

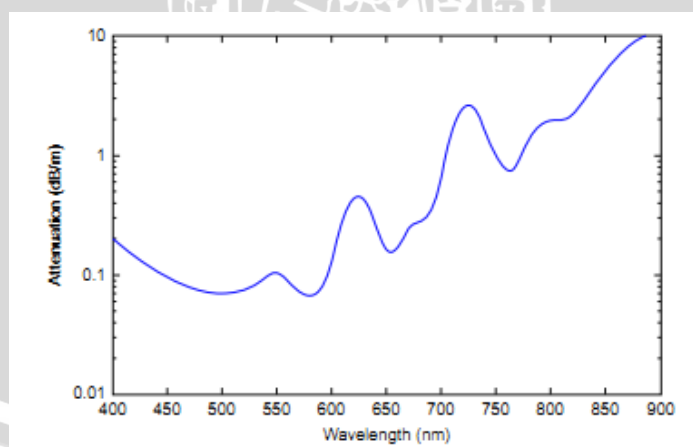
BAB II

DASAR TEORI

2.1. *Plastic Optical Fiber (POF)*

Plastic optical fiber merupakan salah satu jenis serat optik yang terbuat dari plastik. Umumnya bahan *polymethylmethacrylate* (PMMA) atau *plexiglass* dengan indeks bias 1,49 digunakan sebagai *core*. POF yang terbuat dari bahan PMMA umumnya bekerja dengan gelombang tampak (merah, hijau, atau biru). POF dapat bekerja pada suhu lingkungan yang cukup tinggi, yaitu 70° C hingga 85° C (Silvio Abrete, 2013).

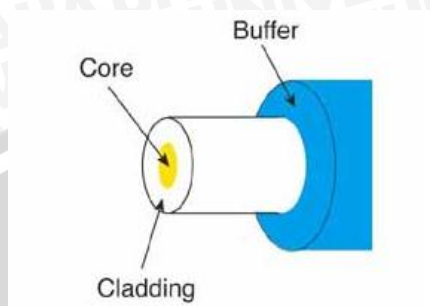
POF digunakan sebagai pengganti *Glass Fiber Optic* (GOF) pada komunikasi jarak pendek dan umumnya tidak lebih dari 1 km. POF biasanya digunakan sebagai saluran transmisi yang berada di dalam rumah atau gedung. Proses instalasi POF lebih mudah dilakukan dan harga POF lebih murah. POF menawarkan banyak 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 2.1 menunjukkan grafik pelemahan POF dengan bahan dasar PMMA terhadap panjang gelombang.



Gambar 2.1. Grafik Pelemahan POF terhadap Panjang Gelombang
(Sumber: Silvio Abrate, 2013)

Struktur penyusun POF sama dengan serat optik yang terbuat dari bahan silika. Sinyal optik dikirimkan melalui inti serat optik yang dikelilingi oleh *cladding*. *Cladding* diselimuti oleh pelindung *buffer* untuk mencegah serat optik

dari kelembapan dan kerusakan mekanis. Bagian-bagian serat optik diilustrasikan pada Gambar 2.2. Inti serat optik dan cladding memiliki indeks bias yang berbeda agar cahaya dapat ditransmisikan dengan menggunakan prinsip *total internal reflection*.

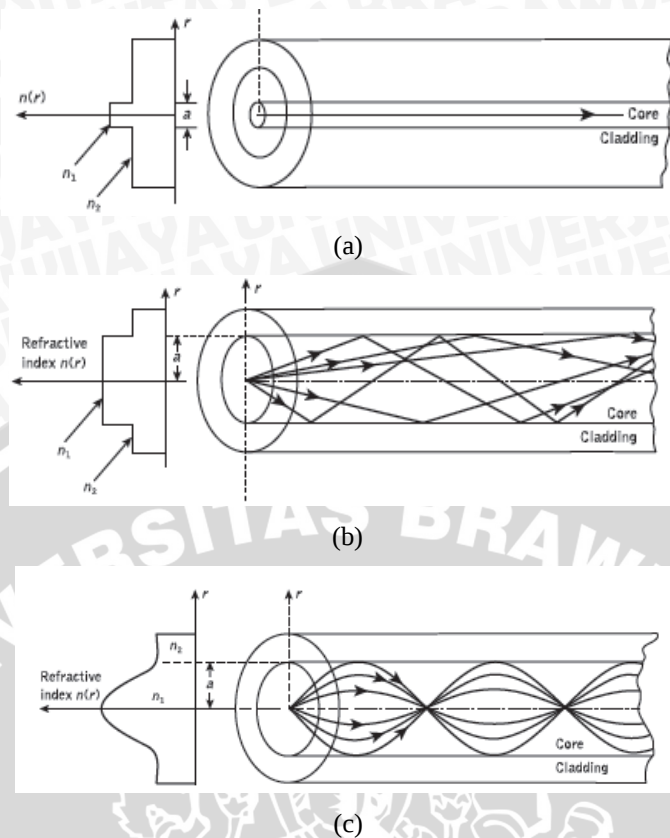


Gambar 2.2. Struktur Serat Optik
(Sumber: <http://www.electronicweekly.com/>)

Berdasarkan jumlah mode yang dapat dikirimkan, serat optik dibagi menjadi dua jenis, yaitu serat optik *single mode* dan *multimode*. Pada serat optik *single mode*, hanya ada satu modus yang dikirimkan melalui serat optik dan tidak ada dispersi antar modus yang terjadi. Sehingga serat optik *single mode* cocok digunakan untuk jarak jauh.

Sedangkan pada serat optik *multimode*, ada lebih dari satu modus yang dapat dilewatkan secara bersamaan pada satu serat optik. Jumlah modus yang dapat dilewatkan oleh suatu serat optik bergantung pada sudut penerimaan serat optik tersebut dan secara tidak langsung bergantung pada perbandingan indeks bias *cladding* dan indeks bias inti serat optik. Serat optik jenis *multimode* ini cocok digunakan untuk jarak pendek karena adanya rugi-rugi yang muncul dari dispersi antar modus.

Serat optik *multimode* dibagi menjadi dua macam yaitu serat optik *step index multimode* dan *graded index multimode*. Serat optik *step index* memiliki indeks bias inti yang sama di seluruh bagian inti. Disebut dengan *step index* karena serat optik jenis ini memiliki karakteristik indeks bias antara inti dan *cladding* yang berupa *step* (satu perbedaan). Sedangkan serat optik *graded index* memiliki indeks bias inti yang berbeda di setiap jarak radial. Indeks bias *graded index* berkurang seiring dengan jarak radial dari nilai maksimal yang berada pada tengah inti ke nilai minimum pada *cladding*. Perbedaan struktur ketiga jenis serat optik tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Macam-macam serat optik
 (a) Serat optik *single mode*
 (b) Serat optik multimode step index
 (c) Serat optik multimode graded index
 (Sumber: Takis Hadjifotiou)

2.2. Penjalaran Cahaya pada Serat Optik

Prinsip perambatan sinyal optik adalah dengan menggunakan Hukum Snellius pada Persamaan 2.1 (Berry Elliot *et al*, 2002).

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.1)$$

Dengan:

i = sudut datang

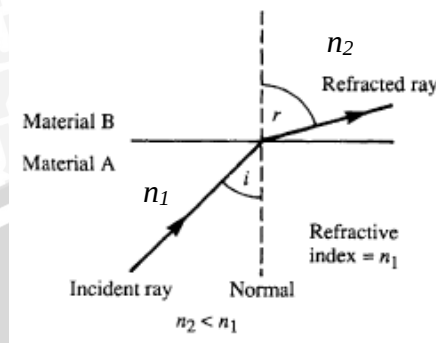
r = sudut bias

n_2 = indeks modulasi medium 2

n_1 = indeks modulasi medium 1

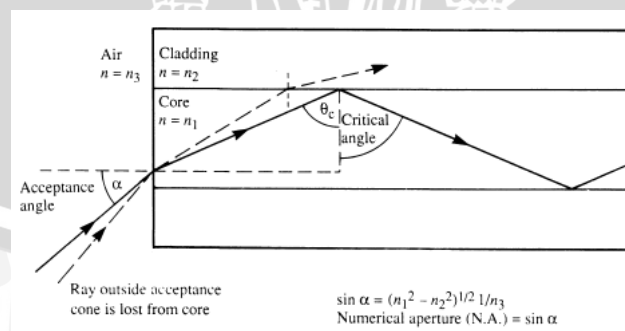
Dari persamaan 2.1 didapatkan bahwa jika cahaya merambat dari medium yang rapat (n_1) ke medium yang kurang rapat (n_2), maka cahaya akan dibiaskan menjauhi garis normal. Sudut datang dan sudut bias diukur dari garis normal yang

berupa garis vertikal putus-putus pada gambar, seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Pembiasan Cahaya
(Sumber: Barry Elliot *et al*, 2002)

Jika sudut datang diperbesar secara 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*). Jika sudut datang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya akan dipantulkan kembali oleh medium yang kurang rapat (n_2) ke medium yang rapat (n_1). Dengan menggunakan sudut tertentu dan lebih besar dibanding sudut kritis sebagai sudut masukan bagi sinyal optik, maka *total internal reflection* didapatkan. *Total internal reflection* inilah yang membuat 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 sinyal optik hilang (digambarkan dengan garis putus-putus). Ilustrasi perambatan sinyal optik dalam inti serat ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Penjalaran Cahaya dalam Serat Optik
(Sumber: Barry Elliot, 2002)

Parameter sudut penerimaan dari serat optik berkembang menjadi sebuah parameter baru, yaitu *Numerical Apertur* (NA). NA merupakan parameter yang mengukur kemampuan serat optik untuk mengumpulkan atau memerangkap sinar cahaya. Berbeda dengan sudut penerimaan yang hanya mengindikasikan seberapa banyak cahaya yang dapat diterima masuk ke dalam serat optik. Nilai NA suatu kabel serat optik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.2 (Berry Elliot *et al*, 2002).

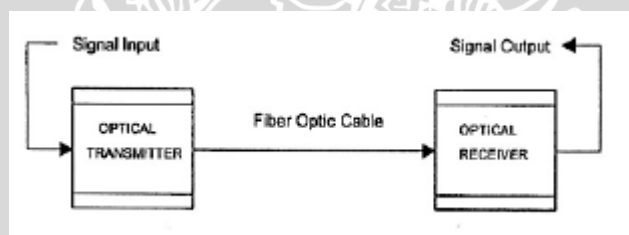
$$NA = (n_{inti})^2 - (n_{mantel})^2 \quad (2.2)$$

Dan untuk menghitung sudut penerimaan dari parameter NA dapat digunakan Persamaan 2.3 (Berry Elliot *et al*, 2002).

$$\text{sudut penerimaan} = \arcsin(NA) \quad (2.3)$$

2.3. Sistem Komunikasi Serat Optik

Secara garis besar, sistem komunikasi serat optik terdiri atas tiga bagian utama, yaitu sumber cahaya, kabel serat optik, dan detektor cahaya (Catur, 2002). Gambar 2.6 merupakan ilustrasi sistem komunikasi serat optik secara sederhana.



Gambar 2.6. Sistem Komunikasi 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 spektrum yang lebih besar dibanding dengan LD sehingga LED tidak dapat membangkitkan cahaya monokromatik, sehingga efisien LD lebih baik dibanding dengan LED. Namun LED memiliki harga yang lebih murah dibanding

LD. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan beberapa karakteristik LED dan LD sebagai sumber optik.

Tabel 2.1. 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 : Syauki, 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 haruslah memiliki sensitivitas yang tinggi dan memiliki respon yang cepat terhadap data yang diterima. Ada 2 jenis detektor optik yang biasa digunakan, yaitu *Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanched Photo Diode* (APD). Tabel 2.2 menunjukkan perbandingan beberapa karakteristik PIN dan APD sebagai detektor optik.

Tabel 2.2. Perbandingan Paramater dan Karakteristik PIN dan APD

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)

2.4. Komunikasi *Peer-to-peer*

Suatu jaringan dapat disebut dengan *peer-to-peer* jika komponen dari jaringan tersebut berbagi salah satu sumber daya yang dimiliki, seperti *processing power*, kapasitas penyimpanan, kapasitas akses jaringan, atau printer. Sumber daya tersebut merupakan sumber daya yang penting untuk menunjang layanan dan konten yang ditawarkan oleh jaringan (seperti berbagi dokumen). Selain itu, sumber daya yang dibagikan dapat diakses oleh *node* yang lain.

Konfigurasi jaringan *peer-to-peer* dapat dikatakan sebagai kebalikan dari konfigurasi *Client/Server*. Pada *Client/Server* ada sebuah perangkat yang berfungsi sebagai *Server* yang melayani perangkat lainnya pada jaringan tersebut. Pada

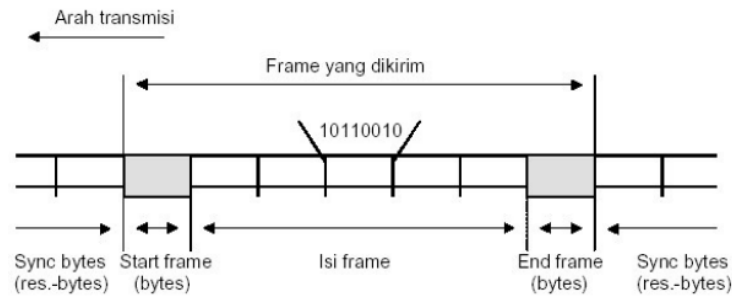
konfigurasi *Client/Server*, sebuah perangkat dapat berperan sebagai *Server* atau *Client* namun dalam waktu yang berbeda. Sedangkan pada konfigurasi *peer-to-peer*, semua perangkat dapat berperan sebagai *Servant (Server-Client)* dalam waktu yang bersamaan. Sehingga kedua perangkat dapat saling bertukar data dalam waktu yang bersamaan (Schollmeier, 2002).

2.5. Komunikasi Serial

Komunikasi serial merupakan metode yang paling awal dikembangkan dalam komunikasi data. Komunikasi serial melakukan komunikasi data dengan mengirimkan 1 *byte* data (7/8 bit untuk setiap *byte*) melalui satu jalur dalam suatu waktu. Karena hanya menggunakan satu jalur untuk mengirimkan data, maka komunikasi serial memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan transmisi. Sehingga hal inilah yang mendasari munculnya komunikasi paralel. Ada beberapa antar muka yang kemudian digunakan sebagai antar muka komunikasi serial, diantara adalah RS-485 dan RS-232.

Selain kekurangannya dalam hal kecepatan, komunikasi serial memiliki beberapa kelebihan, yaitu kemudahan dalam implementasinya karena hanya memerlukan kabel yang lebih sedikit dibanding dengan komunikasi paralel. Sehingga dalam praktik pembuatan rangkaian elektronik, port RS-232 banyak digunakan sebagai antar muka yang menghubungkan rangkaian elektronik dengan PC.

Ada dua jenis metode yang digunakan dalam komunikasi serial, yaitu *synchronous* dan *asynchronous*. Umumnya komunikasi serial menggunakan metode *asynchronous* dalam komunikasi data. Pada metode *synchronous*, pengirim dan penerima memiliki *clock* yang sama dan proses pengiriman data dilakukan dengan mengirimkan beberapa *byte* data sebelum pengirim meminta konfirmasi apakah data telah diterima dengan baik atau tidak. Metode *synchronous* digunakan untuk transmisi berorientasi blok (Suyadi, 2012). Gambar 2.7 menunjukkan sinyal transmisi untuk metode sinkron.



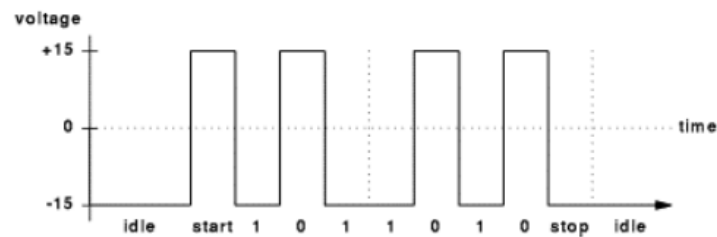
Gambar 2.7. Sinyal Transmisi Sinkron
(Sumber: Suyadi, 2012)

Sedangkan pada metode *asynchronous*, pengirim dan penerima tidak memiliki *clock* yang sama. Pengiriman data pada *asynchronous* dilakukan dengan mengirimkan tiap *byte* dalam setiap pengiriman. Bit '1' dinyatakan dengan kondisi *mark (low)*, dan bit '0' dinyatakan pada kondisi *space (high)*. Gambar 2.8 menunjukkan kondisi *mark* dan *space*.



Gambar 2.8. Kondisi Mark dan Space
(Sumber: www.z80.info/1656.htm)

Setiap *byte* data ditandai dengan *start* dan *stop* bit agar penerima dapat mengetahui awal dan akhir *byte* data yang dikirimkan. *Start* bit selalui bernilai '0', *stop* bit selalui bernilai '1', dan kondisi *idle* ditransmisikan dengan kondisi '1'. Suatu *frame* diawali dari *start* bit, data bit, *parity*, dan *stop* bit. *Start* bit panjangnya hanya 1 bit. Data dalam 1 *byte* bisa terdiri atas 7 atau 8 bit (umumnya 8 bit). *Parity* terdiri dari 1 bit yang digunakan sebagai deteksi kesalahan. Ada dua jenis *parity*, yaitu *odd parity* dan *even parity*. Suatu komunikasi serial bisa berlangsung meskipun tanpa *parity* di dalamnya. Dan bit stop terdiri atas 1 atau 2 bit yang kondisinya sama dengan kondisi *idle*. Dengan kata lain, jika suatu komunikasi data menggunakan metode *asinkron*, maka dalam 1 paket data yang dikirim umumnya ada 10 bit data yang terdiri atas 1 bit *start*, 8 bit data, dan 1 bit *stop*. Gambar 2.9. menunjukkan sinyal transmisi asinkron tanpa menggunakan *parity* bit.



Gambar 2.9. Sinyal Transmisi Asinkron
(Sumber: Varun Jindal, 2006)

Dalam proses pentransmisian data dari PC yang datanya bersifat paralel ke port serial, diperlukan adanya perangkat yang dapat mengubah konfigurasi data paralel dalam komputer untuk kemudian ditransmisikan secara serial, perangkat tersebut adalah *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) dan *Universal Synchronouus Asynchronous Receiver Transmitter* (USART). UART dan USART juga bertugas memberikan *start* dan *stop* bit sebelum data dikirim melalui port serial.

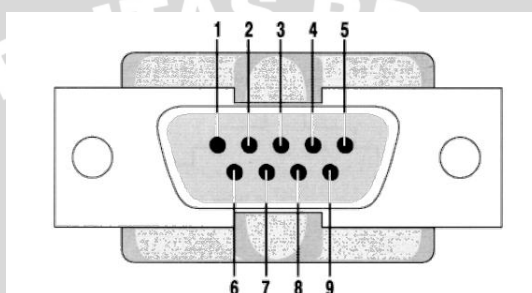
Sebuah parameter yang penting dalam komunikasi serial adalah *baud rate*. *Baud rate* adalah jumlah perubahan sinyal yang terjadi dalam satu sekon atau jumlah simbol yang ditransmisikan dalam satu sekon. Jika jumlah simbolnya adalah satu, maka *bit rate* suatu sistem dapat juga disebut dengan *baud rate*. Bit yang ditransferkan bukan hanya bit-bit data, namun juga bit *start*, data, *parity*, dan *stop* bit. Komputer yang saling berkomunikasi harus memiliki *baud rate* yang sama agar data dapat dibaca dan dikirim. *Baud rate* yang saat ini dipakai secara umum adalah 9600 bps. Standar *baud rate* yang lain adalah 110, 300, 600, 1200, 4800, 1440, 19200, 38400, 57600, 115200, 128000, dan 256000 bps. Standar *baud rate* tersebut dikembangkan berdasarkan teknologi PC keluaran IBM (Suyadi, 2012).

2.6. RS232

RS232 merupakan salah satu standar antar muka (*interface*) serial yang dipublikasikan oleh *Electronics Industries Association* (EIA) pada tahun 1960. Pada R232, bit '1' direpresentasikan sebagai tegangan *low*, yaitu antara -3V hingga -25V, bit '0' direpresentasikan sebagai tegangan *high*, yaitu antara +3V hingga +25V, dan untuk tegangan -3V dan +3V dianggap sebagai status mengambang dan tidak dianggap.

Perangkat yang menggunakan kabel serial untuk komunikasinya adalah *Data Communication Equipment* (DCE) dan *Data Terminal Equipment* (DTE). DCE adalah perangkat seperti modem, plotter, dan modul. Sedangkan DTE adalah komputer atau terminal.

RS232 memiliki 9 pin yang memiliki fungsi masing-masing. Untuk dapat berkomunikasi secara dua arah, RS232 minimal harus menghubungkan 3 pinnya dengan kabel, yaitu pin TX, RX, dan *Ground*. Sedangkan pin dan sinyal yang lain berfungsi dalam proses handshaking. Gambar 2.10 menunjukkan pin yang ada pada RS232 dan berikut adalah fungsi dari tiap-tiap pin pada RS232.



Pin	Signal	Pin	Signal
1	Data Carrier Detect	6	Data Set Ready
2	Received Data	7	Request to Send
3	Transmitted Data	8	Clear to Send
4	Data Terminal Ready	9	Ring Indicator
5	Signal Ground		

Gambar 2.10. Konektor Serial RS232 atau DB9
(Sumber: Suyadi, 2012)

- *Data Terminal Ready* (DTR)
DTR memiliki fungsi untuk mengirimkan sinyal yang menandakan bahwa komputer kita telah siap berkomunikasi dengan perangkat lain. Jika terjadi masalah pada port RS232, maka sinyal DTR tidak diaktifkan. Sinyal ini adalah sinyal aktif rendah.
- *Data Set Ready* (DSR)
Hampir sama dengan komputer dengan sinyal DTR, modem atau perangkat lain yang terhubung ke komputer akan mengirimkan sinyal DSR ke komputer yang menandakan bahwa perangkat tersebut telah siap berkomunikasi. Sinyal ini berjenis aktif rendah dan sinyal ini tidak akan dikeluarkan jika perangkat tersebut dalam keadaan rusak.

- *Request to Send (RTS)*
Sinyal RTS dikirimkan oleh komputer untuk memberitahukan kepada perangkat bahwa komputer tersebut akan mengirimkan data dan perangkat tersebut harus bersiap-siap menerima data. RTS adalah sinyal aktif rendah.
- *Clear to Send (CTS)*
Dalam merespon RTS, perangkat mengirimkan sinyal CTS jika perangkat telah siap menerima data.
- *Data Carrier Detect (DCD)*
DCD adalah sinyal yang dikirimkan oleh perangkat kepada komputer untuk menginformasikan bahwa perangkat tersebut telah mendeteksi adanya *carrier* yang valid dan adanya kontak dengan komputer.
- *Ring Indicator (RI)*
Sinyal ini dikirimkan oleh modem kepada komputer untuk menginformasikan bahwa saluran telah dihubungi dan berbunyi. Bunyi tersebut sama analoginya dengan telepon kita yang berbunyi saat ada orang yang menghubungi kita. Bunyi dalam perangkat digantikan oleh sinyal.
- *Receive Data (RXD)*
Sinyal RXD adalah sinyal yang diterima oleh perangkat jika perangkat telah menerima data dari komputer, dan sebaliknya. Sinyal RXD dikirimkan setelah sinyal TXD diterima.
- *Transmit Data (TXD)*
Sinyal TXD adalah sinyal data yang sebenarnya yang dikirimkan oleh komputer ke perangkat ataupun sebaliknya. Agar dapat berkomunikasi dua arah, pin TXD komputer dihubungkan dengan pin RXD perangkat, dan pin TXD perangkat harus dihubungkan dengan pin RXD komputer.

2.7. Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik

Ada beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas pengiriman data pada komunikasi serat optik, diantaranya *delay* (tundaan),

throughput, dan *eye pattern*. Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing parameter tersebut.

2.7.1. Delay

Delay atau *latency* mendefinisikan waktu yang dibutuhkan oleh keseluruhan pesan untuk sampai di penerima yang dihitung sejak bit pertama dikirim dari sumber. *Delay* terdiri empat komponen, yaitu waktu propagasi, waktu transmisi, waktu antrian, dan *delay* proses. Delay total dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 (Foroizan, 2007).

$$\text{latency} = \text{waktu propagasi} + \text{waktu transmisi} + \text{waktu antrian} + \text{delay proses} \quad (2.4)$$

- Waktu propagasi mengukur waktu yang dibutuhkan untuk sebuah bit dikirim dari sumber ke penerima. Waktu propagasi sinyal elektromagnetik terkait dengan medium perambatannya dan frekuensi dari sinyal. Sebagai contoh, pada ruang hampa cahaya merambat dengan kecepatan 3×10^8 m/s. Kecepatan ini akan berkurang jika cahaya merambat pada udara dan semakin jauh berkurang jika merambat pada kabel. Waktu propagasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5 (Foroizan, 2007).

$$\text{Delay propagasi} = \frac{\text{jarak}}{\text{kecepatan propagasi}} \quad (2.5)$$

- Waktu transmisi merupakan waktu yang dihitung sejak bit pertama dikirim oleh pengirim hingga bit terakhir diterima oleh penerima. Waktu transmisi terkait dengan ukuran dari pesan yang dikirimkan dan *bandwidth* dari kanal. Waktu transmisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6 (Foroizan, 2007).

$$\text{Transmission time} = \frac{\text{message size}}{\text{bandwidth}} \quad (2.6)$$

- Waktu antrian merupakan waktu yang dibutuhkan perangkat untuk menahan pesan sebelum pesan tersebut dapat diproses. Waktu antrian bukan faktor yang selalu ada atau bernilai tetap. Waktu antrian dapat berubah sesuai dengan beban yang ada pada jaringan. Ketika terjadi traffic yang tinggi pada jaringan, waktu antrian akan naik. Perangkat jaringan seperti router membuat sistem antrian untuk pesan yang datang dan memprosesnya satu demi satu. Jika terdapat banyak pesan, setiap pesan harus menunggu antriannya.

- *Delay* proses, yaitu *delay* yang terjadi saat proses pengkodean, kompresi, dekompresi, dan pengkodean kembali.

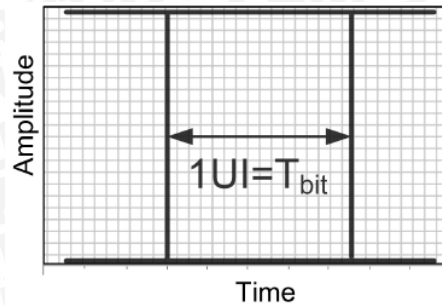
2.7.2. *Throughput*

Throughput mengukur secara nyata seberapa cepat suatu data dikirim pada jaringan. *Throughput* memiliki sifat yang hampir sama dengan *bandwidth*, namun pada kenyataannya keduanya adalah parameter yang berbeda. Apabila sebuah jalur memiliki *bandwidth* sebesar B, maka jalur tersebut hanya mampu mengirimkan data sejumlah T bps melalui jalur tersebut, dimana T lebih kecil daripada B. Dengan kata lain, *bandwidth* adalah pengukuran potensi dari sebuah jalur dalam mengirimkan data, sedangkan *throughput* adalah pengukuran secara nyata seberapa cepat pengiriman data dapat dilakukan. *Bandwidth* dalam satuan *bits per second* merujuk pada kecepatan transmisi data dari sebuah jalur atau kanal (Foroizan, 2007). *Throughput* bersifat dinamis dan dapat berubah dari waktu ke waktu ketika pengiriman data berlangsung. Satuan *throughput* adalah *bits per seconds* (bps). Pengukuran *throughput* dilakukan untuk mengetahui berapa banyaknya data sebenarnya yang dapat dilewatkan oleh suatu kanal pada satu waktu sehingga performansi suatu jaringan dapat diketahui. Semakin besar *throughput* maka semakin baik kinerja jaringan tersebut. Nilai *throughput* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7 (Foroizan, 2007):

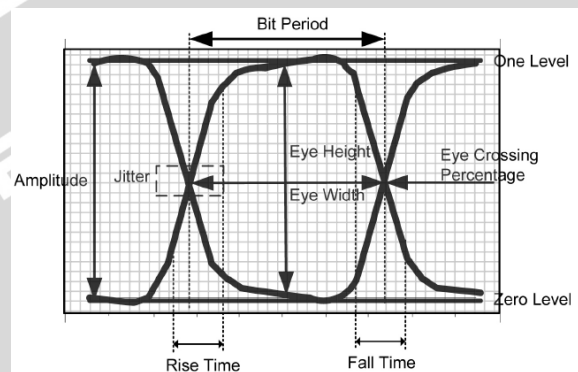
$$\text{Throughput} = \frac{\text{jumlah bit total}}{\text{waktu total/delay}} \text{ (bps)} \quad (2.7)$$

2.7.3. *Eye pattern*

Eye pattern atau *eye diagram* merupakan tampilan osiloskop data digital dari penerima yang mengalami beberapa kali proses pencuplikan untuk mengetahui karakteristik dari sinyal tersebut. *Eye pattern* menunjukkan kualitas sinyal pada transmisi data kecepatan tinggi. Pada kondisi ideal, *eye pattern* akan menyerupai bentuk persegi, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.11. Namun karena ketidaksempurnaan komunikasi, transisi tidak berupa garis vertikal yang lurus sehingga akan menghasilkan pola seperti mata, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12.



Gambar 2.11. *Eye Pattern* Sinyal Data secara Ideal
(Sumber: www.onsemi.com)



Gambar 2.12. *Eye Pattern* Sinyal Data pada Kondisi Nyata
(Sumber: www.onsemi.com)

Berikut adalah penjelasan dari masing-masing parameter yang didapatkan dari *eye pattern*:

- Level 1

Level 1 dari *eye pattern* menunjukkan nilai dari logika 1.

- Level 0

Level 0 dari *eye pattern* menunjukkan nilai dari logika 0.

- *Eye amplitude*

Eye amplitude menunjukkan perbedaan dari logika 1 dan 0. Semakin besar perbedaannya maka semakin mudah untuk membedakan logika 1 dan 0. Sehingga *eye amplitude* menunjukkan seberapa besar pengaruh *noise* pada sistem.

- *Bit Period*

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

- *Jitter*

Jitter adalah deviasi waktu dari waktu ideal dari sebuah data bit. Agar dapat menghitung *jitter*, deviasi waktu transisi dari sudut naik dan turun *crossing point eye pattern* harus diukur. Fluktuasi dari *jitter* dapat berupa random atau deterministik.

Pada penelitian ini performansi serat optik yang dihitung berdasarkan analisis *eye diagram* meliputi *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate*.

1. *Noise Margin*

Noise margin atau kekebalan terhadap *noise* yang ditunjukkan dengan panjang *eye height* pada waktu sampling. *Noise margin* adalah rasio presentase dari puncak sinyal V_1 yang dilihat dari lebar *eye opening* terhadap tegangan maksimum sinyal V_2 . Secara matematis persamaan untuk menghitung *noise margin* ditunjukkan pada Persamaan 2.5 (Keiser, 2004).

$$\text{Noise margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (2.5)$$

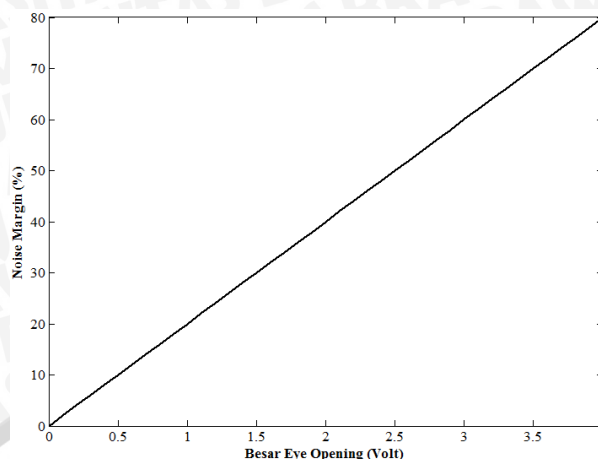
dengan:

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

V_2 = tegangan maksimum sinyal (Volt)

Nilai V_1 dan V_2 dipengaruhi oleh besar *noise* yang ada pada sistem. Salah satu penyebab terjadinya *noise* adalah 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 ini akan berpengaruh pada besar *eye opening* dan nilai tegangan maksimum sinyal yang erat kaitannya dengan *noise margin*.

Hubungan antara besar *eye opening* (V_1) dengan *noise margin* untuk nilai V_2 sebesar 5 Volt ditunjukkan pada Gambar 2.13. Nilai V_2 disesuaikan dengan nilai maksimal dari perangkat eksperimen. Semakin besar *eye opening* maka nilai *noise margin* akan semakin besar. *Eye opening* yang besar menunjukkan hanya sedikit *noise* yang terjadi pada sistem. Sehingga dapat dikatakan kekebalan sistem terhadap *noise* atau *noise margin* adalah tinggi.



Gambar 2.13. Karakteristik Noise Margin Terhadap Besar Eye Opening

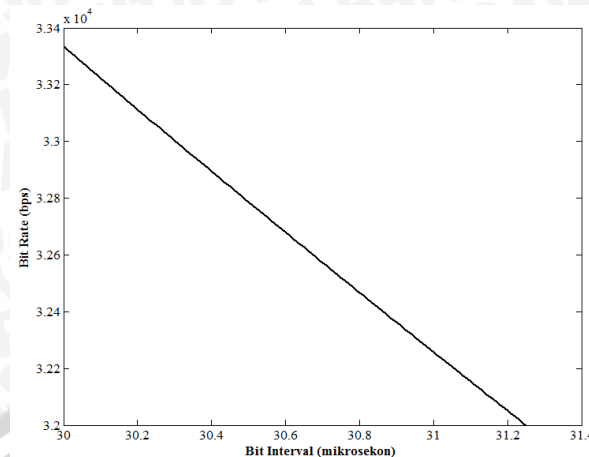
2. Bit Rate

Periode bit adalah ukuran dari pembukaan horizontal *eye diagram* atau *eye width* pada titik-titik persimpangan mata dan biasanya diukur dalam *picoseconds* untuk sinyal digital berkecepatan tinggi. *Bit rate* adalah kebalikan dari periode bit (1 periode/bit). Secara matematis persamaan untuk menghitung *bit rate* ditunjukkan pada Persamaan 2.6 (Agilent, 2012).

$$\text{Bit Rate} = \frac{1}{\text{Bit Period}} \text{ (Kbps)} \quad (2.6)$$

Nilai *bit interval* dihitung dari titik *zero crossing point* pada *eye pattern*. Nilai *zero crossing point* akan berpengaruh pada besar *eye width*. Semakin lebar *eye width*, maka waktu yang diperlukan untuk mentransmisikan satu bit data akan semakin lama. Waktu untuk mentransmisikan satu bit data disebut dengan *bit interval*. Besar waktu ini akan berpengaruh pada kecepatan bit data yang ditransmisikan atau *bit rate*.

Hubungan antara besar *bit interval* terhadap *bit rate* ditunjukkan pada Gambar 2.14. Semakin kecil *bit interval* maka nilai *bit rate* akan semakin besar.



Gambar 2.14 Karakteristik *Bit Rate* Terhadap Besar *Bit Interval*

3. *Timing Jitter*

Timing jitter adalah penyimpangan waktu dari waktu ideal sebuah *event* data bit dan salah satu karakteristik yang paling penting dari sinyal data digital berkecepatan tinggi. 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 2.7 (Keiser, 2004).

$$\text{Timing jitter (\%)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \quad (2.7)$$

dengan:

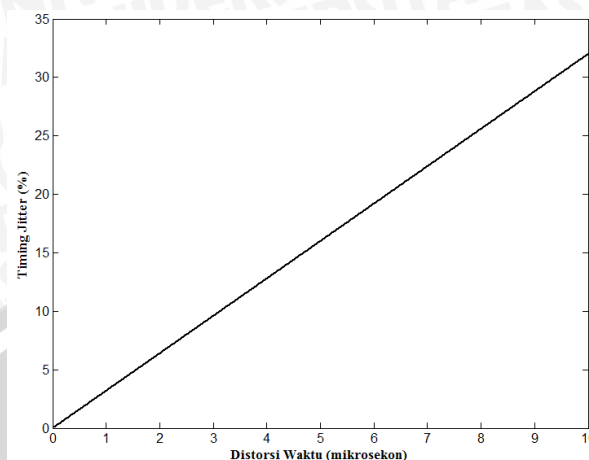
ΔT = jumlah distorsi (s)

T_b = waktu *bit interval* (s)

Timing jitter akan mengurangi lebar *eye opening* atau *eye width* pada *eye pattern*. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan level daya optik. Pada level daya optik yang rendah, sinyal yang diterima akan mengalami peningkatan *noise* yang ditunjukkan dalam variasi amplitudo. Rangkaian penerima menerjemahkan variasi amplitudo tersebut dalam domain waktu yang menyebabkan *eye width* semakin berkurang. Variasi amplitudo dalam domain waktu merupakan distorsi waktu yang akan berpengaruh pada besar *timing jitter*.

Hubungan antara besar distorsi waktu (ΔT) dengan *timing jitter* untuk waktu *bit interval* sebesar 31,25 μ s ditunjukkan pada Gambar 2.15. Nilai *bit interval*

diambil dari nilai perangkat eksperimen, yaitu PRBS Generator. Semakin besar distorsi waktu maka nilai *timing jitter* akan semakin meningkat.



Gambar 2.15 Karakteristik *Timing Jitter* Terhadap Besar Distorsi Waktu

2.8. FCL *Advanced Fiber Optik Communication Lab*

Advanced Fiber Optik Communication Lab terdiri dari beberapa modul dasar yang dapat digunakan untuk lebih memahami karakteristik serat optik. Modul *Advance Fiber Optik Communication Lab* terdiri atas pemancar dan penerima, kabel serat optik, LED dan detektor, berbagai modul dengan teknik modulasi dan demodulasi, *multiplexing* dan *demultiplexing*, serta modul komunikasi PC ke PC dengan port serial. Perangkat percobaan ini terdiri dari empat modul, dua modul untuk percobaan komunikasi analog dan dua lainnya untuk percobaan komunikasi digital menggunakan serat optik. Perangkat dapat digunakan pada kondisi temperatur 0-45°C dan kelembaban 20-80%.

2.8.1. FCL-03 *Fiber Optik 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 2.16 menunjukkan tampak atas dari perangkat FCL-03



Gambar 2.16. Perangkat FCL-03
(Sumber: e-Manual *Advance Fiber Optik Communication Lab*, 2011)

2.8.2. FCL-04 *Fiber Optik 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 2.17 menunjukkan tampak atas dari perangkat FCL-04.



Gambar 2.17. Perangkat FCL-04
(Sumber: e-Manual *Advance Fiber Optik Communication Lab*, 2011)