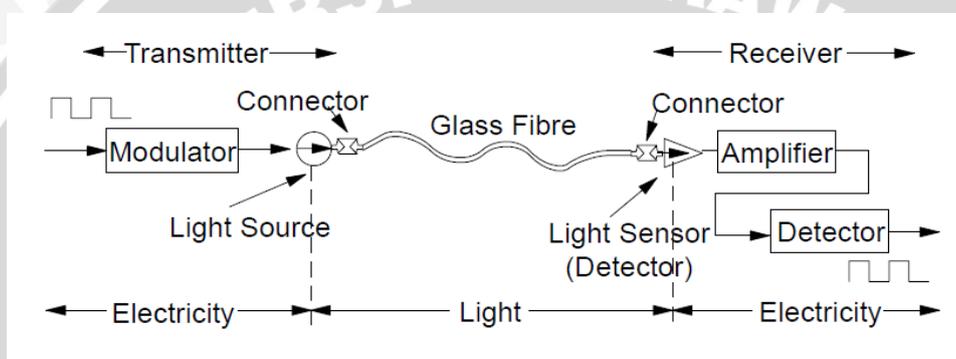


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik adalah sistem komunikasi yang menggunakan cahaya sebagai pembawa informasi dan menggunakan serat optik sebagai media transmisi. Secara umum, sistem komunikasi serat optik terdiri dari tiga bagian yakni pemancar optik, media transmisi (serat optik), dan penerima optik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Transmisi optik
(Sumber : Harry J. R. Dutton, 1998 : 4)

- Modulator bertujuan untuk mengkodekan data sesuai dengan urutan bit dalam bentuk sinyal elektrik untuk ditransmisikan dalam serat optik.
- Sumber cahaya (LED atau laser) berfungsi merubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik yang dikendalikan oleh modulator.
- Serat optik mentransmisikan sinyal optik yang dapat mengalami pelemahan.
- Detektor berfungsi merubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik.
- Sinyal yang berasal dari detektor diberi penguatan kemudian diubah menjadi urutan bit sesuai sinyal sumber.

Keunggulan dari sistem komunikasi serat optik antara lain :

1. Ukuran dan berat serat optik lebih kecil dibandingkan dengan kabel tembaga dengan fungsi yang sama.
2. Jarak transmisi yang jauh jika dibandingkan dengan kabel tembaga. Hal ini mengakibatkan berkurangnya jumlah *repeater* yang diperlukan.

3. Kapasitas informasi yang dikirim besar dikarenakan *bandwidth* dari serat optik lebih lebar dibandingkan dengan kabel tembaga. Sehingga jumlah jalur fisik yang dibutuhkan untuk mengirim sejumlah informasi dapat berkurang.
4. Tahan terhadap interferensi gelombang elektrik. Hal ini disebabkan bahan penyusun dari serat optik merupakan bahan dielektrik yang tidak mengalirkan arus listrik. Oleh karena itu, serat optik tahan terhadap interferensi gelombang elektromagnetik.

2.1.1 Serat Optik

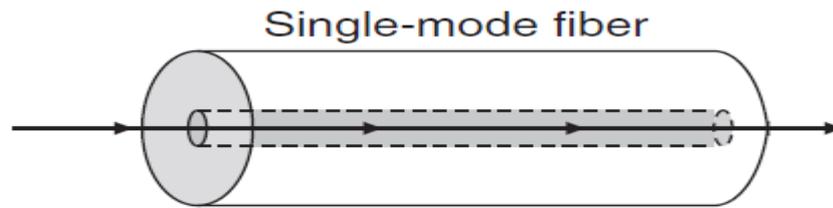
Serat optik digunakan untuk transmisi jarak jauh dikarenakan serat optik memiliki rugi – rugi yang rendah, *noise* yang rendah, dan *bandwidth* yang lebar. Pada umumnya, *core* dan *cladding* serat optik terbuat dari silika (SiO_2). Cahaya dapat merambat dalam inti dikarenakan indeks bias dari *cladding* lebih kecil dibandingkan indeks bias inti. Serat optik dikelompokkan menjadi dua bagian, yang pertama berdasarkan mode perambatannya dan yang kedua berdasarkan indeks bias pada *core*.

a. Berdasarkan Mode Perambatan

Mode pada serat optik didefinisikan sebagai distribusi medan atau pola gelombang elektromagnetik pada sudut tertentu yang dapat merambatkan cahaya. Berdasarkan mode perambatannya serat optik dibedakan menjadi dua yakni serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode*.

Serat optik *singlemode* (SMF) merupakan serat optik yang hanya dapat merambatkan satu mode cahaya karena diameter *core* yang sangat kecil. Diameter dari inti serat optik *singlemode* adalah 10 μm sedangkan untuk *cladding* memiliki diameter 125 μm untuk standar ITU- T G652 D. SMF digunakan untuk transmisi jarak jauh.

Kelemahan dari serat optik jenis *singlemode* adalah adanya dispersi kromatis yang disebabkan oleh perbedaan kecepatan propagasi dari sinyal cahaya pada panjang gelombang dan frekuensi yang berbeda. Selain itu, kelemahan lain yang dimiliki serat optik *singlemode* adalah proses fabrikasi untuk membentuk serat optik yang memiliki diameter inti maksimal 10 μm . Gambar 2.2 memperlihatkan serat optik *singlemode* dengan diameter inti 10 μm

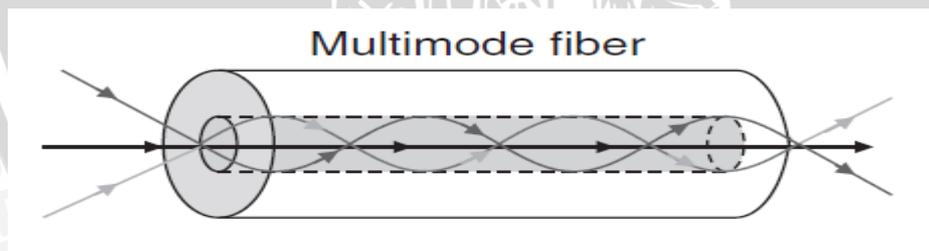


Gambar 2.2 Serat optik *singlemode* dengan diameter inti 10 μm
(Sumber : Cedric Lam, 2007; 23)

- **Serat Optik *Multimode***

Serat optik *multimode* adalah serat optik yang dapat merambatkan beberapa mode sinyal cahaya dalam serat optik. Serat optik *multimode* banyak digunakan pada jaringan LAN dan koneksi antar gedung *Central Office* yang jarak antar gedung 2 km atau kurang. Serat optik *multimode* yang sering digunakan adalah yang memiliki diameter *core* sebesar 50 μm dan 62.5 μm .

Serat optik *multimode* banyak digunakan karena serat optik ini menggunakan sumber optik LED yang harganya lebih murah dibandingkan laser. Pada serat optik *multimode*, beberapa mode dari sinyal cahaya merambat pada serat optik dengan kecepatan yang berbeda antar masing – masing mode. Perbedaan kecepatan ini mengakibatkan munculnya dispersi modal. Efek dari dispersi modal ini adalah sinyal yang diterima menjadi lebih lebar sehingga membatasi *bandwidth* dari sinyal dan jarak transmisi. Gambar 2.3 menunjukkan serat optik *multimode* dengan diameter inti 50 μm , 62.5 μm .



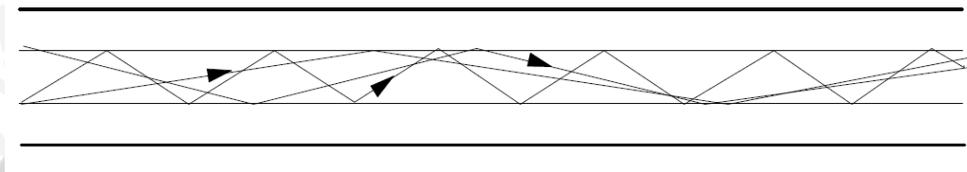
Gambar 2.3 Serat optik *multimode*
(Sumber : Cedric Lam, 2007; 23)

b. Berdasarkan Indeks Bias *Core*

Pembagian serat optik tidak hanya berdasarkan jumlah mode yang dapat dirambatkan, akan tetapi juga bergantung pada indeks bias *core*. Berdasarkan indeks bias *core*, serat optik dibedakan menjadi dua yakni serat optik *step index* dan *graded index*.

- **Step Index**

Serat optik *step index* memiliki perbedaan indeks bias antara inti (*core*) dan *cladding* yang konstan. Pada serat optik *multimode*, serat optik yang memiliki perbedaan indeks bias antara inti dengan *cladding* yang konstan akan menyebabkan dispersi modal karena mode – mode yang merambat dalam serat optik menempuh jarak yang berbeda. Kerugian menggunakan serat optik jenis ini adalah terjadinya pelebaran pulsa jika dibandingkan dengan serat optik jenis *graded index* pada kecepatan sinyal yang sama. Serat optik *step index* ditunjukkan seperti pada gambar 2.4.

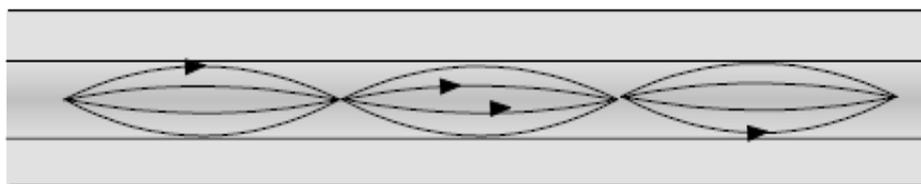


Gambar 2.4 Serat optik *step-index*
(Sumber : Harry J. R. Dutton, 1998 : 33)

- **Graded Index**

Serat optik *graded index* adalah serat optik yang indeks bias inti berubah sebagai fungsi dari jarak radial dari serat optik. Indeks bias terbesar ada di tengah inti dan semakin berkurang ketika menjauhi inti. Gambar 2.5 memperlihatkan sinyal cahaya yang merambat dalam serat optik *graded index*.

Keuntungan menggunakan serat optik *graded index* adalah tidak adanya dispersi modal karena dalam serat optik *graded index* semua mode yang merambat memiliki kecepatan yang sama. Selain itu, serat optik *graded index* memiliki efisiensi *coupling* yang tinggi karena memiliki inti yang besar. Namun, serat optik *graded index* tidak bisa digunakan untuk transmisi jarak jauh karena rugi – rugi yang besar yakni 50 dB/km.



Gambar 2.5 Serat optik *graded index*
(Sumber : Henry J. R. Dutton, 1998 : 35)

2.1.2 Pemancar Optik

Pemancar atau sumber optik merupakan salah satu komponen penting dalam sistem komunikasi serat optik karena berfungsi untuk merubah sinyal elektrik menjadi sinyal cahaya. Secara umum, sinyal cahaya dapat dihasilkan dengan cara merubah kondisi elektron dari elektron dalam kondisi energi tinggi menjadi elektron dalam kondisi energi rendah. Energi yang dilepaskan dalam proses ini berubah menjadi cahaya. Cahaya yang dipancarkan dapat terjadi secara spontan atau dapat dirangsang (*stimulated*).

Emisi cahaya secara spontan terjadi ketika elektron berada dalam level energi yang tinggi dan tidak stabil sehingga secara spontan elektron kembali ke level yang lebih stabil dalam ukuran waktu pikodetik (ps). Ketika proses ini terjadi, elektron memancarkan foton. Cahaya yang dipancarkan secara spontan, arah dan fasa dari cahaya bernilai acak namun panjang gelombangnya akan ditentukan oleh jumlah energi yang dikeluarkan elektron.

Emisi yang distimulasi terjadi ketika menggunakan laser sebagai sumber optik. Proses terjadinya emisi cahaya terjadi ketika elektron berada pada level energi yang tinggi dan tetap berada pada level tersebut selama beberapa mikrodetik sebelum kembali ke kondisi semula. Ketika elektron berada pada kondisi setengah stabil (*metastable*), elektron distimulasi dengan foton agar menghasilkan energi dalam bentuk foton yang berbeda. Foton yang dihasilkan dalam proses ini memiliki fasa, arah, dan panjang gelombang yang sama dengan foton yang menstimulasi.

Sumber energi yang digunakan untuk merubah kondisi elektron bersumber dari panas, arus listrik, reaksi kimia, reaksi biologi, dan radiasi nuklir. Sumber optik untuk digunakan untuk sistem komunikasi serat optik ada dua yakni laser dan *Light Emitting Diode* (LED).

a. Jenis Pemancar Optik

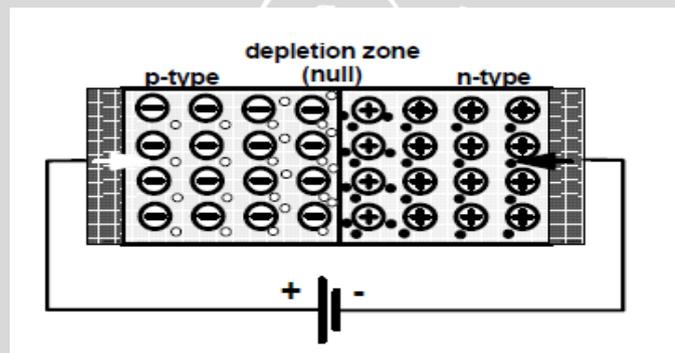
Salah satu faktor yang mendukung perkembangan teknologi serat optik adalah ditemukannya laser pada tahun 1960. Laser dan LED digunakan sebagai sumber optik. Pemilihan jenis sumber optik yang digunakan akan mempengaruhi unjuk kerja dari sistem komunikasi serat optik yang dibangun.

- ***Light Emitting Diode* (LED)**

LED merupakan salah satu sumber optik yang paling sederhana dan banyak digunakan dalam dunia telekomunikasi. Prinsip kerja LED sebagai sumber optik didasarkan atas proses dimana LED dibias maju (*forward bias*).

Ketika LED diberi potensial elektrik seperti pada Gambar 2.6, elektron bebas pada semikonduktor tipe N akan didorong menuju sambungan sedangkan lubang (*holes*) pada semikonduktor tipe P didorong menuju sambungan. Pada sambungan, elektron dan lubang bergabung dan saling menghilangkan. Pada saat proses ini terjadi, elektron bebas akan mengeluarkan energi untuk mengisi lubang yang ada. Energi yang diradiasikan berbentuk gelombang elektromagnetik yang panjang gelombangnya bergantung pada energi yang dikeluarkan elektron bebas.

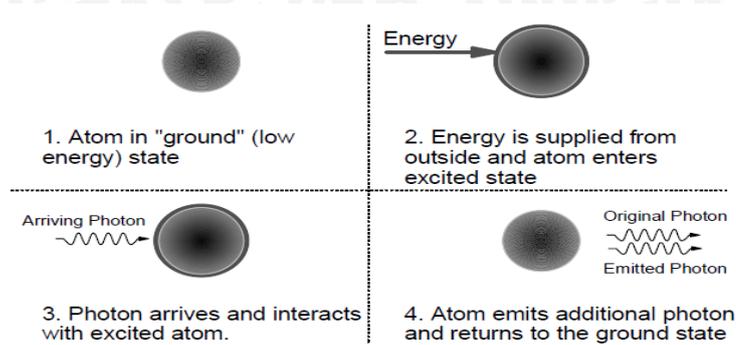
LED banyak digunakan karena harganya murah, spektrum yang dihasilkan lebar, 0.5 dari panjang gelombang atau 50 sampai 100 nm. Namun, kelemahan dari LED adalah cahaya yang dihasilkan tidak koheren sehingga tidak cocok untuk serat optik jenis *singlemode*. Selain itu, LED tidak dapat menghasilkan pulsa yang cukup pendek untuk digunakan pada kecepatan gigabit. Kelemahan lain dari LED adalah daya yang dihasilkan lebih kecil dari laser, sekitar 100 μW .



Gambar 2.6 potensial listrik pada *p-n junction*
(Sumber : Harry J.R. Dutton, 1998: 83)

- ***Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Laser)***

Laser diciptakan untuk mengatasi kelemahan – kelemahan yang ada pada LED. Laser bekerja berdasarkan pada prinsip emisi yang terstimulasi. Prinsip kerjanya ditunjukkan pada Gambar 2.7. Elektron pada atom berada pada level energi rendah yang stabil atau disebut *ground state*. Kemudian energi diberikan dan diabsorpsi oleh atom yang membuat elektron tereksitasi dan masuk ke level energi yang lebih tinggi. Foton yang dikirim memiliki jumlah energi yang sama yang dibutuhkan oleh elektron untuk kembali ke kondisi stabil. Foton yang dikirim akan memicu resonansi dengan atom yang tereksitasi. Hal ini akan mengakibatkan elektron akan meninggalkan elektron kembali ke kondisi stabil dan akan mengeluarkan energi dalam bentuk foton.



Gambar 2.7 Emisi terstimulasi sebagai prinsip kerja LASER

(Sumber : Henry J. R. Dutton, 1998 : 94)

Faktor – faktor yang membuat laser dipilih sebagai sumber optik yakni daya yang dihasilkan cukup besar. Untuk aplikasi dalam bidang telekomunikasi, daya yang dihasilkan oleh laser semikonduktor sebesar 20 mW. Selain itu, sinyal cahaya yang dihasilkan koheren dan 50 % - 80 % cahaya yang dihasilkan dapat dikirimkan lewat serat optik. Kelemahan yang ada pada laser antara lain harganya yang mahal dibandingkan dengan LED dan laser hanya didesain untuk panjang gelombang tertentu.

b. Karakteristik Sumber Optik

Sumber optik yang banyak digunakan dalam dunia telekomunikasi ada dua seperti yang telah dibahas pada bagian sebelumnya yakni LED dan laser. Faktor – faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan sumber optik yang digunakan adalah :

1. Waktu Jangkit (*Rise Time*)

Waktu jangkit adalah waktu yang diperlukan sumber optik untuk membentuk amplitudo pulsa intensitas optik dari kondisi 10 % sampai 90 %. Waktu jangkit juga menunjukkan kecepatan transmisi yang dapat dibangkitkan oleh sumber optik. Semakin pendek waktu jangkit yang dibutuhkan oleh sumber optik semakin tinggi kecepatan transmisinya.

2. Daya Keluaran Sumber Optik

Daya yang dipancarkan sumber bergantung pada beberapa faktor diantaranya jarak transmisi, semakin jauh jarak transmisinya maka daya yang akan dipancarkan harus semakin besar untuk mengatasi pelemahan yang terjadi serat optik dan rugi – rugi yang lain seperti rugi – rugi *coupling*. Selain itu, sensitifitas dari penerima juga ikut diperhitungkan karena beberapa penerima memiliki batas daya tertentu yang dapat diterima.

3. Lebar Spektrum

Lebar spektrum merupakan salah satu faktor yang menentukan kinerja dari sumber optik karena semakin lebar spektrum dari sumber optik maka semakin besar pula dispersi yang dialami sinyal. Selain itu, lebar spektral dari sinyal yang sempit akan menimbulkan efek *non linier*.

4. Panjang Gelombang yang Digunakan

Panjang gelombang yang digunakan harus sesuai dengan yang sistem direncanakan. Pada laser dan LED, panjang gelombang yang dipakai bergantung pada material yang digunakan.

2.1.3 Penerima Optik

Penerima optik dalam sistem komunikasi serat optik berfungsi untuk menerjemahkan informasi yang ada pada sinyal optik. Komponen utama dalam penerima optik adalah *photodetector*. Faktor – faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan penerima optik antara lain sensitifitas yang tinggi, respon yang cepat, *noise* yang rendah, harga yang murah, dan memiliki keandalan yang tinggi. Jenis penerima optik yang akan dibahas ada dua yakni diode *Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanche Photodiodes* (APDs).

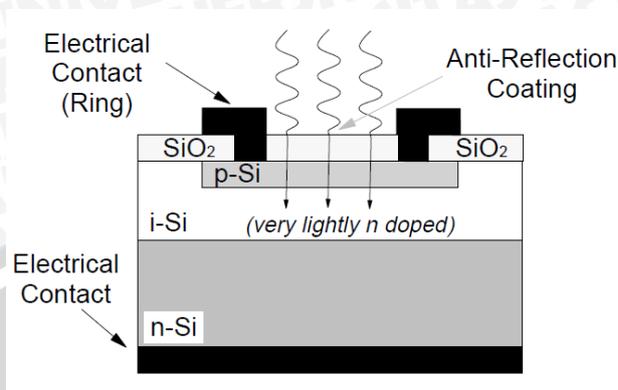
a. Jenis Penerima Optik

- ***Diode Positive Intrinsic Negative* (PIN)**

Diode PIN merupakan pengembangan dari diode p-n dengan penambahan lapisan intrinsik diantara lapisan p dan n. Penambahan ini bertujuan untuk meningkatkan foton yang diserap sehingga lebih banyak sinyal yang diterima. Efek lain dari penambahan lapisan intrinsik adalah meningkatnya responsifitas dari penerima optik dan mengurangi waktu respon beberapa puluh pikodetik (ps).

Penggunaan material untuk membuat diode PIN bergantung pada panjang gelombang yang akan digunakan. Untuk panjang gelombang 500 – 1000 nm material yang digunakan silikon. Untuk panjang gelombang 1300 nm (1250 nm – 1400 nm) material yang digunakan adalah *indium gallium arsenide phosphide* (InGaAsP). *Indium Gallium Arsenide* (InGaAs) digunakan pada panjang gelombang 1550 nm (1500 nm – 1600 nm).

Kekurangan dari diode pin adalah munculnya *noise* yang bersumber dari panas ketika dioperasikan pada level sinyal cahaya yang rendah. Gambar 2.8 memperlihatkan bentuk dari diode PIN .

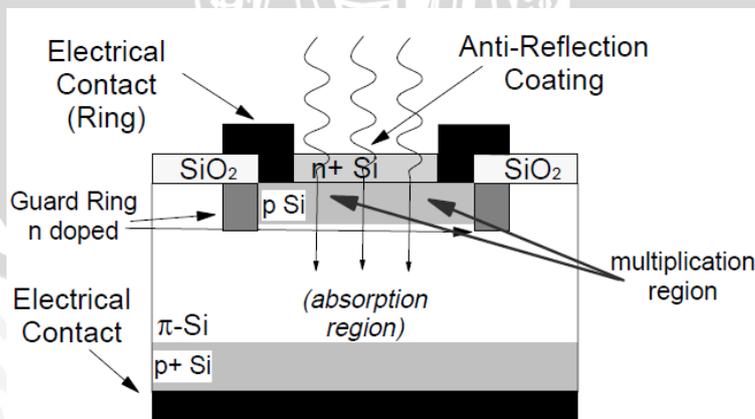


Gambar 2.8 diode PIN

(Sumber : Henry J. R. Dutton, 1998 : 135)

- **Avalanche Photodiodes (APDs)**

APDs merupakan pengembangan dari diode PIN. APDs menguatkan arus foto (*photocurrent*) secara internal sebelum masuk kedalam rangkaian penguat. Proses penguatan terjadi karena APDs menggunakan medan elektrik tinggi pada *photodiode*. Ketika elektron berada pada medan elektrik tinggi, elektron tersebut mempunyai energi yang cukup untuk menghasilkan pasangan elektron dan *hole* yang baru. Elektron dan *holes* yang baru juga mendapat energi yang cukup sehingga menghasilkan elektron dan *hole* yang baru. Proses yang terus berlanjut ini disebut *avalanche multiplication* yang dapat meningkatkan sensitifitas dari penerima optik. Gambar 2.9 menunjukkan struktur dari APDs.



Gambar 2.9 Struktur APDs

(Sumber : Henry J. R. Dutton, 1998 : 139)

Kelebihan penggunaan APDs sebagai penerima adalah APDs memiliki sensitifitas yang tinggi. Selain itu, penguatan (*gain*) yang dimiliki APDs lebih tinggi dibandingkan diode PIN, untuk APDs dengan material silikon memiliki penguatan sebesar 20 – 400. Namun, APDs juga memiliki beberapa kekurangan salah satunya adalah strukturnya yang kompleks membuat APDs sulit untuk dibuat dan membutuhkan biaya yang mahal. Selain itu, pengaturan suhu juga diperlukan agar APDs dapat beroperasi.

b. Karakteristik Penerima Optik

1. Responsifitas

Responsifitas merupakan perbandingan arus keluaran dengan daya masukan. Responsifitas juga menunjukkan efisiensi dari detektor optik.

2. Rentang Respon Spektral

Rentang respon spektral menunjukkan rentang panjang gelombang yang digunakan oleh penerima optik.

3. Waktu Respon

Waktu respon menunjukkan seberapa cepat penerima optik dapat merespon variasi dari intensitas sinyal masukan.

4. Karakteristik *Noise*

Karakteristik *noise* memperlihatkan level *noise* yang dihasilkan oleh penerima optik yang bernilai kritis jika penerima optik bekerja pada level masukan yang rendah.

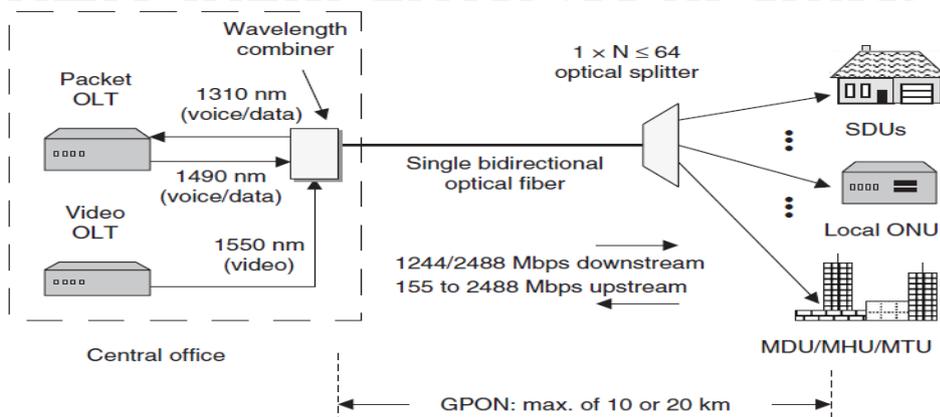
2.2 Teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON)

Teknologi jaringan akses semakin berkembang terlebih dengan semakin banyaknya digunakan teknologi ATM dan *Ethernet* untuk transmisi data. GPON diciptakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Tujuan lain GPON diciptakan adalah untuk mengembangkan teknologi yang mampu mengirimkan paket dengan panjang yang berbeda – beda dalam hitungan gigabit per detik. Untuk itu, ITU-T telah memberikan standar untuk teknologi GPON yang tercantum dalam ITU-T *Recommendation Series G.984.1* sampai *G.984.4*.

2.2.1 Teori Teknologi GPON

GPON pertama kali dikembangkan oleh *Full Service Access Network* (FSAN) pada bulan April 2001. Beberapa fungsi yang ada pada BPON dan EPON juga ada pada GPON seperti *Dynamic Bandwidth Assignment* (DBA), pesan *Administration, and Maintenance* (OAM). Untuk lebih jelasnya Gambar 2.10 menunjukkan jaringan GPON

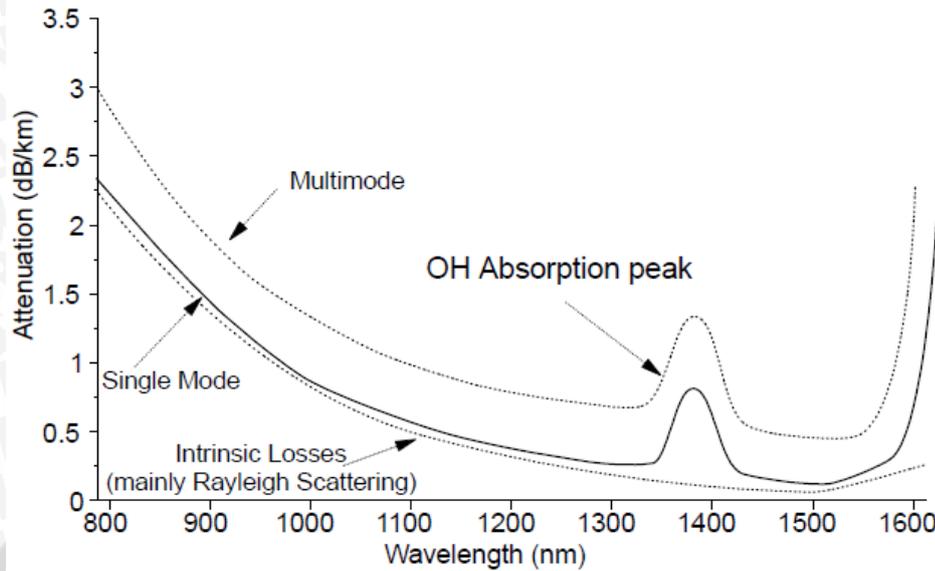
mulai dari panjang gelombang yang digunakan, kecepatan *upstream* dan *downstream* dan komponen – komponen pendukung GPON.



Gambar 2.10 Arsitektur GPON

(Sumber : Gerd Keiser, 2006 : 156)

GPON membutuhkan beberapa kriteria agar dapat diaplikasikan yang disebut dengan *GPON Service Requirements* (GSR). Pertama, GPON merupakan *full service network* yang berarti GPON harus dapat menangani semua jenis layanan termasuk 10 dan 100 Mbps *Ethernet*, telepon analog, trafik digital T1/E1 (yakni 1.544 dan 2.048 Mbps), 155 Mbps *Asynchronous Transfer Module* (ATM). Kecepatan *downstream* untuk GPON adalah 1.25 Gbps dan 2.5 Gbps sedangkan untuk *upstream* sebesar 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps, 2.5 Gbps. Kecepatan data dapat berbentuk *symmetrical* (kecepatannya sama baik arah *upstream* maupun *downstream*) atau *asymmetrical*. Panjang gelombang yang digunakan adalah 1480 nm sampai 1500 nm untuk transmisi suara dan data pada arah *downstream* dan 1260 nm sampai 1360 nm untuk kanal *upstream*. Sedangkan panjang gelombang 1550 sampai 1560 nm digunakan untuk transmisi video arah *downstream*. Jarak maksimal transmisi untuk GPON adalah 10 atau 20 km bergantung pada kemampuan dari pemancar dan penerima optik. Gambar 2.11 memperlihatkan rugi – rugi serat optik pada panjang gelombang yang berbeda. Untuk jumlah *splitting* yangizinkan pada teknologi GPON sebesar 64. Tabel 2.1 menunjukkan *GPON Service Requirements* secara lengkap.



Gambar 2.11 Rugi – rugi serat optik pada panjang gelombang berbeda.

(Sumber : Harry J. R. Dutton, 1998 : 31)

Tabel 2.1 Spesifikasi GPON

Parameter	GSR Specification
Service	Full service : for example, 10/100 BASE-T Ethernet, analog telephony, SONET/SDH TDM, ATM
Access data rate	Downstream : 1.244 and 2.488 Gbps; upstream : 155 Mbps, 622 Mbps, 1.244 Gbps, 2.488 Gbps
Distance	10 or 20 km maximum
Splitting Number	Maximum of 64
Wavelengths	Downstream voice/data: 1480 to 1500 nm; upstream voice/data: 1260 to 1360 nm; downstream video distribution 1550 to 1560 nm
Protection Switching	Fully redundant 1+1 protection; partially redundant 1:N protection
Security	Information security at the protocol level for downstream traffic: for example, the use of <i>Advanced Encryption Standard (AES)</i>

(Sumber : Gerd Keiser, 2006 : 157)

2.2.2 Model Aplikasi GPON

Jaringan akses atau *last mile* merupakan jaringan yang menghubungkan antara *Central Office (CO)* dengan konsumen yang ada di lingkungan perumahan atau kawasan bisnis. Penggunaan serat optik dalam jaringan akses semakin berkembang

yang kemudian disebut dengan istilah *fiber-to-the-x* (FTTx). Huruf x menandakan akhir dari penggunaan serat optik. FTTx ada 4 jenis yakni FTTN, FTTC, FTTB, dan FTTH.

1. *Fiber To The Neighborhood* (FTTN)

FTTN merujuk pada jaringan serat optik yang dimulai dari *Central Office* (CO) hingga *Main Distribution Frame* (MDF) yang terletak di dalam gedung atau di luar. FTTN tidak hanya menggunakan serat optik sebagai media transmisi namun juga menggunakan media lain seperti kabel *coaxial* untuk mentransmisikan sinyal komunikasi dari MDF ke pelanggan.

2. *Fiber To The Curb* (FTTC)

FTTC adalah jaringan serat optik yang dibangun mulai dari *Central Office* (CO) hingga ke *shelter* yang dekat dengan kawasan perumahan atau bisnis. Jarak antara *shelter* dengan rumah pelanggan atau kawasan bisnis adalah 1000 kaki atau 300 meter. Kabel *coaxial*, kabel tembaga *twisted-pair* atau media transmisi yang lain digunakan untuk menghubungkan *curb* dengan pelanggan yang ada di dalam gedung.

3. *Fiber To The Building* (FTTB)

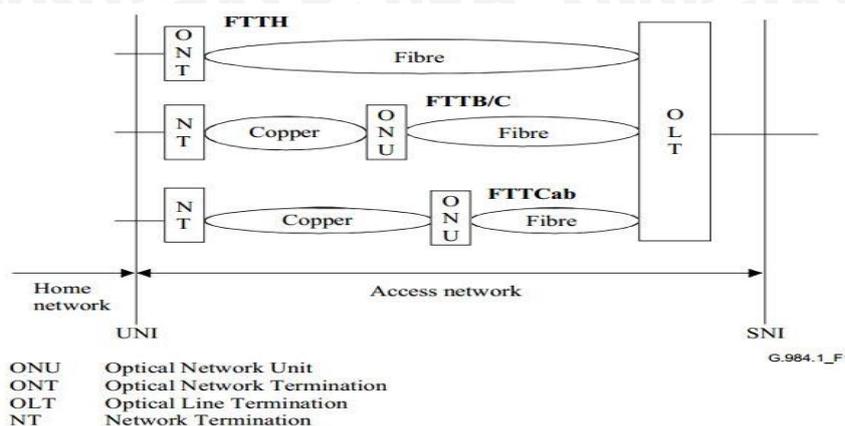
FTTB adalah jaringan serat optik yang menghubungkan *Central Office* (CO) dengan gedung bisnis atau apartemen. Di dalam gedung terdapat *Optical Network Unit* (ONU) yang merubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik untuk kemudian didistribusikan melalui jaringan kabel ke pelanggan.

4. *Fiber To The Home* (FTTH)

FTTH merupakan jaringan serat optik yang langsung menghubungkan rumah pelanggan dengan *Central Office* (CO). Perbedaan antara FTTB dengan FTTH adalah permintaan *bandwidth* pada FTTB lebih besar dibandingkan dengan FTTH.

2.2.3 Konfigurasi Pada Teknologi GPON

GPON yang berdasarkan standar ITU-T G.984.1 – G.984.3 memiliki kecepatan kanal *upstream* 1.2 Gbps dan untuk kanal *downstream* sebesar 2.4 Gbps. Arsitektur jaringan FTTH diberikan pada Gambar 2.12. GPON memiliki 3 komponen penting yakni yakni *Optical Line Terminal* (OLT), *Optical Distribution Network* (ODN), dan *Optical Network Unit / Terminal* (ONT/ONU).



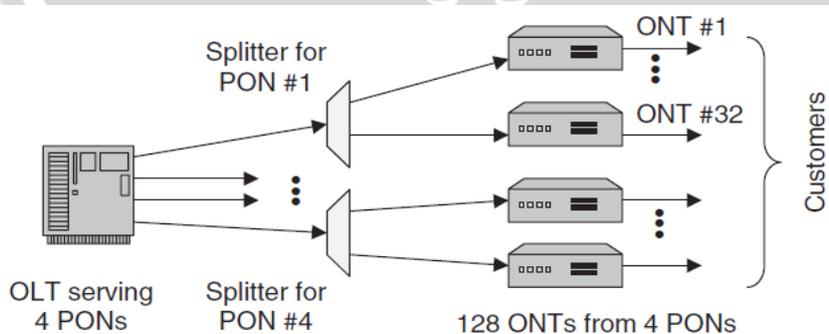
Gambar 2.12 Arsitektur FTTH, FTTB, DAN FTTCab

(Sumber : ITU-T G.984.1, 2008 : 4)

a. Optical Line Terminal (OLT)

OLT terletak didalam *Central Office* (CO) dan berfungsi mengatur aliran informasi dari ODN. Sebuah OLT dapat mendukung transmisi ke ODN hingga jarak 20 km. Pada arah *downstream*, OLT berfungsi mengambil informasi suara, data dan trafik video dari jaringan utama atau jaringan metro untuk didistribusikan ke modul ONT yang terletak di ODN. Pada arah sebaliknya, yakni *upstream*, OLT menerima dan mendistribusikan berbagai macam trafik suara dan data dari pengguna.

OLT didesain untuk mengontrol lebih dari satu PON. Selain itu, OLT juga dapat mengirimkan beberapa jenis layanan ke ODN dalam satu serat optik dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda. Transmisi arah *downstream* OLT menggunakan panjang gelombang 1490 nm untuk trafik data dan suara sedangkan panjang gelombang 1550 nm digunakan untuk transmisi video. Kanal *upstream* untuk trafik data dan video menggunakan panjang gelombang 1310 nm. Gambar 2.13 menunjukkan OLT yang mampu melayani 4 jaringan PON secara independen.



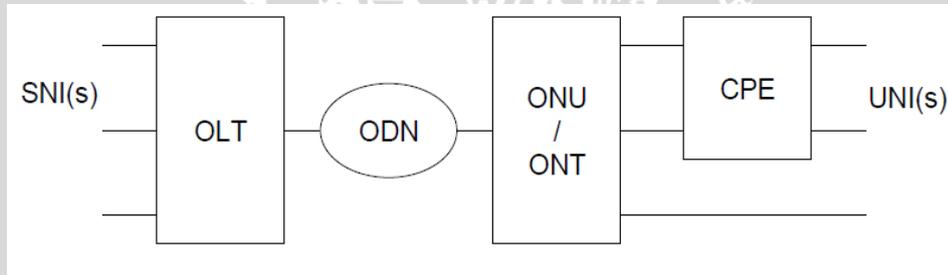
Gambar 2.13 OLT yang dapat melayani 4 jaringan PON

(Sumber : Gerd Keiser, 2006 : 104)

b. *Optical Distribution Network (ODN)*

ODN (*Optical Distribution Network*) adalah jaringan optik antara perangkat OLT sampai perangkat ONU/ONT. Level sinyal optik (*Optical budget*) yang distandarkan adalah 28 sd. 29 dB. Jarak maksimum yang bisa dilayani 20 km dengan aturan pemecahan jaringan optik (*splitting ratio*) 1:32, 1:64 dan 1:128 dengan jumlah level splitting ratio maksimum 2 level. Untuk konfigurasi 2 level, kombinasi yang digunakan adalah 1:2 dengan 1:16, 1:4 dengan 1:8 dan 1:32.

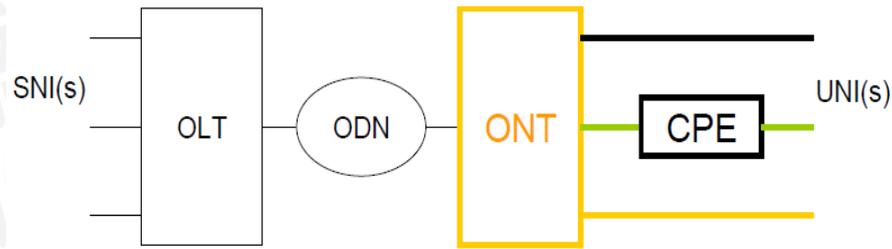
Jenis kabel optik yang digunakan mengacu kepada standar kabel optik ITU-T G.652. Jaringan outside plan optik untuk FTTH dikelompokkan dalam beberapa kelas, yaitu kelas A dengan rentang redaman antara 5 hingga 20 dB, kelas B dengan rentang redaman 10 hingga 25 dB, dan kelas C dengan rentang redaman 15 hingga 30 dB. Pembagian kelas – kelas ini berdasarkan kemampuan jarak operasi FTTH dan jumlah ONU yang bisa ditangani dan juga memperhitungkan perhitungan power budget dari jaringan. Berdasarkan hasil evaluasi teknis RFI, para vendor umumnya menggunakan class B atau B+ untuk sistem FTTHnya. Kelas B+ yang dimaksud adalah ODN dengan kemampuan jarak operasi 20 km dengan kemampuan menangani ONT sampai dengan 32 ONT.



Gambar 2.14 *Optical Distribution Network*
(Sumber : ITU-T G.984.1 :2008)

c. *Optical Network Terminal (ONT)*

ONT terletak tepat di rumah pelanggan. Fungsi utama dari ONT adalah untuk merubah sinyal optik yang diterima dari OLT menjadi sinyal elektrik. ONT dapat melayani berbagai macam jenis layanan telekomunikasi termasuk *Ethernet*, T1 atau E1 (1.544 atau 2.048 Mbps) dan DS3 atau E3 (44.376 atau 34.386 Mbps), koneksi telepon, antar muka ATM (155 Mbps), format video digital dan analog. Bentuk dari ONT dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna mulai dari yang berbentuk kotak yang dapat diletakkan di luar rumah hingga bentuk yang dapat diletakkan di dalam rumah.

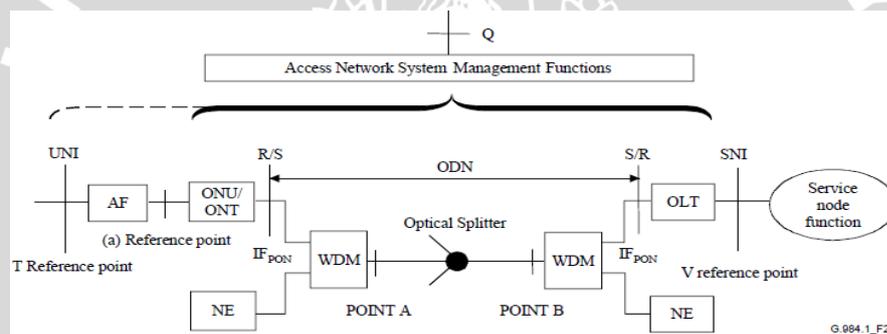


Gambar 2.15 ONT

(Sumber : ITU-T G.984.1:2008)

2.2.4 Konfigurasi Jaringan GPON

ITU-T G.984.1 telah menjelaskan teknologi GPON dengan sangat jelas termasuk konfigurasi jaringan yang digunakan GPON seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Gambar 2.16 juga menunjukkan beberapa komponen pendukung teknologi GPON seperti *splitter*, *WDM Coupler*, *ONT/ONU*, *AF*, *ODN*, dan *OLT*.

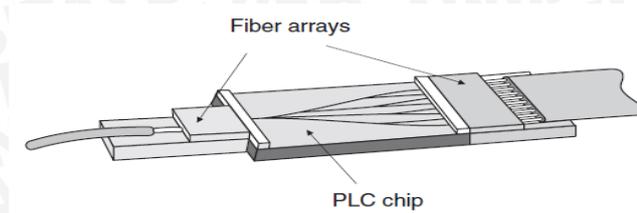


Gambar 2.16 Konfigurasi GPON

(Sumber : ITU-T G.984.1 : 6)

1. Splitter

Splitter adalah alat yang digunakan untuk membagi daya yang ada dalam sinyal optik menjadi beberapa bagian untuk dikirim ke ONT. Jenis *splitter* yang banyak digunakan adalah *Splitter Planar Lightwave Circuit (PLC)* dikarenakan rentang panjang gelombang yang digunakan alat ini cukup lebar yakni 1280 nm – 1650 nm dan suhu agar alat ini dapat bekerja dengan baik adalah pada rentang suhu -40 hingga 85°C. *Insertion Loss* dari alat ini bernilai 10.5 dB untuk *splitter* 1×8 dan 18 dB untuk *splitter* 1×32. Pada *splitter PLC*, salah satu ujung dar alat ini dihubungkan dengan serat optik sedangkan ujung yang lain dihubungkan dengan *array* sejumlah N serat optik seperti pada Gambar 2.17. Substrat planar yang digunakan pada PLC terbuat dari silikon atau quartz.



Gambar 2.17 splitter PLC

(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 91)

2. WDM Coupler

WDM Coupler berfungsi untuk memisahkan dan menggabungkan sinyal *downstream* dan *upstream* dalam sistem PON.

3. Adaptation Function (AF)

Adaptation Function adalah peralatan tambahan yang digunakan untuk merubah antarmuka pada ONT/ONU menjadi *User Network Interface* (UNI). AF juga digunakan untuk merubah antarmuka jaringan pada OLT menjadi antarmuka *Service Node Interface* (SNI).

4. Konektor

Konektor digunakan dalam sistem transmisi serat optik untuk menghubungkan perangkat dengan kabel penghubung atau antara kabel dengan kabel. Ada dua macam konektor yang banyak digunakan yakni konektor LC dan konektor SC. Konektor SC dikembangkan oleh *Nippon Telegraph and Telephone (NTT) of Japan* dan konektor LC dikembangkan oleh *Lucent*. Konektor SC *single-mode* memiliki *insertion loss* sebesar 0.3 dB dan *return loss* sebesar 40 dB. Konektor LC memiliki nilai *insertion loss* sebesar 0.1 dB.



Gambar 2.18 Konektor (a) SC (b) LC

(Sumber : Gerd Keiser, 2006: 95)

2.2.5 Parameter Unjuk Kerja GPON

Perencanaan jaringan FTTH harus memenuhi kriteria yang telah ada dalam standar ITU-T G.984.1 hingga G.984.3 salah satunya adalah kecepatan transmisi untuk kanal *upstream* adalah 1.2 Gbps dan untuk kanal *downstream* sebesar 2.4 Gbps. Namun, untuk mengetahui apakah jaringan yang dirancang dapat memenuhi kebutuhan

pelanggan yang ada di Perumahan Permata Jingga *West Area*-Malang maka diperlukan parameter – parameter lain seperti ada pada bagian 1.2 tentang rumusan masalah.

Parameter – parameter tersebut adalah :

1. *Bandwidth* yang dibutuhkan pelanggan
2. *Link Power Budget*
3. *Link Rise Time Budget*
4. *Delay*
5. *Throughput*

Setelah proses perencanaan jaringan telah selesai dilaksanakan langkah selanjutnya adalah menghitung nilai dari *link power budget* dan *link rise time budget*. Kedua parameter tersebut diperlukan untuk mengetahui performansi awal dari jaringan FTTH yang telah dirancang. *Link power budget* menunjukkan perbedaan daya optik antara pemancar dan penerima. Sedangkan *link rise time budget* menunjukkan kapasitas informasi dari jaringan serat optik yang telah dirancang.

Faktor – faktor lain yang memperengaruhi performansi dari jaringan FTTH adalah *delay* dan *throughput*. *Delay* yang terjadi pada jaringan FTTH adalah *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* pemrosesan, dan *delay* antrian. Parameter *throughput* menunjukkan kecepatan sebenarnya dari jaringan FTTH.

a. *Bandwidth* yang Dibutuhkan Pengguna

Bandwidth yang digunakan pada jaringan FTTH akan berbeda tergantung pada pengguna. *Bandwidth* untuk penggunaan telepon dengan transmisi data atau internet akan berbeda. Tabel 2.2 menunjukkan *bandwidth* untuk masing – masing layanan yang diberikan.

Tabel 2.2 Kebutuhan *bandwidth* untuk masing – masing layanan

<i>Application</i>	<i>Bandwidth</i>	<i>QoS</i>
Video (SDTV)	3.5 Mbps	<i>Low loss, low jitter, constant bit rate</i>
Video (HDTV)	15 Mbps	<i>Same as above</i>
<i>Telecommunicating</i>	10 Mbps	<i>Best effort, bursty</i>
<i>Video Gaming</i>	10 Mbps	<i>Low loss, low jitter, bursty</i>
<i>Voice</i>	64 kbps	<i>Low loss, low latency, constant bit rate</i>
<i>Peer-to-peer downloading</i>	100 kbps– 100 Mbps	<i>Best effort</i>

(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 13)

b. *Link Power Budget*

Parameter awal yang digunakan pada saat perencanaan jaringan FTTH adalah *link power budget* karena parameter ini menunjukkan perbedaan level daya maksimum yang diizinkan antara pemancar optik dan penerima optik. Perbedaan level daya antara pemancar dan penerima optik disebabkan oleh redaman yang ada pada masing – masing komponen dalam sistem FTTH yakni redaman pada pemancar dan penerima, redaman pada serat optik, konektor, *wdm coupler*, *splitter*, dan *splicer*.

Langkah pertama dalam menghitung *link power budget* adalah menentukan besarnya selisih antara pemancar dengan penerima dengan menggunakan Persamaan 2.1(Gerd Keiser, 2006 , 196)

$$P_t = P_s - P_r \quad (2.1)$$

P_t = *Power Budget* (dB)

P_s = Daya Keluaran Pemancar

P_r = Daya Keluaran Penerima

Selain faktor daya pada pemancar dan penerima optik, faktor lain yang mempengaruhi *link power budget* adalah redaman yang terjadi pada komponen – komponen dalam sistem yakni

1. Redaman serat optik
2. *Loss* pada penyambungan serat optik
3. Redaman pada konektor
4. Redaman pada *splitter*
5. Redaman pada *WDM Coupler*

Persamaan 2.2 digunakan untuk menghitung berapa redaman total yang ada pada jaringan FTTH. (Gerd Keiser, 2006 , 196)

$$a_{total} = (\alpha_f \times D) + (N_s \times L_s) + (N_c \times L_c) + S + L_{coupler} \quad (2.2)$$

Dengan

a_{total} = redaman total

α_f = rugi serat optik (dB/km)

D = panjang serat optik (km)

N_s = jumlah sambungan

- L_s = Rugi sambungan
 N_c = jumlah konektor
 L_c = rugi konektor
 S = Rugi *Splitter*
 $L_{coupler}$ = Rugi WDM *coupler*

Nilai yang didapat dari Persamaan 2.1 dikurangi dengan nilai dari Persamaan 2.2 sesuai dengan Persamaan 2.3 untuk mendapatkan *Margin System* dari jaringan yang telah dirancang. Jika hasil dari Persamaan 2.3 menunjukkan angka yang lebih besar dari 0 maka jaringan yang dirancang dikatakan layak.

$$M = (P_s - P_r) - a_{total} - 3dB \quad (2.3)$$

c. *Link Rise Time Budget*

Analisa yang dapat dilakukan pada jaringan FTTH dapat dilakukan berdasarkan nilai *link rise time budget*. *Link rise time budget* menunjukkan nilai batas dispersi dari jaringan serat optik. Pada pendekatan *link rise time budget*, *rise time* total dari sistem merupakan akar dari penjumlahan *rise time* dari masing – masing komponen pada sistem. Secara umum, persamaan untuk menghitung total *rise time* adalah (Gerd Keiser, 2006 , 200)

$$t_{sys} = \left(\sum_{i=1}^N t_i^2 \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

Dengan

t_{sys} = total *rise time*

t_i = *rise time* masing komponen dalam sistem

Lima komponen dasar yang dapat membatasi kecepatan dari jaringan yang dirancang adalah *rise time* dari pemancar (t_{TX}), *rise time* dari penerima (t_{RX}), *rise time* dispersi modal (t_{mod}), *rise time* dispersi intramodal (t_{CD}), dan *rise time Polarization Mode Dispersion* (PMD) (t_{PMD}). Jika kelima parameter ini disubstitusikan ke dalam Persamaan 2.4 maka Persamaan 2.4 akan menjadi (Gerd Keiser, 2006 , 201)

$$t_{sys} = (t_{TX}^2 + t_{mod}^2 + t_{intra}^2 + t_{PMD}^2 + t_{RX}^2)^{1/2} \quad (2.5)$$

Jika serat optik yang digunakan adalah serat optik single mode, maka nilai $t_{mod} = 0$, sedangkan jika serat optik yang digunakan adalah serat optik *multimode* maka nilai dari $t_{CD} = 0$.

1. Rise Time Pemancar dan Penerima

Rise time dari pemancar menunjukkan waktu yang dibutuhkan sumber optik untuk merespon arus kemudi (*drive current*). Sedangkan *rise time* pada penerima menunjukkan kecepatan respon dari detektor optik. *Rise time* pada penerima adalah waktu yang dibutuhkan keluaran dari detektor untuk mencapai nilai dari 10 % hingga 90 %. Besarnya *rise time* untuk jenis detektor APD dan *photodiode* diberikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Rise time* untuk masing – masing *photodiode*

Jenis Detektor Optik	Si (ns)	Ge (ns)	InGaAs (ns)
Photodiode	0.5-1	0.1-0.5	0.05-0.5
APD	0.1-2	0.5-0.8	0.1-0.5

(Sumber : Gerd Keiser :201)

Pada serat *singlemode* tidak mengalami *dispersi intermodal* ($t_{\text{mod}} = 0$), sehingga *dispersi* yang terjadi pada serat *singlemode* hanya *dispersi intramodal* dan PMD. Nilai penurunan sinyal jika data yang ditransmisikan dalam format *non return zero* (NRZ) adalah *rise time* total tidak boleh melebihi 70 % dari maksimum *rise time* dari *bit rate* sinyal NRZ atau 35 % pada format *return zero* (RZ). Apabila dalam sistem digunakan sinyal dengan format NRZ maka *rise time* total pada sistem tidak boleh kurang dari (Govind Agrawal , 2002 ,194) :

$$t_{\text{sys}} < \frac{0.7}{B_{\text{RX}}} \quad (2.6)$$

Dengan :

t_{sys} = *rise time* total dari sistem (ns)

B_{RX} = *bandwidth* penerima *front-end* (MHz)

Laju bit informasi maksimum, B_{sys} , diperoleh melalui Persamaan 2.7 (Gerd Keiser, 2006 , 203)

$$B_{\text{sys}} = \frac{0.7}{t_{\text{sys}}} \quad (2.7)$$

2. Rise Time Dispersi Intramodal (t_{intra})

Dispersi intramodal terdiri dari dua bagian yakni *dispersi kromatis* dan *dispersi pandu gelombang* (*waveguide*). *Dispersi kromatis* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.8. (Gerd Keiser, 2006 , 202)

$$t_{\text{CD}} = |D_{\text{CD}}| D \Delta \lambda \quad (2.8)$$

Dengan

t_{CD} = *rise time* dispersi kromatis (ps)

D_{CD} = koefisien dispersi kromatis dari serat optik (ps/nm .km)

D = panjang serat optik (km)

$\Delta\lambda$ = lebar spektrum dari sumber optik (nm)

Dispersi pandu gelombang adalah dispersi yang disebabkan oleh komponen frekuensi yang berbeda pada sinyal optik merambat dalam kecepatan grup (*group velocities*) yang berbeda dalam serat optik sehingga tiba pada saat yang berbeda di penerima optik. Persamaan 2.9 digunakan untuk menghitung dispersi pandu gelombang.

$$\tau_w = \frac{D}{c \cdot \lambda_0} (n_1 - n_2) \cdot D_w \cdot \Delta\lambda \quad (2.9)$$

Nilai dari D_w dapat ditentukan dengan persamaan 2.10

$$D_w = \frac{4(1 - \ln v)}{v^2} \quad (2.10)$$

Nilai dari v dalam Persamaan 2.10 dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.11 (Shigeru Kawai, 2005 , 232)

$$v = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta_s} \quad (2.11)$$

Δ_s pada Persamaan 2.11 menunjukkan indeks bias serat optik yang digunakan dan ditentukan dengan persamaan 2.12 (Shigeru Kawai, 2005 , 232).

$$\Delta_s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.12)$$

Dengan

t_w = dispersi pandu gelombang (ns)

D = jarak transmisi (km)

n_1 = indeks bias inti serat optik

n_2 = indeks bias *cladding* serat optik

v = frekuensi ternormalisasi (Hz)

Δ_s = selisih indeks bias

a = jari – jari inti serta optik (μm)

λ_0 = panjang gelombang yang digunakan (nm)

c = kecepatan rambat cahaya (m/s)

Δ_λ = lebar spektrum pada detektor optik (nm)

Sehingga didapatkan perhitungan untuk menentukan total dispersi intramodal adalah sebagai berikut (Govind Agrawal, 2002 , 39) :

$$t_{\text{intra}} = \tau_{\text{CD}} + \tau_{\text{w}} \quad (2.13)$$

Dengan:

- t_{intra} = Total dispersi intramodal (ps)
- τ_{CD} = Dispersi Khromatis (ps)
- τ_{w} = Dispersi pandu Gelombang (ns)

3. Rise Time Polarization Mode Dispersion (t_{PMD})

Polarization Mode Dispersion (PMD) terjadi pada serat optik *single-mode* karena dua mode dasar yang saling tegak lurus dalam serat optik merambat dengan kecepatan yang berbeda. Perbedaan kecepatan ini menyebabkan pulsa sinyal melebar sebesar t_{PMD} yang ditentukan dengan Persamaan 2.14 (Gerd Keiser, 2006, 202)

$$t_{\text{PMD}} = D_{\text{PMD}} \times \sqrt{D} \quad (2.14)$$

Dengan :

- t_{PMD} = dispersi PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)
- t_{PMD} = *rise time* PMD (ns)
- D = panjang serat optik (km)

d. Throughput

Throughput menunjukkan kecepatan sebenarnya atau kecepatan efektif dari suatu jaringan. Hal ini dikarenakan dalam sistem transmisi terdapat bit – bit *overhead* dalam suatu paket sehingga mengurangi kecepatan jaringan. Pada GPON *throughput* dari jaringan dapat diketahui menggunakan *utilization link*, dimana *utilization* dari *link* pada arah *downstream* dapat diketahui dari persamaan (Sami Lalluka & Pertti Raatikainen, 2006 : 98):

$$\rho_{\text{GPd}} = \frac{I_{\text{Ep}}}{I_{\text{GEMo}} + I_{\text{Ep}}} \left[\frac{t_{\text{GPdf}} \times R_{\text{GPbr}} - I_{\text{GPdo}} - I_{\text{GPua}} \times \left[\frac{\text{NONU} \times t_{\text{GPdf}}}{t_{\text{ct}}} \right]}{t_{\text{GPdf}} \times R_{\text{GPbr}}} \right] \quad (2.15)$$

dengan

- ρ_{GPd} = *downstream utilization* pada GPON
- I_{Ep} = panjang *payload* (byte)
- I_{GEMo} = panjang GEM *overhead* (byte)
- t_{GPdf} = durasi dari GEM *frame* (μs)
- R_{GPbr} = *bit rate* pada *link* GPON (bps)

I_{GPdo} = panjang dari GPON *downstream overhead* (byte)

I_{GPua} = panjang dari *upstream allocation overhead* (byte)

t_{ct} = *cycle time* (ms)

N_{ONU} = jumlah dari ONU

Sedangkan *utilization* pada arah *upstream* dari GPON dapat diketahui dari persamaan (Sami Lalluka & Pertti Raatikainen, 2006 : 99)

$$\rho_{GPU} = \frac{\frac{I_{Etp}}{I_{GEMfo} + I_{Etp}} \left[t_{GPdf} \times R_{GPbr} - \left[\frac{N_{ONU} \times t_{GPdf}}{t_{ct}} \right] (I_{plou} + I_{dbru}) \right]}{t_{GPdf} \times R_{GPbr}} \quad (2.16)$$

Dengan:

ρ_{GPU} = *upstream utilization* pada GPON

I_{plou} = panjang dari *physical layer overhead* (termasuk *PLOAMu field*) (byte)

I_{dbru} = jumlah dari *DBRu field* pada *frame upstream* GPON (byte)

harga rata-rata *DBRu* (I_{dbru}) adalah (Sami Lalluka & Pertti Raatikainen, 2006 : 99):

$$I_{dbru} = \frac{\left[\frac{t_{ct} \times R_{GPbr}}{N_{ONU}} - I_{plou} \right]}{I_{dbru} + I_{GEM}} \quad (2.17)$$

Dengan I_{GEM} :

$$I_{GEM} = I_{GEMo} + I_{Ep} \quad (2.18)$$

Dengan :

I_{DBRu} = jumlah *DBRu field* pada GPON *frame* (byte)

Maka *throughput* dari *link downstream/upstream* dapat diketahui dengan

$$T_{\text{downstream / upstream}} = \rho_{\text{downstream / upstream}} \times C_T \quad (2.19)$$

Dengan:

T = *throughput*

ρ = *link utilization*

C_T = kapasitas maksimal *link*

e. Delay

Delay merupakan salah satu parameter yang menunjukkan performansi dari jaringan FTTH yang dirancang. Perancangan jaringan FTTH dalam penelitian ini memperhitungkan empat macam jenis *delay* yakni *delay* transmisi, *delay* pemrosesan, *delay* antrian, dan *delay* propagasi.

1. Delay Transmisi

Delay akibat proses transmisi antara waktu pertama dan terakhir bit dari paket ditransmisikan. Durasi *frame* dari GEM adalah tetap sebesar 125 μ s, sehingga *delay* transmisi pada jaringan GPON adalah sebesar 125 μ s.

2. Delay Pemrosesan

Delay pemrosesan adalah waktu yang diperlukan untuk memproses paket data dan untuk menentukan ke mana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses pada jaringan berupa *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi. *Delay* pemrosesan dihitung pada arah *downstream* dan *upstream*. Besarnya *delay* enkapsulasi adalah:

$$t_{\text{enc}} = \frac{L}{C_{\text{proc}}} \quad (2.20)$$

Dengan:

t_{enc} = *delay* enkapsulasi (s)

L = panjang paket (bit)

C_{proc} = kecepatan proses sebuah simpul sumber (bps)

Besarnya *delay* dekapsulasi adalah :

$$t_{\text{dec}} = n \frac{L}{C_{\text{proc}}} \quad (2.21)$$

Dengan:

t_{dec} = *delay* enkapsulasi (s)

L = panjang paket (bit)

C_{proc} = kecepatan proses sebuah simpul sumber (bps)

n = jumlah paket

Jadi besarnya *delay* proses t_{proc} adalah penjumlahan dari *delay* enkapsulasi (t_{enc}) dan *delay* dekapsulasi (t_{dec}) :

$$t_{\text{proc}} = t_{\text{enc}} + t_{\text{dec}} \quad (2.22)$$

3. Delay Antrian

Delay antrian adalah waktu dimana paket ditugaskan dalam suatu antrian untuk transmisi dan waktu mulai saat ditransmisikan. Selama waktu ini, paket menunggu selagi paket lain di dalam antrian transmisi dipancarkan. *Delay* antrian pada GPON dapat dimodelkan sebagai antrian M/G/1. Dianggap *server* tunggal sistem antrian dimana saat kedatangan pelanggan menurut proses Poisson.

Rata-rata kedatangan paket pada OLT adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{m}{t} \quad (2.23)$$

Dengan:

λ = Rata – rata kedatangan paket pada OLT (paket / s)

m = Total paket yang dibangkitkan dalam 1 detik (paket)

t = Waktu referensi yang digunakan (detik)

Sehingga pelayanan rata-rata adalah :

$$\mu = \frac{C}{L} \quad (2.24)$$

Dengan:

ρ = Pelayanan rata-rata (Paket / s)

C = Bit rate transmisi (bps)

L = Panjang paket (byte)

Sehingga waktu pelayanan rata-rata adalah sebagai berikut :

$$\bar{X} = E\{X\} = \frac{1}{\mu} \quad (2.25)$$

$$\bar{X}^2 = E\{X^2\} \quad (2.26)$$

Waktu tunggu pelanggan saat antrian W didapatkan dari Pollackzeck-Khinchin formula, yaitu (Leonard Kleinrock, 1976 ,16):

$$W = \frac{\lambda \bar{X}^2}{2(1-\rho)} \quad (2.27)$$

dengan,

$$\rho = \lambda / \mu = \lambda \bar{X} \quad (2.28)$$

maka total waktu tunggu dalam antrian dan dalam pelayanan T adalah:

$$T = \bar{X} + \frac{\lambda \bar{X}^2}{2(1-\rho)} \quad (2.29)$$

dengan:

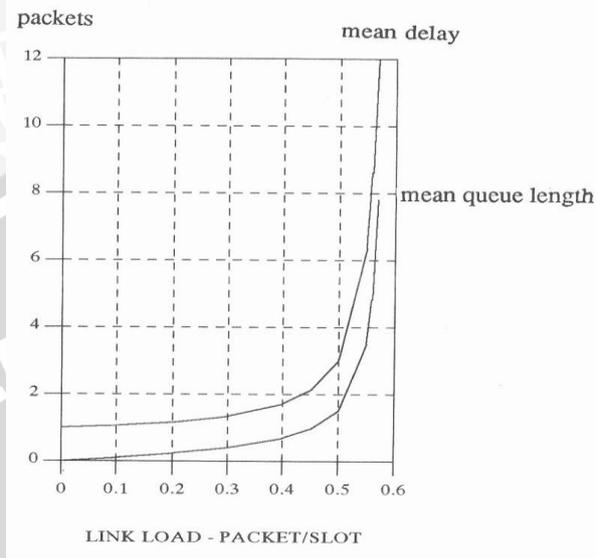
\bar{X} = waktu pelayanan rata-rata

$\overline{X^2}$ = kuadrat waktu pelayanan rata-rata

μ = rata-rata pelayanan (paket per detik)

λ = rata-rata kedatangan paket (paket per detik)

ρ = *utilization* dari link



Grafik 2.1 Delay rata-rata

(Sumber : Joseph Hui, 1990: 296)

Grafik 2.1 memperlihatkan hubungan antara *delay* antrian yang terjadi dalam sistem terhadap kedatangan paket. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *delay* antrian tersebut adalah rata – rata kedatangan paket, probabilitas paket tersebut dilayani.

Nilai λ untuk masing-masing pelanggan dipengaruhi oleh layanan yang diterapkan pada saat itu. Layanan yang berbeda akan menghasilkan nilai λ yang berbeda pula. Rata-rata paket yang dibangkitkan tiap detik, dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{\text{gen}} = \frac{B}{P_{\text{size}}} \quad (2.30)$$

Sehingga total paket yang dibangkitkan :

$$P_{\text{gen}} = \sum P_{\text{gen}} \times n_i \quad (2.31)$$

Dengan kecepatan kedatangan data adalah λ (paket/s), dan kecepatan pelayanan adalah μ (paket/s) maka performansi sistem antrian ditunjukkan dalam bentuk ρ (*utilization*) :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{2.32}$$

dengan :

m = total paket yang dibangkitkan dari node (paket)

t = waktu pengiriman paket (detik)

C = *bit rate* transmisi (bps)

L = rata-rata panjang *frame* (bit/s)

P_{gen} = paket yang dibangkitkan (paket/s)

B = *bandwidth*, sesuai aplikasi yang diterapkan (bps)

P_{size} = ukuran paket yang ditransmisikan (bit)

P_{total} = paket total yang dibangkitkan (paket/s)

P_{gen-I} = paket yang dibangkitkan untuk aplikasi I (paket/s)

n_i = total pelanggan dengan aplikasi I dalam satu ONU

4. Delay Propagasi

Delay propagasi sebanding dengan jarak fisik antara penerima dan pengirim. Besarnya *delay* propagasi pada sistem komunikasi serat optik tergantung pada kecepatan cahaya di dalam media serat optik dan bergantung pada jarak transmisi. Besarnya *delay* propagasi ditentukan dengan Persamaan 2.33

$$D_{prop} = \frac{s}{v} \tag{2.33}$$

dengan,

$$v = \frac{c}{n} \tag{2.34}$$

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

v = kecepatan cahaya dalam serat optik

s = jarak transmisi (m)

Delay end to end merupakan total *delay* yang terjadi pada saat sistem berjalan, sehingga besarnya *delay end to end* merupakan penjumlahan dari semua *delay* yang terjadi pada sistem, yakni sebagai berikut :

$$D_{end\ to\ end} = D_{proc} + D_{trans} + D_{qu} + D_{prop} \tag{2.35}$$

Dengan

D_{proc} = *Delay* pemrosesan (μs)



D_{trans}	= Delay transmisi (μs)
D_{qu}	= Delay antrian (μs)
D_{prop}	= Delay Propagasi (μs)
$D_{end\ to\ end}$	= Delay end to end (μs)

Mean signal transfer delay (MSTD) yang merupakan salah satu parameter dalam perancangan suatu jaringan *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) ditentukan dengan persamaan berikut :

$$MSTD = \frac{D_{end\ to\ end}}{2} \quad (2.36)$$

$D_{end\ to\ end}$	= Delay end to end (μs)
MSTD	= Mean signal transfer Delay (μs)

2.3 Layanan Triple Play

Triple play merupakan layanan yang mengkombinasikan transmisi data, suara, dan video dalam satu saluran. Media fisik yang digunakan dapat berupa serat optik, kabel tembaga, atau komunikasi satelit. Teknologi pembawa datanya dapat berupa ATM, Ethernet, SONET/SDH, DSL, PON, hingga WDM.

Secara umum, layanan yang ditawarkan pada aplikasi *triple play* adalah layanan suara, layanan data, dan layanan video.

2.3.1 Layanan Suara

Panjang paket layanan telepon adalah sebesar 160 byte dengan *bandwidth* yang dibutuhkan sebesar 64 kbps. Layanan suara membutuhkan tingkat gangguan *delay* yang rendah.

2.3.2 Layanan Data

Layanan data internet umumnya berupa segmen TCP dengan ukuran maksimum 1452 byte dengan asumsi *data rate* yang dibutuhkan sebesar 2 Mbps untuk arah *downstream* dan untuk arah *upstream*.

2.3.3 Layanan Video

Layanan video membutuhkan *delay* yang rendah dan *bandwidth* yang tinggi untuk dapat berkomunikasi dengan baik. *Bandwidth* yang dibutuhkan adalah sebesar 20 Mbps. Video dengan standar codec MPEG-2 dengan panjang paket masing-masing 188 byte. Metode paling banyak digunakan dalam streaming video adalah dengan menggunakan *User Datagram Protocol* (UDP) over IP. Tujuh buah frame MPEG-2

dapat dikapsulasikan ke dalam satu frame Ethernet, sehingga ukuran dari *Ethernet payload* setelah ditambahkan *Real-Time Transport Protocol* dan *Internet Protocol* adalah 1356 byte.

