

BAB II

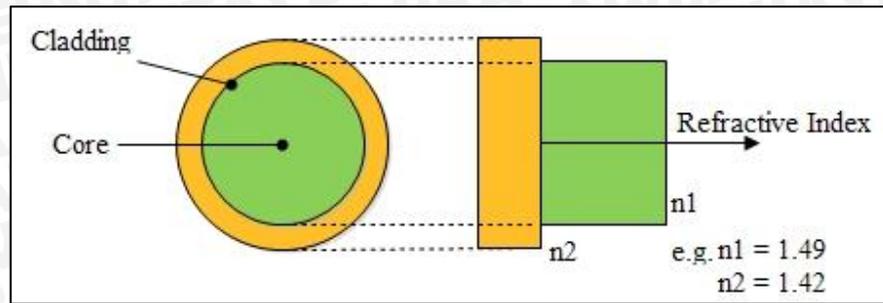
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Plastic optical fiber (POF)*

Serat optik merupakan saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dari sehelai rambut. Serat optik dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah *Laser Diode* (LD) atau *Light Emitting Diode* (LED). Serat optik menggunakan prinsip pemantulan sempurna dengan membuat kedua indeks bias dari inti (*core*) atau selubung (*cladding*) berbeda, sehingga cahaya membawa informasi dapat memantul dan merambat di dalamnya. Selubung (*cladding*) mempunyai indeks bias lebih rendah dari pada *core*, dan akan memantulkan kembali cahaya yang mengarah keluar dari *core* kembali ke dalam *core*. *Cladding* juga berfungsi memantulkan cahaya agar gelombang tetap menjalar sepanjang inti. *Core* berfungsi untuk menentukan cahaya yang merambat dari ujung ke ujung lainnya.

Plastic optical fiber (POF) atau serat optik plastik merupakan salah satu media transmisi komunikasi optik yang terbuat dari plastik polimer, dimana lapisan inti (*core*) terbuat dari bahan *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) dengan indeks bias sekitar 1,49. Selubung (*cladding*) umumnya menggunakan bahan *copolymer* dari *methacrylate*, *fluoro-alkyl*, dan *tetrafluoroethylene* dengan indeks bias 1,4-1,42. POF memiliki diameter sebesar 110-1400 μm . Saat ini penggunaan POF telah meluas diberbagai bidang telekomunikasi, instrumentasi medis, dan transmisi data. POF yang terbuat dari bahan PMMA umumnya bekerja pada gelombang tampak (merah, hijau, atau biru). POF dapat bekerja pada suhu lingkungan yang cukup tinggi, yaitu $70^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$ (Abrete, 2013).

Jenis sumber cahaya yang potensial untuk digunakan pada *plastic optical fiber* adalah LED maupun diode laser merah (650-670 nm) yang lebih ekonomis daripada LED atau diode laser inframerah (800-1500 nm). *Plastic optical fiber* dapat digunakan sebagai saluran transmisi sepanjang puluhan meter dengan menggunakan LED dan sepanjang ratusan meter dengan menggunakan diode laser.



Gambar 2.1 Struktur Serat Optik
(Sumber: Senior, 2009)

POF memiliki beberapa kelebihan dari pada media transmisi lain, yakni mempunyai bandwidth yang lebar, ukuran kecil, lebih ringan, bebas dari *Electro Magnetic Interference* (EMI), tidak berkorosi, serta memiliki *Numerical Aperture* (NA) yang besar sehingga kemampuan untuk mengumpulkan energi cahaya tinggi. Tetapi nilai redamannya lebih tinggi dibandingkan dengan GOF. Tingkat redaman yang tinggi ini membatasi pemakaiannya untuk komunikasi jarak dekat (Heru Kuswanto, 2004).

Plastic Optical Fiber (POF) digunakan sebagai pengganti *Glass Optical Fiber* (GOF) pada komunikasi jarak pendek, biasanya digunakan sebagai saluran transmisi yang berada dalam rumah atau gedung. Proses instalasi POF lebih mudah dilakukan dan harga POF lebih murah. POF juga menawarkan banyak kemudahan namun tetap memiliki performansi yang baik, karena *bandwidth* yang lebar (Joseph Bufia, 2000). Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan bandwidth, dimana POF memiliki bandwidth lebih lebar dibandingkan dengan kabel tembaga.

Tabel 2.1 Perbandingan Spesifikasi Media Transmisi Rumahan

Karakteristik	Kabel Tembaga	Koaksial	CAT5e	POF
Bandwidth	<100 MHz	<300 MHz	<350 MHz	<300 MHz
Ketebalan	0,5-1 cm	1-1,5 cm	1-1,5 cm	1-2 mm
Brown/Greenfield	Brownfield	Kebanyakan Brownfield	Kebanyakan Greenfield	Greenfield
Instalasi Konektor	Kompleks	Mudah	Kompleks	Sangat Mudah
Bend Radius	Kecil	Medium	Medium	Kecil
EMI	Ya	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Tidak

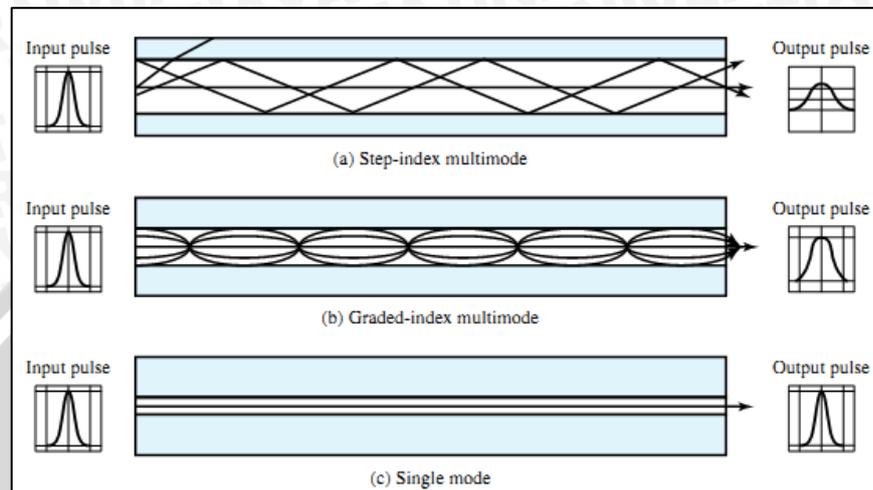
(Sumber : Genesis, 2013)

Serat optik terdiri dari beberapa jenis. Dilihat dari mode perambatannya, terdiri dari dua jenis yaitu *singlemode fiber* dan *multimode fiber*.

1. *Single Mode Fiber*

Serat *singlemode* merupakan jenis khusus serat *step-index* yang memiliki ukuran inti (*core*) antara 8-10 mikron dan perbedaan indeks bias reaktif antara inti dengan selubung kecil sehingga hanya sebuah energi cahaya *singlemode* yang dapat merambat

sepanjang serat. Cahaya merambat hanya dalam satu *mode*, yaitu sejajar dengan sumbu serat optik. Untuk mendapatkan performansi yang baik pada kabel ini, ukuran claddingnya adalah sekitar 15 kali dari ukuran inti (sekitar 125 mikron). Jenis serat optik *singlemode* biasanya digunakan untuk transmisi jarak jauh dengan kecepatan tinggi dan memiliki *loss* yang lebih kecil dari serat optik *multimode*.



Gambar 2.2 Mode Perambatan Serat Optik
(Sumber: Stallings, 2007)

2. *Multimode Fiber*

Serat optik *multimode* merupakan jenis serat yang memiliki jumlah *mode* lebih dari satu yang merambat pada panjang gelombang pengoperasian sistem. Umumnya, serat *multimode* dengan jumlah *mode* mulai dari dua *mode* sampai dengan ratusan *mode*, digunakan sebagai media transmisi jarak dekat, untuk diameter 62,5 mikron dapat mentransmisikan sejauh 275 m, sedang 50 mikron sejauh 550 m. Pada saat sebuah pulsa cahaya masuk ke serat optik *multimode*, daya pulsa didistribusikan hampir ke seluruh *mode* dimana setiap *mode* memiliki kecepatan yang berbeda, sehingga *mode* dengan kecepatan yang lebih tinggi akan sampai terlebih dahulu. Fenomena ini disebut *modal dispersion* dan akan mengakibatkan pulsa yang dikirim mengalami pelebaran. Serat optik jenis ini biasanya digunakan untuk transmisi jarak pendek dengan kecepatan rendah karena memiliki *loss* yang besar.

Berdasarkan *mode* perambatannya, serat optik *multimode* dibagi menjadi dua yaitu:

a. *Step Index Multimode*

Serat step-index memiliki karakteristik indeks bias inti yang tetap dan juga memiliki indeks bias yang konstan. Pada serat step-index ini, terjadi permasalahan dalam perambatan pulsa optik dimana sinyal yang merambat akan mengalami pemantulan pada dinding-dinding *cladding*. Perambatan sinyal seperti ini akan

mengakibatkan terjadinya keterlambatan sinyal datang yang mengalami pemantulan beberapa kali dibandingkan dengan sinyal yang merambat lurus tanpa mengalami pemantulan. Karakteristik serat optik *step-index* ditunjukkan pada Tabel 2.2.

b. *Graded Index Multimode*

Inti serat graded-index memiliki indeks bias yang tidak seragam sehingga mengikuti profile tertentu. Tujuan menggunakan indeks bias seperti ini adalah untuk membuat sinyal tepi yang lintasannya lebih jauh, mengalami kecepatan yang lebih tinggi daripada sinyal yang merambat melalui tengah, sehingga pada penerimaan sinyal didapatkan sinyal yang datang bersamaan tanpa terjadi keterlambatan. Karakteristik serat optik graded-index ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2.2 Karakteristik Mode Perambatan Serat Optik

Step Index Multimode	Step Index Single Mode	Graded Index Multimode
NA besar	NA kecil	NA besar
Sambungan mudah	Sambungan lebih sulit	Sambungan mudah
Modal dispersi	Tidak ada modal disperse	Sedikit modal dipersi
Data rate rendah	Data rate tinggi	Data rate menengah
Jarak transmisi pendek	Jarak transmisi panjang	Jarak transmisi menengah

(Sumber: Massa, 2000)

2.2 Penjalaran Cahaya Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik pada proses transmisi sinyal cahaya menggunakan pemantulan sempurna (*total internal reflection*). Cahaya dapat merambat di dalam serat optik melalui proses pemantulan sempurna berkaitan dengan indeks bias bahan, sudut datang, dan sudut pantul.

Hubungan indeks bias, sudut datang, dan sudut pantul dinyatakan dalam hukum Snellius. Menurut hukum Snellius jika seberkas sinar yang masuk pada suatu ujung optik dari medium yang mempunyai indeks bias yang lebih kecil dari udara menuju *core* yang mempunyai indeks bias lebih besar maka seluruh sinar akan merambat sepanjang inti serat optik. Perbedaan pada indeks bias antara *core* dan *cladding* dapat menyebabkan terjadinya pembiasan pada batas serat-udara, berkas membelok mendekati normal (Senior, 1985). Hukum Snellius sebagai berikut :

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (2-1)$$

Keterangan :

n_1 = indeks bias bahan 1

n_2 = indeks bias bahan 2

θ_1 = sudut datang

θ_2 = sudut bias

Pada transmisi serat optik dikenal sudut penerimaan (θ_a) yaitu sudut maksimum agar seberkas cahaya dapat disalurkan sepanjang serat optik. Harga sinus sudut penerimaan disebut *Numerical Aperture* (NA) atau angka permukaan yang menunjukkan daya tangkap cahaya oleh suatu serat optik. Semakin besar angka ini makin banyak energi cahaya yang disalurkan serat optik (Miller, 1988).

Numerical Aperture (NA) adalah salah satu parameter penting pada serat optik. NA adalah ukuran kemampuan serat untuk menangkap cahaya. Dengan menggunakan hukum Snellius NA dari serat adalah:

$$NA = \sin\theta_{maks} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (2-2)$$

Keterangan :

θ_{maks} = sudut penerimaan

n_1 = indeks bias inti

n_2 = indeks bias selubung

Karena medium dimana tempat cahaya memasuki serat umumnya adalah udara maka $n_0 = 1$ sehingga $NA = \sin \theta_a$. NA digunakan untuk mengukur sudut penerimaan maksimum dimana berkas cahaya masih bisa diterima dan merambat didalam inti serat.. Nilai NA biasanya sekitar 0,20 sampai 0,29 untuk serat gelas, serat plastik memiliki NA yang lebih tinggi dapat melebihi 0,5.

Jika nilai NA besar maka semakin besar pula jumlah cahaya yang diterima oleh serat, sehingga menyebabkan lebar pita berkurang dan rugi penyebaran serta penyerapan akan bertambah. Oleh karena itu, nilai NA yang besar hanya baik untuk aplikasi jarak pendek dengan kecepatan rendah. Jika perbedaan indeks bias *core* dan *cladding* dibuat drastis disebut serat optik *Step Index* (SI), selisih antara indeks bias kulit dan inti disimbolkan dengan Δ sebagai berikut :

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2-3)$$

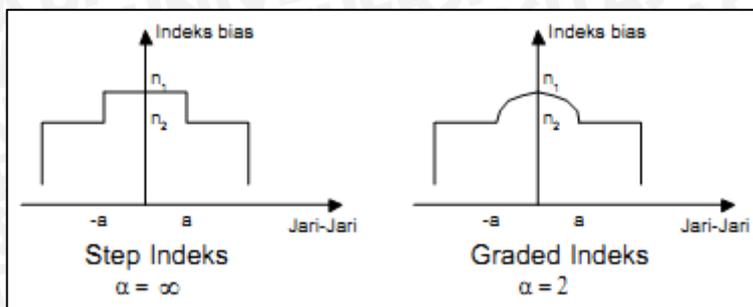
Keterangan:

n_1 = indeks bias *core*

n_2 = indeks bias *cladding*

Δ = beda indeks bias relatif

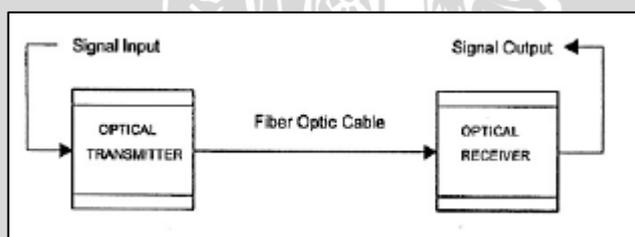
Sedangkan jika perbedaan indeks bias inti dan kulit dibuat secara perlahan-lahan disebut *Graded Index* (GI), bagaimana turunnya indeks bias dari inti ke kulit ditentukan oleh indeks profile, α .



Gambar 2.3 Indeks Bias Serat Optik *Step Index* dan *Graded Index*
(Sumber: Palais, 1998)

2.3 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi secara umum terdiri dari pemancar (*transmitter*) sebagai sumber pengirim informasi, detector penerima informasi (*receiver*), dan media transmisi sebagai sarana untuk melewatkannya. Pada sistem komunikasi serat optik, sinyal informasi dari transmitter diubah dari sinyal listrik lalu diubah menjadi sinyal cahaya. Sinyal cahaya diterima oleh receiver akan diubah menjadi sinyal listrik kemudian diterjemahkan kembali ke sinyal informasi. Secara garis besar sistem komunikasi serat optik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu sumber cahaya, kabel serat optik, dan detektor cahaya (Catur, 2002).



Gambar 2.4. Sistem Komunikasi Serat Optik
(Sumber: Catur, 2002)

Sumber cahaya berfungsi sebagai pemancar sinyal optik yang mengandung data. Ada beberapa karakteristik yang harus dimiliki oleh sumber cahaya, yaitu sifat keluaran cahayanya harus sedekat mungkin dengan sifat monokromatis (memiliki frekuensi cahaya yang hampir tunggal), berintensitas tinggi agar memiliki energi yang cukup untuk mengatasi rugi-rugi yang ada selama transmisi, dan mampu dimodulasi dengan mudah oleh isyarat transmisi. Sumber cahaya serat optik yang biasa digunakan adalah Light Emitting Diode (LED) dan Laser Diode (LD). LED memiliki spectrum yang lebih

besar disbanding dengan LD sehingga LED tidak dapat membangkitkan cahaya monokromatik, sehingga efisien LD lebih baik disbanding dengan LED. Namun LED memiliki harga yang lebih murah dibanding LD. Perbandingan beberapa karakteristik LED dan LD sebagai sumber optik terdapat dalam Tabel 2.3

Tabel 2.3 Perbandingan Karakteristik LED dan LD

No	Karakteristik	LED	LD
1	Waktu Jangkit (ns)	2-10	0,3-1,0
2	Daya Keluaran (mW)	0,5-4,0	1,5-8,0
3	Lebar Spektrum (nm)	30-150	1-10
4	Rugi Kopling	Lebih besar	Lebih kecil
5	Kepekaan Suhu	Lebih tahan	Peka perubahan

(Sumber: Syaiki, 2008)

Detektor cahaya (*photodetector*) merupakan perangkat yang berfungsi untuk menerima sinyal optik yang dikirim oleh serat optik dan mengubahnya menjadi sinyal elektrik berupa arus listrik yang berisi informasi. Detektor cahaya harus memiliki sensitivitas yang tinggi dan memiliki respon yang cepat terhadap data yang diterima. Ada dua jenis detektor optik yang umum digunakan, yaitu *Positive Intrinsic Negatif* (PIN) dan *Avalanched Photo Diode* (APD). Perbandingan beberapa karakteristik PIN dan APD sebagai detektor optik ditunjukkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Perbandingan Parameter dan Karakteristik PIN dan APD

No	Karakteristik	PIN	APD
1	Daya Optik Minimum	Lebih Besar	Lebih Kecil
2	Responsivitas	0,35-0,8	2,5-120
3	Penguatan	1	10-250
4	Derau Detektor	Lebih Kecil	Lebih Besar
5	Waktu Jangkit	0,6	0,1-0,3

(Sumber: Syaiki, 2008)

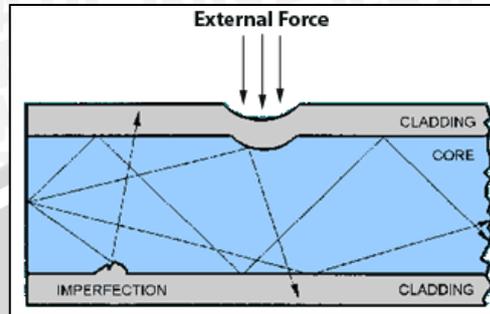
2.4 *Macrobending*

Bengkokan (*bending*) adalah pembengkokan serat optik yang menyebabkan cahaya yang merambat pada serat optik berbelok dari arah transmisi dan hilang. Jika serat optik mendapat tekanan cukup besar dapat menyebabkan ukuran diameter serat optik menjadi berbeda dari diameter semula, sehingga mempengaruhi sifat transmisi cahaya didalamnya.

Rugi-rugi yang diakibatkan oleh pembengkokan serat optik dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Pembengkokan Mikro (*Microbending*)

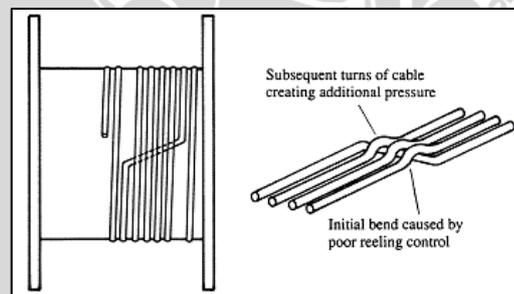
Microbending terjadi jika jari-jari bengkokan lebih kecil dari jari-jari serat optik karena ketidakrataan pada permukaan batas antara inti dan selubung secara acak atau *random* pada serat optik, karena proses pembuatan ataupun ketika proses penarikan saat instalasi (Andre *et al*, 2006).



Gambar 2.5 Peristiwa Rugi-Rugi Akibat *Microbending*
(Sumber: www.timbercon.com)

2. Pembengkokan Macro (*Macrobending*)

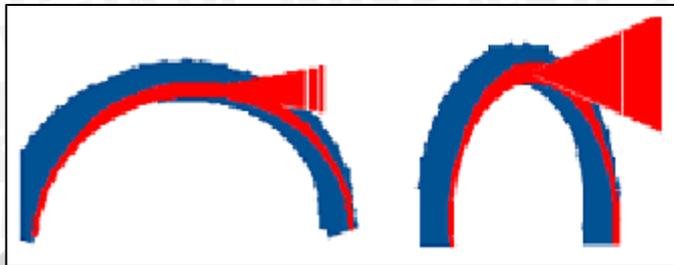
Macrobending terjadi ketika serat optik dibengkokkan dengan jari-jari lebih lebar dibandingkan dengan jari-jari serat optik (Pramono *et al*, 2012). Beberapa bengkokan tidak bisa dihindari seperti pada saat pengiriman dan penyimpanan, pembuatan, dan instalasi, serta terminasi sehingga menyebabkan terjadinya *macrobending*. *Macrobending* yang terjadi karena kesalahan instalasi yang diilustrasikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Macrobending* Akibat Kesalahan Instalasi
(Sumber: Elliot *et al*, 2002)

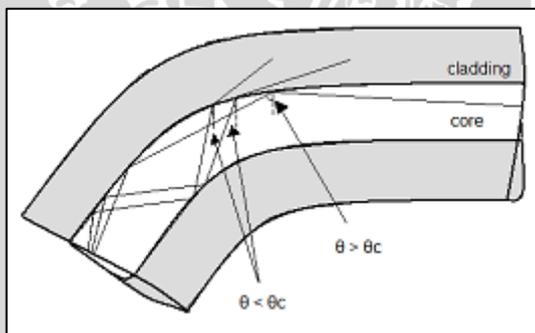
Penyelidikan secara teoritis tentang pembengkokan pada serat optik dimulai pada tahun 1970-an, ketika Dietrich Marcuse menjelaskan persamaan rugi-rugi bengkokan (Marcuse, 1976). Pada tahun 1980-an, Harris dan Peters melakukan percobaan pengukuran rugi-rugi sebagai fungsi panjang gelombang dan jari-jari bengkokan (Harris *et al*, 1986). Baru-baru ini Ross Schermer dan James Cole mempresentasikan persamaan yang sama seperti Marcuse tapi dengan koreksi terhadap tekanan induksi (Schermer *et al*, 2007).

Macrobending pada serat optik merupakan redaman yang disebabkan oleh bengkokan atau lilitan serat. Cahaya dapat keluar dari kabel ketika serat dibengkokkan. Ketika bengkokkan semakin tajam maka cahaya yang keluar akan semakin banyak. Fenomena tersebut dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.7.



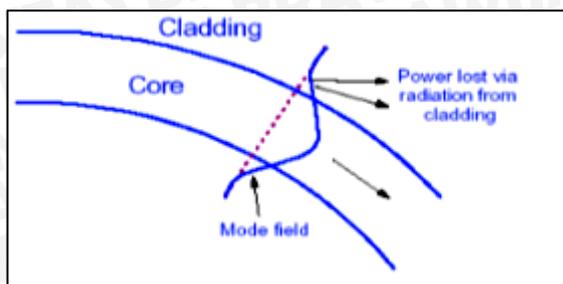
Gambar 2.7 Ilustrasi Skematik *Macrobending*
(Sumber: Jay, 2010)

Gambar 2.7 bagian kiri hanya terlihat sedikit bagian dari cahaya yang terbias keluar dari jalur gelombang ketika dibengkokkan. Sedangkan Gambar 2.7 bagian kanan mengilustrasikan lebih banyak cahaya yang terbias keluar ketika serat dibengkokkan dengan diameter lebih kecil. Dapat disimpulkan bahwa ketika serat dibengkokkan, beberapa cahaya terbias keluar dari jalur. Jika dibengkokkan semakin tajam, semakin banyak cahaya yang keluar dari serat.



Gambar 2.8 Skema *Macrobending* pada Serat Optik
(Sumber: Andre *et al*, 2006)

Gambar 2.8 terlihat cahaya keluar dari inti ke selubung ketika sudut sinar datang tidak memenuhi sudut kritis *total internal reflection*. Bengkokan pada serat optik mengakibatkan cahaya pada inti berpindah menuju batas permukaan inti-selubung dengan sudut kurang dari sudut kritis sehingga energi cahaya tidak akan dipantulkan internal, tetapi hilang di material selubung (Lemlem, 2012).



Gambar 2.9 Radiasi Daya Ke Selubung Saat Bengkokan
(Sumber: Lemlem, 2012: 16)

Pada Gambar 2.9 terlihat ketika terjadi bengkokan tajam, *mode field* terluar harus menjalar lebih cepat dari yang berada di dalam untuk mempertahankan penjalaran gelombang. Akibatnya bagian luar harus menjalar lebih cepat dari kecepatan cahaya di medium. Namun karena hal itu tidak memungkinkan maka bagian luar tersebut terdisipasi ke bagian selubung.

Bengkokan pada serat optik akan menyebabkan bagian dalam serat optik termampatkan dan bagian luar menjadi tertarik lebih panjang. Hal ini akan menyebabkan perubahan penjalaran cahaya pada serat optik. Cahaya akan dibias keluar selubung sehingga menimbulkan *losses* yang disebut *macrobending losses*. Secara empiris, *macrobend loss* dapat diekspresikan sebagai berikut (Maharani *et al*, 2009):

$$L_{bend} = 10 \log \frac{\alpha + 2}{2\alpha \left(\frac{a}{R\Delta} \right)} \quad (2-4)$$

Keterangan:

L_{bend} = bend loss (dB)

Δ = beda indeks bias inti (n_1) dan selubung (n_2)

R = jari-jari lengkungan (m)

a = jari-jari inti serat optik (m)

$\alpha = \infty$ untuk serat optik *step index*, 2 untuk serat optik *graded index*

Bending radius serat optik yang perlu diukur adalah radius paling kecil ketika serat optik dapat dilengkungkan tanpa membuatnya kusut, menghancurkannya ataupun memperpendek umur dari serat optik tersebut. *Bending radius* minimum merupakan bagian yang penting dalam pengelolaan kabel serat optik yang sering digunakan dalam telekomunikasi. *Bending radius* minimum akan bervariasi untuk desain kabel yang berbeda. Produsen serat optik biasanya memberikan spesifikasi *bending radius* yang aman selama proses instalasi. Jika tidak terdapat spesifikasi *bending radius* minimum,

salah satu cara untuk mengamankan serat optik adalah mengasumsikan *bending radius long-term low-stress* tidak kurang dari 15 kali diameter kabel (Maharani *et al*, 2009).

Perubahan signifikan pada rugi-rugi *macrobending* terlihat ketika nilai *bending radius minimum* atau *critical radius* dicapai. *Critical radius* adalah jari-jari dimana rugi-rugi bengkokan naik secara drastis. Ketika R sama dengan R_c maka rugi-rugi *macrobending* yang terjadi akan minimum dan dapat dihiraukan karena rugi-rugi yang terjadi bukan karena adanya bengkokan tapi karena faktor intrinsik dari serat optik seperti *scattering*, *absorption*, dan rugi-rugi lainnya (Lemlem, 2012: 31).

Critical radius atau R_c untuk serat optik dapat dihitung menggunakan persamaan (2-5) (Gonalbi *et al*, 2011):

$$R_c = R_1 \frac{n_1 + n_2}{n_1 - n_2} \quad (2-5)$$

dengan:

n_1 = indeks bias inti

n_2 = indeks bias selubung

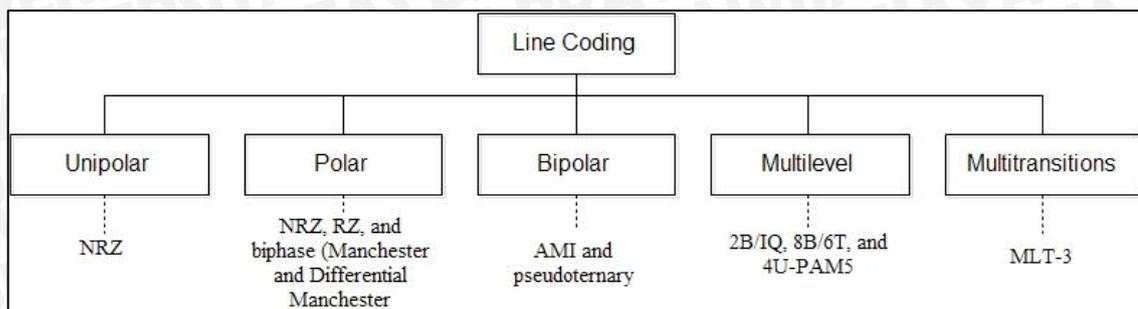
R_1 = jari-jari inti (m)

Dengan mengetahui *critical bend radius*, kita dapat mengoptimalkan kinerja jaringan, memberikan panduan pada instalasi sehingga redaman sinyal dapat diminimalkan.

2.5 Line Coding

Pengkodean data (*line coding*) yang dikirimkan dilakukan dengan berbagai macam metode, yang pada akhirnya agar data yang dikirim dapat dijamin bahwa pesan dapat diterima sesuai dengan pesan dikirimkan oleh pengirim (*transmitter*) baik dari sisi reabilitas dan integritas data (Sugiono, 2014).

Terdapat dua kategori utama pengkodean, yakni *return-to-zero* (RZ) dan *nonreturn-to-zero* (NRZ). Dengan pengkodean RZ, sinyal kembali ke level *zero-volt* dalam bagian setengah bit interval. Bentuk sinyal untuk pengkodean lebih lanjut diklasifikasikan menurut aturan yang digunakan untuk menetapkan level tegangan untuk mewakili data biner (Couch, 2001). Skema pengkodean (*Line Coding*) dibagi menjadi lima kategori, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10



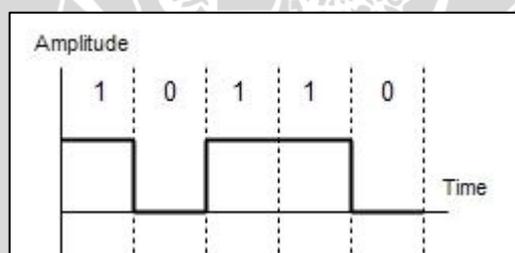
Gambar 2.10 Kategori *Line Coding*
(Sumber: Forouzan, 2007)

Berikut adalah penjelasan dari masing-masing skema unipolar, polar, dan bipolar :

a. Unipolar

Pada logika positif sinyal unipolar biner 1 diwakili oleh level tinggi (+A volts) dan biner 0 diwakili oleh level nol. Jenis sinyal ini dapat disebut *on-off keying* (Couch, 2001).

Biasanya skema unipolar dirancang seperti *Nonreturn to Zero* (NRZ) dimana tegangan positif menetapkan bit 1 dan tegangan nol menetapkan bit 0. Hal ini disebut NRZ karena sinyal tidak kembali ke nol pada tengah bit. Gambar 2.11 menunjukkan skema unipolar NRZ (Forouzan, 2007).



Gambar 2.11 Unipolar NRZ
(Sumber: Forouzan, 2007)

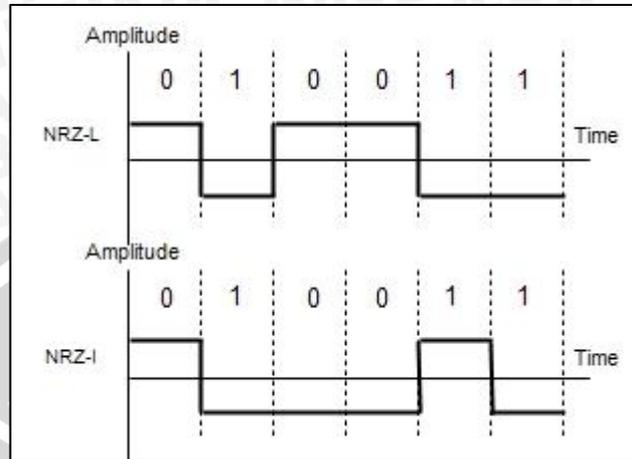
Dibandingkan dengan polar, skema ini sangatlah mahal. Skema unipolar membutuhkan daya untuk mengirim 1 bit adalah dua kali lipat untuk polar NRZ. Dengan demikian skema ini tidak digunakan dalam komunikasi data saat ini.

b. Polar

Pada skema polar, tegangan pada kedua sisi dari sumbu waktu. Sebagai contoh, level tegangan untuk 0 dapat menjadi positif dan level tegangan untuk 1 dapat menjadi negatif.

Pada pengkodean polar NRZ, menggunakan dua level amplitudo tegangan. Dan memiliki dua karakteristik polar NRZ: NRZ-L dan NRZ-I. Pada NRZ-L (NRZ-Level),

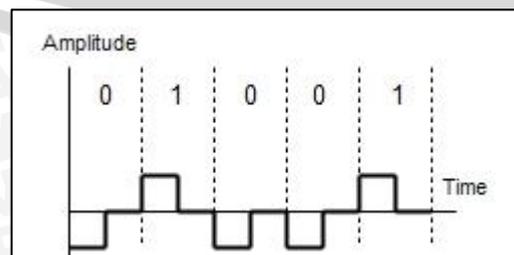
level tegangan menentukan nilai bit. Sedangkan pada NRZ-I (NRZ-*Invert*), perubahan atau tidak adanya perubahan level tegangan menentukan nilai bit. Jika tidak terdapat perubahan, bit adalah 0, dan sebaliknya jika terdapat perubahan bit adalah 1. Gambar 2.12 menunjukkan pengkodean polar NRZ-L dan NRZ-I.



Gambar 2.12 Polar NRZ-L dan NRZ-I
(Sumber: Forouzan, 2007)

Masalah sinkronisasi dimana *clock* pengirim dan penerima tidak disinkronisasi pada kedua pengkodean ini. Masalah lebih serius terjadi pada sinkronisasi pengkodean NRZ-L dari pada NRZ-I. Sementara panjang urutan dapat menyebabkan masalah pada kedua pengkodean, panjang urutan 1 hanya mempengaruhi NRZ-L. Masalah lain pada NRZ-L terjadi ketika ada perubahan secara tiba-tiba dari polaritas pada sistem (Forouzan, 2007).

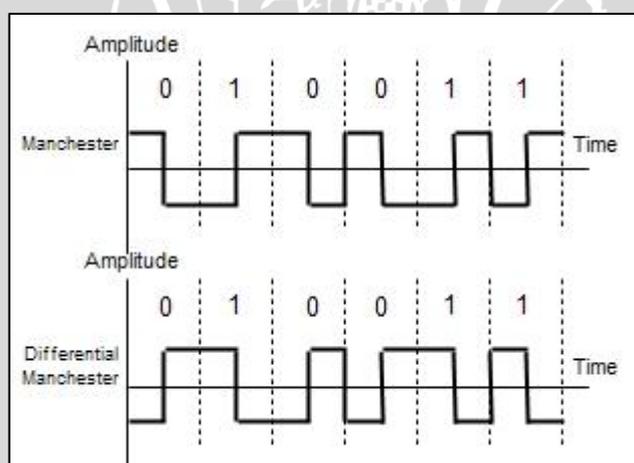
Salah satu solusi dari masalah tersebut adalah menggunakan pengkodean RZ yang menggunakan tiga nilai, yakni positif, negatif, dan nol. Pengkodean RZ perubahan sinyal tidak diantara bit, tetapi selama bit tersebut. Pada Gambar 2.13 dapat dilihat sinyal menuju ke 0 pada pertengahan bit. Tetap pada keadaan tersebut sampai awal bit berikutnya. Kelemahan pada pengkodean RZ adalah membutuhkan dua perubahan sinyal untuk mengkodekan bit dan karena hal tersebut menempati *bandwidth* yang lebih besar.



Gambar 2.13 Polar RZ
(Sumber: Forouzan, 2007)

Masalah yang sama terjadi pada RZ terjadi perubahan secara tiba-tiba pada polaritas, tetapi RZ tidak memiliki komponen dc dimana ketika level tegangan pada sinyal digital konstan untuk sementara waktu, membuat spektrum frekuensi menjadi sangat rendah. Nilai frekuensi sekitar nol yang disebut komponen dc, dimana terdapat sebuah kendala untuk sistem yang tidak bisa melewati frekuensi rendah atau sebuah sistem yang menggunakan listrik (melalui trafo). Masalah lain adalah RZ menggunakan tiga level tegangan maka perangkat dengan kompleksitas tinggi dibutuhkan untuk membangkitkan sinyal RZ. Dari semua kekurangan ini, skema RZ tidak digunakan saat ini. Skema tersebut telah digantikan oleh skema *Manchester* dan *Differential Manchester*.

Skema *Manchester* adalah suatu kombinasi dari RZ (transisi pada tengah-tengah bit) dan NRZ-L. Pengkodean *Manchester*, jangka waktu bit dibagi menjadi dua bagian. Tegangan tetap pada satu level selama pertengahan pertama dan pindah ke level lain pada pertengahan kedua. Transisi di tengah bit memberikan sinkronisasi. Sedangkan *Differential Manchester* adalah penggabungan dari RZ dan NRZ-I. Selalu terdapat transisi di tengah-tengah bit, tetapi nilai bit ditentukan di awal bit. Jika bit berikutnya adalah 0, terdapat transisi, jika bit berikutnya adalah 1, tidak terdapat transisi. Gambar 2.14 menunjukkan pengkodean *Manchester* dan *Differential Manchester*.



Gambar 2.14 *Manchester* dan *Differential Manchester*
(Sumber: Forouzan, 2007)

Skema *Manchester* mengatasi beberapa masalah yang terkait dengan NRZ-L dan *Differential Manchester* mengatasi beberapa masalah yang terkait dengan NRZ-I. Pertama, tidak terdapat pergeseran daya rata-rata (*baseline wandering*), dimana proses deteksi pada sisi penerima sangat mendasar pada perhitungan daya rata-rata dari sinyal. Tidak ada komponen dc karena setiap bit memiliki tegangan positif dan negatif. Satu-

satunya kelemahan adalah tingkat sinyal. Tingkat sinyal *Manchester* dan *Differential Manchester* adalah dua kali lipat untuk NRZ. Alasan tersebut adalah bahwa selalu terdapat satu transisi di tengah bit dan mungkin satu transisi pada akhir setiap bit. Skema *Manchester* dan *Differential Manchester* disebut skema *biphase*.

c. Bipolar

Pada pengkodean bipolar (*multilevel binary*), terdapat tiga level tegangan yaitu, positif, negatif, dan nol. Level tegangan untuk satu elemen data adalah pada nol, sementara level tegangan untuk elemen lain bergantian antara positif dan negatif.

2.6 Pengukuran Kinerja Serat Optik

Kinerja system komunikasi serat optik dipengaruhi oleh besar rugi-rugi yang terjadi. Nilai rugi-rugi dalam serat optik dituliskan dalam satuan *decibel* (dB) atau dalam dBm. Nilai daya atau tegangan masukan dan keluaran harus diketahui untuk menghitung besar redaman. Persamaan (2-6) menunjukkan cara perhitungan rugi-rugi (*losses*) (Bhargava, 1984):

$$L = 10 \log \frac{P_i}{P_o} = 10 \log \left(\frac{V_i^2}{V_o^2} \right) = 20 \log \frac{V_i}{V_o} \quad (2-6)$$

dengan:

L = rugi-rugi (dB)

P_i = daya masukan (Watt)

P_o = daya keluaran (Watt)

V_i = tegangan masukan (Volt)

V_o = tegangan keluaran (Volt)

Pada persamaan (2-6) dijabarkan persamaan untuk menghitung *losses* dari nilai tegangan masukan dan keluaran. Persamaan ini digunakan untuk memudahkan dalam perhitungan dari hasil penelitian. Hal ini dikarenakan dalam pengukuran kinerja system yang menjadi acuan adalah tegangan.

Selain tegangan, juga terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas sistem komunikasi digital, termasuk sistem komunikasi serat optik, diantaranya *Bit Error Rate* (BER), *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate*. Pada tampilan *eye pattern* dapat membantu dalam pengukuran *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate*. Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing parameter tersebut :

2.6.1 Bit Error Rate (BER)

BER adalah perbandingan banyaknya bit yang salah dengan banyaknya bit yang ditransmisikan. Untuk menghitung BER pada sebuah sistem komunikasi terdapat beberapa cara. Secara teori dapat menggunakan perbandingan *error bit* (E_b) terhadap total bit yang ditransmisikan (T_b) dalam periode t detik. Nilai BER dapat dihitung dengan persamaan (2-7) (Keiser, 2004) :

$$BER = \frac{E_b}{T_b} \quad (2-7)$$

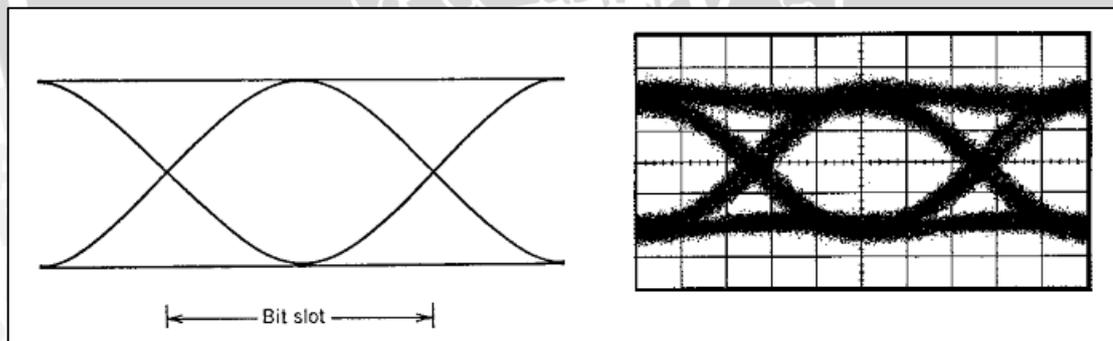
Keterangan :

$E_b = \text{Error bit}$

$T_b = \text{Total bit}$

2.6.2 Eye Pattern

Eye Pattern atau *eye diagram* adalah tampilan osiloskop dari sinyal digital yang mengalami proses *sampling* beberapa kali untuk mendapatkan tampilan karakteristik sinyal tersebut. Dalam pengukuran, parameter yang diperhatikan dari tampilan *eye diagram* adalah *eye opening*. Pengukuran *eye diagram* didasarkan pada domain waktu. Satu *eye opening* menyatakan satu bit slot sinyal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15

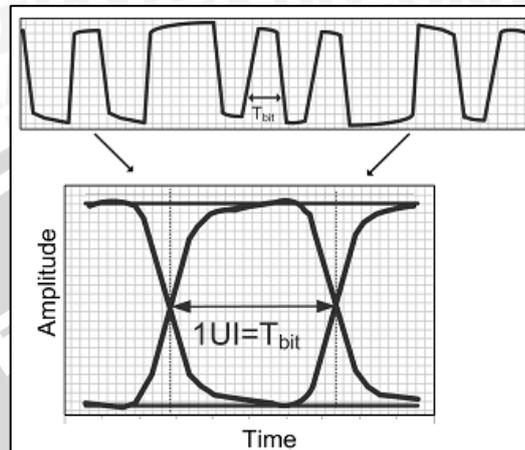


Gambar 2.15 *Eye Pattern*
(Sumber: Gerd, 2004)

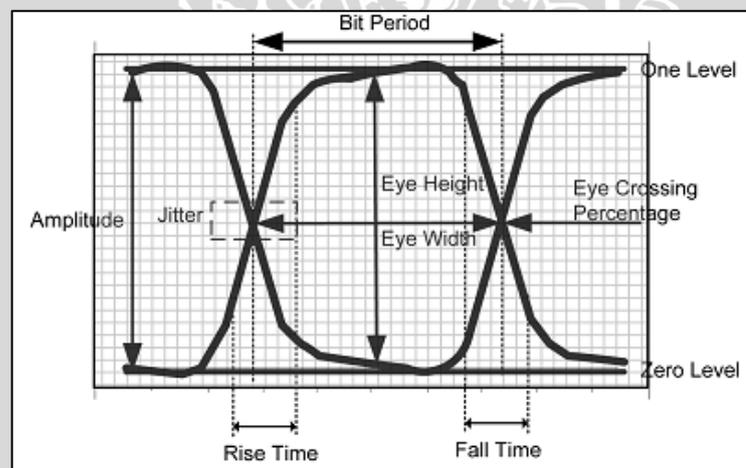
Dari tampilan tersebut kita dapat mengetahui kualitas dari sinyal optik. Metodologi *eye diagram* adalah untuk mewakili dan menganalisis sinyal digital berkecepatan tinggi. Besar *eye opening* pada *eye diagram* menunjukkan *Signal to Noise Ratio* (SNR) ketika proses *sampling* terjadi dan besar amplitudo serta *timing error*. Gambar 2.15 bagian kiri menunjukkan gambar *eye diagram* dengan *eye opening* yang besar dan lebar, sehingga dapat dikatakan sebagai kondisi ideal. Sedangkan pada

Gambar 2.15 bagian kanan terdapat *noise* pada sistem sehingga tampilan *eye diagram* tidak ideal.

Eye opening sesuai dengan satu bit periode dan biasanya disebut *Unit Interval* (UI) dari lebar *eye diagram* seperti yang terdapat pada Gambar 2.16. Pada Gambar 2.17 adalah hal-hal yang harus diperhatikan dalam menganalisis skema *eye diagram*.



Gambar 2.16 High Speed Digital Signal with Eye Diagram
(Sumber: www.onsemi.com)



Gambar 2.17 Pengukuran Eye Diagram
(Sumber: www.onsemi.com)

Dari Gambar 2.17 semua hasil pengukuran rata-rata statistik dari sampel gelombang pada titik yang ditunjukkan. Pengukuran didefinisikan sebagai berikut :

1. Noise Margin

Noise margin merupakan parameter untuk mengukur kekebalan sistem terhadap noise. Pengukuran menggunakan *eye diagram*, *noise margin* adalah ratio persentase dari puncak sinyal V_x yang dilihat dari besar eye opening terhadap tegangan maksimum sinyal V_y . Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut (Keiser, 2004) :

$$\text{Noise Margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (2-8)$$

dengan:

V_1 = puncak sinyal dilihat dari besar *eye opening* (Volt)

V_2 = tegangan maksimum sinyal (Volt)

2. *Timing Jitter*

Timing jitter adalah parameter untuk menghitung keterlambatan sinyal saat diterima dipengaruhi noise. Untuk menghitung *timing jitter*, penyimpangan waktu transisi dari naik dan turunnya tepi sebuah *eye diagram* pada titik persimpangan diukur. *Timing jitter* dapat dihitung dengan *eye diagram* dari jumlah distorsi (ΔT) dan bit interval (T_b) dengan persamaan berikut (Keiser, 2004) :

$$\text{Timing Jitter (\%)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \quad (2-9)$$

dengan:

ΔT = jumlah distorsi (s)

T_b = waktu *bit interval* (s)

3. *Bit Rate*

Periode bit adalah ukuran dari pembukaan *horizontal eye diagram* atau *eye opening* pada titik-titik persimpangan mata dan biasanya diukur dalam *picoseconds* untuk sinyal digital berkecepatan tinggi. Data rate adalah kebalikan dari periode bit (1 periode/bit). Secara matematis persamaan untuk menghitung *bit rate* ditunjukkan pada persamaan (2-10) (Agilent, 2012):

$$\text{Bit Rate (bps)} = \frac{1}{T_b} \quad (2-10)$$

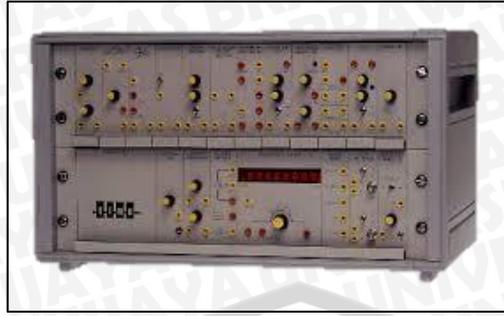
dengan:

T_b = waktu *bit interval* (s)

2.7 **Telecommunication Instructional Modelling System (TIMS)**

TIMS merupakan perangkat pemodelan telekomunikasi yang dapat memodelkan persamaan matematis ataupun diagram blok suatu sistem telekomunikasi. Pemodelan dilakukan dengan cara memasang modul-modul yang tersedia.

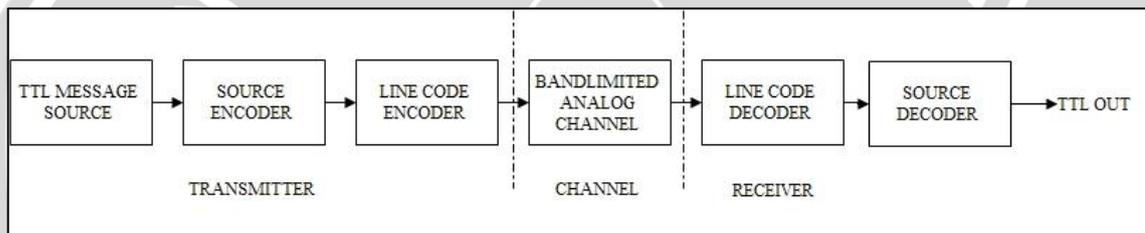
Secara fisik, *TIMS* adalah suatu perangkat yang terdiri atas dua rak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18 Rak bagian atas, dapat dipasang hingga 12 modul seukuran *eurocard*. Sedangkan untuk rak bagian bawah, terdiri dari modul yang telah terpasang dari manufaktur.



Gambar 2.18 Telecommunication Instructional Modelling System (TIMS)

2.7.1 Pemodelan *Line Coding* Menggunakan TIMS

Instruksi pemodelan *line coding* menggunakan TIMS terdapat pada *user manual*. Instruksi dalam memodelkan *line coding* ini terdapat pada “*Communication System Modelling with TIMS Vol. D1 : Fundamental Digital Experiments*”. Pemodelan *line coding* dalam blok diagram ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Baseband Transmission System

Line code encoder berfungsi sebagai *interface* antara level sinyal TTL dari pengirim dan saluran analog. Demikian pula *line code decoder* berfungsi sebagai *interface* antara saluran sinyal analog dan level sinyal TTL yang dibutuhkan oleh penerima digital.

Pada sistem transmisi digital, *line coding* adalah pengolahan digital yang dilakukan pada sinyal sebelum terhubung ke saluran analog, walaupun mungkin terdapat *bandlimiting* secara bersamaan dan pembentukan gelombang. Sedangkan *line code encoder* menerima masukan TTL, dan keluaran sesuai untuk transmisi melalui saluran analog.

Line code encoder berfungsi sebagai sumber dari sistem *bit clock* yang dihasilkan dari sebuah master sinyal pada 8.333 kHz. Nilai tersebut membagi empat untuk memperoleh sejumlah sinyal waktu internal yang diperlukan pada rate 2.083 kHz TTL signal untuk digunakan sebagai sistem *bit clock*. Mengatur ulang (*resetting*) pada *line code encoder* dan *line code decoder* setelah *master clock* dihubungkan atau setelah setiap penghentian *clock* tidak diperlukan untuk semua kode.

2.7.2 Pemodelan Line Coding dengan Media Transmisi Serat Optik Menggunakan TIMS

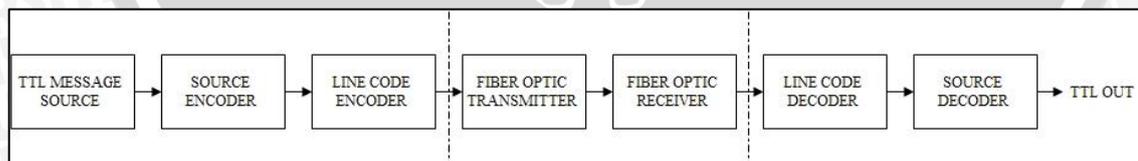
Fiber optic transmitter dimana berfungsi merubah sinyal listrik menjadi sinyal cahaya. Sinyal analog dan digital yang dapat dihasilkan pada modul ini untuk ditransmisikan. Sinyal yang akan ditransmisikan menggunakan terminal *input* yang terdapat pada modul. Input sinyal harus dipilih untuk mengidentifikasi format sinyal, apakah itu analog atau digital. Frekuensi dari input sinyal dapat mencapai 1MHz.

Cahaya LED yang digunakan pada modul *fiber optic transmitter* memiliki panjang gelombang 660nm dimana cahaya LED tersebut berwarna merah. Konektor yang dipakai untuk menghubungkan modul *fiber optic transmitter* dengan *fiber optic receiver* adalah konektor jenis dnp seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20 Serat optik yang digunakan adalah *Plastic Optical Fiber (POF)* jenis *step index multimode* dengan panjang 1 meter.



Gambar 2.20 Konektor dnp
(Sumber: www.optovit.cz)

Pada *fiber optic receiver* berfungsi merubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. *Output* pada *receiver* ini dapat berupa *analog* atau *digital*. Sinyal cahaya yang diterima diterapkan pada *fiber optic input connector*. Keluaran sinyal harus dipilih berdasarkan format sinyal *digital* atau *analog*. Gambar 2.21 adalah pemodelan *line coding* dengan media transmisi serat optik yang digambarkan dalam blok diagram.



Gambar 2.21 Pemodelan *Line Coding* Dengan Media Transmisi Serat Optik

Dengan menggabungkan modul *fiber optic transmitter* dan *fiber optic receiver* dengan pemodelan *line coding*, kita dapat membuat pemodelan modulasi *line coding* dengan media transmisi *Plastic Optical Fiber (POF)* yang kemudian akan dianalisis parameter kinerja serat optik dengan tiap jenis *line coding* yang terdapat pada modul *line code encoder*.