

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pertumbuhan ekonomi dan peningkatan taraf hidup masyarakat di suatu negara mempunyai korelasi yang kuat terhadap kualitas sumber daya manusia di negara tersebut. Hal ini juga berlaku di Indonesia. Pada tahun 2001 pertumbuhan ekonomi di Indonesia pada tahun 2011 telah mencapai 6,4% menunjukkan peningkatan 0,3% dibandingkan dengan tahun 2010 yang lalu yang hanya mencapai 6,1% (Sumber : Bappenas, 2011). Salah satu upaya pemerintah untuk terus memperbaiki ekonomi dan taraf hidup masyarakat adalah melalui pendidikan. Tolak ukur meningkatnya jumlah masyarakat terdidik adalah dengan peningkatan APK atau Angka Partisipasi Kasar. Angka Partisipasi Kasar (APK) adalah rasio jumlah siswa, berapapun usianya, yang sedang sekolah di tingkat pendidikan tertentu terhadap jumlah penduduk kelompok usia yang berkaitan dengan jenjang pendidikan tertentu (Sumber : Data Statistik Indonesia, 2011). APK menunjukkan tingkat partisipasi penduduk secara umum di suatu tingkat pendidikan. APK merupakan indikator yang paling sederhana untuk mengukur daya serap penduduk usia sekolah di masing-masing jenjang pendidikan. Pemerintah perlu meningkatkan kualitas sumber daya manusia agar Angka Partisipasi Kasar (APK) pendidikan di Indonesia juga naik.

Upaya peningkatan APK dapat dilakukan melalui peningkatan penerimaan jumlah mahasiswa pada perguruan tinggi negeri maupun swasta. Namun muncul permasalahan baru dengan meningkatkan jumlah daya tampung mahasiswa di perguruan tinggi, berarti juga meningkatkan sarana dan prasarana pendidikan. Ada alternatif lain untuk mengatasi permasalahan ini, yaitu dengan mengadakan pendidikan jarak jauh (*distance learning*). Pendidikan jarak jauh adalah pendidikan yang peserta didiknya terpisah dari pendidik dan pembelajarannya menggunakan berbagai sumber belajar melalui teknologi komunikasi, informasi, dan media lain. Pendidikan jarak jauh dilandasi pada pendidikan terbuka,

sehingga menyediakan keluwesan belajar bagi peserta didik lintas ruang dan waktu. Proses pembelajaran jarak jauh dapat disampaikan dengan menggunakan berbagai teknik dan teknologi. Salah satunya adalah melalui internet yaitu *E-Learning*. *E-learning* merupakan bentuk pembelajaran jarak jauh yang paling maju. *E-learning* menggunakan metode penyampaian dengan komputer dan memanfaatkan teknologi internet serta pemrograman yang memungkinkan para peserta didik untuk berinteraksi dengan bahan-bahan pelajaran melalui *chat room* (ruang komunikasi), *notice board* (papan pengumuman), *video conferencing*, dll. Pembelajaran jarak jauh juga dapat berupa *teleconference* dengan menggunakan *video conference* (Sumber: Panduan Penyusunan Model Pembelajaran Pendidikan Jarak Jauh, 2011). Pembelajaran jarak jauh banyak memberikan keuntungan berupa penghematan ruang, waktu dan uang. Para peserta tidak harus mengeluarkan biaya untuk perjalanan dari rumah menuju ke universitas. Para peserta juga tidak harus berada di dalam kelas bersama dengan dosen pengajar sehingga dapat menghemat ruangan yang akan digunakan, dan para peserta dapat mengambil kuliah dan juga melakukan hal lainnya seperti bekerja dan kegiatan penting lainnya. Sistem pembelajaran jarak jauh akan meningkatkan efektifitas dan efisiensi dari proses belajar mengajar itu sendiri. Saat ini *distance learning* hanya dilaksanakan di 1 tempat di Universitas Brawijaya yaitu di *School Of Internet* (SOI) UB. Dan muncul permasalahan baru, karena dengan hanya 1 tempat, tidak semua mahasiswa Universitas Brawijaya dapat menggunakan fasilitas *distance learning* disaat yang sama. Karena itulah skripsi ini bertujuan agar setiap jurusan di Universitas Brawijaya dapat memiliki fasilitas *distance learning* seperti yang dimiliki oleh *School Of Internet* (SOI) UB.

Pendidikan jarak jauh (*distance learning*) dapat terselenggara apabila tersedia infrastruktur yang mendukung. Infrastruktur tersebut meliputi jaringan internet dengan *bandwidth* yang besar terutama untuk mendukung *teleconference* yang menggunakan layanan multimedia *video conference*. Untuk ketersediaan *bandwidth* yang besar dan aman dari interferensi tidak mungkin disediakan oleh kabel koaksial biasa maupun satelit. Fasilitas yang dapat mendukung infrastruktur pendidikan jarak jauh ini adalah jaringan serat optik.

Teknologi serat optik merupakan media yang terjamin untuk menyediakan *bandwidth* yang besar, tidak dipengaruhi interferensi gelombang elektromagnetik, bebas korosi dan menyediakan rugi-rugi minimal untuk transportasi data. Sekarang ini kebanyakan dari *backbone* jaringan telekomunikasi telah dikonstruksikan dengan serat optik namun hubungan terakhir ke pengguna (*end user*) masih belum dapat memakai serat optik. Alasan utama untuk hal ini adalah karena serat optik dapat menyediakan kapasitas *bandwidth* yang cukup besar untuk suatu bangunan atau wilayah. Alasan lain adalah instalasi serat optik saat ini masih membutuhkan biaya yang cukup mahal. Tetapi disamping itu jaringan serat optik akan mengatasi masalah pertumbuhan permintaan layanan komunikasi yang berbasis internet yang akan meningkat beberapa kali lipat untuk masa 10 tahun mendatang dimana akses internet akan semakin murah dan waktu akses internet oleh pengguna akan semakin lama serta permintaan akan akses internet dengan kecepatan tinggi juga akan semakin besar. Serat optik memiliki banyak kelebihan dibanding kabel koaksial biasa antara lain serat optik sangat berguna untuk menyediakan *bandwidth* yang lebih tinggi dan penambahan kapasitas performansi yang lebih baik, dengan fleksibilitas yang baik, yang dibutuhkan oleh pengguna yang ingin melakukan *distance learning* atau pembelajaran jarak jauh dengan menggunakan layanan multimedia berupa *video conference*.

Wilayah perencanaan dalam skripsi ini adalah wilayah Universitas Brawijaya, maka teknologi Jarlokaf (Jaringan Lokal Akses *Fiber*) yang digunakan adalah *Fiber To The Zone* (FTTZ) yang merupakan salah satu teknologi FTTx. Penggunaan teknologi ini dipilih karena memberikan banyak manfaat berupa konfigurasi *Fiber To The Zone* memungkinkan UPPTI Brawijaya untuk membagi *bandwidth* kepada setiap pengguna atau setiap jurusan sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Konfigurasi FTTZ dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan kabel tembaga ke setiap ONT ataupun menggunakan kabel *fiber* optik dengan konfigurasi FTTB ke setiap ONT. Jarak dari titik konversi optik dari UPPTI Brawijaya ke setiap ONT yang ada di setiap jurusan maksimal 3km. Karena luas wilayah Universitas Brawijaya sebesar 12 km^2 maka sangat mendukung untuk konfigurasi *fiber to the zone*. Konfigurasi FTTZ tidak membatasi *bandwidth* yang dapat diterima oleh pelanggan, dimana jurusan mana

yang paling sering memerlukan fasilitas *distance learning* dapat mempunyai *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan jurusan yang jarang menggunakan fasilitas *distance learning*. Dengan kata lain, konfigurasi *Fiber To The Zone* memiliki fleksibilitas yang tinggi.

Maka pada skripsi ini akan dilakukan perancangan jaringan serat optik menggunakan konfigurasi *Fiber To The Zone* (FTTZ) untuk mendukung pendidikan jarak jauh (*distance learning*) di wilayah Universitas Brawijaya.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Mengacu permasalahan yang ada pada latar belakang diatas, maka dapat ditetapkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Merencanakan konfigurasi FTTZ (*Fiber To The Zone*) untuk mendukung akses pembelajaran jarak jauh di Universitas Brawijaya disesuaikan dengan tingkat kebutuhan pengguna.
2. Merencanakan peletakan dan pemilihan komponen-komponen FTTZ yang sesuai dengan kebutuhan *bandwidth* yang diinginkan.
3. Menganalisis performansi jaringan serat optik yaitu *link power budget*, *link rise time budget*, *delay* dan *throughput* pada jaringan untuk sistem yang direncanakan yang akan berpengaruh pada kelayakan sistem yang direncanakan.

1.3. RUANG LINGKUP

Dalam skripsi ini perancangan dilakukan pada jaringan akses untuk *Central Office* (CO) Malang Kota sampai ke Universitas Brawijaya. Ruang lingkup skripsi ini meliputi :

1. Jaringan serat optik dengan konfigurasi FTTZ dimulai dari OLT Malang Kota (*Optical Line Terminal*) sampai ke ONT (*Optical Network Terminal*) yang diletakkan di UPPTI Universitas Brawijaya.
2. Perencanaan ini diperuntukkan bagi para mahasiswa, dosen dan karyawan di Universitas Brawijaya agar dapat menggunakan layanan internet berkecepatan tinggi sebesar 2, 488 Gbps untuk *downstream* dan 1,244

Gbps untuk *upstream* yang akan digunakan untuk pembelajaran jarak jauh (*distance learning*).

3. Tidak membahas LAN, *hardware* dan *software*.
4. Hanya membahas layanan yang mendukung pembelajaran jarak jauh (*distance learning*)
5. Hanya membahas analisis jaringan secara teknis, tidak membahas faktor ekonomi yang terkait.

1.4. TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan penulisan skripsi ini adalah merencanakan suatu jaringan serat optik dengan Konfigurasi FTTZ untuk mendukung pendidikan jarak jauh (*distance learning*) di Universitas Brawijaya. Skripsi ini juga diharapkan akan dapat menjadi literatur yang bermanfaat bagi pembaca yang ingin membuat perencanaan serat optik di masa depan.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri atas 6 bab. Bab 1 mendeskripsikan tentang pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penulisan, kontribusi skripsi dan sistematika penulisan skripsi ini.

Bab 2 membahas tentang teori dasar sistem komunikasi serat optik yang meliputi teori mengenai mengenai media transmisi seperti sumber optik, serat optik, dan detektor optik.

Bab 3 membahas teori dasar tentang jaringan serat optik terutama dengan menggunakan konfigurasi FTTZ dan konsep dasar pembelajaran jarak jauh dengan menggunakan layanan multimedia *video conference*.

Bab 4 berisi tentang metodologi, memuat uraian tentang tahapan pengerjaan skripsi yang meliputi pengambilan data primer di lapangan dan pengambilan data sekunder dari buku, jurnal dan referensi, dilanjutkan metode penghitungan dan analisis data.

Bab 5 berisi tentang perencanaan yang memuat proses perencanaan jaringan serat optik dengan konfigurasi *Fiber To The Zone* (FTTZ) untuk mendukung pembelajaran jarak jauh (*distance learning*) di Universitas Brawijaya

Bab 6 berisi tentang penutup yang memuat tentang kesimpulan dari semua hal yang telah diuraikan sebelumnya, serta saran-saran dari topik yang dibahas.



BAB II

DASAR TEORI

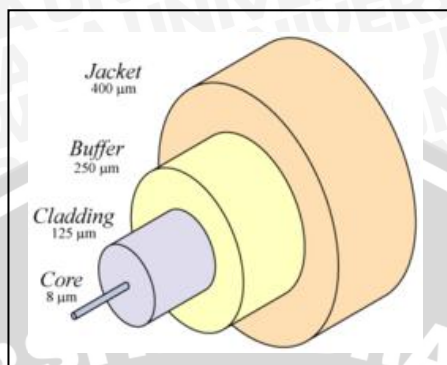
Bab 2 meliputi tentang teori-teori yang digunakan untuk merencanakan jaringan serat optik dengan konfigurasi *fiber to the zone* (FTTZ). Bab ini juga akan menerangkan tentang dasar teori yang untuk mendukung pembelajaran jarak jauh (*distance learning*) di Universitas Brawijaya. Dasar teori tersebut terdiri atas:

2.1. SERAT OPTIK SECARA UMUM

Serat optik adalah suatu pandu gelombang yang digunakan untuk merambatkan energi elektromagnetik pada frekuensi antara 300-600 THz dan dikenal sebagai frekuensi optik (Tugal, 1982). Sistem komunikasi serat optik memanfaatkan cahaya sebagai gelombang pembawa informasi yang akan dikirimkan. Pada bagian pengirim isyarat informasi diubah menjadi isyarat optik, lalu diteruskan ke saluran informasi yang terbuat dari serat optik sebagai pemandu gelombang. Sesampainya di penerima, berkas cahaya ditangkap oleh detektor cahaya, yang berfungsi untuk mengubah besaran optik menjadi besaran elektrik. Di sini cahaya mengalami pelebaran dan pelemahan, disebabkan karena ketidakmurnian bahan serat, yang menyerap serta menyebarkan cahaya.

Secara garis besar serat optik terdiri dari 2 bagian utama, yaitu *cladding* dan *core*. *Cladding* adalah selubung dari inti (*core*). *Cladding* terbuat dari bahan gelas dan mempunyai indek bias lebih kecil dari pada *core* dan akan memantulkan kembali cahaya yang mengarah keluar dari *core* kembali kedalam *core* lagi. *Cladding* berfungsi untuk memantulkan cahaya agar gelombang tetap menjalar sepanjang inti. Efisiensi dari serat optik ditentukan oleh kemurnian dari bahan penyusun gelas. Semakin murni bahan gelas, semakin sedikit cahaya yang diserap oleh serat optik. Sementara inti (*core*) berfungsi sebagai media perambatan cahaya sesungguhnya. Dan *core* biasanya terbuat dari bahan kuarsa dengan kualitas sangat tinggi. Biasanya memiliki diameter 8 μ m - 50 μ m, ukuran

core sangat mempengaruhi karakteristik serat optik. Dan pembungkus kabel serat optik dinamakan dengan *coating*, berfungsi untuk melindungi serat optik dari kerusakan dan terbuat dari bahan plastik.



Gambar 2.1 Struktur Kabel Fiber Optik

(Sumber : *Fiber Optic Communications*, Joseph C. Palais)

Serat optik adalah merupakan saluran transmisi atau sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dari sehelai rambut, dan dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah *Laser Dioda* atau LED. Kabel ini berdiameter lebih kurang 120 mikrometer.

Serat optik adalah salah satu media transmisi yang dapat menyalurkan informasi dengan kapasitas besar dan keandalan yang tinggi. Media transmisi pada serat optik memiliki gelombang pembawa yang berupa sinar/cahaya yang memiliki kecepatan 3×10^8 m/detik.

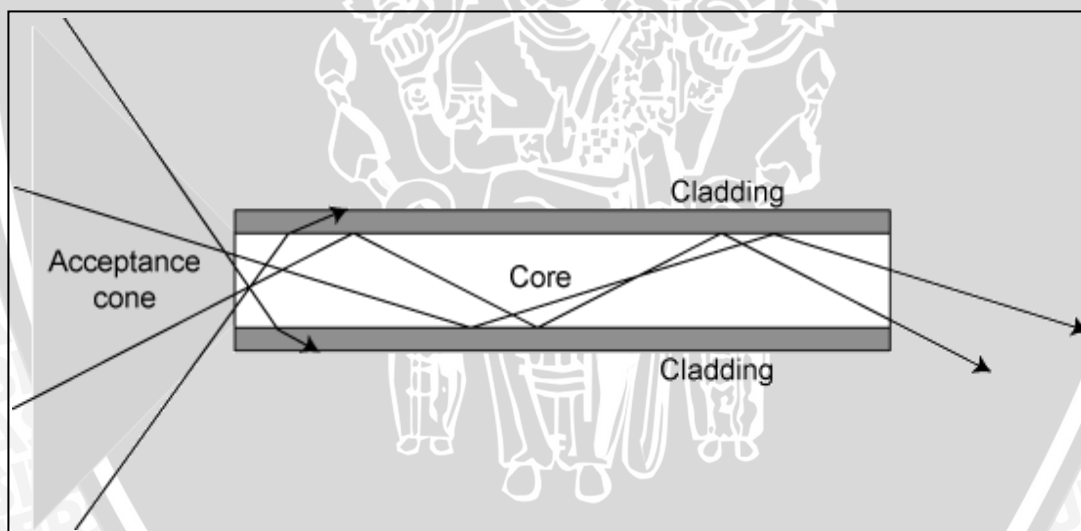
Dengan pesatnya perkembangan teknologi serat optik, biaya yang harus dikeluarkan untuk implementasi teknologi ini semakin murah, maka media serat optik lebih banyak digunakan untuk menggelar komunikasi antar gedung, antar blok, antar kota, dan bahkan digunakan untuk menghubungkan komunikasi antar benua di dunia. Hal ini dikarenakan serat optik memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan kabel tembaga atau media transmisi yang lain diantaranya rugi-rugi transmisi yang rendah, *bandwidth* lebar, tahan terhadap interferensi, dan tingkat keamanan yang baik.

Perkembangan teknologi serat optik saat ini, telah dapat menghasilkan pelemahan (*attenuation*) kurang dari 20 *decibels* (dB)/km (Sumber : PT.TELKOM, 2004). Dengan lebar jalur (*bandwidth*) yang besar sehingga

kemampuan dalam mentransmisikan data menjadi lebih banyak dan cepat dibandingkan dengan penggunaan kabel konvensional. Dengan demikian serat optik sangat cocok digunakan terutama dalam aplikasi sistem telekomunikasi. Pada prinsipnya serat optik memantulkan dan membiaskan sejumlah cahaya yang merambat didalamnya.

2.2. PENJALARAN CAHAYA PADA SERAT OPTIK

Penjalaran cahaya yang berlangsung dalam serat optik didasarkan pada gejala pemantulan dalam sempurna (*total internal reflection*). Terjadinya gejala ini berkaitan dengan indeks bias bahan, sudut datang, dan sudut pantul. Indeks bias bahan (n) didefinisikan sebagai perbandingan kecepatan cahaya dalam ruang hampa dengan kecepatan cahaya dalam bahan tersebut (Hoss, 1990). Cahaya dapat merambat dalam *fiber* optik melalui sejumlah lintasan yang berbeda. Lintasan cahaya yang berbeda-beda dari *fiber* optik ini disebut mode. Ukuran diameter *core* menentukan jumlah mode yang ada dalam suatu *fiber* optik.



Gambar 2.2 Prinsip Perambatan Cahaya
(Sumber : PT.TELKOM, 2004)

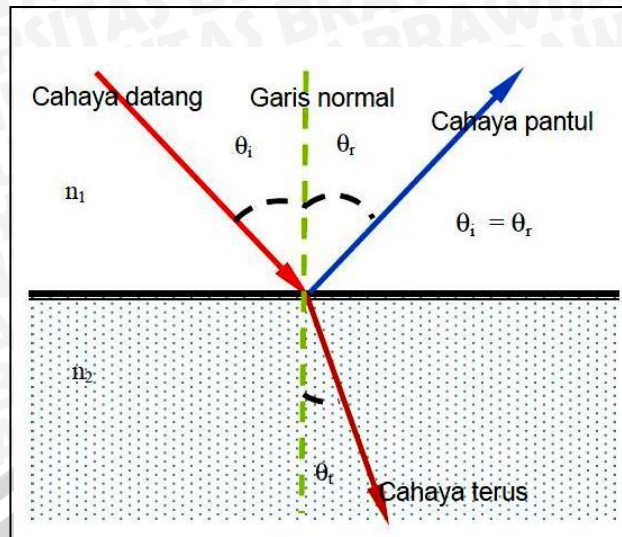
$$n = \frac{c}{c_n} \quad (2.1)$$

Dengan :

n = indeks bias

c = kecepatan cahaya di dalam ruang hampa ($3 \cdot 10^8$ m/s)

c_n = kecepatan cahaya dalam suatu bahan (m/s)



Gambar 2.3 Cahaya melewati 2 medium yang berbeda

(Sumber : PT.TELKOM, 2004)

Hubungan indeks bias, sudut datang, dan sudut pantul dinyatakan dalam hukum Snell sebagai berikut: (Lee, 1997)

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (2.2)$$

dengan :

n_1 = indek bias bahan 1

n_2 = indek bias bahan 2

θ_1 = sudut datang

θ_2 = sudut bias

Hukum Snell mengenai pemantulan :

1. Sudut datang sama dengan sudut pantul, $\theta_i = \theta_r$
2. Sinar datang, garis normal, dan sinar pantul terletak pada bidang yang sama

Hukum Snell mengenai pembiasan :

1. Cahaya yang bergerak dari materi dengan indeks bias lebih besar ke materi dengan indeks bias lebih kecil maka akan bergerak menjauhi garis normal.

$$\theta_i < \theta_t$$

2. Cahaya yang bergerak dari materi dengan indeks bias lebih kecil ke materi dengan indeks bias lebih besar maka akan bergerak mendekati garis normal,

$$\theta_i > \theta_t$$

Sudut datang minimum yang mengakibatkan sudut bias 90° disebut sudut kritis (θ_c) ya dari Hukum Snell diperoleh (PT.TELKOM,2004) :

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2.3)$$

Dengan :

θ_c = Sudut Kritis

n_1 = indeks bias inti serat optik

n_2 = indeks bias selubung serat optik

Dalam sistem transmisi serat optik dikenal sudut penerimaan (θ_a) yaitu sudut maksimum agar berkas cahaya dapat disalurkan sepanjang serat optik. Harga sinus sudut penerimaan disebut *Numerical Aperture* (NA) atau angka permukaan yang menunjukkan daya tangkap cahaya oleh suatu serat optik. Makin besar angka ini makin banyak energi cahaya yang disalurkan serat optik (Miller, 1988: 592)

Numerical aperture (NA) adalah ukuran kemampuan sebuah serat untuk menangkap cahaya, juga dipakai untuk mendefenisikan *acceptance cone* dari sebuah serat optik. Dengan menggunakan hukum Snellius, NA dari serat adalah (PT.TELKOM, 2004) :

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4)$$

$$NA = n_0 \cdot \sin \theta_a \quad (2.5)$$

Dengan :

NA = *Numerical Aperture*

n_1 = Indeks bias *core*

n_2 = Indeks bias *cladding*

n_0 = indeks refraksi bahan (1,0 untuk udara, 1,33 untuk air, dan 1,56 untuk minyak)

Karena medium dimana tempat cahaya memasuki serat umumnya adalah udara maka $n_0 = 1$ sehingga $NA = \sin \theta_a$. *Fiber optik* dengan *Numerical Aperture* yang besar akan memiliki kemampuan penerimaan cahaya yang semakin besar. Nilai NA biasanya sekitar 0,20 sampai 0,29 untuk serat gelas, serat plastik memiliki NA yang lebih tinggi dapat melebihi 0,5.

2.3. JENIS SERAT OPTIK

Profil indeks serat optik menggambarkan indeks bias serat optik. Indeks

digambarkan pada sumbu horizontal dan panjang inti digambarkan pada sumbu vertikal. Berdasarkan profil indeks bias, *fiber* optik dibedakan menjadi *step index* dan *graded index*.

Jika perbedaan indeks bias inti dan kulit dibuat drastis disebut serat optik *Step Indeks* (SI), selisih antara indeks bias kulit dan inti disimbolkan dengan Δ dimana (Keiser, 1983) :

$$\Delta_s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \quad (2.6)$$

Dengan :

Δ_s = selisih indeks bias pada profil *step indeks*

n_1 = indeks bias *core*

n_2 = indeks bias *cladding*

Sedangkan jika perbedaan indeks bias inti dan kulit dibuat secara perlahan-lahan disebut *Graded Indeks* (GI), *graded indeks* mempunyai profil indeks bias yang berubah-ubah sebanding dengan bertambahnya jari-jari inti dan menurun secara bertahap pada batas antara inti dengan selubung, tetapi nilainya akan konstan di selubung. Untuk *graded index* bagaimana turunnya indeks bias dari inti ke kulit akan ditunjukkan oleh persamaan berikut : (Keiser, 1983)

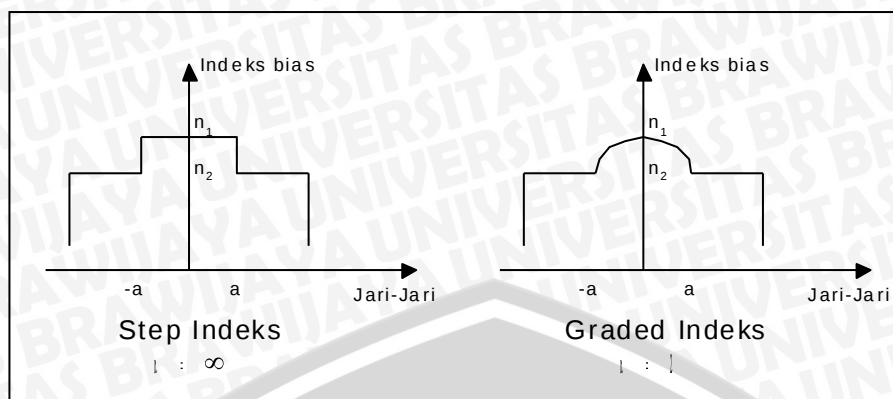
$$\Delta_g = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2} \quad (2.7)$$

Dengan :

Δ_g = selisih indeks bias pada *graded index*

n_1 = indeks bias *core*

n_2 = indeks bias *cladding*



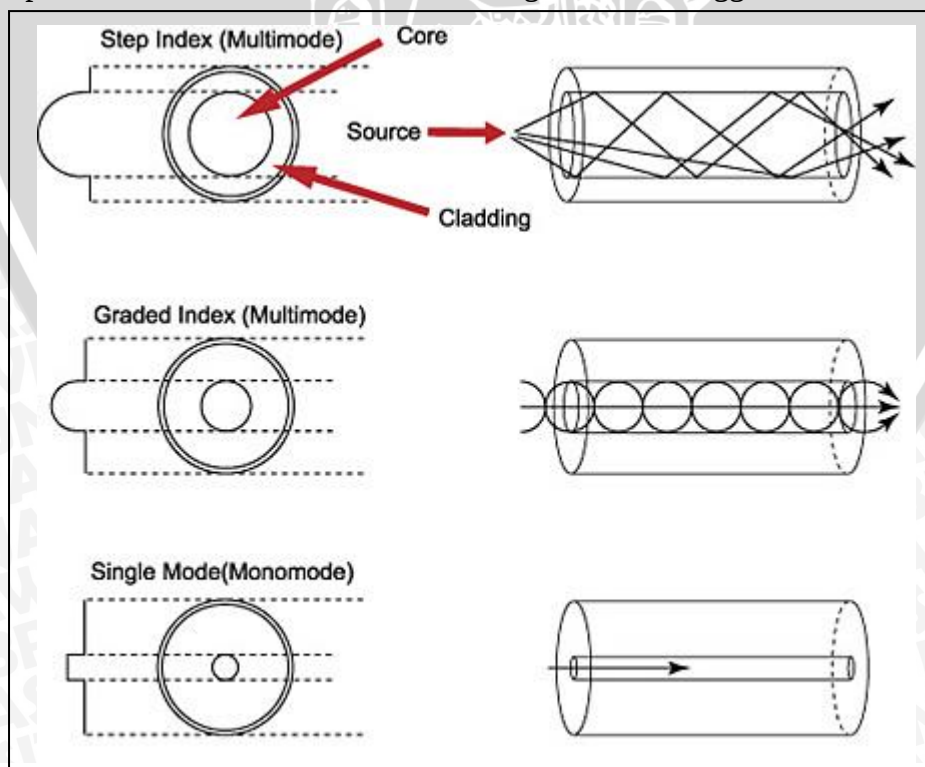
Gambar 2.4. Step Index dan Graded Index

(Sumber : *Optical Fiber Communication*, 3rd edition)

Berdasarkan modus penjalarannya serat optik dapat dibagi dalam 2 jenis yaitu *single mode* dan *multimode*.

2.3.1. Singlemode

Dalam serat optik *singlemode* sinar yang dilewatkan memiliki satu modus saja, yakni modus fundamental. Oleh karena itu pelebaran pulsa yang terjadi karena ketidakserentakan datangnya sinar-sinar yang berbeda modus tidak terjadi. Serat optik jenis *singlemode* mempunyai *bandwidth* paling besar karena jumlah modenya tunggal (hanya satu). Jika ditinjau dari ukurannya, serat optik jenis ini mempunyai diameter inti 5 – 10 μm dan diameter selubung 125 μm , sehingga serat optik ini cocok untuk transmisi data dengan *bit rate* tinggi.



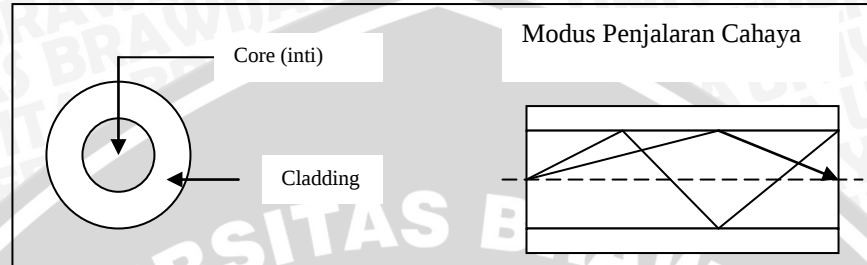
Gambar 2.5. Perbedaan Penjalaran Cahaya dalam 3 Jenis Fiber Optik

(Sumber : *Fiber Optic Communications*, Joseph C. Palais)

2.3.2. Multimode

Dalam serat optik *multimode* modulus penjaran cahaya lebih dari satu, sedangkan berdasarkan profil indeks serat optik *multimode* dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

1. Multimode step index

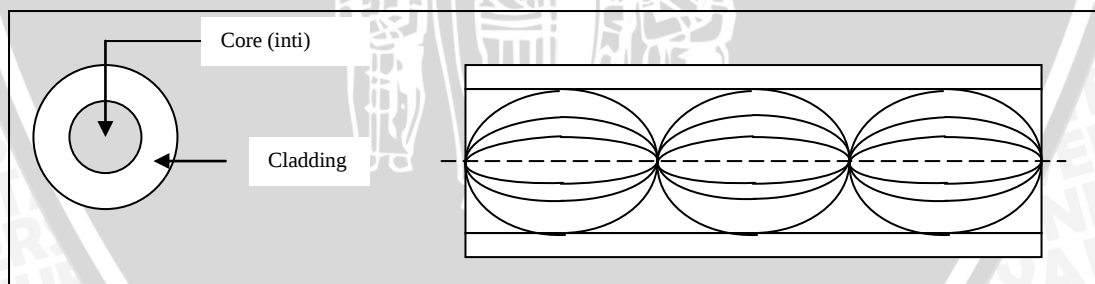


Gambar 2.6. Modus Penjaran Cahaya pada *Multimode Step Index*

(Sumber : *Fiber Optic Communications*, Joseph C. Palais)

Pada gambar 2.6 di atas memperlihatkan penjaran 2 berkas cahaya yang berbeda modulus di dalam serat optik *multimode step index*. Penjaran sinar dengan modulus yang tinggi memiliki sudut datang yang lebih kecil sehingga mempunyai lintasan yang lebih panjang dibandingkan dengan penjaran dengan modulus lebih rendah. Jika kedua berkas sinar berangkat pada saat yang sama di ujung pertama, maka sinar yang memiliki sudut datang lebih besar akan lebih dahulu tiba di ujung lainnya.

2. Multimode Graded index



Gambar 2.7 Modus Penjaran Cahaya pada *Multimode Graded Index*

(Sumber : *Fiber Optic Communications*, Joseph C. Palais)

Pada serat optik *multimode graded index* penjaran cahayanya terlihat seperti gambar 2.7 di atas, dari gambar di atas terlihat bahwa sinar-sinar yang berangkat serentak dari satu ujung akan tiba serentak di ujung lainnya. Oleh sebab itu pelebaran pulsa seperti dalam kasus serat optik *step index* dapat direduksi dengan menggunakan serat optik *graded index*.

Tabel 2.1.Perbandingan antara serat *singlemode* dengan serat *multimode*

No	Karakteristik	<i>Singlemode</i>	<i>Multimode</i>	
			<i>Step Index</i>	<i>Graded Index</i>
1	Diameter inti (μm)	7-10	50-980	50-100
2	Diameter selubung (μm)	125	125-1000	125
3	Koefisien Dispersi Bahan (ps/nm.km)	0.9-20	100-120	0.9-`120
4	Lebar pita (Mhz.km)	10^5	0.5-60	200-1500
5	Rugi rugi (dB/Km)	0.25-0.7	3-8	0.7-3.5
6	Angka permukaan	-	0.15-0.47	0.19-0.31
7	Banyaknya mode	1	>1	>1
8	Penyambungan	Sulit	Mudah	Mudah
9	Profil indek	-	>10	1-3

(Sumber : PT.TELKOM,2004)

2.4. Sumber Optik

Sumber optik adalah perangkat pembangkit gelombang elektromagnetik (GEM) pada frekuensi optik yaitu 3.10^{11} - 3.10^{16} Hz. Gelombang tersebut dibangkitkan untuk membawa informasi yang akan ditransmisikan. Dalam sistem transmisi serat optik, sumber optik yang sering digunakan adalah LED (*Light Emitting Diode*) dan ILD (*Injection Laser Diode*). LED termasuk sumber optik yang non koheren, dimana cahaya yang dibangkitkan mempunyai frekuensi dan panjang gelombang yang berbeda-beda. Sementara ILD merupakan sumber optik koheren, dimana cahaya yang dibangkitkan mempunyai frekuensi dan panjang gelombang tunggal. Masing masing sumber optik ini memiliki parameter dan karakteristik yang merupakan bahan pertimbangan dalam pemilihan yang akan digunakan. (Keiser, 1983).

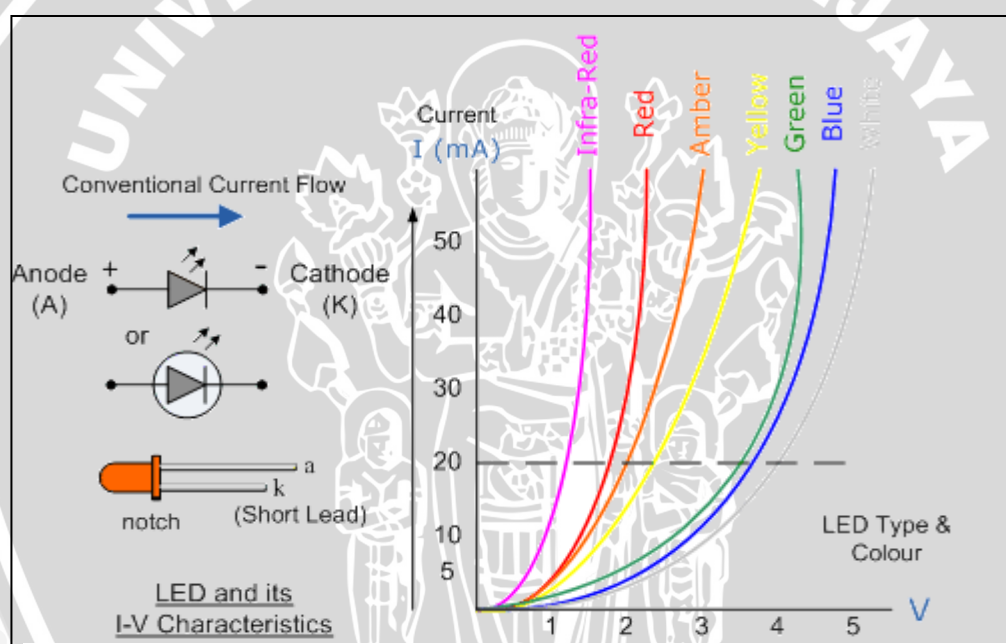
2.4.1. *Light Emitting Diode* (LED)

Light Emitting Diode (LED) adalah sebuah dioda yang dapat mengeluarkan sinar atau cahaya apabila diberi sebuah tegangan. *Light Emitting Diode* (LED) biasanya berfungsi sebagai lampu indikator atau lampu isyarat dan dapat juga berfungsi sebagai lampu-lampu hias. LED memiliki berbagai macam warna diantaranya warna : warna rnerah, hijau, kuning, dan putih. Dalam ilmu

Elektronika, *Light Emitting Diode* (LED) sering di gunakan sebagai indikator, baik indikator tegangan, *input*, *output*, ataupun yang lainnya.

LED adalah salah satu jenis diode yang disusun dari bahan semi konduktor jenis P dan N. Cahaya pada LED timbul karena emisi spontan saat rekombinasi elektron dan *hole* pada daerah aktif.

Kelebihan utama dari LED adalah harganya yang murah. Namun demikian, LED memiliki efisiensi yang sangat rendah, *bandwidth* yang terbatas, dan keluaran daya optik yang rendah. Oleh karena itu *transmitter* LED lebih cocok digunakan pada saluran optik yang beroperasi pada *bit rate* yang paling rendah (<200 Mbits/s) pada jarak yang relatif dekat (kira-kira beberapa kilometer). (WDM Technologies, 2002)



Gambar 2.8. Karakteristik LED

(Sumber : Sistem Penjamakan Sistem Komunikasi Serat Optik)

2.4.2. *Laser Diode* (LD)

Laser diode mempunyai efisiensi yang jauh lebih baik daripada LED dan menghasilkan daya optik yang jauh lebih tinggi (lebih dari 1W). Pada temperatur normal, akan dihasilkan pergeseran panjang gelombang hanya sebesar 0.1 nm tiap derajat *Celcius*, yang menyebabkan peningkatan performa 3 sampai 5 kali lebih baik daripada jika menggunakan laser dioda konvensional. Saat arus mengalir, elektron dari lapisan N diinjeksikan ke lapisan P. Pada bagian tengah lapisan P,

elektron dan *hole* berekombinasi dan kelebihan energinya dipancarkan sebagai cahaya yang dipantulkan kembali oleh tiap ujung daerah persambungan yang mempunyai indeks bias lebih kecil. Energi cahaya pantulan tersebut akan merangsang terjadinya rekombinasi pada tingkat energi yang lebih tinggi. Dengan demikian akan dihasilkan cahaya dengan intensitas dan koherensi yang tinggi.

Perkembangan LD saat ini dipusatkan untuk kemampuan telekomunikasi optik jarak jauh. Saat rapat arus dari daerah aktif dioda mencapai tingkat tertentu, perolehan (*gain*) optik melebihi rugi-rugi kanal dan emisi cahaya berubah dari spontan menjadi simultan (pemancaran sinar laser). Arus ambang pada laser semikonduktor heterostruktur ganda cukup rendah, dari 50 mA sampai 150 mA.

Jika dibandingkan dengan LED, LD mempunyai beberapa keuntungan yang penting, yaitu sebagai berikut :

- a). Daya keluaran yang tinggi,
- b). Efisiensi gandengan (*coupling*) yang tinggi,
- c). Lebar bidang (*bandwidth*) yang lebar, dan
- d). Spektrum yang sempit.

Tabel 2.2. Perbandingan Karakteristik LED dan LD

No	Karakteristik	LED	LD
1	Panjanggelombang(nm)	850,1300,1550	850,1300,1550
2	Waktu jangkit (ns)	2-10	0.3-1.0
3	Daya Keluaran (mW)	0.5-4.0	1.5-8.0
4	Lebar Spektrum (nm)	30-150	1-10
5	Rugi kopling	Lebih besar	Lebih kecil
6	Kepekaan suhu	Lebih tahan	Peka perubahan

(Sumber : Telkom Training Center)

2.5. DETEKTOR OPTIK

Detektor optik adalah alat yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik kembali. Detektor optik bekerja berdasar prinsip emisi fotolistrik yaitu terjadinya pembebasan elektron dari permukaan laser sebagai hasil penyerapan energi foton. Cahaya yang timbul pada akhir saluran serat optik harus dideteksi dan diubah menjadi pulsa-pulsa elektronik untuk pemrosesan lebih

lanjut sehingga informasi yang dikirim dapat diterima. Ada dua jenis detektor optik yang sering digunakan pada sistem transmisi serat optik, yaitu :

a). Fotodioda PIN (*Positive Intrinsic Negative*)

b). Fotodioda APD (*Avalanche Photodiode*)

Pada awalnya, silikon merupakan *fiber optic detector* yang paling lazim digunakan, namun silikon memiliki sensitivitas yang rendah pada 1.5micrometer band. *InGaAs diode* memiliki noise yang lebih besar daripada silikon, tetapi lebih responsif pada 1.5 micro-meter wavelength band. Parameter utama yang berkenaan dengan *receiver* adalah sensitivitas dan *dynamic range*. *Avalanche Photo Diode* (APD) memiliki linearitas yang sangat baik pada daya optik yang bernilai antara sekian nanowatt sampai beberapa microwatt. Jika daya yang tersedia pada *receiver* melebihi nilai tersebut, biasanya APD tidak digunakan. Pada tingkat daya ini, PIN *photodiode* dapat menyediakan responsivitas yang cukup dan SNR yang cukup besar. Pada APD, nilai *multiplicative gain* yang sangat besar disertai oleh variansi yang besar pula pada *photocurrent* yang dihasilkan, yang dapat memperburuk *noise performance* APD. Namun demikian, APD dapat dirancang sedemikian rupa untuk mencapai performa yang diinginkan. Dalam hal ini, konfigurasi yang terdiri dari EDFA (sebagai *optical preamplifier* pada ujung *receiver*) yang dipadukan dengan APD akan menghasilkan sensitivitas dan *noise suppression* yang lebih tinggi, dan *dynamic range* yang lebih luas. Nilai antara -20 dBm sampai -30 dBm merupakan nilai sensitivitas yang ideal untuk diterapkan pada *receiver*.

2.5.1. Fotodioda PIN (*Positive Intrinsik Photodiode*)

Fotodioda PIN merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam sistem komunikasi serat optik. Silikon dan germanium digunakan pada awal pemakaian fotodioda PIN dan kedudukannya digantikan oleh semikonduktor III-V. Perangkat tersebut secara dasar merupakan sambungan pn dengan daerah penggalang intrinsik yang disebut lapisan penipisan. Ketika cahaya dari serat optik timbul pada daerah p dioda yang mendapat bias balik, pasangan lubang elektron dibangkitkan pada daerah penipisan. Medan elektrik menyebabkan elektron dan lubang (*hole*) bergerak pada arah yang berlawanan dan menghasilkan arus yang kecil. Ukuran dan lapisan penipisan dapat dipilih sehingga perangkat

tersebut mempunyai sensitivitas yang tinggi dan waktu timbul yang pendek (pada frekuensi tinggi). Jika ketebalan lapisan penipisan bertambah, sensitivitas bertambah sehingga mempunyai kemampuan penyerapan foton yang lebih besar. Hal ini akan menyebabkan waktu angkut pembawa pengisian bertambah sehingga mengurangi frekuensi kerja.

2.5.2 *Avalanche Photo Diode (APD)*

Avalanche Photo Diode merupakan detektor sambungan semikonduktor yang memiliki perolehan dalam (*internal gain*). Dengan adanya perolehan dalam tersebut membuat *Avalanche Photo Diode* memiliki ketanggapan yang lebih baik dari fotodioda PIN. *Avalanche Photo Diode* merupakan struktur dioda semikonduktor yang mempunyai daerah terdada p+, diikuti daerah yang tidak terdada dan yang terakhir diikuti daerah yang terdada n+. Dioda dibias negatif dengan tegangan melebihi 100 V. Jika cahaya serat mengenai dioda, pasangan-pasangan elektron dibangkitkan. Jika medan listrik yang timbul terlalu kuat, elektron-elektron bebas membangkitkan pasangan-pasangan lubang elektron (*electron-hole*) yang baru, proses penggandaan berikutnya menimbulkan efek guguran (*avalanche*). Untuk setiap foton yang timbul, pasangan-pasangan lubang elektron dapat dibangkitkan. Jika faktor penggandaan dipilih agar tidak terlalu tinggi. Nilai standar operasi faktor penggandaan untuk daerah rendah adalah 10 sampai 20 (10 dB sampai 13 dB) menggunakan bias balik dengan tegangan antara 10 V sampai lebih dari 100 V.

2.6. **Rugi-rugi Serat Optik**

Rugi-rugi pada serat optik merupakan salah satu faktor utama dalam sebuah sistem komunikasi serat optik, sebab hal ini akan menentukan performansi suatu system yang dirancang. Rugi-rugi serat optik dikarenakan terjadinya pelemahan (*degradasi*) sinyal, sehingga akan menimbulkan penurunan daya keluaran pada penerima.

Dalam desain sistem komunikasi serat optik, redaman mempunyai peranan yang sangat penting. Redaman menentukan jarak transmisi maksimum antara *transmitter* dan *receiver*, juga akan menentukan banyaknya *repeater* dan margin daya yang dibutuhkan dalam sebuah *link*.

Redaman (α) sinyal atau rugi-rugi serat didefinisikan sebagai perbandingan daya output optik (P_{out}) terhadap daya input optik (P_{in}) sepanjang serat L. Redaman dalam serat optik untuk berbagai panjang gelombang tidak selalu sama karena redaman ini merupakan fungsi panjang gelombang (α db/km). Untuk redaman secara matematis bisa dirumuskan sebagai berikut (Sumber : *Optical Fibre Communications*, pdf).

$$\alpha = 10/L \log (P_{out}/P_{in}) \quad (2.13)$$

Dengan :

α = Redaman/attenuasi (db/Km)

L = Panjang Saluran (Km)

P_{in} = Daya Input (μ w)

P_{out} = Daya Output (μ w)

2.6.1. Faktor Dari Dalam Serat Optik

1. Rugi-rugi penyerapan

Rugi-rugi ini terjadi ketika cahaya yang merambat di dalam serat optik diserap oleh material serat optik. Secara umum penyerapan (*absorption*) disebabkan oleh kadar kemurnian bahan serat optik yang kurang, sehingga menyerap cahaya dan mengubahnya menjadi energi panas. Terdapat 3 jenis rugi-rugi penyerapan yaitu penyerapan infra merah yang dihasilkan karena energi foton cahaya diserap oleh atom molekul gelas dari inti serat optik, penyerapan resonansi ion yang disebabkan karena ion OH- pada serat optik, penyerapan ultraviolet yang disebabkan oleh elektron valensi pada bahan silikon yang timbul pada saat proses pembuatan.

2. Rugi- rugi Hamburan (*Scattering Rayleigh*)

Penyebaran ini terjadi akibat struktur gelas yang tidak teratur. Struktur ini mengakibatkan memantulkan, membiaskan dan menyebarkan (*scatter*) sebagian kecil cahaya yang melewati gelas tersebut.

2.6.2. Faktor Dari Luar Serat Optik

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi rugi-rugi pada serat optik yang disebabkan faktor dari luar, diantaranya adalah rugi-rugi hamburan karena bengkokan.

1. *Microbending*

Merupakan rugi-rugi hamburan yang disebabkan karena terjadi penyusutan termal bahan inti dan selubung yang tidak sama yang mengakibatkan lekukan kecil pada serat optik. Proses penggulangan kabel serat optik dalam gulungan dapat menyebabkan perubahan diameter inti.

2. *Macrobending*

Macrobending terjadi akibat kegiatan instalasi atau pemasangan serat optik yang dibengkokkan akan mengakibatkan perubahan arah pandu gelombang karena mode-mode serat optik hanya akan terpandu sebagian atau tidak terpandu sama sekali jika sudut masuk lebih kecil dari sudut kritis.

3. Rugi-rugi pengkoplingan dan penyambungan

Rugi-rugi pengkoplingan terjadi antara sumber optik dengan serat optik dan antara serat optik dengan detektor optik. Hal ini disebabkan karena tidak seluruh energi yang dipancarkan oleh sumber cahaya bisa dimasukkan ke dalam serat optik.

2.7. Jaringan Lokal Akses Fiber (JARLOKAF)

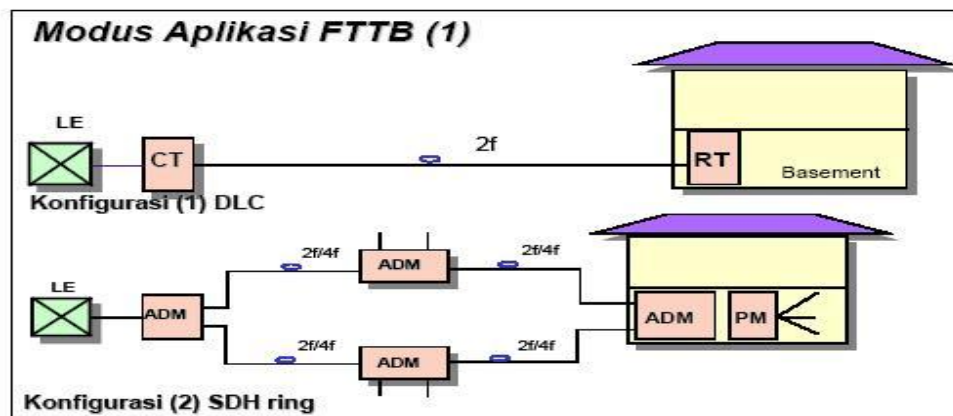
2.7.1. Arsitektur Jaringan Fiber Optik Secara Umum

Sistem JARLOKAF setidaknya memiliki 2 buah perangkat opto elektronik, yaitu satu perangkat opto elektronik di sisi sentral dan satu perangkat opto elektronik di sisi pelanggan. Lokasi perangkat opto elektronik di sisi pelanggan selanjutnya disebut Titik Konversi Optik (TKO). Secara praktis TKO berarti batas terakhir kabel optik ke arah pelanggan yang berfungsi sebagai lokasi konversi sinyal optik ke sinyal elektronik.

1. *Fiber To The Building (FTTB)*

TKO terletak di dalam gedung dan biasanya terletak pada ruang telekomunikasi *basement*. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO

melalui kabel tembaga *indoor*. FTTB dapat dianalogikan dengan Daerah Catu Langsung (DCL) pada jaringan akses tembaga.

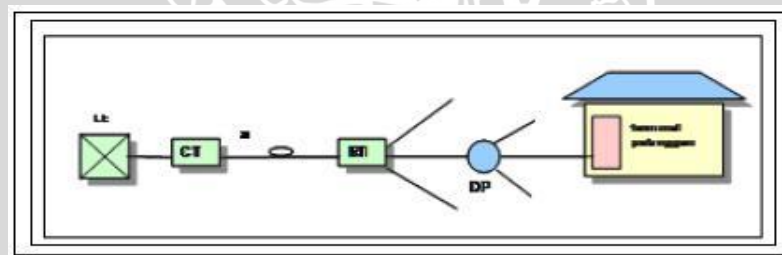


Gambar 2.11. Konfigurasi Jaringan FTTB.

(Sumber :*Optical Fiber Communications*, 2nd Edition, Keiser Gerd)

2. Fiber To The Zone (FTTZ)

TKO terletak di suatu tempat di luar bangunan, baik di dalam kabinet maupun *manhole*. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga hingga beberapa kilometer. FTTZ dapat dianalogikan sebagai pengganti RK.

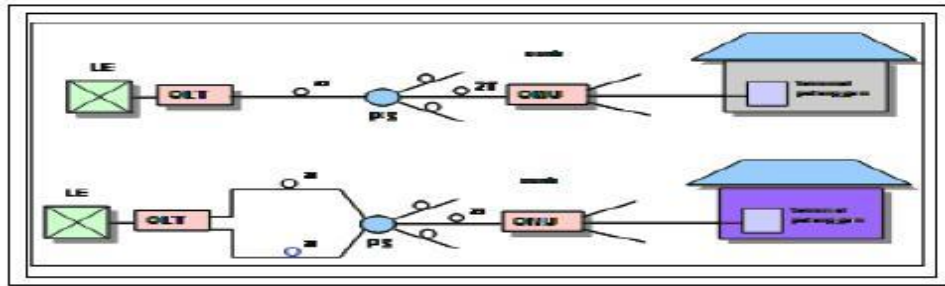


Gambar 2.12. Konfigurasi Jaringan FTTZ

(Sumber :*Optical Fiber Communications*, 2nd Edition, Keiser Gerd)

3. Fiber To The Curb (FTTC)

TKO terletak di suatu tempat di luar bangunan, baik di dalam kabinet, di atas tiang maupun *manhole*. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga hingga beberapa ratus meter. FTTC dapat dianalogikan sebagai pengganti KP.

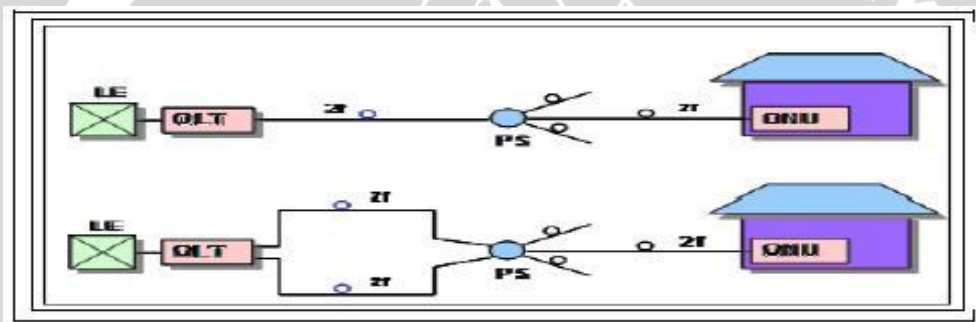


Gambar 2.13. Konfigurasi Jaringan FTTC

(Sumber : *Optical Fiber Communications*, 2nd Edition, Keiser Gerd)

4. Fiber To The Home (FTTH)

TKO terletak di rumah pelanggan. Pada gambar 2.18 di bawah ini keberadaan kabel tembaga dapat dihilangkan sama sekali, sehingga keterbatasan kemampuan dalam menyediakan *bandwidth* yang lebar dan interferensi tidak akan terjadi.



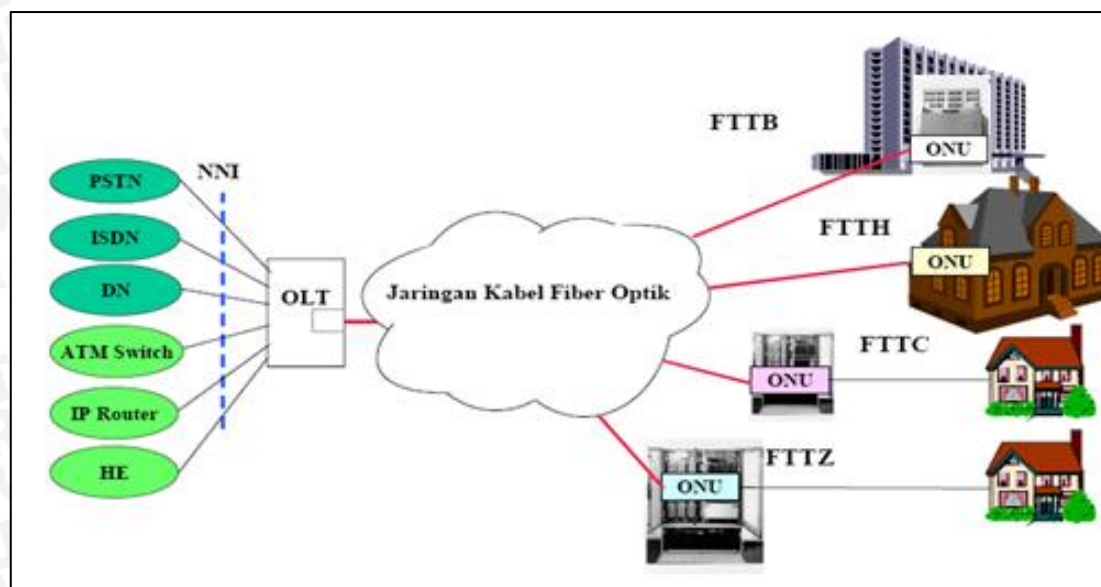
Gambar 2.14. Konfigurasi Jaringan FTTH

(Sumber : *Optical Fiber Communications*, 2nd Edition, Keiser Gerd)

2.8. Sistem Fiber To The Zone (FTTZ)

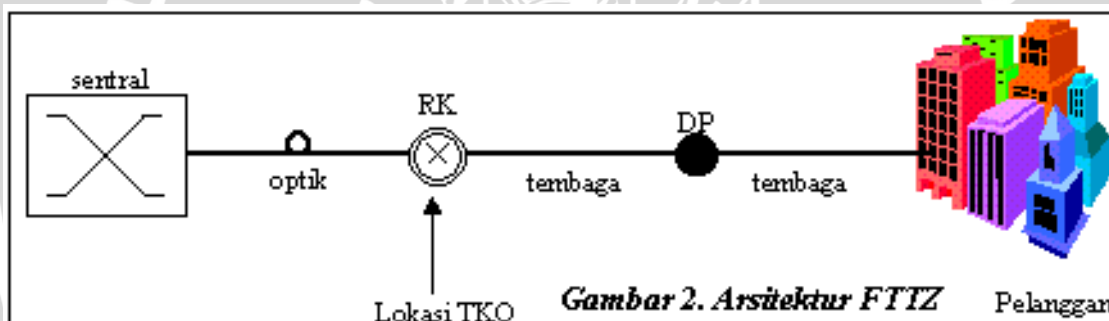
Fiber To The Zone (FTTZ) merupakan suatu format penghantaran isyarat optik dari pusat penyedia layanan (*provider*) ke wilayah (zona) pengguna dengan menggunakan serat optik sebagai media penghantaran. Perkembangan teknologi ini tidak terlepas dari kemajuan perkembangan teknologi serat optik yang dapat menggantikan penggunaan kabel konvensional. Sistem komunikasi serat optik ini akan mampu mendukung permintaan masyarakat akan layanan akses internet yang cepat, suara, dan video dalam satu infrastruktur pada unit pelanggan.

Penghantaran dengan menggunakan teknologi FTTZ ini dapat menghemat biaya dan mampu mengurangi biaya operasi dan memberikan pelayanan yang lebih baik kepada pelanggan.



Gambar 2.15. Perbedaan Jaringan FTTB, FTTH, FTTC dan FTTZ

(Sumber : *Optical Fiber Communication*, 3rd ed, Keiser Gerd)



Gambar 2. Arsitektur FTTZ

Gambar 2.16. Konfigurasi Jaringan Fiber to The Zone (FTTZ)

(Sumber : *Optical Fiber Communication*, 3rd edition, Keiser Gerd)

Istilah FTTZ digunakan bila perangkat opto elektronik di sisi pelanggan diletakkan di suatu tempat (umumnya di dalam kabinet) di luar gedung/bangunan. Jadi serat optik digelar mulai dari *central office* (CO) dan berakhir di kabinet RT atau ONU yang memiliki daerah cakupan layanan tertentu (*zone*). Terminal pelanggan dihubungkan ke perangkat RT atau ONU (*Optical Network Unit*) dengan menggunakan kabel tembaga hingga jarak beberapa kilometer (maksimum 3 kilometer). Bila dianalogikan dengan jaringan kabel tembaga, maka letak kabinet pada modus aplikasi FTTZ adalah kira-kira sama dengan lokasi rumah kabel (RK). Dimana pusat penyedia layanan (*service provider*) yang berada di kantor utama disebut juga dengan *central office* (CO), disini terdapat peralatan

yang disebut dengan OLT (*Optical Line Terminal*). Kemudian dari OLT ini dihubungkan kepada ONU (*Optical Network Unit*) yang ditempatkan di sebuah kabinet yang berjarak maksimum 3km melalui jaringan distribusi serat optik (*Optical Distribution Network*, ODN). 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.

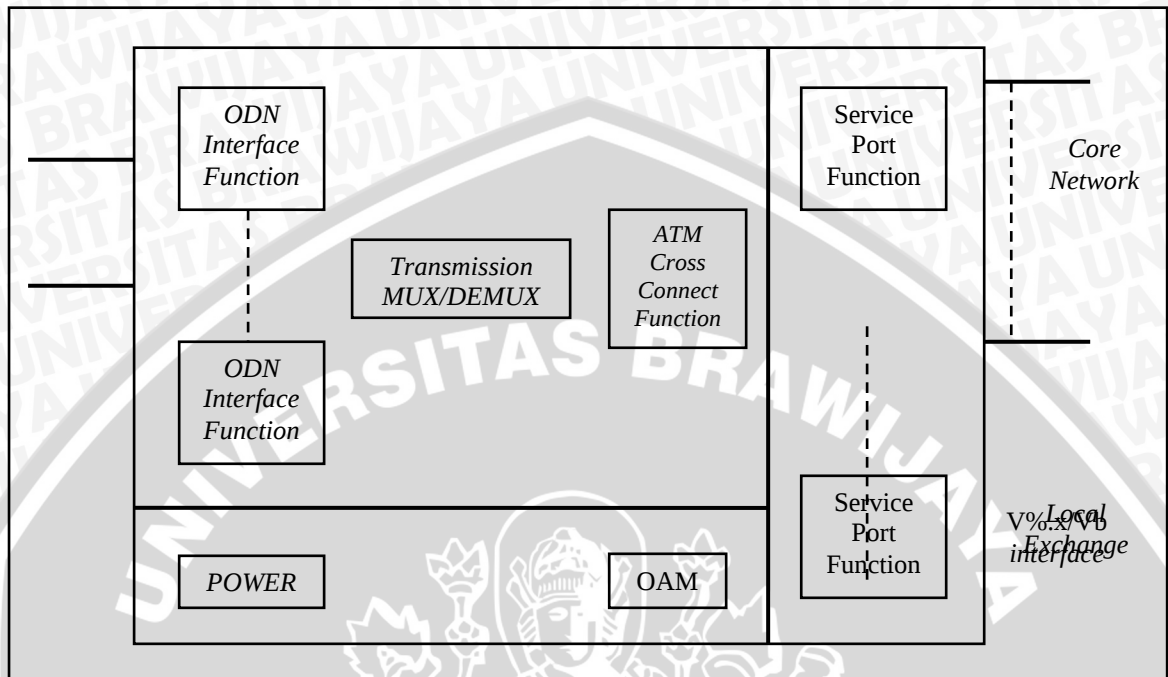
Sedangkan layanan video dikonversi dahulu ke format optik dengan panjang gelombang 1550 nm oleh optik pemancar video (*optical video transmitter*). Isyarat optik 1550 nm dan 1490 nm ini digabungkan oleh penggabung (*coupler*) dan ditransmisikan ke pelanggan secara bersama. Singkatnya, tiga panjang gelombang ini membawa informasi yang berbeda secara simultan dan dalam berbagai arah pada satu kabel serat optik yang sama.

2.9. Konfigurasi Jaringan *Fiber To The Zone* (FTTZ)

Berikut adalah komponen- komponen utama yang menyusun jaringan serat optic dengan konfigurasi *Fiber To The Zone*. Dalam sistem jaringan *Fiber To The Zone* (FTTZ) terdapat 3 komponen utama yaitu *Optical Line Terminal* (OLT), *Optical Distribution Network* (ODN) dan *Optical Network Unit* (ONU).

1. Terminal Saluran Serat Optik (*Optical Line Terminal*, **OLT**) biasa ditempatkan pada pusat penyedia layanan provider (CO) untuk menghantarkan isyarat layanan kepada setiap pengguna dalam jaringan rangkaian sistem. OLT merupakan salah satu komponen utama yang digunakan dalam jaringan serat optik, *optical line terminal* biasanya diletakkan di ruang kontrol pusat. Dalam satu OLT dapat menangani hingga 64 ONU. Berikut adalah fungsi dari OLT :

- Melakukan konversi dari sinyal elektrik menjadi optik.
- Merupakan *interface* antara sentral lokal dengan *Optical Distribution Network* (ODN)



Gambar 2.17. Blok Fungsional OLT (Optical Line Terminal)

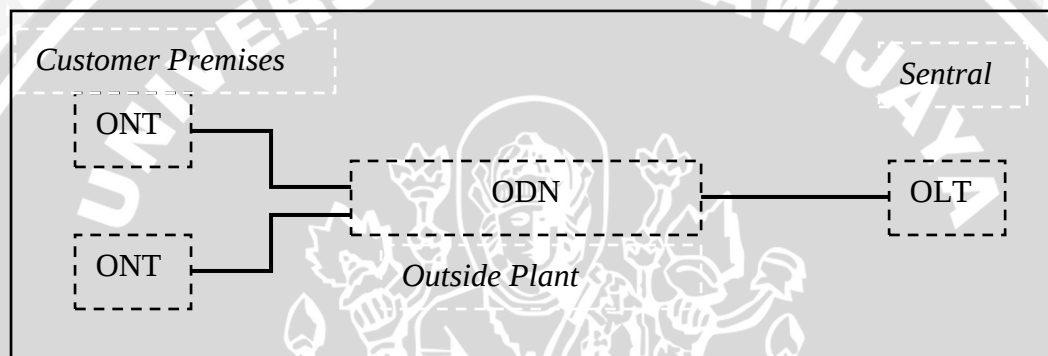
(Sumber : ITU-T G.983, 2001)

Optical Line Terminal terdiri dari empat (4) bagian, antara lain :

- *Service port function* merupakan antarmuka ke titik pelayanan yang berfungsi menangani proses masuknya sel-sel ATM ke dalam *upstream SDH payload* dan mengekstrak sel-sel ATM dari *downstream SDH payload*
- *ODN interface function* berfungsi menangani proses konversi menangani proses konversi optoelektronik, serta menangani proses masuknya sel-sel ATM ke dalam *downstream PON payload*, dan menangani proses pengestrakan sel-sel ATM dari *upstream PON payload*.
- *Transmission MUX/DEMUX* berfungsi untuk menyediakan hubungan antara *service port function* dan *ODN interface function*.
- *ATM cross connect function* berfungsi untuk memisahkan sinyal dan selanjutnya meneruskan sinyal ke *service port function* sesuai dengan jenis layanannya.

- Unit Jaringan Distribusi Serat Optik (*Optical Distribution Network*, ODN) menyediakan peralatan transmisi optik antara OLT pada sisi sentral dengan ONT pada sisi pelanggan, komponen yang membentuk sebuah jaringan *point to multipoint* adalah serat optik dan *coupler* optik yang berfungsi untuk menggabungkan atau membagi aliran sinyal optik antara OLT dan ONT.

ODN adalah jalur fisik untuk transmisi optik antara OLT dan ONT. Jangkauannya adalah 20 km atau lebih jauh. Dalam ODN tersebut, kabel optik / serat, konektor, *splitters*, dan komponen tambahan berkolaborasi dengan satu sama lain.



Gambar 2.18. *Optical Distribution Network*
Sumber : ITU-T G.983, 2001

ODN secara khusus memiliki lima segmen yaitu kabel pengumpan optik, titik distribusi, distribusi kabel optik, titik akses dan kabel drop. Kabel *feeder* optik berawal dari frame distribusi optik (ODF) di *central office* (CO) dan berakhir di titik distribusi optik untuk jangkauan jarak jauh. Kabel distribusi optik dari titik distribusi optik untuk jalur akses optik mendistribusikan serat optik untuk daerah yang dituju. Kabel drop menghubungkan titik akses optik dan *optical network terminal* (ONT) hingga data dapat ditransmisikan sampai di pelanggan akhir (*end user*).

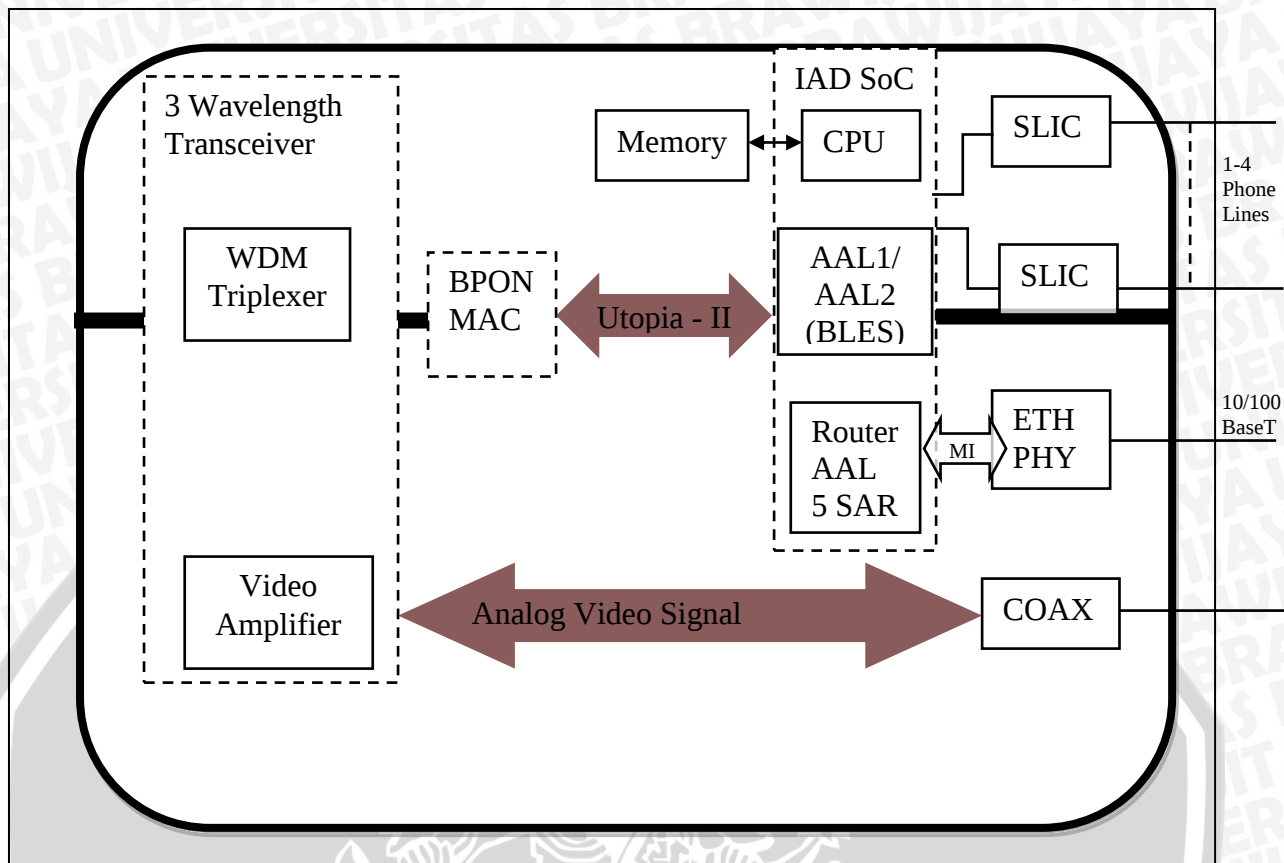
Statistik menunjukkan bahwa pengeluaran dari untuk ODN mencapai 50% sampai 70% dari investasi FTTx total, hal ini sangat mempengaruhi biaya FTTx secara keseluruhan. Sementara itu, ODN adalah jalur distribusi yang sangat penting untuk transmisi data FTTx dan

kualitas dari ODN secara langsung mempengaruhi kinerja, kehandalan, dan skalabilitas dari sistem FTTx.

3. Unit Jaringan Serat Optik (*Optical Network Unit*, ONU) atau *Optical Network Terminal* (ONT) Sebuah *Optical Network Terminal* (ONU) adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah sinyal masukan optik menjadi sinyal keluaran elektronik untuk pengguna (*end user*) yang digunakan diakhir jaringan untuk memberikan layanan-layanan yang disediakan kepada pelanggan. Layanan data (internet), suara (telepon) dan video (TV Kabel) diberikan dari ONU kepada pelanggan pengguna melalui penghantaran media yang sesuai.

Optical Network Unit (ONU) yang digunakan pada jaringan FTTZ berdasarkan standar ITU-T G.983 dapat mendukung layanan multimedia (suara,data,dan video). ONT tersebut dapat digunakan untuk pelanggan perumahan dan perkantoran. Jika ONT digunakan untuk pelanggan perumahan disebut H-ONT, dan untuk pelanggan perkantoran disebut B-ONT.

Pada ONT ini menggunakan tiga (3) panjang gelombang, dua panjang gelombang *downstream* 1490 nm, 1550 nm dan satu panjang gelombang *upstream* 1310 nm. Sesuai dengan kegunaannya maka ONT ini mendukung 1-4 POTS port, 1 port 10/100BaseT *Ethernet* dan *single F connector*. Blok diagram ONT dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.19. Struktur Optical Network Unit (ONU).
(Sumber : Fiber Connect, Pdf. 2004)

- **3 wavelength transceiver**
Berfungsi sebagai koneksi antara terminal pada pelanggan dengan *Central Office (CO)*. 3 wavelength transceiver menerima informasi data dan suara pada panjang gelombang 1490 nm dan mengirimnya pada panjang gelombang 1310 nm, dan menerima informasi berupa *video broadcast* pada panjang gelombang 1550 nm.
- **BPON Media Access Control**
BPON MAC berfungsi sebagai kontrol protokol transmisi dari sistem atau dapat dikatakan mengontrol *transfer burst data*. *Burst data* ditransmisikan dari sisi pelanggan yang memiliki jarak yang berbeda dari *Central Office (CO)*. BPON MAC memastikan bahwa data yang dikirimkan dari pelanggan (*upstream*) tidak bertabrakan dengan data dari pelanggan lainnya. Data yang dikirimkan dari CO ke pelanggan akan di saring terlebih dulu oleh BPON-MAC sesuai dengan data yang dibutuhkan pada setiap pelanggan. Sehingga

dapat disimpulkan bahwa komunikasi antara pelanggan (CPE) dengan CO membutuhkan CPE-MAC pada setiap pelanggan dan satu (1) CO MAC di sisi *Central Office*.

- IAD SOC (*Integrated Access Device System on Chip*)

IAD SOC merupakan satu kesatuan atau unit yang mengontrol CPE. Didalam unit ini termasuk *control prosessor, interrupt controller, timers, memory controller* dengan *manipulation logic*.

- SLIC

Merupakan *interface* ke POTS (*Plaid Old Telephony System*) melalui jack – RJ 11. Beberapa unit ini terdapat DSP yang berfungsi sebagai *voice compression* dan *echo concellations*.

2.10. Komponen Jaringan Serat Optik

2.10.1. Konektor Optik

Konektor optik adalah alat yang berfungsi sebagai penyambung antara kabel *fiber* optik dengan perangkat *transmitter* dan *receiver*. Pemasangan konektor pada jaringan FTTB akan mempengaruhi besarnya *loss budget link* pada suatu jaringan tersebut. Besarnya rugi-rugi konektor tidak lebih dari 1 dB. Konektor optik juga berfungsi sebagai penyambung antara kabel serat optik yang sifatnya tidak permanen. Syarat- syarat konektor yang baik adalah (PT.TELKOM, 2004) :

- a) Konektor yang digunakan harus menjamin dari kesalahan penyambungan.
- b) Konektor dapat digunakan kembali tanpa mengurangi kualitas dari konektor tersebut
- c) Konektor memiliki kualitas yang sama jika beberapa konektor sejenis dikombinasikan
- d) Tidak ada penurunan kualitas dalam waktu yang lama
- e) Bahan konektor kuat terhadap tekanan
- f) Konektor tahan uji terhadap beberapa kondisi lingkungan, penyambungan dapat dilakukan pada variasi temperature, tekanan tinggi, getaran, kelembaban, dan kotoran.
- g) Mudah mendapatkannya dan umum digunakan.

h) Pemasangan dan penyesuaiannya mudah.

Beberapa tipe konektor dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

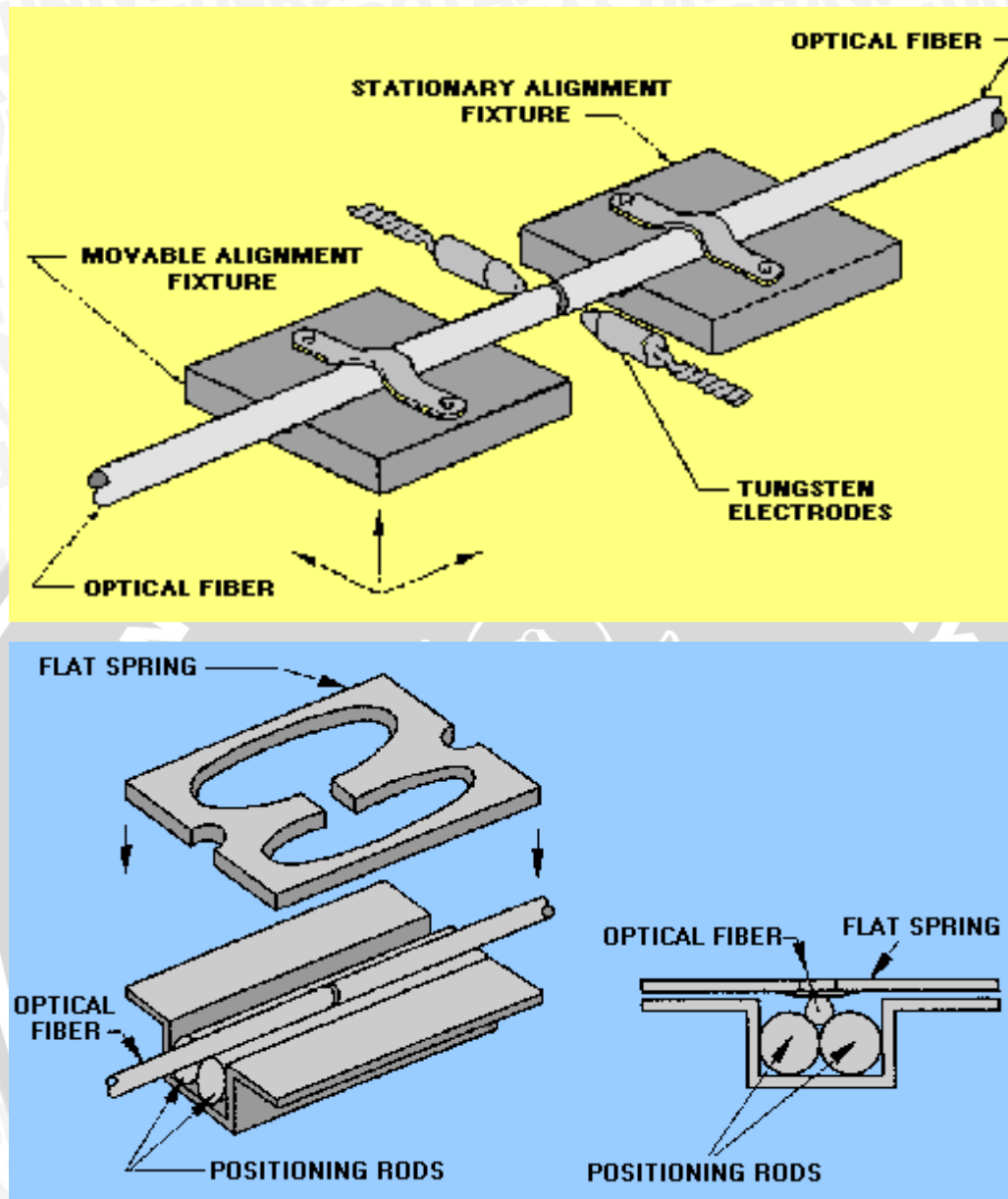


Gambar 2.20. Beberapa tipe konektor

(Sumber : PT. TELKOM, 2004)

2.10.2. Splicer Serat Optik

Splicer adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk menyambung serat optik. Teknik penyambungan serat optik ada dua (2) macam yaitu *fusion splice* dan *mechanical splice*. Penyambungan secara *fusion* bersifat permanen atau tidak dapat dibongkar pasang, dan menghasilkan redaman paling kecil dibandingkan dengan penyambungan secara mekanik. Perbedaannya penyambungan ini dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.21. (a) *Fusion Splice* (b) *Mechanical Splice*

(Sumber : PT. TELKOM, 2004)

2.10.3. Penceraai Optik Pasif (*Splitter*)

Penceraai optik pasif atau juga disebut dengan *splitter* yang digunakan dalam sistem jaringan FTTZ memiliki satu masukan dan banyak (*multiple*) keluaran dan bersifat pasif karena tidak memerlukan sumber energi eksternal. Rugi-rugi atau kehilangan daya optik pada penceraai serat optik pasif ini disebut juga *splitter rasio*, biasanya dinyatakan dalam *decibel* (dB) dan terutama bergantung kepada jumlah keluaran dari *splitter* tersebut, sebagai contoh, masukan sinyal optik dibagi rata di kaskade atau cabang-cabang; misalnya sebuah

splitter 1x2 hanya memiliki dua cabang maka kemungkinan kehilangan sisipan (*insertion loss*) adalah 3 dB (50% pada setiap keluaran); jika pada *splitter* 1x4, maka akan ada dua cabang ditambahkan ke masing-masing kaki 1x2, rugi-rugi akan bertambah lagi 3 dB sehingga mencapai 6 dB; jika dalam *splitter* 1x8 dua cabang atau 1x2 *split* akan ditambahkan ke masing-masing kaki 1x4, sehingga kembali ditambahkan 3 dB sehingga *total loss* menjadi 9 dB, dan begitu seterusnya.

Tabel 2.3. Rugi- Rugi *Splitter*

Jumlah cabang keluaran	Kehilangan sisipan (dB)
2	3.010
4	6.020
8	9.030
16	12.041
32	15.051
64	18.061

(Sumber : ITU-T G.983, 2001)

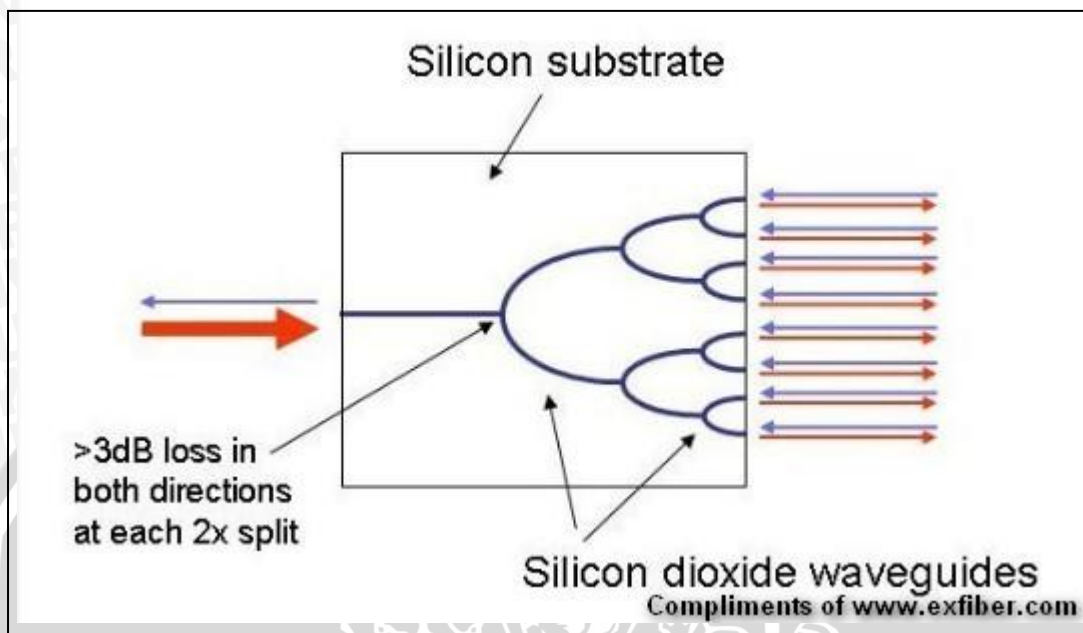
Untuk mengetahui besarnya rugi-rugi *splitter* berdasarkan *splitting ratio*, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut : (Cedric F Lam, 2007)

$$1 : N = 10 \log (N) \text{ dB} \quad (2.7)$$

Splitter optik dapat dikemas dalam berbagai bentuk dan ukuran serta bergantung kepada teknologi yang digunakan, paling umum dibuat dengan menggunakan kaidah gelombang pandu planar, namun ada juga dengan menggunakan teknologi *fused-biconic taper* (FBT).

Pada jaringan FTTZ, *splitter* merupakan komponen yang sangat penting dalam *power splitting*, dimana memiliki fungsi untuk proses *split optical power*. *Splitter* merupakan salah satu perangkat pasif, dikarenakan *splitter* tidak membutuhkan sumber listrik. Teknologi *splitter* yang banyak digunakan dalam jaringan adalah PLC (*Planar Lightwave Circuit*) karena memiliki kelebihan diantaranya adalah lebih tahan uji, memiliki nilai *insertion loss* yang rendah, dan juga dapat menangani *high split ratio* secara seragam. Pada PLC menggunakan *chip* yang berisi panjang gelombang optik yang dibuat planar substrat dengan bahan *silicon* atau kuarsa dalam bentuk bercabang Y (*cascade*). Untuk *splitter*

dengan perbandingan 1:N, satu sisi dari PLC *chip* diluruskan dengan *fiber optic* dan pada sisi sebaliknya diluruskan sesuai susunan N *fiber optic*, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.22. Planar Lightwave Circuit (PLC) Splitter

(Sumber: www.exfiber.com, 2007)

2.11. Lokasi Penempatan Perangkat Jaringan FTTZ

- Penempatan *Optical Line Terminal* (OLT)

Lokasi penempatan OLT harus berada di tengah-tengah daerah yang mempunyai kepadatan *demand* yang tinggi dan merata pada suatu daerah pelayanan. Biasanya penempatannya berada di *central office* (CO), agar memudahkan *troubleshooting* dan pemeliharaan peralatannya.

- Peletakan *Optical Network Terminal* (ONT)

Peletakan ONT berada di sisi pelanggan sebagai *interface* antara pelanggan dengan jaringan. Pada perencanaan ini ONT diletakkan di dalam suatu gedung/kantor.

- Peletakan komponen lainnya (*Splitter*)

Peletakan komponen ini ditentukan oleh posisi pengelompokan pelanggan, jarak kelompok pelanggan, ketersediaan *fiber*, kemudahan pengkabelan, operasi dan pemeliharaan.

2.12. Penurunan Level Sinyal

Pada sistem jaringan serat optik penurunan level sinyal disebabkan oleh beberapa hal di bawah ini :

a. *Loss Kabel*

Terjadinya penurunan daya sinyal pada kabel. Penyebab dari *loss* ini bermacam-macam dan perlu diantisipasi agar sinyal yang ditransmisikan dapat diterima dengan baik.

b. *Insertion loss* perangkat pasif

Penurunan level sinyal yang disebabkan oleh penambahan suatu perangkat pasif, seperti *WDM coupler* ke dalam suatu sistem. *Loss* ini sama dengan perbedaan level sinyal antara input dan output dari perangkat tersebut.

c. *Return loss* dan perangkat aktif

Return loss dari kabel adalah perbedaan (dalam dB) antara sinyal yang diberikan pada kabel (yang mempunyai terminal ujung) dan sinyal yang dipantulkan kembali dari terminal tersebut. Hal yang sama juga terjadi pada perangkat-perangkat aktif yaitu pemantulan kembali sebagian sinyal yang masuk dan merupakan *return loss* pada alat tersebut.

2.13. Topologi Jaringan *Fiber To The Zone*

2.13.1. Jaringan Serat Optik Pasif (*Passive Optical Network, PON*)

Jaringan serat optik pasif juga merupakan jaringan (*point to multipoint*) hampir sama dengan AON (*active optical network*). Perbedaannya dimana pada titik komponen aktif digantikan oleh penceraai optik pasif (*passive optical splitter*). Jika dibandingkan dengan jaringan jenis AON, pemasangan jaringan jenis PON adalah lebih mudah dan murah serta tidak menggunakan komponen elektronik aktif sehingga mengurangi biaya pemeliharaan peralatan.

▪ **Teknologi Akses PON**

Dalam pembangunan jaringan dengan teknologi PON, dimana sinyal masukan dari OLT dikirim ke *splitter* serat optik untuk digunakan bersama oleh setiap ONU. Semakin panjang jarak *feeder* serat optik maka pelemahan optik akan semakin tinggi, namun *split ratio* maksimum berkurang. Sedangkan untuk sinyal keluaran dihantar dari ONU ke OLT. Terdapat 4 jenis teknologi berbagai akses

penghantaran isyarat untuk digunakan secara bersama pada suatu teknologi jaringan PON tunggal diantaranya seperti:

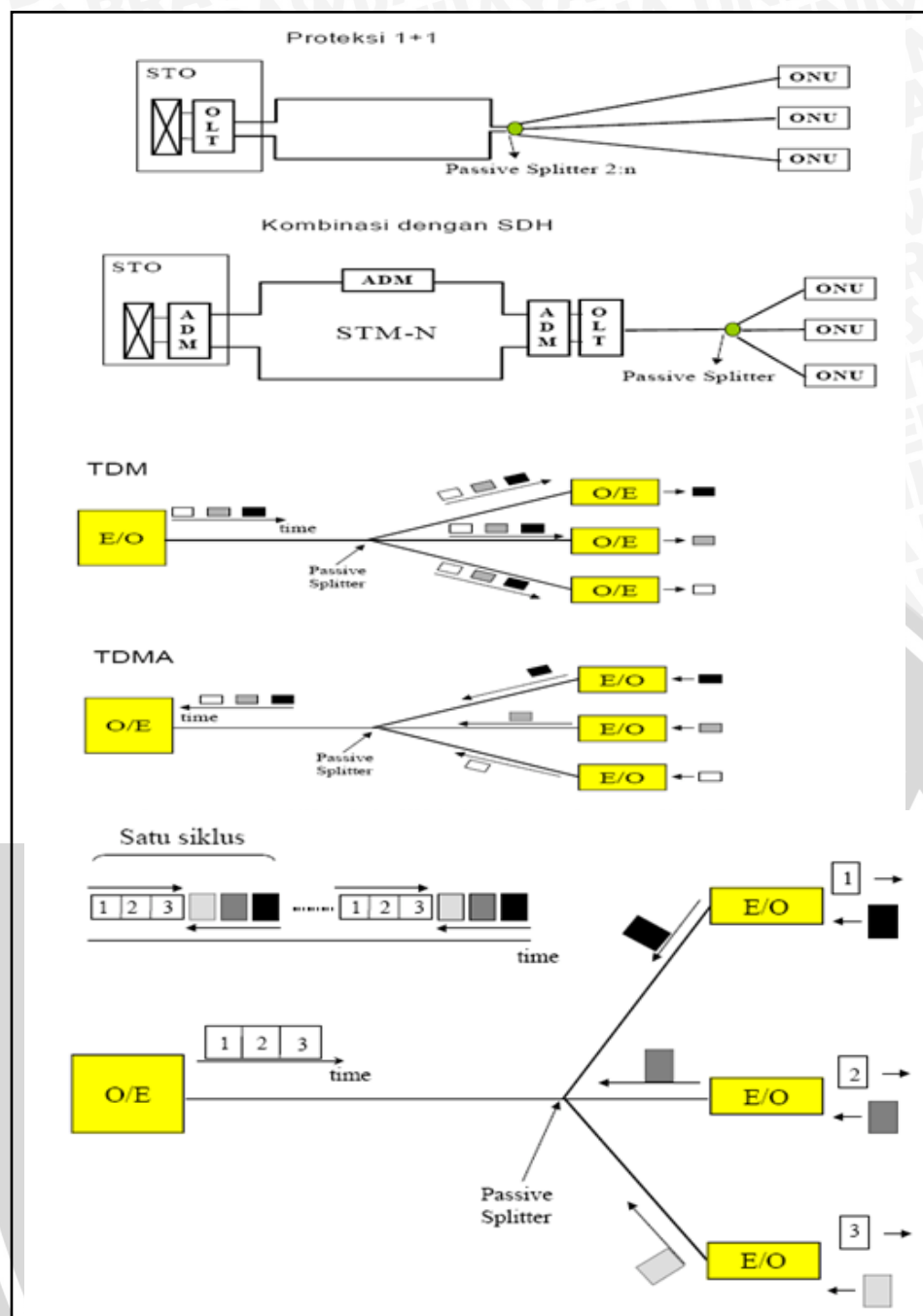
1. Akses Berbagai Pembagian Waktu (*Time Division Multiple Access*, TDMA)
2. Akses Berbagai Pembagian Pembawa Sub (*Subcarrier Division Multiple Access*, SCMA)
3. Akses Berbagai Pembagian Panjang Gelombang (*Wavelength Division Multiple Access*, WDMA) dan
4. Akses Berbagai Pembagian Kode Optik (*Optical Code Division Multiple Access*, OCDMA)

Teknologi ini dikembangkan atas dasar penggunaan bersama satu perangkat opto-elektronik oleh beberapa pelanggan sehingga harganya dapat ditanggung bersama dan secara topologi menjadi lebih sederhana. Upaya pengefektifan jaringan ini dicapai dengan cara menggunakan teknik transmisi tertentu (salah satunya TDM/TDMA) dan memanfaatkan pembagi sinyal optik pasif (*passive splitter/PS*) untuk memperoleh jumlah pencabangan yang diinginkan. Sistem PON terdiri dari perangkat *Optical Line Termination* (OLT) yang biasanya terletak disisi sentral dan beberapa perangkat *Optical Network Unit* (ONU) yang tersebar di dekat lokasi pelanggan. Hubungan kabel serat optik pada PON adalah titik ke banyak titik (*point to multipoint*). Hal ini berarti satu perangkat OLT melayani beberapa pelanggan pada lokasi yang berbeda yang dihubungkan melalui beberapa perangkat ONU. Umumnya, PON tidak memiliki sistem proteksi namun apabila dibutuhkan sistem proteksi 1+1 dapat diterapkan pada segmen OLT-PS dengan mempergunakan komponen *passive splitter* 2:n. Perangkat OLT berfungsi sebagai antarmuka ke sisi sentral, *Optical Distribution Network* (ODN) merupakan jaringan transmisi *fiber* optik yang menghubungkan OLT ke ONU dan sebaliknya, sedangkan ONU merupakan perangkat antarmuka ke sisi pelanggan. ODN dapat dikonfigurasi menjadi beberapa macam topologi yaitu *single star*, *double star*, atau *multiple star* tergantung pada posisi peletakan komponen *passive splitter* di jaringan optiknya.

- **Metoda Akses Pada *Passive Optical Network***

Sistem PON memiliki metoda transmisi yang khusus dikarenakan *sharing*

jaringan *fiber* optik yang terjadi dengan digunakannya komponen *passive splitter* pada jaringan. Sistem transmisi yang umumnya paling banyak dipakai pada sistem berbasis PON adalah *Time Division Multiplexing* (TDM) untuk arah *downstream* dan *Time Division Multiple Access* (TDMA) untuk arah *upstream* (dengan menggunakan *fiber* yang berbeda untuk masing-masing arah). Ide yang digunakan adalah dengan membagi sinyal-sinyal informasi berdasarkan waktu (*time slot*), mengirimkan sebagian *time slot* dari sinyal pertama yang diikuti dengan *time slot* dari sinyal kedua, dan seterusnya secara berulang hingga keseluruhan *time slot* selesai dikirimkan. Siklus tersebut terus menerus berulang dan berlaku baik untuk arah *downstream* maupun arah *upstream*. Perbedaan istilah TDM dan TDMA dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada arah *downstream* (TDM) hanya terdapat satu *transmitter* yang senantiasa aktif dan mengirimkan sinyal-sinyal ke beberapa *receiver*, dimana masing-masing *receiver* akan mengambil informasi/*time slot* yang diperuntukkan baginya serta mengabaikan informasi yang lainnya. Sebaliknya untuk arah *upstream* sinyal-sinyal diterima dari beberapa *transmitter* individual, yang masing-masing hanya akan aktif pada saat yang bersangkutan mengirimkan informasi, kemudian non aktif untuk memberi kesempatan pada *transmitter* yang lainnya untuk mengirimkan informasi (TDMA).



Gambar 2.23. (a) Konfigurasi Ring pada PON (b) TCM/TDMA pada sistem PON
(Sumber: Pengantar Analisis Teknologi Access Fiber Optic untuk Media Telekomunikasi, htm. 2007)

Selain TDM/TDMA sistem transmisi lain yang dapat dipergunakan adalah TCM/TDMA dengan menggunakan hanya satu *fiber* untuk arah *downstream* maupun *upstream*. Sistem ini dikenal dengan istilah *ping-pong transmission*, dimana pengiriman/penerimaan sinyal informasi dilakukan secara bergantian antara perangkat-perangkat yang ada disisi sentral dan di sisi pelanggan (masing-masing mengambil setengah dari satu siklus TCM). Salah satu metoda PON yang akan digunakan dalam perancangan ini adalah GPON.

2.13.2. Gigabit Passive Optical Network (GPON)

GPON adalah suatu teknologi akses yang dikategorikan sebagai *Broadband Access* berbasis kabel serat optik. GPON merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T via G.984 dan hingga kini bersaing dengan GE-PON, yaitu PON versi IEEE. Baik GPON ataupun GEPON, menggunakan serat optik sebagai medium transmisi. Satu perangkat akan diletakkan pada sentral, kemudian akan mendistribusikan *traffic Triple Play* ke arah *subscriber*. Yang menjadi ciri khas dari teknologi ini dibanding teknologi optik lainnya semacam SDH adalah teknik *distribusi traffic* nya dilakukan secara pasif. Dari sentral hingga ke arah *subscriber* akan didistribusikan menggunakan *pasif splitter* (1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64). Dengan metoda ini, baik CAPEX maupun OPEX akan dapat ditekan drastis. GPON menggunakan TDMA sebagai teknik *multiple access upstream* dan menggunakan *broadcast* ke arah *downstream*. Tiap pelanggan akan mempunyai identitas berupa T-CONT yang merupakan *container* komunikasi antara OLT (Sentral) dengan ONT.

Kelebihan GPON:

1. Kapasitas lebih besar dari BPON.
2. Transmisi yang lebih efisien dari IP/Ethernet cell
3. Hemat dalam pemakaian serat optik
4. *Coverage* daerah layanan yang lebih luas daripada sistem kabel tembaga
5. Memiliki fleksibilitas yang tinggi
6. *Maintenance* yang lebih mudah karena penggunaan perangkat pasif
7. Menawarkan *data rate* yang tinggi hingga 2,488 Gbps dan 1,244 Gbps *upstream*
8. Dapat mencakup hingga 128 pelanggan per antarmuka GPON
9. Mendukung format yang lebih variatif yaitu TD (*Time Division Multiplexing*), ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) dan Ethernet.

Tabel 2.4. Spesifikasi layanan GPON

No	Items	Deskripsi
1	Servis dan Performa QoS	10/100Base-T, Suara, <i>Leased Lines</i>
2	<i>Bit Rates</i>	1,25 Gbps simetris dan lebih tinggi Asimetris dengan 155 Mbps dan 622 Mbps

		<i>upstream</i>
3	<i>Physical reach</i>	Maks. 20km dan max 10 km
4	<i>Logical Reach</i>	Maks. 60 km (<i>for ranging protocol</i>)
4	<i>Branches</i>	Maks. 64 in <i>physical layer</i> , Maks. 128 in TC layer
5	Alokasi panjang gelombang	<i>Downstream</i> : 1480 – 1500 nm <i>Upstream</i> : 1260 – 1360 (<i>video overlay considered</i>)
6	Kelas ODN	Kelas A,B,dan C sama degan persyaratan B-PON

(Sumber: ITU-T presentation)

Tabel 2.5. Spesifikasi *Physical Layer*

No	Items	Spesifikasi
1.	<i>Bit Rates</i>	1,244Gbps dan 2,488 Gbps simetris 155,52 Mbps dan 622,04 Mbps hanya untuk upstream $BER > 10^{-10}$
2	Dispersi dan Koreksi Error	Up to 10 km : FP-LD tanpa FEC Up to 10 km : DFB-LD atau FP-LD dengan FEC
3	<i>Optical Device</i>	LD + PIN (<i>APD is available</i>)
4	<i>Upstream Overhead</i>	12 bytes (1,244 Gbps) , 24 bytes (2,488 Gbps)

(Sumber: ITU-T presentation)

Tabel 2.6. Beda GPON dengan GEPON

No	Item		FSAN/ITU-T G-PON	IEEE GE-PON
1	<i>MAC Layer</i>	Servis	<i>Full services</i> (<i>Ethernet,TDM,POTS</i>)	<i>Ethernet Data</i>
		Frame	GEM Frame	<i>Ethernet Frame</i>
2	<i>PHYSICAL Layer</i>	Jarak	10/20 Km (logical 60 Km)	10/20 Km
		Cabang	64 (Logical 128)	16 atau lebih
		<i>Bit Rate</i>	<i>Up</i> : 155M,622M,1,25	1,25 Gbps

		Gbps <i>Down</i> : 1,25 Gbps, 2,5 Gbps	(<i>Upstream</i> dan <i>Downstream</i>)
	<i>Bandwidth</i>	Sama seperti diatas (NRZ Coding)	1 Gbps (8B10B coding)
	<i>Optical Loss</i>	15/20/25 dB	15/20 dB
	<i>Wavelength</i>	<i>Down</i> : 1480 – 1500 nm <i>Up</i> : 1260 : 1360 nm	<i>Down</i> : 1480 – 1500 nm <i>Up</i> : 1260 : 1360 nm
	<i>Upstream Burst Timing</i>	<i>Guard</i> : 25,6 ns <i>Preamble</i> : 35,2 ns <i>Delimiter</i> : 16,0 ns	<i>Laser turn on/off</i> : 512 ns (<i>max</i>) <i>AGC Setting dan CDR Lock</i> 400 ns (<i>Max</i>)

(Sumber: ITU-T presentation)

Saat ini sudah banyak vendor-vendor yang telah mengembangkan teknologi GPON ini, antara lain Alcatel yang meluncurkan 7342 ISAM FTTU solution yang didasarkan pada spesifikasi yang diajukan oleh Service Access Network (FSAN) dari ITU. Perusahaan tersebut mencatat bahwa Gigabit Passive Optical Network enhancement terbaru tersebut memperlebar kemampuan ISAM family dari Alcatel, yang telah diadopsi oleh lebih dari 15 pelanggan besar dunia. Selain itu, produk ini bisa memungkinkan service providers untuk untuk mendeploy voice, data, dan video services ke para pengguna pada rates hingga 2.5 Gbps.

Packet framing pada GPON menggunakan GPON Encapsulation Method (GEM) Frame. GEM berdasarkan pada generic framing procedure (GFP) standar ITU-T G.704 dengan sedikit perubahan pada frame overhead yang disesuaikan untuk aplikasi PON. GEM menyediakan mekanisme umum untuk beradaptasi dengan traffic dari sinyal layer client yang lebih tinggi pada jaringan transport. Tiap satu frame ditransmisikan ke arah downstream dan upstream dalam waktu 125 micro second menggunakan GPON Transmission Protocol (GTC) layer.

Ukuran frame GTC ditentukan oleh kecepatan transmisi, untuk 1,24 Gbps sebesar 19440 byte dan untuk 2,48 Gbps sebesar 38880 byte (Sumber : ITU-T G.704)

Fungsi utama dari GTC layer adalah menyediakan transport multipleksing antara OLT dan ONU. Fungsi lain dari GTC layer adalah sebagai berikut :

- Adaptasi dari protokol sinyal layer *client*
- Fungsi *Physical Layer OAM (Operating, Administration, and Management)* atau PLOAM
- Antarmuka untuk *Dynamic Bandwidth Allocation (DBA)*
- Registrasi dan *ranging* ONU
- *Forward Error Correction* (opsional)
- Enkripsi data *downstream* (opsional)
- Kanal komunikasi ONT management and control interface (OMCI)

Fungsi GTC dicapai melalui *transmissions containers* atau T-CONTs. Setiap T-CONT yang dikenali melalui *allocation ID (Alloc-ID)* yang diberikan oleh OLT, mewakili saluran komunikasi *logical* antara OLT dan ONU. Standar GPON ditetapkan dua mode operasi yang berbeda, ATM dan GEM. Sebuah T-CONT dapat berbasis ATM ataupun GEM. T-CONT berbasis ATM *multiplexes virtual circuit* diidentifikasi melalui *Virtual Path Identifier (VPI)* dan *Virtual Circuit Identifier (VCI)*, sedangkan T-CONT berbasis GEM diidentifikasikan melalui 12-bit *port number*. ONU dan OLT memungkinkan untuk mendukung T-CONT berbasis ATM dan GEM maupun dari keduanya (*dual mode*)

2.14. Metode Enkapsulasi Jaringan FTTZ

Berdasarkan standar ITU-T G.983, metode enkapsulasi yang digunakan pada jaringan FTTZ adalah sistem transmisi *Asynchronous Transfer Module (ATM)*. ATM adalah suatu mode transfer yang berorientasi pada bentuk paket yang spesifik, dengan panjang tetap atau tertentu yang disebut dengan sel. Sel ATM ini terdiri dari 5 byte header dan 48 byte payload (informasi), sehingga besarnya 1 sel ATM adalah 53 byte. ATM bersifat *service independent* oleh karena itu semua layanan (suara, data, dan video) dapat ditransmisikan melalui ATM dengan cara penetapan beberapa tipe ATM *Adaptation Layer (AAL)*. AAL

berfungsi membentuk format informasi yang asli ke dalam format sel ATM sehingga dapat ditransmisikan. Dalam jaringan FTTZ menggunakan AAL tipe 2 untuk layanan suara, AAL tipe 5 untuk layanan data dan video.

- AAL tipe 2

AAL tipe 2 didesain untuk mentransmisikan aliran data yang mempunyai kecepatan bit variabel dan adanya hitungan waktu antara pengirim dan penerima. AAL tipe 2 disediakan untuk pentransmisian dari kecepatan bit rendah, pendek, dan panjang paket yang variabel. AAL 2 dibagi menjadi *Common Part Sublayer* (CPS) dan *Service Spesific Convergence Sublayer* (SSCS)

- *Common Part Sublayer* (CPS)

Layanan yang disediakan oleh CPS-AAL 2 adalah sebagai berikut :

- a. Data transfer dari CPS-SDU sebesar 45 atau 64 bytes
- b. Multipleksing dan demultipleksing dari beberapa saluran AAL 2
- c. Koneksi *bidirectional virtual channel*
- d. Pemeliharaan urutan CPS-SDU ditangani pada tiap-tiap kanal AAL 2

- *Service Spesific Convergence Sublayer* (SSCS)

SSCS mempunyai fungsi sebagai berikut :

- a. Pengiriman dari *voice traffic* dengan bermacam-macam pengkodean.
- b. Penyaliran data dengan struktur frame.
- c. Mendukung dari pengiriman informasi CAS.
- d. Mendukung dari pengiriman demodulasi *fax/traffic* modern.

CPS-PDU dari AAL 2 terdiri dari satu *byte start field* dan 47 *byte payload*. *Padding* (PAD) digunakan untuk memastikan bahwa CPCS-PDU merupakan kelipatan dari 8 *byte*, dapat berisi antara 0-47 *byte* dan tidak berisi informasi sama sekali.

1. *Start Field* (STF)

- a. Besarnya 1 *octet*
- b. OSF (*Offset Field*) – 6 bit
- c. SN (*Sequence Number*) – 1 bit
- d. P (*Parity*) – 1 bit

2. *Offset Field* (OSF) – 6 bit

- a. Nilai biner dari *offset*, ukuran banyaknya dari *octet* antara akhir dari STF dan bagian pertama dari CPS-*packet*
- b. Nilai 47 mengindikasikan bahwa tidak ada batasan awal dalam CPS-PDU *payload*
- c. Nilainya harus 47 atau kurang
3. *Sequence Number* (SN) – 1 bit
Digunakan untuk penomoran aliran dari CPS-PDU
4. *Parity* (P) – 1 bit
Digunakan oleh penerima untuk mendeteksi kesalahan dari STF. Pengirim dapat menset nilai bit dari *parity* melebihi 8 bit STF atau OSF.

- AAL tipe 5

AAL 5 adalah AAL yang disempurnakan dari gabungan AAL 3/4. Pada layer ini mengatasi manajemen koneksi sehingga layer ATM akan menghasilkan kesalahan yang minimal. AAL 5 menawarkan layanan dengan *overhead* yang lebih kecil dan deteksi kesalahan yang lebih baik di bawah lapisan CPCS. Didalam tipe ini tidak ada fasilitas multipleksing, apabila diperlukan, maka hal tersebut dilakukan pada lapisan SSCS.

Padding (PAD) pada AAL 5 digunakan untuk memastikan bahwa CPCS-PDU merupakan kelipatan dari 8 *byte*. Dapat berisi antara 0-47 *byte* dan tidak berisi informasi sama sekali.

Trailer dalam AAL 5 adalah pengontrol informasi pada AAL 5 dengan panjang 8 *byte* terletak di setiap akhir paket. *Trailer* terdiri atas :

- a. *User to user indication* (UU), digunakan sebagai penunjuk transfer antar pengguna AAL 5
- b. *Common Part Indicator* (CPI), mengindikasikan adanya data dalam CPCS-PDU
- c. *Length*, berisi tentang informasi panjang data *payload*.
- d. *Cyclic redundancy check* (CRC), mendeteksi bit- bit kesalahan pada CPCS-PDU

2.15. Analisis dan Perhitungan

Untuk mengetahui performansi pada sistem yang direncanakan dalam skripsi ini digunakan beberapa parameter antara lain :

a. *Link Power Budget*

Link Power Budget merupakan perhitungan yang digunakan untuk menentukan kebutuhan daya yang akan dilewatkan ke dalam serat optik yang ada agar didapatkan performansi yang diinginkan. Besarnya *link power budget* harus lebih besar daripada redaman total dari saluran. Redaman total adalah besarnya rugi-rugi yang disebabkan oleh komponen-komponen komunikasi serat optik yang digunakan dalam sistem. Dalam sistem *Passive Optical Network* (PON) digunakan kelas-kelas *attenuation range* untuk perhitungan *power budget*. *Attenuation range* adalah jangkauan redaman total antara pemancar dan penerima optik yang diperbolehkan dalam jangkauan transmisi 10-20 km, yaitu :

- ✓ Class A : 5-20 dB
- ✓ Class B : 10-25 dB
- ✓ Class B+ : 15-28 dB
- ✓ Class C : 15-30 dB

Power budget dapat diketahui dengan menghitung selisih antara daya optik yang dipancarkan *optical transmitter* dengan daya optik terendah yang masih dapat dideteksi oleh *optical receiver* (Max King dan Kang Liu : 132)

$$P_t = P_s - P_r \quad (2.8)$$

Dengan :

- P_t = *Power Budget* (dB)
- P_s = *Daya Output* Pemancar (dB)
- P_r = Sensitifitas Penerima (dB)

Secara umum *loss* pada suatu *link* transmisi serat optik disebabkan oleh komponen-komponen berikut :

- a) *Loss* serat optik
- b) *Loss* akibat penyambungan (*splicing*)
- c) *Loss* akibat konektor
- d) *Loss* akibat *splitter*
- e) *Loss* akibat WDM Coupler

Secara matematis rumus redaman total pada PON adalah sebagai berikut (PT. Telkom, 2004) :

$$\text{Link Loss Budget (a total)} = (\alpha \times L) + (B \times Nb) + (C \times Nc) + \text{WDMcp} + S + D \quad (2.9)$$

Dengan :

- α = Rugi serat optik (dB/km)
- L = Panjang serat optik (km)
- B = Rugi penyambungan/*splicing* (dB/titik sambung)
- Nb = Jumlah titik penyambungan
- C = Rugi konektor (dB/pasang)
- Nc = Jumlah pasang konektor yang digunakan
- WDMcp = Rugi WDM *Coupler* (dB)
- D = Rugi- rugi bending (dB)
- S = Rugi *splitter* (dB)

Margin system merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi agar suatu sistem transmisi layak dioperasikan. Nilai *margin system* yang ditetapkan adalah harus lebih besar dari 0 (nol). Berikut cara perhitungan margin daya (*Optical Fibre Communications*, pdf. 2009)

$$M = P_t - \alpha_{tot} - SM \quad (2.10)$$

Dengan :

- M = Margin Daya
- SM = *Safety Margin*

Dengan mengetahui besarnya nilai margin daya, dapat ditentukan apakah saluran transmisi dikatakan memenuhi syarat transmisi ataupun tidak. Saluran transmisi dikatakan layak beroperasi apabila nilai margin sistem tidak bernilai 0 (nol). Sistem margin juga merupakan faktor keamanan daya optik untuk perencanaan jaringan dengan menambahkan daya ekstra pada kebutuhan daya untuk mengkompensasi kemungkinan terjadinya degradasi (penurunan) pada link.

Degradasi *link* dapat terjadi karena beberapa faktor seperti :

- a) Penurunan kemampuan sumber optik disebabkan oleh umur
- b) Nilai *loss* pada komponen *splice* dan konektor di lapangan lebih besar daripada yang diperkirakan
- c) *Losses* yang didapat ketika terjadi perbaikan pada kabel serat optik.

b. Link Rise Time Budget

Analisa *rise time budget* digunakan untuk mengetahui kapasitas informasi maksimum dalam jaringan serat optik. Kesesuaian antara sumber optik, serat optik, dan detektor optik diperlukan untuk menentukan unjuk kerja sistem. Kriteria unjuk kerja sistem yang diperlukan dalam perencanaan sistem antara lain kecepatan transmisi, jarak transmisi, dan BER (*Bit Error Rate*).

Pendekatan dalam analisa *rise time budget* t_{sys} adalah dengan mengakarkan penjumlahan dari kuadrat total kontributor-kontributor *rise time* dari jaringan.

Lima elemen dasar yang memungkinkan untuk membatasi kecepatan sistem adalah *rise time* pemancar t_{Tx} , *rise time* dispersi intermodal pada serat *multimode* t_{mod} , *rise time* dispersi intramodal tintra, *rise time* PMD pada serat optik t_{PMD} dan *rise time* penerima t_{Rx} . Maka *rise time budget* sistem t_{sys} adalah (Gerd Keiser, 2006 : 20010)

$$t_{sys} = (t_{Tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{intra}^2 + t_{PMD}^2 + t_{Rx}^2)^{1/2} \quad (2.11)$$

Dengan :

t_{Tx} = *Rise time* pemancar (s)

t_{mod} = *Rise time* dispersi intermodal pada serat *multimode* (s)

t_{intra} = *Rise time* intramodal (s)

t_{PMD} = *Rise time* PMD (s)

t_{Rx} = *Rise time* penerima (s)

Pada serat *singlemode* tidak mengalami disperse intermodal ($t_{mod}=0$) sehingga disperse yang terjadi pada serat *single mode* hanya dispersi intramodal dan PMD

Besarnya degradasi sinyal jika data yang dikirimkan dalam format *non return to zero* (NRZ) adalah *rise time* total tidak boleh melebihi 70% dari maksimum *rise time* dari *bit rate* sinyal NRZ atau 35% pada format *return to zero*.

Rise time pada pemancar dan penerima optik dapat diketahui dari *data sheet*. *Rise time* pada pemancar optik disebabkan dari kecepatan respon sumber optik terhadap arus *drive*. Dari *data sheet* didapatkan sumber optik jenis LED *rise time* adalah sebesar 2ns sedangkan jenis LD *rise time* sebesar 0,12 ns (Cedric Lam, 2007). *Rise time* pada penerima optik dihasilkan dari kecepatan respon

photo detector dan bandwidth -3dB elektrik dari penerima front-end. Umumnya rise time dispesifikasikan sebagai waktu yang dibutuhkan output detector untuk meningkat dari titik 10% ke 90%. Hubungan bandwidth dan rise time dalam sistem untuk format pengkodean Return To Zero dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$T_{Rx} = \frac{0,35}{B_{Rx}} \quad (2.12)$$

Dengan :

T_{Rx} = Rise time penerima (ns)

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

Berikut perhitungan untuk kecepatan transmisi maksimum yang dapat ditransmisikan dalam sistem untuk format pengkodean Non Return to Zero (Sumber : Optical Fibre Communications, pdf).

$$t_{sys} < \frac{0,7}{B_{Rx}} \quad (2.13)$$

Dengan :

t_{sys} = Rise time total sistem (ns)

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

Laju bit informasi maksimum diperoleh dari persamaan (Hoss, 1990:160) :

$$B_{Rsys} = \frac{0,7}{t_{sys}} \quad (2.14)$$

BER adalah perbandingan banyaknya bit yang salah dengan banyaknya bit yang ditransmisikan. BER dalam sistem transmisi serat optik berkisar antara 10^{-6} - 10^{-10} (Keiser, 1983 : 180). Karakteristik komponen yang berkaitan dengan BER yaitu kecepatan transmisi dan tingkat daya minimum detektor optik.

c. Delay Jaringan FTTZ

Delay adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber sampai ke tujuan. Dalam jaringan berbasis packet switching, delay yang terjadi adalah jumlah keseluruhan delay yang ada dalam perjalanan paket ke sumber tujuan. Perhitungan delay jaringan menggunakan metode Asynchronous Transfer Mode. Delay yang akan dihitung adalah sebagai berikut, :

- **Perhitungan delay paketisasi**

Delay paketisasi merupakan delay yang terjadi pada saat suatu data dirubah dalam bentuk sel. Besarnya delay ini tergantung pada panjang informasi

yang dipaketkan pada sel *payload* dan kelajuan transmisi sumber. Jumlah sel ATM (W_{sel}) ditentukan oleh ukuran data yang akan dipaketkan (Erik, 2001). Panjang paket suara 160 *byte*, maka perhitungan *delay* paketisasi adalah sebagai berikut :

$$W_{sel}(selATM) = \frac{160\text{byte} + CPS_{\text{packetheader}} + \text{Starfield} + PAD}{48\text{byte}} \quad (2.15)$$

$$PD(s) = \frac{W_{sel} \times 53\text{byte} / sel \times 8\text{bit/byte}}{\text{kecepatan transmisi}} \quad (2.16)$$

Dengan :

W_{sel} = Jumlah sel atm

PD = *Packet Delay*

- **Perhitungan *delay* transmisi**

Delay transmisi adalah *delay* akibat proses transmisi antara waktu pertama dan terakhir bit dari paket yang ditransmisikan. Pada perencanaan ini, *delay* transmisi merupakan penjumlahan antara waktu transmisi yang dibutuhkan setiap sel dengan *delay* propagasi dari media transmisi yang digunakan. Dengan *delay* propagasi pada *fiber* optik sebesar 5.10^{-6} s/km, maka perhitungan *delay* transmisi : (Azmiar, 1997)

$$TD = TD_1 + TD_2 + TD_3 \quad (2.17)$$

Dengan :

TD = *Transmission Delay*

TD_1 = *Delay* antara *server* layanan suara dengan ATM *switch*

TD_2 = *Delay* transmisi antara ATM *switch* dengan OLT

TD_3 = *Delay* transmisi antara OLT dan ONT

- **Perhitungan *delay* switching**

Delay switching terdiri atas bagian yang tetap disebut *Fixed switching delay* (FD) dan bagian variable yang ditentukan oleh model antrian yang digunakan disebut *Queuing delay*.

- a. *Fixed switching delay* (FD)

Disebabkan oleh transfer paket internal melalui perangkat keras yang dapat dihitung ulang pada *switch* pada saat nol. Misalnya jika sebuah paket dilewatkan melalui sebuah *switch* pada saat *switching* sedang dalam

kecepatan tinggi, maka FD akan membuat tetap pada kecepatan rendah. Besarnya *fixed switching delay* adalah : (wirjana, 1999) :

$$FD = \frac{I_{ATM}}{C} \quad (2.18)$$

Dengan :

I_{ATM} = jumlah bit ATM

C = kecepatan transmisi *downstream* dari server layanan suara ke ATM switch

b. *Queuing delay* (QD)

Terjadi karena ada antrian di dalam *buffer*. Untuk menghitung *queuing delay* menggunakan pendekatan sistem antrian dengan model M/M/1. Model M/M/1 Berarti proses kedatangan paket data umumnya acak dan waktu pelayanan adalah distribusi eksponensial. Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO (*First In First Out*), kecepatan kedatangan, panjang gelombang, dan rata-rata waktu pelayanan didapatkan dari persamaan (Kershenbaum, 1993):

$$\text{Laju pelayanan switch } (\mu) = \frac{C}{I_{ATM}} \quad (2.19)$$

Dengan :

C= kecepatan *downstream* dari server layanan suara ke ATM Switch

I_{ATM} = jumlah byte per sel ATM x jumlah bit per byte

$$\text{Delay Antrian (QD)} = \frac{\lambda/\mu}{\mu-\lambda} \quad (2.20)$$

Dengan :

μ = Laju pelayanan switch

λ = Laju kedatangan paket data

$$\text{Besar Delay Switching (SD)} = FD + QD \quad (2.21)$$

Dengan :

FD = *Fixed Switching Delay*

QD = *Queuing Delay*

- **Perhitungan Delay Depaketisasi**

Delay ini diperlukan untuk memperhalus *delay jitter* yang biasanya ada untuk menjamin pembentukan kembali dari *synchronous bit stream* yang asli. *Delay*

depaketisasi dibutuhkan di setiap peralihan antara ATM dan jaringan non ATM dan ketika data sampai ke terminal tujuan. *Delay* depaketisasi dapat dirumuskan sebagai berikut : (Erik, 2000)

$$DD = \frac{n \times I_{ATM}}{c} \quad (2.22)$$

Dengan :

n = jumlah sel ATM

I_{ATM} = jumlah *byte* per sel ATM x jumlah bit per *byte*

C = kecepatan *downstream* dari *server* layanan suara ke ATM Switch

- **Perhitungan Delay Jaringan**

Delay jaringan merupakan jumlah dari *delay* paketisasi, *delay* transmisi, *delay* switching, *delay* depaketisasi. Perhitungan *delay* dimulai dari *server* layanan (suara, data, dan video) sampai dengan ONT yang berada pada sisi pelanggan.

Perhitungan *delay* jaringan adalah sebagai berikut :

$$\text{Delay Jaringan} = PD + TD + SD + DD \quad (2.23)$$

Dengan :

DD = *Delay* Depaketisasi (s)

SD = *Delay* Switching(s)

TD = *Delay* Transmisi (s)

PD = *Delay* Paketisasi (s)

d. Throughput Jaringan FTTZ

Throughput adalah banyaknya paket yang terkirim dengan benar per satuan waktu pada proses pentransmisi. Persamaan *throughput* didapat dengan memperhatikan probabilitas paket diterima dalam keadaan salah (p) adalah : (Schwart, 1987)

$$\lambda = \frac{1}{t_v} = \frac{(1-p)}{t_1[1+(a-1)p]} \quad (2.24)$$

$$t_1 = \frac{(L + L')}{C} \quad (2.25)$$

$$a = 1 + \frac{t_{out}}{t_1} \quad (2.26)$$

$$t_{out} = t_{prop} + t_1 \quad (2.27)$$

Dengan *delay* propagasi untuk serat optik sebesar 0,048 ms/km (H.Mochmad Wahyu,2000) , maka :

$$t_{out} = (5.10^{-6} \times d) + \left[\frac{(L+L')}{c} \right] \quad (2.28)$$

Dengan :

λ = *throughput* maksimum (paket/detik)

t_v = waktu transmisi tital (detik)

t_1 = waktu transmisi sebuah paket data (detik)

t_{prop} = waktu propagasi (detik)

d = jarak transmisi (m)

p = probabilitas paket yang salah

a = konstanta

$L + L'$ = panjang paket informasi

C = kecepatan transmisi (bps)

Pada proses pentransmisian informasi dari pengirim ke penerima, data yang dikirimkan mempunyai karakteristik tertentu, yaitu panjang paket data pada L bits dengan total dari L' yang digunakan pada bidang sisanya (kontrol/pengaman), sehingga probabilitas bit salah (Schwart, 1987)

$$p = 1 - (1 - p_b)^{L+L'} = 1 - q_b^{L+L'} \quad (2.29)$$

Dengan :

p_b = probabilitas bit salah

q_b = probabilitas bit benar $(1 - p_b)$

Untuk p_b yang sangat kecil sedemikian sehingga $(L + L')p_b \ll 1$, maka :

$$p = (L + L') \times p_b \quad (2.30)$$

Dengan :

P = probabilitas paket yang salah

p_b = probabilitas bit eror

$L + L'$ = panjang paket informasi

Efisiensi *throughput* yang dapat diterima adalah : (Schwart, 1987)

$$\eta = \frac{\lambda \times L}{C} \times 100\% \quad (2.31)$$

Dengan :

λ = *throughput* maksimum (paket/detik)

L = panjang paket informasi (bit)

C = kecepatan transmisi (bps)

2.16. Teknologi Pembelajaran Jarak Jauh (PJJ)

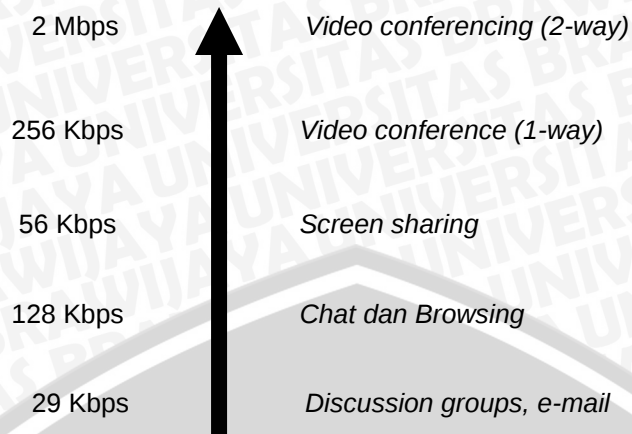
Kebutuhan *bandwidth* pelanggan bergantung pada layanan apa yang ditawarkan kepada pelanggan. Dengan menawarkan konsep *distance learning* 5th and 6th Generation pada para siswa dan dosen yang menjalankan pembelajaran jarak jauh maka ada banyak teknologi yang ditawarkan, antara lain:

- 5th Generation : **The Virtual/Online/ E- Learning Model**
 - Web-based courses (integrated multimedia)
 - Computer Mediated Communication
 - Computer intelligent system
- 6th Generation - **The Mobile Learning Model**
 - Wireless connection
 - Interned-based access to WWW resources
 - Palm e-learning (sms, hp/communicator, pda, ipad, dan sebagainya)

(Sumber : Panduan Pembelajaran Jarak Jauh, Kementrian Pendidikan Nasional, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan 2011)

Teknologi sangat mempengaruhi orang dalam memperoleh informasi dan data dalam berbagai jenis. Terkadang hal ini menjadi kendala teknis yang utama dalam sebuah proses belajar mengajar. Dalam perkuliahan jarak jauh (*distance learning*) hal ini akan membatasi proses pembelajaran siswa. Kecepatan koneksi akan mempengaruhi dalam proses transfer data. Hal ini akan terasa ketika transfer data berupa paket audio maupun *video conference*.

Pertama kali kita harus memilih teknologi yang digunakan dan hanya diperlukan dalam perkuliahan. Hal ini akan mempermudah siswa dalam menggunakan *tools* yang dibutuhkan. Kemudian kita integrasikan *tool-tools* yang ada dalam sebuah halaman Web yang dapat di akses siswa dalam pembelajaran jarak jauh (Sumber : UPPTI Brawijaya)



Gambar 2.24. Kecepatan koneksi terhadap kemampuan media komunikasi
(Sumber : UPPTI Brawijaya)

Permasalahan teknologi bukanlah sesuatu yang harus menjadi sebuah masalah besar, tetapi yang paling utama adalah menemukan media komunikasi yang tepat dan terasa familiar bagi si pengguna.



Gambar 2.25. Kompleksitas teknologi terhadap media komunikasi
(Sumber : Perencanaan, 2011)

- Layanan Data
Layanan data internet umumnya berupa segmen TCP dengan ukuran maksimum 1452 byte, dengan asumsi *bandwidth* yang dibutuhkan untuk *group discussion*, *email*, *chat*, *screen sharing*, dan *browsing* sebesar 256 kbps per pengguna yang diasumsikan sejumlah 10986 mahasiswa yang merupakan 20% dari total keseluruhan mahasiswa Universitas Brawijaya yang sejumlah 43,947 mahasiswa. Jadi jumlah mahasiswa yang dapat mengakses layanan data internet secara bersamaan sebesar 8789 mahasiswa dengan kecepatan data masing-masing 256 kbps.
- Layanan *video conference*

Layanan *video conference* ini ditujukan bagi masing-masing jurusan di Universitas Brawijaya yang berjumlah 64 jurusan. Untuk layanan *video conference* ini menggunakan serat optik dengan panjang gelombang 1550 nm. Diasumsikan seluruh jurusan dapat menggunakan layanan *video conference* ini secara bersamaan dengan kebutuhan *bandwidth* 2,256 Mbps untuk masing-masing jurusan. Dalam melakukan perencanaan sebelum menggelar fasilitas konferensi video melalui Internet, kita perlu memperhitungkan kebutuhan *bandwidth* untuk sukses-nya sebuah konferensi video. Secara umum ada dua (2) kebutuhan *bandwidth* yang perlu di penuhi, yaitu:

- Kebutuhan *bandwidth* untuk mengirimkan sinyal gambar / video.
- Kebutuhan *bandwidth* untuk mengirimkan sinyal suara / audio.

Sebuah kanal video yang baik tanpa di kompresi akan mengambil *bandwidth* sekitar 2 Mbps. Sebuah kanal suara (audio) yang baik tanpa di kompresi akan mengambil *bandwidth* sekitar 64Kbps. Layanan *video conference* ini terbagi dua macam :



A



B

Gambar 2.26. A. Video Conference (1-way) B. Video Conference (2-way)

(Sumber : www.soi-asia.com)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah kajian tentang perencanaan jaringan serat optik untuk mendukung pendidikan jarak jauh (*distance learning*) di Universitas Brawijaya dengan menggunakan konfigurasi *fiber to the zone* (FTTZ). Dalam perencanaan ini akan dilakukan studi literatur, penentuan konfigurasi sistem, penentuan jenis data yang akan dipakai dan cara mendapatkan data-data tersebut, penentuan variabel yang akan digunakan untuk mengukur performansi jaringan dan cara menganalisis data yang didapatkan, dan kerangka solusi masalah yang disajikan dalam bentuk diagram alir.

3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami teori-teori yang berkaitan dengan jaringan telekomunikasi serat optik, konfigurasi *fiber to the zone* (FTTZ), teknologi pembelajaran jarak jauh (*distance learning*) serta teori-teori pendukung yang diperlukan untuk mendukung analisis data.

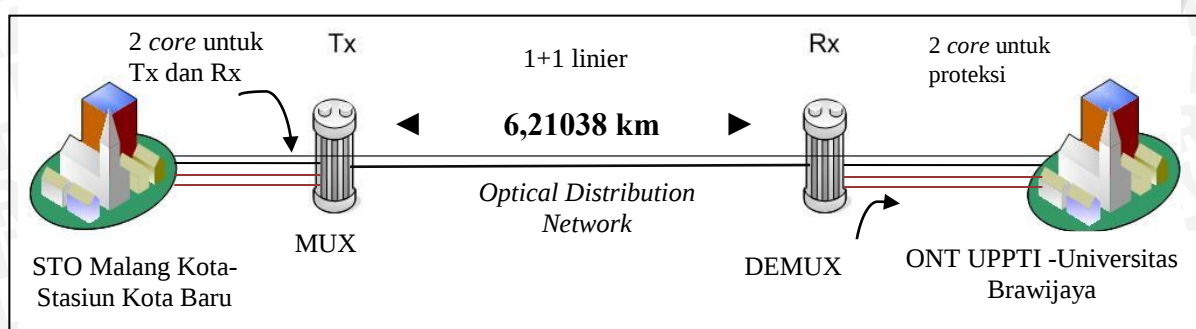
3.2. Penentuan Konfigurasi Jaringan

Konfigurasi jaringan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah Konfigurasi jaringan *Fiber To The Zone* (FTTZ). Konfigurasi yang direncanakan adalah *point to point* mulai dari STO Malang Kota di Stasiun Kota Baru hingga Rumah Kabinet di UPPTI Universitas Brawijaya. Pemilihan konfigurasi jaringan serat optik *Fiber To The Zone* untuk mendukung pembelajaran jarak jauh di Universitas Brawijaya adalah mempertimbangkan hal-hal berikut ini :

1. Sebagai pusat pembelajaran *Distance Learning*, Universitas Brawijaya merupakan zona yang luas dengan lebih dari 64 jurusan, 11 fakultas, dan lebih dari 100 bangunan, sehingga konfigurasi yang paling tepat untuk wilayah ini adalah *fiber to the zone*.

2. *Fiber to the zone* memiliki konsep konfigurasi jaringan *point to point*, sehingga tidak diperlukan adanya *splitter* untuk membagi *bandwidth*, sehingga tidak perlu ada tambahan rugi-rugi yang akan berpengaruh kepada performansi jaringan yaitu *link loss budget*.
3. Konfigurasi *fiber to the zone* memungkinkan penyediaan *bandwidth* yang lebih besar untuk pembelajaran jarak jauh, pentransmisian *bandwidth* akan langsung menuju rumah kabinet di UPPTI Brawijaya tanpa mengalami pembagian *bandwidth* untuk ONT lain.
4. Dengan konfigurasi *Fiber To The Zone* memungkinkan UPPTI Brawijaya untuk membagi *bandwidth* kepada setiap pengguna atau setiap jurusan sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Konfigurasi FTTZ dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan kabel tembaga ke setiap ONT ataupun menggunakan kabel fiber optik dengan konfigurasi FTTB ke setiap ONT. Konfigurasi FTTZ tidak membatasi *bandwidth* yang dapat diterima oleh pelanggan, dimana jurusan mana yang paling sering memerlukan fasilitas *distance learning* dapat mempunyai *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan jurusan yang jarang menggunakan fasilitas *distance learning*. Dengan kata lain, konfigurasi *Fiber To The Zone* memiliki fleksibilitas yang tinggi.

Berikut adalah gambar konfigurasi jaringan yang direncanakan.



Gambar 3.1. Perencanaan Jaringan Serat Optik dengan Konfigurasi *Fiber To the Zone*
(Sumber : Perencanaan, 2011)

3.3. Penentuan Jenis Data

Data yang digunakan dalam kajian tugas akhir ini berupa data primer dan data sekunder. Adapun data primer yang digunakan adalah :

- a. *Site Plan* Universitas Brawijaya sebagai objek perencanaan FTTZ yang di dapatkan dari Rektorat Universitas Brawijaya
- b. Jarak antara STO Malang Kota – Stasiun Kota Baru menuju Universitas Brawijaya dan pengukuran di lapangan yang di dapatkan dari PT. XL Axiata Malang.
- c. Kebutuhan *Bandwidth* untuk *distance learning* yang didapatkan dari UPPTI Brawijaya dan *School Of Internet (SOI)* Brawijaya

Sedangkan untuk data sekunder yaitu data yang diperoleh dari buku referensi, jurnal- jurnal dari internet, dan standarisasi dari ITU-T.

3.4. Penentuan Variabel dan Analisis Data

Analisis data berupa perhitungan matematis sesuai dengan persamaan-persamaan dari teori yang telah diperoleh dari data sekunder. Perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan performansi jaringan serat optik yang direncanakan digunakan untuk mengetahui kelayakan pengimplementasian perencanaan ini. Variabel performansi jaringan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah:

a. *Link Power Budget* (P_t)

Dalam mengukur *link power budget* juga terdapat variabel :

- *Link Loss Budget / Optical Power Loss* (α_{tot})
- *Margin System* (M)

b. *Link rise time budget* (τ_{sys})

Dalam mengukur *link rise time budget* juga terdapat variabel :

- Dispersi Kromatis (τ_m)
- Dispersi Pandu Gelombang (τ_w)
- Dispersi Intramodal (τ_{int})
- Dispersi PMD (τ_{PMD})
- Laju Bit Maksimum / *Bit Rate* (B_R)

c. *Delay jaringan*

Dalam mengukur delay jaringan, juga terdapat variabel :

- Delay Paketisasi (PD)
- Delay Transmisi (TD)
- Delay Switching (SD)

- Delay Depaketisasi (DD)

d. *Throughput* Jaringan (λ)

Dalam mengukur *throughput* jaringan juga terdapat variabel :

- Efisiensi *throughput* jaringan (η)

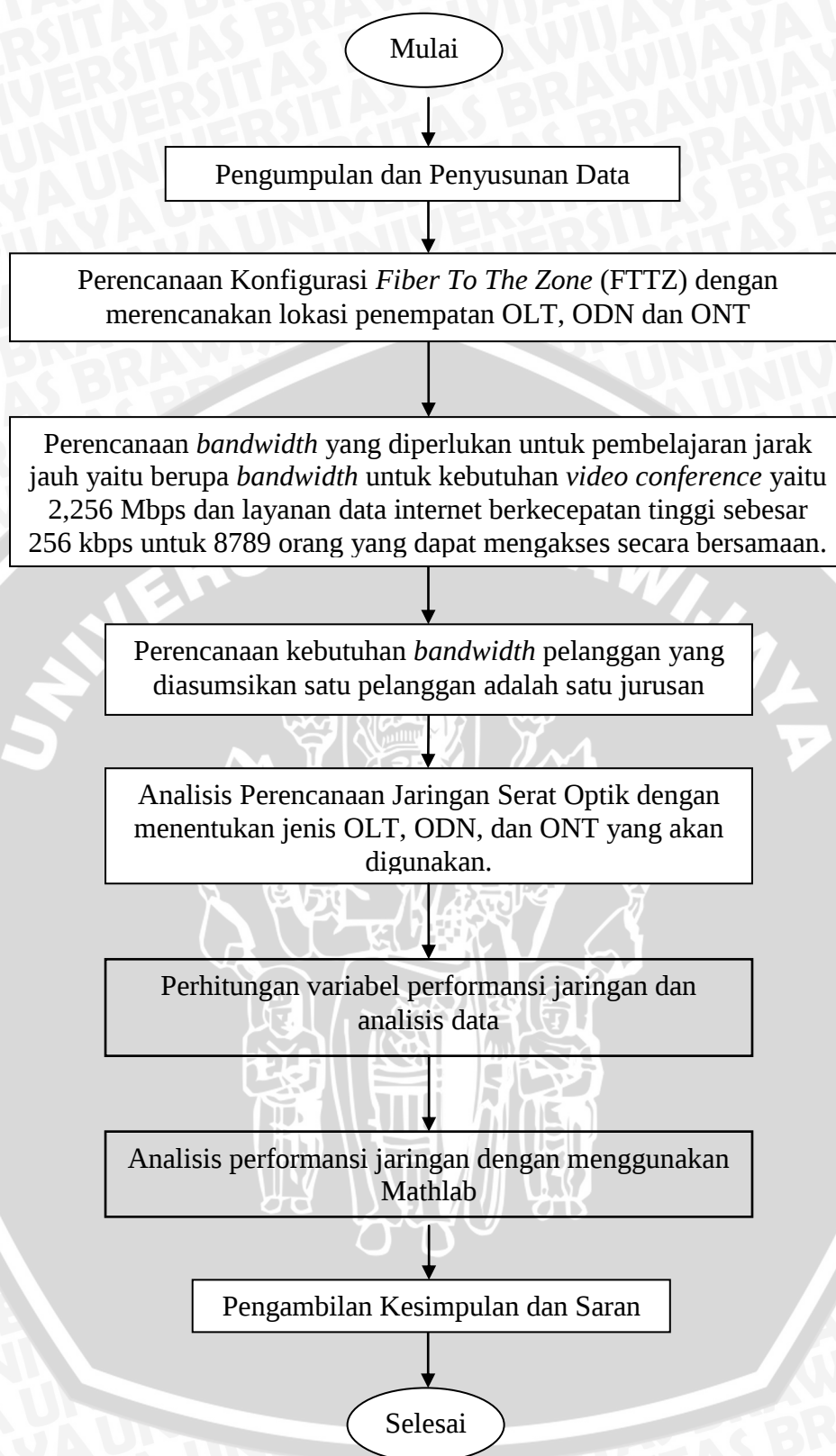
3.5. Perencanaan.

Data- data dan teori penunjang yang telah dianalisis digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk perencanaan yang meliputi :

1. Perencanaan konfigurasi jaringan FTTZ dengan menentukan lokasi penempatan OLT, ODN dan ONT.
2. Perencanaan kebutuhan *bandwidth* pelanggan untuk layanan *video conference*, dan layanan data internet berkecepatan tinggi.
3. Perencanaan jaringan serat optik dengan menentukan hal-hal berikut :
 - a. Perencanaan jenis OLT, ODN, dan ONT yang akan digunakan
 - b. Perencanaan jenis *transceiver*, *WDM coupler*, *connector*, *splicer* yang akan digunakan.
 - c. Perencanaan infrastruktur pada jaringan yang direncanakan dengan menentukan serat optik, panjang gelombang, sumber optik, dan detektor optik, yang akan digunakan pada jaringan yang direncanakan.
 - d. Perencanaan performansi jaringan yang dibutuhkan agar system ini dapat mencapai target laju bit maksimum yang direncanakan.

3.6. Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan menjawab rumusan masalah yang ada pada pendahuluan. Solusi masalah disajikan dalam *flowchart* berikut ini.



Gambar 4.2. Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik dengan konfigurasi *Fiber To The Zone* (FTTZ) dari Sentral Telepon Otomat (STO) Malang Kota ke Universitas Brawijaya

(Sumber : Perencanaan, 2011)

BAB IV

PERENCANAAN JARINGAN FIBER OPTIK DENGAN KONFIGURASI FTTZ (*FIBER TO THE ZONE*) UNTUK MENDUKUNG PEMBELAJARAN JARAK JAUH (*DISTANCE LEARNING*) DI UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Perencanaan jaringan serat optik dengan konfigurasi FTTZ ini diadakan di wilayah Universitas Brawijaya. Sebagai kawasan pendidikan, wilayah ini cukup padat dengan bangunan ruang belajar mengajar dan berbagai laboratorium. Agar jaringan serat optik yang direncanakan bisa lebih dioptimalkan serta dengan memperhatikan fasilitas dan komponen yang digunakan bagi pengguna layanan, maka perencanaan ini diperuntukkan bagi pengguna *distance learning* (pembelajaran jarak jauh) serta pengguna yang banyak memanfaatkan fasilitas internet untuk proses belajar mengajar. Perencanaan jaringan serat optik dengan konfigurasi FTTZ (*Fiber To The Zone*) ini diharapkan dapat mengatasi kendala-kendala yang dihadapi seperti penyediaan jaringan dan penyediaan layanan internet berkecepatan tinggi dan *video broadcast* untuk pembelajaran jarak jauh.

Berdasarkan sumber yang didapatkan, jarak antara kota STO Malang Kota-Stasiun Kota Baru ke UPPTI Brawijaya adalah sebesar 6,21038 km. Dengan jumlah mahasiswa Universitas Brawijaya pada tahun 2011 sebanyak 43.947 jiwa dan tingkat pertumbuhan rata-rata 16,98 % per tahun dalam kurun waktu 3 tahun terakhir. Selanjutnya dengan panjang transmisi (Lt) 6,21038 km, dapat ditentukan beberapa komponen dasar serat optik untuk membangun itu.

Dalam bab ini pembahasan yang dilakukan meliputi : perencanaan konfigurasi jaringan, perencanaan jumlah kanal untuk layanan data internet dan *video broadcast*, dan perencanaan jaringan serat optik dari OLT sampai ke ONT termasuk pemilihan serat optik yang digunakan, laju informasi, dan *delay* jaringan.

4.1. Perhitungan Kebutuhan *Bandwidth* Pelanggan

Perencanaan jumlah kanal untuk setiap layanan pelanggan ini dikhususkan untuk layanan pelanggan pendidikan. Pada umumnya layanan pelanggan pendidikan membutuhkan jasa layanan berbasis multimedia. Multimedia merupakan kombinasi dari dua atau lebih jenis media informasi yang berbeda yaitu informasi berupa data, audio, video, gambar dan grafik. Elemen dasar dari komposisi informasi multimedia adalah data (dapat berupa teks, grafik, atau *image*), suara dan video. Untuk pengguna layanan video conference diasumsikan terapat 64 pengguna yang mewakili 64 jurusan di Universitas Brawijaya dan masing- masing pengguna akan mendapatkan *bandwidth* sebesar 2 Mbps per layanan *video conference* apabila 64 pengguna ini menggunakan layanan ini secara bersamaan. Sementara untuk layanan data yang mencakup *group discussion, chat, email, browsing, screen sharing* akan menggunakan *bandwidth* sebesar 35,156 Mbps untuk setiap jurusan dengan asumsi pelanggan yang mengakses internet disaat bersamaan sebesar 20% dari total keseluruhan jumlah mahasiswa Universitas Brawijaya yang berjumlah 43947 mahasiswa. Asumsi layanan untuk pelanggan pendidikan jarak jauh: (UPPTI Brawijaya):

Alokasi *Bandwidth* per layanan :

<i>Video conference 2-way</i>	: 2 Mbps
<i>Video conference 1-way</i>	: 256 Kbps
Layanan Data Internet	: 35,156 Mbps
Total Bit Rate	: 37,412 Mbps

Dalam perencanaan kebutuhan *bandwidth* pelanggan langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan banyaknya jumlah pemakai bersama. Diasumsikan jumlah pelanggan layanan *video conference* adalah 64 pelanggan yang diasumsikan 1 pelanggan adalah 1 jurusan di Universitas Brawijaya.

a. Kebutuhan *bandwidth* layanan *video conference*

Bila jumlah pelanggan bersama sebesar 100 % dari jumlah pelanggan, maka kebutuhan *bandwidth downstream* yang diperlukan adalah sebagai berikut:

Bandwidth Downstream = roundup (jumlah pelanggan bersama) x BW layanan

$$BW_{DS} = 64 \times 2,256 \text{ Mbps}$$

$$BW_{DS} = 144,384 \text{ Mbps}$$

- b. Kebutuhan *bandwidth* layanan data internet

Bila jumlah pelanggan bersama sebesar 20 % dari jumlah pelanggan yang diasumsikan sebesar 8789 mahasiswa Universitas Brawijaya, maka kebutuhan *bandwidth downstream* yang diperlukan adalah sebagai berikut:

$$Bandwidth_{Downstream} = roundup (\text{jumlah pelanggan bersama}) \times bandwidth \text{ layanan}$$

$$BW_{DS} = 8789 \times 256 \text{ kbps}$$

$$BW_{DS} = 2249988 \text{ kbps}$$

$$= 2,249 \text{ Gbps}$$

$$BW_{DS} \text{ total} = BW_{DS} \text{ video conference} + BW_{DS} \text{ data internet}$$

$$= 0,144384 \text{ Gbps} + 2,249988 \text{ Gbps}$$

$$= 2,394368 \text{ Gbps.}$$

Total *bandwidth downstream* yang dapat diakses oleh pelanggan adalah 2,394368 Gbps. Dan berikut adalah perencanaan pelanggan yang akan menggunakan layanan *distance learning*, jumlah fakultas Universitas Brawijaya (2010 - sekarang) dan jurusan yang sekarang ada (Rektorat UB, 2011) :

Tabel 4.1. Jurusan dan Fakultas di Universitas Brawijaya

No	Fakultas	Jurusan
1	Fakultas Hukum	Ilmu Hukum
2	Fakultas Ekonomi dan Bisnis	1. Ilmu Ekonomi 2. Manajemen 3. Akuntansi 4. Ekonomi Islam 5. Keuangan Perbankan 6. Ilmu Ekonomi 7. Manajemen 8. Akuntansi 9. Ekonomi Islam 10. Keuangan Perbankan
3	Fakultas Ilmu	1. Ilmu Administrasi Bisnis

	Administrasi	2. Ilmu Administrasi Publik 3. Administrasi Pembangunan 4. Administrasi Pemerintahan 5. Administrasi Perpajakan 6. Bisnis Internasional
4	Fakultas Pertanian	1. Agribisnis 2. Agroekoteknologi
5	Fakultas Peternakan	1. Peternakan
6	Fakultas Teknik	1. Teknik Elektro 2. Teknik Mesin 3. Teknik Informatika 4. Teknik Pengairan 5. Teknik Sipil 6. Teknik Industri 7. Teknik Arsitektur 8. Perencanaan Wilayah dan Kota
7	Fakultas Kedokteran	1. Pendidikan Dokter 2. Ilmu Keperawatan 3. Ilmu Gizi 4. Pendidikan Dokter Gigi 5. Farmasi 6. Kebidanan
8	Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan	1. Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan 2. Teknologi Hasil Perikanan 3. Budidaya Perairan 4. Manajemen Sumberdaya Perairan 5. Ilmu Kelautan 6. Manajemen Bisnis Kelautan dan Perikanan
9	Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam	1. Kimia 2. Fisika 3. Instrumentasi 4. Geofisika

		5. Biologi 6. Matematika 7. Statistika 8. Ilmu Komputer
10	Fakultas Teknologi Pertanian	1. Teknologi Hasil Pertanian 2. Teknologi Industri Pertanian 3. Teknik Pertanian 4. Nutrisi Pangan 5. Agroindustri Hasil Hutan 6. Teknik Sumberdaya Alam & Lingkungan 7. Bisnis Pangan
11	Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik	1. Komunikasi 2. Hubungan Internasional 3. Psikologi 4. Ilmu Politik 5. Sosiologi
12	Fakultas Ilmu Budaya	1. Bahasa dan Sastra Perancis 2. Sastra Cina 3. Seni Rupa 4. Antropologi 5. Pendidikan Bahasa & Sastra Indonesia 6. Pendidikan Bahasa & Sastra Inggris 7. Pendidikan Bahasa & Sastra Jepang
13	Program Kedokteran Hewan & Pendidikan Dokter Hewan	
14	Program Pascasarjana	

(Sumber : Rektorat Universitas Brawijaya, 2011)

Dari perhitungan diatas, maka kebutuhan *bandwidth* untuk 64 pelanggan yang diasumsikan 1 pelanggan adalah 1 jurusan dalam perencanaan FTTZ ini adalah total $64 \times 37,412 \text{ Mbps} = 2394,37 \text{ Mbps} = 2,394 \text{ Gbps}$

- Perencanaan Kebutuhan *Bandwidth* Pelanggan Layanan Data Internet dan *Video Conference*

Dalam alokasi *bandwidth* sistem pada jaringan FTTZ (*Fiber To The Zone*) ditentukan untuk *downstream* sebesar 2,488 Gbps dan untuk *upstream* sebesar 1,244 Gbps. Maka perhitungan *bandwidth* pelanggan adalah sebagai berikut:

$$\text{Bandwidth pelanggan downstream} = \frac{2488 \text{ Mbps}}{64} = 38,875 \text{ Mbps}$$

$$\text{Bandwidth pelanggan upstream} = \frac{1244 \text{ Mbps}}{64} = 19,4375 \text{ Mbps}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, minimal *bandwidth downstream* yang didapat pelanggan sebesar 38,875 Mbps dengan jumlah pelanggan sebesar 64 pelanggan. Nilai ini masih lebih besar dari jumlah *bandwidth downstream* yang dibutuhkan setiap pelanggan yaitu sebesar 37,412 Mbps.

Dengan mengetahui asumsi layanan yang diberikan, maka jumlah kanal untuk setiap layanan menggunakan persamaan (2.30) adalah sebagai berikut :

$$\text{Jumlah kanal} = \frac{\text{Laju Informasi}}{\text{Bandwidth Layanan}}$$

Dimana diketahui laju informasi yang direncanakan adalah sebesar 2,488 Gbps. Sebagai contoh jumlah kanal untuk layanan *video conference* dihitung sebagai berikut :

$$\text{Jumlah kanal} = \frac{\text{Laju Informasi}}{\text{Bandwidth Layanan}}$$

$$\text{Jumlah kanal} = \frac{2488 \cdot 10^6}{2,0 \cdot 10^6} = 1244$$

$$\text{Jumlah kanal} = 1244 \text{ kanal}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung jumlah kanal pada layanan lainnya seperti yang tercantum dalam tabel 5.1.

Tabel 4.2. Jumlah kanal untuk setiap layanan

Jumlah Kanal Layanan		
<i>Video Conference</i> (2- way)	<i>Video Conference</i> (1- way)	Data Internet
1244	9718	70

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2011)

4.2. Perencanaan Konfigurasi Jaringan FTTZ

Konfigurasi jaringan yang direncanakan adalah menggunakan konfigurasi FTTZ (*Fiber To The Zone*) *point to multipoint multistage splitting*, karena pengguna di wilayah Universitas Brawijaya memiliki karakteristik pelanggan yang terkonsentrasi. Gambar konfigurasi jaringan yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 5.1.

4.2.1. Spesifikasi *Optical Line Terminal* (OLT)

Perangkat *Optical Line Terminal* (OLT) yang menghubungkan perangkat *switching* dari jaringan *backbone* dengan jaringan akses ditempatkan di STO Malang Kota Stasiun Kota Baru. Di dalam perencanaan, OLT yang dipilih adalah OLT yang mempunyai 64 *interface cards* untuk melayani pelanggan. Adapun *bandwidth* yang dapat di *deliver* adalah 2,488 Gbps. Spesifikasi dari OLT AXS 2200 dapat dilihat pada lampiran.

4.2.2. Spesifikasi *Optical Distribution Network* (ODN)

ODN berfungsi untuk transport dan distribusi data dari OLT ke ONU. ODN terdiri dari *transceiver* optik, kabel serat optik, *passive splitter*, konektor, *WDM coupler*, dan *splicer*.

- Spesifikasi *Tranceiver* Optik pada OLT

Pada perangkat The Motorola AXS2200 *next generation optical line terminal* (OLT) digunakan perangkat *transceiver* optik 1.55 μ m MQW-DFB *Laser Diode Module* untuk transmisi 2.5 Gbps dari Sumitomo *Electric Industries, Ltd* yang dapat dilihat pada lampiran. Dari *data sheet* tersebut diketahui sumber optik yang digunakan yaitu jenis DFB *Laser Diode* SLT 4410 dan 4460 dan inGaAs APD, sehingga dapat diketahui beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan *link power budget* dan *link rise time budget*, yaitu :

1. Panjang gelombang yang digunakan adalah 1310 nm *transmitter*, 1490 nm *receiver*
2. Daya pancar sumber optik min.-8 dBm dan *rise time* 0,5 ns
3. Sensifitas penerima -29 dBm dengan *rise time* 0,26 ns

- Serat Optik

Panjang kabel serat optik yang digunakan dalam perencanaan jaringan lokal ini diperoleh dengan mengukur panjang jalan dari sentral menuju ke RK zona atau wilayah yang dituju ditambah dengan toleransi sebesar 1% seperti yang telah ditetapkan oleh PT.XL AXIATA. Dalam perancangan ini dipilih serat optik *Draka Enhanced Single Mode Optical Fibre (ESMOF)*. Pemilihan jenis serat optik sangat mempengaruhi dalam perencanaan ini. Untuk serat optik bisa dipilih *single mode* atau *multi mode*. Pada perencanaan ini menggunakan serat optik *single mode* karena :

1. Disesuaikan dengan spesifikasi peralatan OLT dan *transceiver* optik.
2. Redaman yang dimiliki oleh serat *single mode* lebih kecil dibandingkan dengan serat optik *multi mode*.
3. Rekomendasi ITU-T G.652.D untuk aplikasi kabel serat optik *single mode* dengan rugi- rugi sebagai berikut:
 - a) Rugi-rugi pada panjang gelombang 1310 nm sebesar 0.33 – 0.35 dB/km.
 - b) Rugi-rugi pada panjang gelombang 1383 nm* sebesar 0.32 – 0.35 dB/km.
 - c) Rugi-rugi pada panjang gelombang 1490 nm sebesar 0.25 dB/km.
 - d) Rugi-rugi pada panjang gelombang 1550 nm sebesar 0.19 – 0.21 dB/km.
 - e) Rugi-rugi pada panjang gelombang 1625 nm sebesar 0.20 – 0.23 dB/km.

- **Splicer**

Splicer digunakan untuk menyambung serat optik. Teknik *splicing* yang digunakan adalah *fusion splice* yang digunakan pada ujung *feeder cable* dan penyambungan kabel di setiap 2 km dengan jarak maksimal pelanggan adalah 6,21038 km sehingga *splicer* yang digunakan sebanyak 3 buah dengan *insertion loss* (Ls) sebesar 0,1 dB per splicer.

- **WDM Coupler**

Digunakan 2 buah perangkat *WDM coupler* (L coupler) dari Motorola's N1U-OM/OD Series (Lampiran X) untuk mengkombinasikan dan memisahkan panjang gelombang pada OLT dan ONU dengan *insertion loss* sebesar 0,4 dB.

- **Konektor**

Untuk menyesuaikan dengan spesifikasi perangkat *transceiver*, maka konektor yang digunakan pada *transceiver* adalah tipe SC dengan *insertion loss* 0,3 dB. Pada perancangan ini digunakan 2 (dua) buah konektor SC yang ditempatkan pada OLT dan ONT.

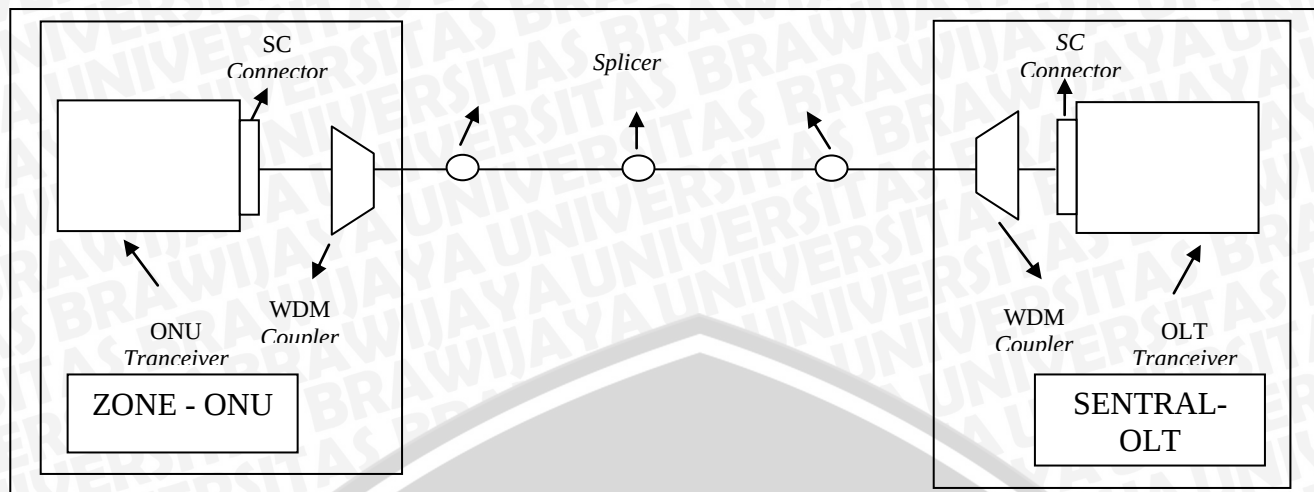
- **Spesifikasi *Transceiver* Optik pada ONU**

Untuk spesifikasi *transceiver* optik yang digunakan pada ONU adalah Sumitomo *Optical Transceiver Module* SCM 7102-GC. Dari *data sheet* tersebut dapat dipilih sumber dan detektor optik yang digunakan yaitu jenis inGaAsp FP-LD dan inGaAs PIN-PD sehingga dapat diketahui beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan *link power budget* dan *link rise time budget*, yaitu :

1. Panjang gelombang yang digunakan 1300 nm *transmitter*, 1490 nm *receiver* dan 1550 nm untuk layanan *video broadcast* dan *video conference*.
2. Daya pancar sumber optik min. 0,5 dBm dan *rise time* 0,5 ns.
3. Sensitivitas penerima min. -28 dBm dan *rise time* 0,5 ns.
4. Lebar *spectrum transmitter* sebesar 2,5 nm, BER yang digunakan sebesar 10^{-10}

4.2.3. Spesifikasi *Optical Network Unit* (ONU)

Peletakkan ONU pada perencanaan FTTZ ini adalah di sebuah rumah kabinet di UPPTI Universitas Brawijaya. Adapun spesifikasi dari Motorola ONT 100GT2 GPON *interface* akan dapat dilihat pada lampiran. *Bandwidth* yang dapat di *deliver* adalah 2,5 Gbps untuk *downstream* dan 1,2 Gbps untuk *upstream*. Sementara panjang gelombang yang digunakan adalah sebagai berikut : 1490 nm untuk *voice/data receive*, 1550 nm untuk *video receive*, 1310 nm untuk *voice/data transmit*. Untuk konfigurasi jaringan perencanaan FTTZ dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.2. Konfigurasi Jaringan Serat Optik FTTZ dan komponen-komponennya.

(Sumber : Perencanaan, 2011)

4.3. Perhitungan *Link Power Budget*

Sistem transmisi menggunakan tiga panjang gelombang yang berbeda, maka *link power budget* dihitung pada 3 panjang gelombang yang berbeda, karena untuk panjang gelombang yang berbeda dihasilkan nilai attenuasi pada serat optik yang berbeda (rugi serat optik). Untuk ukuran jarak dari OLT ke tiap ONU pelanggan dapat dilihat pada lampiran. Sedangkan untuk contoh perhitungan digunakan jarak antara OLT ke ONU pelanggan yang terjauh yaitu 6,21038 Km.

4.3.1. *Link Power Budget* pada 1310 nm

Panjang gelombang 1310 nm digunakan untuk transmisi *upstream* (dari ONU ke OLT). Pada serat optik ESMF (*Enhanced Single Mode Fiber*) rugi serat optik (α_f) pada panjang gelombang 1310 nm adalah sebesar 0,35 dB/km. Sumber optik yang digunakan pada transmisi *upstream* dari ONU dapat memancarkan daya (P_s) min 0,5 dBm dan detektor optik pada OLT memiliki sensitifitas sebesar -29 dBm (P_r) pada OLT :

Maka untuk jarak pelanggan (6,21038 km), besar *power budget* (P_t) :

$$\begin{aligned} P_t &= P_s - P_r \\ &= 0,5 \text{ dBm} - (-29 \text{ dBm}) \\ &= 29,5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Total optical power loss atau redaman total pada jaringan :

$$\begin{aligned} \alpha_{tot} &= (L \cdot \alpha_{serat}) + (N_c \cdot \alpha_{konektor}) + (N_s \cdot \alpha_{splice}) + S + D + WDM_{coupler} \\ &= (6,21038 \cdot 0,35) + (2 \cdot 0,2) + (3 \cdot 0,1) + 0 + 0,05 + (2 \cdot 0,4) \\ &= 3,9736 \end{aligned}$$

Margin Sistem :

$$\begin{aligned} M &= (P_s - P_r) - \alpha_{tot} - 3 \\ &= 29,5 - 3,97363 - 3 \\ &= 22,52636 \end{aligned}$$

Margin sistem masih diatas nol, maka jaringan masih memenuhi kelayakan operasi. Untuk kurva hubungan link loss budget dengan jarak dapat dilihat pada gambar berikut :

4.3.2. Link Power Budget pada 1490 nm

Pada panjang gelombang 1490 nm digunakan untuk transmisi *downstream* (dari OLT ke ONU). Pada serat optik ESMOF (*Enhanced Single Mode Optical Fibre*) rugi serat optik (α_f) pada panjang gelombang 1490 nm adalah sebesar 0,25 dB/km. Sumber optik yang digunakan pada transmisi *upstream* dari OLT dapat memancarkan daya (P_s) sebesar -0,5 dBm dan detektor optik memiliki sensitifitas sebesar -28 dBm (P_r) pada ONU.

Maka besar *power budget* (P_t) untuk pelanggan terjauh (6,20138 km) adalah :

$$\begin{aligned} P_t &= P_s - P_r \\ &= -0,5 \text{ dBm} - (-28 \text{ dBm}) \\ &= 27,5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Total optical power loss atau redaman total pada jaringan :

$$\begin{aligned} \alpha_{tot} &= (L \cdot \alpha_{serat}) + (N_c \cdot \alpha_{konektor}) + (N_s \cdot \alpha_{splice}) + S + D + WDM_{coupler} \\ &= (6,21038 \cdot 0,25) + (2 \cdot 0,2) + (3 \cdot 0,1) + 0 + 0,05 + (2 \cdot 0,4) \\ &= 3,10259 \end{aligned}$$

Margin Sistem :

$$\begin{aligned} M &= (P_s - P_r) - \alpha_{tot} - 3 \\ &= 27,5 - 3,10259 - 3 \\ &= 21,39741 \end{aligned}$$

Margin sistem masih diatas nol, maka jaringan masih memenuhi kelayakan operasi.

4.3.3. Link Power Budget pada 1550 nm

Pada perhitungan *link power budget* dengan panjang gelombang 1550 nm yang digunakan untuk arah transmisi *downstream* untuk *video broadcast* dan *video conference* perbedaan parameternya adalah rugi serat optik (α_f) pada

panjang gelombang 1550 nm adalah sebesar 0,19 dB/km. Sumber optik yang digunakan pada transmisi *downstream* untuk *video broadcast* dan *video conference* dari OLT digunakan *DFB Laser* yang dapat memancarkan daya (P_s) sebesar 7,0 dBm dari OLT dan detektor optik memiliki sensitifitas sebesar -27 dBm (P_r) pada ONU.

Maka besar *power budget* (P_t) untuk pelanggan terjauh (6,20138 km) adalah :

$$\begin{aligned} P_t &= P_s - P_r \\ &= 7 \text{ dBm} - (-27 \text{ dBm}) \\ &= 34 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Total optical power loss atau redaman total pada jaringan :

$$\begin{aligned} \alpha_{tot} &= (L \cdot \alpha_{serat}) + (N_c \cdot \alpha_{konektor}) + (N_s \cdot \alpha_{splice}) + S + D + WDM_{coupler} \\ &= (6,21038 \cdot 0,19) + (2 \cdot 0,2) + (3 \cdot 0,1) + 0 + 0,05 + (2 \cdot 0,4) \\ &= 3,9299 \end{aligned}$$

Margin Sistem :

$$\begin{aligned} M &= (P_s - P_r) - \alpha_{tot} - 3 \\ &= 34 - 3,9299 - 3 \\ &= 27,0701 \end{aligned}$$

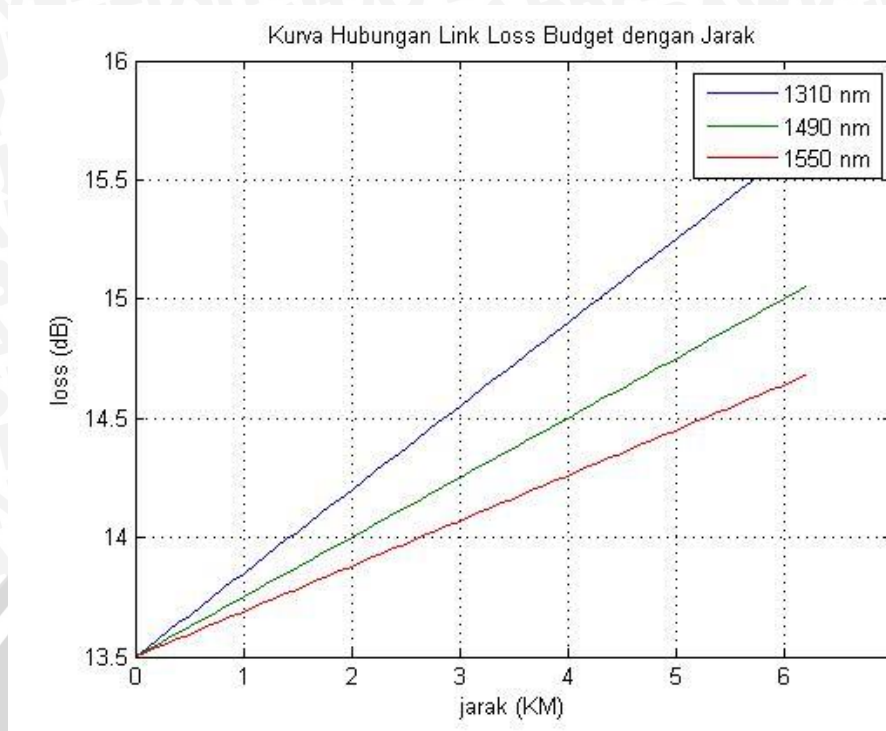
Margin sistem masih diatas nol, maka jaringan masih memenuhi kelayakan operasi. Untuk hasil perhitungan lengkap *link power budget* per pelanggan dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.3. Jumlah margin sistem untuk setiap panjang gelombang

	Panjang Gelombang (nm)		
Parameter	1310 nm (<i>downstream</i>)	1490 nm (<i>upstream</i>)	1550 nm
P_t	29,5 dBm	20 dBm	34 dBm
α_{tot}	3,9736	3,10259	3,9299
M	22,52636	13,8974	27,0701

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2011)

Untuk kurva hubungan *link loss budget* dengan jarak dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.3. Kurva karakteristik hubungan *link loss budget* dengan jarak.

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2011)

4.4. Perhitungan *Rise Time Budget*

Analisis *rise time budget* diketahui untuk mengetahui kapasitas informasi maksimum dari link. Analisis juga dilakukan pada 3 panjang gelombang yang berbeda.

4.4.1. *Rise Time Budget* pada 1310 nm

Untuk analisis *rise time budget* pada panjang gelombang 1310 nm digunakan komponen dengan parameter link sebagai berikut :

- *Rise time* dan lebar spektrum sumber optik pada ONU sebesar 0,25 ns dan 2,5 nm
- *Rise time* detektor optik pada OLT sebesar 0,5 ns
- Serat optik yang digunakan berjenis *single mode fiber Draka Enhanced Single Mode Optical Fibre (ESMOF) G.652.D* dengan indeks bias inti sebesar (n_1) 1,467 dan indeks bias selubung (n_2) sebesar 1,486, jari- jari inti (a) sebesar 0,5 μm dan koefisien dispersi bahan sebesar 0,085 ps/nm.km.
- Koefisien PMD sebesar 0,06 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Langkah pertama dalam analisis *rise time budget* adalah dengan menghitung dispersi intramodal yang terdiri dari dispersi khromatis dan dispersi pandu gelombang. Untuk dispersi khromatis dengan jarak terjauh (6,21038 km) dengan :

$$\begin{aligned}\tau_m &= t_{dm} \times \Delta\lambda \times D \\ &= 0,085 \times 2,5 \times 6,21038 \\ &= 1,3197 \text{ ps}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai dispersi pandu gelombang melalui perhitungan berikut, selisih indeks bias:

$$\begin{aligned}\Delta_s &= \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \\ &= \frac{1,486 - 1,467}{1,486} = 12,78 \cdot 10^{-3}\end{aligned}$$

Frekuensi ternormalisasi :

$$\begin{aligned}v &= \frac{2\pi}{\lambda_0} a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2\Delta_s} \\ &= \frac{2,314}{1310 \cdot 10^{-9}} 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,467 \cdot \sqrt{2 \cdot 12,78 \cdot 10^{-3}} \\ &= 5,6217 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Koefisien dispersi :

$$\begin{aligned}|D_w| &= \frac{4(1 - \ln v)}{v^2} \\ &= \frac{4(1 - \ln 5,6217)}{(5,6217^2)} \\ &= 0,092\end{aligned}$$

Maka, dispersi pandu gelombang sebesar :

$$\begin{aligned}\tau_w &= \frac{D}{c \lambda_0} (n_1 - n_2) D_w \Delta\lambda \\ &= \frac{6,21038 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1310 \cdot 10^{-9}} (1,486 - 1,467) \cdot 0,092 \cdot 2,5 \cdot 10^{-9} \\ &= 0,0276 \cdot 10^{-9} \\ &= 0,0276 \text{ ns}\end{aligned}$$

Total nilai dispersi intramodal adalah :

$$\begin{aligned}\tau_{intra} &= \tau_m + \tau_w \\ &= 1,3197 \text{ ps} + 27,6 \text{ ps} \\ &= 28,9424 \text{ ps}\end{aligned}$$

Besar PMD adalah sebesar 0,06 ps/ $\sqrt{\text{km}}$, sehingga τ_{PMD} pada jarak terjauh (6,21038 km) :

$$\begin{aligned}\tau_{PMD} &= 0,06ps/\sqrt{6,21038} \\ &= 0,01495 \text{ ps}\end{aligned}$$

Total *rise time budget* pada panjang gelombang 1310 nm :

$$t_{sys} = (t_{Tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{intra}^2 + t_{PMD}^2 + t_{Rx}^2)^{1/2}$$

Sehingga total *rise time budget* adalah sebesar :

$$\begin{aligned}t_{sys} &= (0,25^2 + 0^2 + 0,0289^2 + 0,000149^2 + 0,5^2)^{1/2} \\ &= 0,559 \text{ ns}\end{aligned}$$

Karena jaringan menggunakan format NRZ, besar laju bit maksimum adalah sebesar :

$$\begin{aligned}B_R &= \frac{0,7}{\tau_{sys}} \\ &= 0,7/0,559 \\ &= 1,252 \text{ Gbps}\end{aligned}$$

Laju bit maksimum masih memenuhi kebutuhan bit rate *upstream* sebesar 1,244 Gbps.

4.4.2. *Rise Time Budget* pada 1490 nm

Koefisien dispersi bahan pada serat optik ESMFO dengan panjang gelombang 1490 nm adalah sebesar 14 ps/nm.km. sumber optik pada OLT memiliki *rise time* sebesar 0,5 ns, sedangkan detektor optik pada ONU memiliki *rise time* sebesar 0,5 ns. Dengan menggunakan metode analisis *rise time budget* yang sama pada panjang gelombang 1310 nm maka dispersi khromatis dengan jarak terjauh (6,21038 km) adalah sebesar :

$$\begin{aligned}\tau_m &= t_{dm} \times \Delta\lambda \times D \\ &= 14 \times 2,5 \times 6,21038 \\ &= 217,3633 \text{ ps}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai dispersi pandu gelombang melalui perhitungan berikut, selisih indeks bias:

$$\begin{aligned}\Delta_s &= \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \\ &= \frac{1,486 - 1,467}{1,486} = 12,78 \cdot 10^{-3}\end{aligned}$$

Frekuensi ternormalisasi :

$$\begin{aligned} v &= \frac{2\pi}{\lambda_0} a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2\Delta_s} \\ &= \frac{2.3.14}{1490.10^{-9}} 0,5.10^{-6} \cdot 1,467 \cdot \sqrt{2.12.78.10^{-3}} \\ &= 4,9425 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Koefisien disperse :

$$\begin{aligned} |D_w| &= \frac{4(1 - \ln v)}{v^2} \\ &= \frac{4(1 - \ln 4,49425)}{(4,49425^2)} \\ &= 0,118 \end{aligned}$$

Maka, dispersi pandu gelombang sebesar :

$$\begin{aligned} \tau_w &= \frac{D}{c \lambda_0} (n_1 - n_2) D_w \Delta_\lambda \\ &= \frac{6.21038.10^3}{3.10^8 \cdot 1490.10^{-9}} (1,486 - 1,467) \cdot 0,118 \cdot 2,5.10^{-9} \\ &= 0,07782.10^{-9} \\ &= 0,07782 \text{ ns} \end{aligned}$$

Total nilai dispersi intramodal adalah :

$$\begin{aligned} \tau_{intra} &= \tau_m + \tau_w \\ &= 217,3633 \text{ ps} + 77,82 \text{ ps} \\ &= 295,2361 \text{ ps} \end{aligned}$$

Total *rise time budget* pada panjang gelombang 1310 nm :

$$t_{sys} = (t_{Tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{intra}^2 + t_{PMD}^2 + t_{Rx}^2)^{1/2}$$

Sehingga total *rise time budget* adalah sebesar :

$$\begin{aligned} t_{sys} &= (0,5^2 + 0^2 + 0,29523^2 + 0,000149^2 + 0,5^2)^{1/2} \\ &= 0,266 \text{ ns} \end{aligned}$$

Karena jaringan menggunakan format NRZ, besar laju bit maksimum adalah sebesar :

$$\begin{aligned} B_R &= \frac{0,7}{\tau_{sys}} \\ &= 0,7/0,266 \\ &= 2,631 \text{ Gbps} \end{aligned}$$

Laju bit maksimum masih memenuhi kebutuhan bit rate *downstream* sebesar 2,488 Gbps.

4.4.3. Rise Time Budget pada 1550 nm

Koefisien dispersi bahan pada serat optik ESMFO dengan panjang gelombang 1550 nm adalah sebesar 18 ps/nm.km. Sumber optik pada OLT untuk layanan *video broadcast* dan *video conference* memiliki *rise time* sebesar 0,12 ns, sedangkan detektor optik pada ONU untuk layanan *video broadcast* dan *video conference* memiliki *rise time* sebesar 0,4 ns. Dengan menggunakan metode analisis *rise time budget* yang sama dengan dua panjang gelombang sebelumnya, maka dispersi khromatis dengan jarak terjauh (6,21038 km) adalah sebesar :

$$\begin{aligned}\tau_m &= t_{dm} \times \Delta_\lambda \times D \\ &= 18 \times 2,5 \times 6,21038 \\ &= 279,46 \text{ ps}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai dispersi pandu gelombang melalui perhitungan berikut, selisih indeks bias:

$$\begin{aligned}\Delta_s &= \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \\ &= \frac{1,486 - 1,467}{1,486} = 12,78 \cdot 10^{-3}\end{aligned}$$

Frekuensi ternormalisasi :

$$\begin{aligned}v &= \frac{2\pi}{\lambda_0} a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2\Delta_s} \\ &= \frac{2,314}{1550 \cdot 10^{-9}} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,467 \cdot \sqrt{2 \cdot 12,78 \cdot 10^{-3}} \\ &= 4,7512 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Koefisien disperse :

$$\begin{aligned}|D_w| &= \frac{4(1 - \ln v)}{v^2} \\ &= \frac{4(1 - \ln 4,7512)}{(4,7512)^2} \\ &= 0,098\end{aligned}$$

Maka, dispersi pandu gelombang sebesar :

$$\begin{aligned}\tau_w &= \frac{D}{c \lambda_0} (n_1 - n_2) D_w \Delta_\lambda \\ &= \frac{6,21038 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1550 \cdot 10^{-9}} (1,486 - 1,467) \cdot 0,098 \cdot 2,5 \cdot 10^{-9} \\ &= 0,06217 \cdot 10^{-9}\end{aligned}$$

$$= 0,06217 \text{ ns}$$

Total nilai dispersi intramodal adalah :

$$\begin{aligned} \tau_{intra} &= \tau_m + \tau_w \\ &= 279,46 \text{ ps} + 62,17 \text{ ps} \\ &= 341,63 \text{ ps} \end{aligned}$$

Total *rise time budget* pada panjang gelombang 1310 nm :

$$t_{sys} = (t_{Tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{intra}^2 + t_{PMD}^2 + t_{Rx}^2)^{1/2}$$

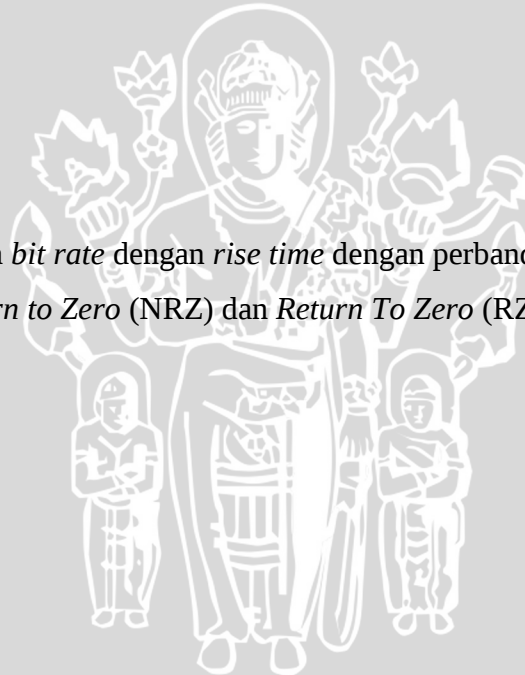
Sehingga total *rise time budget* adalah sebesar :

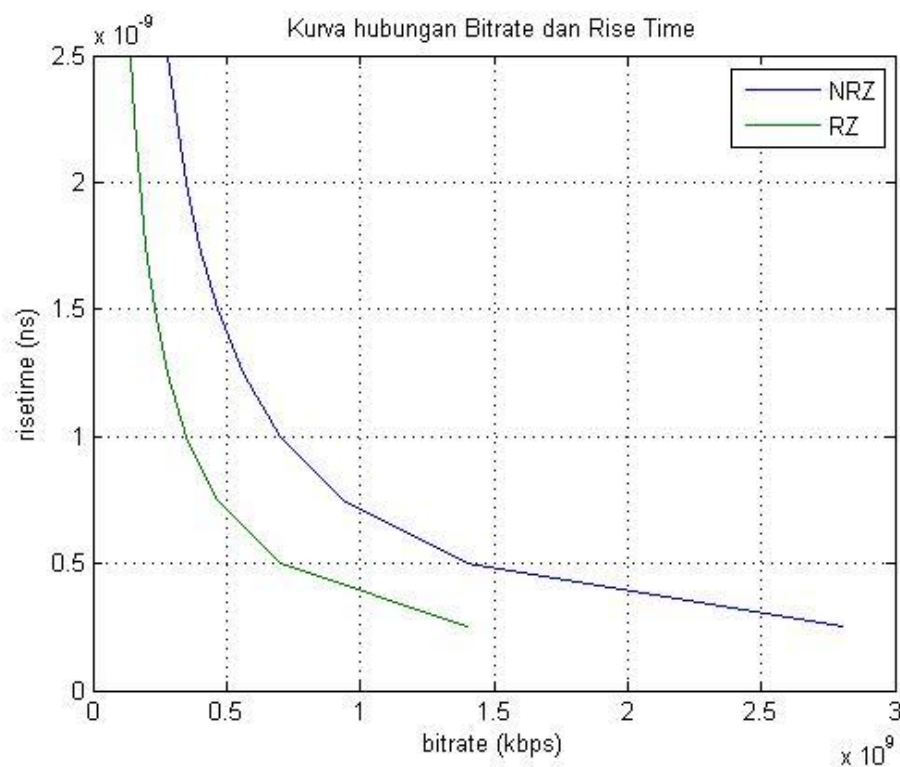
$$\begin{aligned} t_{sys} &= (0,12^2 + 0^2 + 0,34163^2 + 0,000149^2 + 0,4)^{1/2} \\ &= 0,539 \text{ ns} \end{aligned}$$

Karena jaringan menggunakan format NRZ, besar laju bit maksimum adalah sebesar :

$$\begin{aligned} B_R &= \frac{0,7}{\tau_{sys}} \\ &= 0,7/0,539 \\ &= 1,297 \text{ Gbps} \end{aligned}$$

Untuk kurva hubungan *bit rate* dengan *rise time* dengan perbandingan format pengkodean *Non Return to Zero* (NRZ) dan *Return To Zero* (RZ) dapat dilihat pada gambar berikut :





Gambar 4.4. Kurva karakteristik hubungan *Bit Rate* dengan *Rise Time*

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2011)

4.5. Perhitungan *Delay* dan *Throughput* Jaringan.

Pada perhitungan *delay* jaringan, menggunakan metode enkapsulasi *Asynchronous Transfer Module* (ATM) untuk pengiriman paket informasi layanan suara, data, dan video. Layanan video dibedakan menjadi dua yaitu layanan video yang proses pengirimannya berbentuk paket-paket informasi dengan menggunakan metode enkapsulasi ATM dan layanan video yang proses pengirimannya berbentuk sinyal spektrum *Radio Frequency* (*RF Spectrum Signal*).

Dalam perhitungan *delay* jaringan dilakukan perhitungan yang dimulai dari server layanan sampai ONT meliputi perhitungan *delay* paketisasi, *delay switching* (SD), *delay transmisi* (TD) dan *delay depaketisasi* (DD). Adapun asumsi-asumsi yang digunakan adalah:

1. Pada perencanaan ini diasumsikan informasi (suara, data, dan video) dikirimkan dari server layanan ke ONT yang berada di Rumah Kabinet, sehingga performansi jaringan hanya dalam arah *downstream*.

2. Pada perencanaan ini diasumsikan *server* layanan, *ATM Switch*, dan *OLT* berada pada satu lokasi yaitu di *Central Office* Malang-Kota. Jarak *server* layanan dengan *ATM Switch* diasumsikan sebesar 100 m dan jarak *ATM switch* dengan *OLT* sebesar 10 m.
3. Pada perencanaan ini diasumsikan digunakan layanan video yang proses pengirimannya berbentuk paket-paket informasi dengan menggunakan metode enkapsulasi ATM.

Dalam perhitungan *delay* jaringan, jenis *ATM Adaptation Layer* (AAL) untuk setiap layanan harus ditentukan terlebih dahulu, yaitu sebagai berikut :

- Layanan video
Menggunakan *codec* MPEG-2 dengan panjang paket sebesar 1356 *byte* dan jenis AAL yang digunakan adalah AAL 5.
- Layanan data
Menggunakan panjang maksimum dari segmen TCP sebesar 1452 *byte* dan jenis AAL yang digunakan adalah AAL 5.
- Layanan suara
Menggunakan *codec* G.711 PCM dengan *bit rate* 64 kbps dan *frame rate* 20 ms, sehingga panjang paket suara yang ditransmisikan 160 *byte* dan jenis AAL yang digunakan adalah AAL 2.

Proses pemetaan ke dalam bentuk sel ATM adalah sebagai berikut :

- Layanan Video
CPCS PDU = CPCS SDU + trailer + PAD
= 1356 *byte* + 8 *byte* + 0 *byte*
= 1364 *byte*

$$\Sigma \text{ATM payload} = \frac{1364 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} = 28$$

- Layanan Data
CPCS PDU = CPCS SDU + trailer + PAD
= 1452 *byte* + 8 *byte* + 28 *byte*
= 1488 *byte*

$$\Sigma \text{ATM payload} = \frac{1488 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} = 31$$

- Layanan Suara

$$\begin{aligned}\text{CPCS PDU} &= \text{CPS packet payload} + \text{CPS packet header} + \text{start field} + \\ \text{PAD} \\ &= 160 \text{ byte} + 3 \text{ byte} + 1 \text{ byte} + 28 \\ &= 192 \text{ byte}\end{aligned}$$

$$\Sigma \text{ATM payload} = \frac{192 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} = 4$$

Dalam perhitungan *delay* jaringan dilakukan perhitungan untuk layanan suara dengan jarak 6,21038 km, perhitungannya adalah sebagai berikut :

- **Perhitungan *delay* paketisasi**

- a. Dengan panjang paket suara = 160 *byte*, dan pada server layanan data menggunakan kecepatan 2488 Mbps, maka perhitungan *delay* paketisasi sesuai dengan persamaan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}W_{sel}(\text{selATM}) &= \frac{160 \text{ byte} + \text{CPS packet header} + \text{Starfield} + \text{PAD}}{48 \text{ byte}} \\ &= \frac{160 \text{ byte} + 3 \text{ byte (CPS packet header)} + 1 \text{ byte (starfield)} + 28 \text{ byte (PAD)}}{48 \text{ byte/sel}} \\ &= 4 \text{ sel ATM}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{PD} &= \frac{W_{sel} \times 53 \text{ byte/sel} \times 8 \text{ bit/byte}}{\text{kecepatan transmisi}} \\ &= \frac{4 \text{ sel} \times 53 \text{ byte/sel} \times 8 \text{ bit/byte}}{2488 \times 10^6} = 0,68167 \cdot 10^{-6} \text{ s}\end{aligned}$$

- b. Dengan panjang paket data = 1452 *byte*, dan pada server layanan data menggunakan kecepatan 2488 Mbps, maka perhitungan *delay* paketisasi sesuai dengan persamaan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}W_{sel}(\text{selATM}) &= \frac{\text{CPCS SDU} + \text{trailer} + \text{PAD}}{48 \text{ byte}} \\ &= \frac{1452 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 28 \text{ byte}}{48 \text{ byte/sel}} \\ &= 31 \text{ sel ATM}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{PD} &= \frac{W_{sel} \times 53 \text{ byte/sel} \times 8 \text{ bit/byte}}{\text{kecepatan transmisi}} \\ &= \frac{31 \text{ sel} \times 53 \text{ byte/sel} \times 8 \text{ bit/byte}}{2488 \times 10^6} = 5,28295 \cdot 10^{-6} \text{ s}\end{aligned}$$

- c. Dengan panjang paket video = 1356 *byte*, dan pada server layanan data menggunakan kecepatan 2488 Mbps, maka perhitungan *delay* paketisasi sesuai dengan persamaan adalah sebagai berikut :

$$W_{sel}(\text{selATM}) = \frac{\text{CPCS SDU} + \text{trailer} + \text{PAD}}{48 \text{ byte}}$$

$$= \frac{1356 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 0 \text{ byte}}{48 \text{ byte/sel}}$$

$$= 28 \text{ sel ATM}$$

$$\begin{aligned} PD &= \frac{W_{\text{sel}} \times 53 \text{ byte/sel} \times 8 \text{ bit/byte}}{\text{kecepatan transmisi}} \\ &= \frac{28_{\text{sel}} \times 53 \text{ byte/sel} \times 8 \text{ bit/byte}}{2488 \times 10^6} = 4,7717 \cdot 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

- **Perhitungan delay transmisi**

Delay transmisi sesuai dengan konfigurasi jaringan yang direncanakan ada tiga, yaitu *delay* transmisi antara *server* layanan suara dengan ATM switch, *delay* transmisi antara ATM switch dengan OLT, dan *delay* transmisi antara OLT dengan ONT. Transmisi antara server layanan suara dengan ATM switch menggunakan serat optik yang berkecepatan 2,488 Gbps. Delay propagasi pada serat optik sebesar $5 \cdot 10^{-6}$ s/km. Dengan menggunakan persamaan (3.6), maka nilai *delay* transmisi dengan jarak OLT-ONT sebesar 6,21038 km adalah sebagai berikut :

$$TD = 5 \times 10^{-6} \times d + \frac{I_{\text{ATM}} \times (8 \frac{\text{bit}}{\text{byte}})}{C}$$

Dengan :

TD = Transmission Delay (s)

d = jarak transmisi (m)

I_{ATM} = panjang sel ATM (byte)

C = kecepatan transmisi (bps)

$$TD (\text{total}) = TD_1 + TD_2 + TD_3$$

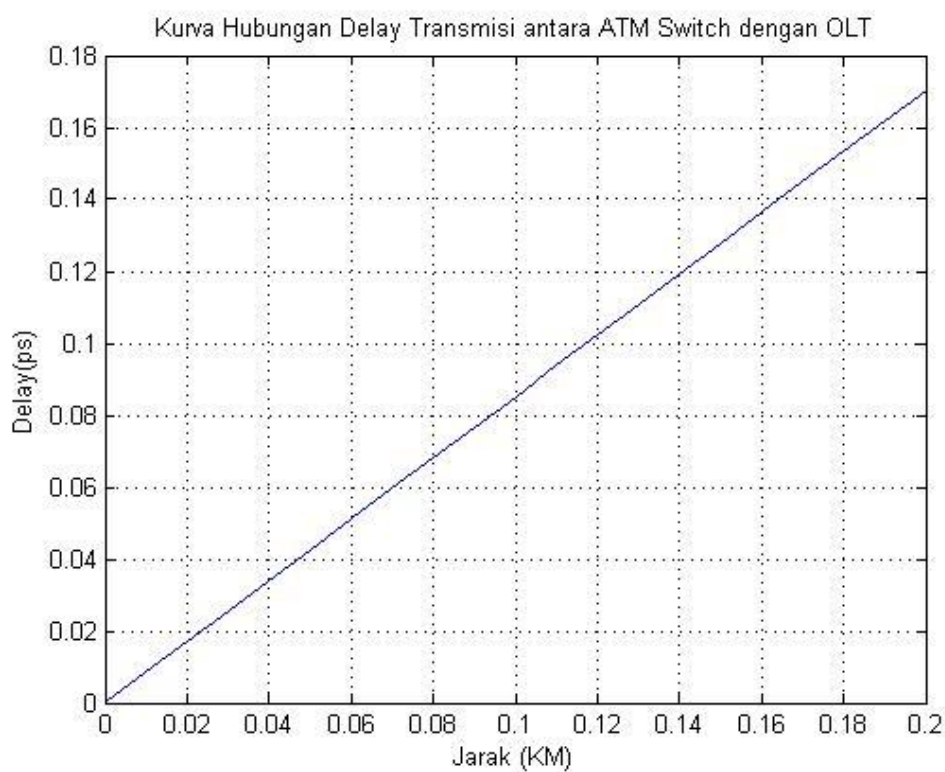
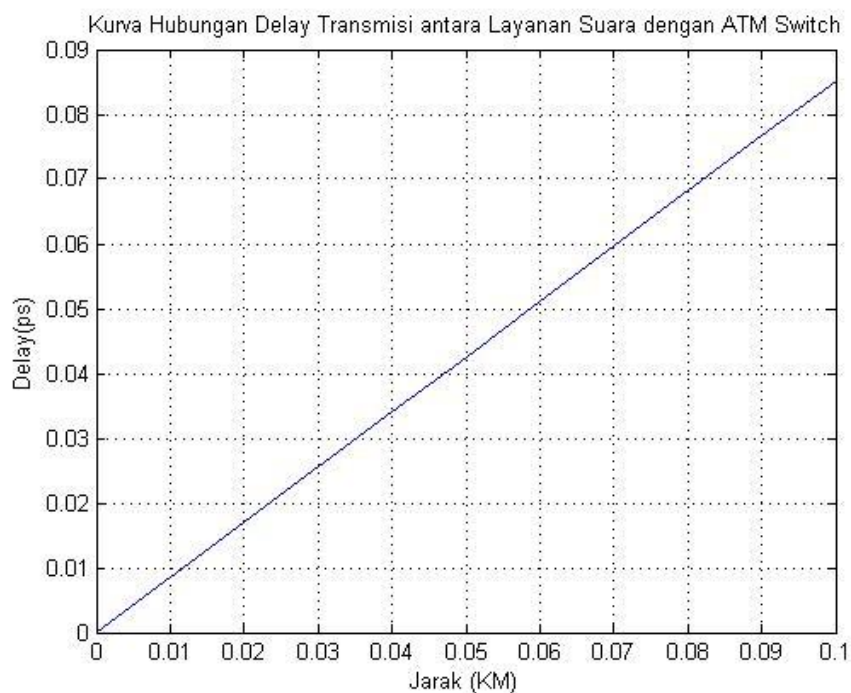
TD 1 = Delay propagasi antara server layanan dengan ATM Switch (100 m)

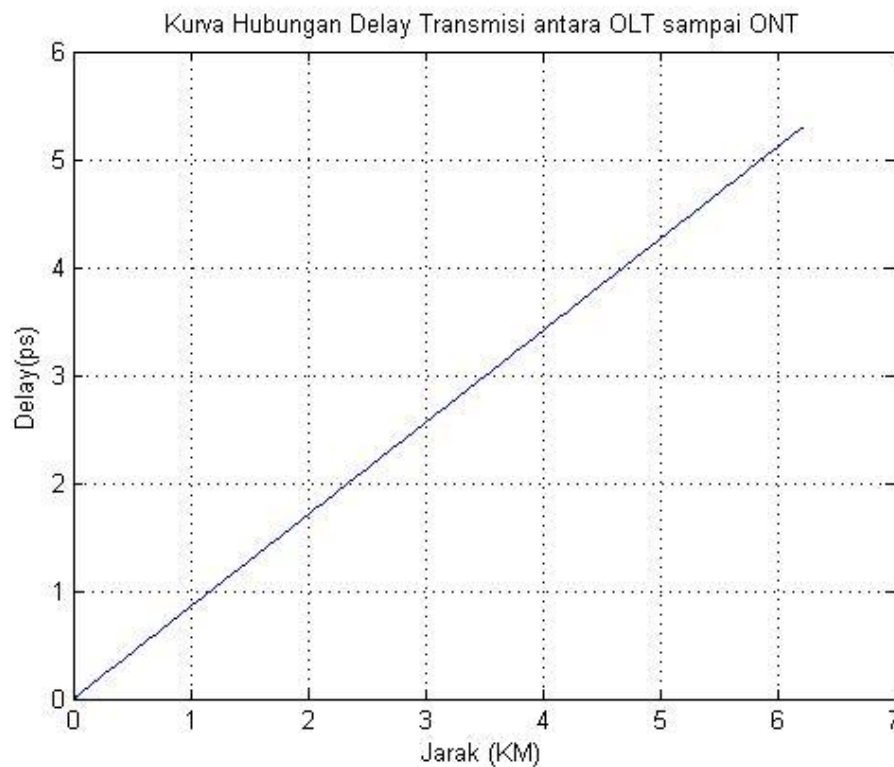
TD 2 = Delay propagasi antara ATM Switch dengan OLT (10 m)

TD 3 = Delay propagasi antara OLT dengan TKO (6,21038 km)

$$\begin{aligned} TD &= \left((5 \cdot 10^{-6} \times 10^{-1}) + \frac{53 \times 8}{2488 \cdot 10^6} \right) + \left((5 \cdot 10^{-6} \times 10^{-2}) + \frac{53 \times 8}{2488 \cdot 10^6} \right) \\ &\quad + \left((5 \cdot 10^{-6} \times 6,21038) + \frac{53 \times 8}{2488 \cdot 10^6} \right) \\ &= 6,7041 \cdot 10^{-7} + 2,2041 \cdot 10^{-7} + 3,1222 \cdot 10^{-5} \\ &= 3,21131 \cdot 10^{-5} \text{ S} \end{aligned}$$

Hubungan antara *delay* transmisi dengan jarak dapat dilihat pada gambar di bawah ini :





Gambar 4.5. Kurva karakteristik hubungan *delay transmisi* dengan jarak.

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2011)

- **Perhitungan *delay switching***

Pada konfigurasi jaringan dalam perencanaan ini, *delay switching* terdapat di ATM switch dan di OLT. *Delay* ini memiliki 2 komponen *delay* jaringan yaitu *fixed switching delay* dan *queuing delay*. Perhitungan *fixed switching delay* sesuai dengan persamaan 3.7 adalah sebagai berikut :

$$FD = \frac{I_{ATM}}{C} = \frac{53 \times 8}{2488 \times 10^6} = 1,704 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

- Dengan panjang paket suara dengan format G.711 PCM 64 = 160 byte, jumlah sel = 4 sel (212 byte) dan kecepatan transmisi *downstream* dari server ke layanan suara ATM switch = 2,488 Gbps maka perhitungan *queuing delay* sesuai dengan persamaan (3.9) adalah sebagai berikut :

$$\text{Laju kedatangan paket data : } \lambda = \frac{1}{0,68167 \cdot 10^{-6}} = 1466985,49 \text{ paket/s}$$

$$\text{Laju pelayanan switch } (\mu) = \frac{c}{I_{ATM}} = \frac{2488 \cdot 10^6}{53 \text{ byte} \times 8 \text{ bit/byte}} = 5867924,53 \text{ paket/s}$$

$$\text{Delay Antrian (QD)} = \frac{\lambda/\mu}{\mu - \lambda} = \frac{1466985,49 / 5867924,53}{5867924,53 - 1466985,49} + \frac{1}{5867924,53}$$

$$= 2,27224.10^{-7} \text{ s}$$

Besar *delay switching* (SD) = FD + QD

$$= 1,704.10^{-7} + 2,27224.10^{-7}$$

$$= 3,9762.10^{-7}$$

Dengan perhitungan yang sama dapat diperoleh besarnya nilai *delay switching* untuk layanan suara pada OLT sebesar = $3,9762.10^{-7} \text{ s}$

- b. Dengan panjang paket data = 1452 *byte*, jumlah sel = 31 sel (1643 *byte*) dan kecepatan transmisi *downstream* dari server ke layanan suara ATM switch = 2,488 Gbps maka perhitungan *queuing delay* sesuai dengan persamaan (3.9) adalah sebagai berikut :

$$\text{Laju kedatangan paket data : } \lambda = \frac{1}{5,28295.10^{-6}} = 189288,18 \text{ paket/s}$$

$$\text{Laju pelayanan switch } (\mu) = \frac{c}{I_{ATM}} = \frac{2488.10^6}{53 \text{ byte} \times 8 \text{ bit/byte}} = 5867924,53 \text{ paket/s}$$

$$\text{Delay Antrian (QD)} = \frac{\lambda/\mu}{\mu-\lambda} = \frac{189288,18 / 5867924,53}{5867924,53 - 189288,18} + \frac{1}{5867924,53}$$

$$= 1,76098.10^{-7} \text{ s}$$

Besar *delay switching* (SD) = FD + QD

$$= 1,704.10^{-7} + 1,76098.10^{-7}$$

$$= 3,46498.10^{-7}$$

Dengan perhitungan yang sama dapat diperoleh besarnya nilai *delay switching* pada OLT sebesar = $3,46498.10^{-7} \text{ s}$

- c. Dengan panjang paket video dengan *codec* MPEG-2 = 1356 *byte*, jumlah sel = 8 sel (424 *byte*) dan kecepatan transmisi *downstream* dari server ke layanan suara ATM switch = 2,488 Gbps maka perhitungan *queuing delay* sesuai dengan persamaan (3.9) adalah sebagai berikut :

$$\text{Laju kedatangan paket data : } \lambda = \frac{1}{1,36334.10^{-6}} = 209568,73 \text{ paket/s}$$

$$\text{Laju pelayanan switch } (\mu) = \frac{c}{I_{ATM}} = \frac{2488.10^6}{53 \text{ byte} \times 8 \text{ bit/byte}} = 5867924,53 \text{ paket/s}$$

$$\text{Delay Antrian (QD)} = \frac{\lambda/\mu}{\mu-\lambda} = \frac{209568,73 / 5867924,53}{5867924,53 - 209568,73} + \frac{1}{5867924,53}$$

$$= 1,76729.10^{-7} \text{ s}$$

Besar *delay switching* (SD) = FD + QD

$$= 1,704.10^{-7} + 1,76729.10^{-7}$$

$$= 3,47129.10^{-7}$$

Dengan perhitungan yang sama dapat diperoleh besarnya nilai *delay switching* pada OLT sebesar = $3,47129.10^{-7}$ s

- **Perhitungan Delay Depaketisasi**

- a. Dengan panjang paket suara dengan format G.711 PCM 64 = 160 byte, jumlah sel = 4 sel (212 byte) dan kecepatan transmisi *downstream* sebesar 2,488 Gbps maka perhitungan *delay* depaketisasi sesuai dengan persamaan (3.10)

$$DD = \frac{nxI_{ATM}}{C} = \frac{4 \times (53 \times 8)}{2488.10^6} = 6,8167.10^{-7} \text{ s}$$

- b. Dengan panjang paket data maksimum dari segmen TCP sebesar 1452 byte, jumlah sel = 31 sel (1643 byte) dan kecepatan transmisi *downstream* sebesar 2,488 Gbps maka perhitungan *delay* depaketisasi sesuai dengan persamaan (3.10)

$$DD = \frac{nxI_{ATM}}{C} = \frac{31 \times (53 \times 8)}{2488.10^6} = 5,28295.10^{-6} \text{ s}$$

- c. Dengan panjang paket video dengan *codec* MPEG-2 sebesar 1356 byte, jumlah sel = 28 sel (1484 byte) dan kecepatan transmisi *downstream* sebesar 2,488 Gbps maka perhitungan *delay* depaketisasi sesuai dengan persamaan (3.10)

$$DD = \frac{nxI_{ATM}}{C} = \frac{28 \times (53 \times 8)}{2488.10^6} = 4,7717.10^{-6} \text{ s}$$

- **Perhitungan Delay Jaringan**

Delay jaringan merupakan jumlah dari *delay* paketisasi, *delay* transmisi, *delay switching*, *delay* depaketisasi. Perhitungan *delay* dimulai dari server layanan (suara, data, dan video) sampai dengan ONT yang berada pada sisi pelanggan. Dengan jarak 6,21038 km maka,

- a. Perhitungan *delay* jaringan untuk layanan suara adalah sebagai berikut :

$$\text{Delay Jaringan} = PD + TD + SD + DD =$$

$$\text{Total} = 0,68167.10^{-6} + 3,21131.10^{-5} + 3,9762.10^{-7} + 6,8167.10^{-7}$$

$$= 3,387406. 10^{-5} \text{ s}$$

- b. Perhitungan *delay* jaringan untuk layanan data adalah sebagai berikut :

$$\text{Delay Jaringan} = \text{PD} + \text{TD} + \text{SD} + \text{DD}$$

$$\text{Total} = 5,28295. 10^{-6} + 3,21131. 10^{-5} + 3,46498. 10^{-7} + 5,28295. 10^{-6}$$

$$= 4,30253 10^{-5} \text{ s}$$

- c. Perhitungan *delay* jaringan untuk layanan video adalah sebagai berikut :

$$\text{Delay Jaringan} = \text{PD} + \text{TD} + \text{SD} + \text{DD}$$

$$\text{Total} = 1,36334. 10^{-6} + 4,7717. 10^{-6} + 3,47129. 10^{-7} + 4,7717 10^{-6}$$

$$= 4,20035. 10^{-5} \text{ s}$$

- **Throughput Jaringan FTTZ**

Throughput adalah banyaknya paket yang terkirim dengan benar per satuan waktu pada proses pentransmisian. Dalam perhitungan *throughput* jaringan dilakukan perhitungan dengan nilai $p_b = 10^{-10}$.

- a. Untuk layanan suara, perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P = (L + L') \times p_b = 192 \times 8 \times 10^{-10} = 1,536 \times 10^{-7}$$

Dengan kecepatan *downstream* 2,488 Gbps, propagasi pada serat optik adalah sebesar $5 \times 10^{-6} \text{ s/km}$, maka nilai t_{out} sesuai dengan persamaan (3.16) adalah sebagai berikut :

$$t_{out} = (5. 10^{-6} \times d) + \left[\frac{(L + L')}{c} \right]$$

$$t_{out} = (5 \times 10^{-6} \times 6,21038) + \left(\frac{192 \times 8}{2488 \times 10^6} \right)$$

$$t_{out} = 3,16692. 10^{-5}$$

Selanjutnya nilai t_1 dan α sesuai dengan persamaan (3.13) dan (3.14) adalah sebagai berikut :

$$t_1 = \frac{(L + L')}{c} = \frac{192 \times 8}{2488 \times 10^6} = 6,1736. 10^{-7} ;$$

$$\alpha = 1 + \frac{t_{out}}{t_1} = 1 + \left[\frac{3,16692. 10^{-5}}{6,1736. 10^{-7}} \right] = 51,2975$$

Perhitungan *throughput* sesuai dengan persamaan (3.12) sebesar :

$$\lambda = \frac{1}{t_v} = \frac{(1-p)}{t_1[1+(a-1)p]}$$

$$\lambda = \frac{(1 - 1,536 \times 10^{-7})}{6,1736 \cdot 10^{-7} [1 + (51,2975 - 1)1,536 \times 10^{-7}]} = 1619787,678 \text{ paket/s}$$

- b. Untuk layanan data, perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P = (L+L') \times pb = 1488 \times 8 \times 10^{-10} = 1,1904 \times 10^{-6}$$

Dengan kecepatan *downstream* 2,488 Gbps, *delay* propagasi pada serat optik adalah sebesar 5×10^{-6} s/km , maka nilai t_{out} sesuai dengan persamaan (3.16) adalah sebagai berikut :

$$t_{out} = (5 \cdot 10^{-6} \times d) + \left[\frac{(L+L')}{c} \right]$$

$$t_{out} = (5 \times 10^{-6} \times 6,21038) + \left(\frac{1488 \times 8}{2488 \times 10^6} \right)$$

$$t_{out} = 3,58364 \cdot 10^{-5}$$

Selanjutnya nilai t_1 dan a sesuai dengan persamaan (3.13) dan (3.14) adalah sebagai berikut :

$$t_1 = \frac{(L+L')}{c} = \frac{1488 \times 8}{2488 \times 10^6} = 4,78456 \cdot 10^{-7} ;$$

$$a = 1 + \frac{t_{out}}{t_1} = 1 + \left[\frac{3,58364 \cdot 10^{-5}}{4,78456 \cdot 10^{-7}} \right] = 74,9$$

Perhitungan *throughput* sesuai dengan persamaan (3.12) sebesar :

$$\lambda = \frac{1}{t_v} = \frac{(1-p)}{t_1[1+(a-1)p]}$$

$$\lambda = \frac{(1 - 1,1904 \times 10^{-6})}{4,78456 \cdot 10^{-7} [1 + (74,9 - 1)1,1904 \times 10^{-6}]} = \frac{0,99999}{4,78498 \cdot 10^{-7}} = 2089851,6 \text{ paket/s}$$

- c. Untuk layanan video, perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P = (L+L') \times pb = 1364 \times 8 \times 10^{-10} = 1,0912 \times 10^{-6}$$

Dengan kecepatan *downstream* 2,488 Gbps, jarak *server* layanan video – ONT = 6,21038 km, *delay* propagasi pada serat optik adalah sebesar $5 \times$

10^{-6} s/km , maka nilai t_{out} sesuai dengan persamaan (3.16) adalah sebagai berikut :

$$t_{out} = (5 \cdot 10^{-6} \times d) + \left[\frac{(L+L')}{c} \right]$$

$$t_{out} = (5 \times 10^{-6} \times 6,21038) + \left(\frac{1364 \times 8}{2488 \times 10^6} \right)$$

$$t_{out} = 3,54377 \cdot 10^{-5}$$

Selanjutnya nilai t_1 dan a sesuai dengan persamaan (3.13) dan (3.14) adalah sebagai berikut :

$$t_1 = \frac{(L+L')}{c} = \frac{1364 \times 8}{2488 \times 10^6} = 4,38585 \cdot 10^{-6}$$

$$a = 1 + \frac{t_{out}}{t_1} = 1 + \left[\frac{3,58364 \cdot 10^{-5}}{4,38585 \cdot 10^{-6}} \right] = 9,17$$

Perhitungan *throughput* sesuai dengan persamaan (3.12) sebesar :

$$\lambda = \frac{1}{t_v} = \frac{(1-p)}{t_1 [1+(a-1)p]}$$

$$\lambda = \frac{(1-1,0912 \times 10^{-6})}{4,38585 \cdot 10^{-6} [1+(9,17-1)1,0912 \times 10^{-6}]} = 227981,14 \text{ paket/s}$$

e. Perhitungan efisiensi *throughput* jaringan (η)

Efisiensi *throughput* merupakan parameter untuk menjamin kualitas layanan dapat ditransmisikan dengan baik ke pelanggan. Berdasarkan persamaan (3.19) nilai efisiensi *throughput* jaringan untuk layanan video dengan kecepatan sistem 2,488 Gbps pada ONT adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\lambda \times L}{c} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{227981,14 \times 1356 \times 8}{2488 \times 10^6} \times 100\% = 99,4 \%$$

Dan efisiensi *throughput* untuk layanan data adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\lambda \times L}{c} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{2089851,6 \times 1452 \times 8 \times 28}{2488 \times 10^6} \times 100\% = 87,31 \%$$

Dan efisiensi *throughput* untuk layanan suara adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\lambda \times L}{c} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1619787,678 \times 160 \times 3 \times 1}{2488 \times 10^6} \times 100\% = 91,24 \%$$

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perencanaan jaringan yang telah dilakukan maka bisa diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Konfigurasi jaringan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah *fiber to the zone (FTTZ) point to point* dimana penempatan OLT di STO Malang Kota Stasiun Kota Baru, penempatan ODN melewati rel kereta api Jalan Trunojoyo, jalan Batanghari, hingga Jalan Soekarno Hatta menuju ke rumah cabinet di UPPTI Brawijaya. Penempatan ONT di UPPTI Brawijaya dikarenakan pusat server layanan *distance learning* berada di UPPTI Brawijaya, dan dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan kabel LAN menuju ke setiap fakultas. Perencanaan jaringan ini menggunakan Teknologi Jarlokaf GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) karena kemampuannya menyediakan bandwidth 2,488 Gbps untuk downstream dan 1,244 Gbps untuk upstream. GPON mempunyai 64 interface card dan dapat menampung 64 pelanggan, karena itulah Teknologi GPON paling cocok digunakan untuk perencanaan ini.
2. Pemilihan komponen yang sesuai dengan perencanaan ini adalah:
 - a. *Optical Line Terminal*
Menggunakan OLT Motorola AXS 2200 dengan GPON *Interface Cards* sebanyak 64 buah dan *bandwidth* downstream yang dapat dideliver sebesar 2,488 Gbps.
 - b. Untuk *transceiver* pada OLT yang digunakan adalah *transceiver* optic 1.55 μ m MQW-DFB *Laser Diode Module* untuk transmisi 2.5 Gbps dari Sumitomo *Electric Industries, Ltd.* Dari *data sheet* tersebut diketahui sumber optik yang digunakan yaitu jenis DFB LD SLT 4410 dan 4460, sehingga dapat diketahui beberapa parameter yang digunakan dalam

perhitungan *link power budget* dan *link rise time budget*, yaitu panjang gelombang yang digunakan adalah 1310 nm *transmitter*, 1490 nm *receiver*, daya pancar sumber optik min.-8 dBm dan *rise time* 0,5 ns, sensitifitas penerima -29 dBm dengan *rise time* 0,26 ns.

c. Serat Optik

Dalam perancangan ini dipilih serat optik *Draka Enhanced Single Mode Optical Fibre (ESMOF)*. Pada perencanaan ini menggunakan serat optik *single mode* karena disesuaikan dengan spesifikasi peralatan OLT dan *transceiver* optik, redaman yang dimiliki oleh serat *single mode* lebih kecil dibandingkan dengan serat optik *multi mode*.

d. Splicer

Penyambungan kabel di setiap 2 km dengan jarak maksimal pelanggan adalah 6,21038 km sehingga *splicer* yang digunakan sebanyak 3 buah dengan *insertion loss* (Ls) sebesar 0,1 dB per *splicer*.

e. WDM Coupler

Digunakan 2 buah perangkat *WDM coupler (L coupler)* dari Motorola's N1U-OM/OD Series untuk mengkombinasikan dan memisahkan panjang gelombang pada OLT dan ONU dengan *insertion loss* sebesar 0,4 dB.

f. Konektor

Untuk menyesuaikan dengan spesifikasi perangkat *transceiver*, maka konektor yang digunakan pada *transceiver* adalah tipe SC dengan *insertion loss* 0,3 dB. Pada perancangan ini digunakan 2 (dua) buah konektor SC yang ditempatkan pada OLT dan ONT.

g. Untuk spesifikasi *transceiver* optik yang digunakan pada ONU adalah Sumitomo Optical Transceiver Module SCM 7102-GC. Dari *data sheet* tersebut dapat dipilih sumber dan detektor optik yang digunakan yaitu jenis inGaAsp FP-LD dan inGaAs PIN-PD Daya pancar sumber optik min.0,5 dBm dan *rise time* 0,5 ns. Sensitifitas penerima min. -28 dBm dan *rise time* 0,5 ns. Lebar *spectrum transmitter* sebesar 2,5 nm, BER yang digunakan sebesar 10^{-10}

h. Spesifikasi Optical Network Unit (ONU)

Peletakkan ONU pada perencanaan FTTZ ini adalah di sebuah rumah kabinet di UPPTI Universitas Brawijaya. Adapun spesifikasi dari Motorola ONT 100GT2 GPON *interface* akan dapat dilihat pada lampiran. *Bandwidth* yang dapat di *deliver* adalah 2,5 Gbps untuk *downstream* dan 1,2 Gbps untuk *upstream*. Sementara panjang gelombang yang digunakan adalah sebagai berikut : 1490 nm untuk *voice/data receive*, 1550 nm untuk *video receive*, 1310 nm untuk *voice/data transmit*.

3. Berikut adalah kesimpulan performansi jaringan :
 - a. Dari perhitungan *power budget link* pada jarak 6,21038 km, margin sistem yang dihasilkan adalah sebesar 9,585 pada panjang gelombang 1310 nm, 12,747 pada panjang gelombang 1490 nm, dan 27,12 pada panjang gelombang 1550 nm. Nilai margin daya masih di atas 0 sehingga memenuhi syarat untuk kelayakan operasi
 - b. Dari perhitungan *rise time budget* pada jarak 6,21038 km, didapatkan laju bit maksimum sebesar 1,252 Gbps pada panjang gelombang 1310 nm, 2,631 Gbps pada panjang gelombang 1490 nm, dan 1,297 nm pada panjang gelombang 1550 nm. Nilai tersebut masih diatas laju informasi maksimum yang diharapkan untuk transmisi *upstream* 1,244 Gbps dan *downstream* 2,488 Gbps.
 - c. *Throughput* yang dihasilkan dengan asumsi *video conference*, layanan data internet serta jumlah pelanggan yang diakomodasi sebesar 20% untuk pelanggan yang mengakses layanan data internet secara bersamaan, dan 100% untuk pelanggan yang ingin mengakses *video conference* secara bersamaan adalah untuk kanal suara *throughput* yang dihasilkan sebesar 1619787,678 paket/sekon, untuk kanal data *throughput* yang dihasilkan sebesar 2089851,6 paket/sekon, untuk kanal video *throughput* yang dihasilkan sebesar 227981,14 paket/sekon.
 - f. Dari hasil perhitungan total *delay end to end* pada jarak 6,21038 km adalah $1,12538 \cdot 10^{-5}$ s atau $1,125 \cdot 10^{-3}$ ms dan jaringan masih memenuhi standar *delay* GPON rekomendasi ITU-T G.984.1 dibawah 1,5 ms dan standar layanan video di bawah 50 ms.

- g. *Bandwidth* yang dibutuhkan setiap pelanggan untuk layanan suara, data dan video adalah senilai 37, 412 Mbps untuk setiap jurusan, sedangkan *bandwidth* minimal layanan data dan suara yang didapatkan pelanggan bersama sebesar 10986 mahasiswa yang merupakan 25% dari total mahasiswa di Universitas Brawijaya adalah 256 kbps, sedangkan untuk *bandwidth* minimal layanan *video conference* yang didapatkan pelanggan bersama yaitu 100% dari jumlah total pelanggan yang berjumlah 64 jurusan adalah 2,256 Mbps.
- h. Besarnya laju bit maksimum yang dapat dilewatkan dengan jarak 6,21038 km adalah 1,252 Gbps untuk layanan *upstream* (suara,data,dan video), sedangkan untuk layanan *downstream* (suara,data) dan (video) adalah sebesar 2,631 Gbps dan 1,297 Gbps.
- i. Nilai *delay* jaringan maksimum untuk layanan suara sebesar 3,387406. 10^{-5} s, untuk layanan data sebesar 17,24219. 10^{-5} s dan untuk layanan video sebesar 1,12538. 10^{-5} s. Nilai efisiensi *throughput* untuk layanan suara sebesar 91,24 %, untuk layanan data sebesar 87,31 % dan untuk layanan video sebesar 99,4 %.

5.2. Saran

1. Perencanaan jaringan FTTZ ini bersifat terapan. Penekanan pembahasan adalah pada hal- hal teknis sehingga faktor- faktor non teknis seperti faktor ekonomis yang menyertakan biaya investasi, perhitungan *cash flow survey* kebutuhan pelanggan dan sebagainya diabaikan. Untuk penerapan lebih jauh perlu penelitian yang lebih mendetail mengenai faktor ekonomis dan faktor-faktor teknis yang terkait didalamnya.
2. Perencanaan jaringan FTTZ dalam skripsi ini dapat dikembangkan lagi dengan konfigurasi FTTB dari UPPTI menuju ke setiap jurusan, sehingga *bandwidth* yang didapatkan setiap pelanggan dapat jauh lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Downing, N. J, & Chatrand, Leo .2004. *Fiber Optics Communications*. English: Delmar Cengage Learning.

Utomo, P., Suprpto (2008). *Teknik Telekomunikasi. Jilid 1*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.

Agrawal, P. G. 2002. *Fiber-Optic Communication System*. New York: John Wiley & Sons, inc.

Anonym .2010.. *Fiber Optic Connector Coupling Loss versus Light Wavelength*. From Hecht, J. (2000, August). Absorption and scattering determine fiber attenuation. *Laser Focus World*. 111-18.

Hecht, J. (2000, July). Dispersion control boosts high-speed transmission. *Laser Focus World*. 107-13.

Kashima, N. (1993). *Optical Transmission for the Subscriber Loop*. Norwood: Artech House.

Keiser, G. (1983). *Optical Fiber Communications*. New York: McGraw-Hill.

Lerner, E.J. (1997). Optical fibers carry information of the age. *Laser Focus World*, 33(3), 101-6. Retrieved June 26, 2001 from EBSCO database (MasterFile Premier) on the World Wide Web: <http://www.ebsco.com>

Single-Mode Fiber Performance Characteristics. (2000). *The International Engineering Consortium*. Retrieved July 9, 2001, from the World Wide Web: http://www.iec.org/tutorials/fiber_optic/topic06.html

Thoughts About Fiber Optics. (2000). *Optimized Engineering Corporation*. Retrieved June 30, 2001, from the World Wide Web: