

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian mengenai *Dispersion Compensating Fiber* milik Nabila Syadzwina Effendi, Yus Natali, Catur Apriono berjudul *Study of Dispersion Compensation with Dispersion Compensating Fiber in 10 Gbps Single-Mode Fiber* yang dilakukan pada tahun 2021 menjelaskan bahwa untuk terciptanya komunikasi berkecepatan tinggi dengan menggunakan serat optik sebagai media transmisi dibutuhkan *bandwidth* yang besar. Namun dispersi akan membatasi kecepatan *bandwidth*. Dibutuhkannya kompensasi untuk menekan dispersi menjadi topik dari penelitian[7]. Penelitian ini lebih menilik pada *Dispersion Compensating Fiber* atau (DCF) yang diujikan dalam dalam *Single Mode Fiber* (SMF) dengan menggunakan *bit rate* 10 Gbps pada berbagai tingkat daya sumber. Penelitian[7] mempertimbangkan tiga skema DCF yang berbeda, yaitu, *pre-compensation*, *post-compensation*, dan *symmetrical compensation* dengan format modulasi NRZ untuk transmisi jarak hingga 200 km dan disimulasikan dengan menggunakan *OptiSystem*. Dalam hasilnya menunjukkan bahwa kinerja sistem menunjukkan tiga skema DCF yang berbeda dapat memberikan sistem yang baik dan mencapai jarak transmisi 200 km[7].

Mahendra Singh, Durgesh Kumar, Devendra Somwanshi pada penelitiannya yang berjudul *Design and Analysis of Ultra High Speed 16 Channel Cascaded EDFA-DWDM Network with Post Dispersion Compensations Using Optimization of Fiber Bragg Grating* yang dilaksanakan pada 2020 yang diujikan pada sistem 16-channel berjarak sangat sempit di rentang panjang gelombang 1548 hingga 1556 nm dan pada interval frekuensi setiap saluran diatur pada 0,5nm serta rentang panjang gelombang 0.8nm dan penggunaan *Power* setiap saluran -26 dBm dengan kecepatan data 40 Gbps. Dengan parameter di atas, dari hasil simulasi, system DWDM dikatakan sudah baik menurut performansi BERnya[8].

Salah satu penelitian milik Anshul Daga dan Akhil Dixi mengenai *Dispersion Compensation in a 64-Channel Dense Wavelength Division Multiplexing Network* juga menjadi pertimbangan pada penelitian ini. Berdasarkan penelitian di atas disebutkan bahwa skema *Symmetrical Dispersion Compensation Fiber* bekerja relatif baik untuk panjang gelombang yang bervariasi dengan uji coba 64 kanal pendukung. Percobaan dilakukan pada pengujian bitrate 40 Gbps dengan spasi kanal 100 Hz dengan Panjang transmisi mencapai 300 km pada *signal power* -2 dBm hingga 6 dBm. *Symmetrical Dispersion Compensation Fiber dan Fiber Bragg Grating* menjadi kombinasi yang paling baik pada besarnya transmisi jarak yang dibandingkan melalui *eye diagram*[1].

Riyadh Khlf Ahmed dan Hussein Ahmed Mahmood dalam penelitiannya yang berjudul *Performance Analysis of PAM Intensity Modulation Based on Dispersion Compensation Fiber Technique for Optical Transmission System* yang diujikan pada 1 Gbps *Bitrate* dengan *input power* 0- 10 dBm menyatakan bahwa kinerja modulasi intensitas berdasarkan *Pulse Amplitude Modulation* atau PAM di bawah tiga skema berbeda dari *Dispersion Compensating Fiber (Pre, Post, dan Symmetrical)* sistem komunikasi optik yang efisien yang didasarkan pada konfigurasi *symmetrical* memiliki kinerja terbaik[9].

*Comparative Analysis of Dispersion Compensating Fiber in DWDM System Using 10 Gbps and 40 Gbps Bit Rate* milik Fauza Khair, I Wayan Mustika, Fahmi, Dodi Zulherman, Fakhriy Hario mengujikan Bitrate 10 Gbps dan 40 Gbps dengan spasi kanal 200 GHz pada Panjang 300 km pada 16 kanal. dari semua 16 kanal menggunakan DCF pada bitrate 10 Gbps dan 40 Gbps. Benar-benar mengurangi dispersi dan peluncuran daya optik secara luar biasa mempengaruhi kinerja sistem dalam *bitrate* tinggi[2].

Brian Pamukti dan Akhmad Hambali dalam penelitiannya yang berjudul *40 Gb/s Balanced Parallel Scheme in Dispersion Compensating Fiber Performance for DWDM in the Long Haul Network* mengujikan 40 Gbps *bitrate* dengan Panjang gelombang 1550 nm. Dalam hasilnya, penelitian menunjukkan bahwa skema tanpa DCF menghasilkan dispersi yang sangat besar dengan nilai Q-factor 6 pada 150 km, skema *post-compensation* menghasilkan Q-Factor dengan

nilai 6,6 pada jarak sekitar 400 km dan *pre-compensation* skema menghasilkan faktor-Q dengan nilai 7, 4 pada jarak jauh sekitar 600 km. Menggabungkan post dan *pre-compensation* fiber dalam kinerjanya membuat panjang lebih jauh dari skema tunggal hingga 50%. Namun, kinerja meningkat secara signifikan diperoleh dengan skema paralel baru sekitar 85% [3].

Penelitian [7] pada skemanya memvariasikan 3 sistem DCF yang ada yaitu *pre-*, *post-* dan, *symmetrical* dan variasi *input power* 0, 2, 4, 6, 8, and 10 dBm dengan variasi *amplifiers gain* 5, 10, 15, and 25 dB. 16 kanal digunakan dalam penelitian [8]. Penelitian [1] mengujikan skema 64 kanal dengan variasi spasi kosntan sebesar 100 Ghz. Mengujikan *power input* atau *daya input* dari 0-10 dBm dan memvariasikan jarak *Single-Mode* fiber terbilang 100 km, 150 km, 200 km and 250 km menjadi focus pada penelitian [9]. Penelitian [2] mengujikan 16 kanal pada dua bit rate berbeda yakni 10 dan 40 Gbps dengan *input power* sebesar -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10 dBm dan variasi spasi kanal sebesar 200 Ghz. Pengujian skema pada penelitian [3] adalah variasi spasi kanal sebesar 100 Ghz dengan 4 kanal variasi yang dibedakan pada skema DCFnya.

Penelitian acuan di atas digunakan dalam penelitian selanjutnya dimana penelitian ini akan menggunakan skema *Symmetrical Dispersion Compensating Fiber* dengan mengujikan pada variasi spasi kanal apakah berpengaruh dalam proses transmisi, dalam hal ini kanal yang diujikan bervariasi mulai dari 70 Ghz, 80 Ghz, 90 Ghz, 100 Ghz, 110 Ghz dan 120 Ghz dengan variasi kanal berjumlah 8. Perangkat lunak atau *software* yang digunakan dalam simulasi adalah *Optisystem*. *Software optisystem* bertujuan untuk mendesain sebuah rancangan jaringan serat optik. *Optisystem* dapat membantu merencanakan jaringan tanpa harus dilaksankannya pembangunan system yang nyata atau disebut dengan simulasi. Perencanaan jaringan / simulasi digunakan untuk melakukan analisis apakah kinerja sistem *Dense Wavelength Division Multiplexing* menggunakan *Symmetrical Dispersion Compensating Fiber* pada jumlah variasi spasi kanal dapat memengaruhi kualitas dari system atau transmisi.

Kajian penelitian sebelumnya, sebagai bahan acuan penelitian tersedia pada tabel 2.1:

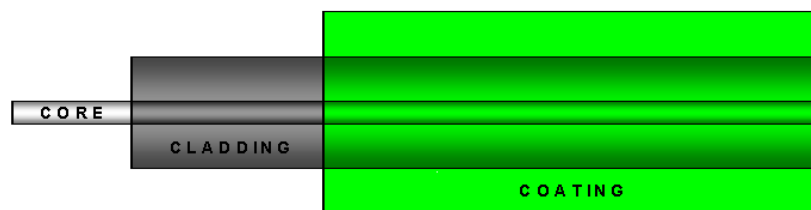
Tabel 2. 1 Kajian Penelitian Sebelumnya

Nama	Judul	Tahun	Parameter	Hasil
Nabila Syadzwinia Effendi, Yus Natali, Catur Apriono	<i>Study of Dispersion Compensation with Dispersion Compensating Fiber in 10 Gbps Single-Mode Fiber</i>	2021	DCF, Bit rate 10 Gbps, SMF	Skema paling direkomendasikan <i>Symmetrical Compensation</i> karena input daya minimal lebih rendah dibandingkan skema lain
Mahendra Singh, Durgesh Kumar, Devendra Somwanshi	<i>Design and Analysis of Ultra High Speed 16 Channel Cascaded EDFA-DWDM Network with Post Dispersion Compensations Using Optimization of Fiber Bragg Grating</i>	2020	16 Channel, EDFA, Fiber Bragg Grating	Dispersi dapat diminimalisir dalam simulasi ini.
Anshul Daga , Akhil Dixi	<i>Dispersion Compensation in a 64-Channel Dense Wavelength Division Multiplexing Network</i>	2020	40 Gbps bitrate, 100 Hz channel spacing, 64 channel	<i>Symmetrical Dispersion Compensation Fiber dan Fiber Bragg Grating</i> menjadi kombinasi yang paling baik pada besarnya transmisi jarak yang dibandingkan melalui <i>eye diagram</i>
Riyadh Khlf Ahmed, Hussein Ahmed Mahmood	<i>Performance Analysis of PAM Intensity Modulation Based on Dispersion Compensation Fiber Technique for Optical Transmission System</i>	2018	1 Gbps bitrate, input power 0-10 dBm, DCF, SMF	Berdasarkan <i>Pulse Amplitude Modulation</i> atau PAM di bawah tiga skema berbeda dari <i>Dispersion Compensating Fiber (Pre, Post, dan Symmetrical)</i> sistem komunikasi optik yang efisien yang didasarkan pada konfigurasi <i>symmetrical</i> memiliki kinerja terbaik
Fauza Khair , I Wayan Mustika, Fahmi , Dodi Zulherman , Fakhriy Hario	<i>Comparative Analysis of Dispersion Compensating Fiber in DWDM System Using 10 Gbps and 40 Gbps Bit Rate</i>	2018	DCF, DWDM, 10 Gbps, 40 Gbps Bit Rate, 16 Channel, 200 GHz channel spacing	16 kanal menggunakan DCF pada <i>bitrate</i> 10 Gbps dan 40 Gbps mengurangi dispersi dan memengaruhi sistem performansi di <i>bitrate</i> tinggi.
Brian Pamukti, Akhmad Hambali	<i>40 Gb/s Balanced Parallel Scheme in Dispersion Compensating Fiber Performance for DWDM in the Long Haul Network</i>	2019	40 Gbps Bit rate, DCF, DWDM	Penggabungan skema post dan pre-compensation <i>fiber</i> dalam kinerjanya membuat panjang lebih jauh dari skema tunggal hingga 50%. Namun, kinerja meningkat secara signifikan diperoleh dengan skema paralel baru sekitar 85%

## 2.2 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) adalah sistem komunikasi yang menggunakan kabel berbalut serat optik sebagai media transmisi yang dapat membawa data informasi dalam kapasitas besar serta mempunyai kecepatan transfer yang tinggi [10] dengan kecepatan  $0.13 \times 10^8$  m/s pada *medium* udara dan  $0.17 \times 10^8$  m/s untuk *fiber optic*[11].

Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) menggunakan serat optik sebagai media transmisinya, dimana sinyal data dikirimkan lewat sebuah media cahaya yang merambat melalui serat optic seperti gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur Serat Optik[12]

Serat optik adalah saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Sistem komunikasi serat optik memanfaatkan cahaya sebagai gelombang pembawa informasi yang akan dikirimkan. Pada bagian pengirim isyarat informasi diubah menjadi isyarat optis. Lalu diteruskan ke kanal informasi yang juga terbuat dari serat optis bertugas sebagai pemandu gelombang. Sesampainya di penerima berkas cahaya ditangkap oleh detektor cahaya, yang berfungsi mengubah besaran optis menjadi besaran listrik. Di sini cahaya mengalami pelebaran dan pelemahan, disebabkan karena ketakmurnian bahan serat, yang menyerap serta menyebarkan cahaya.

Keunggulannya dibandingkan media transmisi lain adalah lebar bidang yang luas, sehingga sanggup menampung informasi yang besar, bentuk yang sangat kecil, tidak terpengaruh oleh medan listrik dan medan magnetis, karena di dalam serat tidak terdapat tenaga listrik, maka tidak akan terjadi ledakan maupun percikan api[12]

Serat optik dipilih untuk komunikasi jarak jauh dengan kapasitas besar karena dari karakteristiknya mempunyai attenuasi yang kecil. Serat optik tipe

*single mode step index* mempunyai redaman yang relatif kecil pada panjang gelombang 1310 dan 1550 nm serta kapasitas besar identik dengan *bandwidth* yang lebar. *Bandwidth* yang lebar dibutuhkan untuk transfer informasi baik *internet, e-commerce, e-mail, electronic documentation transfer, video* dan *mobile telephony*. Perangkat ini harus ditunjang dengan perangkat *solid state* dan *photonic* termasuk teknik *multiplexingnya* [13]

Desibel (dB), adalah fungsi spesifik yang beroperasi pada *unitless* parameter sebagai satuan yang sering dipergunakan dalam Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) yang dituangkan dalam persamaan 2.1 :

$$\text{dB} = 10 \text{ Log}_{10} (x) \quad (2.1)$$

Dimana x dapat berupa *unitless* parameter seperti seperti rasio dan koefisien Sebagai contoh pengutan *amplifier* atau *Gain amplifier* adalah nilai tanpa unit. *Gain amplifier* adalah rasio dari daya keluaran ke daya input yang terdefiniskan pada persamaan 2.2

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = G \quad (2.2)$$

$$\text{Gain dalam dB} = 10 \text{ Log}_{10} G \text{ (dB)}$$

Persamaan 2.2 di atas tidak dapat dijalankan secara langsung karena daya input dalam satuannya merupakan satuan dBm dengan persamaan 2.3[14]

$$P(\text{dBm}) = 10 \text{ Log } 10 \left( \frac{P}{1 \text{ mW}} \right) \quad (2.3)$$

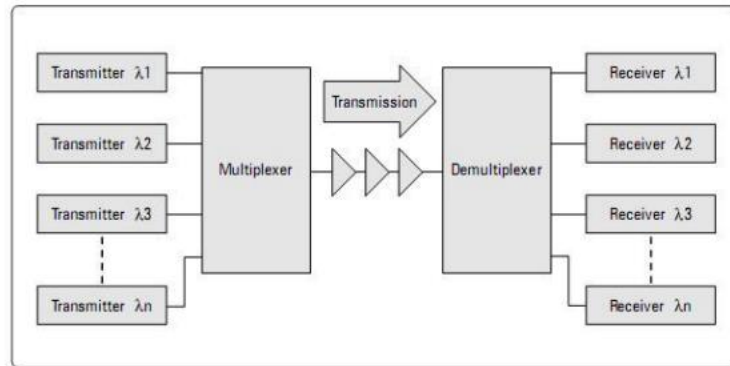
Persamaan di atas dapat digunakan dalam menghitung *power* atau daya masuk yang ada untuk persamaan dBm, kemudian menghitung *loss* atau redaman untuk persamaan dB.

Seiring berjalannya waktu perkembangan Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) semakin meningkan di setiap tahunnya. Teknologi yang terdapat pada Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) salah satunya adalah *multiplexing* dan teknologi *multiplexing* berkembang sehingga tercipta teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM)[10].

### **2.3 Wavelength Division Multiplexing (WDM)**

Dalam komunikasi serat optik, *wavelength-division multiplexing* (WDM) adalah teknologi yang multipleks atau mengirimkan beberapa informasi melalui satu saluran dari beberapa sinyal pembawa optik pada satu serat optik dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda untuk membawa sinyal yang

berbeda. Cara yang layak untuk memanfaatkan besar *bandwidth* serat optik yang tersedia, dengan menggabungkan saluran transmisi paralel pada panjang gelombang yang berbeda melalui serat, juga disebut sebagai WDM[15]. Setelah teknologi *wavelength-division multiplexing* berkembang pesat, munculah teknologi baru yaitu *Dense Wavelength Division Multiplexing* seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2 Blok Diagram *Wavelength Division Multiplexing* [15]

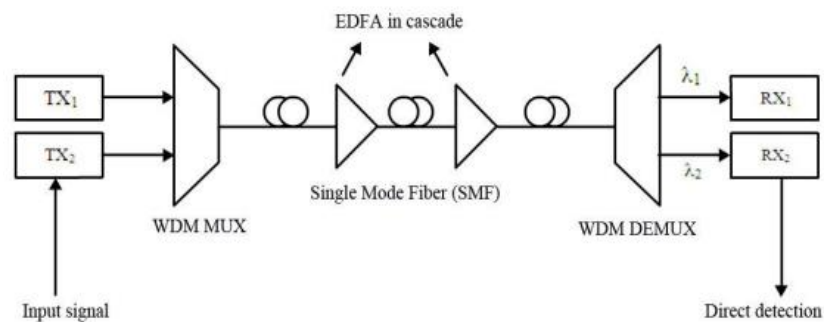
Sistem komunikasi ditampilkan bersama dengan dupleks yaitu dua berbeda sinyal optik panjang gelombang nominal yang bergerak ke arah yang berlawanan menyediakan transmisi dua arah, dan juga multipleks yaitu dua atau lebih berbeda sinyal optik panjang gelombang nominal ditransmisikan ke arah yang sama pada serat sistem komunikasi. Sistem WDM menggunakan *multiplexer* di pemancar untuk menggabungkan sinyal bersama-sama dan *demultiplexer* di penerima untuk membaginya. Dengan hak jenis serat dimungkinkan untuk memiliki perangkat yang melakukan keduanya secara bersamaan, dan dapat berfungsi sebagai *multiplexer add-drop optic*. Sistem WDM merupakan sistem yang sering digunakan di perusahaan telekomunikasi karena mereka memungkinkan mereka untuk memperluas kapasitas jaringan tanpa menyertakan banyak serat[15].

### 2.3.1 *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)

Untuk meningkatkan kapasitas serat optik sistem komunikasi, *Dense Wavelength Division multiplexing* (DWDM) digunakan. "Padat" dari kata *dense* berarti bisa membawa panjang gelombang lebih dekat bersama-sama daripada sistem *multiplexing* sebelumnya[16]. *Dense Wavelength Division Multiplexing* atau DWDM merupakan teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda – beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga

setelah dilakukan proses *multiplexing* seluruh panjang gelombang tersebut dapat di transmisikan melalui suatu media serat optic[17]. Memanfaatkan panjang gelombang yang berbeda sebagai saluran informasi untuk mengirimkan data melalui tautan serat optik dapat meningkatkan kinerja sistem, terutama dalam kapasitas *bandwidth*. *Dense Wavelength Division multiplexing* (DWDM) dapat mentransmisikan beberapa panjang gelombang yang berbeda dengan jumlah besar lalu lintas melalui saluran serat optik yang sama. Ini bisa diterapkan dalam telekomunikasi jarak jauh dan jaringan yang membutuhkan konsumsi *bandwidth* yang besar[18].

DWDM terminal terdiri dari satu transponder konversi panjang gelombang untuk setiap sinyal panjang gelombang yang akan dibawanya. Transponder konversi panjang gelombang menerima sinyal optik input dan mengkonversinya menuju sinyal listrik. Pada gambar di bawah tersedia blok diagram DWDM dimana tersedia Tx atau *Transmitter*, WDM Mux sebagai *medium*, SMF sebagai *medium* dan Rx atau *Receiver* yang secara singkat dapat menggambarkan serat transmisi serat optic dimana dari panjang gelombang atau saluran berbeda menuju satu serat atau satu *multiplex* yang sama seperti tersaji pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Blok Diagram *Dense Wavelength Division Multiplexing* [15]

Setelah dilakukan proses *multiplexing* seluruh panjang gelombang tersebut dapat di transmisikan melalui suatu media serat optik, namun jarak transmisi antara *Transmitter* dan *Receiver* yang terlalu jauh sering kali membuat tingkatan daya sinyal pada sistem DWDM menurun, hal ini tentunya sangat merugikan karena adanya rugi-rugi sepanjang lintasan [19].



Keuntungan dari DWDM adalah peningkatan kapasitas saluran, perluasan jaringan yang mudah, dan efektivitas biayanya. Ketika beberapa saluran digunakan di DWDM, faktor utama yang dapat menurunkan kinerja sinyal *output* adalah nonlinier efek[20]. Pengaruh jarak komunikasi yang berkaitan dengan redaman dan dispersi merupakan batasan dalam perencanaan, sehingga dibutuhkan penguat optikal yang mendukung teknologi *multiplexing* sistem[21].

DWDM harus mempertahankan panjang gelombang atau frekuensi yang lebih stabil karena membutuhkan jarak panjang gelombang yang lebih dekat. Oleh karena itu, penggunaan saluran atau kanal sangat diperhatikan untuk penggunaannya. Menurut ITU-T dengan nomor *recommendation* G.698.1 tidak ada minimum nilai kanal yang bisa dipergunakan dalam frekuensi antara dua saluran yang berdekatan[22].

Frekuensi pusat dari semua saluran atau kanal dalam transmisi diberikan dalam ITU-T dengan nomor *recommendation* G.694.1 berdasarkan minimum spasi kanal atau jarak 12,5 GHz berlabuh ke referensi 193,1 THz. Frekuensi yang ditentukan oleh rekomendasi G.694.1 mendukung berbagai spasi saluran tetap mulai dari 12,5 GHz hingga 100 GHz dan lebih luas serta fleksibel. Jarak saluran yang tidak sama menggunakan standar rekomendasi G.694.1 juga diperbolehkan. Frekuensi pusat dari setiap saluran (untuk simulasi 8 saluran mulai dari saluran 1 hingga 8) dipilih dari 193,1 THz hingga masing-masing variasi spasi kanal yang diujikan (untuk simulasi 70, 80, 90, 100, 110, 120 Ghz)[23].

#### **2.4 *Dispersion Compensating Fiber (DCF)***

*Dispersion compensation fiber (DCF)* adalah jenis serat khusus yang ditandai dengan koefisien dispersi negatif yang sangat tinggi untuk mengkompensasi dispersi positif dari serat yang dipasang[24]. Disebut juga sebagai jenis serat spesial yang digunakan untuk menjaga dispersi yang disebabkan oleh non-linearitas. Kompensasi dispersi berarti menghilangkan efek dispersi kromatik dari elemen optic. Sangat penting untuk mengkompensasi dispersi sebelum mendeteksi sinyal karena tanpa menggunakan kompensasi dispersi setiap simbol yang ditransmisikan sinyal akan sangat diperluas sehingga akan tumpang tindih dengan sinyal lainnya[25].

Panjang DCF dapat dihitung dengan persamaan 2.4 :

$$D_{SMF}L_{SMF}+D_{DCF}L_{DCF}= 0 \quad (2.4)$$

Untuk, DSMF dispersi positif dari transmisi dari serat optik, LSMF panjang transmisi, DDCF adalah dispersi negatif dari DCF, dan LDCF adalah panjang untuk kompensator DCF[7]

*Dispersion Compensating fiber* dibagi menjadi 3 skema yaitu

#### A. *Pre-Compensation*

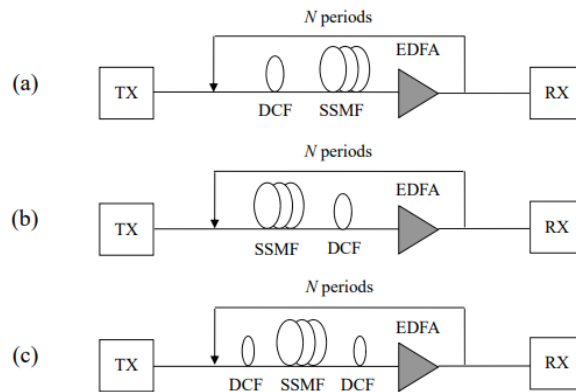
DCF ditempatkan sebelum serat mode tunggal (SMF) dalam skema *pre-compensation* untuk mengkompensasi dispersi.

#### B. *Post- Compensation*

DCF ditempatkan setelah serat mode tunggal (SMF) dalam skema *post-compensation* untuk mengkompensasi dispersi.

#### C. *Symmetrical Compensation*

*Pre* dan *post compensation* digunakan secara bersamaan dalam *Symmetrical*. DCF ditempatkan sebelum dan sesudah *single mode fiber* (SMF) untuk mengkompensasi disperse[26].

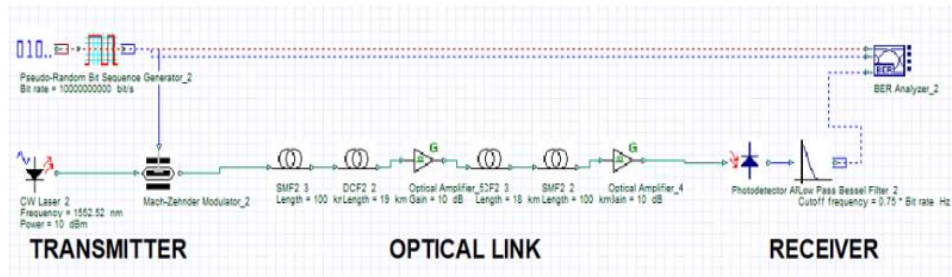


Gambar 2.4 *Simulation setup (a) pre-, (b) post- and (c) symmetrical-compensations*[27].

#### 2.4.1. *Symmetrical Dispersion Compensating Fiber*

*Dispersion Compensating Fiber* dalam pengaplikasiannya, terdapat tiga metode, *pre-compensation*, *post-compensation* dan *symmetrical compensation*. Hal tersebut ditilik dari penempatan DCF dalam pengaturan transmisi[28]. Pada skema *Symmetrical*, Serat DCF ditempatkan pada sebelum dan sesudah serat optic, atau *Single Mode fiber*. Menurut penelitian [2] disebutkan bahwa skema

*symmetrical* menjadi performansi paling baik dibandingkan 2 skema lainnya. Gambar di bawah menunjukkan simulasi skema *symmetrica* pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Simulation setup symmetrical-compensations [7]

## 2.5 Sumber Pengirim / Transmitter

### 2.5.1. Continuous Wave Laser (CW Laser)

Sumber pengirim / *transmitter* terdapat di sisi pengirim yang berguna sebagai sumber cahaya pada sistem serat optik. *Continuous Wave Laser* (CW Laser) adalah contoh sumber cahaya berjenis laser yang memiliki spektrum sempit sehingga pengimplementasiannya dapat digunakan untuk komunikasi jarak jauh maupun dekat[29]

### 2.5.2. Pseudo-Random Bit Sequence Generator (PRBS)

*Pseudo-Random Bit Sequence Generator* merupakan alat yang menghasilkan data bit random yang dengan mode operasi yang berbeda. Urutan bit dirancang untuk memperkirakan karakteristik data acak. Urutan bit dapat dihubungkan ke *visualisator* urutan biner sehingga urutan bit keluaran dapat dilihat[30]PRBS juga berarti urutan acak dari bilangan biner, dalam arti bahwa nilai elemen pada barisan tidak bergantung pada nilai elemen lainnya . Urutan bit ini dirancang untuk mendekati karakteristik data acak. Model ini menghasilkan urutan N bits menggunakan persamaan 2.5[31]:

$$N = T_w B_r \quad (2.5)$$

Untuk menghitung jumlah bit yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan 2.6

$$N_G = N - n_l - n_t \quad (2.6)$$

Keterangan :

$N$  = Urutan bit (bits)

$T_w$  = *Global Parameter Time Window* (s)

$Br$  = *Bit rate* (Mbps)

$NG$  = Jumlah bit yang dihasilkan (bits)

$nl$  = Jumlah nol di depan

$nt$  = Jumlah nol *trailing*

### 2.5.3. *Mach-Zender Modulator*

*Mach-Zender Modulator* merupakan modulator yang digunakan pada modulasi eksternal. Prinsip kerjanya dengan memanfaatkan sinyal elektrik dari generator, kemudian berinteraksi dengan modulator agar dapat merubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik, lalu dimodulasi pada sinyal pembawa sumber optik[29]

### 2.5.4. *Non-return Zero (NRZ)*

*Non-return Zero (NRZ)* merupakan salah satu *line coding* pada sistem komunikasi serat optik. Pengkodean sinyal menggunakan seperangkat aturan untuk mengatur simbol sinyal dengan pola tertentu, proses ini biasa disebut dengan *line coding*. Tujuan dari ini adalah untuk memeriksa berbagai jenis kode garis yang cocok untuk transmisi *digital* pada tautan optik. *Non Return to Zero (NRZ)* merupakan bentuk paling umum dari sinyal listrik yang digunakan secara internal dalam sistem *digital*. Setiap simbol memiliki nilai konstan yang sesuai dengan nilai simbol biner 1 dan 0[31]. Proses pengkodean sinyal NRZ dipersentasikan dengan periode satu bit penuh untuk nilai bit dan persentasi kosong untuk nilai bit 0 [29]

## 2.6 Sumber Penerima / Receiver

Sumber penerima / *receiver* terdapat di sisi penerima yang berguna untuk mendeteksi sinyal optik lalu diubah menjadi sinyal elektrik. Terdapat dua jenis detektor pada sistem komunikasi optik, salah satunya adalah *Avalanched Photodiode (APD)*. *Avalanched Photodiode (APD)* cocok digunakan untuk transmisi jarak jauh karena dapat memperbanyak elektron serta memiliki

sensitivitas tinggi[29] *Receiver* pada transmisi optik yang menggunakan APD mampu mencapai kecepatan tinggi dan sistem *transceiver* optik hemat energi[32]

## 2.7 *Bit Error Rate (BER)*

BER atau *Bit error Rate* adalah parameter untuk mewakili jumlah kesalahan bit dari sistem transmisi, yang digunakan untuk menggambarkan kinerja sistem dalam komunikasi digital [7]. BER adalah jumlah kesalahan bit per unit waktu [21]. Menurut standar yang dikemukakan oleh *International Telecommunication Union* untuk *Sector Telecommunication* atau ITU-T dengan nomor *recommendation* G.959.1, nilai minimum yang memungkinkan sistem beroperasi di bawah kondisi sisi transmisi, nilai BER dapat dikatakan bagus jika lebih besar dari  $10^{-12}$  [33]. Jika jumlah bit *error* adalah  $N_E$  dan jumlah bit total yang terkirim adalah  $N_T$  maka BER didefinisikan melalui persamaan 2.5 :

$$\text{BER} = \frac{N_E}{N_T} \quad (2.5)$$

Nama lain BER adalah *Error Probability* ( $P_e$ ), dimana probabilitas munculnya *error* dalam transmisi data. Dalam proses transmisi, bit memiliki amplitudo sinyal yang terlalu dekat dengan *threshold* sehingga tidak dapat dibedakan nilainya dengan benar. Nilai BER dapat pula dinyatakan dalam *Q-factor* melalui persamaan 2.6 [33]

$$\text{BER} = P_e(Q) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q} \quad (2.6)$$

## 2.8 *Q-Factor*

*Q-Factor* didefinisikan sebagai *electrical signal-to-noise ratio* (ESNR) pada input penerima. Dengan tidak adanya kemampuan untuk melakukan pengukuran BER yang sebenarnya, (misalnya, karena waktu pengujian, akses pengujian, dll.) metode *Q-factor* dapat digunakan untuk memberikan estimasi kinerja daripada yang dapat diharapkan dalam layanan. *International Telecommunication Union* untuk *Sector Telecommunication* pada nomor *recommendation* O.201 menyatakan bahwa nilai *Q-Factor* tidak boleh kurang dari 7, atau dapat dikatakan bagus jika melebihi angka 7 [34]

## 2.9 *Optisystem*

*OptiSystem* merupakan *software* dibuat untuk memenuhi kebutuhan penelitian telekomunikasi optic dan berbagai pengguna lain, *OptiSystem* memenuhi permintaan untuk alat desain sistem optik yang kuat namun mudah digunakan. *OptiSystem* memungkinkan pengguna untuk merencanakan, menguji, dan mensimulasikan:

1. Jaringan optik termasuk OTDM, SONET/ SDH *rings*, CWDM, DWDM, PON, Kabel, OCDMA.
2. Transmisi *single-mode/ multi-mode*.
3. *Free Space Optics* (FSO), *Radio Over Fiber* (ROF), OFDM (langsung, dan koheren).
4. Amplifier dan laser (EDFA, SOA, Raman, *Hybrid*, optimasi GFF, *Fiber Lasers*).
5. Pemrosesan sinyal (Listrik, Digital, Semua Optik).
6. Desain sub sistem pemancar dan penerima (langsung/koheren).
7. Format modulasi (RZ, NRZ, CSRZ, DB, DPSK, QPSK, DP-QPSK, PM-QPSK, QAM-16, QAM-64).
8. Analisis kinerja sistem (*Eye Diagram/ Q-factor/ BER, Signal power/ OSNR, Status polarisasi, Diagram konstelasi, Penalti linier dan non-linier*) [35]