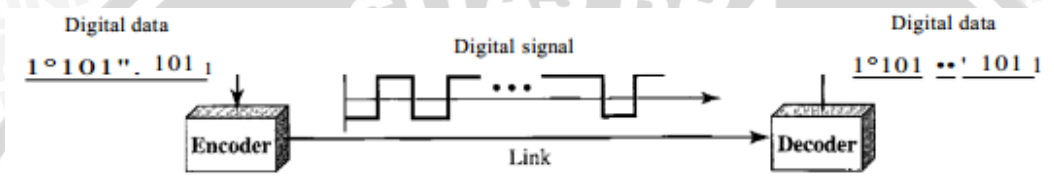


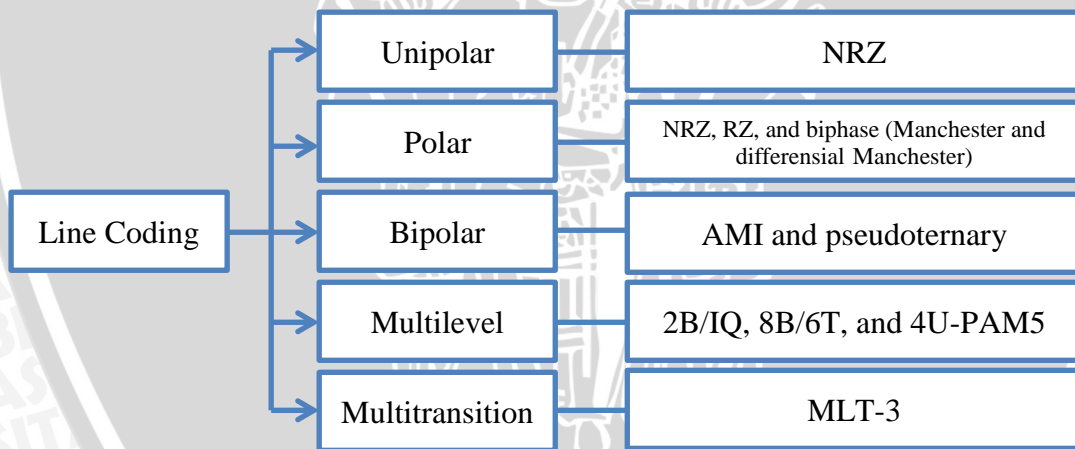
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Line Coding

Line coding adalah proses konversi data digital ke sinyal digital. Data dalam bentuk teks, angka, gambar grafis, audio, atau video disimpan sebagai urutan bit. *Line coding* mengkonversi urutan bit ke sinyal digital. Pada pengirim, data digital dikodekan menjadi sinyal digital, sedangkan pada penerima sinyal digital dikonversi kembali menjadi data digital oleh *decoding*. Gambar 2.1 menunjukkan proses *line coding* dan Gambar 2.2 menunjukkan skema pembagian *line coding* dalam lima kategori besar.



Gambar 2.1. Line Coding
(Sumber: Forouzan, 2007)

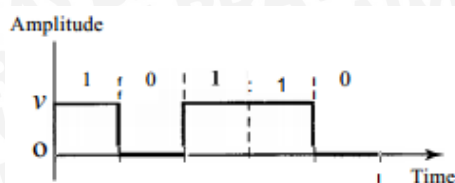


Gambar 2.2. Skema Line Coding
(Sumber: Forouzan, 2007)

➤ **Unipolar**

Dalam skema *unipolar*, semua level sinyal pada satu sisi sumbu waktu, baik di atas atau di bawah. Pada umumnya skema *unipolar* dirancang sebagai skema *Non-Return-to-Zero* (NRZ) di mana tegangan positif mendefinisikan bit 1 dan tegangan nol mendefinisikan bit 0. Oleh karena itu disebut NRZ karena sinyal tidak kembali ke nol pada bit tengah. Gambar 2.3 menunjukkan skema *unipolar* NRZ.





Gambar 2.3. Skema *Unipolar NRZ*
(Sumber: Forouzan, 2007)

➤ **Polar**

Dalam skema *polar*, tegangan berada di kedua sisi dari sumbu waktu. Dalam sinyal *polar*, satu logika diwakili oleh level tegangan positif, dan yang lainnya dengan level tegangan negatif.

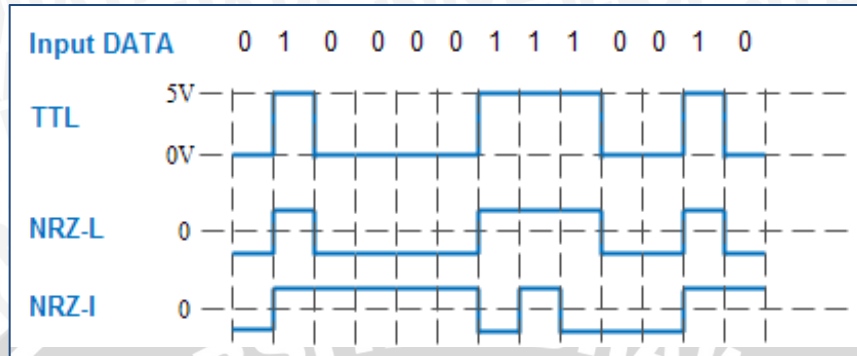
2.1.1 *Nonreturn-to-Zero (NRZ)*

Pada umumnya, untuk mengirimkan sinyal digital adalah dengan menggunakan dua level tegangan untuk dua digit biner. Dengan kata lain tegangan negatif mewakili satu nilai biner dan level tegangan positif mewakili biner yang lainnya.

Pengkodean digital *nonreturn-to-zero (NRZ)* dibagi menjadi dua yaitu NRZ-Level (NRZ-L) dan NRZ-Invert (NRZ-I). NRZ-Level (NRZ-L) dan NRZ-Invert (NRZ-I) merupakan pengkodean digital polar karena menggunakan dua tingkat amplitudo tegangan baik tegangan positif maupun tegangan negatif untuk membangkitkan sinyal digital. *Nonreturn-to-Zero-Level (NRZ-L)* yaitu suatu kode dimana tegangan negatif dipakai untuk mewakili suatu *binary* dan tegangan positif dipakai untuk mewakili *binary* lainnya. *Nonreturn-to-Zero-Inverted (NRZ-I)* yaitu suatu kode dimana suatu transisi (*low* ke *high* atau *high* ke *low*) pada awal suatu bit time akan dikenal sebagai *binary* '1' untuk bit time tersebut; tidak ada transisi berarti *binary* '0'. Sehingga NRZ-I merupakan salah satu contoh dari *differensial encoding*. Dalam pengkodean *differensial*, informasi yang akan dikirim diwakilkan dengan perubahan antara elemen sinyal. Salah satu manfaat dari pengkodean *differensial* adalah lebih dapat diandalkan untuk mendeteksi transisi dengan adanya *noise*.

Pada NRZ-L level tegangan menentukan nilai bit, bit 1 dan bit 0 direpresentasikan dengan level tegangan dari sinyal, sedangkan pada NRZ-I bit 1 dan bit 0 dibedakan oleh ada atau tidaknya perubahan level tegangan dari sinyal, jika tidak ada perubahan bit adalah 0, tapi jika ada perubahan adalah 1. Konversi data digital menjadi sinyal digital dengan menggunakan NRZ-L dan NRZ-I ditunjukkan pada Gambar 2.4. Dengan mengamati bentuk sinyal NRZ-L dan NRZ-I kita dapat melihat bahwa kedua modulasi

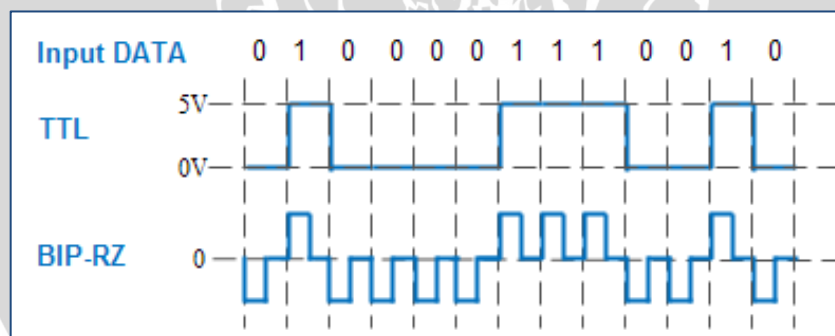
polar ini masih akan mengalami apa yang disebut dengan *baseline wandering*. Pada NRZ-L *baseline wandering* akan terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 1 atau bit 0, sedangkan pada NRZ-I *baseline wandering* hanya terjadi pada deretan panjang bit 0 saja. Dalam hal ini NRZ-I lebih baik daripada NRZ-L.



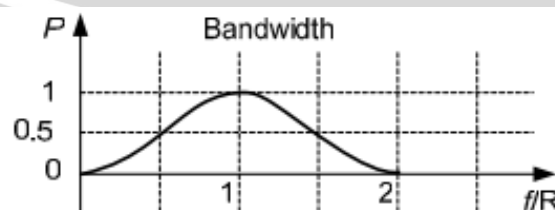
Gambar 2.4. Pengkodean Digital NRZ-L dan NRZ-I
(Sumber: TIMS User Manual)

2.1.2 Return-to-Zero (RZ)

Kekurangan dari NRZ-L dan NRZ-I diperbaiki oleh pengkodean digital *return-to-zero* (RZ). RZ menggunakan tiga level tegangan (tegangan positif, nol dan negatif) seperti pada Gambar 2.5. Dengan demikian persoalan munculnya komponen DC pada NRZ dapat dieliminasi oleh RZ.



Gambar 2.5. Pengkodean Digital BIP-RZ
(Sumber: TIMS User Manual)



Gambar 2.6. Karakteristik Bandwidth RZ
(Sumber: Forouzan, 2007)

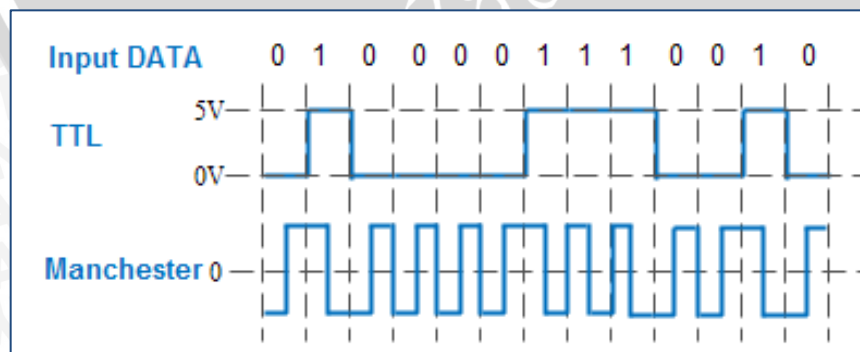
Pengkodean RZ selalu mengembalikan sinyal ke tegangan nol pada saat sinyal telah mencapai setengah durasi sinyal. Tapi karena RZ menggunakan 2 sinyal elemen untuk merepresentasikan sebuah elemen data, hal ini berakibat pada kenaikan bandwidth sebanyak dua kali lipat dibandingkan dengan NRZ. Selain itu, karena RZ membutuhkan tiga level tegangan maka perangkat dengan kompleksitas tinggi dibutuhkan untuk membangkitkan sinyal RZ, oleh karena itu skema ini tidak digunakan.

2.1.3 Manchester

Manchester disebut juga dengan *Biphase-L* yang mengatasi keterbatasan kode NRZ. Skema RZ dan NRZ digabungkan ke dalam skema *Manchester*. Dalam kode *Manchester*, ada transisi di tengah setiap periode bit untuk sinkronisasi. Transisi tersebut berfungsi sebagai mekanisme *clocking* dan juga sebagai data yaitu transisi rendah ke tinggi merupakan 1, dan transisi tinggi ke rendah merupakan 0. Teknik *biphase* membutuhkan setidaknya satu transisi per waktu bit dan memiliki dua transisi. Dengan demikian, tingkat modulasi maksimum adalah dua kali NRZ yang berarti bahwa bandwidth yang dibutuhkan lebih besar. Di sisi lain, skema *biphase* memiliki beberapa keunggulan:

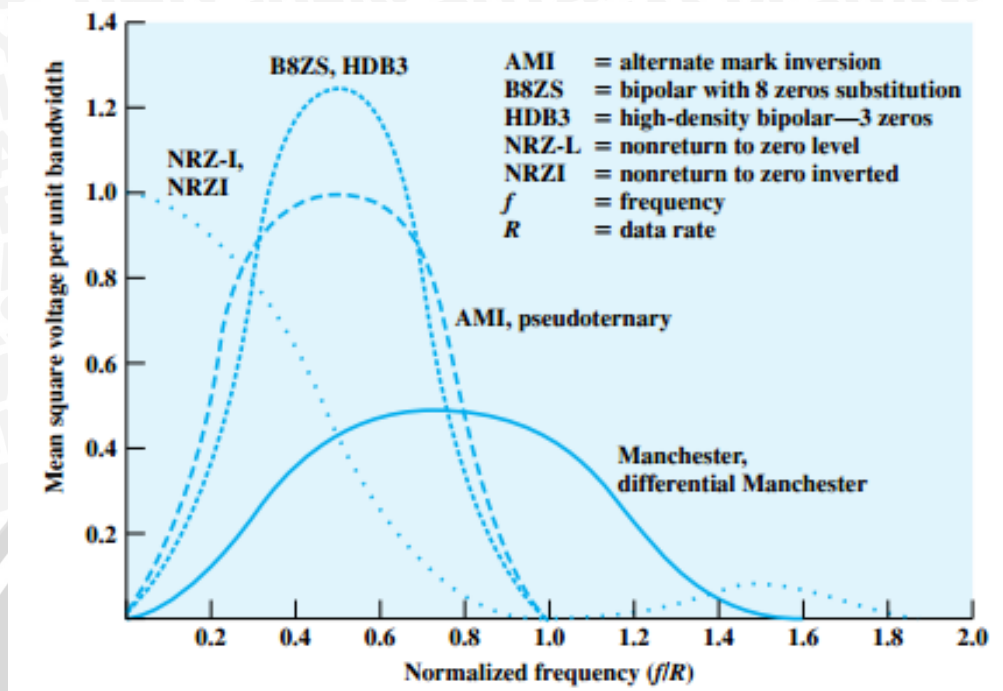
- Sinkronisasi: karena ada transisi yang diprediksi selama setiap bit waktu, penerima dapat melakukan sinkronisasi pada transisi itu.
- Tidak ada komponen dc: kode *biphase* tidak memiliki komponen dc.

Bandwidth untuk kode *biphase* cukup sempit dan tidak mengandung komponen dc. Namun, lebih lebar dari bandwidth untuk kode biner multilevel. Teknik kode *biphase* populer untuk transmisi data. Kode *Manchester* telah ditetapkan standar IEEE 802.3 (*Ethernet*) untuk kabel koaksial *baseband* dan *twisted-pair* LAN bus.



Gambar 2.7. Pengkodean Digital *Manchester*
(Sumber: TIMS User Manual)

Gambar 2.8 merupakan spektral skema pengkodean sinyal dari jenis *line coding* yang digunakan, seperti NRZ-L, NRZ-M, *Manchester*.

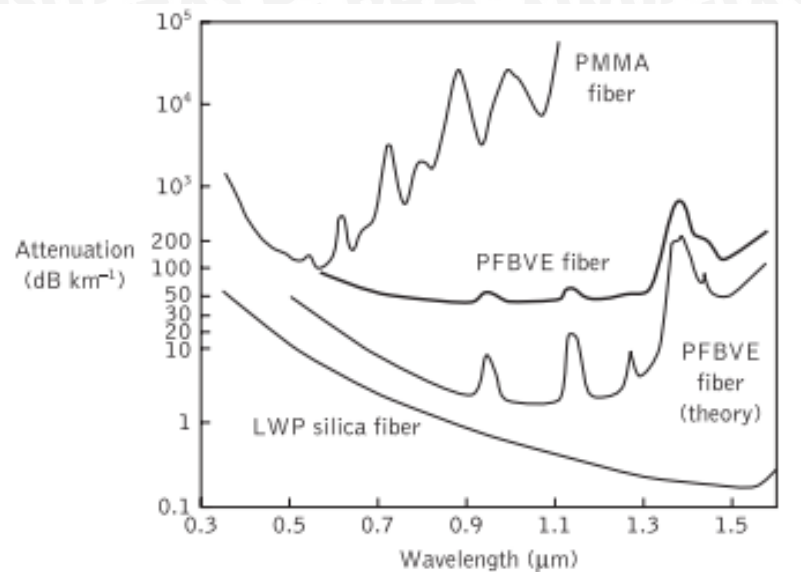


Gambar 2.8. Spektral Skema Pengkodean Sinyal
(Sumber: Stallings, 2007)

2.2 Plastic Optical Fiber (POF)

Serat optik plastik (POF) adalah jenis serat optik yang mudah dalam instalasi dan biaya rendah. Bahan *core* dari POF biasanya terbuat dari PMMA (*polimetil metakrilat*) yang merupakan resin, sedangkan *cladding* biasanya terbuat dari *polimer fluorinated*, yang memiliki indeks bias lebih rendah dari *core* [Rongqing Hui, 2009].

POF digunakan sebagai pengganti *Glass Fiber Optic* (GOF) pada komunikasi jarak pendek dan umumnya tidak lebih dari 1 km. POF biasanya digunakan sebagai saluran transmisi yang berada di dalam rumah atau gedung. POF menawarkan banyak kemudahan namun tetap memiliki performansi yang baik karena bandwidth yang lebar (Joseph Bufia, 2000). Jika dibandingkan dengan GOF, plastic optical fiber memiliki ukuran diameter yang 100 kali lebih besar dan pelemahan yang jauh lebih besar juga. Gambar 2.9 menunjukkan grafik pelemahan POF dengan bahan dasar PMMA terhadap panjang gelombang.



Gambar 2.9. Spectrum Attenuasi POF
(Sumber: Senior, 2009)

Plastic Optical Fiber (POF) memiliki kelebihan dibandingkan dengan media transmisi lain yaitu lebih ringan, ukuran kecil, bandwidth yang sangat lebar, bebas dari *ElektroMagnetic Interference* (EMI), tidak mengalirkan arus sehingga tidak akan terjadi percikan api, tidak berkorosi, serta memiliki *Numerical Aperture* (NA) yang besar. POF mempunyai tingkat fleksibilitas tinggi dan tidak mudah putus atau patah dibandingkan serat optik kaca karena terbuat dari plastik. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan spesifikasi beberapa jenis media transmisi yang digunakan untuk sambungan tetap ke pelanggan (rumah atau gedung) termasuk *plastic optical fiber*.

Tabel 2.1. Perbandingan Spesifikasi Media Transmisi Sambungan Tetap ke Pelanggan (*Fixed Telecommunication*)

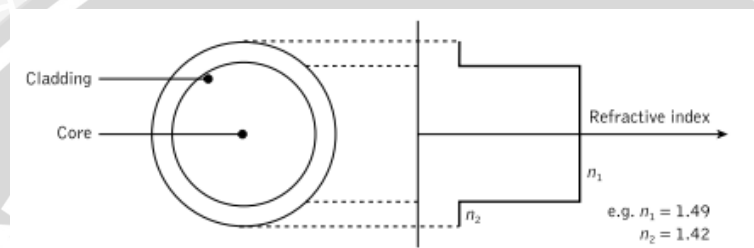
Karakteristik	Kabel Tembaga	Koaksial	CAT5e	POF
Bandwidth	<100 MHz	<300 MHz	<350 MHz	<300 MHz
Ketebalan	0.5-1 cm	1-1.5 cm	1-1.5 cm	1-2 mm
Brown/Greenfield	Browfield	Kebanyakan <i>Browfield</i>	Kebanyakan <i>Greenfield</i>	<i>Greenfield</i>
Instalasi Konektor	Kompleks	Mudah	Kompleks	Sangat mudah
Bend radius	Kecil	Medium	Medium	Kecil
EMI	Ya	Sangat rendah	Sangat rendah	Tidak

(Sumber: Huiszoon, 2013)

Struktur *Plastic Optical Fiber* (POF) terdiri dari inti (*core*) dan selubung (*cladding*). *Core* merupakan inti yang berfungsi untuk menentukan cahaya merambat dari satu ujung ke ujung lainnya. *Core* terbuat dari bahan kuarsa, silika, atau plastik

yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda dalam penjalaran cahaya. *Cladding* merupakan lapisan luar yang mengelilingi inti. *Cladding* berfungsi sebagai cermin yaitu memantulkan cahaya agar dapat merambat dalam core serat optik. Hubungan indeks bias antara *core* dan *cladding* akan mempengaruhi perambatan cahaya pada *core*.

Pada *plastic optical fiber* (POF), indeks bias *core* dengan bahan *polymethyl methacrylate* sebesar 1,49 dan indeks bias pada *cladding* dengan bahan *polimer fluorinated* sebesar 1,42. *Plastic optical fiber* (POF) memiliki diameter 1mm yang terdiri atas diameter *core* 980 μm dan *cladding* 1000 μm . Struktur untuk serat plastik PMMA ditunjukkan pada Gambar 2.10 (Senior, 2009).

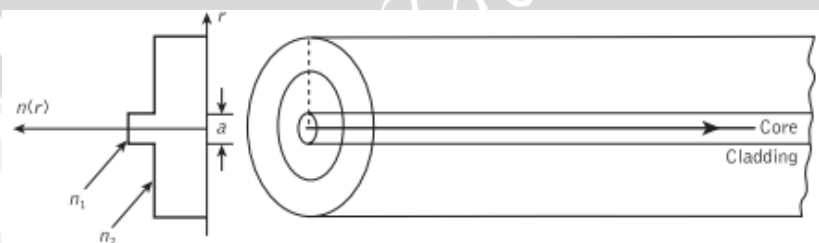


Gambar 2.10. Struktur Serat Optik Plastik PMMA
(Sumber: Senior, 2009)

2.2.1 Jenis Serat Optik

1. *Singlemode*

Serat optik jenis *singlemode* mempunyai diameter *core* (inti) yang kecil antara 2-10 mikron. Gambar 2.11 menunjukkan perambatan cahaya pada serat optik *singlemode*. Karena diameter *core* kecil, *singlemode* hanya mempunyai satu mode cahaya yang lewat di dalamnya. Biasanya digunakan untuk transmisi jarak jauh dengan kecepatan tinggi dan memiliki *loss* yang lebih kecil dari serat optik *multimode*.



Gambar 2.11. Perambatan Cahaya Serat Optik *Singlemode*
(Sumber: Senior, 2009)

2. *Multimode*

Serat optik jenis *multimode* mempunyai inti yang lebih besar dari *singlemode* dengan diameter 50-80 mikron. Pada jenis ini banyak mode cahaya

yang lewat di dalamnya. 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 yang disebut dengan *modal dispersion*. 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 dua yaitu:

a. *Step Index Multimode*

Serat optik *step index multimode* memiliki nilai indeks bias inti yang seragam di seluruh bagian inti. Hal ini mengakibatkan adanya selisih antara indeks bias inti dengan indeks bias selubung. Perambatan cahaya *step index multimode* ditunjukkan pada Gambar 2.12 Perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* (Δ) secara sistematis dihitung menggunakan Persamaan (2.1) (Keiser, 1991):

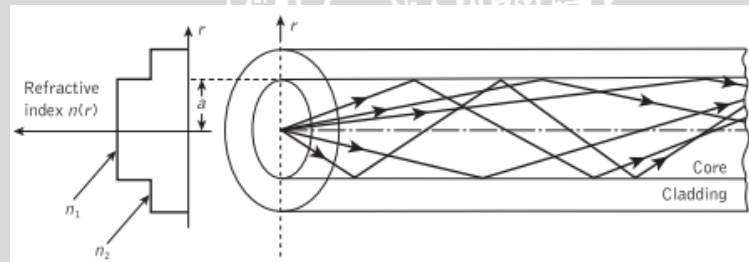
$$\Delta \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.1)$$

dimana:

n_1 = indeks bias *core*

n_2 = indeks bias *cladding*

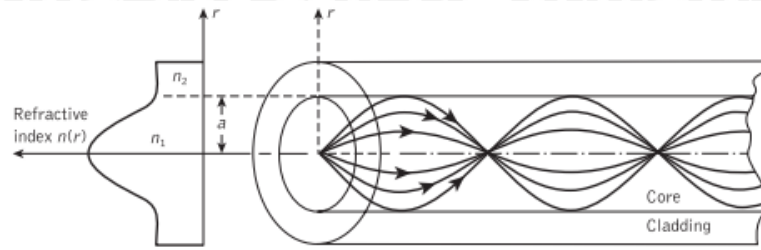
Δ = perbedaan relatif indeks bias



Gambar 2.12. Perambatan Cahaya *Step Index Multimode*
(Sumber: John M. Senior, 2009)

b. *Graded Index Multimode*

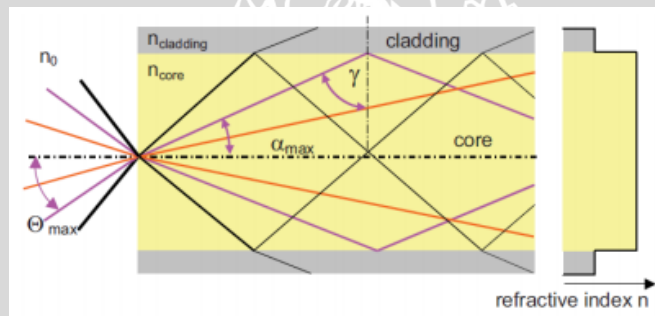
Serat optik jenis *Graded index multimode* memiliki inti dengan penurunan bertahap pada indeks bias ketika jaraknya semakin jauh dengan sumbu inti dan akan membentuk mode parabola seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Perambatan Cahaya *Graded Index Multimode*
(Sumber: Senior, 2009)

2.2.2 Penjalaran Cahaya pada Serat Optik

Penjalaran cahaya pada serat optik didasarkan pada pemantulan yang sempurna (*total internal reflection*) yang disebabkan karena perbedaan indeks bias inti dan indeks bias selubung dimana $n_{\text{core}} > n_{\text{cladding}}$. *Cladding* akan memantulkan kembali cahaya yang mengarah keluar dari *core* untuk menuju kembali ke dalam *core* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14 yaitu penjalaran cahaya pada serat optik.



Gambar 2.14. Penjalaran Cahaya pada Serat Optik
(Sumber: Zienmann, 2007)

Pembiasan cahaya pada serat optik yaitu ketika sinar cahaya masuk ke media optik yang lebih rapat dengan sudut θ dan dibiaskan dengan sudut α pada sumbu *axis incidence* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. Sebagian cahaya akan dibiaskan yang dinyatakan dengan persamaan (2.2).

$$\frac{\sin \theta}{\sin \alpha} = \frac{n_2}{n_1} \tag{2.2}$$

Keterangan :

n_1 = indeks bias bahan 1

n_2 = indeks bias bahan 2

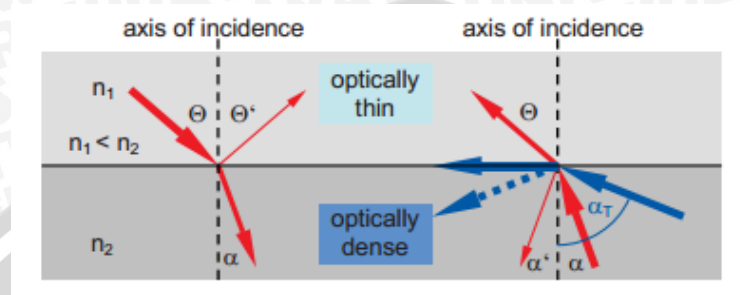
θ = sudut datang (derajat)

α = sudut bias (derajat)

Dari persamaan diatas, jika cahaya merambat dari medium yang rapat (n_1) ke medium yang kurang rapat (n_2), maka cahaya akan dibiaskan menjauhi garis normal.

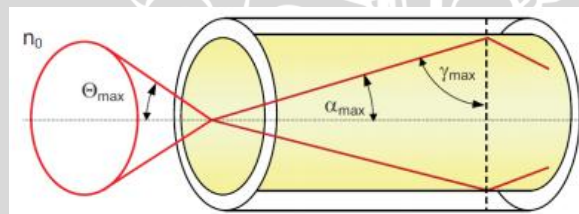
Jika sudut datang diperbesar terus-menerus terhadap garis normal maka cahaya akan dibiaskan pada sudut 90 derajat terhadap garis normal, sudut datang tersebut disebut dengan sudut kritis (critical angle). *Total reflection* terjadi jika sudut datang θ lebih besar dibandingkan sudut kritis. Persamaan (2.3).

$$\sin \alpha_T = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.3)$$



Gambar 2.15. Pembiasan Cahaya
(Sumber: Zienmann, 2007)

Dengan menggunakan sudut tertentu dan lebih besar dibanding sudut kritis sebagai sudut masukan bagi sinyal optik, maka total internal reflection didapatkan sehingga sinyal optik dapat merambat di dalam inti serat optik. Namun jika sudut masukan sinyal optik lebih kecil dibanding acceptance angle (sudut penerimaan) maka sinyal optik tidak dapat dipantulkan oleh cladding melainkan hanya dibiaskan dan dan sinyal optik hilang.



Gambar 2.16. Numerical Aperture
(Sumber: Zienmann, 2007)

Dalam sistem transmisi serat optik dikenal acceptance angle (θ_{maks}) yang merupakan sudut maksimum agar berkas cahaya dapat disalurkan sepanjang serat optik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. 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* merupakan parameter yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimum, dimana berkas cahaya masih bisa diterima dan merambat didalam inti serat, dengan kata lain kemampuan serat untuk menangkap cahaya. Semakin besar NA maka semakin banyak cahaya yang diterima

oleh serat. Akan tetapi menyebabkan lebar pita berkurang, dan rugi penyebaran serta penyerapan akan bertambah. Oleh karena itu, nilai NA besar hanya baik untuk aplikasi jarak pendek.

Jika sudut datang lebih besar dari NA atau sudut kritis maka berkas cahaya tidak akan dipantulkan ke *core* tapi akan menembus *cladding* dan keluar dari *core*. NA dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.4) (Ziemann, 2008).

$$NA = n_0 \cdot \sin\theta_{maks} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.4)$$

Keterangan:

NA = Numerical Aperture

Θ_{maks} = sudut penerimaan (derajat)

n_1 = indeks bias inti

n_2 = indeks bias selubung

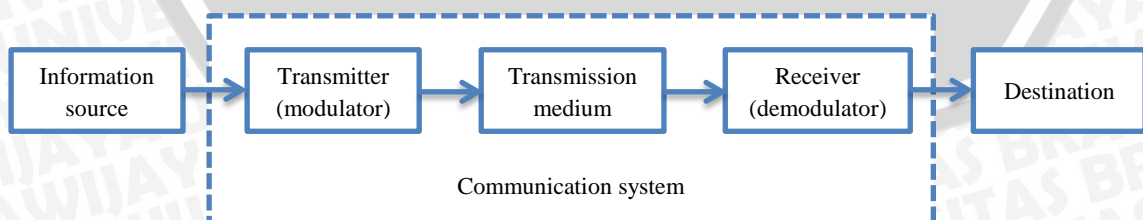
n_0 = indeks bias udara

Δ = beda indeks bias relatif

Karena medium dimana tempat cahaya memasuki serat umumnya adalah udara maka $n_0 = 1$ sehingga $NA = \sin\theta_{\alpha}$. Nilai NA biasanya sekitar 0,20 - 0,29 untuk serat gelas, serat plastik memiliki NA yang lebih tinggi dapat melebihi 0,5.

2.3 Sistem Komunikasi Serat Optik

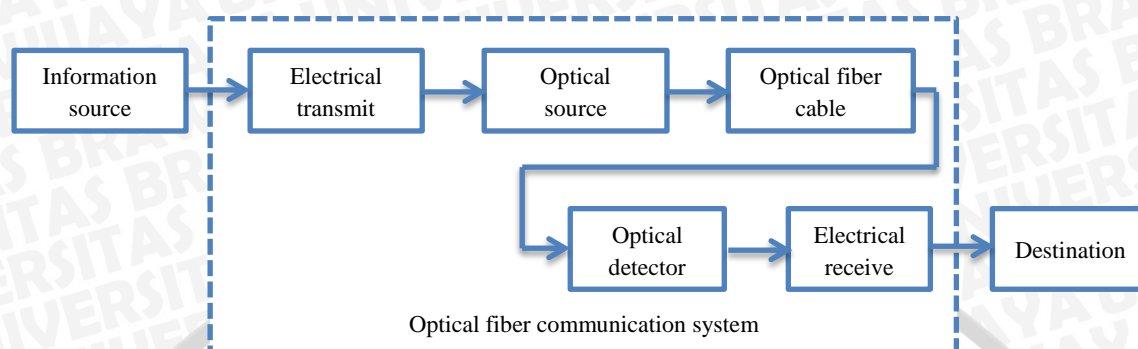
Sistem komunikasi secara umum terdiri dari transmitter, receiver, dan *transmission medium*. *Transmitter (modulator)* bertugas untuk mengolah informasi yang akan dikirim agar dapat dilewatkan melalui suatu media sehingga informasi tersebut diterima dengan baik pada penerima. *Receiver (demodulator)* bertugas untuk menerjemahkan informasi tersebut agar informasi dapat dimengerti. Gambar 2.17 menunjukkan sistem komunikasi secara umum.



Gambar 2.17. Sistem Komunikasi Secara Umum
(Sumber: Senior, 2009)

Sistem komunikasi serat optik terdiri dari *electrical transmit*, *optical source*, *optical fiber cable*, *optical detector*, dan *electrical receive*. Pada sistem komunikasi

optik, sinyal informasi diubah ke sinyal listrik dan diubah lagi ke optik yang dilewatkan melalui serat optik. Cahaya tersebut diubah kembali ke listrik dan diterjemahkan menjadi sinyal informasi. Gambar 2.18 menunjukkan sistem komunikasi serat optik.



Gambar 2.18. Sistem Komunikasi Serat Optik
(Sumber: Senior, 2009)

2.3.1 Sumber Optik

Sumber optik yang digunakan untuk mengirim cahaya informasi melalui serat optik terdiri dari dua jenis yaitu *Light Emitting Diode* (LED) dan *Laser Diode* (LD). LED biasanya dipakai pada serat optik multimode, karena memiliki spektrum cahaya yang lebar. Sedangkan LD yang memiliki spektrum cahaya yang lebih sempit biasanya digunakan untuk komunikasi menggunakan serat optik singlemode.

a. *Light Emitting Diode* (LED)

LED adalah salah satu jenis diode yang disusun dari bahan semi konduktor jenis P dan N. Kelebihan utama dari LED adalah harganya yang murah. Namun LED memiliki efisiensi yang sangat rendah, bandwidth yang terbatas, dan keluaran daya optik yang rendah. Oleh karena itu transmitter LED lebih cocok digunakan pada saluran optik yang beroperasi pada bit rate yang paling rendah (kurang dari 100 Mb/s) pada jarak yang relatif dekat.

b. *Laser Diode* (LD)

Laser Diode mempunyai efisiensi yang jauh lebih baik daripada LED dan menghasilkan daya optik yang jauh lebih tinggi (lebih dari 1W). DFB Laser biasanya menjadi pilihan utama dibandingkan dengan FP laser untuk saluran jarak jauh berkecepatan tinggi karena DFB Laser memiliki *noise* yang lebih kecil dan *side mode suppression ratio* yang tinggi.

LED dan LD memiliki parameter dan karakteristik masing-masing, Tabel 2.2 menunjukkan perbandingan karakteristik dari dua jenis sumber optik.

Tabel 2.2. Perbandingan Karakteristik LED dan LD

No.	Karakteristik	LED	LD
1.	Waktu jangkit	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-rugi kopling	Lebih besar	Lebih kecil
5.	Kepekaan suhu	Lebih tahan	Peka perubahan

(Sumber : Syauki, 2008)

2.3.2 Detektor Optik

Detektor optik merupakan alat yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik kembali. Detektor optik bekerja berdasarkan prinsip emisi *fotolistrik* yaitu terjadinya pembebasan elektron dari permukaan laser sebagai hasil penyerapan *energy foton*. Terdapat dua tipe detektor optik, yaitu PIN (*Positive-Intrinsic Negative*) dan APD (*Avalanched Photo Diode*). Tabel 2.3 menunjukkan perbandingan karakteristik PIN dan APD.

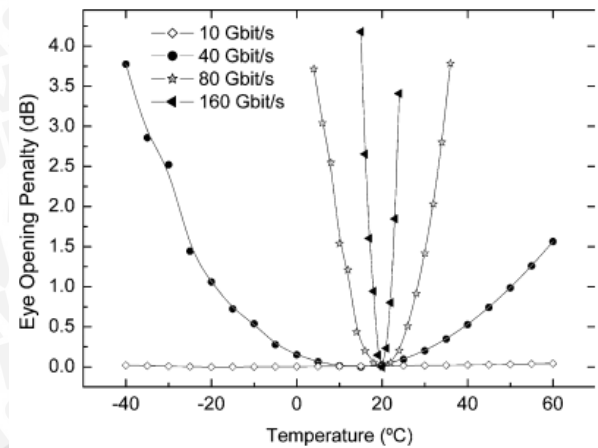
Tabel 2.3. Perbandingan Parameter dan Karakteristik PIN dan APD

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	0,06	0,1 – 0,3

(Sumber : Syauki, 2008)

2.4 Pengaruh Temperatur pada Serat Optik

Fiber optik yang ditempatkan pada lingkungan tertentu akan mengalami perubahan dalam mentransmisikan data (Setyawan, 2012). Perubahan temperatur yang tinggi pada serat optik dapat meningkatkan redaman (*attenuasi*) serat optik secara signifikan. Perubahan temperatur dapat menyebabkan penurunan daya pada saluran transmisi serat optik. Level daya yang semakin turun menyebabkan penurunan *bit rate* yang ditransmisikan untuk jarak yang sama. Gambar 2.19 menunjukkan grafik hubungan *eye opening penalty* terhadap temperatur pada transmisi serat optik. Berdasarkan gambar tersebut, temperatur mempengaruhi besar *eye penalty* pada transmisi data dengan bit rate yang tinggi (≤ 40 Gbps). Sebaliknya, transmisi data dengan bit rate rendah (10Gbps), temperatur tidak mempengaruhi besar *eye penalty*.

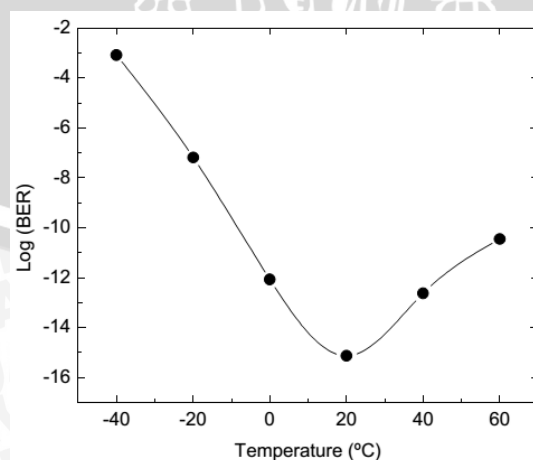


Gambar 2.19. Grafik Hubungan *Eye Opening* Terhadap Temperatur (Sumber: Andre, 2005)

Temperatur yang tinggi juga menyebabkan kenaikan nilai indeks bias dan *Numerical Aperture* (NA) sehingga terjadi rugi penyebaran dan penyerapan pada serat, serta memberikan pengaruh perubahan material pada serat optik hingga terjadi *Microbending* di *Core Cladding Interface* (CCI). Hal ini dapat meningkatkan redaman dan memperpendek jarak transmisi (Kunlavia, 2014).

Pada POF bahan PMMA yang ditempatkan pada ruangan dengan kelembaban relatif 50%, material dapat menyerap air hingga 1,5% sehingga mempengaruhi karakteristik redaman. Temperatur maksimum pada proses transmisi data yaitu pada suhu 85°C, ketika suhu sudah melebihi 85°C maka kinerja serat akan turun secara signifikan. Perubahan material akan terjadi pada suhu 115°C, hal ini menunjukkan bahwa serat plastik sudah tidak dapat lagi melakukan transmisi data (Zienmann, 2007).

Perubahan suhu juga berpengaruh terhadap *bit error rate* yang terjadi. Gambar 2.20 menunjukkan hubungan BER terhadap perubahan suhu pada transmisi serat optik.



Gambar 2.20. Grafik Hubungan BER Terhadap Perubahan Suhu (Sumber: Paulo S, Andre, 2004)

Temperatur pada serat optik mempengaruhi perilaku pancaran cahaya sumber optik yang disebabkan oleh perubahan *Numerical Aperture* (NA) dan indeks bias pada core dan cladding. Perubahan indeks bias pada serat optik dapat diukur dengan menggunakan alat ukur *interferometry*.

Perubahan nilai indeks bias menurut persamaan Sellmeier ditunjukkan pada persamaan (2.5), dengan A_1 sampai A_6 adalah koefisien persamaan Sellmeier (Rashed, 2002). Grafik perubahan indeks bias *core* dan *cladding* yang disebabkan oleh temperatur pada POF ditunjukkan pada Gambar 2.21 dan 2.22.

$$n^2 = 1 + \frac{A_1 \lambda^2}{\lambda^2 - A_2^2} + \frac{A_3 \lambda^2}{\lambda^2 - A_4^2} + \frac{A_5 \lambda^2}{\lambda^2 - A_6^2} \quad (2.5)$$

Keterangan:

➤ Koefisien Persamaan Sellmeier *Core* (PMMA)

$$A_1 = 0,4963$$

$$A_2 = 0,6965(T/T_0)$$

$$A_3 = 0,3223$$

$$A_4 = 0,718(T/T_0)$$

$$A_5 = 0,1174$$

$$A_6 = 9,237$$

$$\Lambda = \text{Panjang Gelombang } (\mu\text{m})$$

$$T = \text{Temperatur } (^\circ\text{C})$$

$$T_0 = \text{Temperatur Ruang } (27^\circ\text{C})$$

➤ Koefisien Persamaan Sellmeier *Cladding* (*Fluorinated Polymer*)

$$A_1 = 0,34$$

$$A_2 = 0,0791(T/T_0)$$

$$A_3 = 0,351$$

$$A_4 = 0,08381(T/T_0)$$

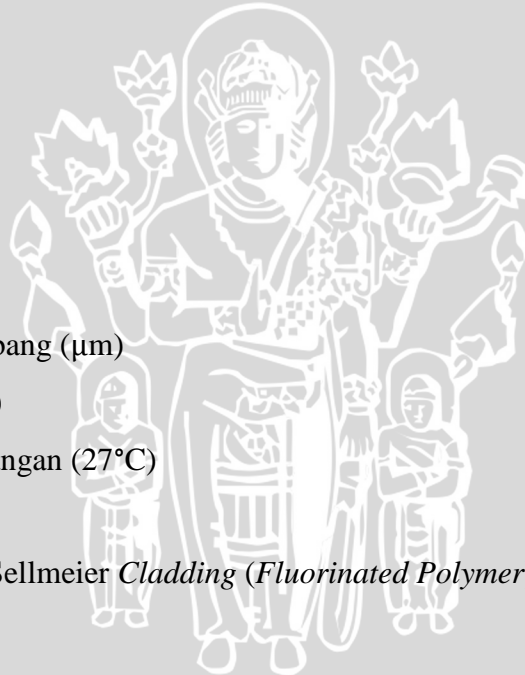
$$A_5 = 0,25$$

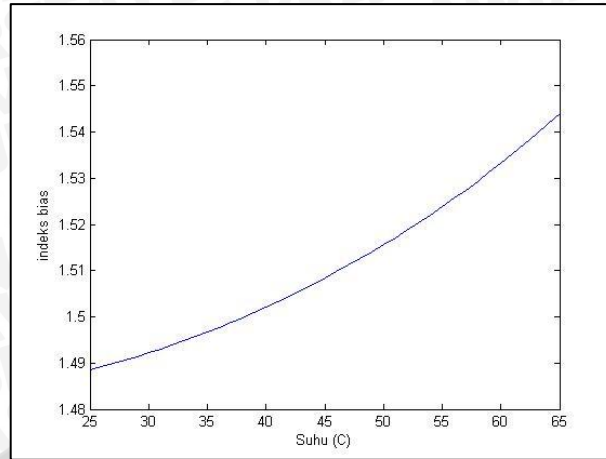
$$A_6 = 0,106$$

$$\Lambda = \text{Panjang Gelombang } (\mu\text{m})$$

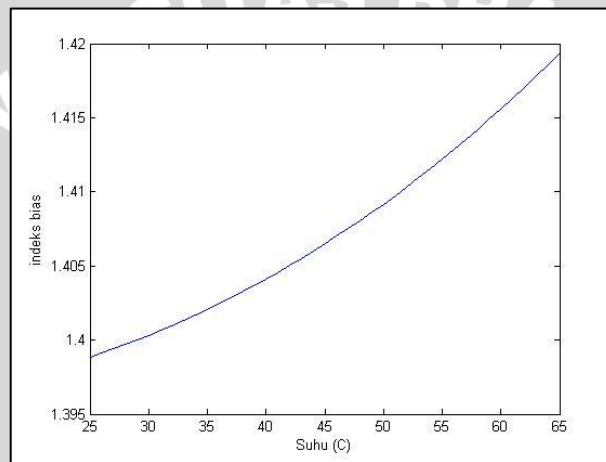
$$T = \text{Temperatur } (^\circ\text{C})$$

$$T_0 = \text{Temperatur Ruang } (27^\circ\text{C})$$





Gambar 2.21. Grafik Hubungan Indeks Bias *Core* Terhadap Temperatur



Gambar 2.22. Grafik Hubungan Indeks Bias *Cladding* Terhadap Temperatur

2.5 Kinerja Serat Optik

Kinerja serat optik dipengaruhi oleh besar rugi-rugi (*losses*). Nilai *losses* dalam serat optik dituliskan dalam satuan *decibel* (dB) atau dalam dBm. Untuk menghitung *losses* nilai daya atau tegangan masukan dan keluaran harus diketahui. Perhitungan *losses* ditunjukkan pada persamaan (2.6) (Bhargava, 1984).

$$L = 10 \log \frac{P_i}{P_o} = 10 \log \left(\frac{V_i^2}{V_o^2} \right) = 20 \log \frac{V_i}{V_o} \quad (2.6)$$

dimana:

L = losses (dB)

P_i = daya masukan (Watt)

P_o = daya keluaran (Watt)

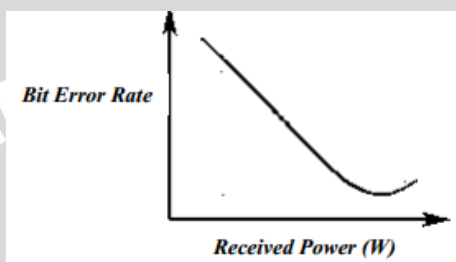
V_i = tegangan masukan (Volt)

V_o = tegangan keluaran (Volt)

Tegangan merupakan parameter yang penting dalam pengukuran kinerja suatu sistem untuk mengetahui *losses*. Parameter lain yang digunakan untuk mengukur kualitas sistem termasuk kinerja serat optik yaitu BER dan *eye pattern*.

2.5.1 Bit Error Rate (BER)

Rugi-rugi pada serat optik mengurangi besar daya yang diterima pada penerima. Hal ini akan mempengaruhi kinerja sistem yang diindikasikan dalam parameter BER seperti yang ditunjukkan oleh kurva pada Gambar 2.23. Ketika daya yang diterima semakin kecil, nilai *Bit Error Rate* akan tinggi.



Gambar 2.23. Kurva *Bit Error Rate* Terhadap Daya yang Diterima
(Sumber: The Fiber Optic Association, 2009)

BER disebut juga probabilitas *bit error* (P_e) merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER menyatakan berapa jumlah bit salah yang terjadi dalam dalam satuan detik. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah bit salah terhadap total bit yang ditransmisika. Aplikasi pada ITU-T G.691, ITU-T G.692, dan ITU-T G.959.1 menyatakan bahwa sistem optik harus didesain dengan nilai BER tidak kurang dari 10^{-12} .

Kesalahan *bit* pada pentransmisian data terjadi karena adanya distorsi gelombang acak. Dengan kata lain, saat noise mengganggu sinyal transmisi yang stabil terhadap waktu dalam t detik maka perhitungan lebih mudah dilakukan, tapi jika *bust error* terjadi maka perhitungan *bit error* menjadi lebih lama. BER dinyatakan sebagai fungsi waktu yang secara matematis ditunjukkan pada persamaan (2.7) (Hui, Rongqing, 2009).

$$BER = \frac{1}{\Delta t \times BR} \quad (2.7)$$

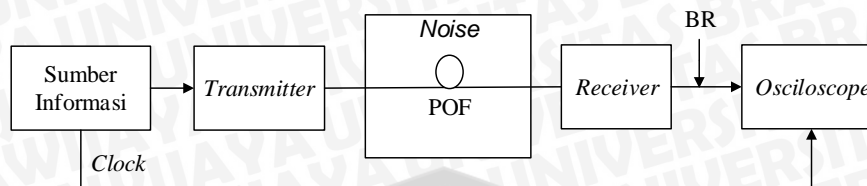
dimana:

Δt = interval waktu perhitungan, *getting time* (detik)

BR = *bit rate* (bit/sec)

BER dihitung melalui pendekatan matematis terhadap *bit rate* dengan analisis bentuk *eye pattern*. Nilai BR didapat dari analisis *eye pattern* yang di-*sampling* dan

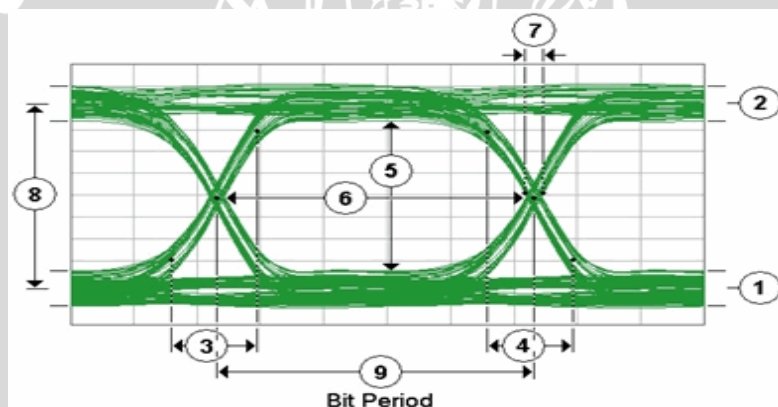
nilai *getting time* disesuaikan dengan waktu pengambilan data *eye pattern* yaitu selama 10 detik. Gambar 2.24 merupakan blok diagram pengambilan nilai BR.



Gambar 2.24. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai BR

2.5.2 Eye Pattern

Eye pattern atau *eye diagram* yang merupakan tampilan osiloskop data digital yang mengalami beberapa kali proses *sampling* untuk mengetahui karakteristik dari sinyal tersebut. *Eye pattern* menunjukkan kualitas sinyal pada transmisi data kecepatan tinggi. *Eye pattern* akan berbentuk persegi pada kondisi ideal, tapi karena dalam sistem transmisi data terdapat redaman, transisi tidak berupa garis vertikal yang lurus dan menghasilkan pola seperti mata, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25. Eye Diagram
(Sumber: <http://na.support.keysight.com/>)

1. Level 0

Level 0 adalah ukuran dari nilai rata-rata dari logika 0

2. Level 1

Level 1 adalah ukuran dari nilai rata-rata dari logika 1

3. Rise Time

Rise time adalah ukuran waktu transisi data dari level 10% ke level 90% di lereng atas dari diagram mata.

4. Fall Time

Fall Time adalah ukuran dari waktu transisi data dari tingkat 90% ke level 10% pada kemiringan ke bawah dari diagram mata.

5. Eye Height

Eye Height adalah ukuran vertikal diagram *eye opening*. *Eye opening* yang ideal akan diukur dari level 1 ke level 0. Namun, *noise* pada *eye pattern* akan menyebabkan pola yang menutup.

6. Eye Width

Eye Width adalah ukuran horizontal diagram *eye opening*. Idealnya, *eye width* akan diukur antara titik persimpangan pada *eye pattern*. Namun, *jitter* dapat muncul pada gelombang dan mempengaruhi *eye opening*.

7. Deterministic Jitter

Deterministic Jitter adalah penyimpangan transisi dari waktu ideal yang disebabkan oleh refleksi relatif terhadap transisi lainnya.

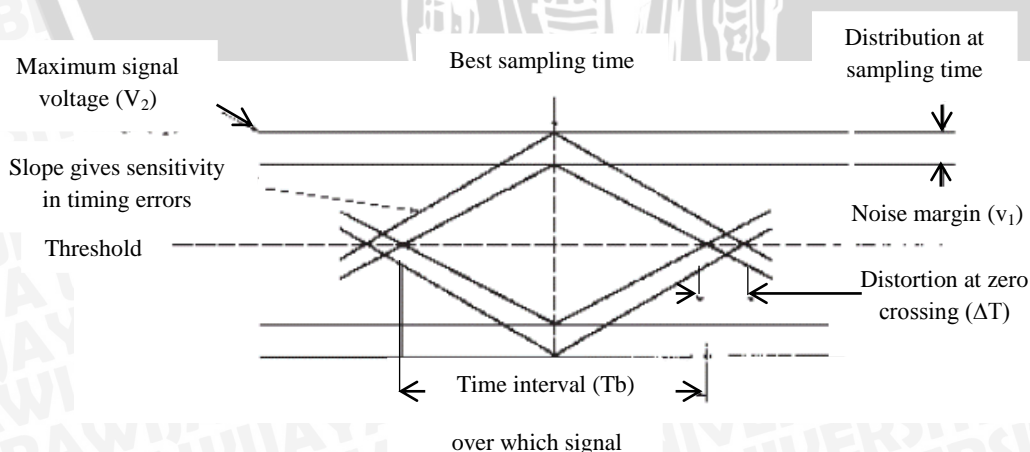
8. Eye Amplitude

Eye Amplitude adalah perbedaan antara level logika 1 dan logika 0 tingkat histogram nilai rata-rata dari diagram mata.

9. Bit Rate

Bit rate mengukur sejauh mana *eye pattern* terbuka secara horizontal yang diukur dari *crossing point*. Dari *bit rate*, bias diketahui data rate (1/bit period). *Bit rate* juga disebut dengan *Unit Interval* (UI) pada *eye diagram*.

Pada skripsi ini performansi atau kinerja serat optik yang dihitung dan dianalisis dari *eye pattern* meliputi *timing jitter*, *noise margin*, *signal to noise ratio*, dan *bit rate*. Gambar 2.26 menunjukkan pengukuran parameter *noise margin* dan *timing jitter* pada *eye pattern*.

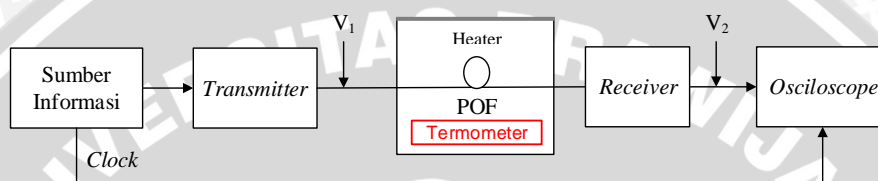


Gambar 2.26. Pengukuran Parameter *Noise Margin* dan *Timing Jitter* Pada *Eye Pattern* (Sumber: Keiser, 2004)

1. Noise Margin

Noise margin yaitu kekebalan terhadap noise yang ditunjukkan dengan panjang *eye opening* pada waktu *sampling*. *Noise margin* adalah ratio persentase dari puncak sinyal V_x yang dilihat dari lebar *eye opening* terhadap tegangan maksimum sinyal V_y . Secara matematis persamaan untuk menghitung *noise margin* ditunjukkan pada persamaan (2.8) (Keiser, 2004).

Nilai V_1 juga merupakan tegangan sinyal tanpa *noise* dan V_2 merupakan tegangan sinyal yang mengandung *noise*. Nilai V_1 dan V_2 didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai V_1 dan V_2

$$\text{Noise margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (2.8)$$

dimana:

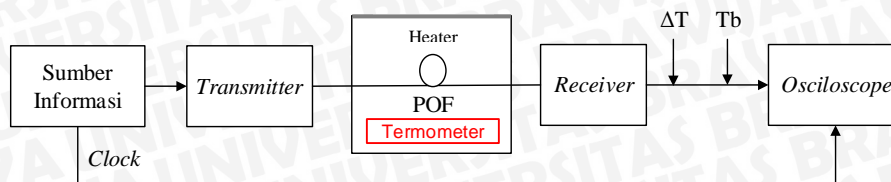
V_1 = puncak sinyal dilihat dari besar *eye opening* (Volt)

V_2 = tegangan maksimum sinyal (Volt)

Besarnya *noise* pada sistem mempengaruhi nilai V_1 dan V_2 . *Noise* yang terjadi karena adanya penurunan level daya optik. Pada level daya optik yang rendah, sinyal yang diterima akan mengalami peningkatan noise yang ditunjukkan dalam variasi amplitudo. Variasi amplitudo akan berpengaruh pada besar *eye opening* dan nilai tegangan maksimum sinyal yang berkaitan dengan *noise margin*. Semakin besar *eye opening* maka nilai *noise margin* akan semakin besar.

2. Timing Jitter

Timing jitter adalah penyimpangan waktu dari waktu ideal sebuah event data bit. Untuk menghitung timing jitter, penyimpangan waktu transisi dari naik dan turunnya tepi sebuah *eye diagram* pada titik persimpangan diukur. Timing jitter dihitung dari jumlah distorsi (ΔT) dan bit interval (T_b) yang ditunjukkan pada Persamaan (2.9) (Keiser, 2004). Nilai ΔT dan T_b didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 2.28.



Gambar 2.28. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai ΔT dan T_b

$$Timing\ Jitter(\%) = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \quad (2.9)$$

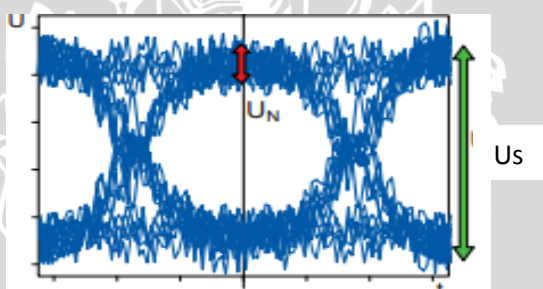
dimana:

ΔT = jumlah distorsi (s)

T_b = waktu *bit interval* (s)

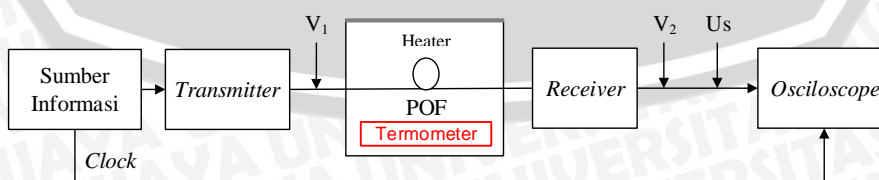
3. Signal to Noise Ratio

Signal to noise ratio (SNR) merupakan parameter untuk mengukur kualitas sinyal pada sistem dengan menghitung perbandingan daya sinyal dengan daya *noise*. Semakin besar nilai SNR, kualitas sinyal semakin baik. SNR akan turun pada level daya rendah yang menunjukkan *noise* meningkat.



Gambar 2.29. SNR pada *Eye Pattern*
(Sumber: Zienmann, 2007)

SNR pada *eye pattern* dihitung dengan menentukan nilai U_s dan U_n . Nilai U_n yaitu selisih dari V_1 dan V_2 , sedangkan nilai U_s yaitu *eye amplitudo* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.29. Secara matematis persamaan untuk menghitung SNR ditunjukkan pada persamaan (2.10) (Zienman, 2007). Nilai V_1 , V_2 , dan U_s didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 2.30.

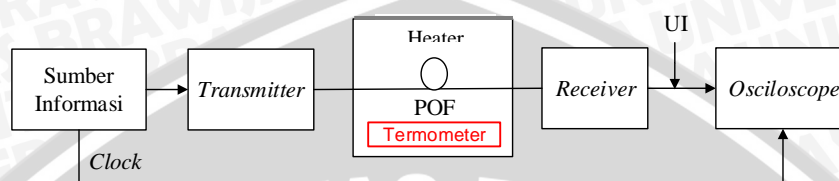


Gambar 2.30. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai V_1 , V_2 , dan U_s

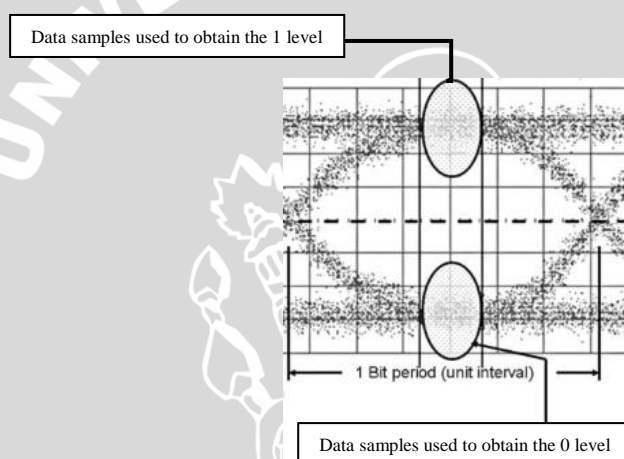
$$SNR\ (dB) = 20\ \log\ \frac{U_s}{U_n} \quad (2.10)$$

4. Bit Rate

Bit rate merupakan parameter yang berhubungan dengan kecepatan transmisi data. Penurunan *bit rate* pada sistem menunjukkan penurunan rugi-rugi transmisi yang disebabkan oleh dispersi atau ISI. Nilai *bit rate* berbanding terbalik dengan *Unit Interval* (UI) sebuah *eye mask* (Decusatis, 2008). Nilai UI didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 2.31.



Gambar 2.31. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai UI



Gambar 2.32. Eye Diagram Dalam Menentukan *Unit Interval*
(Sumber: Decusatis, 2008)

Gambar 2.32 merupakan pengukuran parameter *bit rate* pada *eye diagram*. Secara matematis perhitungan *bit rate* ditunjukkan pada persamaan (2.11).

$$\text{Bit Rate} = \frac{1}{\text{UI}} \quad (2.11)$$

2.6 Telecommunication Instructional Modelling System (TIMS)

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

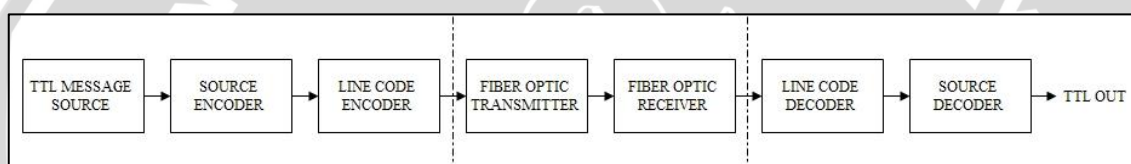
Secara fisik, TIMS adalah suatu perangkat yang terdiri atas dua rak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.33. Rak bagian atas, dapat dipasang hingga 12 modul

seukuran *eurocard*. Sedangkan untuk rak bagian bawah, terdiri dari modul yang telah terpasang dari manufaktur.



Gambar 2.33. *Telecommunication Instructional Modelling System (TIMS)*
(Sumber: www.qpsk.com)

Pada TIMS transmisi serat optik menggunakan dua modul yaitu: *fiber optik transmitter* dan *fiber optik receiver*, POF sebagai media transmisinya. Gambar 2.34 menunjukkan blok diagram pemodelan *line coding* dengan transmisi serat optik.



Gambar 2.34. Pemodelan *Line Coding* dengan Transmisi Serat Optik

Cahaya LED yang digunakan pada modul *fiber optic transmitter* berwarna merah dengan panjang gelombang 660nm. Konektor yang dipakai untuk menghubungkan modul *fiber optic transmitter* dengan *fiber optic receiver* adalah konektor jenis dnp seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.35. Serat optik yang digunakan adalah POF jenis *step index multimode* dengan panjang 1 meter.



Gambar 2.35. Konektor DNP
(Sumber: www.optovit.cz)