

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Terdapat penelitian yang melakukan analisa untuk performansi sistem RoF pada skema WDM yang berdasarkan variasi dari *bit rate* [9]. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh dari *bit rate* terhadap sistem RoF, dimana seberapa besar pengaruh pemilihan *bit rate* pada skema WDM-RoF. Karakteristik dari sistem yang dibuat yaitu dengan penggunaan *bandwidth* yang diusulkan pada *multiplexer* WDM yaitu 10 GHz dengan kombinasi empat sinyal, pada media transmisi dengan panjang dari kabel fiber 20 km dan dengan menggunakan penguat di posisi *pre-amplifier*. Nilai *bit rate* yang digunakan untuk membandingkan yaitu 1 Gbps sampai mencapai *bit rate* yang tidak memenuhi standar. Hasil yang didapat berdasarkan nilai *Q-Factor* sebesar 4.50508 dan BER sebesar 2.539×10^{-6} , hasil tersebut merupakan nilai yang sudah tidak memenuhi standar yaitu pada *bit rate* 11 Gbps. Kemudian hasil dengan *Q-Factor* sebesar 158.118 dan BER sebesar 0 merupakan hasil paling baik dan memenuhi standar. Berdasarkan hasil tersebut untuk mendapatkan kualitas sistem komunikasi yang baik dan sesuai standar, maka sistem tersebut harus menggunakan nilai *bit rate* yang cenderung rendah.

Terdapat penelitian yang melakukan analisa terhadap kinerja sistem WDM-RoF [11]. Pengujian dilakukan sekali terhadap sistem yang telah dirancang, dengan karakteristik sistem yaitu dengan menggunakan dua kanal, dengan menggunakan modulasi AM frekuensi 1.7 GHz. Menggunakan penguat EDFA setelah modulator MZM dengan power 10 dBm, dan penguat setelah WDM *mux* dengan power 10 dBm yang terpasang *pre-amplifier*, yang panjang serat optik-nya yaitu 50 km, dengan menggunakan *direct detection*. Hasil yang didapat yaitu dengan nilai rata-rata *Q-Factor* sebesar 5.1987 dan rata-rata BER sebesar 9.1528×10^{-8} untuk dua sinyal dan rata-rata total daya keluaran untuk dua frekuensi sebesar -35.791 dBm. Berdasarkan hasil yang didapat sistem tersebut dikatakan baik, yang mana sistem RoF ini ideal untuk jaringan jarak jauh karena konsumsi daya yang rendah, *bandwidth* yang tinggi.

Terdapat penelitian yang melakukan analisa kinerja sistem RoF-WLAN dengan menggunakan teknik QAM [7]. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa kinerja dari sistem RoF berdasarkan skenario variasi penggunaan modulasi 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM dengan frekuensi yang digunakan yaitu 5,8 GHz, pada media transmisi dengan panjang dari kabel fiber 50 km. *Bit rate* yang digunakan yaitu 54 Mbps. Hasil yang diuji berdasarkan nilai BER dan *Q-Factor*, nilai yang didapat dari penggunaan modulasi yaitu pada 4-QAM dengan BER sebesar $1,77398 \times 10^{-9}$ dan *Q-Factor* sebesar 5,84773, pada 8-QAM dengan BER sebesar $9,02362 \times 10^{-13}$ dan *Q-Factor* sebesar 7,00782, pada 16-QAM dengan BER sebesar $9,03013 \times 10^{-8}$ dan *Q-Factor* sebesar 5,18877. Berdasarkan hasil tersebut kualitas terbaik pada penggunaan teknik modulasi 8-QAM.

Terdapat penelitian yang melakukan analisa performansi sistem SCM-RoF [12]. Pengujian ini dilakukan dengan menganalisa kinerja sistem berdasarkan pengaruh dari panjang serat transmisi, *bit rate*, dan daya optik. Sistem yang dirancang dengan empat sumber data PRBS di *bit rate* 1 Gbps, dan *bit rate* yang ditransmisikan yaitu 10 Gbps. Menggunakan teknik modulasi PSK dengan *subcarrier* RF yang memiliki frekuensi 10, 15, 20, dan 25 GHz. Modulator optik dengan menggunakan gelombang pembawa optik dari laser CW dengan frekuensi 1552,52 nm. Pengujian terhadap pengaruh panjang serat transmisi yaitu dengan panjang serat optik dari 5 hingga 50 km, hasil yang didapat yaitu BER sebesar $0,58 \times 10^{-19}$ hingga $93,1 \times 10^{-19}$ dan *Q-Factor* sebesar 9,05 hingga 8,48. Pengujian terhadap pengaruh *bit rate* dari 1 hingga 10 Gbps, dengan hasil BER sebesar $1,73 \times 10^{-14}$ hingga $2,93 \times 10^{-19}$ dan *Q-Factor* sebesar 7,57 hingga 8,88. Pengujian terhadap daya optik yang digunakan untuk transmisi yaitu 1 hingga 20 dB, dengan hasil BER sebesar $4,43 \times 10^{-20}$ hingga $1,94 \times 10^{-20}$ dan *Q-Factor* sebesar 6,91 hingga 6,79. Kinerja sistem yang diteliti cukup memuaskan, dengan hasil yang ditunjukkan baik.

Terdapat penelitian yang melakukan analisa performansi sistem WDM-RoF [13]. Pengujian ini dilakukan dengan menganalisa kinerja sistem berdasarkan pengaruh dari panjang serat optik dengan menambahkan penguat *pre-amplifier* pada jarak yang lebih jauh. Karakteristik dari sistem yang dibuat yaitu dengan penggunaan *bandwidth* yang diusulkan pada *multiplexer* WDM yaitu 10 GHz

dengan kombinasi empat sinyal input. Menggunakan teknik AM dengan frekuensi 1.7 GHz, dan penggunaan *bit rate* yaitu 1 Gbps. Hasil dari pengujian yang berdasarkan pengaruh dari panjang serat optik, dengan panjang serat optik-nya yaitu (5, 10, 20, 50, dan 60 km). Hasil pada pengujian dengan perbandingan antara menggunakan penguat dan tidak menggunakan penguat, pertama dengan panjang serat 5 km tanpa penguat yaitu BER sebesar 1.1009×10^{-10} dan *Q-Factor* sebesar 6.3046 dan dengan penguat nilai BER sebesar 4.37×10^{-12} dan *Q-Factor* sebesar 6.54, pada panjang serat 20 km tanpa penguat nilai yang didapat yaitu BER sebesar 2.4347×10^{-9} dan *Q-Factor* sebesar 5.81 dan dengan penguat nilai BER sebesar 4.939×10^{-11} dan *Q-Factor* sebesar 6.42, kemudian pada panjang serat 60 km tanpa penguat didapat nilai BER sebesar 1.918×10^{-8} dan *Q-Factor* sebesar 3.53 dan dengan penguat nilai BER sebesar 4.56×10^{-10} dan *Q-Factor* sebesar 6.30. Berdasarkan hasil yang didapat penggunaan penguat EDFA dalam sistem memberikan banyak keuntungan, dengan memberikan derau yang rendah, yang mana cocok untuk digunakan dalam komunikasi jarak jauh. Kompensasi efek redaman dan kerugian hamburan dengan penggunaan penguat EDFA sangat dijelaskan, yang mengarah pada peningkatan kinerja sistem WDM-RoF.

Tabel 2.1 Literature Review

<i>Year</i>	<i>Author</i>	<i>Objective</i>	<i>System</i>	<i>Result</i>
2023	Febrizal Ujang, et.al [9]	Melakukan analisa untuk performansi sistem WDM-RoF berdasarkan variasi <i>bit rate</i>	WDM-RoF, Penguat <i>pre-amplifier</i>	Kualitas sistem komunikasi yang baik dan sesuai standar pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan nilai <i>bit rate</i> yang cenderung rendah, dimana nilai BER sebesar 0 dan <i>Q-Factor</i> sebesar 158,118 pada <i>bit rate</i> 1

<i>Year</i>	<i>Author</i>	<i>Objective</i>	<i>System</i>	<i>Result</i>
				Gbps hasil paling baik dan memenuhi standar, dibanding <i>bit rate</i> 11 Gbps yang nilai BER sebesar $2,539 \times 10^{-6}$ dan <i>Q-Factor</i> sebesar 4,50508.
2023	Louay Muslih Younis, et.al [11]	Analisa kinerja sistem terhadap sistem WDM-RoF, berdasarkan pengujian terhadap sistem yang telah di rancang	WDM-RoF, Modulasi AM, penguat sebelum dan setelah WDM <i>mux</i>	Kualitas sistem baik berdasarkan pengujian dengan hasil dari <i>Q-Factor</i> sebesar 5,1987 dan BER sebesar 9.1528×10^{-8} , yang mana sistem RoF ini ideal untuk jaringan jarak jauh
2021	Nikmatul Halimah, et.al [7]	Analisa kinerja sistem RoF-WLAN, berdasarkan skenario variasi modulasi 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM	RoF-WLAN, Modulasi QAM	Kualitas sistem yang baik di penelitian ini yaitu pada penggunaan teknik modulasi 8-QAM dengan hasil BER sebesar $9,02362 \times 10^{-13}$ dan <i>Q-Factor</i> sebesar 7,00782.
2019	Kanchan Chaudhary, et.al [12]	Analisa performansi sistem SCM-	SCM-RoF, Modulasi PSK	Kinerja sistem dari hasil yang

<i>Year</i>	<i>Author</i>	<i>Objective</i>	<i>System</i>	<i>Result</i>
		RoF, berdasarkan pengaruh dari panjang serat transmisi, <i>bit rate</i> , dan daya optik		ditunjukkan memiliki hasil yang baik, dengan pengaruh terhadap panjang kabel dari 5 hingga 50 km dengan hasil BER sebesar $0,58 \times 10^{-19}$ hingga $93,1 \times 10^{-19}$ dan <i>Q-Factor</i> sebesar 9,05 hingga 8,48, yang terlihat sesuai standar
2019	Adnan Hussein Ali, et.al [13]	Analisa kinerja sistem WDM-RoF berdasarkan variasi panjang serat, dengan hasil yang dibandingkan terhadap penggunaan penguat dan tidak menggunakan penguat	WDM-RoF, Modulasi AM, Penguat <i>pre-amplifier</i>	Hasil yang didapat pada penelitian ini yaitu panjang serat 5 km tanpa penguat yaitu BER sebesar $1,1009 \times 10^{-10}$ dan <i>Q-Factor</i> sebesar 6,3046 dan dengan penguat nilai BER sebesar $4,37 \times 10^{-12}$ dan <i>Q-Factor</i> sebesar 6,54, pada panjang serat 60 km tanpa penguat didapat nilai BER sebesar $1,918 \times 10^{-8}$ dan <i>Q-Factor</i> sebesar 3,53 dan dengan penguat nilai

<i>Year</i>	<i>Author</i>	<i>Objective</i>	<i>System</i>	<i>Result</i>
				BER sebesar $4,56 \times 10^{-10}$ dan <i>Q-Factor</i> sebesar 6,30

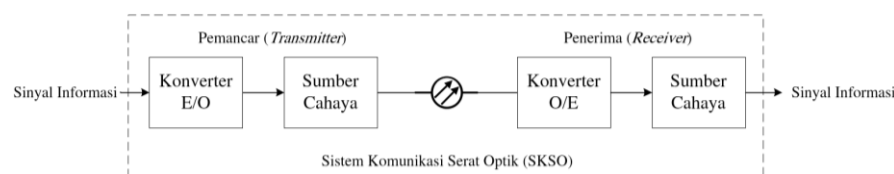
Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari skema DWDM-RoF, berdasarkan pengaruh penggunaan penguat pada sistem. Berbeda pada penelitian sebelumnya, seperti *literature review* pada Tabel 2.1 dengan penelitian yang menggunakan skema WDM, yang hasil performansinya berdasarkan variasi dari *bit rate*, penelitian ini menggunakan skema DWDM dengan penggunaan *bandwidth* sebesar 100 GHz, yang hasil performansinya berdasarkan pengaruh penggunaan penguat. Penggunaan penguat untuk mendapatkan nilai gain ideal berdasarkan nilai BER dan *Q-Factor* terhadap variasi dari panjang kabel fiber dan juga penyesuaian terhadap implementasi posisi penguat.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik didasarkan pada prinsip pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya. *Transmitter* kabel serat optik dan *receiver* merupakan komponen dasar yang digunakan dalam sistem komunikasi serat optik. *Transmitter* berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik, kabel serat optik berfungsi sebagai media transmisi dan *receiver* berfungsi mengubah sinyal optik yang diterima menjadi sinyal listrik kembali [10].

Proses pengiriman informasi yang melalui serat optik menggunakan prinsip pemantulan sinyal optik yang berupa cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Secara umum, konfigurasi sistem transmisi serat optik ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1.



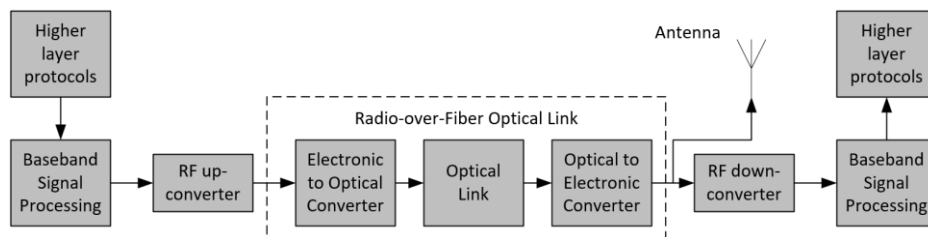
Gambar 2.1 Konfigurasi Sistem Transmisi Serat Optik [10]

Gambar 2.1 menjelaskan proses pengiriman sinyal melalui jaringan serat optik merupakan proses konversi sinyal elektrik menjadi sinyal optik, yang

kemudian dikirim melalui serat optik dari pengirim ke penerima. Selama perjalanan melalui serat optik, gelombang cahaya akan mengalami redaman akibat kerugian energi di sepanjang serat dan pada titik-titik sambungan serat optik. Oleh karena itu, untuk transmisi jarak jauh, diperlukan penguat sinyal yang berfungsi untuk memperkuat gelombang cahaya yang mengalami redaman, sehingga memastikan sinyal tetap kuat dan dapat diterima dengan baik di tempat tujuan [10].

2.2.2 Radio Over Fiber

Teknologi RoF (*Radio over Fiber*) merupakan kombinasi antara jaringan serat optik dan sistem nirkabel, di mana kabel serat optik digunakan sebagai media perantara untuk meningkatkan kecepatan transmisi dibandingkan dengan transmisi langsung. Dalam arsitektur jaringan RoF, terdapat unit pusat (*central unit*) yang terhubung ke beberapa *Base Station* (BS) melalui kabel serat optik. Komponen utama dari BS yaitu *Remote Access Units* (RAU), yang berfungsi sebagai titik distribusi sinyal RF. Dalam transmisi sinyal RF melalui kabel optik, sinyal yang masuk dari jaringan akan diubah menjadi sinyal RF, kemudian ditransmisikan melalui kabel optik ke BS. Pada BS, sinyal akan diubah kembali dari sinyal optik menjadi sinyal RF [7].



Gambar 2.2 Radio over Fiber Link [6]

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 merupakan bagian dari jaringan *radio over fiber*, dari blok tahap *RF up-converter* menghasilkan sinyal RF/gelombang mikro, dan juga melakukan modulasi sinyal, yang diterapkan ke tautan optik menggunakan *electronic to optical converter* (menggunakan pemancar laser). Di sisi penerima, sinyal optik di ubah lagi menjadi sinyal RF/gelombang mikro dengan *optical to electronic converter* (menggunakan *photodiode*), sampai di *RF down-converter* dilakukan demodulasi sinyal.

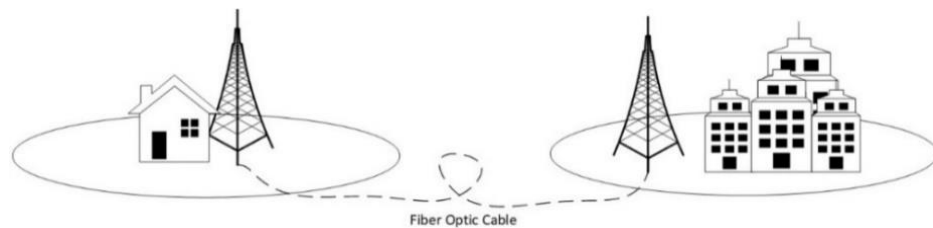
Prinsip dasar transmisi radio melalui serat yaitu mengirimkan sinyal radio analog melalui koneksi serat optik. Dalam metode ini, sinyal radio digunakan untuk

memodulasi gelombang cahaya, bukan menggunakan sinyal digital *baseband* yang umumnya digunakan dalam komunikasi optik. Penting untuk dicatat bahwa penggunaan sinyal radio berarti tautan tersebut bersifat analog, dan performanya harus dievaluasi dengan karakteristik analog [6].

Teknologi *Radio over Fiber* diterapkan dalam berbagai aplikasi sistem komunikasi, beberapa contohnya yaitu [14]:

1. Jaringan Seluler

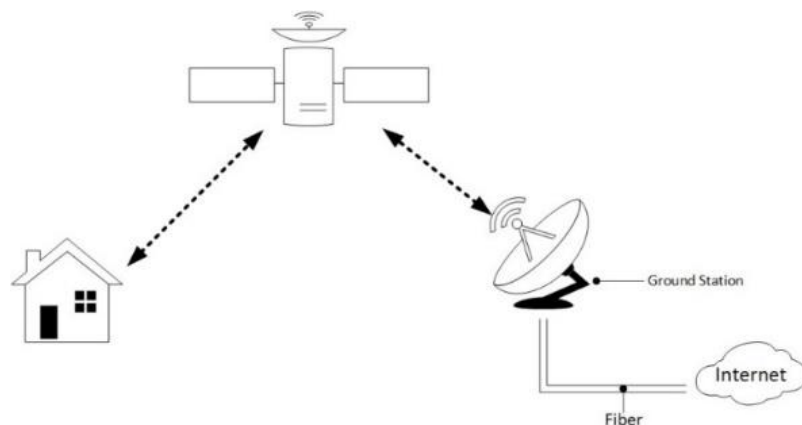
Dengan menggunakan RoF, sinyal radio dari BTS (*Base Transceiver Station*) dapat ditransmisikan melalui serat optik untuk mencapai antena-antena yang terdistribusi di seluruh area layanan. Hal ini memungkinkan peningkatan cakupan, kapasitas, dan keandalan jaringan seluler [14]. Penggambaran dari bagaimana sistem RoF tersebut pada jaringan seluler dari BTS ke BTS seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Radio over Fiber Jaringan Seluler [2]

2. Komunikasi Satelit

RoF dapat digunakan dalam sistem komunikasi satelit untuk mentransmisikan sinyal antena satelit ke pusat kendali jarak jauh. Seperti pada Gambar 2.4 digunakan serat optik sebagai media transmisi dari sistem RoF menuju ke *ground station* [14].



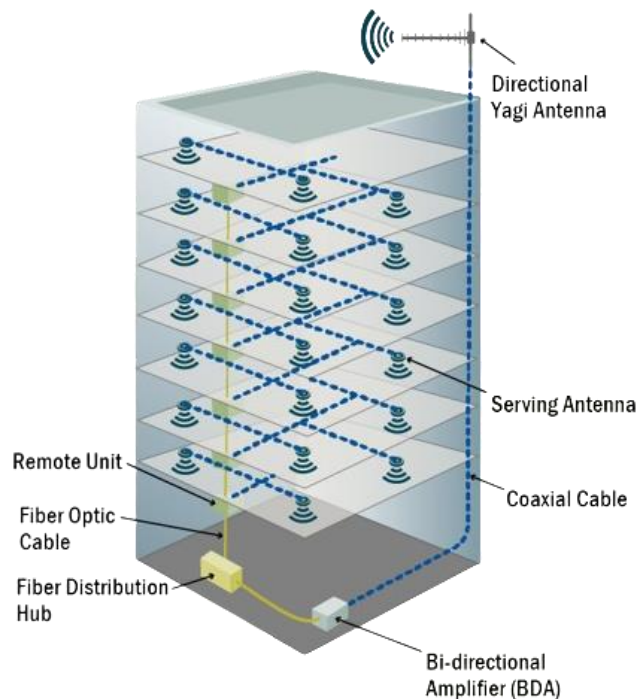
Gambar 2.4 Radio Over Fiber Pada Komunikasi Satelit [15]

3. Komunikasi Jarak Jauh

RoF dapat digunakan dalam jaringan komunikasi optik jarak jauh untuk mentransmisikan sinyal optik dari stasiun pengirim ke stasiun penerima yang berjarak ratusan kilometer. Dalam aplikasi ini, RoF digunakan untuk mengatasi kerugian sinyal yang terjadi selama transmisi jarak jauh dan memperkuat sinyal optik agar dapat mencapai jarak yang lebih jauh.

4. *Distributed Antenna System (DAS)*

RoF digunakan dalam sistem DAS untuk memperluas jangkauan sinyal seluler di area yang luas, seperti yang tergambar pada Gambar 2.5 dengan contoh, yaitu gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, atau stadion [14].



Gambar 2.5 *Distributed Antenna System* [16]

2.2.3 *Diode LASER*

Dioda laser merupakan dioda semikonduktor yang memancarkan cahaya koheren melalui mekanisme emisi terstimulasi. Cahaya yang dihasilkan memiliki lebar spektral sempit (<4 nm) sehingga dapat menekan dispersi kromatik, cocok untuk transmisi data dengan *bit rate* tinggi. Daya keluaran optik dioda laser berkisar antara $-12 \sim +3$ dBm, namun karakteristik arus-daya optiknya tidak linear. Kinerja dioda laser sangat dipengaruhi oleh suhu tinggi, sehingga cocok digunakan untuk

sistem jarak jauh berkecepatan tinggi. Ukuran permukaan aktif yang kecil dan sudut *beam* yang sempit membuatnya sesuai dengan serat optik *step index single mode*, menghasilkan rugi-rugi transmisi yang sangat rendah.

Pada umumnya, dioda laser dimodulasi dengan modulasi intensitas karena karakteristik arus kemudi-daya optiknya yang tidak linear. Untuk memastikan dioda laser bekerja pada daerah linear, diperlukan penambahan arus pra-tegangan searah (DC) sehingga dioda laser dapat beroperasi pada daerah operasi yang diinginkan. Dengan mengkombinasikan modulasi intensitas dan arus DC, sinyal informasi dapat ditransmisikan secara efisien melalui dioda laser, sesuai dengan kebutuhan sistem komunikasi serat optik [17].

2.2.4 Teknik *Multiplexing*

Multiplexing merupakan proses menggabungkan beberapa kanal sinyal informasi menjadi satu kanal informasi tunggal, sehingga sinyal-sinyal informasi tersebut dapat dikirimkan secara simultan dalam satu kanal. Tujuan utama dari *multiplexing* yaitu meningkatkan efisiensi penggunaan jalur komunikasi dengan memungkinkan transmisi bersamaan dari beberapa sinyal melalui satu saluran fisik [18].

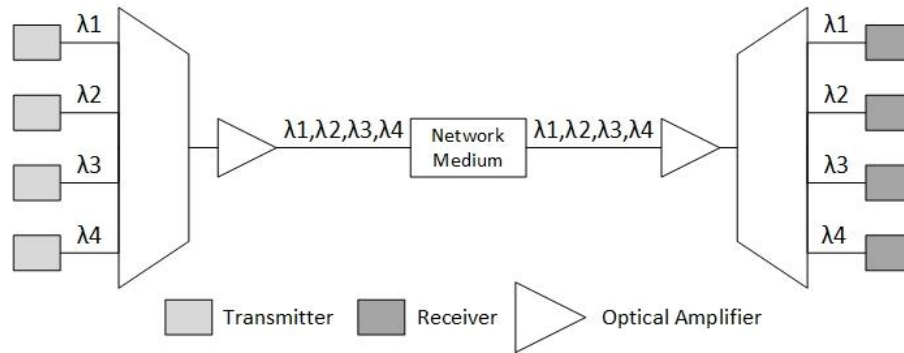
2.2.4.1 *Wavelength Division Multiplexing*

WDM merupakan teknologi *multiplexing* optik yang memungkinkan transmisi simultan dari beberapa saluran menggunakan cahaya berbeda. Pada WDM, saluran-saluran ini menggunakan rentang frekuensi yang luas, yang dikenal sebagai gelombang penuh. WDM memiliki dua jenis utama, yaitu DWDM yang menggunakan jarak gelombang yang lebih sempit antara saluran-saluran, dan CWDM yang menggunakan jarak gelombang yang lebih luas antara saluran-saluran.

2.2.4.2 *Dense Wavelength Division Multiplexing*

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan teknik *multiplexing* di mana beberapa saluran dengan panjang gelombang yang berbeda digabungkan menjadi satu saluran tunggal, memungkinkan transmisi simultan dengan *bit rate* tinggi melalui serat optik. Dengan menggunakan DWDM, kapasitas transmisi data dapat ditingkatkan karena adanya jarak yang kecil antara panjang

gelombang yang digunakan, sehingga memungkinkan pemanfaatan spektrum optik secara efisien [5].



Gambar 2.6 Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* [19]

Seperti yang tergambar pada Gambar 2.6 yang menjelaskan teknik DWDM, dimana memungkinkan pengiriman banyak sinyal melalui kabel yang sama. Setiap sinyal memiliki panjang gelombang yang berbeda dan digabungkan menggunakan metode *multiplexing* di sisi pemancar. Sinyal-sinyal tersebut kemudian dikirim melalui media transmisi, dan di sisi penerima, dilakukan proses *de-multiplexing* untuk memisahkan kembali sinyal-sinyal tersebut [19].

Teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) memiliki perbedaan utama dalam jarak saluran yang lebih ketat pada DWDM dibandingkan WDM. DWDM menggunakan pemancar dengan mekanisme kontrol untuk menjaga stabilitas frekuensi aplikasi, sedangkan pemancar CWDM umumnya tidak terkontrol dalam hal ini. Rekomendasi ini mengatur jaringan frekuensi yang mendukung jarak kanal mulai dari 12,5 GHz hingga lebih dari 100 GHz, termasuk kelipatan bilangan bulat 100 GHz, serta opsi jaringan fleksibel. Meskipun *grid* tetap digunakan, variasi dalam spasi saluran diizinkan.

Nilai untuk suatu jarak dari antar kanal dari 12.5, 25, 50, 100 GHz, dengan frekuensi kanal yang diperbolehkan (dalam THz) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut, yaitu [20]:

$$f_0 + n \times 0,0125 \quad (2.1)$$

$$f_0 + n \times 0,025 \quad (2.2)$$

$$f_0 + n \times 0,05 \quad (2.3)$$

$$f_0 + n \times 0,1 \quad (2.4)$$

dimana:

f_0 = Frekuensi awal (THz).

n = bilangan bulat positif/negatif termasuk 0.

Persamaan 2.1 sampai 2.4 merupakan persamaan untuk menghitung jarak antar kanal, dengan persamaan dari frekuensi awalnya dalam satuan THz dan n yang merupakan berapa banyak jumlah kanal dengan perhitungan mulai dari 0.

Nilai dari frekuensi tersebut dapat diubah menjadi panjang gelombang (λ) dalam satuan nano meter dengan menggunakan persamaan [21]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.5)$$

dimana:

λ = panjang gelombang (nm).

f = frekuensi (THz).

c = kecepatan cahaya (299.792.458 m/s) [22].

2.2.4.3 Coarse Wavelength Division Multiplexing

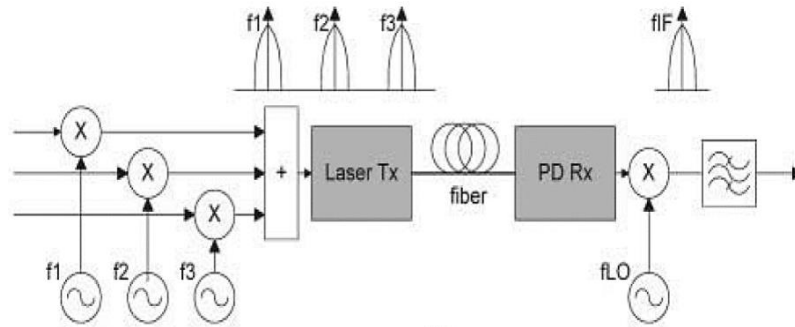
CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*) merupakan teknologi yang digunakan untuk mentransmisikan beberapa saluran data secara bersamaan melalui serat optik menggunakan berbagai panjang gelombang cahaya yang kasar atau lebar. Dalam CWDM, saluran data yang berbeda dikirimkan melalui serat optik dengan menggunakan panjang gelombang cahaya yang berbeda-beda.

CWDM memanfaatkan prinsip dasar *multiplexing*, di mana sinyal-sinyal dari berbagai sumber atau pengguna dikombinasikan menjadi satu saluran transmisi tunggal. Setiap saluran CWDM memiliki panjang gelombang yang berbeda, dalam rentang 1271 nm hingga 1611 nm, dengan selisih panjang gelombang sekitar 20 nm [23].

2.2.4.4 Subcarrier Multiplexing

Subcarrier Multiplexing (SCM) merupakan suatu teknik *multiplexing* frekuensi rendah di mana beberapa sinyal dalam rentang frekuensi radio (RF) digabungkan menjadi satu sinyal komposit yang kemudian dimodulasi pada pembawa optik frekuensi tinggi untuk ditransmisikan melalui serat optik. Teknik SCM ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan *bandwidth* dalam sistem RoF. SCM dapat digunakan bersama dengan teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) untuk transmisi optik berkecepatan tinggi dengan efisiensi

bandwidth yang tinggi dan toleransi dispersi yang tinggi. Namun, SCM juga memiliki kelemahan, seperti sensitivitas terhadap kebisingan, yang membatasi frekuensi *subcarrier* maksimum dan kecepatan data yang dapat ditransmisikan [5][12].



Gambar 2.7 Komunikasi Optik Analog *Subcarrier-Multiplexing* [6]

Pada Gambar 2.7, dimana penggambaran frekuensi f_1 , f_2 , dan f_3 yang menunjukkan apa yang disebut “frekuensi *subcarrier*”, dimana masing-masing membawa sinyal modulasi yang berbeda. Pada sisi penerima, sinyal yang telah dimultipleks secara lengkap dideteksi menggunakan fotodiode, dan setiap *subcarrier* RF di demodulasi menggunakan teknik deteksi *heterodyne* RF. Hal ini dilakukan untuk mengubah *subcarrier* yang diperlukan menjadi sinyal IF (*Intermediate Frequency*) yang akan digunakan oleh osilator lokal (LO) di penerima.

2.2.5 *Transmission Characteristics*

Karakteristik dari transmisi dengan menggunakan sistem transmisi DWDM, dimana percabangan pada *multiplexer* yaitu dua atau lebih *port* masukan dan satu *port* keluaran, dan pada *demultiplexer* yaitu satu input yang terdiri dari sinyal optik dua atau lebih rentang panjang gelombang dan *output* dari setiap *port* yaitu rentang panjang gelombang yang telah dipilih sebelumnya. Jumlah dari *port/channel* untuk percabangannya yaitu 2, 4, 8, 16, 32, atau 64 [24].

2.2.6 *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)*

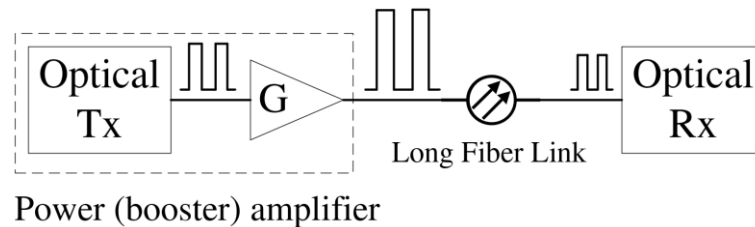
Penguat optik yang populer digunakan pada aplikasi *long-haul telecommunication* yaitu fiber silika dengan doping erbium, atau yang lebih dikenal dengan *erbium-doped fiber amplifier* (EDFA). EDFA secara normal beroperasi

pada rentang panjang gelombang 1530 hingga 1565 nm, yang merupakan daerah spektral *C-band* atau *conventional band*. Dengan kemampuan penguatan pada rentang panjang gelombang tersebut, EDFA menjadi solusi yang efektif untuk memperkuat sinyal pada sistem komunikasi serat optik jarak jauh [25].

2.2.7 Implementasi *Optical Amplifier*

2.2.7.1 *Booster-Amplifier*

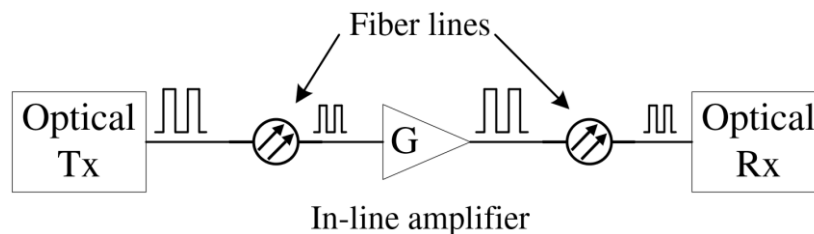
Booster Amplifier merupakan jenis penguat optik yang diletakkan pada sisi pemancar seperti yang terlihat pada Gambar 2.8. Karakteristik utamanya yaitu *noise figure* yang rendah, sehingga menghasilkan *signal to noise ratio* yang besar. Hal ini memberikan keuntungan, karena sinyal yang dihasilkan memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan *noise* yang terkandung di dalamnya [10].



Gambar 2.8 *Booster Amplifier* [26]

2.2.7.2 *In-line Amplifier*

In-line amplifier merupakan jenis aplikasi penguat optik yang diletakkan di antara serat optik seperti yang terlihat pada Gambar 2.9. Penguat optik *in-line* dapat digunakan untuk memperkuat pelemahan sinyal cahaya, sehingga tidak perlu lagi dilakukan regenerasi sinyal cahaya. *In-line amplifier* memiliki konsumsi daya yang rendah dan mode operasi yang mudah [10].

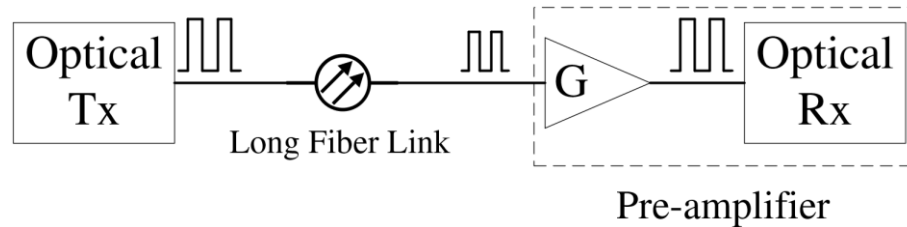


Gambar 2.9 *In-Line Amplifier* [26]

2.2.7.3 *Pre-Amplifier*

Pre-amplifier merupakan jenis aplikasi penguat optik yang diletakkan setelah serat optik atau pada sisi penerima seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.

Pre-amplifier berfungsi untuk memperkuat sinyal cahaya yang dikirim melalui serat optik sebelum sinyal cahaya tersebut diterima oleh *photodetector*, sehingga dapat menekan penurunan *signal to noise ratio* yang disebabkan oleh *thermal noise* di *photodetector*. Peningkatan tingkat daya dapat meningkatkan sensitivitas penerima, sehingga meningkatkan *power link budget* [10].

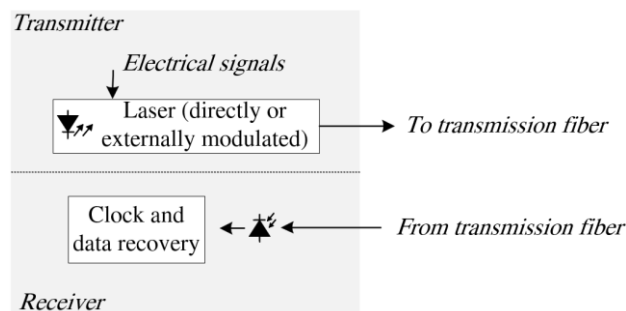


Gambar 2.10 Pre-Amplifier [26]

2.2.8 Direct Detection

Sistem *direct detection* (DD) merupakan sistem komunikasi yang menggunakan pendeteksian daya optik termodulasi, yang juga dikenal sebagai intensitas medan optik atau intensitas optik. Dalam sistem DD konvensional, penerima terdiri dari satu *photodiode* (PD), sehingga pemancar memodulasi daya optik yang dikirimkan. Karena itu, sistem semacam itu sering disebut sebagai sistem *intensity modulation and direct detection* (IM-DD) [27].

Dalam sistem IM-DD, informasi dikodekan dalam bentuk modulasi intensitas sinyal optik yang dikirimkan. Pemancar memvariasikan daya optik yang dihasilkan sesuai dengan data yang ingin dikirim. Pada sisi penerima, *photodiode* digunakan untuk mendeteksi intensitas sinyal optik yang diterima. *Photodiode* mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik yang kemudian diteruskan ke proses demodulasi untuk mendapatkan kembali data yang dikirim.



Gambar 2.11 Skematik Transceiver Pada Sistem Direct Detection [27]

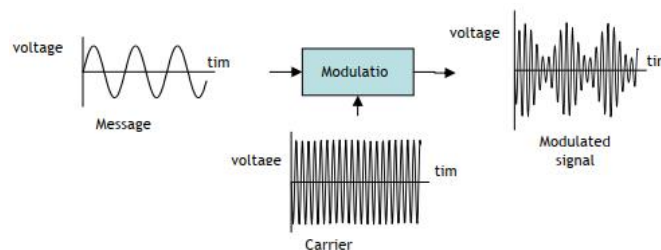
Gambar 2.11 menggambarkan skematik dari sistem *direct detection*, dimana pemancar menggunakan laser sebagai sumber cahaya. Cahaya yang

dihasilkan oleh laser dapat langsung dimodulasi di dalam laser itu sendiri atau dapat dimodulasi secara eksternal menggunakan modulator terpisah sebelum dikirimkan.

Pada sisi penerima, terdapat sebuah *photodiode* (PD) yang bertugas mendeteksi intensitas cahaya optik yang diterima. *Photodiode* mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik yang kemudian melewati beberapa blok pemrosesan. Salah satu *blok* penting dalam sistem DD yaitu unit pemulihan *clock* dan data *recovery*. Blok ini bertanggung jawab dalam memulihkan sinyal *clock* yang diperlukan untuk demodulasi data yang dikirimkan. Selain itu, terdapat juga modul pengambilan keputusan simbol yang mengubah sinyal listrik menjadi data yang dikirimkan semula [27].

2.2.9 Teknik Modulasi Amplitudo

Amplitudo Modulasi merupakan salah satu jenis modulasi yang paling sederhana, di mana amplitudo sinyal pembawa (*carrier*) diubah sesuai dengan sinyal informasi yang akan dikirimkan. Berdasarkan Gambar 2.12 dalam teknik AM, perubahan amplitudo sinyal pembawa secara langsung mengikuti amplitudo sinyal informasi. Modulasi ini juga dikenal sebagai modulasi linear karena pergeseran frekuensinya terjadi secara linear sesuai dengan sinyal informasi yang akan ditransmisikan [28].



Gambar 2.12 Amplitudo Modulasi [28]

2.2.10 Parameter Performansi

2.2.10.1 Bit Error Rate (BER)

BER merupakan rasio perbandingan antara jumlah bit yang salah atau rusak dengan keseluruhan bit yang dikirimkan. Sementara itu, BER *Test* yaitu pengujian yang berfungsi untuk mengetahui seberapa banyak kesalahan pembacaan yang terjadi di sisi penerima dalam setiap detiknya [29].

Pada jaringan FTTH, sinyal optik yang dikirimkan berupa pulsa-pulsa cahaya, di mana masing-masing pulsa membawa satu bit data. Namun, tidak semua bit dapat terkirim dengan sempurna. BER (*Bit Error Rate*) didefinisikan sebagai jumlah kesalahan (*error*) yang terjadi per jumlah bit data yang terkirim pada suatu sistem digital [30].

Pada jaringan komunikasi optik menurut standar ITU-T G.984-2, nilai BER yang harus dipenuhi yaitu harus setara atau lebih rendah dari 10^{-6} , dimana semakin kecil nilai BER maka semakin baik kondisi suatu jaringan telekomunikasi [31][32].

2.2.10.2 *Q-Factor*

Q-factor merupakan gambaran kuantitatif dari faktor kualitas sinyal optik yang akan menentukan bagus atau tidaknya kualitas suatu *link* WDM yang berhubungan dengan BER dan merepresentasikan SNR. Dalam sistem komunikasi serat optik khususnya WDM, nilai *Q-factor* yang baik dalam komunikasi optik yaitu diatas 6. Semakin besar nilai *Q-factor* maka semakin kecil nilai BER. Semakin kecil nilai BER maka semakin baik kualitas jaringan tersebut [31].

2.2.11 Optisystem

Optisystem merupakan perangkat lunak simulasi modern yang dikembangkan oleh perusahaan Optiwave. Perangkat lunak ini telah memberikan kontribusi tak terhitung bagi sistem komunikasi optik dan aplikasi praktis dari jaringan optik. Dalam *software* optisystem ada beberapa alat untuk mengukur dan menganalisis hasil antara lain [10]:

1. *Eye diagrams, BER, Q-Factor, Signal chirp.*
2. *Signal power, gain, noise figure, OSNR.*
3. *Polarization state, Constellation diagrams.*
4. *Data monitors, report generation.*



Gambar 2.13 Software Optisystem 21