

BAB II

DASAR TEORI

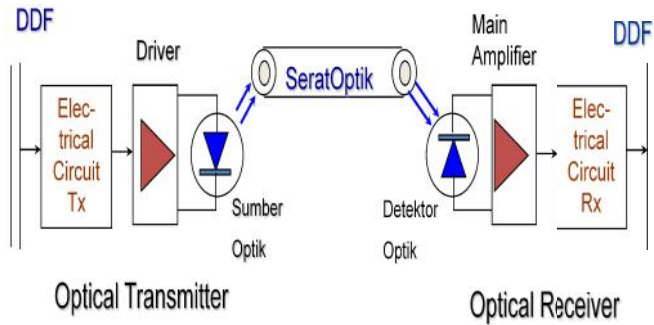
1.1 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik didefinisikan sebagai salah satu sistem komunikasi yang menggunakan kabel serat berbahan dasar kuarsa berkualitas tinggi yang disusun dengan pelindung mantel (*cladding*) agar cahaya yang masuk dari pengirim (*transmitter*) ke dalam inti serat (*core*) tetap terkurung untuk selanjutnya dikirim dalam bentuk sinyal cahaya kepada penerima (*receiver*)[1]. Sistem komunikasi serat optik terdiri dari:

1. Pemancar / Sumber Optik (*Optical Transmitter*)
 - A. LED (*Light Emitting Diode*) atau diode LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)
 - B. *Elektrical Circuit Transmit*
2. Serat Optik (*Optical Fiber*) sebagai media hubung
3. Penerima Optik (*Optical Receiver*)
 - A. Diode PIN (*Passive Intrinsic Negative*) atau APD (*Avalanche Photo Diode*)
 - B. *Elektrical Circuit Receive*

2.2 Prinsip Kerja Fiber Optik

Fungsi sisi pengirim adalah memperbaiki karakteristik dan menggabungkan sinyal – sinyal *input* lalu mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik. Disisi penerima berfungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik, memisahkan dan memperbaiki karakteristik sinyal *input*[3]. Data keluaran yang berbentuk sinyal elektrik, harus diubah menjadi cahaya dengan menggunakan *transducer* (pengubah energi), agar data dapat dilewatkan melalui media transmisi optik. Data yang diubah ke bentuk cahaya akan berpropagasi / merambat di sepanjang serat optik dan akhirnya diterima oleh *transducer* di sisi penerima untuk diubah dari data optik menjadi data elektrik. Data elektrik yang berada di sisi penerima akan didistribusikan kembali ke setiap kanal dengan aturan tertentu seperti di sisi pengirim. Ketika cahaya merambat dengan sudut datang yang kurang dari sudut kritis, maka cahaya akan dibiaskan keluar dari bahan pertama (*core*). Penjelasan fungsi pengirim dan penerima tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Konfigurasi Umum SKSO

2.3 Struktur Serat Optik

Susunan dalam sebuah kabel serat optik terdiri atas beberapa bagian, masing - masing dapat dipaparkan sebagai berikut.

2.3.1 Core (Inti Serat)

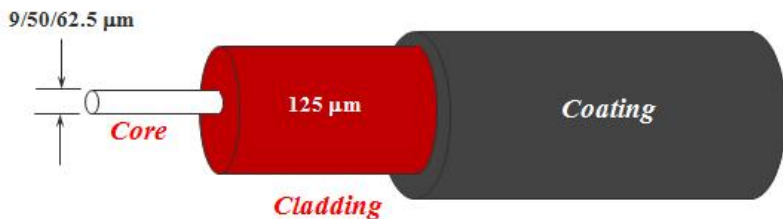
Core berperan sebagai media cahaya merambat dari ujung ke ujung yang lain. Berbahan dasar kuarsa kualitas tinggi, biasanya disebut dengan *silica jell* dan memiliki diameter $9\mu\text{m} - 62,5\mu\text{m}$ [1].

2.3.2 Cladding

Cladding berperan sebagai pengurung sekaligus pemantul cahaya di dalam *core* agar tetap merambat sampai ke ujung lainnya. Salah satu faktor cepat rambat cahaya di dalam serat optik dipengaruhi oleh indeks bias antara *core* dan *cladding*. Diameter *cladding* $125\mu\text{m}$ [1].

2.3.3 Coating

Coating berperan sebagai pelindung dari kontaminasi penyerapan permukaan, mengurangi cahaya yang berhamburan keluar dari inti, serta sebagai identitas kode warna. Diameter *coating* $250\mu\text{m}$ [1]. Susunan dalam kabel serat optik dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 2Struktur Serat Optik[3]

2.4 Jenis – Jenis Serat Optik

Dalam komunikasi menggunakan media serat optik sebagai penghantar sinyal informasi, terdapat tiga macam serat yang biasa digunakan sesuai standar ITU-T G.650-G.659.

2.4.1 Serat Optik *Singlemode Step Index*

Jenis serat optik ini memiliki indeks bias paling konstan dengan ukuran diameter *core* 2 – 10 μm serta berlapis *cladding* 50 – 125 μm . Kelebihan *step index singlemode* yaitu dispersi yang kecil serta redaman 2 dB/km. Lebar pita frekuensinya pun besar, sehingga dapat digunakan dengan kecepatan lebih tinggi pada jarak yang jauh. Namun kekurangan jenis ini adalah penyambungan (*splicing*) yang lebih sulit dan dibanderol dengan harga mahal[4].

2.4.2 Serat Optik *Multimode Step Index*

Jenis serat optik ini memiliki indeks bias konstan dengan ukuran diameter *core* 25 – 125 μm serta berlapis *cladding* yang sangat tipis. Tidak seperti pada *single mode*, jenis ini banyak terjadi dispersi dan lebar pita frekuensi yang sempit. Penggunaannya untuk jarak pendek dengan laju bit rendah. Namun *multimode step index* memiliki kelebihan dalam hal penyambungan yang lebih mudah dan harga yang relatif murah[5].

2.4.3 Serat Optik *Multimode Graded Index*

Jenis serat optik ini memiliki *core* yang terdiri dari beberapa lapisan yang memiliki indeks bias berbeda. ukuran diameter *core* 30 – 60 μm serta berlapis *cladding* berukuran 100 – 150 μm . Dispersi yang ditimbulkan lebih kecil dibanding *multimode step index*. Kelemahan dari jenis ini faktor pembuatan dan penyambungan lebih sulit. Namun dapat digunakan untuk jarak menengah dengan laju bit yang tinggi karena lebar frekuensinya besar[5].

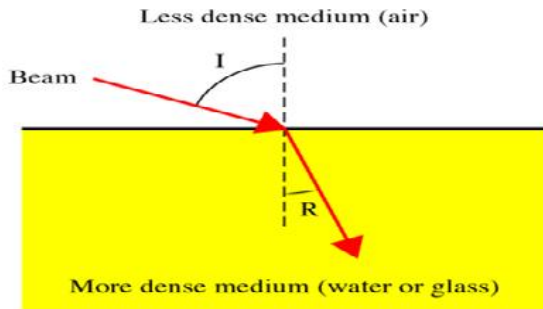
2.5 Karakteristik Cahaya

2.5.1 Perambatan Cahaya

Menurut hukum optik (*snellius*) cahaya yang merambat di dalam serat optik menuju dindingnya (bidang perbatasan) akan terpantul kembali ke dalam serat optik jika sudut datangnya lebih besar dari sudut kritis. Dengan cara ini cahaya dapat merambat di dalam serat optik melalui serangkaian pemantulan.[6]

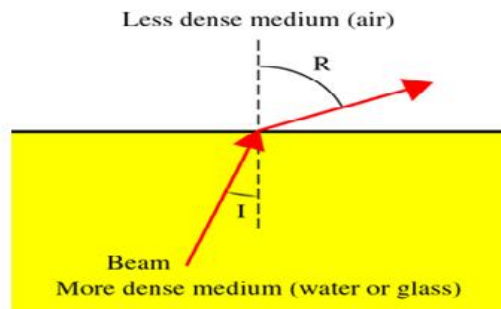
Cahaya dapat merambat melalui proses pembiasan (*refleksi*) dari satu medium ke medium lain dengan syarat medium lain memiliki nilai indeks bias yang berbeda. Terdapat dua kondisi dalam pembiasan, yaitu saat sinar datang dari medium tipis ke medium lebih padat, maka sinar akan

dibiaskan mendekati garis normal. Dalam hal ini sudut bias lebih kecil daripada sudut datang dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Pembiasan Mendekati Garis Normal[1]

Kondisi kedua dalam pembiasan yaitu saat sinar datang dari medium padat ke medium lebih tipis, maka sinar akan di biaskan menjauhi garis normal. Dalam hal ini sudut bias lebih besar daripada sudut datang dapat diamati pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Pembiasan Menjauhi Garis Normal[1]

2.5.2 Indeks Bias (*Refractive Index*)

Terdapat suatu pandangan yang keliru bahwa cahaya selalu bergerak dengan kecepatan yang sama dalam segala situasi. Hal ini bukan merupakan fakta akurat. Kecepatan cahaya bergantung pada bahan tempat dimana ia merambat. Di dalam ruang-hampa cahaya dapat merambat dengan kecepatan maksimumnya yang mendekati 300 juta meter per detik, atau hampir delapan kali mengelilingi bumi dalam satu detik[1].

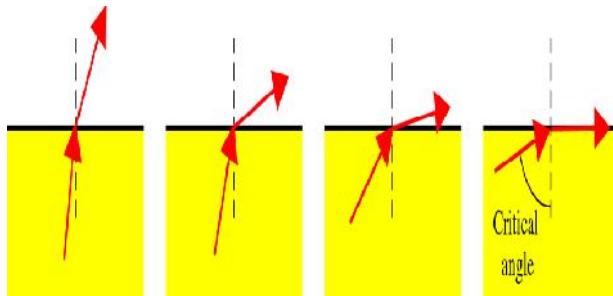
Ketika cahaya merambat di dalam suatu bahan yang jernih, kecepatannya akan turun sebesar suatu faktor yang ditentukan oleh karakteristik bahan yang dinamakan indeks bias. Sehingga indeks bias dapat di definisikan sebagai perbandingan kecepatan cahaya di ruang-

hampa terhadap perambatan cahaya dalam suatu medium seperti pada persamaan (2-1) berikut.

$$n = \frac{\text{kecepatan cahaya di ruang hampa}}{\text{kecepatan cahaya di dalam bahan}} = \frac{c}{v} \quad (2-1)$$

2.5.3 Sudut Kritis

Sudut datang cahaya dengan kondisi dimana harga diperbesar sampai suatu nilai tertentu, sehingga seluruh cahaya yang datang akan dipantulkan secara total[1]. Sudut kritis diberi nama demikian karena sudut ini memang penting (kritis) di dalam prinsip kerja serat optik. Jika serat optik memiliki sisi – sisi yang saling sejajar, dan dibungkus oleh sebuah bahan lainnya (mantel) dengan indeks bias yang lebih kecil, maka cahaya dapat dibuat selalu terpantul balik di bidang perbatasan serat seperti terlihat pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5 Critical Angel[1]

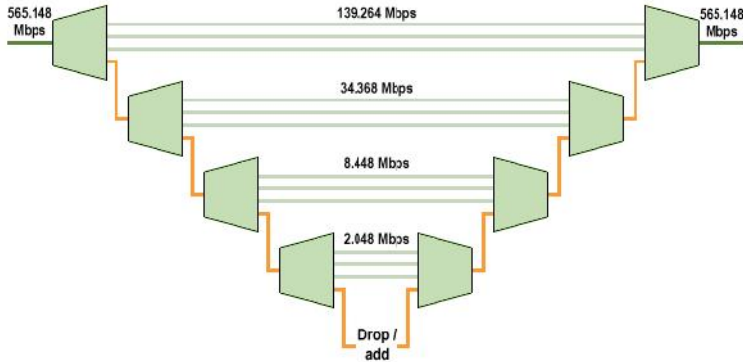
Hal demikian merupakan kondisi ideal untuk mentransmisikan cahaya dalam serat optik. Biasa disebut sebagai *criticalangel*. Sudut datang yang mengakibatkan sudut bias sebesar 90° .

2.6 Teknik *Multiplexing*

Untuk mentransmisikan beberapa kanal sinyal dalam satu serat optik digunakan teknik *multiplexing*. Perangkat yang melakukan *multiplexing* disebut *multiplexer* atau disebut juga dengan istilah *Transceiver / Mux*. Untuk sisi penerima, gabungan sinyal-sinyal itu akan kembali di pisahkan sesuai dengan tujuan masing-masing. Proses ini disebut dengan *demultiplexing*. *Receiver* atau perangkat yang melakukan *demultiplexing* disebut dengan *demultiplexer* atau disebut juga dengan istilah *demux*. Berikut teknik *multiplexing* dalam perkembangannya:

2.6.1 PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*)

Merupakan sistem transmisi optik yang pertama dengan memultiplekskan sinyal dengan *low-rate* level menjadi sinyal berkecepatan tinggi. *Hierarchy* PDH dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 PDH *Hierarchy*

Seiring berkembangnya teknologi fiber dan berkembangnya *demand* dari *user* untuk layanan komunikasi, PDH memiliki kekurangan seperti tidak adanya standar internasional, hanya dapat diaplikasikan pada transmisi *point to point*, tidak dapat dilakukan *monitoring*[7].

2.6.2 SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*)

SDH adalah standar internasional sistem *transport* berkecepatan tinggi melalui jaringan optik yang dapat mengirimkan sinyal digital dalam kapasitas beragam. SDH sering disebut SONET (*Synchronous Optical Network*). SDH memiliki keuntungan disisi fleksibilitas yang cukup tinggi dalam hal konfigurasi kanal pada simpul-simpul jaringan dan meningkatkan kemampuan manajemen jaringan baik untuk *payload traffic-nya* maupun elemen-elemen jaringan. Disisi lain SDH memiliki kekurangan, karena dapat memultiplekskan dengan fleksibel dan kompatibel dengan *interface multivendor* menyebabkan jumlah *interface* yang terhubung pada SDH jauh lebih banyak dan beragam[3]. Dapat diamati standar kecepatan untuk setiap level standar *frame* SDH pada tabel 2.1 berikut.

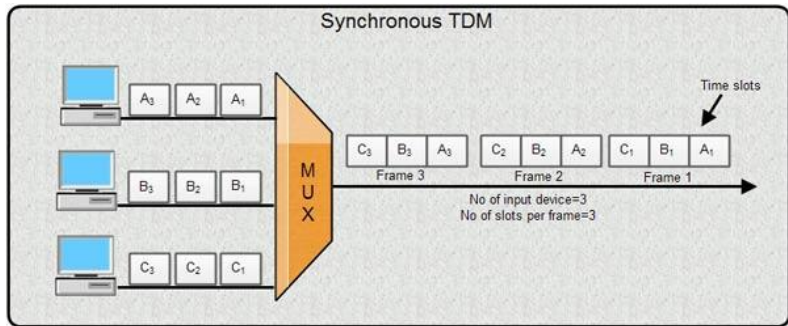
Tabel 2. 1 Standar *Frame* dan Kecepatan SDH[8]

Standar Frame	Standar Kecepatan
STM – 1	155,520Mbps (155Mbps)
STM – 4	622,080Mbps (622Mbps)
STM – 16	2.488,320Mbps(2,5Gbps)
STM – 64	9.953,280Mbps (10Gbps)

Struktur *frame* terendah dalam standar SDH adalah STM-1 (*Synchronous Transport Module Level1*) dengan laju bit 155,520 *Mbit/s* (155 *Mbps*). Berarti STM-1 terdiri dari 2430 *byte* dengan durasi *frame* 125 μ s. Bit *rate* atau kecepatan transmisi pada level STM-N yang lebih tinggi juga telah distandarisasi sebagai kelipatan bulat (1,4,16 dan 64) dari $N \times 155,520 \text{ Mbps}$.

2.6.3 TDM (*Time Division Multiplexing*)

TDM adalah teknik *multiplexing* dimana beberapa *channel* sinyal menggunakan interval waktu yang berbeda pada serat optik yang sama saat sinyal ditransmisikan. Teknologi ini tidak dapat di implementasikan untuk sistem yang memiliki kapasitas lebih dari 40 *Gbit/s*[3].Teknologi TDM dapat dilihat pada gambar 2.7.



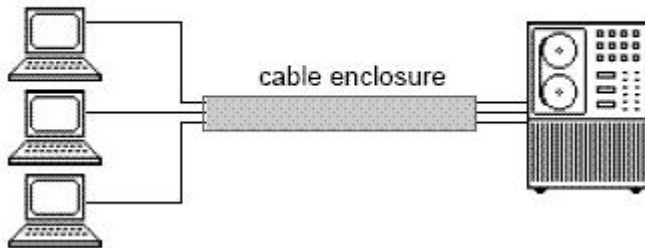
Gambar 2.7 TDM *Hierachy*

TDM menerapkan prinsip penggiliran waktu pemakai saluran transmisi dengan mengalokasikan satu *slot* waktu (*time slot*) bagi pemakai saluran (*user*). Artinya *bandwidth* yang ada dipisahkan menjadi *channal-channal* kecil (*baseband*) berdasarkan waktunya. Salah satu permasalahan utama dari TDM ini adalah *bandwidth* yang dialokasikan ke sejumlah koneksi hanya dialokasikan ke koneksi tersebut, baik yang sedang digunakan maupun tidak. Jadi kita tetap membayar untuk kapasitas yang tidak digunakan, hal ini mengakibatkan TDM cukup mahal.

2.6.4 SDM (*Space Division Multiplexing*)

SDM adalah teknik *multiplexing* yang membagi ruang menjadi beberapa kanal untuk mengimplementasi *wavelength multiplexing*. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menambah *core* pada kabel atau menambah jumlah serat optik.*Space Division Multiplexing* dapat dilihat pada gambar 2.8.

Space division multiplexing

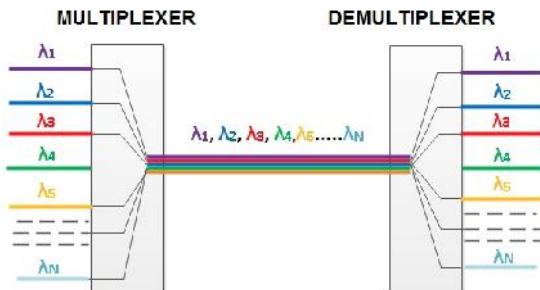


Gambar 2.8 SDM Hierarchy

Teknik SDM memiliki desain sederhana tetapi membutuhkan jumlah serat optik yang banyak sehingga tidak efisien dari segi ekonomi[3].

2.6.5 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

WDM merupakan teknik untuk menyalurkan berbagai jenis data dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda – beda dalam satu fiber secara bersamaan. WDM dapat diamati gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 WDM Hierarchy

WDM digunakan pada jaringan *long haul* (jarak jauh) dan *short haul* (jarak dekat). WDM populer karena dapat mengembangkan kapasitas jaringan tanpa menambah jumlah fiber. Pengembangan kapasitas dapat dilakukan dengan meningkatkan *multiplexer* dan *demultiplexer* yang digunakan[3].

Kapasitas pengiriman data yang lebih besar dan transmisi data melalui serat optik dapat berjalan dengan kecepatan 2,5 sampai 10 Gbps lebih cepat dari media transmisi lainnya merupakan keuntungan WDM.

2.7 Kabel Optik PT. PLN (Persero)

Sesuai dengan kebutuhan spesifikasi layanan yang diperlukan, terdapat beberapa pilihan kabel serat optik yang digunakan oleh PT.PLN

diantaranya tipe ADSS (*All Dielectric Self Support*), tipe kabel OPGW (*Optical Ground Wire*) yang terpasang pada *grounding* SUTET, tipe kabel Figure-8 seperti kabel udara pada umumnya, *Fiber Armour*, serta *DropWire*[9].

Serat optik ADSS jenis pertama yang diimplementasikan pada penggunaan panjang gelombang dengan rentang 1285 – 1330 nm memiliki koefisien dispersi kromatik 3,5 ps/(nm.km). ADSS dalam standar ITU-T G.652 dikenal sebagai *standarsingle mode fiber*. Pada panjang gelombang 1550 nm, koefisien dispersinya 18ps/(nm.km).ADSS jenis kedua yaitu *Non Zero Dispersion Shifted Fiber (NZDSF)* sesuai standar ITU-T G.655 kabel ini memiliki dispersi kromatik sebesar 2,6 – 6 ps/(nm.km). Tujuan penggunaan kabel ini adalah untuk menekan efek *four-wave mixing* yang dapat mengurangi kapasitas kanal. Saat nilai dispersi sangat kecil atau mendekati nol maka pengaruh *four-wave mixing* semakin besar.

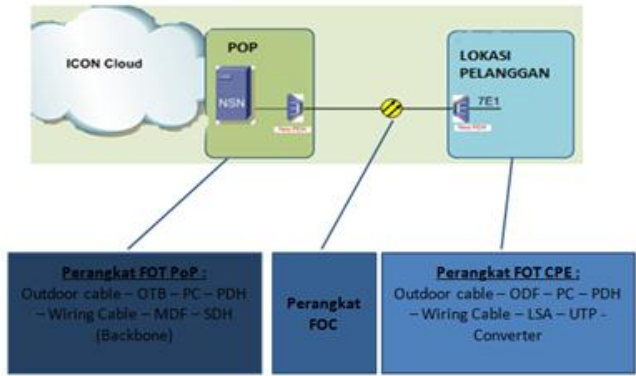
2.8 Layanan Komunikasi Data

Secara umum terdapat dua layanan yang dipilih PT.PLN (Persero) dalam sistem telekomunikasi yaitu TDM *Network* dan IPVPN. Layanan tersebut di representasikan dalam gambar 2.10 berikut.

Pilihan Kapasitas	Bandwidth	Interface
E1	2 Mbps	V.35 atau G.703
4 E1	8 Mbps	
DS-3	45 Mbps	SDH Node Interface ITU-T G.708, G.709, G.957,
STM-1	155 Mbps	
STM-4	622 Mbps	
STM-16	2488 Mbps	
STM-64	10 Gbps	

Gambar 2. 10 TDM Network Kapasitas *Bandwidth* per *Interface*[10]

Pertama menggunakan TDM *Network* yang bersifat *private* dan *dedicated* berbasis teknologi SDH. Aplikasi layanan TDM *Network* untuk *link* komunikasi ketenagalistrikan dengan *Symetrical Link Capacity* of $n \times 2 \text{ Mbps} / \text{E1}$ (*Each Direction*), STM-1, STM-4 & STM-16. SLA 99,90% *Availability* v35, G.703 & *Ethernet* (for E1) atau G.708, G.709, G.957 (for STM-1 – STM-16). TDM *Network bandwidth* sesuai dengan *interface* yang dipakai.[10]. Gambar 2.11 berikut merupakan konfigurasi umum TDM.



Gambar 2. 11 Konfigurasi Umum TDM Network[10]

Layanan kedua yang digunakan PT. PLN (Persero) menggunakan layanan IPVPN yang merupakan layanan komunikasi data bersifat *shared network*. Layanan *bandwidth* IPVPN dapat dilihat pada gambar 2.12.

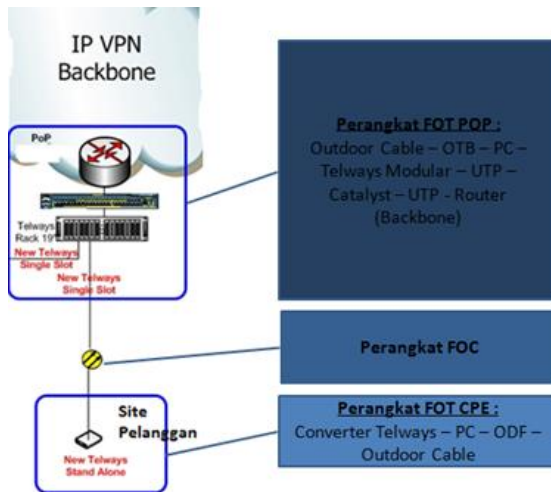
Bandwidth	Satuan	Rekomendasi Penggunaan	Interface
64	Kbps	Remote Site	RJ-45 dengan FE 10/100
128	Kbps	Remote Site	RJ-45 dengan FE 10/100
256	Kbps	Remote Site	RJ-45 dengan FE 10/100
384	Kbps	Remote Site	RJ-45 dengan FE 10/100
512	Kbps	Remote Site	RJ-45 dengan FE 10/100
768	Kbps	Remote Site	RJ-45 dengan FE 10/100
1	Mbps	Remote Site	RJ-45 dengan FE 10/100
2	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100
3	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100
4	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100
5	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100
6	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100
7	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100
8	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100
9	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100
10	Mbps	Backhaul	RJ-45 dengan FE 10/100

Gambar 2. 12 IPVPN Kapasitas *Bandwidth Interface*[10]

IPVPN berbasis teknologi IP dilengkapi oleh teknologi MPLS (Multi *Protocol Label Switching*) untuk membentuk suatu *Wide Area Network* (WAN). Layanan ini memiliki SLA 99,5% dengan

ResponseTime <250 ms pada peak traffic (>70%) dengan average <100ms. *Throughput* yang mencapai 90% serta *frame loss*<1%[10].

PT. Indonesia Comnets Plus sebagai anak perusahaan PT.PLN (Persero) memanfaatkan segala fasilitas infrastruktur jaringan listrik milik PT.PLN (Persero) yang telah tergelar. Salah satunya adalah pemanfaatan tiang listrik penyangga Jaringan Distribusi 20 Kv untuk ditumpangi penggelaran jaringan Fiber *Optic Cable* (FOC). Pada gambar 2.13 berikut dapat dilihat skema dasar IPVPN yang diterapkan perusahaan.



Gambar 2. 13 Skema Dasar IPVPN[10]

2.9 Perhitungan Transmisi Jaringan Serat Optik

2.9.1 Availability

Availability didefinisikan sebagai persentase waktu yang menunjukkan kanal komunikasi pada sistem untuk siap beroperasi[11]. Pada perhitungan *availability* menggunakan perhitungan *uptime* dan *downtime*. *Uptime* adalah waktu dalam kondisi operasi maupun dalam kondisi *standby* (dalam menit). *Downtime* adalah waktu dari kanal tidak beroperasi (dalam menit) yang meliputi waktu tunggu untuk perbaikan perangkat dan waktu tunggu untuk pengelasan perangkat. *Availability* dapat dilihat dalam persamaan (2-2) berikut.

$$AV = \frac{Uptime}{Uptime+Downtime} \times 100\% \quad (2-2)$$

Uptime : waktu dalam kondisi operasi maupun dalam kondisi *standby* (menit).

Downtime : waktu dari kanal tidak beroperasi (menit).

2.9.2 Reliability

Reliability didefinisikan sebagai tingkat kegagalan komponen dan bagian – bagian lain dalam sistem[11]. Keandalan secara matematis dirumuskan dalam persamaan (2-3 sampai 2-6) sebagai berikut :

$$R = 1 - FR \quad (2-3)$$

$$FR = \frac{1}{MTBF \text{ (jam)}} = \frac{1}{8760 \text{ (tahun)}} \quad (2-4)$$

$$MTBF \text{ jam} = \frac{\text{Waktu total beroperasi}}{\text{Jumlah kegagalan}} \quad (2-5)$$

$$MTBF \text{ tahun} = \frac{MTBF \text{ (jam)}}{8760} \quad (2-6)$$

Dengan, R : *Reliabilitas*

FR : *Failure Rate* (tingkat kerusakan sepanjang operasi sistem)

MTBF : *Mean Time Between Failure* {Probabilitas statistik rata – rata kegagalan untuk suatu komponen (jam)}

2.9.3 Power Link Budget

Power link budget digunakan untuk mengetahui kelayakan dari suatu sistem komunikasi serat optik yang digelar. Hal yang mempengaruhi *power link budget* adalah daya keluaran sumber, besarnya redaman serat optik, redaman konektor yang digunakan, redaman hasil penyambungan, sensitivitas di penerima dan panjang serat yang digelar untuk membangun sistem. Biasanya pada perhitungan *power link budget* ditambahkan nilai *safety margin* sebesar 30% dari daya *receiver*. *Safety margin* berguna mengantisipasi adanya penurunan daya yang tidak dihitung secara teoritis[3]. Idealnya sebuah *link* apabila telah memenuhi persamaan (2-7) berikut.

$$P_{S(dBm)} - P_{R(dBm)} = \alpha_{total} + M_s \quad (2-7)$$

dimana secara berturut-turut daya kirim dikurangi daya terima bernilai sama dengan redaman total ditambah *safety margin* (dalam dB).

2.9.4 Perhitungan Redaman / Link Loss

Penyebab redaman pada dasarnya karena fenomena penyerapan (absorpsi) dan hamburan (*rayleigh*). Absorpsi merupakan keadaan cahaya

tidak dapat dirambatkan seluruhnya karena terserap material serat optik, sedangkan *rayleigh* merupakan keadaan cahaya terpecah menjadi mode-mode lain karena saat merambat melewati serat optik yang cacat. Redaman total secara matematis dapat dirumuskan dalam persamaan (2-8) sebagai berikut[4].

$$\text{Total} = L \cdot f + \sum s \cdot s + \sum c \cdot c + M_s \quad (2-8)$$

dengan total = besarnya total redaman yang terjadi (dB)

f = redaman rata-rata serat optik per km (dB/km)

s = jumlah sambungan

s = redaman rata-rata sambungan (dB/splice)

c = jumlah konektor

c = redaman rata-rata konektor (dB)

L = panjang kabel dalam sistem

M_s = *safety margin*

2.9.5 Perhitungan Level Daya Terima

Kemudian, untuk mendapatkan level daya terima dapat diketahui dengan persamaan (2-9) berikut.

$$P_R = P_S - \text{total} \quad (2-9)$$

dengan :

Total = besarnya redaman total (dB)

P_S = level daya sumber

P_R = level daya penerima

Margin daya (M) adalah daya yang masih tersisa dari *power transmitter* setelah dikurangi *loss* selama proses pentransmisiian, dikurangi nilai *safety margin* dan dikurangi dengan nilai sensitivitas *receiver*[12]. Berikut adalah bentuk persamaan (2-10) untuk margin.

$$M = (P_s - P_R) - \alpha \text{total} - SM - MRP \quad (2-10)$$

dengan keterangan:

P_t = daya keluaran sumber optik (dBm)

P_r = sensitivitas daya detektor (dBm)

SM = Safety margin, berkisar 30% receiver

total = redaman total sistem (dB)

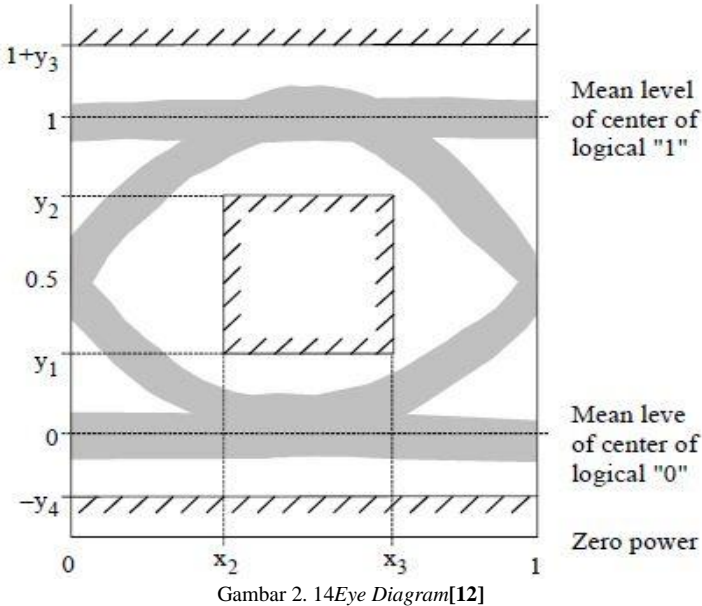
MRP = Minimum Receive Power

$$\text{Max sambungan} = \frac{\text{Margin}}{\sum s \times \alpha s} \quad (2-11)$$

$$\text{Max Panjang Kabel} = \frac{\text{Margin}}{\alpha F} \quad (2-12)$$

2.9.6 Bit Error Rate (BER)

Data pengukuran bit diperoleh dari sebuah BER Analyzer dengan metode *loopback* agar penerima dapat menerima kembali sinyal hasil kirimannya tersebut dalam bentuk bit per bit dengan arah berlawanan. Pada gambar 2.14 dapat dilihat sampel *Eye Diagram* dari BER Analyzer.



Eye pattern (eye diagram) adalah tampilan sinyal dari *osiloskop* yang digunakan untuk melihat performansi sinyal digital. Pada *diagram eye pattern*, pusat dari *eye opening* adalah *noise margin* yang diterima oleh sinyal. Lebar sinyal yang membentuk sudut pada *eye pattern* adalah *jitter*. Sedangkan garis tebal yang berada pada atas dan bawah *eye pattern* adalah sinyal *noise* yang diterima. Transmisi antara bagian atas dan bawah pada *eye oppening* menunjukkan nilai *rise time* dan *fall time* sinyal atau waktu naik turunnya sinyal. Parameter yang dihitung dari *eye pattern* adalah *noise margin*, *SNR*, *jitter*, dan *bit error rate*.

Terdapat rumusan yang telah ditetapkan dalam *Optisystem Library*. Apabila dalam simulasi telah dirancang sebuah sistem jaringan, ketetapan ini dapat dijadikan sebagai acuan atau *default* dalam rancangan yang akan dibuat. Pada gambar 2.15 ditampilkan rumusan tentang BER Analyzer dari *Optisystem component library*[13].

Name and description	Default value	Default unit	Value range
Reference values setup	User-defined	—	User defined, 1st sweep iteration, Current sweep iteration
Total power	-1000	dBm	[-1e+100, 1e+100]
Signal power	-1000	dBm	[-1e+100, 1e+100]
Noise power	-1000	dBm	[-1e+100, 1e+100]
Min. BER	1	—	[0, 1]
Q factor from min. BER	0	—	[0, 1000]
Max. Q factor	0	—	[0, 1000]
Max. eye height	0	a.u.	[-1e+100, 1e+100]
Max. eye amplitude	0	a.u.	[-1e+100, 1e+100]
Max. eye closure	0	a.u.	[-1e+100, 1e+100]
Max. eye opening factor	0	dB	[-1e+100, 1e+100]
Extinction ratio at min. BER	0	dB	[-1e+100, 1e+100]
Min. BER at user defined decision instant	1	—	[0, 1]
Q factor from min. BER at user defined decision instant	0	—	[0, 1000]

Gambar 2.15 Rumusan *BERAnalyzer* dan *Q-Factor*[13]

Kebutuhan BER berbeda-beda, seperti aplikasi komunikasi membutuhkan BER bernilai 10^{-10} atau lebih baik. Ada juga yang membutuhkan BER 10^{-12} . Pada komunikasi serat optik BER yang dibutuhkan adalah 10^{-9} . Faktor – faktor yang mempengaruhi BER adalah *noise*, interferensi, distorsi, sinkronisasi bit, *multipath fading*, redaman dan lain – lain. Metode lain pengukuran BER dapat dilakukan dengan menempatkan dua buah *BERAnalyzer* di lokasi yang berada, besarnya nilai BER yang disyaratkan PT. PLN (Persero) adalah 10^{-9} . ITU-T G.957 menetapkan kebutuhan BER bernilai dari 10^{-10} , dan akan lebih baik ketika bernilai 10^{-12} atau lebih[12].

2.9.7 Rise Time Budget

Pengiriman informasi dari *transmitter* ke *receiver* biasanya akan mengalami dispersi (pelebaran pulsa), sehingga terjadi pemborosan *bandwidth* pada sistem tersebut. Analisa *rise time budget* atau *bandwidth budget* merupakan metode untuk menentukan limitasi atau batasan dispersi. Peristiwa dispersi disebabkan oleh melebarnya pulsa optik karena merambat sepanjang serat optik[3]. Dalam serat optik terdapat dua macam dispersi yaitu dispersi *Intermodal* yang merupakan pelebaran pulsa yang terjadi pada serat jenis *multimode* sebagai akibat dari perbedaan *delay propagasi* dan dispersi *Intramodal* atau biasa disebut

dispersi *chromatic* yang telah mencakup pengaruh dispersi material dan dispersi pandu gelombang[2].

Perhitungan *rise time budget* dimaksudkan untuk melihat kemampuan media transmisi serat optik dalam mendukung *bandwidth* sinyal informasi yang akan dilewatkan. *Rise time budget* secara matematis dapat di rumuskan pada persamaan (2-11) sebagai berikut.

$$t_{sys} = [(t_{tx})^2 + (t_{intramodal})^2 + (t_{intermodal})^2 + (t_{rx})^2]^{1/2}$$

$$= t_{tx}^2 + (D_{mat}\sigma_{\lambda}L)^2 + \frac{440L^q}{E_0} + \frac{350}{E_{rx}}^2 \quad (2-13)$$

$$BW_{tot} = \frac{350}{t_{sys}} \quad (2-14)$$

dengan:

t_{sys} = *rise time budget* (ns)

t_{tx} = *rise time transmit* (ns)

$t_{intramodal}$ = *rise time* dari dispersi *intramodal* berupa: D_{mat} [dispersi material(ns/nm.km)], [lebar *sprektral*(nm)], L [panjang kabel(km)]

$t_{intermodal}$ =*rise time* dari dispersi *intermodal*: (bernilai 0 karena menggunakan serat *singlemode*)

t_{rx} = *rise time receive* (ns)

B_{rx} = *bandwidth receive* (MHz)

BW_{tot} = *bandwidth total* (MHz)

2.10 Optisystem

Optisystem merupakan sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk simulasi sistem komunikasi serat optik, optimasi serta pengujian semua jenis optik pada lapisan spektrum fisik. Simulator Optisystem sama seperti perancangan jaringan pada kondisi real, baik untuk komponen yang dipakai maupun nilai dari setiap komponen. Pada Optisystem dapat dengan mudah ditambahkan komponen-komponen dari berbagai macam alat yang dipakai pada perancangan jaringan komunikasi serat optik[13].

Terdapat keterangan fitur yang ada didalam perangkat lunak *Optisystem 7.0*, diantaranya:

1. *Component Library*

Component library merupakan salah satu fitur yang memuat komponen-komponen perangkat yang digunakan untuk mendesain jaringan fiber optik. Komponen yang ada didalam

componentlibrary ini seperti *transmitter*, *amplifier*, *connector*, *splitter*, dll. Selain komponen-komponen tersebut juga terdapat *visualizer library* terdapat perangkat ukur seperti *BER Analyzer* dan *Optical Power Meter*.

2. *Layout*

Layout merupakan file kerja untuk bekerja pada saat mendesain jaringan.

3. *Menu Bar*

Di dalam menu bar terdapat fitur-fitur yang digunakan untuk pengaturan perintah-perintah untuk mengatur desain yang sedang dikerjakan.

