2.3.1 Photodetector PIN

Prinsip kerja dioda PIN adalah mengubah energi optik (*foton*) yang diterima menjadi arus keluaran berdasarkan *photo voltaic effect*. Selain itu dioda PIN juga memerlukan bias mundur (PT. Telkom, 2004).

Karakteristik *Photodetector* dioda PIN (PT. Telkom, 2004) :

1. *Responsitivity* (R) dapat diartikan sebagai kemampuan *photodetector* untuk mendeteksi sinyal cahaya. Persamaan *responsitivity* pada *photodetector* PIN adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{I_p}{P_o} \quad (2.3)$$

dimana :

R adalah *responsitivity* (A/W)

I_p adalah arus *photodetector* (A)

P_o adalah daya serat optik (W)

2. Efisiensi Kuantum

Efisiensi kuantum adalah perbandingan antara pasangan elektron-hole primer terhadap foton yang datang pada diode.

Hubungan antara efisiensi kuantum dengan *responsitivity* dan panjang gelombang

$$\eta = 1,24 \frac{R}{\lambda} \quad (2.4)$$

Dimana :

η adalah efisiensi kuantum (A/W μm)

R adalah *responsitivity* (A/W)

λ adalah panjang gelombang (μm)

3. *Rise Time*

Kecepatan respon ditentukan oleh karakteristik *rise time detector* tersebut.

4. *Minimum Required Power*

Minimum Required Power merupakan daya minimum yang diperlukan pada BER (*Bit Error Rate*) tertentu.

2.2.3.2 Photodetector APD

Photodetector Avalanched Photo Diode (APD) bekerja dengan *reverse bias* yang besar. Pada medan listrik yang tinggi terjadi *avalanche effect* yang menghasilkan *impact ionization* berantai dan terjadi multiplikasi *avalanche* sehingga terjadi penguatan atau multiplikasi arus. Cahaya datang pada p+, kemudian diserap oleh bahan yang bertindak sebagai daerah pengumpul untuk *carrier* cahaya yang dibangkitkan. Pada waktu foton memberikan energinya, pasangan *elektron-hole* dibangkitkan, yang kemudian dipisahkan oleh medan listrik pada daerah . Elektron tadi mengalir dari daerah menuju pn+ *junction* di mana terjadi medan listrik yang tinggi. Di sini *carrier multiplication* terjadi (PT. Telkom, 2004).

Karakteristik *Photodetector* APD (PT. Telkom, 2004) :

1. Responsivity (R)

Persamaan *responsivity* pada *photodetector* APD adalah sebagai berikut :

$$R_{APD} = R_{PIN} M \quad (2.5)$$

dimana :

M adalah faktor multiplikasi APD

2. Absorption

Penyerapan foton di dalam *photodiode* menghasilkan *photocurrent* yang tergantung kepada koefisien *absorpsi* (α_o) cahaya di dalam semikonduktor *device*. Koefisien absorpsi tergantung pada panjang gelombang yang digunakan.

Besarnya daya yang diserap *photodiode* dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P_{abs} = P_o (1 - e^{-\alpha_o d}) \quad (2.6)$$

dimana :

P_{abs} = Daya yang diserap oleh APD (mW)

P_o = Daya yang diterima dari serat optik serat (W)

d = Lebar dari *active region* (m)

α_o = Koefisien absorpsi (m^{-1})

Hubungan antara P_{abs} , P_o , dan η adalah

$$\eta = \frac{P_{abs}}{P_o} \quad (2.7)$$

dimana :

η = Efisiensi Kuantum

P_{abs} = Daya yang diserap oleh APD (mW)

P_o = Daya yang diterima dari serat optik serat (mW)

2.2.4 Serat Optik

Serat optik adalah media transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik, dengan media pembawa adalah cahaya. Serat optik adalah media transmisi yang mampu menghantarkan data dengan waktu yang sangat cepat dan data yang sangat besar pula (Saydam, 1997).

Serat optik merupakan media transmisi yang sangat murah dan bahan baku yang mudah didapat, karena berbahan dasar plastik atau kaca. Selain itu serat optik juga media transmisi yang mempunyai ganggana yang sangat kecil (Saydam, 1997).

Struktur serat optik terdiri dari 3 lapisan yaitu (Sudaryanto, 2010):

1. *Core* (inti serat optik)

Core terbuat dari bahan kuarsa dengan kualitas sangat tinggi, *core* Merupakan bagian utama dari serat optik yang merupakan tempat perambatan cahaya sebenarnya.

Core memiliki diameter 8 μm - 50 μm . Ukuran *core* ini sangat mempengaruhi karakteristik serat optik (*singlemode* atau *multimode*).

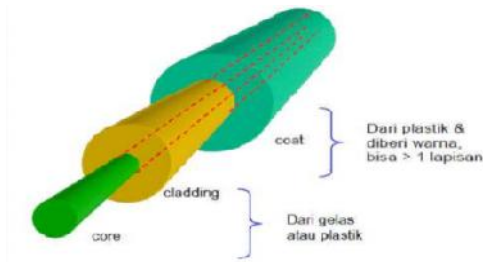
2. *Cladding*

Cladding merupakan tempat pembiasan cahaya yang memiliki *index* bias lebih kecil dari *index* bias *core*. *Cladding* merupakan selubung dari *core* yang akan mempengaruhi perambatan yaitu apakah dibiaskan atau dipantulkan. *Cladding* terbuat dari bahan gelas atau plastik,

3. *Coating*

Coating berfungsi sebagai pelindung serat optik yang terbuat dari bahan plastik.

Gambar berikut menampilkan konfigurasi dari struktur serat optik :



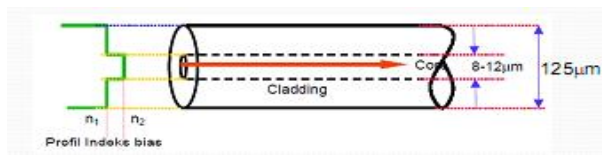
Gambar 2.7. Struktur Serat Optik (Sudaryanto, 2010)

Berdasarkan cara perambatannya, jenis-jenis serat optik terbagi menjadi 3 yaitu (Sudaryanto, 2010):

1. *Step Index Singlemode*

Step index singlemode ini merupakan jenis serat optik yang hanya mempunyai satu jenis perambatan cahaya, yaitu merambat lurus (sejajar dengan sumbu utama serat optik). Diameter *core step index singlemode* sangat kecil yaitu 8-12 μm . Jenis serat optik ini memiliki *bit rate* yang besar.

Berikut ini adalah gambar perambatan *step index singlemode* :



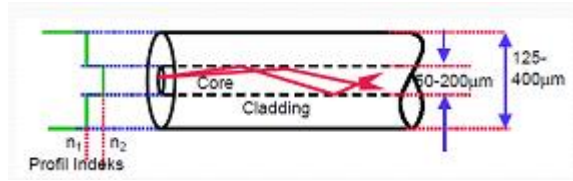
Gambar 2.8. Serat optik Singlemode (Sudaryanto, 2010)

2. *Step Index Multimode*

Jenis kabel *step index multimode* ini merupakan jenis serat optik yang mempunyai index bias konstan sehingga terjadi berbagai jenis perambatan cahaya. Pada *step index multimode*, diameter *core* besar dan dilapisi *cladding* yang tipis. Serat optik jenis ini memiliki *bit rate* rendah, serta memiliki dispersi yang besar karena mempunyai banyak perambatan cahaya sehingga terjadi pelebaran informasi pada penerimaannya.

Keuntungan dari serat optik jenis ini adalah memudahkan dalam penyambungan karena mempunyai *core* yang besar.

Berikut ini adalah gambar perambatan *step index multimode* :

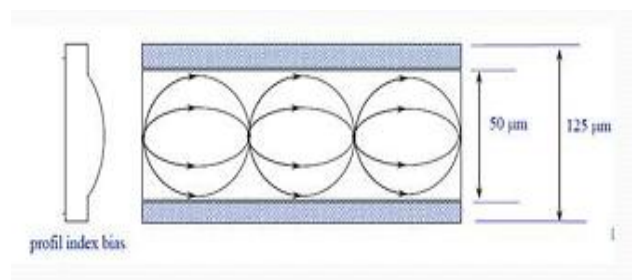


Gambar 2.9. Serat optik Multimode (Sudaryanto, 2010)

3. Graded Index Multimode

Serat optik *graded index multimode* ini mempunyai *core* yang terdiri dari sejumlah lapisan gelas yang memiliki indeks bias yang berbeda, dan indeks bias tertinggi terdapat pada pusat *core*. Dengan indeks bias yang berbeda tersebut mengakibatkan dispersi waktu dengan berbagai mode cahaya yang merambat berkurang karena cahaya akan tiba pada waktu yang bersamaan walaupun terjadi banyak lintasan propagasi.

Berikut ini adalah gambar perambatan *graded index multimode* :



Gambar 2.10. Serat optik *Graded Index Multimode* (Sudaryanto, 2010)

Karakteristik dari serat optik *Graded Index Multimode* adalah sebagai berikut:

- Cahaya merambat karena difraksi yang terjadi pada *core* sehingga rambatan cahaya sejajar dengan sumbu serat.
- Dispersi minimum sehingga baik jika digunakan untuk jarak menengah
- Ukuran diameter *core* lebih kecil dari *step Index multimode*, yaitu antara 30 μm – 60 μm , yang terbuat dari bahan *silica glass*.
- Harganya lebih mahal dari serat optik *Step Index Multimode* karena proses pembuatannya lebih sulit.

2.3 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) adalah skema modulasi yang membawa data dengan merubah amplitudo dan fase dari sinyal *carrier* (Aditya Ananta, 2012).

Sinyal yang dimodulasi akan menghasilkan sinyal modulasi yang merupakan kombinasi dari *Phase Shift Keying* (PSK) dan *Amplitude Shift Keying* (ASK).

Pada modulasi QAM, titik-titik konstelasi (*constellation points*) dibuat dalam bentuk kotak dengan jarak vertikal dan horizontal yang sama. Berikut ini merupakan beberapa jenis modulasi QAM :

1. 4-QAM

4-QAM adalah teknik pengkodean *M-ary* dimana $M=4$. Seperti halnya QPSK, pada 4-QAM ada empat *phase* keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda, yaitu 00, 01, 10 dan 11.

2. 16-QAM

Modulasi 16-QAM merupakan modulasi QAM yang menggunakan inputan 4 bit dengan 16 kondisi logika.

3. 64-QAM

64-QAM adalah teknik pengkodean QAM dengan $M=64$ sehingga untuk masukan digital ke modulator adalah sinyal dengan jumlah bit sebanyak 6 bit.

4. 256-QAM

256-QAM adalah teknik pengkodean QAM dengan $M=256$ sehingga untuk masukan digital ke modulator adalah sinyal dengan jumlah bit sebanyak 8 bit.

2.4 *Radio over Fiber (ROF)*

2.4.1 Pengertian ROF

Terdapat dua macam sistem transmisi data yaitu sistem transmisi dengan menggunakan gelombang radio (nirkabel) dan transmisi jaringan melalui kabel. Transmisi data melalui kabel lebih cepat daripada melalui gelombang radio karena menggunakan dalam hal ini kabel menggunakan serat optik.

Kedua sistem transmisi tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Serat optik mempunyai kelebihan yaitu transmisi data yang cepat dan performansi yang prima. Namun memiliki kekurangan yaitu daerah kerja yang kurang luas dan proses instalasi kabel yang membutuhkan biaya yang besar. Sedangkan dengan menggunakan nirkabel, daerah kerjanya cukup luas, biaya

pemasangan secara general cukup murah, akan tetapi memiliki kekurangan yaitu kualitas dan performansi yang kurang maksimal dan disertai dengan adanya gangguan sinyal.

Maka muncul suatu wacana untuk menggabungkan kedua sistem transmisi tersebut, dengan harapan akan diperoleh suatu sistem transmisi baru yang lebih baik daripada keduanya. Sistem transmisi tersebut dikenal sebagai *Radio over Fiber*. *Radio over fiber* merupakan suatu proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik.

Saat ini kebutuhan industri menuntut efisiensi. Dengan menggunakan kabel serat optik sebagai medium perantara, maka akan diperoleh kecepatan transmisi yang lebih besar dibandingkan ketika dilakukan transmisi secara langsung. Dengan menggunakan kabel serat optik, maka kualitas sinyal suara yang ditransmisikan tetap bagus atau dapat dikatakan gangguan yang timbul selama proses transmisi kecil, sehingga sinyal yang dibawanya tetap bagus. Selain itu dengan menggunakan kabel serat optik dapat menghemat biaya serta menambah performansi untuk *high speed fiber* berdasarkan akses nirkabel.

2.4.2 Prinsip Kerja ROF

Pada awalnya ROF bekerja berdasarkan prinsip penggabungan kelebihan dari serat optik dan nirkabel. Tujuannya agar pengguna dapat menikmati performansi yang lebih bagus daripada nirkabel tetapi tidak semahal pada instalasi kabel serat optik.

Dalam cakupan daerah area nirkabel, dapat dipasang link *Radio over Fiber* antar *Radio Access Point* (RAP) untuk memancarkan sinyal sebesar daerah sel mikro. Hal tersebut memungkinkan tercakupnya seluruh area *coverage* yang semestinya dapat dijangkau oleh nirkabel. Dengan adanya link *Radio over Fiber*, maka kualitas sinyal terjamin dan diharapkan performansi yang diterima oleh pelanggan akan lebih baik.

2.4.3 Kelebihan ROF

Kelebihan yang dimiliki *Radio over Fiber*, diantaranya: (Wikipedia, 2011)

1. Menggabungkan alat pengkonversi AM ke FM menjadi alat sederhana, berkualitas tinggi, dan hanya dengan satu proses saja.

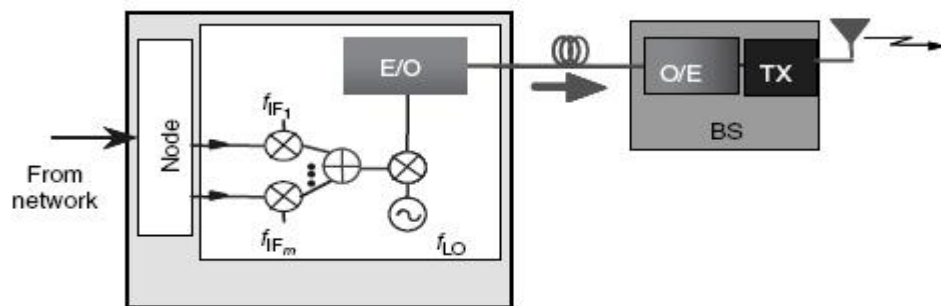
2. Kapasitas *bandwidth* yang besar.
3. Dapat menghasilkan frekuensi *subcarrier microwave* sampai dengan 100 GHz.
4. Menghindari penggunaan alat pengkonversi dengan harga mahal.
5. Mengurangi kontaminasi *noise* dan meningkatkan kualitas pelayanan.
6. Meningkatkan komunikasi nirkabel dan kapasitas data.

2.4.4 Jenis Jenis *Radio over Fiber*

Sistem transmisi ROF biasanya digolongkan menjadi tiga kategori yaitu :

1. *RF-over Fiber*

Dalam *RF-over Fiber*, data dibawa dengan sinyal pembawa *Radio Frequency* (RF) dengan frekuensi tinggi (biasanya lebih besar dari 10 GHz), digunakan pada sinyal *Lightwave* sebelum dibawa melalui saluran optik. Oleh karena itu, sinyal nirkabel optik didistribusikan langsung ke *Base Station* (BS) dengan frekuensi tinggi dan diubah dari optik ke sinyal listrik sebelum diperkuat dan dipancarkan oleh antena. Akibatnya, tidak diperlukan *up/down converter* di berbagai *base station*, sehingga menghasilkan implementasi sederhana dan lebih hemat biaya. Gambar 2.11 berikut menampilkan *hardware* pada CO dan BS dalam sistem HFR untuk *downstream* transmisi sinyal *RF-over fiber* :

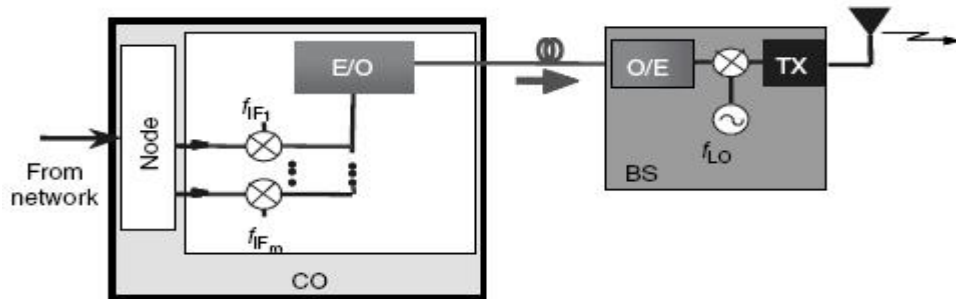


Gambar 2.11. *Hardware* pada CO dan BS dalam Sistem HFR (*Hybrid Fiber Radio*) untuk *Downstream* Transmisi Sinyal *RF-over Fiber* (Chi H. Lee, 2007)

2. *IF-over Fiber*

Dalam *IF-over Fiber*, sinyal IF (*Intermediate Frequency*) dengan frekuensi yang lebih rendah (kurang dari 10 GHz) digunakan untuk modulasi cahaya sebelum ditransmisikan melalui saluran optik. Oleh karena itu, sinyal nirkabel diangkut pada *IF-over fiber* (Wikipedia, 2011).

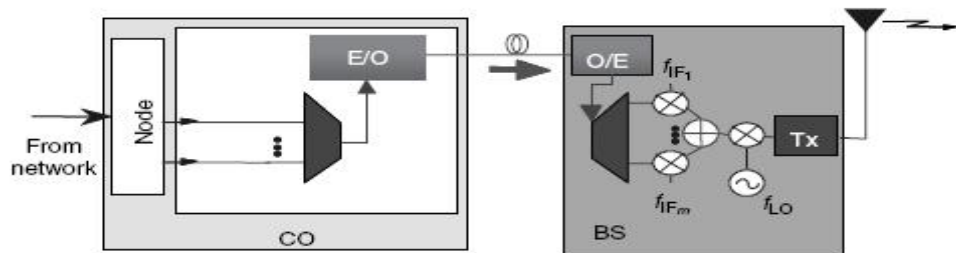
Gambar 2.12 berikut menampilkan *hardware* pada CO dan BS dalam sistem HFR untuk *downstream* transmisi sinyal *IF-over fiber* :



Gambar 2.12. *Hardware* pada CO dan BS dalam Sistem HFR (*Hybrid Fiber Radio*) untuk *Downstream* Transmisi Sinyal *IF-over Fiber* (Chi H. Lee, 2007)

3. *Baseband over Fiber*

Baseband over Fiber adalah sebuah metode penggunaan media komunikasi dimana frekuensi yang dilewatkan pada *carrier* hanya satu buah untuk mentransmisikan data. Oleh karena itu, dalam satu media tersebut hanya terdapat satu sinyal yang memiliki arti. Salah satu contoh pengguna metode *baseband* adalah Ethernet. Gambar 2.13 berikut menampilkan *hardware* pada CO dan BS dalam sistem HFR untuk *downstream* transmisi sinyal *baseband-over fiber* :



Gambar 2.13. *Hardware* pada CO dan BS dalam Sistem HFR (*Hybrid Fiber Radio*) untuk *Downstream* Transmisi Sinyal *Baseband-over Fiber* (Chi H. Lee, 2007)

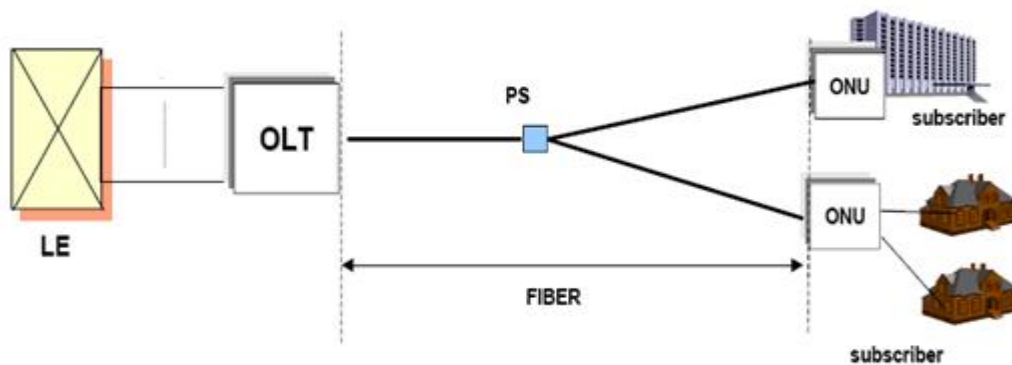
2.5 *Passive Optical Network (PON)*

Passive Optical Network merupakan suatu jaringan akses yang menggunakan serat optik dan kabel tembaga konvensional sebagai media transmisinya. PON memiliki topologi jaringan, yakni *point-to-multipoint (Multiple Star)*, serta menggunakan perangkat pasif seperti konektor, *passive splitter*, dan serat optik itu

sendiri. *Passive Splitter* (PS) berfungsi untuk membagi penggunaan serat optik dan membentuk jaringan *point-to-multipoint* tersebut. Melalui *passive splitter* ini maka, kabel optik dapat dipecah (*split*) menjadi beberapa kabel optik lagi, dengan kualitas informasi yang sama. (Rahmad Fauzi, 2006)

PON diterapkan untuk pelanggan dalam *cluster-cluster* yang berukuran kecil (4 ~ 120 *cluster*). Jaringan optik PON dapat digunakan bersama-sama / diintegrasikan untuk jaringan distribusi / *broadcast* (CATV).

Dalam PON terdapat tiga komponen utama yaitu *Optical Line Terminal* (OLT), *Optical Distribution Network* (ODN) dan *Optical Network Unit* (ONU). Gambar 2.14 berikut merupakan konfigurasi PON dalam bentuk umum.



Gambar 2.14. Konfigurasi Umum PON (Abdul Rasyid Nur, 2011)

OLT mempunyai fungsi untuk melakukan konversi dari sinyal elektrik menjadi optik dan sebaliknya. Dalam sebuah OLT bisa terdiri atas beberapa ODN. OLT merupakan titik ujung jaringan akses serat optik yang dihubungkan dengan sentral telepon. Sedangkan ONU merupakan perangkat TKO yang berada di sisi pelanggan dan berfungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik dan sebaliknya dari sinyal elektrik menjadi sinyal optik.

Kapasitas setiap ONU yang digunakan di dalam OLT sama. Perencanaan jaringan PON meliputi pemilihan OLT, penentuan teknik transmisi (1 fiber atau 2 fiber), penentuan *passive splitter* dan kapasitas ONU.

Perkembangan teknologi *Passive Optical Network* (PON) adalah sebagai berikut :

1. APON (ATM PON)

APON merupakan standar *International Telecommunication Union* (ITU) pada tahun 1998 dan merupakan teknologi keluaran pertama dari PON. APON ini menggunakan prinsip ATM yaitu 622 Mbps untuk *downstream* dan 155 Mbps untuk *upstream*, dan *splitter* yang digunakan maksimum antara 32-64 dengan jarak 20 km.

2. BPON (*Broadband PON*)

BPON merupakan perkembangan dari APON dengan 1,2 Gbps untuk *downstream* dan 622 Mbps untuk *upstream*.

3. EPON (*Ethernet PON*)

EPON merupakan standar IEEE tahun 2004. EPON merupakan teknologi yang memiliki *bit rate* sama antara *downstream* dan *upstream*, yaitu 1,25 Gbps.

4. *Gigabit Passive Optical Network* (GPON)

GPON merupakan *next generation* dari PON. Standar GPON adalah ITU G.984x. GPON memiliki *bandwidth* 2,5 Gbps untuk *downstream* dan 155 Mbps – 2,5 Gbps untuk *upstream*. Panjang gelombang (*wavelength*) yang digunakan untuk GPON yaitu 1490 nm untuk *downstream* dan 1310 nm untuk *upstream*, yang digunakan untuk mengirim data dan suara, sedangkan panjang gelombang 1550 nm digunakan untuk transmisi sinyal *video*. (ITU-T 984.2).

2.6 *Gigabit-Capable Passive Optical Network* (GPON)

GPON adalah suatu teknologi akses yang dikategorikan sebagai *Broadband Access* berbasis serat optik. GPON merupakan salah satu teknologi PON yang dikembangkan oleh ITU-T melalui rekomendasi G.984. (Rika Foelyati, 2011).

GPON merupakan teknologi FTTx yang dapat mengirimkan layanan ke pelanggan dengan menggunakan kabel serat optik. Jika sebelumnya pelanggan menggunakan kabel tembaga pada instalasi pengkabelan di sisi pelanggan, maka sekarang instalasi pengkabelan menggunakan serat optik. Keunggulannya adalah dari segi *bandwidth* yang bisa mencapai 2,488 Gbps (*downstream*) sampai pelanggan tanpa ada kehilangan *bandwidth*. (Abdul Rasyid Nur, 2011).

2.7 Parameter Performansi

2.7.1 *Bit Error Rate*

Parameter yang paling umum untuk jaringan digital adalah *Bit Error Rate* (BER). BER didefinisikan sebagai perbandingan jumlah kesalahan *bit* yang mungkin terjadi (N_E)

dengan jumlah *bit* total (N_T) yang dikirim selama selang waktu tertentu. Dalam persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut (PT.Telkom, 2004) :

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \quad (2.8)$$

2.7.2 Power Link Budget

Daya optik yang diterima bergantung pada daya optik yang dikirim dan total redaman (*loss*), yang dirumuskan melalui persamaan berikut (PT.Telkom, 2004):

$$P_R = P_T - Total Loss \quad (2.9)$$

dimana :

P_R adalah daya optik diterima (dBm)

P_T adalah daya optik yang dikirim (dBm)

Total *loss* adalah keseluruhan rugi-rugi yang terjadi (dB)

Total *loss* yang terjadi dalam sistem komunikasi serat optik dalam matematis dapat ditulis sebagai berikut (PT.Telkom, 2004) :

$$Total Loss = L_{\text{konektor}} + Attenuation_{\text{splitter}} + L_{FO} \quad (2.10)$$

dimana :

L_{konektor} adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh konektor (dB)

$Attenuation_{\text{splitter}}$ adalah rugi-rugi yang disebabkan banyaknya pembelahan sinyal (dB)

L_{FO} adalah redaman atau attenuasi serat optik (dB)

2.8 Optisystem

Optisystem merupakan software simulasi yang memungkinkan pengguna untuk merencanakan, menguji, dan mensimulasikan / mendesain jaringan dengan menggunakan tool yang telah tersedia. Berikut beberapa sistem dan fungsi yang dapat dimodelkan dan simulasikan dengan menggunakan *optisystem* (*Optiwave*, 2011) :

- *Radio over Fiber*.

- *Transmitter*, saluran, *amplifier*, dan desain penerima.
- Perkiraan BER dan penalti dengan sistem yang berbeda pada penerima.
- Sistem BER dan *Power Link Budget*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian Tugas Akhir ini, digunakan metode sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan suatu metode dengan cara membaca teori-teori yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini dari buku-buku referensi, baik yang dimiliki penulis maupun dari perpustakaan dan juga dari sumber lain seperti artikel-artikel, jurnal, dan lain-lain.

2. Pemodelan dan Simulasi Jaringan

Pemodelan jaringan yang akan dibuat adalah jaringan pada OFDM-ROF dengan transmisi *downlink* dan disimulasikan dengan menggunakan *software optisystem* versi 10. Perencanaan frekuensi kerja untuk model jaringan adalah 7,5 GHz

3. Analisa Hasil Simulasi

Pada tahap ini akan dilakukan analisa untuk hasil simulasi yang diperoleh terhadap parameter-parameter yang telah ditentukan pada batasan masalah.

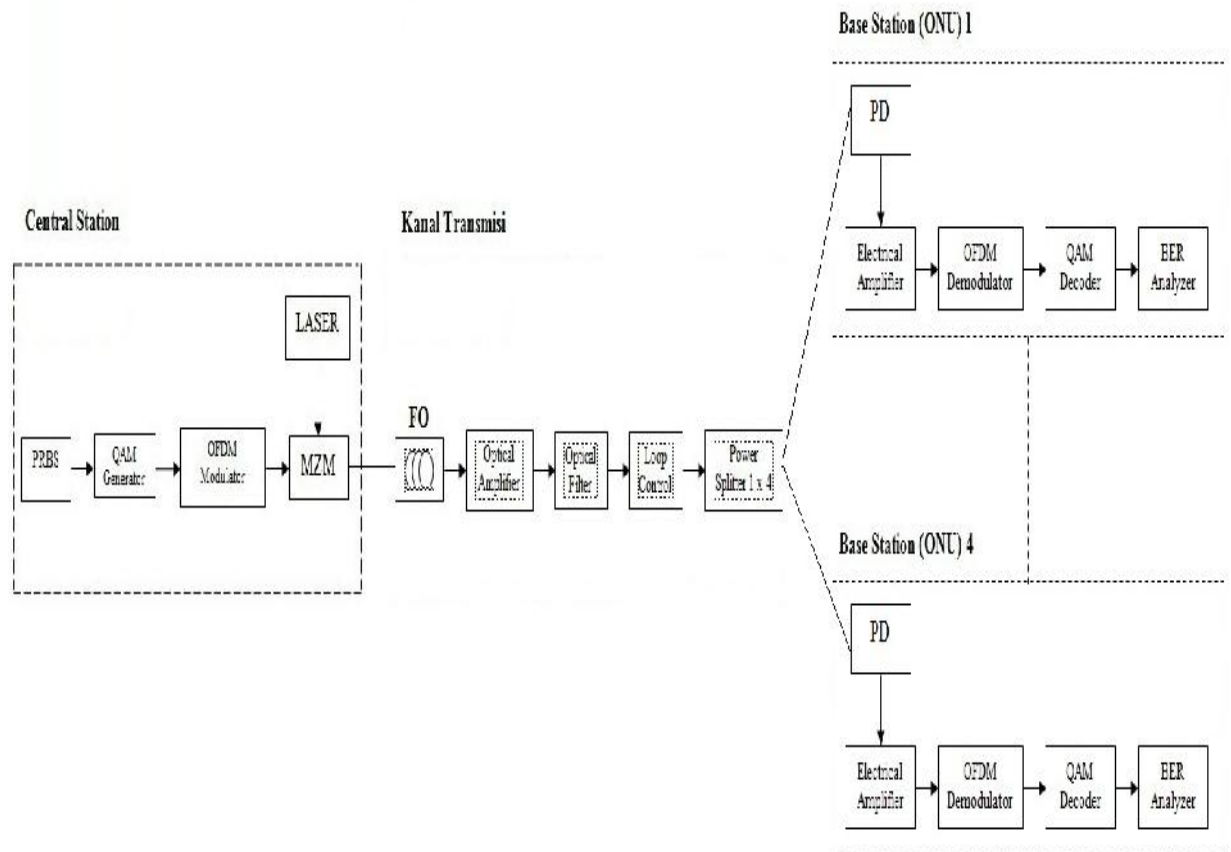
4. Penulisan Laporan

Tahap akhir dari metode penelitian ini adalah menulis laporan Tugas Akhir berdasarkan analisis dan kesimpulan yang diperoleh.

Simulasi menggunakan perangkat lunak (*software*) sangat diperlukan dalam memodelkan suatu jaringan. Dalam hal ini model jaringan OFDM-ROF yang dibuat hanya untuk transmisi *downlink* dengan menggunakan *software optisystem* versi 10. Metode atau langkah ini diambil karena sulitnya perhitungan, pengukuran secara manual dan juga dari segi peralatan yang digunakan untuk membangun jaringan tersebut membutuhkan biaya cukup mahal. Maka sistem yang akan diteliti ini akan dipresentasikan dalam bentuk suatu model jaringan yang mendekati implementasi sebenarnya.

3.1 Model Simulasi untuk Jaringan OFDM-ROF pada Transmisi *Downlink*

Pada penelitian ini, jaringan OFDM-ROF dimodelkan dalam tiga sistem yaitu *Central Station* (CS), *Kanal Transmisi*, dan *Base Station* (ONU). Gambar 3.1 dibawah ini merupakan model simulasi untuk jaringan OFDM-ROF pada transmisi *downlink*.



Gambar 3.1. Transmisi *Downlink* pada Jaringan OFDM-ROF

Prinsip dan tahapan kerja model simulasi diatas, dapat dijelaskan pada sub bab dibawah ini.

3.1.1 Pembuatan Blok Diagram pada Sisi *Central Station*

Pseudo Random Bit Sequence (PRBS) merupakan sumber informasi pada sisi *Central Station* yang berfungsi untuk menghasilkan bit informasi yang akan dikirimkan melalui kabel serat optik, selanjutnya bit – bit tersebut akan melalui proses *encoding* dengan menggunakan teknik pengkodean *Non Return to Zero* (NRZ). Setelah *dicoding*-kan sinyal tersebut akan dibentuk *orthogonal* pada masing

– masing *subcarrier* didalam OFDM Modulator, yang pada prinsipnya *subcarrier* OFDM dimodulasi dengan teknik modulasi umum seperti *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). Sinyal elektrik yang sudah dihasilkan OFDM Modulator kemudian melewati *Mach Zehnder Modulator* (MZM) yang merupakan *modulator* eksternal, dimana berfungsi sebagai proses penumpangan sinyal elektrik ke dalam sinyal cahaya yang ditembakkan oleh laser dioda, agar dapat ditransmisikan ke dalam fiber optik.

3.1.2 Pembuatan Blok Diagram pada Kanal Transmisi

Sinyal optik yang dihasilkan MZM kemudian melewati kanal, dalam hal ini yakni *Radio over Fiber*. Pada serat optik diperlukan penguat optik untuk menguatkan sinyal cahaya yang ditransmisikan. Dengan adanya penguat optik, maka bisa didapatkan jarak transmisi yang lebih jauh. Karena semakin jauh jarak transmisi semakin lemah sinyal yg diterima. Penguat optik yang akan digunakan adalah *Optical Amplifier*. Setelah sinyal optik diperkuat oleh *Optical Amplifier*, maka sinyal tersebut melalui *Optical Filter* yang merupakan perangkat penerima yang berfungsi untuk mengambil sinyal informasi sesuai dengan frekuensi yang diinginkan. Prinsip kerjanya adalah melewatkan frekuensi tertentu dan menahan atau meredam frekuensi lainnya.

Sinyal informasi sudah sesuai dengan frekuensi yang diinginkan, siap ditransmisikan pada masing – masing ONU. *Power spliter* 1 x 4, dimana berfungsi sebagai pencabangan / memisahkan satu aliran transmisi menjadi 4 titik tujuan (ONU).

3.1.3 Pembuatan Blok Diagram pada Sisi Base Station

Blok diagram pada sisi *Base Station* (ONU) merupakan suatu bagian yang berfungsi untuk menerima sinyal optik yang dikirim oleh *transmitter* atau menerima sinyal cahaya keluaran dari serat optik.

Photodetektor (PD) berfungsi sebagai perangkat yang mendeteksi sinyal cahaya yang masuk dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Selanjutnya sinyal keluaran dari PD sudah berbentuk sinyal elektrik kembali.

Blok *Electrical Amplifier*, *OFDM Demodulator*, dan *QAM Decoder* merupakan blok dimana pengembalian proses dari sisi *Central Station*. Dan terakhir

sinyal hasil keluaran *QAM Decoder* diukur melalui *BER Analyzer* yang berfungsi mendapatkan hasil dari BER.

3.2 *Parameter Setup*

Untuk mempermudah simulasi maka diperlukan parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan simulasi. Adapun parameter-parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel – tabel berikut ini :

Tabel 3.1. *Global Parameter Setup*

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Bit Rate</i>	1000000000	Bit/s
<i>Time Window</i>	16384 ⁻⁷	Hz
<i>Sample Rate</i>	4000000000	Hz
<i>Sequench Length</i>	16384	Bits
<i>Sample per Bit</i>	4	
<i>Number of Samples</i>	65536	
<i>Sensitivity</i>	-100	dBm

Sumber optik yang digunakan pada model jaringan ini adalah CW Laser. Pengaturan parameter CW Laser dalam rancangan simulasi model jaringan ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.2. *Parameter CW Laser*

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Frequency</i>	193,1	THz
<i>Power</i>	-7 s/d 1	dBm
<i>Linewidth</i>	5	MHz

Pada model jaringan ini diperlukan penguat optik untuk memperkuat sinyal yang ditransmisikan. Tabel 3.3 memperlihatkan parameter dari *Optical Amplifier*.

Tabel 3.3. *Parameter Optical Amplifier*

Parameter	Nilai	Satuan
------------------	--------------	---------------

<i>Power</i>	10	dBm
<i>Gain</i>	13	dB

Fiber optik yang digunakan pada model jaringan ini adalah fiber optik *step index single mode*. Pengaturan parameter fiber optik dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4. Parameter Serat Optik

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Reference Wavelength</i>	1552,5	Nm
<i>Length</i>	50	Km
<i>Attenuation</i>	0,2	dB/Km
<i>Dispersion</i>	14 s/d 21	ps/nm/Km
<i>Dispersion Slope</i>	0,075	ps/nm ² /Km
<i>Lower Calculation Limit</i>	1200	nm
<i>Upper Calculation Limit</i>	1700	nm

Photodetektor yang digunakan dalam model jaringan ini adalah photodetektor model PIN (P *Intrinsic* N). Pengaturan parameter *Photodetector* PIN dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5. Parameter *Photodetector* PIN

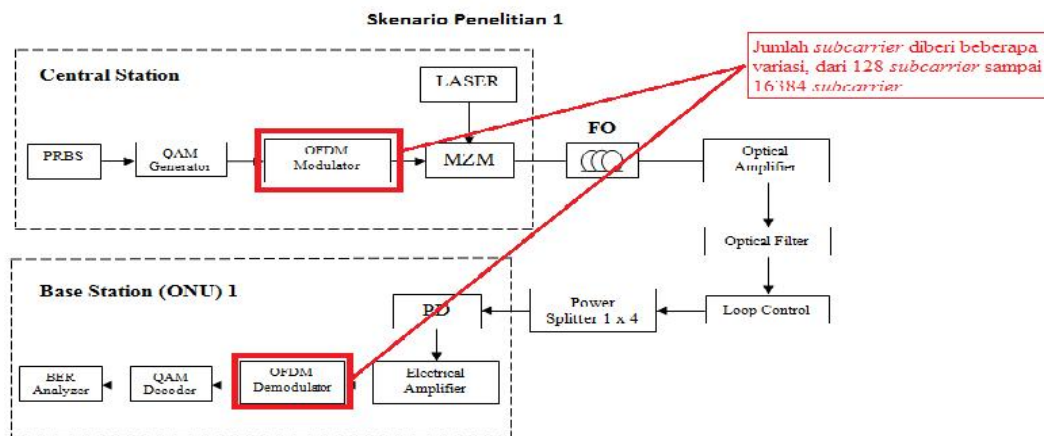
Parameter	Nilai	Satuan
<i>Responsivity</i>	1	A/W
<i>Dark Curent</i>	10	nA
<i>Center Frequency</i>	193,1	THz

3.3 Skenario Penelitian

Skenario penelitian dilakukan dengan cara memberi variasi jumlah *subcarrier* pada OFDM *Modulator* dan *Demodulator*, beberapa ukuran dispersi pada Fiber Optik, jumlah index ONU pada sisi pelanggan, dan memberi beberapa ukuran daya input pada CW Laser.

3.3.1 Pengaruh Variasi Jumlah *Subcarrier* pada OFDM *Modulator* dan *Demodulator* terhadap Performansi BER

Simulasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari jumlah *subcarrier* terhadap performansi BER yang akan dihasilkan. Simulasi dilakukan dengan cara memberi beberapa variasi jumlah *subcarrier* pada OFDM *Modulator* dan *Demodulator* yaitu meliputi 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, dan 16384 *subcarrier*. Gambar 3.2 memperlihatkan bentuk gambar dari skenario penelitian pertama.



Gambar 3.2. Skenario Penelitian Pertama

Parameter jumlah *subcarrier*, *Position Array* dan FFT yang diatur pada OFDM *Modulator* maupun OFDM *Demodulator* memiliki nilai yang sama. Dengan ketentuan parameter *Position Array* dan FFT disesuaikan dengan jumlah *subcarrier*. Dalam bahasa matematis, jika $subcarrier=2^n$, maka $FFT=2^{n+1}$ dan $Position Array=2^{n-1}$. Adapun *subcarrier* yang digunakan adalah 2^n , dimana $n=7,8,9,10,11,12,13,14$.

Parameter jumlah *subcarrier*, *Position Array* dan FFT yang diatur dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6. Parameter OFDM *Modulator* dan *Demodulator* dengan Jumlah *Subcarrier* 128 sampai dengan 16384.

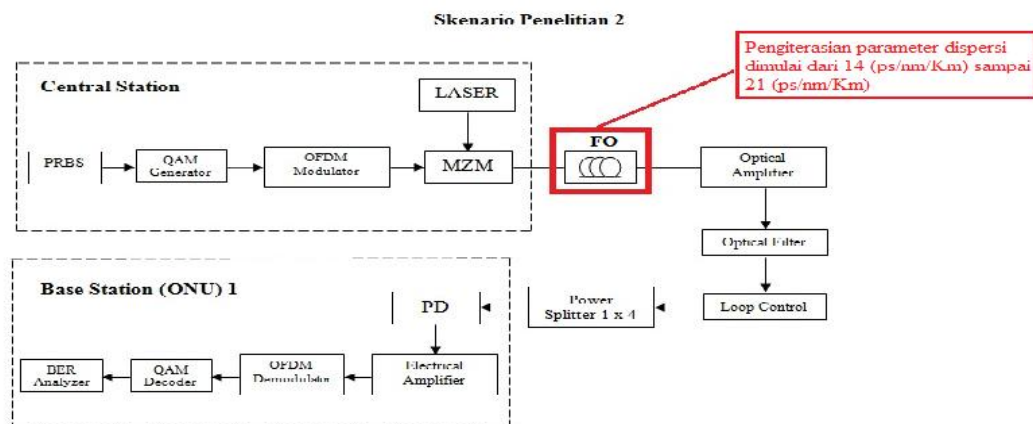
Jumlah <i>Subcarrier</i> (Bits)	<i>Position Array</i> (Bits)	FFT (Bits)
------------------------------------	---------------------------------	---------------

128	64	256
256	128	512
512	256	1024
1024	512	2048
2048	1024	4096
4096	2048	8192
8192	4096	16384
16384	8192	32768

3.3.2 Pengaruh Dispersi pada Fiber Optik terhadap Performansi BER

Berdasarkan skenario penelitian pertama, jumlah *subcarrier* dapat diubah dengan mengaturnya pada OFDM Modulator dan Demodulator. Pengaturan jumlah *subcarrier* ini akan berpengaruh terhadap performansi BER.

Skenario penelitian kedua adalah dengan mengatur parameter dispersi pada fiber optik, dengan tujuan melihat pengaruh dispersi terhadap performansi BER yang dihasilkan. Gambar 3.3 memperlihatkan bentuk gambar dari skenario penelitian kedua.



Gambar 3.3. Skenario Penelitian Kedua

Pengiterasian parameter dispersi pada fiber optik dengan nilai dari 14 ps/nm/Km sampai dengan 21 ps/nm/Km diperlihatkan pada tabel 3.7.

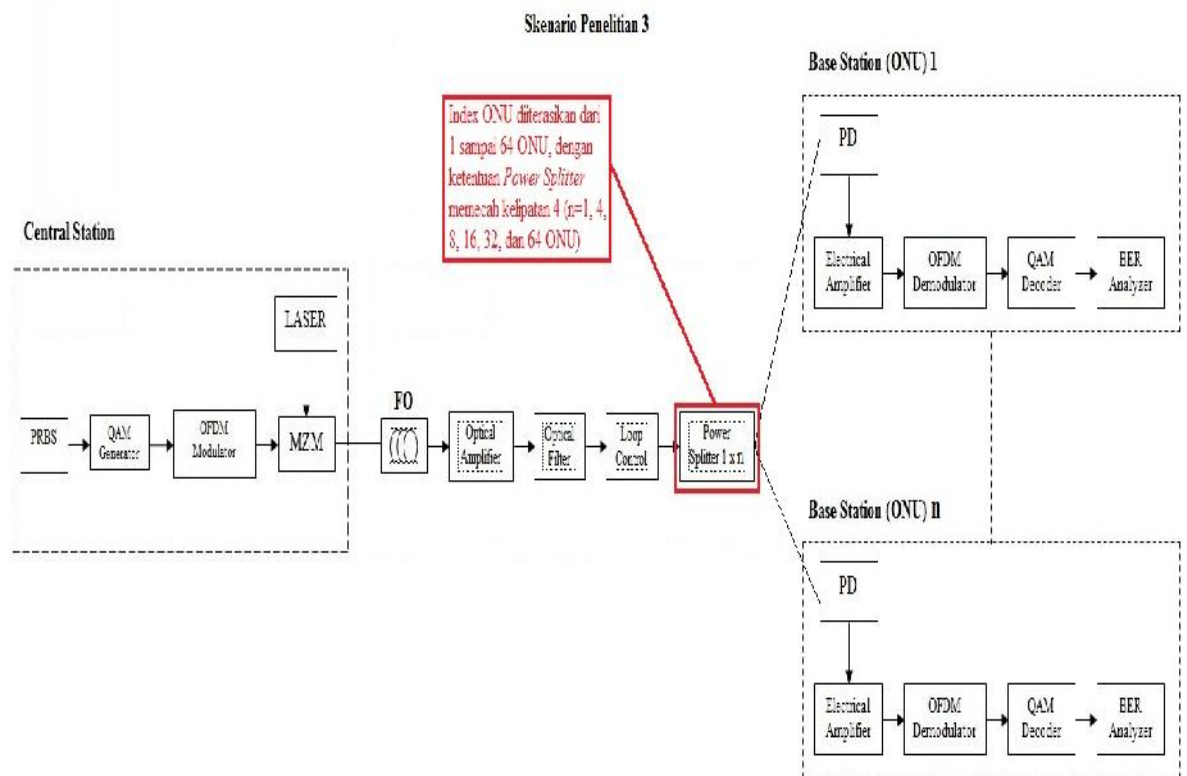
Tabel 3.7. Parameter Fiber Optik dengan Dispersi 14 ps/nm/Km sampai dengan 21 ps/nm/Km

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Length</i>	50	Km

<i>Attenuation</i>	0,2	dB/km
<i>Dispersion</i>	14 - 21	ps/nm/km
<i>Dispersion slope</i>	0,075	ps/nm ² /km

3.3.3 Pengaruh Index ONU terhadap Performansi BER

Performansi BER dapat dipengaruhi juga oleh index ONU yang digunakan dengan cara mengatur banyaknya jumlah ONU pada sistem. Bentuk gambar dari skenario penelitian ketiga dapat dilihat pada gambar 3.4.

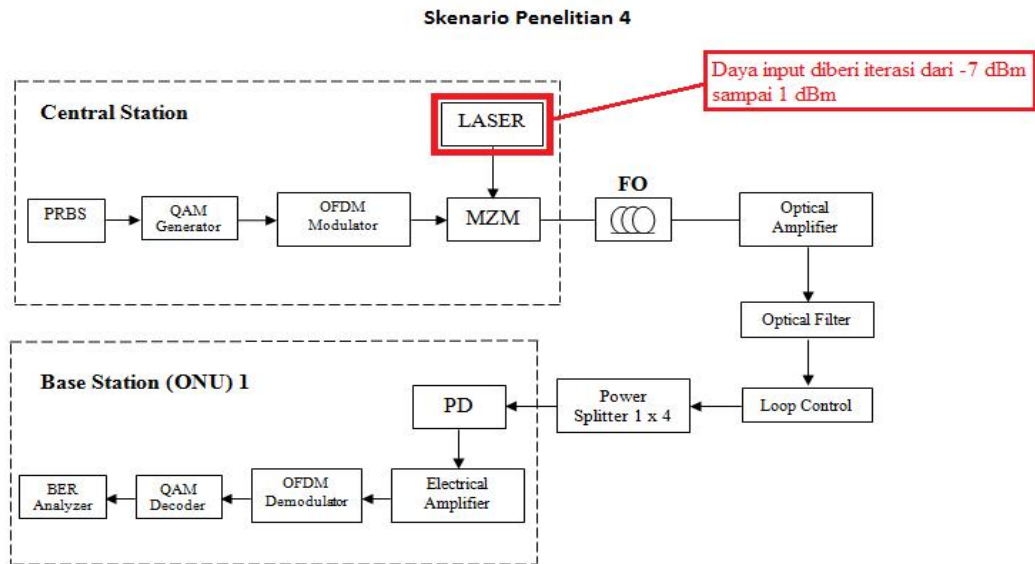


Gambar 3.4. Skenario Penelitian Ketiga

Skenario penelitian ketiga ini ditujukan untuk melihat sejauh mana performansi BER dipengaruhi oleh jumlah index ONU. Pada skenario ini terdapat 6 model jaringan yang sama, tetapi jumlah ONU-nya berbeda. Adapun jumlah ONU yang akan disimulasikan pada model jaringan ini adalah 1, 4, 8, 16, 32, dan 64 ONU.

3.3.4 Pengaruh Daya Input terhadap Performansi BER

Skenario penelitian keempat merupakan simulasi yang dilakukan untuk melihat pengaruh dari daya input terhadap performansi BER. Simulasi dilakukan dengan cara memberi beberapa ukuran pada daya input CW Laser yaitu dari -7 dBm sampai dengan 1 dBm. Gambar 3.5 memperlihatkan bentuk gambar dari skenario penelitian keempat.



Gambar 3.5. Skenario Penelitian Keempat

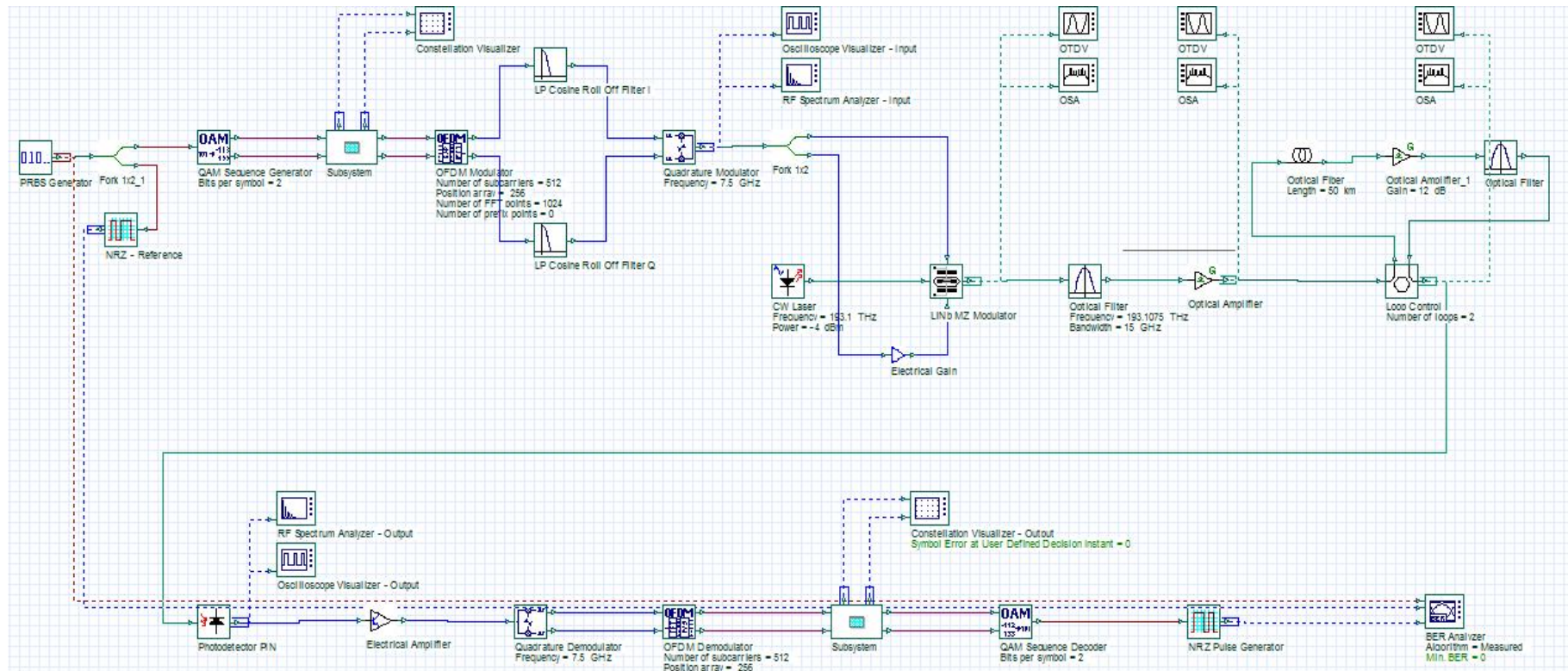
Parameter daya input yang diatur pada CW Laser diperlihatkan pada tabel 3.8 dibawah ini.

Tabel 3.8. Parameter CW Laser dengan Power -7 dBm sampai 1 dBm

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Frequency</i>	193,1	THz
<i>Power</i>	-7 s/d 1	dBm

3.4 Model Jaringan

Model jaringan yang dibuat diperlihatkan pada gambar 3.6 di bawah ini dan telah didesain dengan menggunakan *Software Optisystem V.10*.



Gambar 3.6. Model Jaringan ROF dengan Teknik Multiplexing OFDM dan Arsitektur PON

Gambar 3.6 di atas merupakan model jaringan *Radio over Fiber* dengan menggunakan teknik multiplexing OFDM untuk arsitektur PON yang dimodelkan pada *software optisystem*. Sinyal informasi dibangkitkan oleh PRBS Generator kemudian di-*coding*-kan dengan menggunakan NRZ. Setelah di-*coding*-kan sinyal tersebut akan dibentuk *orthogonal* pada masing – masing *subcarrier* di dalam OFDM Modulator, yang pada prinsipnya *subcarrier* OFDM dimodulasi dengan teknik modulasi umum seperti QAM. Sinyal elektrik yang sudah dihasilkan OFDM Modulator kemudian melewati LP *Cosine Roll Off Filter* sebagai filter dan sinyal hasil filter tersebut melewati *Quadrature Modulator* dan MZM yang merupakan *modulator* eksternal, dimana berfungsi sebagai proses penumpangan sinyal elektrik ke dalam sinyal cahaya yang ditembakkan oleh laser dioda, agar dapat ditransmisikan ke dalam fiber optik. Jenis fiber optik yang digunakan adalah *Single Mode Fiber* (SMF) dengan panjang 50 km sedangkan *visualizer* yang digunakan adalah *Optical Spectrum Analyzer*, *Constellation Visualizer*, dan *Optical Power Meter*.

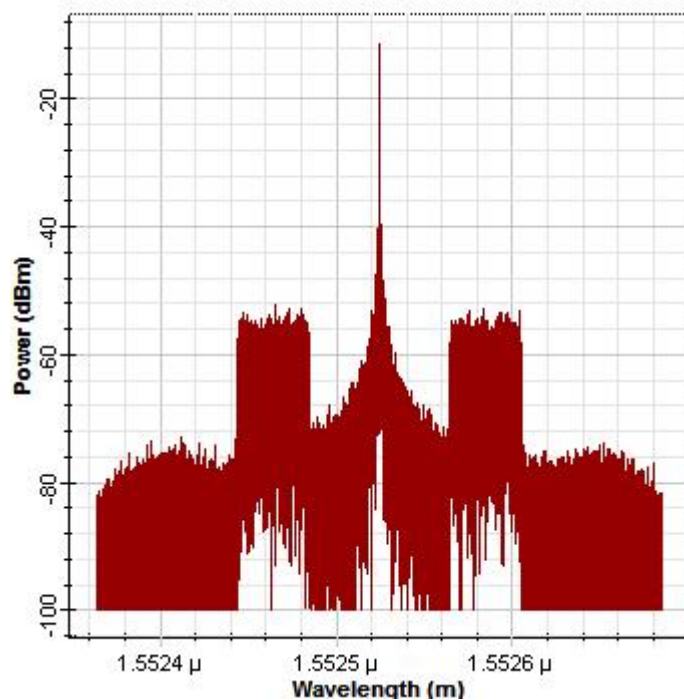
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, hasil simulasi akan dianalisa dan digambarkan dalam bentuk performansi OFDM, yaitu meliputi *Bit Error Rate (BER)* dan *Power Link Budget*. Pada penelitian ini, model jaringan yang dibuat untuk transmisi *downstream* saja.

4.1 Verifikasi Model Jaringan

Model jaringan didesain sesuai dengan standar yang sudah ditentukan untuk sistem komunikasi serat optik. Selain itu, model jaringan ini telah disimulasikan dengan menggunakan software *Optisystem*. Pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa model jaringan yang dirancang dapat mentransmisikan sinyal informasi sesuai dengan panjang gelombang yang ditetapkan.

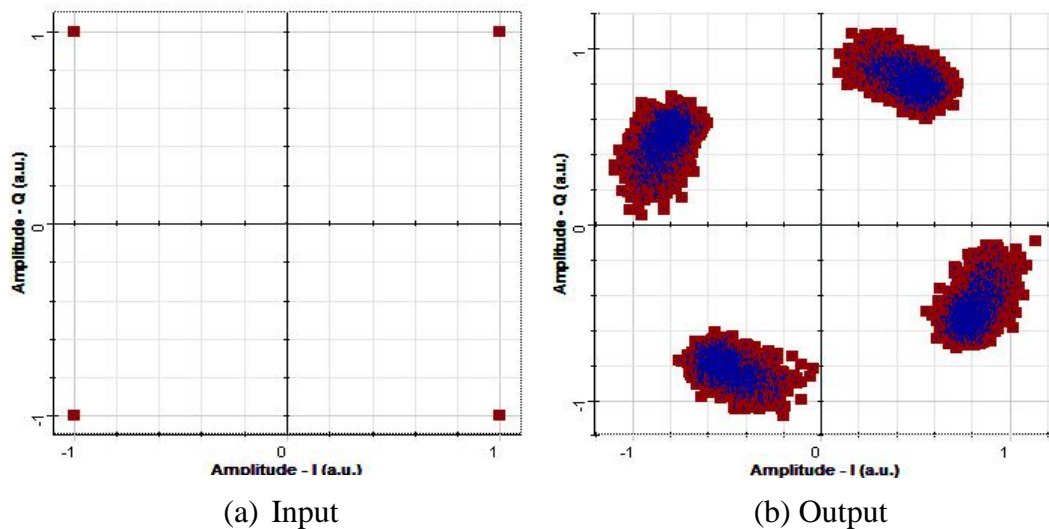


Gambar 4.1. Keluaran *Spectrum Analyzer* pada MZM

Dari gambar 4.1 dapat dilihat sinyal keluaran dari komponen MZM yang diukur melalui *Spectrum Analyzer* dan bekerja pada panjang gelombang 1552,5 nm atau 193,1 THZ untuk transmisi *downstream*.

Pada simulasi dengan menggunakan modulasi QAM (dalam hal ini lebih spesifik 4-QAM), level bit modulasi yang digunakan adalah 2 bit per simbol dan memiliki beda fase 90° pada masing – masing simbol.

Gambar berikut ini menunjukkan bentuk konstelasi 4-QAM dari model jaringan OFDM-ROF.

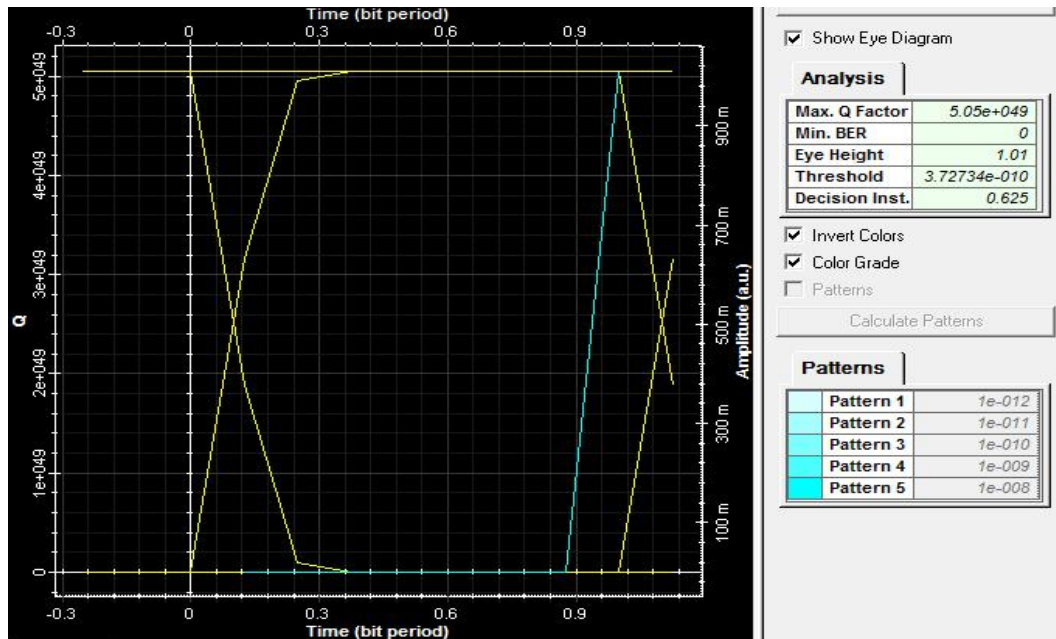


Gambar 4.2. Keluaran *Constellation Visualizer*

Pada gambar 4.2 (a) di atas terlihat jelas bentuk 4 buah konstelasi pada modulasi 4-QAM ditunjukkan berupa titik merah pada diagram konstelasi. Dan gambar 4.2 (b) terlihat 4 buah konstelasi pada sisi output yang telah melewati suatu proses pada jaringan OFDM-ROF. Dari gambar 4.2 di atas membuktikan bahwa input dan output untuk modulasi 4-QAM pada jaringan OFDM-ROF sama – sama menghasilkan 4 buah konstelasi pada diagram konstelasinya.

4.2 Performansi *Bit Error Rate* (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan suatu perbandingan antara kemungkinan jumlah bit yang salah (*error*) yang diterima pada sisi *Receiver* terhadap jumlah bit yang dikirimkan pada sisi *Transmitter*. Pada komunikasi serat optik, syarat minimum BER yang harus dicapai adalah minimal 10^{-9} . Hal ini berarti bahwa dalam 1.000.000.000 bit yang dikirimkan, terdapat kemungkinan 1 bit yang salah dideteksi pada penerima. Gambar 4.3 memperlihatkan tampilan *Eye Pattern* dan BER yang diperoleh dari hasil simulasi.



Gambar 4.3. Bentuk *Eye Pattern* pada Jaringan OFDM-ROF

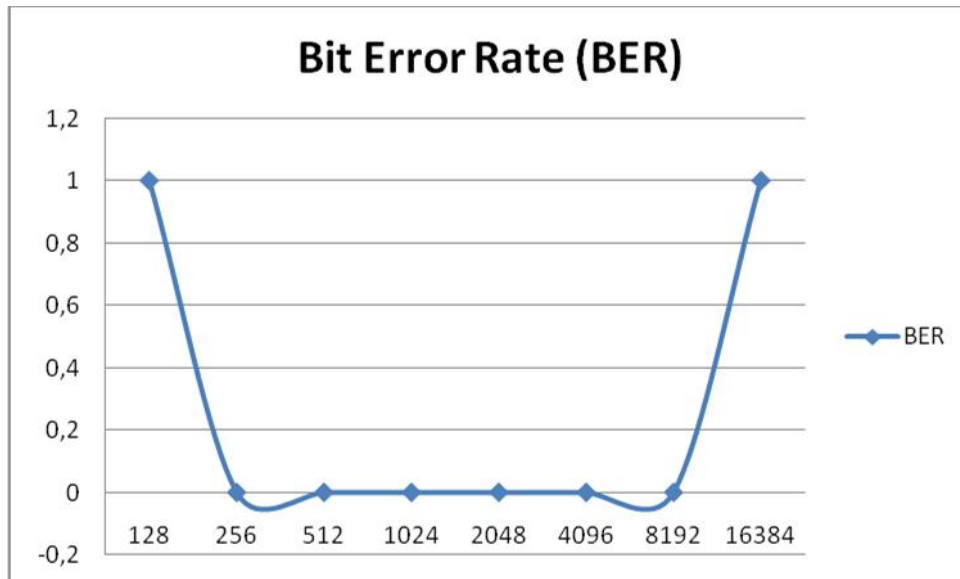
Dari gambar 4.3 menunjukkan bahwa model yang dirancang telah memenuhi standar yang telah ditentukan, dimana BER yang diperoleh bernilai 0.

4.2.1 Pengaruh Jumlah *Subcarrier* terhadap BER

Jumlah *subcarrier* yang akan dimodulasi OFDM mempengaruhi performansi dari BER. Tabel 4.1 memperlihatkan hasil simulasi untuk variasi jumlah *subcarrier* dari 128 – 8192

Tabel 4.1. BER terhadap Jumlah *Subcarrier*

Jumlah <i>Subcarrier</i>	<i>Bit Error Rate</i> (BER)
128	1
256	0
512	0
1024	0
2048	0
4096	0
8192	0
16384	1



Gambar 4.4. Grafik Pengaruh Jumlah *Subcarrier* terhadap BER

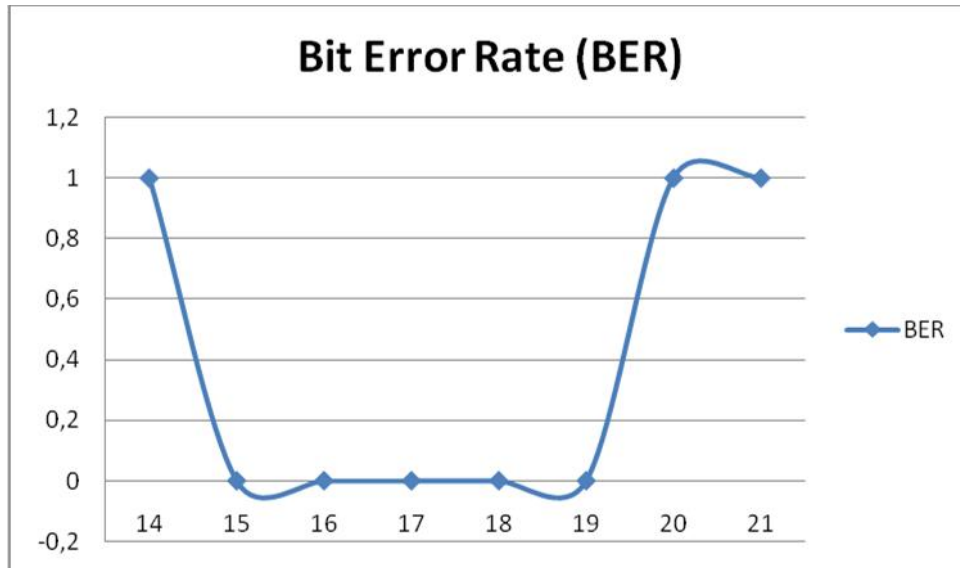
Dari tabel 4.1 dan gambar 4.4 di atas dapat disimpulkan bahwa model jaringan ini memiliki performansi yang buruk pada jumlah *subcarrier* 128 dan 16384.

4.2.2 Pengaruh Dispersi Fiber Optik terhadap BER

Sinyal cahaya yang ditransmisikan ke dalam serat optik akan mengalami dispersi yang mengakibatkan terjadinya pelebaran sinyal pulsa yang diterima, dan pada akhirnya hal ini akan mempengaruhi performansi BER. Tabel 4.2 dan gambar 4.5 memperlihatkan hasil percobaan untuk pengukuran dispersi fiber optik dari 14 sampai dengan 21 ps/nm/Km.

Tabel 4.2. BER untuk Beberapa Ukuran Dispersi Fiber Optik

<i>Dispersion</i> (ps/nm/Km)	<i>Bit Error Rate</i> (BER)
14	1
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	1
21	1



Gambar 4.5. Grafik Pengaruh Dispersi Fiber Optik terhadap BER

Dari tabel 4.2 dan gambar 4.5 di atas dapat disimpulkan bahwa model jaringan ini memiliki performansi yang baik untuk nilai dispersi sebesar 15 sampai dengan 19 ps/nm/Km.

4.2.3 Pengaruh Index ONU terhadap BER

ONU (*Optical Network Unit*) merupakan perangkat TKO yang berada di sisi pelanggan dan berfungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik dan sebaliknya dari sinyal listrik menjadi sinyal optik. Setiap komponen sistem mempunyai peranan dalam penurunan level penerimaan sinyal, begitu juga halnya dengan penggunaan ONU. Penggunaan ONU juga dapat menambah loss yang terjadi pada sistem, sehingga jumlah ONU yang dapat digunakan pada sistem terbatas. Disamping itu, jumlah ONU yang digunakan juga mempengaruhi performansi BER sistem. Tabel 4.3 dan gambar 4.6 memperlihatkan hasil simulasi untuk index ONU dari 1 – 64.

Tabel 4.3. BER untuk Index ONU

Index ONU	Bit Error Rate (BER)
1	0
4	0
8	0
16	0
32	1
64	1

Tabel 4.3 di atas dapat dinyatakan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.6 dibawah ini. Dimana maksimal ONU yang disimulasikan pada jaringan ini yakni 64 ONU.



Gambar 4.6. Grafik Pengaruh *Index* ONU terhadap BER

Dari tabel 4.3 dan grafik 4.6 di atas, terlihat bahwa BER sangat dipengaruhi oleh index ONU yang digunakan di dalam jaringan. Semakin banyak ONU maka semakin buruk performansi dari BER itu sendiri.

4.2.4 Pengaruh Daya Input terhadap BER

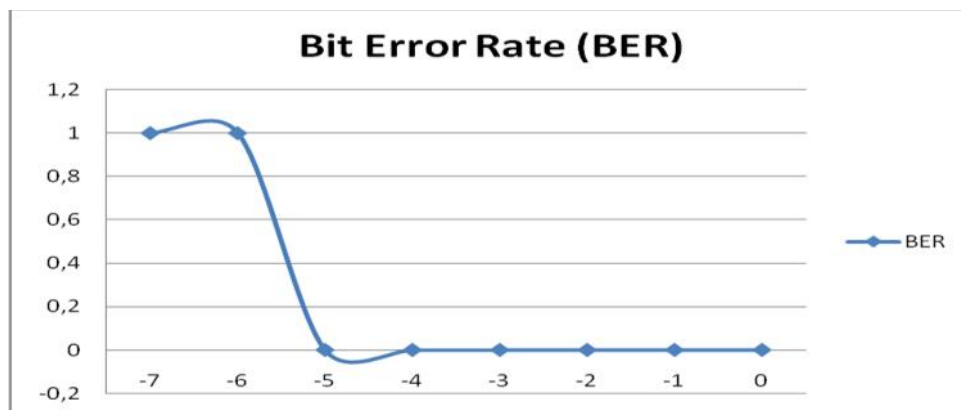
Daya kirim adalah daya yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal. Besarnya daya diatur pada keluaran CW Laser. Berikut adalah tabel yang menunjukkan hasil percobaan untuk beberapa ukuran daya kirim, yaitu dari -7 dBm sampai dengan 1 dBm.

Tabel 4.4. BER untuk Beberapa Ukuran Daya Kirim

<i>Transmitted Power</i> (dBm)	<i>Bit Error Rate</i> (BER)
-7	1
-6	1
-5	0
-4	0
-3	0
-2	0
-1	0
0	0
1	0

Dari tabel 4.4 terlihat bahwa BER dipengaruhi oleh daya, dimana semakin kecil daya *input* maka semakin buruk performansi BER yang diperoleh. Sebaliknya, semakin besar daya *input* maka semakin bagus performansi BER yang diperoleh pada simulasi ini.

Grafik perbandingan pengaruh daya *input* terhadap nilai BER dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.7. Grafik Pengaruh Daya Input terhadap BER

4.3 Performansi *Power Link Budget*

Berikut adalah hasil dari pengukuran daya input atau daya yang dikopelkan ke fiber optik dan daya yang diterima pada photodetektor yang diukur dengan menggunakan *Optical Power Meter*.

Dari gambar 4.8 dapat diketahui bahwa keluaran CW Laser sebesar 0 dBm. Daya ini merupakan daya kirim (*transmitted power*) yang akan dikopelkan ke fiber optik.



Gambar 4.8. Daya Input CW Laser

Setelah melalui MZM (*Mach Zender Modulator*), daya tersebut berkurang dan mengalami pelemahan daya menjadi -5 dBm. Hal ini disebabkan karena pengaruh redaman dari perangkat MZM terhadap panjang gelombang yang digunakan. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa redaman yang disebabkan oleh perangkat MZM adalah sekitar 5 dB. Berikut adalah hasil pengukuran untuk keluaran MZM pada jaringan OFDM-ROF.



Gambar 4.9. Daya Keluaran MZM (*Mach Zender Modulator*)

Selanjutnya pengukuran dilakukan pada output dari *Optical Amplifier*. Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa daya berkurang menjadi 4,993 dBm. Hal ini menunjukkan bahwa *Optical Amplifier* telah memperkuat daya sinyal optik sekitar 10 dB.



Gambar 4.10. Daya Keluaran Optical Amplifier

Pengukuran terakhir dilakukan pada output dari perangkat photodetektor pada tiap – tiap ONU. Hasil pengukuran daya yang didapat pada tiap – tiap ONU adalah 34,49 dBm. Dan daya ini merupakan daya terima atau *received power*.



Gambar 4.11. Daya Keluaran *Photodetector* PIN

Pengukuran di atas dilakukan berdasarkan akuntansi dari semua keuntungan dan kerugian dari pemancar, melalui media ke penerima dalam suatu sistem telekomunikasi. Berikut hasil perhitungan daya yang diterima pada photodetektor :

$$P_R = P_T - \text{total loss}$$

$$\text{Total Loss} = \text{loss}_{\text{perangkat}} + \text{loss}_{\text{FO}}$$

$$\begin{aligned} \text{loss}_{\text{perangkat}} &= \text{loss}_{\text{MZM}} \\ &= 5,006 \text{ dBm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{loss}_{\text{FO}} &= 50 \text{ Km} \times 0,2 \text{ dB/Km} \\ &= 10 \text{ dB} \\ &= 30 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}\text{Total Loss} &= \text{loss}_{\text{perangkat}} + \text{loss}_{\text{FO}} \\ &= 5,006 + 30\end{aligned}$$

Sehingga daya *output* yang diterima oleh *photodetector* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P_R &= P_T - \text{total loss} \\ &= 0 - 35,006 \\ &= -35,006 \text{ dBm}\end{aligned}$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Tugas Akhir ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. Jaringan *Radio over Fiber* (ROF) dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM pada arsitektur PON (*Passive Optical Network*) telah berhasil dimodelkan.
2. Jumlah *subcarrier* maksimal yang bisa diimplementasikan pada model jaringan ROF dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM - PON adalah 8192.
3. Nilai dispersi sebesar 15 – 19 ps/nm/km pada model jaringan ROF dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM – PON telah memberikan performansi yang baik pada sistem.
4. Jumlah index ONU maksimal yang bisa diimplementasikan pada model jaringan ROF dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM - PON adalah 16 ONU.
5. Daya minimum yang bisa diinputkan pada model jaringan ROF dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM - PON adalah -5 dBm.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, model jaringan *Radio Over Fiber* (ROF) dengan menggunakan teknik multipleksing OFDM pada arsitektur PON (*Passive Optical Network*) dapat dikembangkan untuk transmisi *bidirectional* yaitu untuk *upstream* dan *downstream*.

DAFTAR PUSTAKA

Nur Abdul Rasyid, “*Knowledge TELKOM 2007*”
<http://mandorkawat2009.wordpress.com/category/telekomunikasi>. (diakses 13 April 2011).

Nur Abdul Rasyid, “*MULTI SERVICE ACCESS NODE (MSAN)*”
<https://mandorkawat2009.wordpress.com>. (diakses 13 April 2011).

H.Chi Lee. 2007. *Microwave Photonic*. CRC Press.

Shieh William and Djordjevic Ivan. 2010. *OFDM for Optical Communications*. Academic Press.

Wardhana Lingga dan Makodian Nuraksa. 2010 *Teknologi Wireless Communication dan Wireless Broadband*. Penerbit Andi.

Jarot Sigit Puspito Wigati, *Mengenal Teknologi Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless*
<http://www.elektroindonesia.com/elektro/tel24.html> (diakses 19 April 2011).

Susanti, Rika. 2010. *ROF on GPON Architecture*. University Technology of Malaysia.

Anonim. 2004. *Dasar Sistem Komunikasi Optik*. PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk.

Foelyati, Rika. *Analisis Quality Of Service Untuk Layanan Iptv Pada Gigabit Passive Optical Network*. Institut Teknologi Telkom. <http://digilib.itelkom.ac.id>. (diakses 05 Februari 2012).

Fauzi, Rahmad dkk. 2010. *Jaringan Telekomunikasi*. Universitas Indonesia.

Hutagaol, Yunan. *Analisa Pengaruh Interferensi Pada Keluaran Modulator Mach-Zehnder*. Institut Teknologi Telkom. <http://digilib.itelkom.ac.id>. (diakses 05 Februari 2012).

Ananta, Aditya. 2009. *Simulasi Perbandingan Kinerja Modulasi M-PSK dan M-QAM terhadap Laju Kesalahan Data pada Sistem Orthogonal Frequency_Division Multiplexing (OFDM)*. Universitas Diponegoro.

Anonim. “*Optisystem*” [Online] Available
<http://www.optiwave.com/pdf/brochure/optisystem>. (diakses 20 Maret 2011).

Anonim. “*Radio Over Fiber*” [Online] Available
http://en.wikipedia.org/wiki/radio_over_fiber. (diakses 05 Maret 2011).

Anonim. “*Radio Over Fiber*” [Online] Available
http://id.wikipedia.org/wiki/radio_over_fiber. (diakses 05 Maret 2011).

Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for Wireless Communications Systems*. Artech House Universal Personal Communications Series.

M, Arief dkk. 2008. *The SCM/WDM System Model for Radio over Fiber Communication Link*. University Technology of Malaysia.

