BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang telekomunikasi sangat pesat. Kebutuhan masyarakat semakin besar untuk mendapatkan informasi dengan mudah dan cepat melalui akses internet. Survey *eMarketer* mencatat hingga tahun 2014 pengguna internet di indonesia mencapai 83,7 juta orang dan diprediksikan hingga 2017 akan mencapai 117 juta orang (Yusuf,2015).

Teknologi yang diaplikasikan pada lingkungan perumahan sebagian besar masih berupa kabel tembaga atau *wireless* pada saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan pengguna layanan telekomunikasi, untuk melayani kebutuhan yang lebih banyak pengguna layanan harus menambah perangkat instalasi dan terminasi kabel. Hal ini membuat sistem tidak efisien karena biaya lebih mahal dengan tembaga (Genexis,2012).

Transmisi menggunakan kabel serat optik merupakan teknologi terkini dimana dapat mengirimkan data berkecepatan tinggi dengan media cahaya serta sistem yang handal. *International Telecommunication Union* (ITU) memiliki rekomendasi dalam ITU-T Rec. G.9960 tentang teknologi G.hn, dimana disarankan untuk FTTH dapat menggunakan media transmisi optik berupa *Plastic Optical Fiber* (POF) jenis *step index multimode* berdiameter satu milimeter. Dengan penggunaan POF ini, cukup banyak bisa diandalkan karena memiliki berbagai manfaat yaitu kemudahan dalam instalasi, bebas dari *Electro Magnet Interference* (EMI), mudah diproduksi, dan secara biaya terhitung lebih irit (ITU-T,2009).

Namun dalam aplikasinya terdapat beberapa permasalahan yang tidak bisa selalu teratasi yaitu adanya gangguan seperti tekanan terhadap kabel optik yang berlebihan, dimana tekanan tersebut menyebabkan gangguan *Microbending*. *Microbending* terjadi karena ketidakrataan pada permukaan batas antara inti dan selubung secara acak atau *random* pada serat optik karena proses pengkabelan ataupun ketika proses penarikan saat instalasi (Pramono,2012). Gangguan tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap kinerja sistem komunikasi serat optik. Dimana hal ini dapat mempengaruhi penjalaran cahaya pada media POF untuk mentransmisikan informasi.

Pada penelitian ini dilakukan kajian secara eksperimen tentang pengaruh variasi tekanan beban diam terhadap *Bit Error Rate*(BER) dan *eye pattern* pada media transmisi POF. Dimana sumber cahaya yang digunakan berupa LED dengan panjang gelombang 660 nm, penerima berupa photodiode. Kemudian pada kabel akan diberikan mandrel yang ditumpangkan pada kabel POF dan juga akan diberikan variasi beban diam terhadap kabel POF tersebut. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *Advance Fiber Optic Communication Lab* produksi Falcon Electro-Tek yang telah mencakup keseluruhan sistem komunikasi serat optik mulai dari pemancar hingga penerima.

1.2 Rumusan Masalah

Gangguan tekanan merupakan salah satu gangguan yang tidak dapat diabaikan. Beban diam maupun bergerak yang memberikan tekanan pada fisik kabel optik dapat menyebabkan perubahan performansi sistem komunikasi serat optik. Gangguan tersebut akan mengubah bentuk fisik kabel optik, seperti kepadatan material serat optik, berubahnya indeks bias hingga mempengaruhi penjalaran cahaya pada media serat optik tersebut (Pramono,2012). Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan ini , rumusan masalah yang dapat dibuat sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh tekanan beban diam yang divariasikan terhadap *Bit Error Rate* pada media *plastic optical fiber* jenis *step index multimode*?
2. Bagaimana pengaruh tekanan beban diam yang divariasikan terhadap *eye pettern* pada media *plastic optical fiber* jenis *step index multimode*?

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Berkaitan dengan permasalahan pada rumusan masalah, aspek kajian dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Seluruh perangkat yang digunakan termasuk kabel serat optik merupakan bagian dari *Advance Fiber Optic Communication Lab* dari Falcon Electro-Tek.
2. Parameter performansi yang diamati adalah *bit error rate* dan *eye pattern*.
3. Pada *eye pattern* akan dihitung parameter *noise margin*, *timing jitter*, *bit rate*, dan SNR.
4. Rugi-rugi yang diamati hanya karena faktor ekstrinsik yaitu dan besar tekanan pada kabel POF.

5. Pengamatan dilakukan pada panjang gelombang 660 nm.
6. Kabel serat optik yang digunakan adalah kabel kategori A4a sesuai dengan standar IEC 60793-2-40 dengan panjang satu meter dan hanya digunakan untuk laboratorium.
7. Luas bidang tekan adalah 1 cm x 0.2 cm sebanyak 2 titik.

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis pengaruh rugi-rugi variasi tekanan beban diam terhadap *bit error rate* dan *eye pattern* kabel *plastic optical fiber* jenis *step index multimode*

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Bab I akan mendeskripsikan mengenai pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan skripsi ini.

Bab II menjelaskan tinjauan pustaka tentang kajian teori-teori yang menunjang skripsi ini, diantaranya tentang serat optik, sistem komunikasi serat optik, *plastic optical fiber*, tekanan, *microbending*, kinerja serat optik seperti *bit error rate* dan *eye pattern*, serta Falcon *Advance Fiber Optic Communication Lab.*

Bab III akan membahas metode-metode yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah yaitu berupa studi literatur mengenai konsep dasar *plastic optical fiber*, pengaruh tekanan beban diam pada POF, dan parameter kinerja serat optik yaitu *bit error rate* dan *eye pattern.* Kemudian pengambilan data yang berupa data primer dari percobaan pengukuran dan data sekunder yang diperoleh dari berbagai buku teks, jurnal, dan internet.

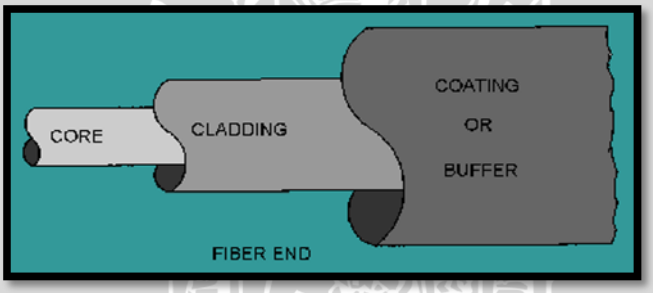
Bab IV berisi spesifikasi perangkat, konfigurasi pengukuran dan analisis data pengukuran terhadap parameter *bit error rate* dan *eye pattern* , serta proses untuk mendapatkan data pengukuran dari konfigurasi pengukuran yang telah dirancang. Kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis yang telah dilakukan serta pemberian saran-saran diuraikan dalam Bab V.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Optik

Serat optik adalah media pemandu gelombang cahaya yang terbuat dari kaca murni yang panjang dan tipis serta berdiameter sangat kecil. Serat optik menggunakan prinsip pemantulan sempurna dengan membuat kedua indeks bias dari inti (*core*) dan selubung (*cladding*) berbeda, sehingga cahaya yang membawa informasi dapat memantul dan merambat di dalamnya. Pada tahun 1960 serat optik ditemukan oleh seorang ilmuwan Fisika yang bernama Charles Kao, dari penemuan tersebut membuat serat optik saat ini telah menjadi tulang punggung bagi komunikasi dunia. Adapun struktur bagian serat optik terdiri dari *core, cladding* dan *buffer coating* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Bagian Serat Optik
(Sumber: Fiber Optic Communication , Joseph C Palais)

- Bagian utama dinamakan Inti (*core*)

  Merupakan bagian inti dari serat optik, tempat cahaya dilewatkan. Gelombang cahaya yang dikirim akan merambat dan mempunyai indeks bias lebih besar dari lapisan kedua. Terbuat dari bahan *silica* (SiO_2) atau plastik dan merupakan tempat merambatnya cahaya. Diameternya berkisar antara 8 sampai 62.5 *micron.* Pada inti ini mengalir informasi yang akan disampaikan dari pengirim ke penerima, bisa berupa data maupun suara dengan berbagai aplikasi dan konten di dalamnya.

- Bagian kedua dinamakan Selubung (*cladding*)

  Merupakan bagian yang mengelilingi inti berfungsi memantulkan cahaya kembali ke dalam inti (*core*). Selubung memiliki bahan yang sama dengan inti

tapi memiliki indeks bias yang lebih kecil agar cahaya tetap berada pada inti serat optik.

- Bagian ketiga yang dinamakan Jaket (*coating*)

  Adalah pelapis pelindung mekanis pertama serat optik yang melindungi serat dari kotoran, goresan, dan kerusakan lainnya.

Penemuan serat optik sebagai media transmisi pada suatu sistem komunikasi didasarkan pada hukum Snellius tentang perambatan cahaya pada media transparan yang dibentuk dari dua lapisan utama yaitu lapisan inti dengan indeks bias inti n_1 dan dilapisi oleh selubung dengan indeks bias n_2 yang lebih kecil dari n_1. Menurut hukum Snellius jika seberkas sinar masuk pada suatu ujung serat optik dengan sudut kritis (*critical angle*) dan sinar itu datang dari medium yang mempunyai indeks bias lebih kecil dari udara menuju inti serat optik yang mempunyai indeks bias lebih besar maka seluruh sinar akan merambang sepanjang inti serat menuju ujung lainnya.

Berikut adalah pemodelan matematis dari Hukum Snellius :

$$n_1 . sin\ \theta_1 = n_2 . sin\ \theta_2 \quad (1)$$

Keterangan :

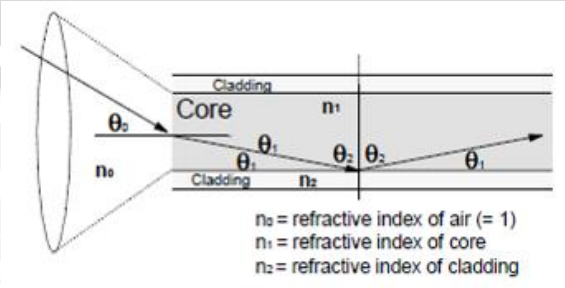
n_1= indeks bias bahan 1

n_2= indeks bias bahan 2

θ_1= sudut datang

θ_2= sudut bias

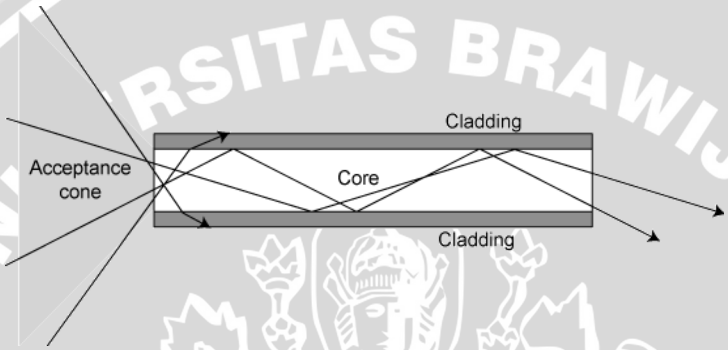
Perambatan cahaya dalam serat optik terjadi melalui proses pemantulan cahaya sempurna (*total internal reflection*). Hal ini disebabkan oleh perbedaan indeks bias inti (n_1) dan indeks bias selubung (n_2) seperti terlihat pada Gambar 2.2. Jika proses pemantulan cahaya ini semakin sempurna, maka semakin panjang jangkauannya. Cahaya dapat terpantulkan sempurna jika cahaya datang dari bidang dengan indeks bias lebih tinggi dan sudut datangnya lebih besar dari sudut kritis.



Gambar 2.2 Prinsip Penyaluran Cahaya Dalam Serat Optik

(Sumber: Dutton, 1998)

Serat optik terdapat parameter *Numerical Aperture* (NA). *Numerical aperture (NA)* adalah ukuran kemampuan sebuah serat untuk menangkap cahaya, juga dipakai untuk mendefenisikan *acceptance cone* dari sebuah serat optik. *Numerical Aperture* merupakan parameter yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimum dimana berkas cahaya masih bisa diterima dan merambat didalam inti serat. Sudut penerimaan ini dapat beraneka macam tergantung kepada karakteristik indeks bias inti dan selubung serat optik. Nilai NA biasanya sekitar 0,20 sampai 0,29 untuk serat gelas, *plastic optical fiber* memiliki NA yang lebih tinggi dapat melebihi 0,5. Gambar 2.3 menunjukkan lintasan cahaya dalam serat optik.



Gambar 2.3 Lintasan Cahaya dalam Serat Optik
(Sumber : PT.TELKOM, 2004)

Besarnya *Numerical Aperture (NA*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

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

dengan:

n_1 = indeks bias inti

n_2 = indeks bias *cladding*

Δ = beda indeks bias relatif

Dalam kondisi cahaya pantul yang menembus *cladding* dan keluar dari serat, disebabkan oleh sudut datang berkas cahaya yang lebih besar daripada NA atau sudut kritis. Pada kondisi ini berkas tidak akan dipantulkan kembali ke dalam serat. Semakin besar NA maka semakin banyak jumlah cahaya yang diterima oleh serat. Akan tetapi sebanding dengan kenaikan NA menyebabkan lebar pita berkurang, dan rugi penyebaran serta penyerapan akan bertambah. Oleh karena itu, nilai NA besar hanya baik untuk aplikasi jarak pendek dengan kecepatan rendah.

Serat optik terdiri dari beberapa jenis. Namun secara umum terdapat dua jenis serat optik yaitu:

1. *Singlemode*

   Pada jenis *singlemode* ini serat optik mempunyai inti yang kecil antara 8-10 mikron. Karena dimensinya sangat kecil, maka hanya ada 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*.

2. *Multimode*

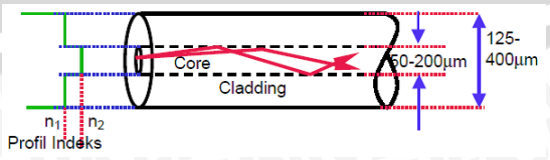
   Pada jenis multimode ini serat optik mempunyai inti yang lebih besar dari *singlemode* dengan diameter 50-80 mikron. Pada jenis ini banyak *mode* cahaya yang lewat di dalamnya. Pada saat sebuah pulsa cahaya masuk ke serat optik *multimode*, daya pulsa didistribusikan hampir ke seluruh *mode* dimana setiap *mode* memiliki kecepatan yang berbeda, sehingga *mode* dengan kecepatan yang lebih tinggi akan sampai terlebih dahulu. Fenomena ini disebut *modal dispersion* dan mengakibatkan pulsa yang dikirim mengalami pelebaran. Biasanya serat optik jenis ini 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*

      Jenis *step index multimode* ini memiliki nilai indeks bias inti yang seragam di seluruh bagian inti. Keseragaman ini mengakibatkan adanya selisih yang cukup besar anatara indeks bias inti dengan indeks bias selubung. Perbedaan indeks bias inilah yang disebut dengan beda indeks (Δ) dan secara sistematis dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Keiser, 1991):

$$\Delta \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \qquad (3)$$

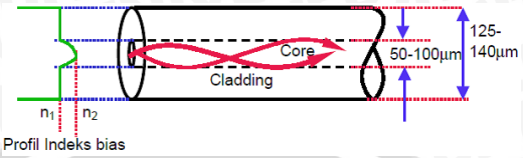


Gambar 2.4. Proses penjalaran sinar dalam serat optik *step index*

(Sumber: Rakhmania *et al*, 2011)

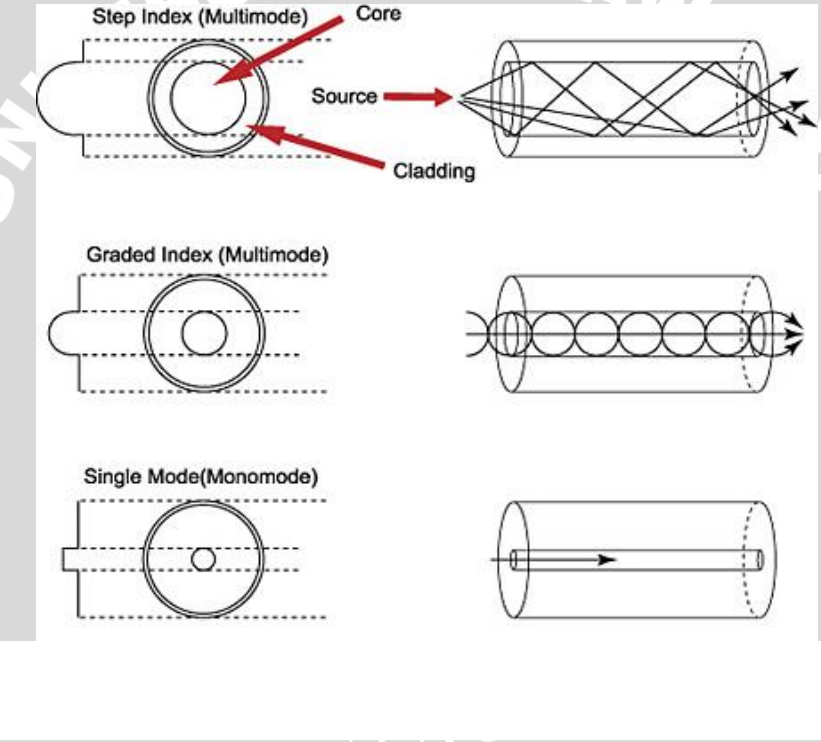
b. *Graded index multimode*

Jenis *Graded index* ini memiliki inti dengan indeks bias yang berangsur-angsur mengecil ketika jaraknya semakin jauh dengan sumbu inti dan akan membentuk *mode* parabola.



Gambar 2.5. Proses penjalaran sinar dalam serat optik *graded index*
(Sumber: Rakhmania *et al*, 2011)

Karakteristik *singlemode* dan *multimode* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Perbandingan karakteristik penjalaran cahaya tiap jenis serat optik
(Sumber : *Fiber Optic Communications*, Joseph C. Palais)

2.2 Sistem komunikasi serat optik

Sistem komunikasi serat optik secara umum terdiri atas pemancar sebagai sumber pengirim informasi, detektor penerima informasi, dan media transmisi berupa kabel serat optik sebagai sarana untuk melewatkannya. Sebelum dipancarkan melalui pemancar terdapat pengirim yang bertugas untuk mengolah informasi yang akan disampaikan agar dapat dilewatkan melalui suatu media sehingga informasi tersebut

dapat sampai dan diterima dengan baik dan benar di penerima. Setelah melewati media transmisi dan tiba di penerima terdapat perangkat di penerima yang bertugas untuk menerjemahkan informasi kiriman tersebut sehingga maksud dari informasi dapat dimengerti. Gambar 2.7 menjelaskan proses transmisi dan penerima pada sistem komunikasi serat optik

Gambar 2.7. Blok Diagram Sistem Komunikasi Serat Optik

(Sumber: Santoso, 2010)

Keterangan:

Tx : Pengirim

Rx : Penerima

Pada sistem komunikasi optik ini terdapat perbedaan dengan sistem komunikasi biasa umumnya terletak pada proses pengiriman sinyalnya. Jika sistem komunikasi biasa sinyal informasi diubah ke sinyal listrik, maka pada sistem komunikasi optik sinyal informasi diubah ke sinyal listrik lalu diubah lagi ke optik atau cahaya. Sinyal ini kemudian dilewatkan melalui serat optik, yang setelah sampai di penerima nanti, cahaya tersebut diubah kembali ke listrik dan akhirnya diterjemahkan menjadi sinyal informasi. Dalam sistem komunikasi serat optik terdiri atas beberapa unsur yaitu:

2.2.1 Sumber pengirim

Sumber pengirim adalah perangkat pembangkit gelombang elektromagnetik (GEM) pada frekuensi optik yaitu 3.10^{11} - 3.10^{16} Hz. Gelombang tersebut dibangkitkan untuk membawa informasi yang akan ditransmisikan. Terdapat dua tipe sumber pengirim optik yang digunakan untuk mengirim cahaya informasi melalui serat optik, 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*.

Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing jenis sumber optik.

a. *Light Emitting Diode* (LED)

LED adalah salah satu jenis diode yang disusun dari bahan semi konduktor jenis P dan N. LED memiliki kelebihan salah satunya memiliki harga 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 Mbits/s) pada jarak yang relatif dekat.

b. *Laser Dioda* (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 pula.

Masing-masing sumber optik ini memiliki parameter dan karakteristik yang merupakan bahan pertimbangan dalam pemilihan yang akan digunakan. Pada Tabel 1 dibandingkan beberapa karakteristik dari dua jenis sumber optik.

Tabel 2.1. Perbandingan Karakteristik LED dan LD

Karakteristik	LED	Laser Diode
Spektrum Keluaran	Tidak koheren	Koheren
Daya Optik keluaran	Lebih rendah (0,4 - 4,0 mW)	Lebih tinggi (1,5 - 8,0 mW)
Kestabilan operasi terhadap temperature	Lebih stabil	Kurang stabil
Penguatan cahaya	Tidak ada	Ada
Arah pancaran cahaya	Kurang terarah	Sangat terarah

Arus pacu	Kecil	Besar
Rongga resonansi optic	Tidak ada	Ada
Disipasi panas	Kecil	Besar
Harga	Lebih murah	Lebih mahal
Kemudahan penggunaan	Lebih mudah	Lebih sulit
Numerical Aperture (NA)	Lebih tinggi	Lebih rendah
Kecepatan (*Rise Time*)	Lebih lambat (2-10 ns)	Lebih cepat (0,3-0,7 ns)
Lifetime	Lebih lama	Cukup lama
Kompatibilitas dengan SMF	Tidak	Ya
Panjang gelombang	800-850, 1300nm	800-850, 1300, 1500nm
Lebar pita (nm)	30-60 (λ = 800-850nm); 50-150 (λ = 1300nm)	1-2 (λ = 800-850nm); 2-5 (λ = 1300nm); 2-10 (λ = 1500nm)
Daya ke serat	0,03 - 0,15 mW	0,4 - 3,0 mW
Frekuensi modulasi	0,08 - 0,3 GHz	2 - 3 GHz
Kepekaaan	-	Elektrostatik

(Sumber : PT. Telekomunikasi Indonesia, Tbk, 2004)

2.2.2 Detektor penerima

Pada detektor penerima optik memiliki kemampuan 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 2 (dua) tipe detektor optik, yaitu PIN (*Positive-Intrinsic Negative*) dan APD (*Avalanched Photo Diode*). Perancangan dan pemilihan perangkat penerima sangat menentukan dalam suatu analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang didapat dideteksi oleh detektor.

Tabel 2.2. Perbandingan Karakteristik PIN dan APD

T

No	Karakteristik	PIN	APD
1	Daya optik minimum	Lebih besar	Lebih kecil
2	Responsitivitas	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)

2.3 *Plastic optical fiber*

Serat optik plastik atau *Plastic Optical Fiber* (POF) adalah salah satu media transmisi komunikasi optik. Penggunaan *plastic optical fiber* dapat diterapkan di berbagai bidang yakni telekomunikasi, intrumentasi medis, transmisi data serta dapat juga digunakan sebagai sensor suhu. *Plastic optical fiber* terbuat dari plastik polimer, dimana lapisan inti dibuat dari *Polymethyl methacrylate* (PMMA) sedangkan lapisan *coating* dibuat dari *Perfluoropolimer*. POF memiliki kinerja yang baik dan menjanjikan. Secara teori POF mampu menyediakan 1 Gbps di atas 50 meter. Selain itu instalasi konektor dapat dilakukan sendiri dan sangat mudah.

POF pertama kali dikembangkan pada tahun 1960-an, hampir bersamaan dengan penemuan serat optik silika. Pada tahun 1966, Du Pont menemukan POF pertama dengan nama "Crofon" yang berjenis *step index* (SI), intinya terbuat dari PMMA dengan diselubungi oleh *partially-fluorinated-polymer*. Pada tahun 1975, Mitsubishi Rayon mengkomersilkan SI POF pertama dengan nama dagang "Eska" yang lalu diikuti oleh Asahi Chemical dan Toray pada 1970-an. Sekitar empat puluh tahun setelahnya, usaha dilakukan untuk meningkatkan kinerja redaman, *bandwidth*, dan kekebalan temperatur.

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.

POF mempunyai beberapa kelebihan yang tidak dimiliki oleh media transmisi lain, di antaranya adalah *bandwidth* yang sangat lebar, ukuran kecil, lebih ringan, bebas dari interferensi elektromagnetik, tidak mengalirkan arus sehingga tidak akan terjadi percikan api, tidak berkorosi, serta memiliki *Numerical Aperture* (NA) yang besar sehingga kemampuan untuk mengumpulkan energi cahaya tinggi. *Plastic optical fiber* juga lebih fleksibel dan tak mudah putus atau patah dibandingkan serat optik kaca. Tabel 2.3 menunjukkan perbandingan spesifikasi beberapa jenis media transmisi rumahan termasuk *plastic optical fiber.*

Tabel 2.3. Perbandingan spesifikasi media transmisi rumahan

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

(Sumber: Genexis, 2013)

Selain itu harga *plastic optical fiber* lebih murah dibandingkan serat optik kaca Harga serat dan komponen-komponen pendukungnya seperti konektor, pemotong, dan sebagainya lebih ekonomis dibandingkan serat optik kaca. Pada Tabel 4 akan dibandingkan biaya instalasi beberapa media transmisi.

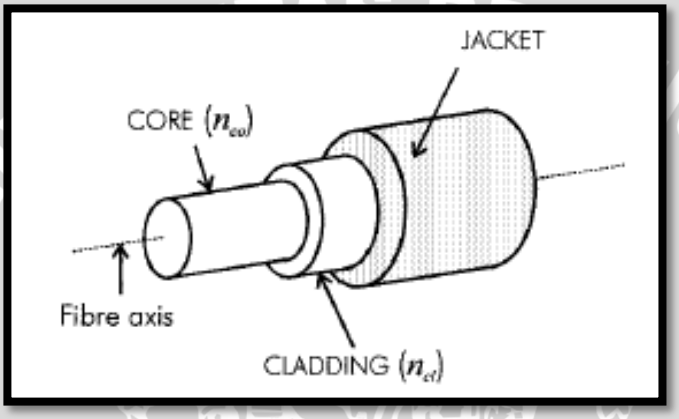
Tabel 2.4. Perbandingan biaya media transmisi rumahan

	POF	SMF	MMF
Kabel (Rp/m)	4.700	27.300	30.550
Konektor gantung (Rp)	0	235.000	220.000
Konverter media (Rp/W)	470.000/0.85	1.100.000/1.15	627.00/1.15
Switch (Rp/port)/(W/port)	157.000/0.4	157.000/0.5	157.000/0.6

(Sumber: Genexis, 2013)

2.3.1 Struktur plastic optical fiber

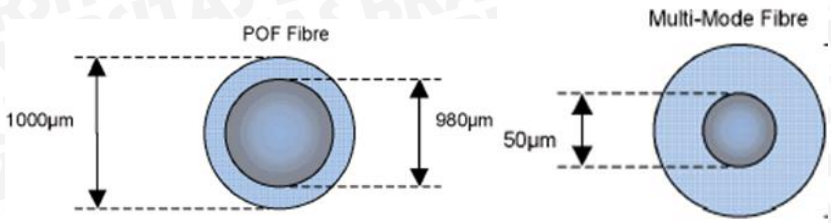
Plastic optical fiber memiliki struktur dasar sebagaimana serat optik kaca yaitu silinder konsentris yang bagian dalamnya disebut inti (*core*) dan bagian luarnya disebut selubung (*cladding*). Dan lapisan terluar merupakan lapisan pelindung (*jacket*). Sebagian besar cahaya menjalar di sepanjang *core*, yang dicapai dengan mengelilingi *core* dengan *cladding* dari indeks bias lebih rendah . Cahaya menjalar di dalam inti berdasarkan prinsip *total internal reflection* akibat perbedaan indeks bias pada bidang batas inti – selubung.



Gambar 2.8. Struktur *Plastic Optical Fiber*
(Sumber: Joseba Zubia, et al, 2010)

Plastic optical fiber yang paling umum digunakan adalah yang intinya terbuat dari *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) dengan indeks bias sekitar 1.49. Sebagai selubung umumnya digunakan bahan-bahan kopolimer dari *methacrylate, fluoro-alkyl,* dan *tetrafluoroethylene* dengan indeks bias sekitar 1.40 – 1.42. Serat optik PMMA dapat dioperasikan pada temperatur -40 hingga 85^{o}C, kelembaban hingga 95%, pembebanan hingga 6 kg, serta jari-jari kelengkungan 15-17 cm. Terkait dengan *bandwidth* transmisi, SI-POF dengan *numerical aperture* 0.5 memiliki *bandwidth* sebatas 5 MHz (Yu *et al*, 2007).

Pada POF, diameter serat umumnya sekitar 1 mm dan 90% bagian adalah inti dan terdapat selubung berupa lapisan tipis yang menyelimuti inti sehingga lebih mudah menerima cahaya dibandingkan dengan serat optik kaca *multimode* yang diameter intinya sekitar 50 μm. Pada Gambar 2.9 diperlihatkan perbedaan dimensi *plastic optical fiber* dengan serat optik kaca *multimode*,



Gambar 2.9. Dimensi *plastic optical fiber* dan serat optik kaca *multimode*
(Sumber : Mike Jones, 2007)

2.3.2 Standardisasi plastic optical fiber

ITU-T G.hn: G.9960 *and related recommendations* telah menetapkan standard internasional tentang spesifikasi produk serat optik, *plastic optical fiber* jenis *multimode* masuk dalam kelas A4. Pada tahun 2007, A4a dibagi lagi menjadi dua bagian. Kelas A4a.1 menjelaskan tentang POF untuk aplikasi level rendah seperti sensor jarak pendek dan iluminasi. A4a.1 menjelaskan serat dengan redaman pada 650 nm sebesar 30-40 dB/100 m, *bandwidth* minimum 10MHz untuk 100 m, dan rugi-rugi *macrobending* maksimal untuk 10 lilitan sebesar 0.5 dB. Sedangkan A4a.2 menjelaskan POF untuk aplikasi komunikasi data (POF-Plus, 2011).

Spefikasi lebih lengkap mengenai masing-masing jenis kabel A4 dijelaskan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Spesifikasi *plastic optical fiber* kategori A4

Parameter	Satuan	Kelas A4a	Kelas A4b	Kelas A4c	Kelas A4d
Diameter Selubung	Mm	1000 ± 60	750 ± 45	500 ± 30	1000 ± 60
Diameter *jacket*	Mm	2.2 ± 0.2	2.2 ± 0.1	1.5 ± 0.1	2.2 ± 0.1
Rugi-rugi pada 650 nm	dB/km	≤ 400	≤ 400	≤ 400	≤ 400
Bandwidth	MHz-100m	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 100
Rugi-rugi *bending*	dB/10 lilitan	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
NA	-	0.5 ± 0.15	0.5 ± 0.15	0.5 ± 0.15	0.3 ± 0.10

(Sumber: IEC, 2009)

2.4 Tekanan dan *Microbending*

2.4.1 Tekanan

Tekanan adalah besaran gaya yang bekerja pada suatu luasan tertentu. Dapat dirumuskan tekanan sebagai berikut :

$$p = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Keterangan : p =Tekanan (Newton/m^2)

F =Gaya (Newton)

A =Luas pemukaan (m^2)

Tekanan disebabkan oleh gaya. Ada beberapa macam gaya yang kita kenal diantaranya:

1. Gaya gesek
2. Gaya gravitasi
3. Gaya otot
4. Gaya mesin
5. Gaya pegas
6. Gaya magnet

Pada penelitian ini akan digunakan satu macam gaya yaitu Gaya Berat. Gaya berat merupakan gaya tarik antara dua benda yang memiliki massa. Gaya ini juga disebut gaya gravitasi. Adanya gaya gravitasi bumi menyebabkan semua benda yang ada di permukaan bumi selalu ditarik ke arah pusat bumi. Semakin jauh dari pusat bumi, maka berat benda semakin berkurang.

Khusus pada pengukuran performansi *Plastic Optical Fiber* ini digunakan gaya berat. Adapun berdasarkan konsep hukum newton II dimana "suatu benda akan mengalami percepatan apabila dikenai gaya oleh benda dengan massa tertentu". Rumus Gaya adalah :

$$F = m.\ a \quad (5)$$

Keterangan : F = Gaya (Newton)

m= massa(kg) ; a=percepatan(m/s^2)

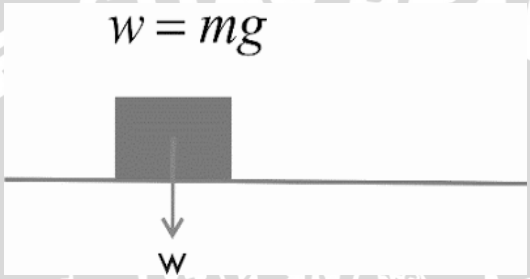
Jika diterapkan untuk perhitungan gaya berat , maka Rumus gaya dari Hukum newton II berubah sebagai berikut :

$$F = W = m \cdot g \quad (6)$$

Keterangan : W = Gaya Berat (Newton) atau (N)

m = massa (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2) = 9.8 m/s^2



Gambar 2.10. Ilustrasi arah gaya berat

(Sumber : Gomuda.com , 2012)

Dengan adanya tekanan ini, pada fisik POF mengalami perubahan secara fisik kabel (microbending) dan menyebabkan berubahnya indeks bias pada inti POF . Perubahan indeks bias yang dipengaruhi dengan tekanan dapat dirumuskan sebagai berikut dan hasil perhitungan terdapat pada lampiran: (Mostafa H. Ali,2003)

$$n^2(\lambda, p) = A + \frac{B\lambda^2}{\lambda^2 - C} + \frac{D\lambda^2}{\lambda^2 - E} \quad (7)$$

Keterangan :

n = indeks bias

λ = panjang gelombang (m)

p = tekanan (N/m^2)

$A = 1.29552 + 9.86385 \times 10^{-6}\, p + 0.544763 \times 10^{-8}\, p^2$

$B = 0.809872 + 42.0899 \times 10^{-6}\, p - 1.71823 \times 10^{-8}\, p^2$

$C = 1.07945 \times 10^{-2} - 0.56693 \times 10^{-8}\, p + 0.894313 \times 10^{-10}\, p^2$

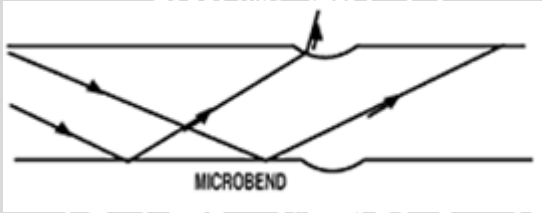
$D = 0.917151 + 38.7911 \times 10^{-6}\, p - 1.13552 \times 10^{-8}\, p^2$

E = 100

2.4.2 *Microbending*

Dalam komunikasi serat optik, memungkinkan terjadinya gangguan karena faktor internal maupun eksternal. Pengaruh faktor eksternal dapat disebabkan oleh alam maupun buatan manusia. Aplikasi dalam sistem komunikasi optik, gangguan eksternal tidak dapat diprediksi secara akurat karena perubahan tersebut dapat terjadi sewaktu-waktu. Salah satu faktor buatan manusia yaitu tekanan terhadap fisik kabel optik yang dapat menyebabkan gangguan *microbending.*

Microbending merupakan rugi-rugi hamburan yang disebabkan karena terjadi penyusutan termal bahan inti dan selubung yang tidak sama yang mengakibatkan lekukan kecil pada serat optik. Proses penggulungan kabel serat optik dalam gulungan dapat menyebabkan perubahan diameter inti. Selain itu juga pengaruh tekanan yang berlebihan pada POF dapat menyebabkan terjadinya *microbending.*



Gambar 2.11. Ilustrasi terjadi microbending
(Sumber : archives.sensorsmag.com ,2012)

2.5 Kinerja serat optik

Terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas sistem komunikasi digital, termasuk sistem komunikasi serat optik, diantaranya BER (*Bit Error Rate*) dan *eye pattern*. Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing parameter tersebut.

2.5.1 *Bit Error Rate* (BER)

Dalam sistem digital, perhitungan kinerja yang paling dasar adalah dengan menganalisis probabilitas bit tidak tertransmisi dengan baik (*error*). Probabilitas tersebut diukur menggunakan BER *Tester* atau BERT. BER adalah rasio atau perbandingan *bit error* (Eb) terhadap total bit yang ditransmisikan (Tb) dalam suatu periode waktu t detik.

$$\text{BER} = \frac{Eb}{Tb} \qquad (8)$$

BER (*Bit Error Rate*) atau dengan sebutan lain probabilitas bit *error* (P_e) merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER menyatakan berapa jumlah *bit error* yang terjadi dalam dalam satuan detik. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah bit *error* terhadap total bit yang diterima dengan rentang nilai BER 0-1.

Untuk seluruh aplikasi *Recommendation* ITU-T G.691, ITU-T G.692, ITU-T G.693, ITU-T G.695, ITU-T G.698.1, ITU-T G.698.2 and ITU-T G.959.1, telah disebutkan bahwa sistem optik harus didesain dengan nilai BER tidak kurang 10^{-12}. Sedangkan menurut *Recommendation* ITU-T G.957, syarat BER adalah 10^{-10}.

Dalam pengukuran performansi terdapat waktu pengambilan data error eye pattern (ΔT) . Hal ini membuat BER menjadi fungsi waktu. Dan diambil data kecepatan pengiriman bit (B), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\Delta T = \frac{1}{BER \,.\, B} \tag{9}$$

Jika digunakan untuk perhitungan BER , maka rumus di atas dapat diubah menjadi rumus berikut

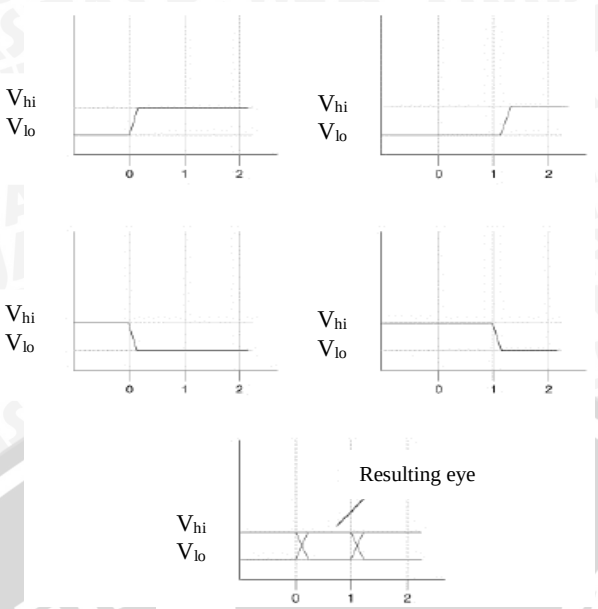
$$\text{BER} = \frac{1}{\Delta T \,.\, B} \tag{10}$$

Dari rumus di atas dapat diterangkan BER adalah Bit Error Rate, ΔT adalah waktu pengambilan data pada eye pattern.(Rongqing Hui ,2009).

2.5.2 *Eye pattern*

Eye pattern atau *eye diagram* adalah tampilan osiloskop dari sinyal digital yang mengalami proses *sampling* beberapa kali untuk mendapatkan tampilan dari karakteristik sinyal tersebut. Dari tampilan tersebut kta dapat mengetahui kualitas dari sinyal optik. Menurut ITU-T *Recommendation*, indikasi dari kualitas sinyal ini dapat dikuantitasikan dengan mendefinisikan *eye mask* pada sinyal referensi yang ditransmisikan.

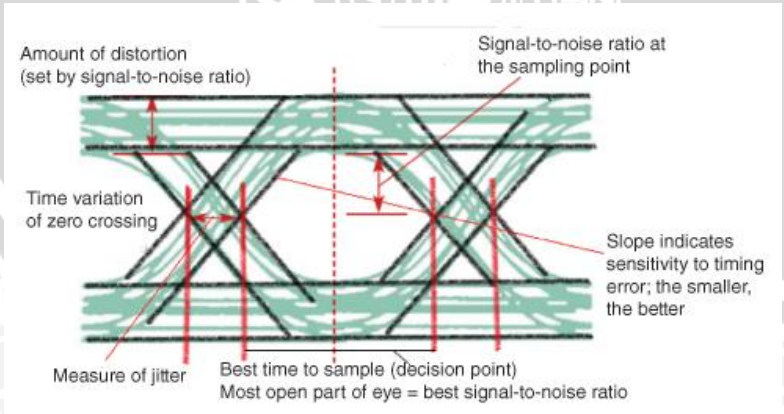
Pengukuran *eye diagram* menggunakan domain waktu dan ditampilkan dalam osiloskop. *Eye pattern* terbentuk dengan melakukan *superimpose* dari berbagai baris bit satu sama lain. Contohnya jika bit 011, 001, 100, dan 110 di-*superimpose* satu sama lain maka akan didapatkan bentuk *eye diagram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Pembentukan *eye diagram*

(Sumber: Behera *et al*, 2011)

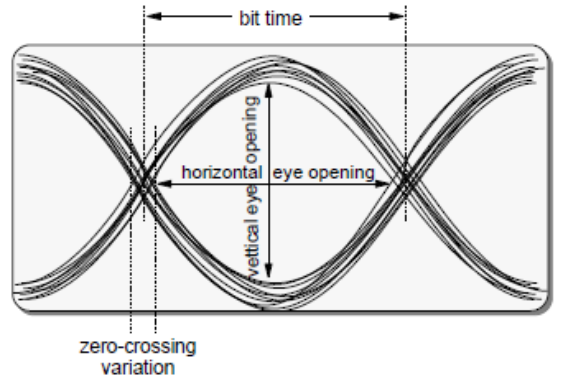
Pada sistem optik, karakteristik sinyal dari pemancar yang terdiri dari *rise time*, *fall time*, *pulse overshoot*, *pulse undershoot*, dan *ringing* dispesifikasikan dalam bentuk *mask* dari *eye diagram* pemancar. Untuk mengevaluasi sinyal yang dipancarkan, penting halnya untu mengevaluasi tidak hanya *eye opening*, tapi juga batas *overshoot* dan *undershoot*. Pada Gambar 2.9, secara spesifik ditunjukkan informasi yang didapatkan dari *eye diagram* seperti waktu terbaik untuk melakukan *sampling* yaitu ketika *eye opening* terbesar, *Signal to Noise Ration* (SNR), dan besar *jitter* serta distorsi..



Gambar 2.13. Informasi yang terdapat pada *eye diagram*

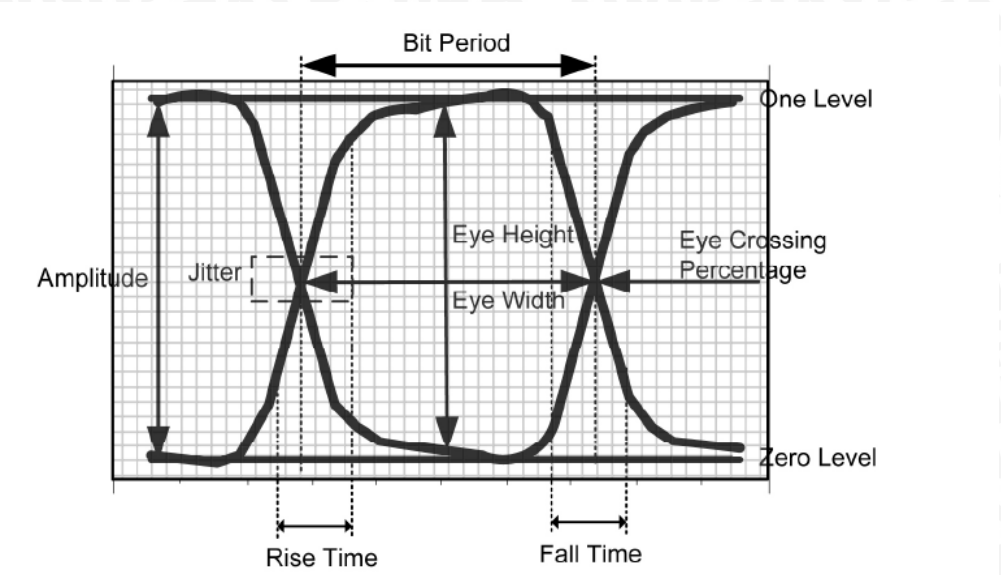
(Sumber: Behera *et al*, 2011)

Berikut adalah hal-hal yang harus diperhatikan dalam menganalisis skema *eye diagram* pada Gambar 2.10.



Gambar 2.14. Skema *eye diagram*
(Sumber: Dutton, 1998)

- *Vertical eye opening* menunjukkan besar perbedaan level sinyal yang menunjukkan perbedaan bit satu dan bit nol. Semakin besar perbedaannya maka akan semakin mudah untuk membedakan nol dan satu. Hal ini menunjukkan pengaruh *noise* pada sistem.
- *Horizontal eye opening* menunjukkan nilai *jitter* pada sinyal. Semakin lebar *eye opening* pada sumbu ini, maka semakin sedikit *jitter* yang terjadi.
- Ketebalan pita pada *zero-crossing point* juga mengukuran besar *jitter* pada sinyal.
- Parameter terbaik untuk menentukan baik tidaknya sinyal adalah pada ukuran *eye opening* sinyal tersebut. Semakin besar ukurannya makan akan semakin mudah untuk mendeteksi sinyal dan semakin kecil *error rate*-nya. Ketika kondisi *eye* menutup maka akan sangat sulit bahkan hampir tidak mungkin untuk mengetahui data dari sinyal tersebut. Hal ini berkaitan dengan BER dan SNR dari sinyal. Semakin besar *eye opening*, semakin kecil BER sinyal tersebut.
- Ukuran sinyal di bagian atas dan bawah merepresentasikan *noise* pada sinyal. Semakin tipis, maka semakin baik karena *noise* sedikit.



Gambar 2.15. Penyederhanaan *eye diagram* untuk menunjukkan parameter kinerja

(Sumber: Keiser, 2004)

Selain itu, dari *eye diagram* pada Gambar 2.11 dapat dihitung parameter-parameter berikut:

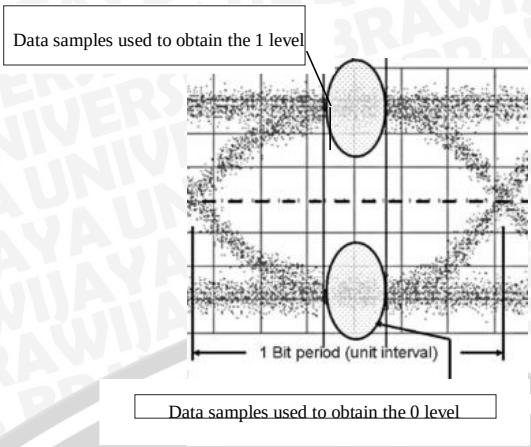
- *Noise margin* atau kekebalan terhadap *noise* yang ditunjukkan dengan panjang *eye opening* pada waktu *sampling*. *Noise margin* adalah ratio persentase dari puncak sinyal V_1 yang dilihat dari besar *eye opening* terhadap tegangan maksimum sinyal V_2. Secara matematis ditulis sebagai berikut (Keiser, 2004):

$$Noise\ margin\ (\%) = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \qquad (11)$$

- *Timing jitter* dapat dihitung dari jumlah distorsi (ΔT) dan *bit interval* (T_b) dengan persamaan berikut (Keiser, 2004):

$$Timing\ jitter\ (\%) = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \qquad (12)$$

- *Bit rate* adalah salah satu parameter yang berhubungan dengan kecepatan transmisi data. Penurunan *bit rate* pada sebuah sistem menunjukkan penurunan rugi-rugi transmisi, hal ini disebabkan oleh dispersi atau ISI. Nilai *bit rate* berbanding terbalik dengan *Unit Interval* (UI) sebuah *eye mask* (Decusatis, 2008).

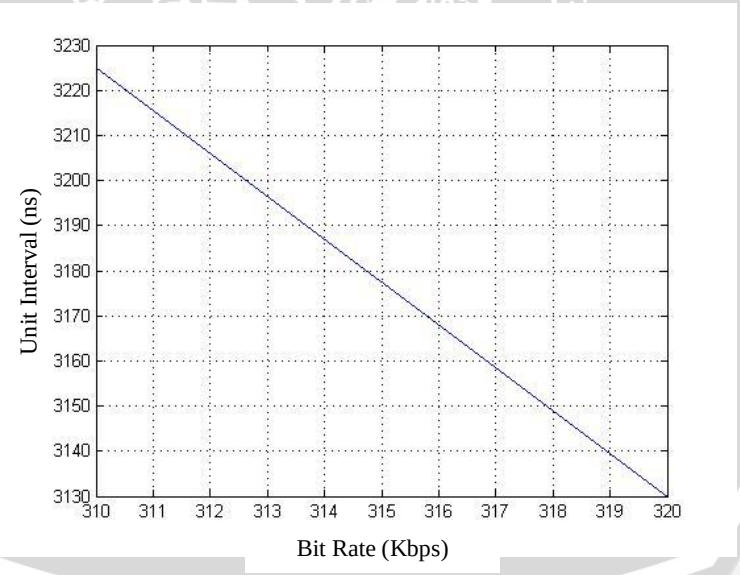


Gambar 2.16. *Eye Diagram* Dalam Menentukan *Unit Interval*
(Sumber: Decusatis, 2008)

Unit interval dapat dilihat pada Gambar 2.24 dan Persamaan 13 digunakan untuk menghitung *bit rate*.

$$Bitrate = \frac{1}{UI} \tag{13}$$

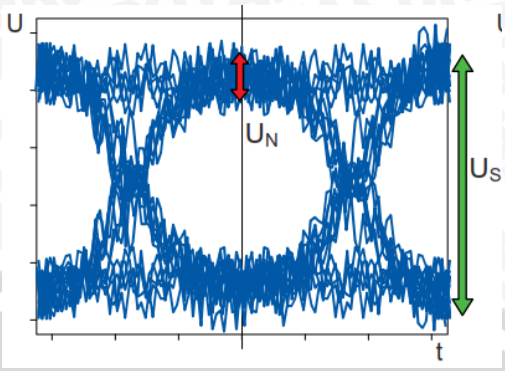
Ilustrasi secara grafik persamaan 13 ditunjukkan pada Gambar 2.17, dapat dilihat bahwa grafik turun secara linier. Hal ini menjelaskan bahwa semakin kecil *unit interval*, maka semakin besar *bit rate*.



Gambar 2.17. Grafik Hubungan *Unit Interval* Terhadap *Bit Rate*

- *Signal to noise ratio* (SNR) adalah parameter dalam menentukan kualitas sinyal pada sistem digital dengan menghitung perbandingan daya sinyal dengan daya *noise*. Semakin besar nilai SNR, maka semakin baik kualitas

sinyal. Pada level daya rendah, SNR akan turun sehingga menunjukkan besar *noise* yang meningkat.



Gambar 2.18. *Eye Diagram* Dalam Menentukan SNR
(Sumber: Ziemann, 2007)

Menentukan nilai SNR dari *eye diagram* yaitu dengan menentukan nilai U_s dan U_n. Nilai U_s ditentukan dari selesih V_1 dan V_2, sedangkan nilai U_n ditentukan dari nilai *eye amplitude*, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.26. Persamaan (14) digunakan untuk menghitung nilai SNR.

$$SNR(dB) = 20\log\frac{Us}{Un} \qquad (14)$$

2.6 FCL *Advance Fiber Optic Communication Lab*

Advance Fiber Optic Communication Lab terdiri dari dasar-dasar serat optik seperti karakteristik pemancar dan penerima, kabel serat optik, LED dan detektor, berbagai jenis teknik modulasi dan demodulasi, multipleksing dan demultipleksing, serta komunikasi PC ke PC dengan metode serial. Banyak eksperimen yang dapat dilaksanakan dengan alat ini dengan mengacu pada panduan yang telah disediakan. Buku panduan memuat dokumentasi dari setiap eksperimen, *data sheet* komponen optik yang digunakan, serta blok diagram percobaan.

Perangkat percobaan ini terdiri dari empat modul. Dua di antaranya ditujukan untuk percobaan komunikasi analog dan dua lainnya untuk percobaan komunikasi digital menggunakan serat optik. Catu daya disediakan terpisah sehingga beberapa percobaan dapat dilakukan bersamaan. Modul *function generator* dapat membangkitkan berbagai sinyal yang diperlukan untuk mendukung sistem. Perangkat dapat digunakan pada kondisi temperatur 0-45^{o}C dan kelembaban 20-80%.

2.6.1 FCL-03 *Fiber Optic Analog and Digital Modulation and Demodulation Kit*

FCL-03 adalah perangkat modulasi dan demodulasi analog dan digital yang terdiri dari pemancar serat optik 660nm, *Pin Photo Diode* dengan penguat *transimpedance*, *Photo Transistor* dengan *photo detectors* keluaran logika TTL sebagai penerima, rangkaian modulasi dan demodulasi, serta perangkat komunikasi antar PC.

Gambar 2.19. Perangkat FCL-03

(Sumber: e-Manual *Advance Fiber Optic Communication Lab*, 2011)

2.6.2 FCL-04 *Fiber Optic Advance Digital Communication Kit*

FCL-04 adalah perangkat komunikasi digital yang didesain untuk melakukan percobaan komunikasi digital menggunakan serat optik sebagai media transmisi penyaluran data. Perangkat ini menggunakan LED merah 660nm dan *photo transistor* dengan keluaran TTL sebagai sensor optik. Saluran optik dapat membawa data dengan kecepatan 512 Kbits/Sec.

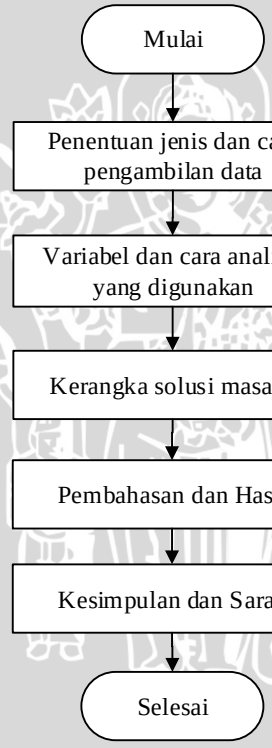
Gambar 2.20. Perangkat FCL-04

(Sumber: e-Manual *Advance Fiber Optic Communication Lab*, 2011)

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian dalam skripsi ini adalah penelitian yang bersifat eksperimen yaitu menguji dan menelaah pengaruh variasi beban diam terhadap kinerja POF jenis *step index multimode* sebagai media transmisi dalam komunikasi serat optik. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penentuan jenis dan cara pengambilan data, variabel dan cara analisis yang digunakan, serta kerangka solusi masalah yang disajikan dalam bentuk diagram alir dan pembahasannya. Diagram alir tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.

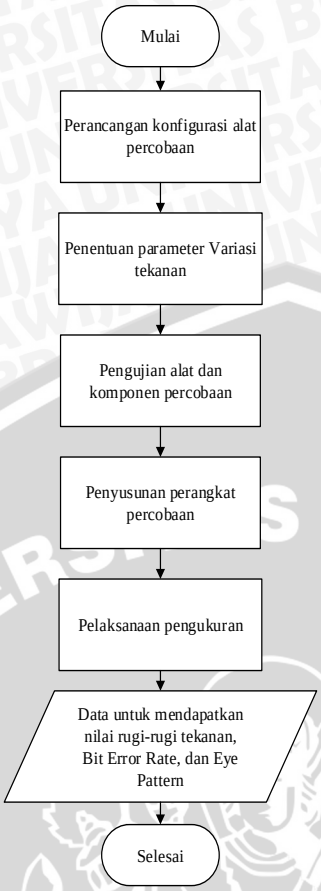


Gambar 3.1. Langkah penyusunan penelitian

(Sumber : Perencanaan, 2015)

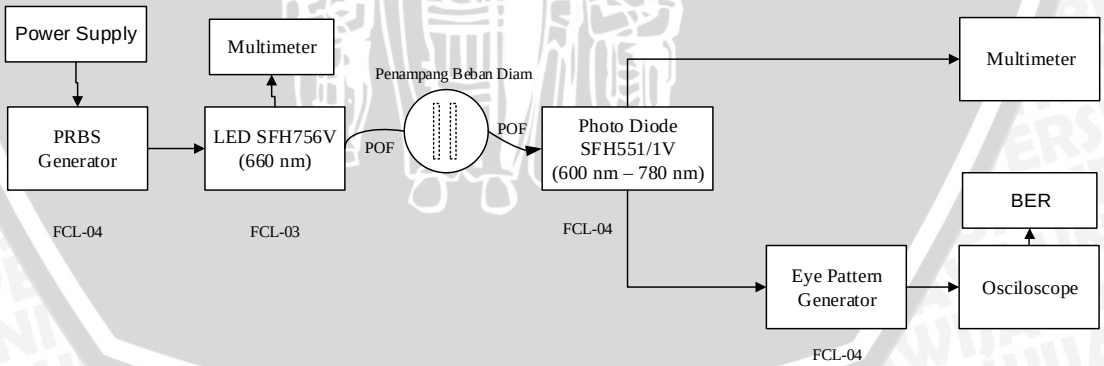
3.1 Penentuan Jenis dan Cara Pengambilan Data

Data-data yang diperlukan dalam kajian penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data hasil pengukuran pengaruh suhu rendah terhadap kinerja POF jenis *step index multimode* dilihat dari parameter BER dan *eye pattern.* Pada Gambar 3.2 ditampilkan diagram alir metode pengambilan data primer melalui eksperimen.

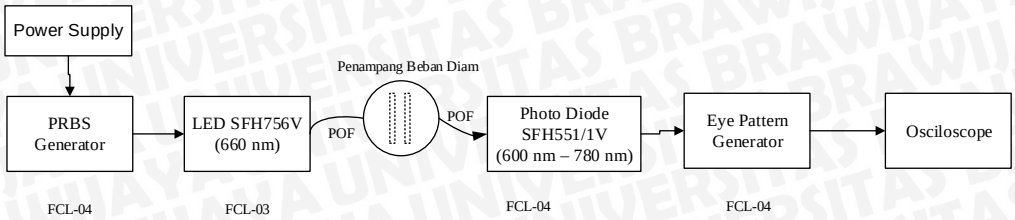


Gambar 3.2 Langkah Pengambilan Data Eksperimen

Rancangan konfigurasi perangkat eksperimen ditunjukkan dalam bentuk blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Blok Diagram Konfigurasi Pengukuran BER



Gambar 3.4 Blok Diagram Konfigurasi Pengukuran *Eye Pattern*

Data sekunder yang digunakan berasal dari jurnal, skripsi, internet, dan buku referensi. Data sekunder dalam pembahasan skripsi ini diperlukan sebagai bahan yang mendasari konsep-konsep yang terkait dengan pengaruh variasi tekanan beban diam terhadap kinerja POF jenis *step index multimode*. Data yang diperlukan untuk menunjang penulisan skripsi ini adalah konsep dasar komunikasi serat optik, POF, pengaruh tekanan beban diam, *microbending*, dan parameter kinerja serat optik yaitu BER dan *eye pattern.*

3.2 Variabel dan Cara Analisis Data

Penelitian ini menggunakan beberapa variabel yang ditekankan kepada parameter kinerja, yaitu BER, *noise margin*, *timing jitter*, *signal to noise ratio,* dan *bit rate.* Variabel bebas yang digunakan adalah variasi besar beban diam yang diberikan terhadap kinerja POF. Analisis data primer dilakukan dengan pendekatan matematis seperti yang ditunjukkan dalam rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian. Analisis dilakukan dengan menggunakan data primer dari hasil eksperimen yang disesuaikan dengan konsep dasar dari data sekunder.

3.3 Kerangka Solusi Masalah

Skripsi ini menggunakan kerangka solusi masalah yaitu berupa tahapan dalam bentuk diagram alir yang dilakukan untuk penyelesaian masalah.

3.4 Langkah Analisis *Eye Pattern* dan BER

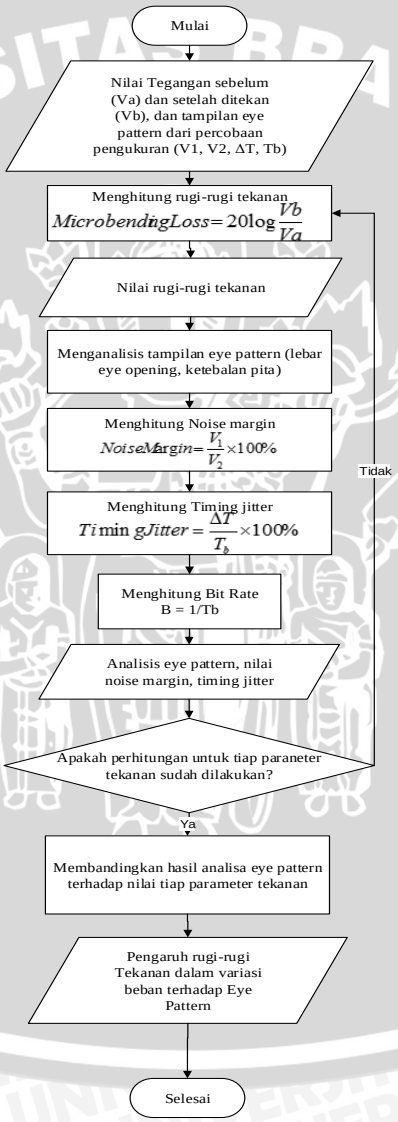
Metode analisis data yang dilakukan adalah menggunakan data primer dari hasil pengukuran dan dari data sekunder yang disesuaikan dengan ver yang digunakan untuk kemudian dianalisis. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi parameter sebagai berikut:

1. *Eye Pattern*
2. *Bit Error Rate* (BER)

Berikut langkah – langkah perhitungan dan analisis untuk tiap parameter kinerja yang diinginkan:

1. Analisis pengaruh rugi-rugi variasi tekanan beban diam pada POF terhadap bentuk *eye pattern*

Eye pattern atau *eye diagram* merupakan parameter kinerja jaringan yang diperoleh dari tampilan osiloskop. Dari tampilan *eye pattern* tersebut selanjutnya akan diukur parameter kinerja lain seperti *noise margin, timing jitter, SNR*, dan *bit rate*. Berikut merupakan langkah analisis pengaruh rugi-rugi tekanan beban diam terhadap bentuk *Eye Pattern:*

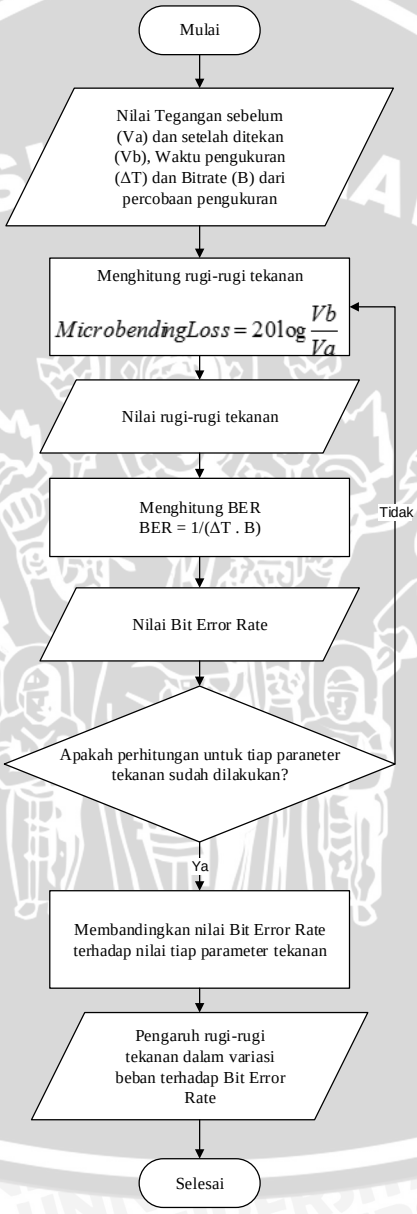


Gambar 3.4. Diagram Alir Analisis Pengaruh variasi tekanan beban diam terhadap *Eye Pattern*

(Sumber: Perencanaan, 2015)

2. Analisis pengaruh pengaruh variasi tekanan beban diam terhadap *bit error rate*

Perhitungan *bit error rate* merupakan perbandingan *error bit* (bit error) tehadap seluruh *transmitted bit* (bit yang ditransmisikan). Untuk menganalis pengaruh pengaruh variasi beban diam terhadap BER kita harus mengetahui nilai BER pada tiap terjadi penambahan beban. Gambar berikut merupakan diagram alir langkah analisis pengaruh pengaruh variasi beban diam terhadap *bit error rate*:



Gambar 3.5. Diagram Alir Analisis Pengaruh pengaruh variasi tekanan beban diam terhadap *Bit Error Rate*

(Sumber: Perencanaan, 2015)