



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Penelitian Terkait

*Radio over Fiber* (RoF) merupakan salah satu dari skema yang potensial untuk komunikasi radio *wireless broadband* dengan meningkatkan kapasitas dan *bandwidth* sinyal radio untuk sistem komunikasi *wireless* jarak jauh (Muchrizam, 2012). Teknologi RoF memiliki sistem *multiplexing* yang disebut dengan *Sub Carrier Multiplexing* (SCM). SCM bekerja dengan mentransmisikan beberapa sinyal informasi dengan frekuensi yang berbeda-beda dalam domain radio frekuensi. Sedangkan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) merupakan teknik *multiplexing* dalam komunikasi serat optik yang berguna untuk menggabungkan beberapa panjang gelombang yang berbeda sehingga dapat dikirimkan secara bersamaan melalui satu serat optik tunggal. Dengan demikian teknologi ini mampu memberikan efisiensi terhadap *bandwidth* dan daya transmisi (Muchrizam, 2012).

Teknik *multiplexing Arrayed Waveguide grating* (AWG) juga dapat digunakan sebagai *multiplexer* dan *demultiplexer* dengan jumlah kanal yang sangat besar dan rugi-rugi yang relatif kecil dan memiliki *insertion loss* yang rendah dan *crosstalk* yang kecil (Oplink, 2012). Penelitian terkait tentang *multiplexing* AWG dilakukan oleh Afif saifuddin (2012) dengan menganalisis performansi *Array Waveguide Gratings* (AWG) pada jaringan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) *Gigabit-Passive Optical Network* (GPON). dengan parameter performansi yang dianalisis yaitu *Bit Error Rate* (BER), hasil pada penelitiannya menunjukkan performansi BER untuk sistem AWG lebih baik dibandingkan dengan sistem *multiplexer* konvensional sehingga AWG dapat diimplementasikan untuk komunikasi jarak jauh.

Penggunaan *filter Fiber Bragg Grating* (FBG) untuk merefleksikan panjang gelombang yang dibutuhkan dan meneruskan panjang gelombang lainnya. Penelitian yang terkait diteliti oleh Erwin zahroni (2014) melakukan penelitian tentang analisa penerapan *Arrayed Waveguide Gratings* menggunakan *Fiber Bragg Gratings* pada jaringan DWDM. Hasil penelitiannya dengan melihat *Bit Error Rate* (BER) bahwa penggunaan *filter* FBG pada sisi *receiver* memberikan hasil lebih baik dibandingkan dengan sisi *transmitter* dan jumlah *input* dan *output* pada jaringan DWDM mempengaruhi besarnya *Crosstalk* yang terjadi.



Penelitian lain yang menggabungkan *multiplexer* AWG dengan *filter* FBG diteliti oleh Noval Efendi Musa (2016) melakukan penelitian dengan menganalisa performansi *Array Waveguide Gratings* (AWG) menggunakan filter FBG pada jaringan SCM/WDM *Radio over Fiber*. Hasil penelitiannya satu buah *filter* FBG pada sisi *transmitter* atau pada sisi *receiver* memberikan performansi jaringan yang lebih baik jika dibandingkan dengan penambahan *filter* dikedua sisi *transmitter* dan *receiver*. Teknik modulasi yang digunakan yaitu modulasi ASK dengan jarak transmisi maksimum sistem hanya mencapai 10 Km, sedangkan *bit rate* maksimum yang dapat diimplementasikan pada jaringan adalah 1 Gbps.

Gusmawandi (2016) mengembangkan penelitian selanjutnya dengan menggunakan teknik modulasi PSK untuk mendapatkan jarak transmisi dan *bit rate* maksimum yang lebih baik dengan menganalisa performansi modulasi *Phase shift keying* (PSK) pada jaringan SCM/WDM *Radio over Fiber* menggunakan *multiplexer* AWG dan *filter* FBG. Hasil penelitiannya menunjukkan teknik modulasi BPSK memiliki performansi jaringan yang lebih baik dibandingkan dengan teknik modulasi QPSK. *Bit Rate* maksimum yang dapat diimplementasikan untuk modulasi BPSK mencapai 6,5 Gbps dan jarak transmisi maksimum mencapai 120 km sedangkan pada teknik modulasi QPSK *Bit Rate* maksimum hanya 3,5 Gbps dan Jarak transmisi maksimum hanya 80 km.

Indah susilawati (2009) melakukan penelitian dengan mensimulasikan pembangkitan sinyal 8 PSK berbasis *matlab*. Hasil penelitiannya menunjukkan perbandingan modulasi BPSK, QPSK dan 8 PSK. Dimana modulasi 8 PSK memiliki efisiensi *bandwidth* yang paling baik sebesar 3 b/s/Hz, dilanjutkan dengan modulasi QPSK 2 b/s/Hz dan BPSK 1 b/s/Hz. Melihat keunggulan efisiensi *bandwidth* pada modulasi 8 PSK, maka penulis tertarik melanjutkan orde modulasi PSK dengan melanjutkan penelitian Gusmawandi untuk menganalisis performansi teknik modulasi *M-ary* PSK dengan beberapa orde menggunakan AWG dan *filter* FBG pada jaringan SCM/WDM *Radio over Fiber*.

## 2.2 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik menggunakan sinyal-sinyal informasi dalam bentuk energi cahaya yang disalurkan melalui serat optik. Sinyal informasi yang dikirimkan tersebut dapat berupa sinyal audio, *video* ataupun data dalam bentuk sinyal elektrik dan kemudian diubah menjadi sinyal optik sebelum ditransmisikan melalui serat optik. Sistem komunikasi secara

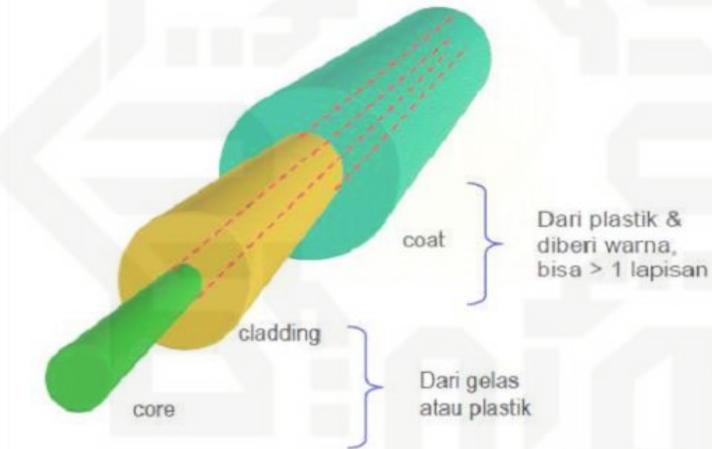


umum terdiri dari pengirim dan penerima. Sistem komunikasi serat optik secara umum terdiri dari serat optik, sumber optik dan *detector* optik.

### 2.2.1 Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi yang terbuat dari bahan dasar kaca atau plastik ( $\text{SiO}_2$ ) yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya sebagai media penyampaian informasi. Serat optik menggunakan prinsip pemantulan dengan membuat kedua indeks bias dari *core* dan *cladding* berbeda, sehingga cahaya (informasi) dapat memantul dan merambat di dalamnya. Serat optik memiliki *bandwith* yang besar sehingga pentransmision data menjadi lebih banyak dan lebih cepat, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi sistem telekomunikasi. (Rika Susanti, 2012).

Berikut adalah gambar struktur serat optik:



Gambar 2.1. Struktur Serat Optik

(Sumber: Rika S, 2013; Dipo S, 2015)

Struktur serat optik diatas terdiri dari 3 lapisan, yaitu :

1. Core (inti serat optik)

*Core* terbuat dari bahan kuarsa dengan kualitas yang sangat tinggi, *core* merupakan bagian utama dari serat optik, karena *core* ini yang menjadi tempat perambatan cahaya yang sebenarnya. *Core* memiliki diameter  $8\mu\text{m} - 50\mu\text{m}$ . Ukuran *core* ini sangat mempengaruhi karakteristik serat optik.

2. *Cladding*

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

*Cladding* merupakan tempat pembiasan cahaya yang memiliki indeks bias lebih kecil dengan *core* atau sebagai cermin, dan terbuat dari bahan gelas atau plastik, serta *cladding* merupakan selubung dari *core* yang akan mempengaruhi perambatan yaitu apakah dibiaskan atau dipantulkan.

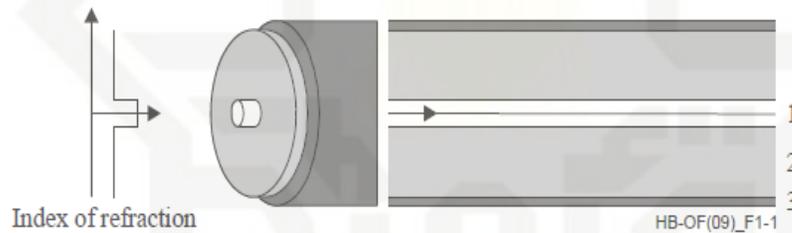
### 3. Coating (Jaket)

*Coating* berfungsi sebagai pelindung mekanis pada serat optik yang terbuat dari bahan plastik dan memiliki diameter 250  $\mu\text{m}$ .

Berdasarkan cara perambatannya, serat optik terbagi menjadi 3, yaitu :

#### 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  $\mu\text{m}$ . Jenis serat optik ini memiliki *bit rate* yang besar.

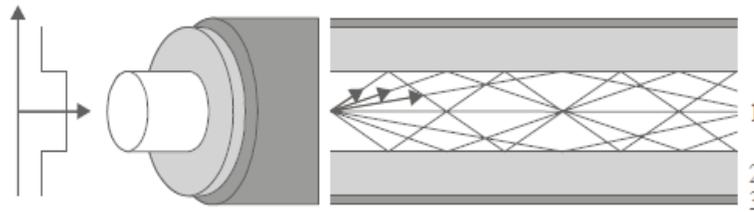


Gambar 2.2. Serat Optik *singlemode*

(Sumber : ITU-T, 2009)

#### 2. Step Index Multimode

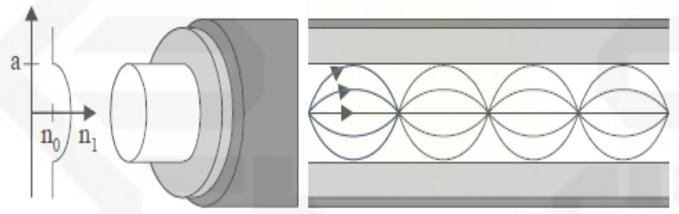
*step index multimode* ini merupakan jenis serat optik yang mempunyai *index* bias konstan sehingga terjadi berbagai jenis perambatan cahaya. Pada *step index multimode*, diameter *core* besar dan dilapisi *cladding* yang tipis. Serat optik jenis ini memiliki *bit rate* rendah, serta memiliki *dispersi*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



Gambar 2.3. Serat Optik *multimode*  
 (Sumber : ITU-T, 2009)

### 3. *Graded Index Multimode*

Jenis serat *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 sehingga cahaya akan tiba pada waktu yang bersamaan.



Gambar 2.4. Serat Optik *graded index multimode*  
 (Sumber : ITU-T, 2009)

Adapun karakteristik dari serat optik *Graded Index Multimode* adalah :

- 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* antara 30  $\mu\text{m}$  – 60  $\mu\text{m}$ . lebih kecil dari *Step Index Multimode* dan dibuat dari bahan *silica glass*.
- Harganya lebih mahal dari serat optik *Step Index Multimode* karena proses pembuatannya lebih sulit.

Berikut adalah kelebihan dan kekurangan serat optik (Dian Agus Salim, 2008) :

### 1. Kelebihan Serat Optik

- Ukurannya kecil dan ringan.
- Mempunyai lebar pita frekuensi (*bandwidth* yang lebar).
- Tidak ada pengaruh elektrik.
- Tidak terjadi *crosstalk* antar serat optik dalam satu kabel
- Tahan terhadap induksi dan interferensi.
- Kualitas transmisi yang tinggi.

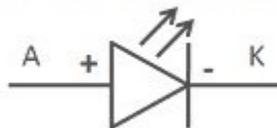
### 2. Kekurangan Serat Optik

- Bersifat non konduktor, karena serat optik tidak bisa dialiri arus listrik, maka tidak dapat memberikan catuan perangkat repeater
- Konstruksi serat optik cukup lemah, sehingga perlu penanganan yang cermat pada saat instalasi.
- Karakteristik transmisi dapat berubah bila terjadi tekanan dari luar yang berlebihan.
- Mahal bila digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan *bandwidth* sempit dan jarak yang dekat.

## 2.2.2 Sumber Optik

Sumber optik 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*).

### 1) LED (*Light Emitting Diode*)



Gambar 2.5. Simbol LED

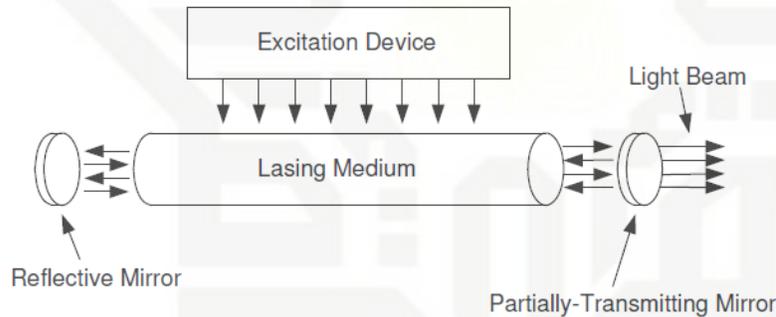
(Sumber: Aulia Satria, 2016)



LED merupakan diode semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme emisi spontan. LED mengubah besaran arus menjadi besaran intensitas cahaya. Cahaya yang dipancarkan LED bersifat tidak koheren yang akan menyebabkan dispersi kromatik sehingga LED hanya cocok untuk transmisi data dengan *bit rate* yang rendah sampai sedang. Daya keluaran LED adalah -33 s.d. -10 dBm. LED memiliki lebar spektral (*spectral width*) 30-50 nm pada panjang gelombang 850 nm dan 50-150 nm pada panjang gelombang 1300 nm (Rika Susanti, 2012).

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

Dioda laser merupakan diode semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme pancaran/emisi terstimulasi (*stimulated emission*). Cahaya yang dipancarkan oleh laser bersifat koheren. Diode laser memiliki lebar spektral yang lebih sempit (s.d. 1 nm), sehingga dispersi kromatik bisa ditekan. Laser diterapkan untuk transmisi data dengan *bit rate* tinggi. Laser mempunyai daya keluaran optik -12 s.d. +3 dBm. Kinerja dari laser dilihat dari aspek keluaran daya optik, panjang gelombang, serta umur sistem yang sangat dipengaruhi oleh temperature operasi (Rika Susanti, 2012).



Gambar 2.6. Struktur Dasar Laser  
(Sumber: Aulia Satria, 2016)

2.2.3 *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*.

Pendeteksian cahaya ini berlangsung secara optimal, maka secara esensial sebagian besar photon cahaya yang masuk ke dalam peranti harus dikonversi menjadi besaran listrik.

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



Masing-masing photon mungkin menyebabkan terjadinya emisi elektron sehingga menjadi elektron bebas. Elektron bebas ini dibangkitkan dengan cara memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi, dan yang tertinggal dalam pita valensi adalah lubang yang lazim dinamakan dengan *hole* bebas. Proses terjadinya pasangan elektron *hole* ini disebut dengan *photogeneration*.

Persyaratan kinerja yang harus dipenuhi oleh *photodetector* meliputi: (Quang Dai H, 2015):

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

Detektor untuk transmisi serat optik ada 2 macam yaitu dioda PIN dan *Avalanche Photo Diode* (APD). Berikut ini beberapa perbedaan antara dua jenis detektor cahaya (Muchrizam, 2012) :

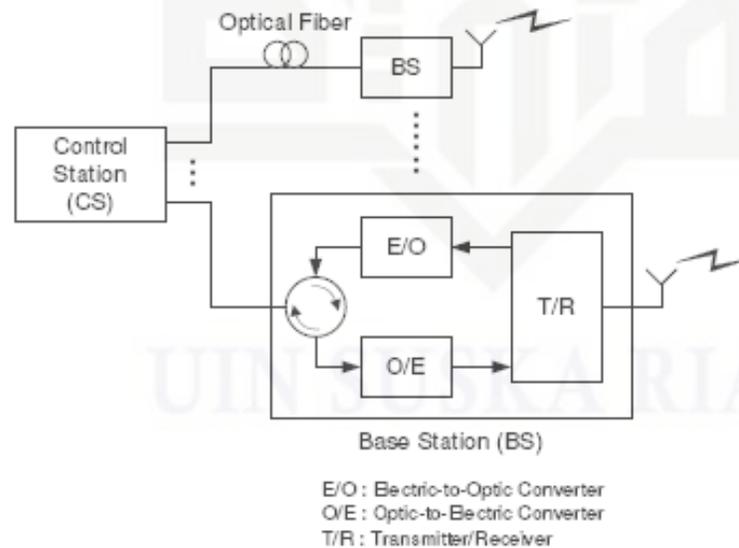
1. Untuk komunikasi jarak jauh digunakan detektor APD yang dapat bekerja pada panjang gelombang 1300 nm, 1500 nm serta 1550 nm dengan kualitas yang baik. Artinya detektor APD mempunyai sensitivitas dan respon yang tinggi terhadap LASER sebagai pembawa gelombang optik informasi.
2. Untuk komunikasi jarak pendek lebih efisien jika menggunakan detektor PIN diode, karena PIN baik digunakan untuk *bit rate* rendah dan sensitivitasnya tinggi untuk sistem yang menggunakan LED sebagai sumber optiknya.
3. Detektor penerima PIN bereaksi baik pada *bit rate* rendah tetapi kurang sensitif ketika *bit ratenya* dinaikkan.
4. Detektor penerima APD lebih sensitif pada *bit rate* tinggi. Untuk transmisi jarak jauh diperlukan daya pancar yang lebih besar dan sensitifitas yang tinggi. Untuk sistem komunikasi serat optik jarak jauh, akan menggunakan LASER sebagai sumber cahaya dan APD sebagai detektor penerima. Sedangkan untuk transmisi jarak dekat cukup digunakan LED sebagai sumber optik dan PIN sebagai detektor penerima.

### 2.3 Radio over Fiber (RoF)

*Radio over Fiber (RoF)* merupakan suatu teknologi pengiriman sinyal *radio* melalui serat optik untuk pengiriman data yang lebih cepat. Kabel serat optik yang digunakan sebagai media perantara, maka akan diperoleh kecepatan transmisi yang lebih besar dibandingkan ketika dilakukan transmisi secara langsung. RoF dapat meningkatkan performansi *Bit Error Rate* dan *bandwidth* sistem dengan atenuasi yang rendah. (Ajay kumar, 2012).

RoF bekerja berdasarkan prinsip penggabungan antara sistem komunikasi serat optik dan sistem komunikasi nirkabel. Tujuannya agar pengguna dapat menikmati performansi jaringan yang lebih bagus dari pada jaringan nirkabel tetapi tidak semahal pada instalasi kabel serat optik. Penerapan RoF memungkinkan tercakupnya seluruh *coverage area* yang semestinya dapat dijangkau oleh jaringan nirkabel. Dengan adanya *link radio over fiber*, maka kualitas sinyal dan performansi yang diterima oleh pengguna akan lebih baik. (Muchrizam, 2012).

Sistem RoF terdiri dari *Central Site (CS)* dan *Remote Site (RS)* yang dihubungkan oleh sebuah jaringan serat optik. Jika di jaringan GSM, maka CS bisa menjadi *Mobile Switching Center (MSC)* dan RS adalah *Base Station (BS)* (Rakesh Chandan, 2013). Berikut merupakan gambar sistem *Radio over Fiber* secara umum :



Gambar 2.7. Sistem *Radio Over Fiber* Secara Umum

(Sumber: Setyadi, 2012; Sri Mayanti, 2015)



Sinyal yang datang kemudian dikonversi ke sinyal *Intermediate Frekuensi* (IF) dan ditransmisikan melalui kabel optik ke *base station* (BS)

Keunggulan RoF (Ajay Kumar, 2012):

1. Rugi Atenuasi Rendah
2. *Bandwidth* Lebar
3. Kekebalan terhadap interferensi elektromagnetik adalah sifat yang sangat menarik dalam komunikasi serat optik, khususnya untuk transmisi *microwave*. Hal ini karena sinyal tersebut dikirimkan dalam bentuk cahaya melalui serat.
4. Instalasi dan pemeliharaan mudah, dalam sistem RoF peralatan yang rumit dan disimpan di headend mahal, sehingga membuat *Remote Antenna Unit* (RAU) sederhana
5. Mengurangi konsumsi daya di RAU merupakan hal yang penting karena konsekuensi memiliki RAU sederhana dengan mengurangi peralatan yang diperlukan dan terkadang ditempatkan di lokasi terpencil.
6. *Multi-Operator* dan *Multi-Service Operation*, sistem distribusi RoF dapat membuat sinyal format transparan.

#### 2.4 Multiplexing

*Multiplexing* merupakan teknik pengiriman beberapa informasi dengan menggunakan satu saluran yang sama. Dengan tujuan untuk menghemat jumlah saluran fisik, seperti kabel, pemancar dan penerima (*transceiver*) atau kabel optik (Sri Mayanti, 2015; Noval Efendi M, 2016). Komunikasi *long haul* merupakan salah satu contoh aplikasi *multiplexing* yang umum digunakan, dengan media utama pada jaringan *long haul* berupa gelombang mikro, koaksial atau serat optik yang berkapasitas tinggi. Jalur ini dapat memuat transmisi data dalam jumlah besar secara simultan dengan menggunakan teknik *multiplexing*.

Pada gambar 2.8 merupakan prinsip dasar *multiplexing*, pada *multiplexer* terdapat *input* n yang akan ditransmisikan melalui media transmisi ke *demultiplexer*. *Multiplexer* menghubungkan (melakukan *multiplexing*) data dari jalur *input* n dan mentransmisikan melalui jalur kapasitas tinggi. *Demultiplexer* menerima aliran data yang termultiplexkan,

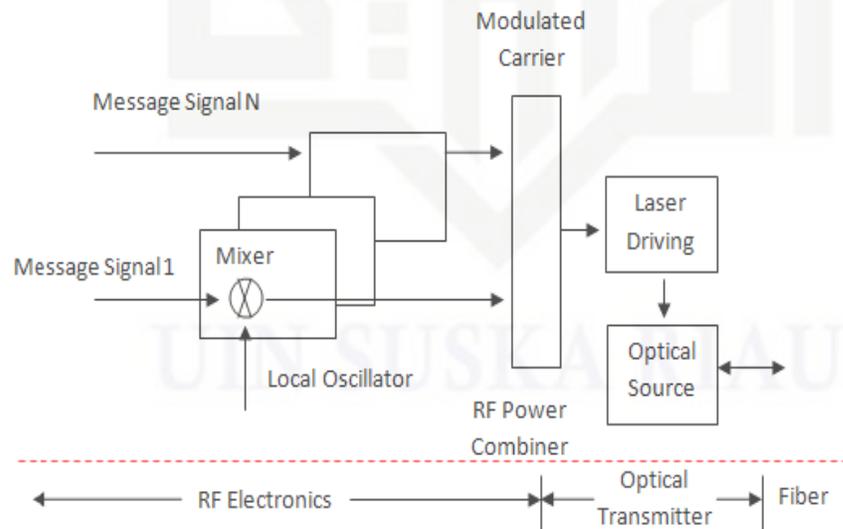
kemudian memisahkan (melakukan *demultiplexing*) data berdasarkan kanal, lalu mengirimkannya ke saluran *output* yang tepat. (Dony Airus, 2008).



Gambar 2.8. Prinsip Dasar *Multiplexing*  
 (Sumber: William Stallings, 2007; Sri Mayanti, 2015)

#### 2.4.1 Sub Carrier Multiplexing (SCM)

*Sub Carrier Multiplexing* (SCM) merupakan suatu sistem konfigurasi penjamakkan dalam komunikasi serat optik yang mentransmisikan sinyal cahaya dengan menggunakan berbagai jenis frekuensi yang berbeda-beda dan jumlah kanal yang banyak dalam satu serat optik. Dengan kata lain, sistem ini membantu memberikan efisiensi dalam kapasitas *bandwidth* dan daya transmisi.



Gambar 2.9. Skema Diagram pada *Sub Carrier Multiplexing* (SCM)  
 (Sumber: Ajay Kumar, 2012; Rani Alfafa B, 2016)



Sinyal informasi yang dikirim terdiri dari beberapa kanal. kemudian dikonversi ke dalam sinyal RF dan kemudian dimodulasi oleh modulasi *carrier*. Selanjutnya sumber optik akan mengubah sinyal tersebut menjadi sinyal cahaya yang kemudian akan ditransmisikan kedalam serat optik. (Sri Mayanti, 2016).

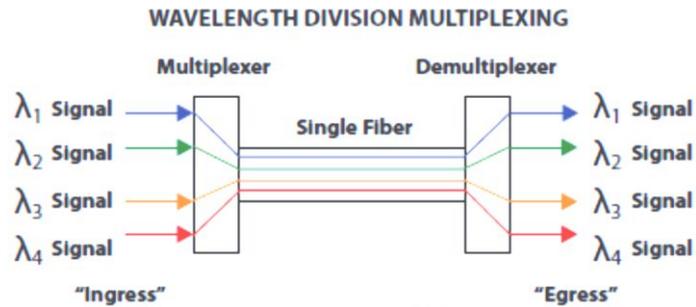
Setelah melewati serat optik, sinyal akan diterima oleh *photodetector*. Sinyal-sinyal tersebut kemudian dipisahkan kembali ke dalam kanal-kanal dengan jumlah yang sama pada *transmitter*. Sinyal tersebut kemudian akan disaring dengan menggunakan *filter*, sebelum akan dilakukan perhitungan nilai BER. (Rani Alfafa B, 2016).

#### 2.4.2 Wavelength Division Multiplexing (WDM)

Pada awalnya teknologi WDM merupakan teknologi yang menjadi cikal bakal lahirnya teknologi DWDM, teknologi ini berkembang dari keterbatasan yang ada pada serat optik, dimana pertumbuhan trafik pada sejumlah jaringan *backbone* mengalami percepatan yang tinggi sehingga kapasitas jaringan tersebut terisi dengan cepat.

*Wavelength Division Multiplexing* (WDM) merupakan teknik *multiplexing* yang digunakan dalam komunikasi serat optik untuk menggabungkan beberapa panjang gelombang yang berbeda sehingga dapat dikirimkan secara bersamaan melalui satu serat optik tunggal. WDM mempunyai *spectrum* optik lebih baik karena jarak antara *channel spacing* nya lebih kecil, sehingga kapasitas pengiriman data menjadi lebih besar dan dapat mencapai 10 Gbps. (Finisar, 2008; Rani Alfafa B, 2016).

Teknologi WDM pada dasarnya adalah teknologi *transport*, untuk menyalurkan berbagai jenis trafik (data, suara, dan *video*) secara transparan, dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda dalam suatu *fiber* tunggal secara bersamaan. Teknologi WDM banyak digunakan pada jaringan *bandwidth* yang lebar, sehingga dapat diterapkan pada jaringan *metropolitan area network* (MAN) dimana diterapkan untuk menunjang transmisi data kecepatan tinggi (Frezza Oktaviana H, 2015). Berikut gambar 2.10 merupakan prinsip dasar sistem WDM:



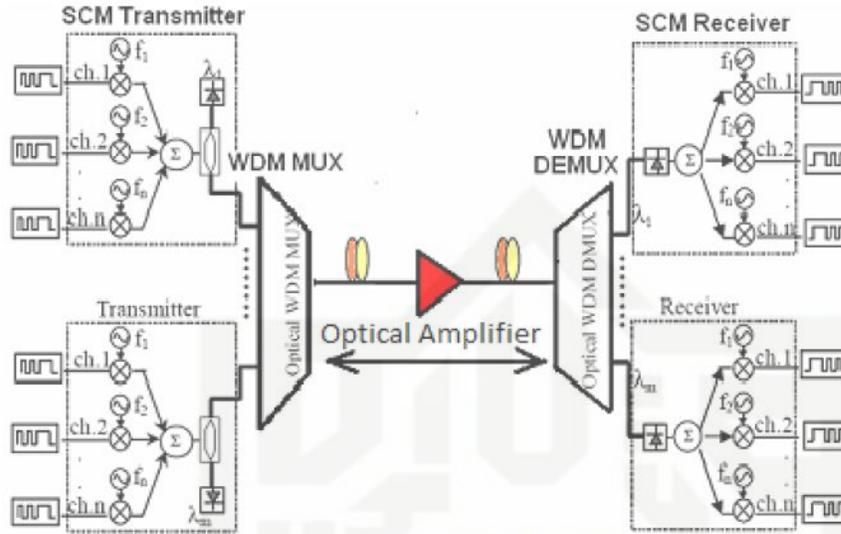
Gambar 2.10. Prinsip Dasar Sistem WDM  
 (Sumber: Finisar, 2008; Gusmawandi, 2016)

Dalam sistem WDM, ketika sinyal cahaya yang membawa *data rate* dari 10 Gbps yang digabungkan dengan 4 sinyal cahaya ke dalam satu serat optik yang sama, maka total *data rate* akan menjadi empat kali lipat yaitu 40 Gbps. (Sri, 2015; Gusmawandi, 2016).

### 2.4.3 Sub Carrier Multiplexing/Wavelength Division Multiplexing

Untuk meningkatkan kinerja dalam sistem transmisi, sistem SCM digabungkan dengan sistem WDM sehingga menghasilkan suatu sistem baru yang disebut dengan SCM/WDM. Tanpa adanya sistem SCM/WDM, transmisi sinyal optik tidak memberikan hasil yang maksimal, karena hanya dapat menggunakan kanal dan frekuensi tersendiri serta hanya mengandalkan satu jenis panjang gelombang saja. (Muchrizam, 2012).

Konfigurasi dasar dari desain sistem SCM/WDM diilustrasikan pada gambar 2.11 berikut



Gambar 2.11. Konfigurasi SCM/WDM

(Sumber: Arief Marwanto, 2008; Muchrizam, 2012)

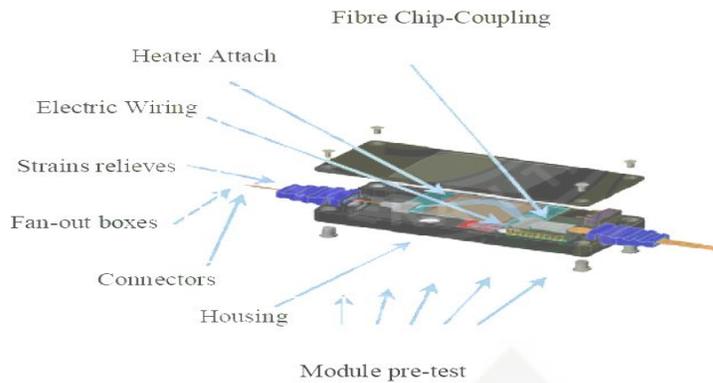
Konfigurasi SCM/WDM di atas menampilkan gabungan dari sistem SCM dengan sistem WDM. Secara umum, *channel n* menunjukkan jumlah kanal yang akan digunakan dalam sistem SCM/WDM ini. Dalam konfigurasi di atas, digunakan penguat optik dalam proses transmisi serat optik. (Muchrizam, 2012).

### 2.5 Arrayed Waveguide Gratings (AWG)

Pengenalan tentang teknologi AWG sudah menjadi revolusi dari sistem telekomunikasi. AWG membuat blok-blok untuk penanganan sistem yang rumit seperti ; *optical attenuator* (VOA), *thermo-optic switch*, *DWDM channel monitor*, *dynamic gain equalizer*, dan lain-lain. (Afif saifuddin, 2013). Beberapa kelebihan AWG dalam integrasinya dalam jaringan optik, antara lain memiliki kerugian transmisi yang sangat kecil, spasi kanal yang lebih akurat, jumlah kanal yang besar dan stabilitas sistem yang cukup tinggi. (Frezza Oktaviana H, 2015). Modul AWG di tunjukan seperti gambar 2.12.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

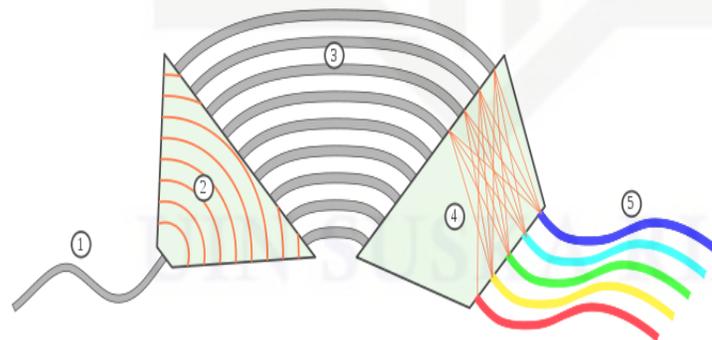
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah,
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



Gambar 2.12. Modul *Arrayed Waveguide Gratings* (AWG)  
(Sumber: Rifqi Firdaus, 2009; Noval Efendi M, 2016)

Sistem DWDM mampu untuk melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* yang terangkum dalam sistem AWG. *Multiplexer* AWG dikenal dengan nama *Wavelength Division Multiplexer* (WDM) dan *demultiplexer* AWG dikenal dengan sebutan *Wavelength Division Demultiplexer* (WDDM). Sinyal optik dibangkitkan oleh diode laser (LDS) menjadi panjang gelombang monokromatik dengan panjang gelombang  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ , (tanpa sebuah standar rentang panjang gelombang) dan keluar sebanyak N serat ke dalam sebuah WDM.

Prinsip kerja dari *Arrayed Waveguide Gratings* (AWG) yaitu dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* pada beberapa panjang gelombang menjadi serat optik tunggal, sehingga dapat meningkatkan kapasitas transmisi jaringan optik untuk jarak jauh.



Gambar 2.13. Prinsip Kerja AWG  
(Sumber: Afif Saifuddin, 2013)



Pada gambar 2.13 di atas dapat dilihat bahwa gambar arah sebelah kiri (1) ke arah kanan (5) adalah *Demultiplexer* yang mana rangkaian-rangkaian yang digunakan untuk memperbanyak jumlah *output* (keluaran). Sedangkan gambar dari arah kanan (5) ke arah kiri (1) adalah gambar *Multiplexer* yang mana suatu rangkaian digunakan untuk memperkecil jumlah *output* (keluaran), dengan *multiplexer* beberapa *input* (masukan) dapat diperkecil *output*nya menjadi satu keluaran.

Cahaya propagasi pada masukan *waveguide* di difrasikan pada *slab* pertama dan digabungkan dalam *arrayed waveguide*. *Array waveguide* dirancang untuk panjang gelombang yang berbeda-beda antara *array waveguide* yang berdekatan, sehingga perubahan fasa akan terjadi di cabang *arrayed*. Selisih antara panjang *array waveguide* seharusnya konstan pada *array* yang bersesuaian. Jika masukan panjang gelombang diatur dari pusat panjang gelombang, maka fasa akan berubah dalam cabang *array*. Karena panjang gelombang berbeda pada *waveguide* yang berdekatan, fasa berubah meningkat secara linier dari masukan ke keluaran *array waveguide* yang menyebabkan sorotan cahaya berlawanan dengan titik fokusnya pada *slab* kedua dari *slab* pertama. (Rani Alfafa B, 2016).

## 2.6 Fiber Bragg Gratings (FBG)

*Fiber Bragg Gratings* (FBG) merupakan suatu jenis reflektor (*bragg*) yang terdistribusi dalam bentuk segmen-segmen dalam serat optik. FBG memantulkan beberapa panjang gelombang cahaya tertentu dan sisanya akan diteruskan, dimana hal ini dapat terjadi karena adanya penambahan suatu variasi periodik terhadap indeks bias inti serat optik. Salah satu jenis FBG paling banyak digunakan adalah *uniform* FBG. *Uniform* FBG dapat berfungsi sebagai *reflection filter*, *narrow-band transmission*, *broadband mirror*, dan *bandpass filter* bergantung pada panjang kisi dan modulasi indeks bias pada FBG tersebut. (Noval Efendi M, 2016).

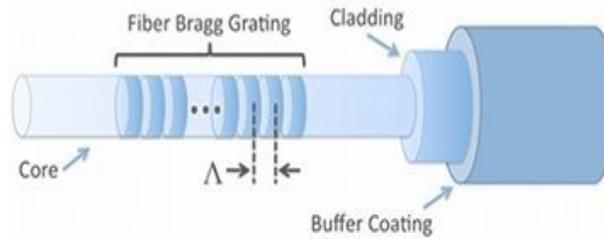
Setiap *uniform* FBG dapat ditentukan panjang gelombang *bragg* yang berbeda-beda, sehingga dapat digunakan untuk *multiplexing* WDM baik diletakkan pada sisi laser maupun pada sisi *demultiplexer*. Pemberian tekanan pada FBG akan menghasilkan pergeseran panjang gelombang *bragg* sehingga akan mempengaruhi panjang gelombang yang akan ditransmisikan. (Edita Rosana W, 2013; Gusmawandi, 2016).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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



Gambar 2.14. Peletakan *Fiber Bragg Grating* pada Serat Optik  
(Sumber: Edita Rosana W, 2013)

## 2.7 Phase Shift Keying (PSK)

*Phase Shift Keying* (PSK) merupakan salah satu teknik modulasi digital dimana pengiriman sinyal melalui pergeseran fasa. Dalam proses modulasi ini, fasa dari frekuensi gelombang pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan bit informasi digital. Untuk pentransmisi data dengan kecepatan tinggi, teknik modulasi PSK lebih efisien dibandingkan dengan teknik modulasi digital lainnya (*Amplitude Shift Keying* dan *Frequency Shift Keying*). (Quang Dai H, 2015). Modulasi PSK memiliki beberapa jenis yaitu modulasi BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK dan 64-PSK.

### 2.7.1 Binary Phase Shift Keying (BPSK)

*Binary Phase Shift Keying* atau BPSK adalah salah satu teknik modulasi sinyal dengan konversi sinyal digital “0” atau “1” menjadi suatu simbol berupa sinyal kontinu yang mempunyai dua fase yang berbeda. Untuk bit “1” mempunyai pergeseran fase  $0^\circ$  dan untuk bit “0” mempunyai pergeseran fase  $180^\circ$ . *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) adalah format yang paling sederhana dari PSK. Menggunakan dua tahap yang dipisahkan sebesar  $180^\circ$  dan sering juga disebut 2-PSK. (Wandres, 2012).

Modulasi ini paling sempurna dari semua bentuk modulasi PSK. Akan tetapi bentuk modulasi ini hanya mampu memodulasi 1 bit/symbol dan dengan demikian maka modulasi ini tidak cocok untuk aplikasi *data-rate* yang tinggi dimana *bandwidth*-nya dibatasi. Teknik modulasi ini lebih sering digunakan pada transmisi digital dibandingkan jenis modulasi lainnya karena kelebihan sebagai berikut: (Wandres, 2012):

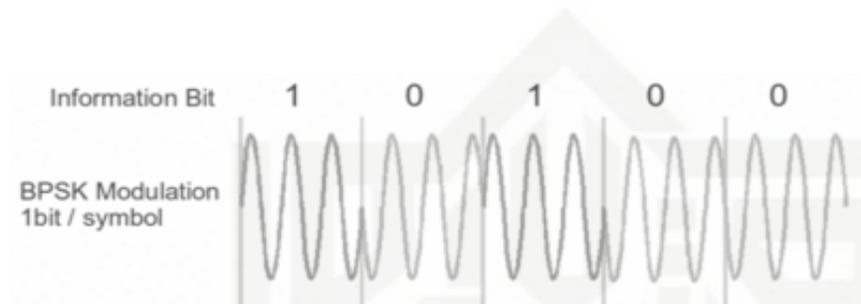


1. Performansi Interferensi lebih baik  
 2. Jumlah level yang dikodekan lebih banyak  
 3. Sangat kuat terhadap *noise*, sering digunakan secara ekstensif pada komunikasi digital.

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

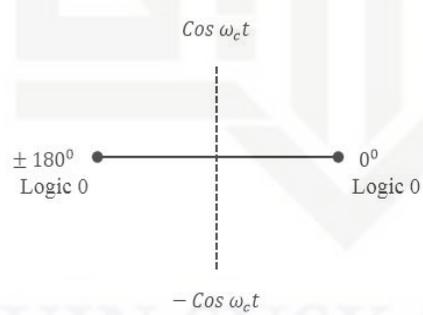
1. Performansi Interferensi lebih baik
2. Jumlah level yang dikodekan lebih banyak
3. Sangat kuat terhadap *noise*, sering digunakan secara ekstensif pada komunikasi digital.

Gambar 2.15 menampilkan bit-bit informasi yang dimodulasi dengan menggunakan modulasi BPSK.



Gambar 2.15. Modulasi BPSK  
 (Sumber: Quang Dai H, 2015)

Terdapat dua titik pada diagram konstelasi modulasi BPSK, dimana satu titik mewakili satu bit data yaitu “0” dan “1”. Bit “0” mempunyai sudut fasa  $180^{\circ}$ , sedangkan bit “1” mempunyai sudut fasa  $0^{\circ}$ . Gambar berikut merupakan diagram konstelasi yang menampilkan perubahan fasa yang terjadi pada sistem modulasi BPSK



Gambar 2.16. Diagram Konstelasi BPSK  
 (Sumber: Quang Dai H, 2015)



Diagram konstelasi pada modulasi BPSK terdapat dua titik dimana untuk satu titik mewakili satu bit data yaitu (0) dan (1). Untuk bit (0) mempunyai sudut  $180^0$  sedangkan bit (1) mempunyai sudut  $0^0$ . Tabel di bawah ini merupakan tabel kebenaran modulasi BPSK.

Tabel 2.1. Kebenaran Modulasi BPSK

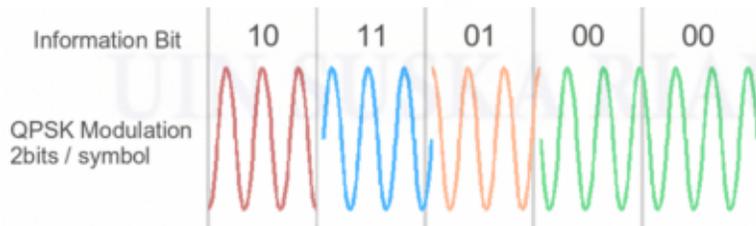
<i>Input Biner</i>	<i>Output Fasa</i>
Logika 0	$180^0$
Logika 1	$0^0$

Sumber : Wandres (2012)

### 2.7.2 M-ary Phase Shift Keying (M-PSK)

M-ary adalah suatu bentuk turunan dari kata “binary”. M berarti digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin. “M” bisa bernilai 4, 8, 16, 32, 64, dst. Berikut merupakan pembagian dari Modulasi M-ary PSK:

1. Teknik modulasi QPSK atau *quadrature*-PSK merupakan teknik pengkodean M-ary dimana  $M=4$  (karenanya dinamakan “*quaternary*” yang berarti “4”). Dalam proses modulasi QPSK ada empat fasa keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda. Untuk menghasilkan empat kondisi masukan yang berbeda harus dipakai bit masukan lebih dari satu bit tunggal, sehingga modulasi QPSK menggunakan 2 bit/symbol untuk menghasilkan empat kondisi, yaitu 00, 01, 10 dan 11. Gambar 2.17 berikut menampilkan bit-bit informasi yang dimodulasi dengan menggunakan modulasi QPSK.

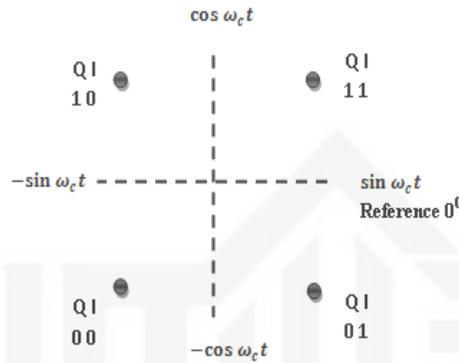


Gambar 2.17. Modulasi QPSK

(Sumber: Quang Dai H, 2015)



Terdapat 4 titik pada diagram konstelasi pada modulasi QPSK, dimana satu titik mewakili 2 bit data yaitu “00”, “01”, “10”, dan “11”. Bit “00” mempunyai sudut fasa  $-135^{\circ}$ , bit “01” mempunyai sudut fasa  $-45^{\circ}$ . Bit “10” mempunyai fasa  $+135^{\circ}$ , sedangkan bit “11” mempunyai fasa  $+45^{\circ}$ .



Gambar 2.18. Diagram konstelasi QPSK

(Sumber: Quang Dai H, 2015)

Tabel di bawah ini merupakan tabel kebenaran modulasi QPSK.

Tabel 2.2. Kebenaran Modulasi QPSK

<i>Input Biner</i>	<i>Output Fasa</i>
00	$0^{\circ}$
01	$90^{\circ}$
10	$180^{\circ}$
11	$270^{\circ}$

Sumber : Wandres (2012)

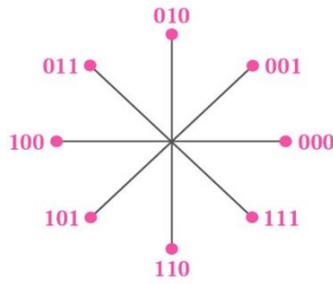
2. *8 Phase Shift Keying (8-PSK)* merupakan modulasi PSK yang dapat dikelompokkan ke dalam wilayah yang lebih kecil sehingga mempunyai fasa  $45^{\circ}$ . 8-PSK dapat mendekode 3 bit/symbol sehingga menghasilkan 8 fasa yang diwakilkan dengan menggunakan 3 bit.

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



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2.19. Diagram konstelasi 8-PSK  
(Sumber: Quang Dai H, 2015)

Diagram konstelasi pada modulasi 8-PSK terdapat 8 titik dimana untuk satu titik mewakili tiga bit data yaitu 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 dan 111. Di bawah ini merupakan tabel kebenaran modulasi 8-PSK.

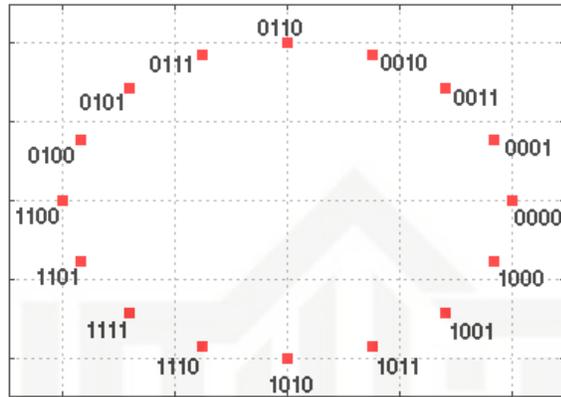
Tabel 2.3. Kebenaran Modulasi 8-PSK

<i>Input Biner</i>	<i>Output Fasa</i>
000	$0^0$
001	$45^0$
010	$90^0$
011	$135^0$
100	$180^0$
101	$225^0$
110	$270^0$
111	$315^0$

Sumber : Wandres (2012)

3. 16 *Phase Shift Keying* (16-PSK) mempunyai fasa  $22,5^0$ . 16-PSK dapat mendekode 4 bit/symbol sehingga menghasilkan 16 fasa yang diwakilkan dengan menggunakan 4 bit. Dengan 16-PSK, sinyal kecepatan data menjadi 4 kali lebih besar daripada data BPSK untuk simbol yang sama. Pada diagram konstelasi 16-PSK terdapat 4 bit/symbol yang

berbeda sehingga memiliki 16 fase yang berbeda pula untuk menentukan setiap bit/symbol data yang dikirimkan. Oleh karena itu jarak antar fase modulasi 16-PSK adalah  $360^\circ/16$  sehingga jarak antara fase sebesar  $22,50^\circ$ .



Gambar 2.20. Diagram Konstelasi 16-PSK  
(Sumber: Quang Dai H, 2015)

Diagram konstelasi pada modulasi 16-PSK terdapat 16 titik dimana untuk satu titik mewakili 4 bit data yaitu 0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110 dan 1111. Di bawah ini merupakan tabel kebenaran modulasi 16-PSK.

Tabel 2.4 Kebenaran Modulasi 16-PSK

<i>Input Biner</i>	<i>Output Fasa</i>
0000	$0^0$
0001	$22,5^0$
0010	$45^0$
0011	$67,5^0$
0100	$90^0$
0101	$112,5^0$
0110	$135^0$
0111	$157,5^0$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

1000	$180^0$
1001	$202,5^0$
1010	$225^0$
1011	$247,5^0$
1100	$270^0$
1101	$292,5^0$
1110	$315^0$
1111	$337,5^0$

Sumber : Wandres (2012)

4. 32 Phase Shift Keying (32-PSK) mempunyai fasa  $11,25^0$ . 32-PSK dapat mendekode 5 bit/symbol sehingga menghasilkan 32 fasa yang diwakilkan dengan menggunakan 5 bit. Dibawah ini merupakan diagram konstelasi 32-PSK.



Gambar 2.21. Diagram Konstelasi 32-PSK

(Sumber: Quang Dai H, 2015)

Diagram konstelasi pada modulasi 32-PSK terdapat 32 titik dimana untuk satu titik mewakili 5 bit data yaitu 00000, 00001, 00010, 00011, 00100, 00101, 00110, 00111, 01000, 01001, 01010, 01011, 01100, 01101, 01110, 01111, 10000, 10001, 10010, 10011, 10100, 10101, 10110, 10111, 11000, 11001, 11010, 11011, 11100, 11101, 11110 dan 11111. Di bawah ini merupakan tabel kebenaran modulasi 32-PSK.



Tabel 2.5. Kebenaran Modulasi 32-PSK

<i>Input Biner</i>	<i>Output Fasa</i>
00000	0 <sup>0</sup>
00001	11,25
00010	22,5 <sup>0</sup>
00011	33,75 <sup>0</sup>
00100	45 <sup>0</sup>
00101	56,25 <sup>0</sup>
00110	67,5 <sup>0</sup>
00111	78,75 <sup>0</sup>
01000	90 <sup>0</sup>
01001	101,25 <sup>0</sup>
01010	112,5 <sup>0</sup>
01011	123,75 <sup>0</sup>
01100	135 <sup>0</sup>
001101	146,25 <sup>0</sup>
01110	157,5 <sup>0</sup>
01111	168,75 <sup>0</sup>
10000	180 <sup>0</sup>
10001	191,25 <sup>0</sup>
10010	202,5 <sup>0</sup>
10011	213,75 <sup>0</sup>
10100	225 <sup>0</sup>
10101	236,25 <sup>0</sup>
10110	247,5 <sup>0</sup>
10111	258,75 <sup>0</sup>
11000	270 <sup>0</sup>

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

11001	281,25 <sup>0</sup>
11010	292,5 <sup>0</sup>
11011	303,75 <sup>0</sup>
11100	315 <sup>0</sup>
11101	326,25 <sup>0</sup>
11110	337,5 <sup>0</sup>
11111	348,75 <sup>0</sup>

Sumber : Wandres (2012)

5. 64 *Phase Shift Keying* (64-PSK) mempunyai fasa 5,625<sup>0</sup>. 64-PSK dapat mendekode 6 bit/symbol sehingga menghasilkan 64 fasa yang diwakilkan dengan menggunakan 6 bit.



Gambar 2.22. Diagram Konstelasi 64-PSK

(Sumber: Quang Dai H, 2015)

Diagram konstelasi pada modulasi 64-PSK terdapat 64 titik dimana untuk satu titik mewakili 6 bit data yaitu 000000, 000001, 000010, 000011, 000100, 000101, 000110, 000111, 001000, 001001, 001010, 001011, 001100, 001101, 001110, 001111, 010000, 010001, 010010, 010011, 010100, 010101, 010110, 010111, 011000, 011001, 011010, 011011, 011100, 011101, 011110, 011111, 100000, 100001, 100010, 100011, 100100, 100101, 100110, 100111, 101000, 101001, 101010, 101011, 101100, 101101, 101110, 101111, 110000, 110001, 110010,



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

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

110011, 110100, 110101, 110110, 110111, 111000, 111001, 111010, 111011, 111100, 111101, 111110 dan 111111. Di bawah ini merupakan tabel kebenaran modulasi 64-PSK.

Tabel 2.6. Kebenaran Modulasi 64-PSK

<i>Input Biner</i>	<i>Output Fasa</i>
000000	$0^0$
000001	$5,625^0$
000010	$11,25^0$
000011	$16,875^0$
000100	$22,5^0$
000101	$28,125^0$
000110	$33,75^0$
000111	$39,375^0$
001000	$45^0$
001001	$50,625^0$
001010	$56,25^0$
001011	$61,875^0$
001100	$67,5^0$
001101	$73,125^0$
001110	$78,75^0$
001111	$84,375^0$
010000	$90^0$
010001	$95,625^0$
010010	$101,25^0$
010011	$106,875^0$
010100	$112,5^0$
010101	$118,125^0$



010110	123,75 <sup>0</sup>
010111	129,375 <sup>0</sup>
011000	135 <sup>0</sup>
011001	140,625 <sup>0</sup>
011010	146,25 <sup>0</sup>
011011	151,875 <sup>0</sup>
011100	157,5 <sup>0</sup>
011101	163,125 <sup>0</sup>
011110	168,75 <sup>0</sup>
011111,	174,375 <sup>0</sup>
100000	180 <sup>0</sup>
100001	185,625 <sup>0</sup>
100010	191,25 <sup>0</sup>
100011	196,875 <sup>0</sup>
100100	202,5 <sup>0</sup>
100101	208,125 <sup>0</sup>
100110	213,75 <sup>0</sup>
100111	219,375 <sup>0</sup>
101000	225 <sup>0</sup>
101001	230,625 <sup>0</sup>
101010	236,25 <sup>0</sup>
101011	241,875 <sup>0</sup>
101100	247,5 <sup>0</sup>
101101	253,123 <sup>0</sup>
101110	258,75 <sup>0</sup>
101111	264,375 <sup>0</sup>
110000	270 <sup>0</sup>
110001	275,625 <sup>0</sup>

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

110010	281,25 <sup>0</sup>
110011	286,875 <sup>0</sup>
110100	292,5 <sup>0</sup>
110101	298,125 <sup>0</sup>
110110	303,75 <sup>0</sup>
110111	309,375 <sup>0</sup>
111000	315 <sup>0</sup>
111001	320,625 <sup>0</sup>
111010	326,25 <sup>0</sup>
111011	331,875 <sup>0</sup>
111100	337,5 <sup>0</sup>
111101	343,125 <sup>0</sup>
111110	348,75 <sup>0</sup>
111111	354,375 <sup>0</sup>

Sumber : Wandres (2012)

## 2.8 Bit Error Rate (BER)

Parameter performansi yang paling umum untuk jaringan digital adalah *Bit Error Rate* (BER). *Bit error rate* merupakan sejumlah bit digital bernilai tinggi pada jaringan transmisi yang ditafsirkan sebagai keadaan rendah atau sebaliknya, kemudian dibagi dengan sejumlah *bit* yang diterima atau dikirim atau diproses selama beberapa periode yang telah ditetapkan. Biasa didefinisikan sebagai perbandingan jumlah kesalahan *bit* ( $N_E$ ), dengan jumlah *bit* total ( $N_T$ ) yang dikirim selama selang waktu tertentu. Dapat ditulis dalam persamaan matematis sebagai berikut: (Rozi Alfansyah, 2014). :

$$\text{BER} = \frac{N_E}{N_T} \quad (2.1)$$