

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sebelumnya, telah banyak penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan fiber optik dengan berbagai instrumen dan pendekatan. Sehingga, perlu dilakukan studi pustaka sebagai salah satu alat dari penerapan metode penelitian. Diantaranya adalah menghindari pembuatan ulang (*reinventing the wheel*), mengidentifikasi metode yang pernah dilakukan, meneruskan penelitian sebelumnya, serta mengetahui orang lain yang spesialisasi dan area penelitiannya sama dibidang ini. Berikut adalah beberapa Literature Review tersebut.

1. Penelitian yang dilakukan oleh Firdaus, Ferdyan Andhika Pradana dan Eka Indarto dari jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia pada tahun 2016 dengan judul “Performansi Jaringan Fiber Optik dari Sentral Office Hingga ke Pelanggan di Yogyakarta”. Penelitian ini menganalisis Link Power Budget jaringan fiber optik PT. Telkom Indonesia wilayah Yogyakarta yang terdiri dari 5 STO (*Sentral Office*). 20 pelanggan tersebut tersebar di 3 tiga STO yaitu STO Kotabaru, STO Pugeran dan STO Bantul. Dimana berdasarkan hasil perhitungan dan analisis nilai redaman total STO ke pelanggan nilainya dibawah 28 dB. Berdasarkan standar dari PT. Telkom hasil tersebut sesuai dengan standar yaitu redaman dibawah 28 dB. Nilai redaman kabel adalah 0,26 dB/Km masih sesuai dengan standart *ITU (International Telecommunication Union)* no. T-REC-G.651-199802-I. Kecepatan jaringan dipelanggan rata rata berada diangka 8,23 Mbps untuk *downstream* dan 2,04 Mbps untuk *upstream*.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Mochamad Subchan Mauludin dan Indah rahmawati dari jurusan Teknologi Informatika, Universitas Wahid

hasyim pada tahun 2017 dengan judul penelitian “Analisis Jaringan FTTH STO Johar ke MG Setos Berdasarkan Teknologi GPON di PT. Telkom Akses Digital Life Regional IV Jateng dan D.I.Y.”. Penelitian ini mengenai analisis jaringan FTTH berbasis GPON dengan parameter daya transmisi di daya *receiver*, *Optical Line Terminal*, konektor, redaman kabel FO, *passive splitter* dan sambungan, pada jaringan STO Johor ke MG Setos menggunakan metode *Link Power Budget* dan *Time Rise Budget*. Dimana diperoleh nilai pengukuran *uplink* dan *downlink* 13,71997 dBm dan -13,55897 dBm sehingga margin daya yang didapatkan adalah 0,28003 dBm untuk *uplink* dan 0,44103 dBm untuk *downlink*. Sedangkan untuk *rise time* total sebesar 0,667 ns untuk *downlink*.

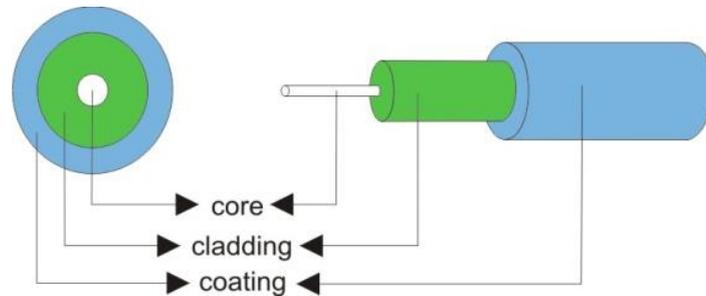
3. Penelitian yang dilakukan oleh Jauharatul Mardiyah dari Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura dengan judul penelitian “Analisis Jarak Maksimum Kabel Serat Optik Dengan Menggunakan Metode *Link Power Budget* Antara MSC A.Yani – BSC Batu Layang di PT. Indosat”. Pada penelitian ini PT. Indosat menggunakan kabel fiber optik tipe G.652.D dengan alat bantu berupa *software* yang terdapat didalam perangkat SDH SIEMENS 7070 SC.
4. Penelitian yang dilakukan oleh Muhamad Ramadhan M. S., Ir. Akhmad Hambali, MT. Dan Ir. Bambang Uripno, dengan judul “Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Home Menggunakan Teknologi *Gibabit Passive Optical Network* (GPON) di Perumahan Setraduta Bandung”. Pada penelitian ini dilakukan suatu peralaman *demand* untuk mengetahui jumlah pelanggan yang menggunakan internet dan bandwidth dalam beberapa tahun yang akan menjadi bahan rancangan jaringan akses FTTH menggunakan teknologi GPON dengan membuat jalur awal lalu penentuan perangkat, spesifikasi, tata letak dan volume yang digunakan. Kemudian untuk kelayakan sistem di analisis dengan parameter *Power Link Budget*, *Rise Time Budget*, dan Redaman total.

2.2 Serat Optik

Sistem informasi dan telekomunikasi saat ini berkembang dengan sedemikian cepat, jaringan fiber optik sebagai media transmisi menjadi solusi yang banyak digunakan dan memiliki kemampuan yang baik, sehingga dipercaya mampu memenuhi kebutuhan untuk saat ini dan masa yang akan datang. “Fiber optik adalah suatu material seperti benang dengan potongan melintang berbentuk lingkaran yang memungkinkan terjadinya total *internal reflection* (TIR) di dalamnya untuk memandu gelombang cahaya” (Fang Zujie, 2012). Fiber optik biasanya terbuat dari bahan dielektrik atau bahan *silika* (SiO₂), biasanya diberi doping dengan *germanium* (GeO₂) atau *fosfor penta oksida* (P₂O₅) untuk menaikkan indeks biasnya, bahan ini sifatnya tidak menghantarkan listrik dan dapat mentransmisikan sinyal cahaya dari satu tempat ke tempat lain, sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah laser atau LED. Serat optik yang digunakan adalah yang sesuai dengan standar ITU-T G.652.D dan G.675.A. “Rugi-rugi pada serat optik ITU-T G.652.D dan G.675.A pada panjang gelombang 1310 nm sebesar $\leq 0,35$ dB/Km dan pada panjang gelombang 1490 nm sebesar $\leq 0,28$ dB/Km” (Adi Nugroho,2012). Kabel serat optik terbagi menjadi 3 bagian utama yaitu:

- a. *Core* atau inti adalah bagian terdalam dari serat optik, bagian ini pada umumnya terbuat dari bahan *silika* yang dicampur atau *fosfor oksida* atau *germanium oksida* dan memiliki jari-jari 8 - 50 μ m, selain itu *core* ini tempat terjadinya *internal reflection* (TIR).
- b. *Cladding* atau selimut adalah bagian serat optik sebagai pembungkus *core*, dimana fungsi dari pembungkus ini sebagai pemantul cahaya agar tetap merambat pada bagian *core* serat optik. Sehingga tidak ada pulsa yang hilang di perjalanan. *Cladding* memiliki jari – jari yang lebih besar dibandingkan dengan bagian *core* dan indeks biasnya lebih kecil dibandingkan *core*. Bagian *cladding* ini memiliki jari-jari sebesar 50 – 250 μ m.

- c. *Coating* atau mantel adalah bagian terluar yang berfungsi untuk melindungi bagian *core* dan *cladding* dari kemungkinan gangguan serta biasanya terbuat dari bahan plastik.



Gambar 2.1 Skema struktur dasar serat fiber optik *core*, *cladding* dan *coating*

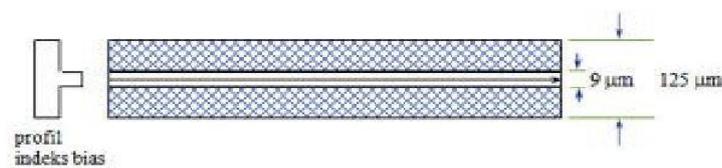
“Berdasarkan hukum Snellius cahaya merambat di dalam *core* akan terpantul dengan sempurna atau terjadi TIR apabila indeks bias *core* (n_1) yang merupakan medium asal lebih besar dari indeks bias *cladding* (n_2) yang merupakan medium tujuan, namun jika sudut datang cahaya lebih kecil dari sudut kritis (θ_c) maka cahaya akan dibiaskan keluar dari fiber optik, sehingga sudut datang berkas cahaya harus lebih besar daripada sudut kritisnya agar cahaya dipantulkan kembali ke dalam fiber optik” (Fang Zujie, 2012).

Serat optik dibedakan menjadi dua berdasarkan mode perambatannya yaitu mode tunggal (*single mode / mono mode*) dan mode jamak (*multi mode*). Kedua jenis serat optik tersebut memiliki perbedaan dan karakteristik yang berbeda. Serat optik jenis *single mode* memiliki diameter *core* yang kecil dan hanya memungkinkan terjadinya satu modus cahaya saja yang menyebar melewati bagian *core* pada suatu waktu. Sehingga serat optik jenis mode single mode fungsinya lebih efektif daripada jenis *multi mode*. Cahaya yang merambat di dalam serat optik jenis multi mode terdiri dari banyak moda. “Moda - moda yang merambat di dalam jenis multi mode ini memiliki kecepatan yang berbeda-beda yang menghasilkan variasi *travel*

times, sehingga pulsa cahaya mengalami pelebaran setelah melewati fiber optik, efek pelebaran pulsa ini disebut modal dispersi” (Kao, 2009).

Berdasarkan indeks biasnya fiber optik memiliki profil indeks bias dan mode gelombang yang berbeda pada saat proses perambatan cahaya, maka indeks bias serat optik dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

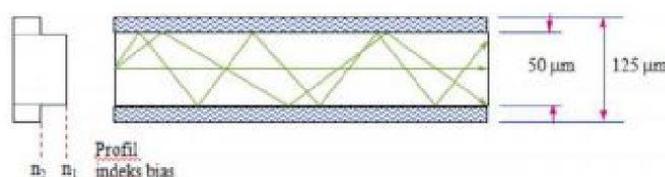
1. Single Mode Step Index



Gambar 2.2 Perambatan cahaya pada *Single Mode Step Index* (Kao, 2009)

Serat optik jenis *single mode step index* memiliki ukuran *core* yang sangat kecil sekitar 8 μm hingga 12 μm , sedangkan *cladding* ukurannya lebih besar tujuannya agar rugi – rugi transmisi berkurang akibat *fading*. *Core* dan *cladding* dibuat dari bahan yang sama yaitu bahan *silica glass*.

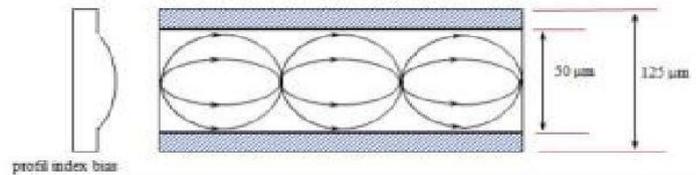
2. Multi Mode Step Index



Gambar 2.3 Perambatan cahaya pada *Multi Mode Step Index* (Kao, 2009)

Serat optik ini *core*- nya berdiameter lebih besar daripada bagian *cladding* – nya, hal ini menyebabkan rugi – rugi *transmitter* yang besar. Serat optik multi mode *step index* diperuntukan untuk jaringan jarak dekat dengan laju data rendah dan memiliki *loss* yang besar.

3. *Multi Mode Graded Index*



Gambar 2.4 Perambatan cahaya Multi Mode Graded Index (Kao, 2009)

Pada serat optik multi mode *graded index* nilai indeks bias terbesar pada bagian *core* – nya, kemudian berangsur –angsur turun ke bagian terendah pada batas antar *core* dan *cladding*. Akibatnya *dispersi* waktu berbagai mode cahaya yang merambat berkurang sehingga cahaya akan tiba pada waktu yang bersamaan.

2.3 Karakteristik Sistem Komunikasi Serat Optik

Dalam sistem komunikasi serat optik suatu data dapat ditransmisikan melalui cahaya pada serat optik. Karakteristik sistem komunikasi serat optik ini mencakup tentang redaman (*attenuation*) dan distorsi yang terjadi pada kabel serat optik. Ada banyak faktor yang dapat menyebabkan rugi –rugi tersebut, debu dan partikel lain yang ada dibagian *core* dan *cladding* adalah penyebab utama dalam masalah serat optik, maka terdapat standar penyambungan (*splicing*) dengan menggunakan alkohol dan tisu khusus untuk mengurangi resiko dari rugi – rugi redaman (*attenuation*) dan *distorsi*. Dari beberapa faktor tersebut maka kebersihan serat optik adalah suatu hal yang mutlak untuk diperlukan, karena rugi – rugi redaman dan *dispersi* akan sangat mempengaruhi kualitas serat optik sebagai media transmisi dalam suatu jaringan komunikasi.

2.3.1 Redaman (*Attenuation*) Serat Optik

Redaman (*Attenuation*) adalah melemahnya sinyal yang diakibatkan oleh adanya jarak yang semakin jauh yang harus ditempuh oleh sinyal dan

juga oleh karena semakin tingginya frekuensi sinyal tersebut, redaman sebanding dengan panjang dari medium yang dilewati cahaya pembawa data. Banyak redaman yang juga akan mempengaruhi panjang maksimum transmisi suatu jaringan, cahaya pembawa data akan dipandu dalam serat optik ketika semakin panjang transmisi maka daya cahaya akan berkurang secara eksponensial terhadap jarak tersebut.

Rugi – rugi Redaman (*Attenuation*) ini mengakibatkan terjadinya penurunan daya cahaya, kualitas transmisi yang dibawa, penurunan *bandwidth*, efisiensi dan kapasitas sistem secara keseluruhan. Rugi – rugi pada saluran transmisi pada kabel serat optik juga berasal dari pemasangan komponen konektor, *splice* dan komponen lain yang disambungkan pada saluran transmisi serat optik. Redaman (α) serat optik didefinisikan sebagai perbandingan daya output (P_{out}) terhadap daya input (P_{in}) sepanjang serat optik dengan persamaan.

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \left[\frac{P_{in}}{P_{out}} \right] \text{ db/km} \quad (2.1)$$

Apabila “daya sinyal dititik awal adalah, $P_{(0)}$ dan setelah menempuh jarak tertentu $P_{(z)}$, maka” (Keiser, 2010) :

$$P_{(z)} = P_{(0)} e^{-\alpha_p z} \quad (2.2)$$

Dimana :

$$\alpha_p = \frac{1}{z} \ln \left[\frac{P_{(0)}}{P_{(z)}} \right] \quad (2.3)$$

Adalah koefisien redaman (km^{-1}). Memberikan kemudahan dalam menghitung, maka α_p dinyatakan dalam dB/km melalui hubungan berikut :

$$\alpha \left(\frac{dB}{km} \right) = \frac{10}{z} \log \left[\frac{P_{(0)}}{P_{(z)}} \right] = 4.343 \alpha_p (km^{-1}) \quad (2.4)$$

Tidak hanya pada transmisi serat optik, satuan defibel ini juga digunakan untuk menunjukkan penurunan daya pada berbagai komponen – komponen serat optik lainnya. Satuan desibel (dB) adalah ratio logaritmik dari daya pada dua posisi :

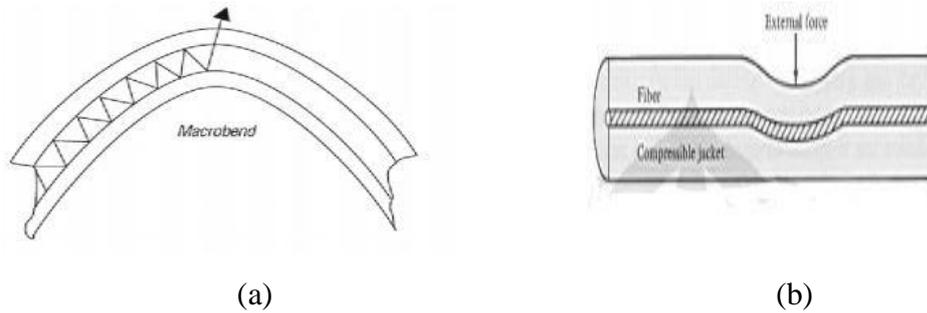
$$\text{Power ratio (dB)} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (2.5)$$

Jika dB digunakan untuk menunjukkan perbandingan dengan satuan daya lain, maka untuk menunjukkan nilai absolut power, digunakan satuan dBm.

$$\text{Power level (dBm)} = 10 \log_{10} \log \frac{P(mW)}{1(mW)} \quad (2.6)$$

Terjadinya redaman (attenuation) pada serat optik ada beberapa penyebabnya yaitu :

- a. Hamburan / *scattering*, disebabkan terjadinya tumbukan cahaya yang melalui saluran transmisi. perbedaan komposisi dan Perbedaan kerapatan jenis material juga menyebabkan kecacatan sehingga cahaya dihamburkan kesegala arah oleh material serat optik.
- b. *Absorpsi*, adalah proses diserapnya power daya oleh material serat optik. Hal ini dapat dimungkinkan karena ada impuritas atom atau bisa juga adanya kecacatan atom.
- c. Rugi pada *core* dan *cladding*, kedua bagian tersebut memiliki bahan penyusun yang berbeda, sehingga karakteristiknya berbeda satu sama lain. *Core* dan *cladding* mempunyai komponen pelemahan sinyal, pemelahan sinyal kedua bagian tersebut berbeda sesuai dengan bahan penyusunnya.
- d. *Bending losses* atau rugi lengkungan, lengkungan atau bengkakan yang terjadi pada serat optik mengakibatkan rugi – rugi. Bending ada 2 jenis yaitu *makrobending* dan *mikrobending*.

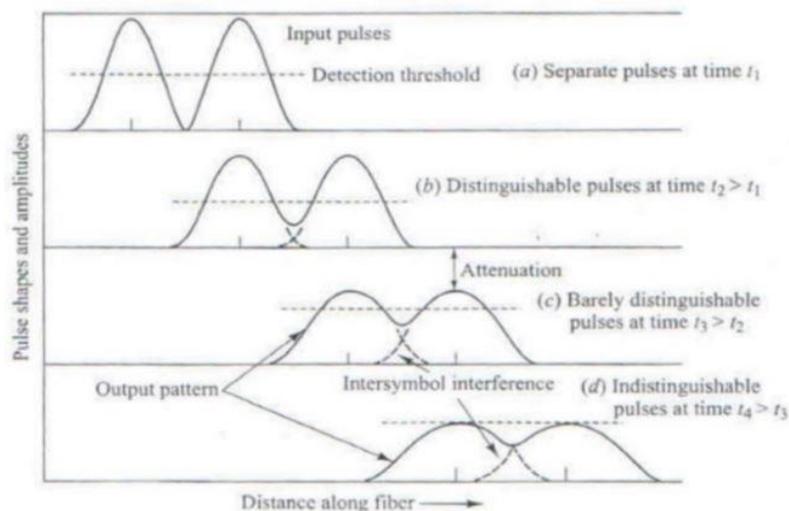


Gambar 2.5 (a) Makrobending, (b) Mikrobending

Keduanya timbul karena alasan yang berbeda, dan menimbulkan rugi-rugi dengan dua macam mekanisme yang berbeda pula.

2.3.2 Distorsi

Distorsi adalah proses ketika terjadinya dua atau lebih sinyal cahaya yang bertumpuk (*overlap*) sehingga komponen detektor tidak mampu membaca dua atau lebih pulsa tersebut. *Distorsi* ini hanya terjadi pada jenis serat optik *multimode*, sedangkan jenis *singlemode* tidak mengalami *distorsi*.



Gambar 2.6 Peristiwa terjadinya *distorsi* (Keiser, *Optical Fiber Communications*, 4th edition, 2010).

Distorsi adalah sebuah perubahan suara yang terjadi ketika *amplitudo* sinyal melebihi *range* yang tersedia. Hasilnya adalah timbulnya artifact harmonis tambahan seiring bentuk *waveform* berubah.

Efek dari losses *dispersi* adalah terjadinya pelebaran pulsa. Pelebaran pulsa ini terjadi karena *dispersi* material yang dinyatakan dengan :

$$\sigma_{mat} = \sigma_{\lambda} \cdot L \cdot |D_{mat}(\lambda)| \quad (2.7)$$

Dengan :

σ_{mat} = pelebaran pulsa (ps)

σ_{λ} = lebar spektral sumber cahaya (nm)

L = panjang serat optik (km)

$D_{mat}(\lambda)$ = dispersi material dalam fungsi panjang gelombang (ps/(nm.km))

“Dari akibat adanya atenuasi dan distorsi, banyak jaringan optik yang memiliki *loss*. konektor yang kotor dapat melampaui batas atau standar *loss* yang diizinkan. Sehingga konektor yang kotor atau terkontaminasi merupakan penyebab umum dari kerugian atau *loss* yang dialami pada suatu jaringan” (Ng, Ab-Rahman, Premadi, & Jumari, 2010).



(a)

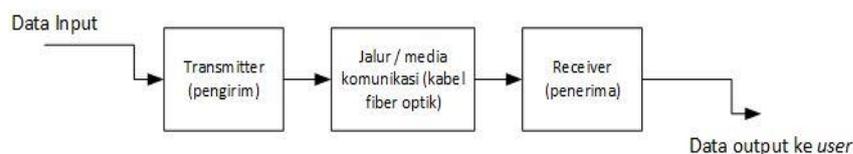


(b)

Gambar 2.7 Permukaan konektor fiber didalam *fiber probe viewer*, (a) permukaan bersih konektor fiber dan (b) permukaan kotor konektor fiber (Ng, Ab-Rahman, Premadi, & Jumari, 2010)

2.4 Komponen Sistem Komunikasi Serat Optik

Pada dasarnya, dalam sebuah sistem komunikasi serat optik terdiri atas berbagai komponen – komponen pendukung. “Dalam membentuk suatu sistem komunikasi fiber optik, diperlukan beberapa divais yang dapat dikategorikan dalam komponen aktif dan pasif” (Keiser, *Optical Communication Essentials*, 2003). Komponen aktif adalah komponen yang memerlukan daya berupa aliran listrik agar dapat dioperasikan, contohnya, *modulator*, *laser*, *attenuator*, *amplifier*, dan *switch*. Sedangkan komponen pasif adalah komponen yang tidak memerlukan sumber energi lain dan sifat kerjanya hanya menyalurkan sinyal cahaya saja. Contohnya adalah konektor, serat optik, *splices*, dan *coupler*. Gambar (2.7) merupakan dasar sistem komunikasi serat optik yaitu *transmitter*, *communication channel* dan *receiver*.

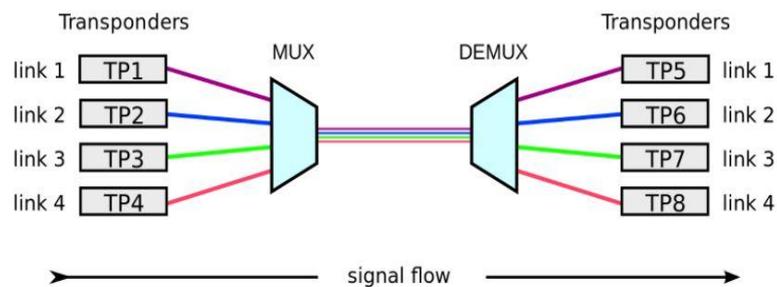


Gambar 2.8 Sistem dasar komunikasi serat optik (Agrawal, 2002)

Berikut adalah tiga aspek utama dalam sistem komunikasi serat optik yaitu *transmitter*, *communication channel* dan *receiver*.

- a. **Transmitter**, informasi dihasilkan dan mengolahnya menjadi bentuk yang sesuai untuk di kirimkan sepanjang *information channel*. Didalam transmitter terdapat beberapa komponen pendukung yaitu sumber cahaya, *multiplexer*, *coupler* dan rangkaian elektronik pembangkit laser.

Sumber cahaya dapat berupa *Light Emitting Diode (LED)* atau laser dioda. Multiplexer adalah komponen yang berfungsi meningkatkan kapasitas serat optik mealalui sistem WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) dan TDM (*Time Division Multiplexing*). Dimana WDM adalah kemampuan sistem untuk mengirim data secara bersamaan dengan masing – masing data memiliki panjang yang berbeda, sedangkan TDM informasi dikirimkan satu per satu dan berurutan ke tujuan. Hal tersebut menyebabkan kapasitas dari WDM jauh lebih besar dibandingkan dengan TDM.



Gambar 2.9 Konsep dasar WDM

Coupler berfungsi sebagai penyalur daya gelombang cahaya yang sebelumnya sudah termodulasi menuju ke *communication channel* (serat optik). *Coupler* menjadi komponen yang cukup vital dalam mendesain sistem komunikasi serat optik karena rugi yang tinggi.

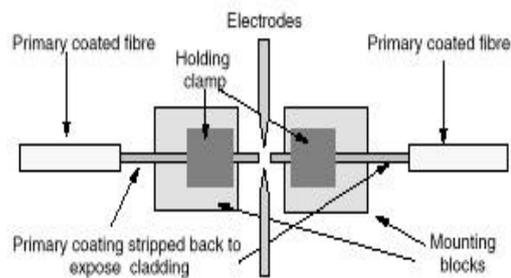
- b. **Communication channel**, Pada dasarnya bagian utama dari jaringan *communication channel* adalah serat optik, namun terdapat sambungan dan percabangan didalamnya. Ada beberapa jenis sambungan didalam serat optik yaitu sambungan *coupler*, konektor dan *splice*. *Coupler* seperti halnya sebuah lensa mikro yang berada di ujung serat optik yang berfungsi untuk memfokuskan cahaya dari transmitter agar terpandu dalam serat optik secara maksimal. *Coupler* berada di ujung akhir serat optik yang fungsinya memfokuskan cahaya agar dapat mencapai *photodetector* secara maksimal. Konektor adalah sambungan antar serat optik yang dapat dipasang atau dilepas sesuai kebutuhan atau bisa juga

dipasang pada komponen sistem komunikasi yang lain. Konektor ada beberapa jenis antara lain :

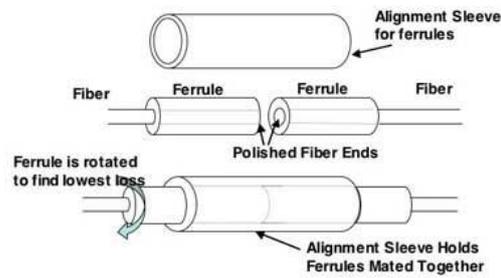
- *Fiber Connector (FC)*, digunakan untuk jenis serat optik single mode dengan akurasi yang sangat tinggi, konektor ini menghubungkan serat *transmitter* maupun *receiver*. Konektor ini menggunakan sistem drat ulir yang muda diatur posisinya sehingga akurasinya tidak mudah berubah.
- *Subscriber Connector (SC)*, digunakan untuk serat *single mode* dengan sistem cabut-pasang.
- *Straight Tip (ST)*, Sangat umum digunakan baik untuk kabel multi mode maupun *single mode*. Sangat mudah digunakan baik dipasang maupun dicabut.

Masih ada banyak jenis konektor seperti *Snapin connector (SC)* dan *Twist-on-single fiber connector (ST)* dsb.

“*Splice* adalah suatu hubungan langsung antar dua ujung fiber yang diperoleh melalui fusion atau mechanical *splices*” (*Keiser, Optical Communication Essentials, 2003*). *Fusion splice* adalah metode dengan memanaskan dua ujung serat optik hingga melebur dan tersambung secara permanen. Pada *mechanical splices*, ujung fiber disambung satu sama lain dan dibungkus dengan *clamp* atau tempat khusus.



(a)



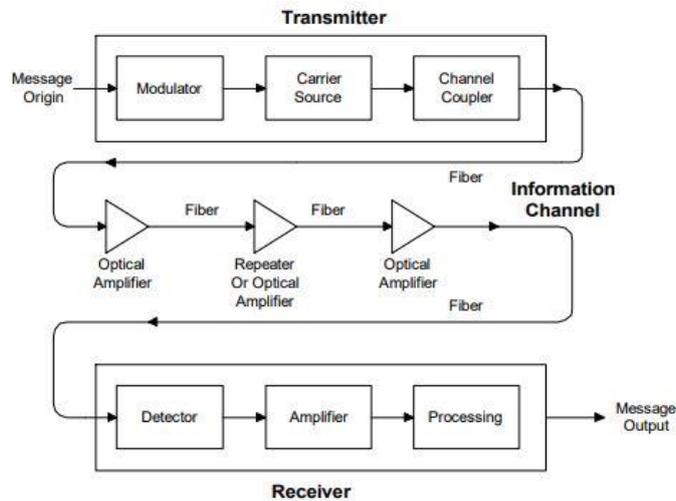
(b)

Gambar 2.9 (a) *Fusion splice* dan (b) *Mechanical Splice*

- c. **Optical Receiver**, perangkat ini berfungsi untuk menerima sinyal cahaya yang telah dikirim dan kemudian mengubah kembali ke bentuk sinyal elektrik. *Receiver* terdiri atas beberapa komponen seperti *coupler*, *photodetector*, *demodulator* dan *photodiode*. Dimana *coupler* berfungsi memfokuskan sinyal cahaya yang diterima menuju ke *photodetector* yang bertugas menerima sinyal dan *demodulator* berfungsi mengubah sinyal cahaya menjadi sinyal elektronik kembali. Didalam *receiver* juga terdapat *photodiode* yang berguna mendeteksi sinyal optik dari ujung serat optik dengan mengkonversikan ke dalam bentuk sinyal listrik.

“Beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan *photodetector* adalah sensitivitas tinggi pada panjang gelombang cahaya yang digunakan pada jaringan fiber optik, *noise* kecil, waktu respon cepat, tidak sensitif terhadap temperatur, kompatibel terhadap ukuran fiber optik” (*Keiser, Optical Fiber Communications, 4th edition, 2010*).

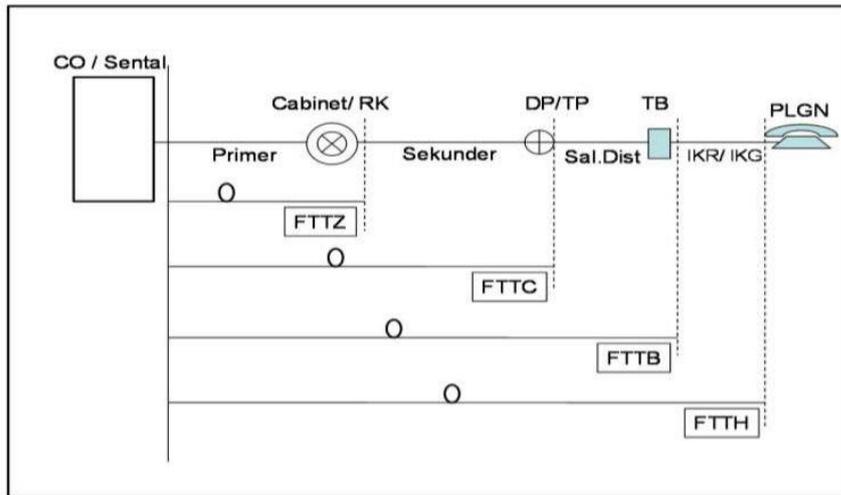
Secara umum sistem komunikasi serat optik memiliki block diagram sebagai berikut :



Gambar 2.11 Diagram blok sistem komunikasi serat optik secara umum

2.5 Arsitektur Jaringan Serat Optik Secara Umum

Teknologi jaringan serat optik ada berbagai macam arsitektur sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya masing – masing. *Fiber To The x* (FTTx) merupakan jaringan lokal yang berbasis serat optik, dimana dalam sistem ini terdapat dua buah atau lebih perangkat aktif (opto elektrik), dimana salah satu perangkat aktif tersebut terpasang disisi *central office* yang berfungsi untuk mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik dan satu perangkat lagi terpasang disisi yang dekat dengan pelanggan bisa disebut juga titik konversi optik (TKO) yang fungsinya untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik kembali. Berdasarkan lokasi penempatan lokasi perangkat aktif disekat dan atau dilokasi pelanggan (TKO) maka terdapat beberapa konfigurasi atau arsitektur jaringan seperti *Fiber To The Building* (FTTB), *Fiber To The Zone* (FTTZ), *Fiber To The Curb* (FTTC), *Fiber To The Home* (FTTH).



Gambar 3.12 Arsitektur jaringan FTTx

Sumber : Modul-1 Telkom Indonesia Overview FTTH

2.5.1 *Fiber To The Building (FTTB)*

Pada jaringan jenis ini TKO terletak didalam gedung dan berada ruang telekomunikasi yang biasanya terletak di *basement*. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO bisa melalui kabel serat optik maupun kabel tembaga. Seperti penamaanya FTTB diterapkan bagi pelanggan bisnis gedung bertingkat atau pada pelanggan perumahan di apartemen.

2.5.2 *Fiber To The Zone (FTTZ)*

TKO arsitektur FTTZ berada diluar bangunan ataupun didalam bangunan dengan kapasitas yang besar. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga hingga beberapa kilometer. FTTZ pada umumnya diterapkan didaerah yang jauh dari sentral atau infrastruktur *duct*.

2.5.3 *Fiber To The Curb (FTTC)*

Arsitektur jaringan ini jenis yang memiliki kapasitas yang lebih kecil dibandingkan dengan FTTZ. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga hingga beberapa kilometer. FTTZ ini diterapkan didaerah yang pelanggan bisnis yang letaknya berkelompok di suatu area terbatas namun tidak berbentuk gedung – gedung bertingkat.

2.5.4 *Fiber To The Home (FTTH)*

TKO mencapai hingga ke titik pelanggan atau yang dikenal sebagai customer premise. Pada FTTH kabel tembaga dapat dihilangkan sama sekali sehingga penyediaan bandwidth cukup besar untuk sampai ke pelanggan.

2.6 Desain Arsitektur Jaringan *Fiber To The Home (FTTH)*

Fiber to the Home (disingkat FTTH) merupakan suatu bentuk sistem telekomunikasi yang bertujuan mentransmisikan data dari penyedia (*provider*) menuju ke pelanggan atau konsumen menggunakan penghantar serat optik. Perkembangan FTTH tidak terlepas dari kemajuan teknologi serat optik yang cukup pesat saat ini dibandingkan dengan kabel konvensional yang memiliki akses kecepatan yang terbatas. Selain itu, permintaan pasar yang terus berkembang dengan kebutuhan akses internet yang besar. *Triple Play Services* yaitu sebuah layanan internet dengan akses yang cepat dan mampu mengirim data, suara maupun data dalam satu jaringan infrastruktur hingga sampai ke unit pelanggan. Penghantaran menggunakan serat optik dengan teknologi FTTH mampu menghemat biaya pemasangan dan biaya operasi serta bisa memberikan pelayanan internet yang jauh lebih baik kepada konsumen dibandingkan dengan menggunakan kabel tembaga. “Isyarat optik dengan panjang gelombang (*wavelength*) 1490 nm dari hilir (*downstream*) dan isyarat optik dengan panjang gelombang 1310 nm dari hulu (*upstream*) digunakan untuk mengirim data dan suara. Sedangkan layanan video dikonversi dahulu ke format optik dengan panjang gelombang 1550 nm oleh optik pemancar video (*optical video transmitter*) . Isyarat optik 1550 nm dan 1490 nm ini digabungkan oleh pengabung (*coupler*) dan ditransmisikan ke pelanggan secara bersama. Singkatnya, tiga panjang gelombang ini membawa informasi yang berbeda secara simultan dan dalam berbagai arah pada satu kabel serat optik yang sama” (Maulana, 2012).

Sumber berkas cahaya optik dapat diperoleh menggunakan *Light-Emitting Diode* (LED) dan *Laser Diode*. Kedua sumber cahaya tersebut berasal dari bahan semikonduktor. Namun keduanya memiliki perbedaan karakteristik, *Laser Diode* lebih koheren di bandingkan dengan LED dan laser diode memiliki *Spectral Width* yang lebih sempit daripada LED sehingga laser diode lebih monokromatis dibandingkan dengan LED. Selain itu output power pada laser diode lebih tinggi daripada LED, sehingga *laser diode* lebih banyak digunakan untuk kabel serat optik dengan jarak yang jauh dan kecepatan yang lebih tinggi. Berdasarkan perbandingan antara LED dan *laser diode*, maka sumber cahaya yang digunakan untuk mendesain sistem komunikasi optik adalah sumber cahaya jenis *Fabry-Perot Laser Diode* dengan spesifikasi berikut :

Tabel 2.1 Spesifikasi *Fabry-Perot Laser Diode*
(MIRZA RAHMANSYAH, 2017)

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Output power-pigtail end</i>	+3	dBm
<i>Wavelength</i>	1310	Nm
<i>Parameter</i>	Nilai	Satuan
<i>Rise-time</i>	140	Ps
<i>Fall-time</i>	140	Ps

Selain jenis sumber cahaya, perlu diperhatikan juga adalah pemilihan detektor cahaya, daya minimum yang harus diterima detektor mencapai 10^{-9} . Ada berbagai jenis PIN *Photodiode* yang dapat digunakan tergantung dengan bahan yang digunakan. Berikut karakteristik dari berbagai jenis PIN *photodiode* :

Tabel 2.2 Karakteristik berbagai jenis PIN *Photodiode*
(MIRZA RAHMANSYAH, 2017)

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
<i>Wavelength range</i>	λ	Nm	400-1100	800-1650	1100-1700
<i>Responsivity</i>	\mathcal{R}	A/W	0.4-0.6	0.4-0.5	0.75-0.95
<i>Dark current</i>	I_D	nA	1-10	50-500	0.5-2.0
<i>Rise time</i>	τ	Ns	0.5-1	0.1-0.5	0.05-0.5
<i>Bandwidth</i>	B	GHz	0.3-0.7	0.5-3	1-2
<i>Bias voltage</i>	V_B	V	5	5-10	5

“*Fiber To The Home* (FTTH) adalah sistem penyediaan akses jaringan fiber optik dimana titik konversi optik berada di rumah pelanggan” (Hantoro,2015). Titik konversi optik merupakan bagian paling ujung dari serat optik yang berada disisi pelanggan yang fungsinya untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik sebelum bisa diakses oleh perangkat. “Kinerja jaringan serat optik dengan teknologi FTTH bisa ditentukan oleh parameter transmisi jaringan seperti : daya sinyal yang diterima, kualitas transmisi, dan *bit error*” (Putri, Hambali & Uripno, 2013).

Struktur teknologi jaringan FTTH ini diatur dan dioperasikan sebagai berikut :

- *Passive* infrastruktur, melibatkan unsur fisik seperti, serat optik, saluran *duct* dan tiang, *closure*, *Optical Distribution Frames (ODF)*, *Optical Termination Box (OTB)* dsb.
- *Active network*, perangkat jaringan elektronik yang dibutuhkan infrastruktur pasif. Komponen yang terlibat antara lain desain, dan operasional perangkat aktif jaringan.

- *Retail service*, lapisan ini berbasis konektivitas internet dan layanan lainnya.

Perhitungan daya sinyal yang diterima dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut ini :

$$P_r = P_t - L_{splitter} - L_{connector} - L_{splice} - M \quad (2.8)$$

Dimana,

P_r = daya sinyal yang diterima (dBm)

P = daya optik yang dipancarkan dari sumber cahaya (dBm)

L kabel = redaman pada kabel (dB/km)

$L_{splitter}$ = redaman pada kabel (dB)

$L_{connector}$ = redaman pada kabel (dB)

L_{splice} = redaman pada kabel (dB)

M = *loss margin system* diambil 3 dB

Untuk mengkonversikan perhitungan daya, Rumus yang dibutuhkan adalah sebagai berikut (Yulianto, 2012):

$$\text{dBm} = 30 + \text{Log } 10 (\text{Watts})$$

$$\text{Watts} = 10^{((\text{dBm} - 30)/10)}$$

$$\text{MilliWatts} = 10^{(\text{dBm}/10)}$$

2.7 Gigabit Passive Optical Network (GPON)

Gigabit Passive Optical Network (GPON) merupakan teknologi akses yang berkategori *Broadband Access* dan berbasis kabel serat optik. GPON bisa dikatakan sebagai evolusi dari jaringan PON yang khusus digunakan untuk Jaringan arsitektur FTTH. ITU-T G.984 adalah sebuah

standar yang dikeluarkan oleh ITU-T untuk mengatur standar teknologi GPON. Teknologi GPON mampu mentransmisikan sinyal dengan kecepatan yang tinggi, memungkinkan sejumlah mekanisme peningkatan dalam keamanan jaringan, pilihan 2 *layer* protokol (ATM, GEM, *Ethernet*) dan memungkinkan untuk menempuh jarak hingga 60 km serta kemampuan total *bandwidth* dari ujung ke ujung serat optik sebanyak 2.5 Gbps.

2.7.1 Prinsip Kerja Dasar GPON

Prinsip kerja dari GPON yaitu sinyal atau data yang dikirimkan dari OLT akan dikirim menuju ke ONT yang terletak dipelanggan akan melalui perangkat *splitter* yang memungkinkan pengiriman sinyal tunggal ke ONT pelanggan. ONT atau ONU fungsinya sendiri menerima data yang telah dikirim OLT yang kemudian akan diteruskan ke *user*. Pada prinsipnya, *Passive Optical Network* adalah sistem point-to-multipoint, dari fiber ke arsitektur *premise network* dimana unpowered optikal *splitter* (*splitter fiber*) serat optik tunggal. Arsitektur sistem GPON berdasarkan pada TDM (*Time Division Multiplexing*) sehingga mendukung layanan T1, E1, dan DS3.

Keunggulan teknologi GPON antara lain :

- Memungkinkan pengiriman data secara *triple play*.
- Alokasi *bandwidth* dapat di atur.
- Mampu memberikan *power* hingga *loop* terakhir.
- Proses instalasi dan *upgrade* menjadi sederhana.
- Biaya pemasangan, pengoperasian, dan pengembangan teknologi jauh lebih murah.
- Dengan teknologi GPON akan mengurangi penggunaan banyak serat optik dan peralatan pada *central office* dibandingkan teknologi *point to point*.

Sedangkan kekurangan GPON, antara lain :

- Model *layering* yang kompleks.

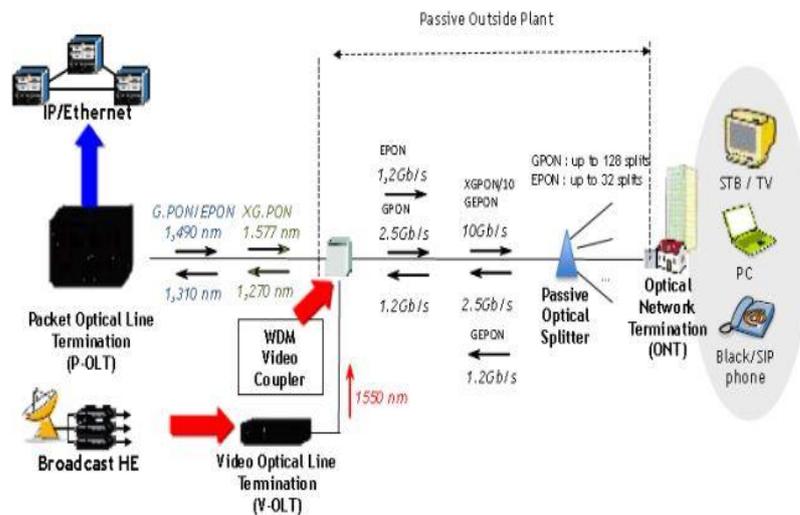
- *Transceiver* pada laju 2.4 Gbps saat ini cukup mahal.
- *Bandwidth* upstream terbatas pada hingga 622 Mbps saat ini.

Tabel 2.3 Standar dari teknologi GPON (Muhamad Ramadhan Mardiana Siahaan, Akhmad Hambali, Bambang Uripno.2012)

Karakteristik	GPON
<i>Standardization</i>	ITU-T G.984
<i>Frame</i>	ATM / GEM
<i>Speed Upstream</i>	1.2 G / 2.4 G
<i>Speed Downstream</i>	1.2 G / 2.4 G
<i>Service</i>	Data, Voice, Video
<i>Transmission Distance</i>	10 km / 20 km
<i>Number of Branches</i>	64
<i>Wavelength Up</i>	1310 nm
<i>Wavelength Down</i>	1490 nm
<i>Splitter</i>	<i>Passive</i>

GPON mampu memberikan layanan dengan kecepatan 2.4 Gbps secara simetris (*upstream* dan *downstream*) atau 2.4 Gbps untuk *downstream* dan 1.2 untuk *upstream*.

Secara teoritikal jangkauan dari *OLT* ke *ONT* bisa mencapai 60 km. Sedangkan secara fisikal jangkauan *GPON* dari *OLT* ke *ONT* adalah 20 km. Berikut ini adalah skema diagram *GPON* :



Gambar 2.13 Skema diagram *GPON*

2.7.2 Standar Umum Perangkat *GPON*

Persyaratan teknik perangkat yaitu kemampuan perangkat untuk mentransmisikan data berupa multi layanan (*voice, data, video*). Persyaratan teknologi *GPON* yaitu :

- Teknologi *GPON* beroperasi pada *line rates* pada 2.4 Gbps *downstream* dan 1.2 Gbps *upstream* dengan menggunakan *singlemode* optik, sistem *GPON* harus menggunakan ITU-T G.984.x seri (G.984.1/2/3/4).
- Sistem arsitektur *GPON* harus dalam satu lajur yang saling terintegrasi antar semua layanan.
- Arsitektur internal *backplane* perangkat *GPON* harus berbasis arsitektur IP. Kemampuan switching bersifat non-blocked matrix.
- Modul *GPON* dapat dilakukan pengembangan, sehingga sistem menjadi fleksibel sesuai dengan kebutuhan.

2.7.3 Komponen Perangkat GPON

a. Metro *Ethernet* (Metro – E)

Metro *Ethernet* merupakan sebuah jaringan telekomunikasi yang memiliki skala cakupan sebuah kota dengan transportasi data berteknologi ethernet. Metro ethernet adalah perangkat paling awal (hulu) dalam sebuah STO yang fungsinya untuk menghasilkan sinyal cahaya yang masih berupa energi listrik yang kemudian nanti akan dikonversikan di OLT.

b. *Optical Line Terminal* (OLT)

Optical Line Terminal (OLT) adalah suatu perangkat aktif (opto-elektrik) yang tugasnya mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik dan sebagai alat multiplex. OLT biasanya terletak lokal *exchange* dan mesin didalamnya menggerakkan FTTH. OLT mempunyai fungsi utama untuk penjadwalan lalu lintas, kontrol *buffer* dan alokasi *bandwidth*.

Tabel 2.4 Spesifikasi OLT (Mochamad Subchan M, 2017)

Parameter	Spesifikasi	Unit
<i>Optical Transmit Power</i>	5	dBm
<i>Downlink Wavelength</i>	1490	Nm
Parameter	Spesifikasi	Unit
<i>Uplink Wavelength</i>	1310	Nm
<i>Video Wavelength</i>	1550	Nm
<i>Spectrum Width</i>	1	Nm
<i>Downstrem Rate</i>	2.4	Gbps
<i>Upstream Rate</i>	1.2	Gbpd
<i>Optical Rise Time</i>	160	Ps

c. *Optical Distribution Frame (ODF)*

Daya listrik yang dikonversi menjadi sinyal optik dari OLT kemudian disalurkan ke ODF, fungsi dari ODF ini yaitu tempat peralihan serat optik dari *indoor* ke *outdoor* ataupun sebaliknya.

d. *Optical Distribution Cabinet (ODC)*

Optical Distribution Cabinet (ODC) merupakan perangkat outdoor yang menjadi jaringan fiber optik yang pertama. ODC adalah sebuah perangkat yang berada dalam sebuah kotak atau kubah besi yang biasanya banyak dijumpai dipinggir jalan. ODC menerima serat optik yang dikirim dari STO yang kemudian akan dibagi menuju ODP yang berisi *splitter* 1 : 8. ODC berfungsi juga sebagai tempat sambungan jaringan optik, konektor, *splitter* 1 : 4 dan juga tempat instalasi sambungan, fungsi lain dari ODC adalah sebagai tempat terminasi kabel *feeder* dari STO dan kabel distribusi yang menuju ke ODP. *Optical Distribution Cabinet (ODC)* merupakan perangkat yang berada diantara OLT dan ONT. ODN memberikan sarana transmisi optik mulai dari OLT kepada pengguna hingga sebaliknya dan menggunakan komponen optik pasif. Perangkat Interior ODC terdiri dari kabel serat optik, *splices*, konektor, dan *splitter*.

- Serat optik, yang digunakan harus memiliki standar ITU-T G.652.D dan G.657.A. serat optik jenis T G.652.D digunakan sebagai *feeder* dan kabel distribusi. digunakan untuk kabel *feeder* dan kabel distribusi. Rugi-rugi serat optik ITU-T G.652.D dan G.657.A pada panjang gelombang 1310 nm sebesar $\leq 0,35$ dB/Km dan pada panjang gelombang 1490 nm sebesar $\leq 0,28$ dB/Km.
- *Splice*, penyambungan dalam sebuah teknologi serat optik sangatlah penting, seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya *splice* ada dua macam. Dimana dalam penyambungan serat optik terdapat rugi – rugi yang perlu diperhatikan.
- Konektor, pada serat optik terbuat dari bahan plastik, karet dan kaca sehingga lebih praktis. Jenis konektor yang dipergunakan yaitu jenis SC

(*subscriber connector*), konektor ini digunakan pada bagian OLT sampai ke OND, dengan menggunakan konektor SC *loss* sebesar 0.25 dB. Splitter, yang akan digunakan ada 2 tipe yaitu *splitter* 1:4 dan *splitter* 1:8. Dimana masing – masing *loss*nya yaitu 7,25 dB diletakan di ODC dan 10,28 dB diletakan di ODP

e. *Optical Distribution Point* (ODP)

Optical Distribution Point (ODP) merupakan perangkat yang berfungsi untuk melindungi *core* serat optik, fungsi utama dari ODP adalah membagi *core* serat optik ke beberapa pelanggan. ODP terdapat tiga jenis yaitu ODP *Pole*, ODP *Closure* dan ODP *Pedestal*.

f. *Optical Network Terminal* (ONT)

ONT/ONU adalah perangkat aktif yang dipasang disisi pelanggan, mempunyai fungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik dan sebagai alat *demultiplex*.

Tabel 2.5 Parameter *loss* pada jaringan akses *GPON*

Parameter	Penjabaran	Nilai
l_{cable}	Hitungan kehilangan daya dalam kekuatan sinyal optik karena melintasi serat optik, diukur dengan dB/km.	0.21 dB/km
$l_{splitter}$	Mengacu pada sisipan kehilangan daya di <i>splitter</i> , bervariasi sesuai dengan rasio percabangan.	8 dB untuk <i>splitter</i> level-1 14 dB untuk <i>splitter</i> level-2
l_{splice}	Mengacu pada hilangnya daya pada splicing, diukur melalui perangkat <i>splicing</i>	0.003 dB

	penggabungan. Nilai yang tertera menunjukkan nilai kehilangan maksimum yang didapat.	
$l_{connector}$	Menunjukkan kehilangan yang terjadi oleh rangkaian sambungan.	0.2 dB

2.8 Optical Link Power Budget

Didalam sistem komunikasi serat optik, parameter transmisi menjadi faktor yang penting dalam perancangan jaringan. Berjalannya daya cahaya yang tersedia untuk mengirim data dalam jaringan transmisi menjadi salah satu kunci berjalannya jaringan serat optik. Indikator lain adalah *Attenuation Fiber Optic* rugi-rugi ini adalah salah satu karakteristik yang penting dalam serat optik. Rugi - rugi ini mempengaruhi penurunan *bandwidth* dari sistem. *Power link budget* adalah cara menghitung daya pada suatu sistem transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran redaman serat optik, sumber optik dan sensitivitas detektor. Perhitungan disini berdasarkan dengan standar yang ditetapkan ITU-T G.984 dan juga peraturan yang sesuai dengan yang ditetapkan oleh PT. Telkom yaitu redaman total dari OLT hingga ONT tidak boleh melebihi dari 28dB dan panjang jaringan optik melebihi 20 km. Dalam analisis menggunakan metode ini dapat kita ketahui dengan persamaan berikut ini :

$$a_{tot} = L \cdot a_f + N_c \cdot a_c + N_s \cdot a_s + a_{sp} \quad (2.9)$$

$$P_B = P_T - P_R \quad (2.10)$$

$$M = P_B - a_{tot} - M_s \quad (2.11)$$

(Mauludin, M. S., & Rahmawati, I. (2017).

Dimana,

P_B = *link power budget*

P_T = *minimum transmitter power*

P_R = *minimum receiver sensitivity*

M = *link margin*

a_{tot} = *total redaman*

L = *panjang serat optik (km)*

a_f = *attenuasi serat optik (dB/km)*

N_c = *jumlah konektor*

a_c = *loss konektor (dB)*

N_s = *jumlah sambungan*

a_s = *redaman sambungan (dB)*

a_{sp} = *redaman splitter (dB)*

M_s = *safety margin*

Perhitungan optical *link power budget* dilakukan untuk mengetahui nilai redaman total dalam suatu jaringan apakah memenuhi syarat atau standar yang ada, selain itu bisa diperoleh nilai daya keluaran dan sensitivitas penerima pada komponen ONT. Berikut ini adalah klasifikasi redaman total atau attenuasi :

00,0 dB – 19,99 dB = Outstanding (bagus sekali)

20,00 dB – 25,00 dB = Excellent (bagus)

25,00 dB – 28,00 dB = Poor (Buruk) kemungkinan koneksi tidak lancar

28,00 dB – keatas = Bad, timbul banyak gangguan koneksi

2.9 Optical Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk mengetahui batas nilai *dispersi*. Metode ini sangat berguna untuk melakukan analisis pada sistem transmisi digital. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengetahui apakah kerja dari sistem jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. Secara umum, degradasi waktu transisi total sebuah link digital tidak melebihi 70 % dari sebuah perioda bit NRZ (Non-Return to Zero) atau 35 % sebuah perioda bit RZ (*Return to Zero*). Untuk sinyal digital dapat berdasarkan metode *rise time*. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai rise time (t_s) pada suatu sistem :

$$t_{total} = (t_{tx}^2 + t_{intramodal}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{rx}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

Dimana :

$$t_{tx} = \text{rise time transmitter}$$

$$t_{rx} = \text{rise time receiver}$$

Dimana untuk $t_{intramodal}$ dari serta optik dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan $t_{material}$ dan $t_{waveguide}$ terlebih dahulu kemudian dijumlahkan. Nilai $t_{material}$ dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$t_{material} = \Delta\sigma \times L \times D_m \quad (3.6)$$

Dimana, $\Delta\sigma$ = lebar spektral (nm), kemudian L = panjang kabel fiber optik (km) dan D_m = dispersi material (ps/nm.km).

Kemudian untuk memperoleh nilai $t_{waveguide}$ bisa diperoleh menggunakan persamaan 3.7 berikut ini :

$$t_{waveguide} = \frac{L}{c} \times \left[n_2 + \left(n_2 \times \Delta_s \times \frac{dv_b}{dv} \right) \right] \quad (2.13)$$

Dimana, L = panjang kabel fiber optik (km), C = kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 m/s$), n_2 = indeks bias selubung, kemudian Δ_s = selisih antara indeks bias inti dan indeks bias selubung.

Untuk mengetahui nilai selisih indeks bias bisa dihitung dengan persamaan 3.8 berikut ini :

$$\Delta_s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.14)$$

Dengan, n_1 = nilai indeks bias inti. Untuk mengetahui nilai frekuensi yang dinormalkan dapat dihitung dengan persamaan 3.9 yaitu :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \times a \times n_1 (2 \times \Delta_s)^{\frac{1}{2}} \quad (2.15)$$

Dimana, V = nilai frekuensi dinormalkan, a = jari – jari inti dan λ = panjang gelombang. Kemudian untuk menghitung nilai $\frac{dV_b}{dv}$ bisa diperoleh dengan persamaan 3.10 yaitu :

$$\frac{dV_b}{dv} = 1 + \left(\frac{u_c^2}{v^2}\right) \quad (2.16)$$

Dengan $u_c^2 = (2 \times V)^{\frac{1}{2}}$.

(Dermawan, B., Santoso, I., & Prakoso, T. (2016)

Metode ini memiliki kaitan yang erat dengan nilai *bandwidth* atau *bit rate*. Dalam hal ini, *dispersi* pulsa yang dialami keseluruhan sistem FTTH tidak boleh melebihi kapasitas *bandwidth*. Untuk sistem *analog*, hubungan antara *bandwidth* dan *rise-time* ditunjukkan oleh persamaan :

$$BW = 0.35/t_s \quad (2.17)$$

Sedangkan “untuk sistem digital karena peralatan yang digunakan berupa elektronik, dengan format *Non Return to Zero* (NRZ)” (Djordjevic, Ryan, & Vasic, 2010), maka :

$$BW = 0.7/t_s \quad (2.18)$$

Analisis dari metode *optical rise time budget* ini juga sangat perlu diimplementasikan dilapangan yang berkaitan dengan kapasitas *bandwidth* yang diinginkan.

2.10 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR merupakan Perbandingan (*ratio*) antara kekuatan Sinyal (*signal strength*) dengan kekuatan Derau (*noise level*). Nilai SNR dipakai untuk

menunjukkan kualitas jalur (medium) koneksi. Standar SNR adalah minimal 21,5 dB :

$$BW = 10 \log_{10} \frac{S}{N} \quad (2.19)$$

Dimana :

S = Daya Sinyal rata – rata (watt)

N = Daya Derau (watt)

(Dermawan, B., Santoso, I., & Prakoso, T. (2016).

Noise yang bernilai besar akan menyebabkan nilai SNR yang semakin kecil. Semakin dekat jarak transmisi, maka akan semakin besar pula kekuatan SNR begitu pula sebaliknya. Berikut ini adalah klasifikasi SNR :

21,5 dB ~ 28,9 dB	= Excellent (bagus) Koneksi stabil.
11,0 dB ~ 19,9 dB	= Good (baik) Sinkronisasi sinyal ADSL dapat berlangsung lancar.
07,0 dB ~ 10,9 dB	= Fair (cukup) Rentan terhadap variasi perubahan kondisi pada jaringan.
00,0 dB ~ 06,9 dB	= Bad (buruk) Sinkronisasi sinyal gagal atau tidak lancar (ter-putus ²).

2.11 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan ukuran kinerja sistem untuk mengetahui berapa jumlah bit yang rusak selama pengiriman data dari sumber hingga ke penerima. Nilai standar yang ditetapkan oleh PT. Telkom untuk BER adalah 1×10^9 yang artinya setiap satu miliar data yang dikirimkan jumlah bit yang rusak maksimal hanya 1 bit. Nilai BER dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$SNR = 10 \log 2Q \quad (2.20)$$

Dimana, Q = *Quantum noise*.

$$BER = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q} \quad (2.21)$$

(Prabowo, N., Hambali, A., & Pambudi, A. D. (2017).

2.12 Standarisasi Parameter – parameter Sistem Jaringan

Setelah diperoleh nilai dari suatu penelitian maka perlu dilakukan analisis untuk mengetahui apakah hasil yang didapat telah sesuai dengan patokan atau standar yang ditetapkan oleh suatu badan atau perusahaan yang berkaitan. Kita dapat mengacu salah satu standar atau menggabungkan beberapa standar untuk memperkuat analisis hasil penelitian yang dilakukan. Berikut ini adalah standarisasi *International Telecommunication Union* yang digunakan untuk parameter *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, *Signal Noise to Ratio* dan *Bit Rate Error*.

Tabel 2.6 Standarisasi Parameter Berdasarkan *International Telecommunication Union*
ITU-T Recommendation G.984.1/2/3/4 (2003) , Gigabit – Capable Passive Optical Network (GPON)

Parameter	<i>International Telecommunication Union</i> (ITU)	Batas Keandalan
<i>Link Power Budget</i>	ITU-T G.984.1/2	< 28 dB
<i>Rise Time Budget</i>	ITU-T G.984.2	$< 0,7 \times 10^{-9}$
<i>Signal Noise to Ratio</i>	ITU-T G.984.3/4	> 21,5 dB
<i>Bit Rate Error</i>	ITU-T G.984.4	$< 1 \times 10^{-9}$

International Telecommunication Union (ITU) merupakan sebuah badan internasional yang mengembangkan sistem GPON yang pada saat ini digunakan oleh PT. Telkom dalam jaringan FTTH atau yang lebih dikenal dengan *Indihome*.