

BAB II

DASAR TEORI

2.1. KAJIAN PUSTAKA

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Yuwana Theo Nur Okta [7] membahas perancangan jaringan *fiber to the home* (FTTH) dengan teknologi GPON dimana penelitian [1] mengkaji nilai redaman pada jaringan FTTH dengan memanfaatkan teknologi GPON dengan studi kasus di Cilegon , jumlah sample yang ditentukan yaitu 60 pelanggan untuk 6 desa di Kecamatan Cibeber , dengan tiap desa terdapat 10 pelanggan. Dengan desain perancangan yaitu 1 STO, 1 ODC dan 6 ODP. Dari peletakan insfrakstruktur jaringan optik tersebut hasil analisa yang didapat yaitu nilai redaman total dari STO hingga pelanggan didapat nilai terendah yaitu 19.0975 dB dan nilai tertinggi 21,345 dB hasil tersebut telah memenuhi standar < 28dB.

Pada penelitian lain [8] membahas tentang analisis biaya *network sharing* di FTTH/PON, dimana arsitektur FTTH yang dibandingkan untuk dianalisis diantaranya GPON , XG-PON, TWDM-PON, AWG-based WDM-PON. Pada penelitian beberapa arsitektur tersebut menghasilkan nilai perbandingan , dimana arsitektur tersebut diterapkan pada 3 skenario , yaitu skenario 1 menggunakan 1 operator pada *fiber network access* dan infrastruktur pasif digunakan dalam *single-fiber mode* , sedangkan skenario 2 dan 3 menggunakan skema *network sharing* dimana dilakukan penyebaran infrastruktur pasif yang cukup untuk hingga empat operator pada segmen *feeder* dan distribusi, Dalam skenario kedua dan ketiga, terdapat dua hingga tiga operator *network sharing* masing-masing. Lalu selain menggunakan tiga skenario penelitian tersebut juga menggunakan tiga jenis *geotypes* yaitu secara *Urban*, *Sub-Urban* dan *Rural* dimana fungsi menggunakan *geotypes* ini dalam studi yaitu untuk menyederhanakan berbagai skenario yang mungkin dalam suatu negara.

Dari penelitian tersebut didapat nilai *Investment per home passed per operator (US\$)* , *Capex* yaitu biaya untuk operator dengan *network sharing* nilainya lebih rendah dari biaya satu operator yang hanya menggunakan jaringan sendirian, terlepas dari arsitektur maupun *geotype* yang digunakan. Biaya dalam

skenario dua operator yang menggunakan metode *network sharing* ketika dibandingkan dengan biaya masing-masing operator yang menyebarkan menggunakan jaringannya sendiri didapat nilai perbandingan dalam presentase sebagai berikut untuk AWG-based WDM-PON mendapatkan hasil akhir sekitar 50% , lalu untuk G-PON mendapat nilai perbandingan sekitar 60% , sedangkan ketika menggunakan skenario dengan tiga operator perbandingannya diantara 33% sampai 45% [8].

Dalam penelitian tersebut juga menyebutkan biaya tiap rumah yang terhubung dimana hal tersebut mencakup CAPEX , OPEX dan yang tergantung pada pangsa pasar . Pada tiga skenario tersebut setelah dilakukan pertimbangan untuk setiap arsitektur jaringan didapat nilai presentase sebagai berikut , dalam skenario pertama, satu operator mencapai 50% pangsa pasar, dalam skenario kedua, dua operator *Network sharing*, dan masing-masing operator mencapai 25% pangsa pasar , pada skenario ketiga , tiga operator *Network sharing*, dengan masing-masing mencapai 16,6% pangsa pasar [8].

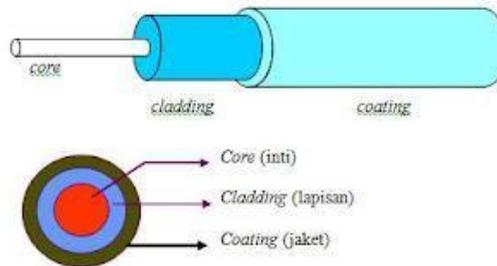
Dari beberapa acuan yang sudah pernah diteliti sebelumnya, maka pada penelitian ini akan di peroleh hasil analisa perbandingan teknologi AirPON pada segi teknis dan ekonomi. Beberapa parameter teknis yang dimaksud adalah redaman, perhitungan *bandwidth*, *throughput*. Sementara parameter ekonomis seperti OPEX (*Operation & maintenance, Marketing & selling Cost*), CAPEX (*Equipment Cost & Service Cost*), *Time To Market*.

2.2. DASAR TEORI

2.2.1 Serat Optik

Serat optik merupakan salah satu media transmisi yang mempunyai kecepatan *transfer* data yang sangat tinggi. Keandalan serat optik ini diperoleh karena serat optik menggunakan gelombang optik sebagai media pembawanya. Pulsa cahaya akan diperoleh dari proses memodulasi sinyal informasi dalam bentuk digital kedalam suatu komponen sumber optik. Bentuk fisik serat optik merupakan sebuah kaca murni yang panjang dan tipis serta berdiameter berkisar antara 2 mm – 125 mm. Dalam upaya untuk memperoleh kinerja yang baik,

biasanya serat *ultra pure fused silica* bahan yang sering digunakan sebagai bahan pembuat serat optik karena memiliki *loss* (redaman) kecil. Serat optik terdiri dari tiga bagian yakni *core*, *cladding* dan *buffer coating* [9].



Gambar 2.1 Struktur serat optik

Bagian pertama adalah inti (*core*), dimana gelombang cahaya yang dikirimkan akan merambat dan mempunyai indeks bias lebih besar dari lapisan kedua seperti pada Gambar 2.1. Cahaya akan merambat dari ujung yang satu ke ujung yang lainnya pada inti dan *core* terbuat dari kaca yang berdiameter antara 2-125 μm [9].

Bagian kedua adalah lapisan selimut (*cladding*), dimana bagian ini mengelilingi bagian inti dan mempunyai indeks bias yang terdapat pada lapisan selimut lebih kecil dibandingkan dengan bagian inti. Lapisan selimut ini terbuat dari kaca yang berdiameter antara 5 - 250 μm [9].

Bagian ketiga adalah lapisan jaket (*coating*), dimana bagian ini sebagai pelindung lapisan inti dan selimut yang terbuat dari bahan plastik yang elastis. Fungsi bagian ini adalah untuk melindungi inti dan lapisan selimut. Berikut adalah gambar struktur dari serat optik pada umumnya [9].

Perhitungan *loss* adalah perhitungan antara sensitivitas daya input di penerima (*receiver*) dengan daya output pada sumber optik (*transmitter*). Persamaan rumus Daya *Loss* berdasarkan *Optical System*.

$$Total\ Loss = - Pt - Pr [9] \tag{2.1}$$

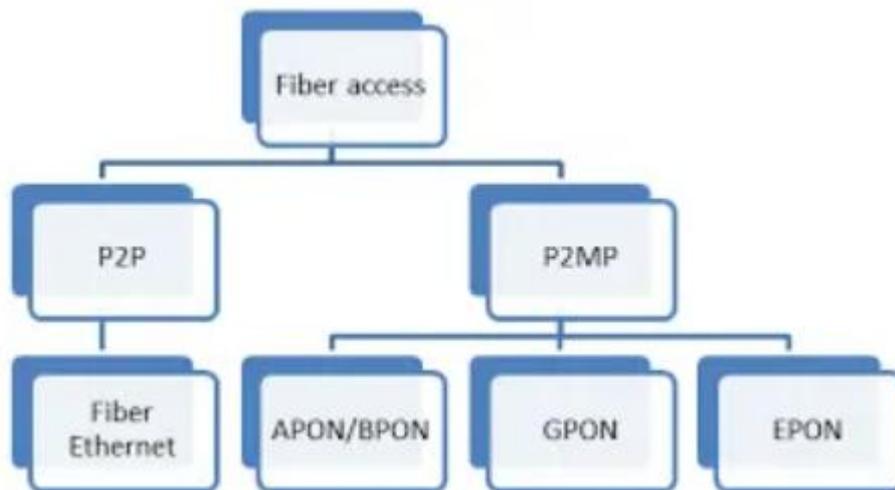
Keterangan :

Pt = Daya keluaran sumber optik (dBm)

Pr = Sensitivitas daya terima detektor (dBm)

2.2.2 Prinsip dasar *Passive Optical Network (PON)*

Pada dasarnya arsitektur PON (*Passive Optical Network*) adalah pengembangan dari jaringan serat optik yang pada awalnya digunakan dengan metode *uni-directional point to point* menjadi *bi-directional point to multipoint*. Apabila kita melihat perkembangan teknologi serat optik seperti yang di gambarkan pada gambar 2.2 di bawah ini penggunaan PON dalam arsitektur jaringan akses semakin berkembang dan lebih efisien.



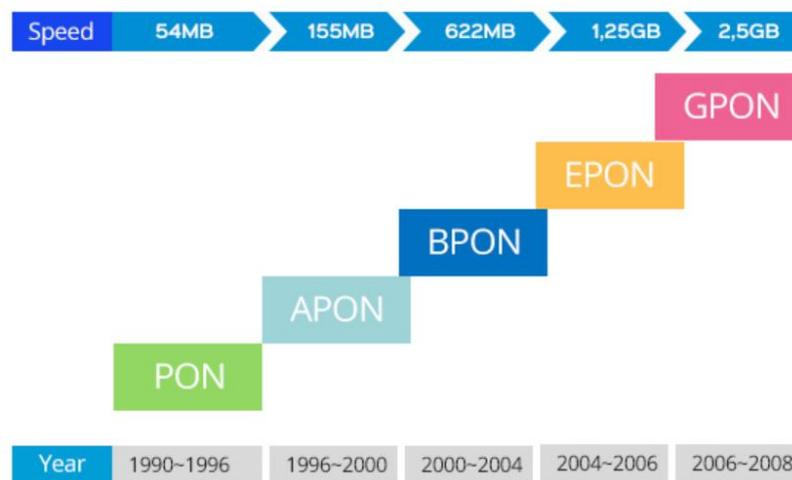
Gambar 2.2 Perkembangan teknologi jaringan akses serat optik

Berdasarkan sejarahnya penggunaan PON (*Passive Optical Network*) dimulai pada awal tahun 1990-an dengan adanya standar ITU-T G.983 yang berbasis pada protocol ATM (Asynchronous Transfer Mode) yang kemudian lebih dikenal dengan APON (ATM-PON). Penggunaan ATM ini tidak terlalu berkembang karena pada prinsipnya masih menggunakan dua kabel serat optik untuk mentransmisikan informasi. Meskipun sudah dikembangkan dengan kemampuan satu kabel, teknologi ini masih dianggap kurang efisien karena memiliki beberapa kekurangan seperti yang di jabarkan pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Standarisasi ITU-T G983.1 ATM-PON

Standard	ITU-T G.983.1
Data Packet Cell Size	53 bytes
Max speed	155 Mbps or 622 Mbps for downstream 155 Mbps for upstream
Data	ATM
Voice	ATM
Video	ATM
Split Ratio	16 or 32
Max Reach	20 km
Fiber Type	G.652
Power Budget	Class B: 10 – 25 dB Class C: 15 – 30 dB
Transmission	Single fiber (US 1310nm and DS 1550nm) or dual fibers (US 1310nm and DS 1310nm)

Dengan adanya permintaan kebutuhan untuk layanan yang memiliki kapasitas dan kecepatan lebih tinggi namun secara biaya lebih efisien, maka teknologi PON sendiri akhirnya memiliki pengembangan untuk dapat memenuhi kebutuhan pasar. Gambar 2.3 di bawah ini menjelaskan evolusi dasar perkembangan teknologi PON secara garis besar untuk bisa memberikan layanan kecepatan dan kapasitas lebih besar.



Gambar 2.3 Evolusi teknologi PON (*Passive Optical Network*)

Dari gambar 2.3 di atas secara garis besar bisa dijelaskan evolusi perkembangan teknologi PON (*Passive Optical Network*) dari waktu ke waktu

sehingga pemilihan teknologi akses *point to multipoint* dirasa lebih tepat dan lebih efisien. Dalam laporan skripsi ini tidak terlalu detail dalam memberikan penjelasan dari masing – masing perkembangan PON namun secara singkat dapat diuraikan sebagai berikut:

- **APON – ATM (*Passive Optical Network*)**

Adalah proposal pertama teknologi PON dengan menggunakan standar ITU-T G.983 dimana menggunakan ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) sebagai protocol utama untuk mentransmisikan informasi. Penggunaan ATM pada awal generasi PON ini sudah dapat memberikan efisiensi biaya 20%-40% apabila dibandingkan dengan penggunaan SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*).

- **BPON – *Broadband Passive Optical Network***

Seiring dengan perkembangan Ethernet pada waktu itu, penggunaan APON mulai kurang efisien. Sehingga diusulkan untuk menggunakan standar baru yaitu BPON (*Broadband Passive Optical Network*) dimana dengan standar ini kecepatan unggah dan unduh bisa meningkat menjadi 155 Mbps dan 622 Mbps. ITU-T G.983.1 s.d ITU-T G.983.10 yang mengatur tentang BPON ini memiliki keunggulan untuk alokasi bandwidth lebih fleksibel dan memiliki fungsi proteksi yang lebih baik sehingga bisa digunakan untuk jaringan akses *Ethernet*, transmisi video streaming dan jasa sirkit sewa.

- **EPON – *Ethernet Passive Optical Network***

Teknologi BPON akhirnya berkembang dan digantikan oleh EPON disebabkan karena biaya investasi BPON masih dianggap terlalu besar. Dengan menggunakan teknologi *Ethernet* maka Pembangunan jaringan broadband dianggap akan lebih efisien dan seiring dengan pertumbuhan jaringan *point to multipoint ethernet* pada waktu itu.

- **GPON – *Gigabit Passive Optical Network***

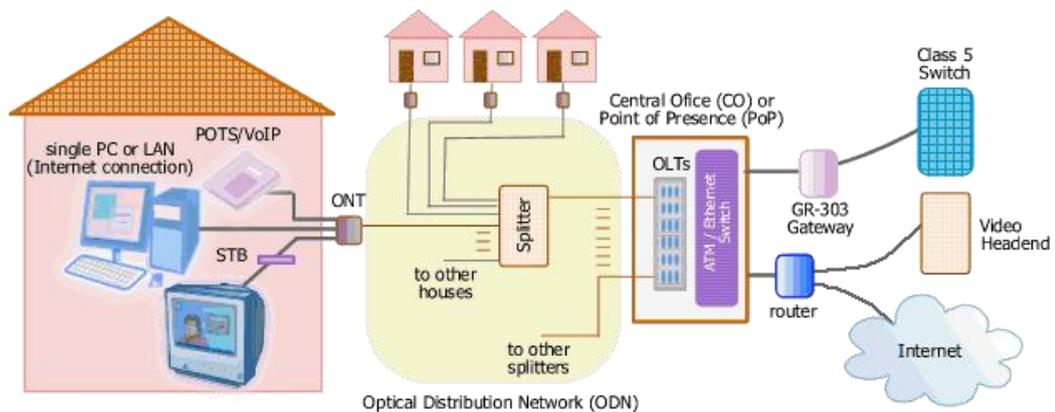
GPON mengadopsi standar ITU-T G.984 sebagai acuan untuk pengembangan dengan tujuan agar dapat mentransmisikan informasi dengan kecepatan lebih dan keunggulan kapasitas lebih besar. Namun pada dasarnya secara biaya infrastruktur teknologi ini sedikit lebih mahal

apabila dibandingkan dengan EPON. Pemilihan GPON sebagai teknologi point to multipoint saat ini lebih didasarkan pada kemampuan perkembangan jaringan dan protocol teknologi yang lebih cocok dengan menggunakan WDM (*Wavelength Division Multiplex*) sehingga lebih tepat untuk memberikan layanan dengan kecepatan lebih tinggi, bisa digunakan untuk beberapa layanan secara sekaligus dan QOS (*Quality of Service*) yang lebih baik.

2.2.3 Fiber To The Home (FTTH)

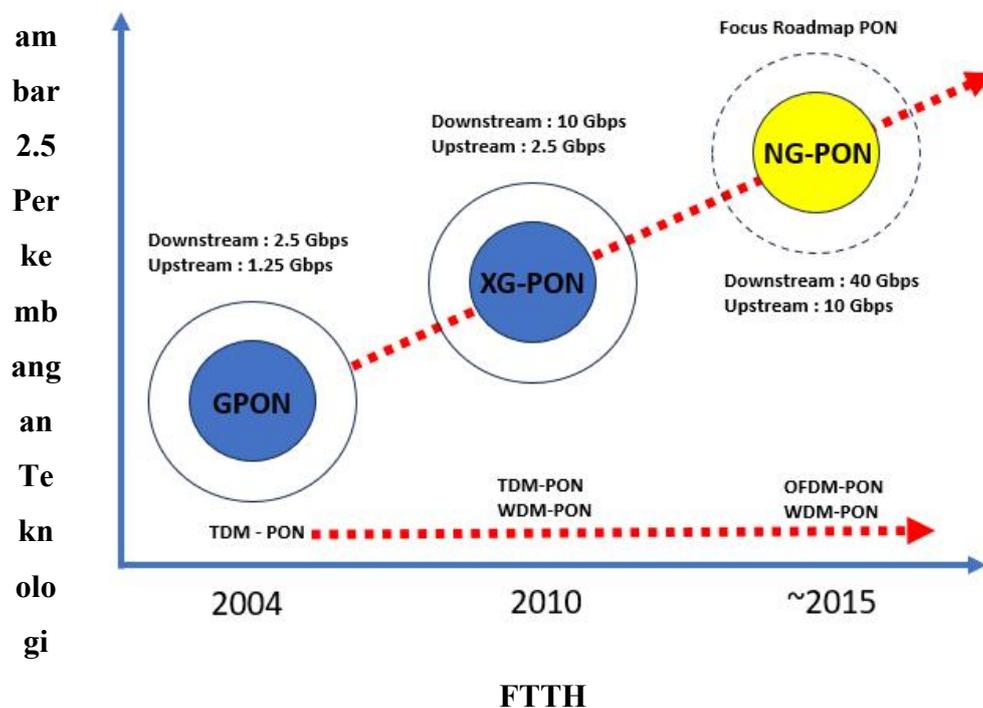
FTTH merupakan jaringan akses yang menggunakan fiber optik sebagai media transmisi untuk disalurkan ke pelanggan perumahan dengan arsitektur dari Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf) yang memungkinkan penarikan kabel optik sangat dekat dengan pelanggan perumahan dari sentral Dalam arsitektur FTTH, sinyal optik dengan panjang gelombang 1.490 nm digunakan pada *downstream* dan sinyal optik dengan panjang gelombang 1.310 nm pada *upstream*. FTTH sendiri memiliki beberapa kelebihan, di antaranya sebagai berikut [10].

- Tersedianya *range* yang lebar untuk layanan hiburan.
- Menawarkan layanan suara, video, dan data yang lebih baik.
- Mendukung pengembangan dan peningkatan jaringan komunikasi masa depan.



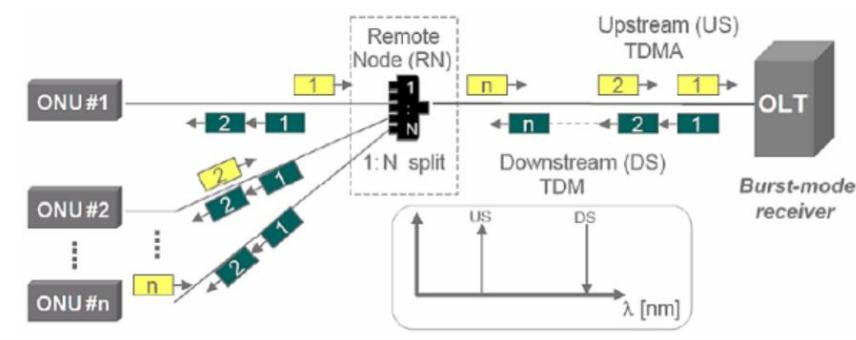
Gambar 2.4 Dasar Jaringan FTTH

Arsitektur komunikasi seperti pada Gambar 2.4 yang digunakan dalam jaringan FTTH (*Fiber To The Home*) pada dasarnya adalah menggunakan PON (*Passive Optical Network*) dimana merupakan jaringan *point to multipoint* yang tidak menggunakan perangkat aktif selain di sisi sentral dan di sisi pelanggan. Dengan demikian sinyal yang dikirimkan dari sentral akan melewati komponen pasif berupa serat optik melalui mekanisme *splitter/combiner* sehingga memiliki keuntungan penghematan dalam penggunaan jaringan serat optik sampai ke perangkat yang ada di pelanggan. Teknologi PON sendiri sudah berkembang cukup pesat dari sejak awal diperkenalkan British Telecom pada tahun 1980. Hal ini terbukti dengan berkembangnya mekanisme jaringan PON dengan adanya GE-PON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*), BPON (*Broadband Passive Optical Network*), GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) dan XG-PON (*10G Passive Optical Network*). Secara teknologi pembagian (*sharing*) data komunikasi dalam PON juga mengalami beberapa perkembangan, mulai dari TDM-PON (*Time Division Multiplexing – PON*), WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexing - PON*), hingga Hybrid-PON.



TDM-PON (*Time Division Multiplexing - Passive Optical Network*)

Konsep dasar dari TDM-PON adalah menggunakan *Time Division Multiplexing* dimana secara arsitektur satu panjang gelombang digunakan untuk mengirimkan data dengan pembagian waktu (*time division*) seperti pada Gambar 2.5. Konsep pembagian ini dengan cara mengalokasikan waktu pengiriman dari seluruh informasi yang dilewatkan dimana pembagian waktu ini lebih dikenal dengan *Time Slot*. Setiap pengguna/*user* akan mengirimkan informasi berdasarkan alokasi dari time slot yang telah diberikan. Secara garis besar dapat dijelaskan pada gambar di bawah ini[11].



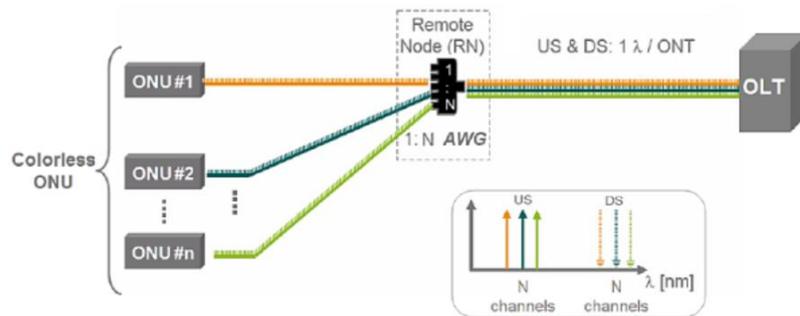
Gambar 2.6 Arsitektur TDM-PON

Pada dasarnya sinyal informasi *downstream* dari OLT akan dikirimkan ke seluruh ONU/ONT dan dialokasikan berdasarkan timeslot masing-masing. Dari sisi penerima atau ONU/ONT akan memilah informasi berdasarkan timeslot informasi yang sudah didefinisikan sebelumnya sehingga informasi yang diterima tidak tertukar dengan informasi dari penerima yang lainnya seperti pada Gambar 2.6. Sedangkan dari sisi *upstream* setiap ONU/ONT akan melakukan sinkronisasi waktu kapan akan mengirimkan informasi dan paket data sehingga tidak terjadi interferensi dengan perangkat yang lainnya.

WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network*)

Berbeda dengan konsep TDM dimana hanya menggunakan satu Panjang gelombang yang sama dalam pengiriman informasi, WDM PON menggunakan konsep panjang gelombang yang berbeda dalam pengiriman informasi antara OLT dengan ONU/ONT. Konsep perbedaan multiplexing Panjang gelombang ini

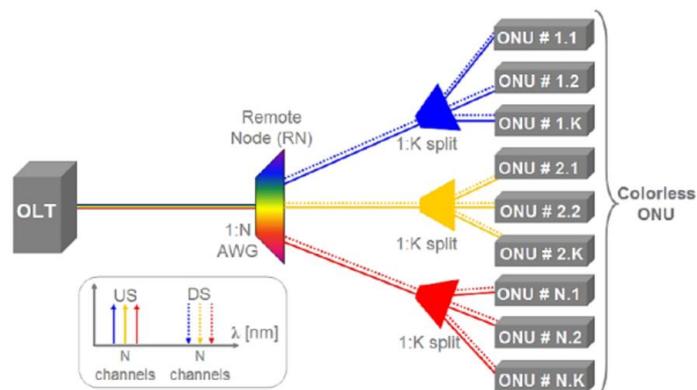
digunakan untuk meningkatkan bandwidth sehingga setiap pengguna ONU/ONT akan memiliki satu Panjang gelombang yang berbeda dengan pengguna perangkat lainnya. Dengan memperkenalkan konsep ini maka kecepatan data bisa ditingkatkan dari 2.5 Gbps hingga mencapai 10 Gbps [12].



Gambar 2.7 Arsitektur WDM-PON

Dari Gambar 2.7 arsitektur di atas bisa diketahui bahwa setiap perangkat pengguna ONU/ONT memiliki satu Panjang gelombang yang berbeda satu sama lain. Dengan membedakan Panjang gelombang ini secara jaringan memberikan keamanan lebih pada layer fisik dan menghindari adanya interferensi / *collision* dari pengiriman informasi. Berbeda dengan TDM yang menggunakan *splitter* optik, pada WDM PON digunakan perangkat yang digunakan untuk memisahkan Panjang gelombang dengan konsep sama seperti *splitter* yang dikenal dengan AWG (*Arrayed Waveguide Grating*).

Hybrid-PON (TDM/WDM - Passive Optical Network)



Gambar 2.8 Arsitektur Hybrid-PON

Konsep *Hybrid* PON menggunakan kedua prinsip WDM dan TDM dalam satu arsitektur dimana pembagian panjang gelombang dan pembagian waktu (*timeslot*) digunakan dalam arsitektur jaringan secara bersamaan seperti pada Gambar 2.8. Pada jaringan ini digunakan pula perangkat pasif berupa splitter optik dan AWG untuk meningkatkan efisiensi pengiriman informasi dan data sehingga meningkatkan kecepatan pengiriman dan keamanan informasi yang dikirimkan[13].

2.2.4 Perangkat FTTH

2.2.3.1 *Optical Line Termination (OLT)*



Gambar 2.9 *Optical Line Termination* [14]

OLT adalah perangkat yang berfungsi sebagai *end-point* dari layanan jaringan GPON. OLT secara fisik seperti pada Gambar 2.9 menyediakan *interface* dengan penyedia layanan (*service provider*) telepon, video, dan data. Fungsi utama OLT adalah melakukan konversi sinyal listrik dalam jaringan *fiber optic* yang menggunakan jaringan GPON [14].

2.2.3.2 *Optical Distribution Cabinet (ODC)*



Gambar 2.10 ODC (*Optical Distribution Cabinet*)

Kabel *feeder* pada OLT akan terhubung pada ODC dimana ODC merupakan alat yang berfungsi sebagai tempat instalasi sambungan jaringan *fiber optic*. ODC ini biasanya berbentuk kotak atau kubah (*dome*) yang berisi *splitter*, *splicing*, konektor, dan terdapat ruang manajemen kabel fiber dengan kapasitas tertentu. Letak dari ODC sesuai dengan Gambar 2.10 ini adalah terletak di dalam gedung ataupun di lokasi lapangan berfungsi menyerupai RK (rumah kabel) pada jaringan kabel tembaga. ODC menyediakan sarana transmisi optik dari OLT [14].

2.2.3.3 *Optical Distribution Panel (ODP)*



Gambar 2.11 *Optical Distribution Cabinet*

ODP merupakan titik pembagian Instalasi atau terminasi yang pembagiannya memakai *splitter* dan langsung siap menuju *Home Passe* atau titik rumah pelanggan. Selain itu ODP atau biasa disebut juga FAT (*Fiber Access Termination*) seperti pada Gambar 2.11 merupakan *Output* dari ODC yang terhubung ke masing-masing *Optical Network Termination (ONT)/ONU*. Perangkat ODP dapat berisi *splitter room*, konektor adaptor, *optical pigtail*, dan dilengkapi ruang manajemen fiber dengan kapasitas tertentu [14].

2.2.3.4 *Optical Network Termination (ONT)*



Gambar 2.12 ONT (*Optical Network Termination*)

ONT merupakan perangkat pada sisi pelanggan yang menyediakan *interface*, baik data, telepon, maupun video. ONT secara fisik di gambarkan sesuai dengan contoh Gambar 2.12 berfungsi mengubah sinyal optik yang ditransmisikan dari OLT dan mengubahnya menjadi sinyal elektrik yang diperlukan.[14].

2.2.5 Perbandingan Jenis Layanan Internet

Terdapat beberapa jenis jenis layanan internet, tiap layanan memiliki Pro dan kontra masing-masing berikut tabel perbandingan jenis layanan internet baik dari Pro dan Kontra. Berikut Tabel 2.1 yang menunjukkan perbandingan Pro dan Kontra jenis layanan internet .

Tabel 2.2 Perbandingan Jenis Layanan Internet

	Pro	Kontra	Speed
<i>fibre internet</i> (FTTH)	<ul style="list-style-type: none"> • Sangat cepat • Sangat dapat diandalkan • Unduh dan unggah yang sama kecepatan 	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak tersedia secara luas saat ini • Infrastruktur dapat berupa mahal 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan unduh dari 25 Mbps hingga 1 Gbps dan lagi • Kecepatan unggah dari 5 Mbps hingga 1 Gbps
<i>Cable Internet</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tersedia secara luas untuk sebagian besar pelanggan • Biaya lebih rendah daripada serat • Kecepatan lebih cepat dari DSL atau satelit 	<ul style="list-style-type: none"> • Tunduk pada pelambatan • Aksesibilitas yang lebih rendah di pedesaan dan daerah terpencil 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan unduh dari 20 Mbps hingga 1 Gbps • Kecepatan unggah dari 7 hingga 50 Mbps
DSL Internet	<ul style="list-style-type: none"> • Tersedia secara luas • Paket yang relatif murah 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan lebih lambat dari kabel • Kualitas dipengaruhi oleh jarak dari ISP • Dapat padam selama badai 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan unduh dari 1 hingga 500 Mbps • Kecepatan unggah dari 384 Kbps hingga 8 Mbps
GEO Satelit	<ul style="list-style-type: none"> • Satelit terlihat selama 24 jam terus menerus dari lokasi tetap tunggal di 	<ul style="list-style-type: none"> • Sulit untuk disiarkan di dekat daerah kutub 	<ul style="list-style-type: none"> • Tingkat <i>downlink maksimum</i>: 1000 Gbit/s

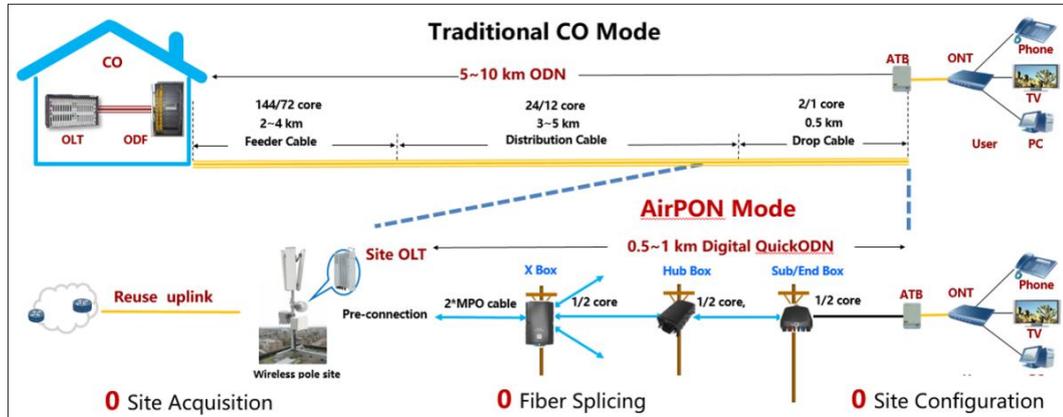
	<p>Satelit Bumi terlihat untuk 24 jam terus menerus dari lokasi tetap tunggal di Bumi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ideal untuk penyiaran dan distribusi multi-titik aplikasi. • Pelacakan stasiun bumi tidak diperlukan karena terus menerus terlihat dari bumi sepanjang waktu dari lokasi tetap. • <i>Handoff</i> antar-satelit tidak diperlukan • Jumlah satelit yang lebih sedikit diperlukan untuk menutupi seluruh bumi. • Pergeseran <i>doppler</i> minimal dan maka penerima yang kurang kompleks dapat digunakan untuk komunikasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Karena transmisi yang lebih lamajarak, yang diterima sinyal sangat lemah; Ini membutuhkan LNA yang lebih baik (Rendah Penguat Kebisingan) dan pemrosesan sinyal tingkat lanjut algoritma di satelit modem, meningkatkan biaya dari stasiun bumi peralatan • Cakupan yang buruk pada tingkat yang lebih tinggi garis lintang • Latensi sinyal bisa sampai 500 ms di setiap arah. Oleh karena itu tidak cocok untuk waktu aplikasi penting seperti: suara waktu nyata, video, dll. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tingkat <i>uplink</i> maksimum: 1000 Mbit/s • Tingkat <i>downlink</i> rata-rata: 1 Mbit/s • Tingkat <i>uplink</i> rata-rata: 256 kbit/s
Leo Satellite	<ul style="list-style-type: none"> • Memberikan kekuatan sinyal yang lebih baik • Lebih sedikit daya yang dibutuhkan untuk penularan • Menghilangkan kebutuhan akan barang besar peralatan penerima karena rasio sinyal C/N yang lebih tinggi • Relatif tidak mahal, peralatan satelit cukup untuk stasiun bumi • Penggunaan kembali 	<ul style="list-style-type: none"> • Karena lebih dekat ke Bumi, mencakup area yang lebih kecil, maka banyak satelit diperlukan untuk cakupan yang lebih luas yang meningkatkan biaya. • Efisiensi untuk melayani wilayah berpenduduk lebih rendah daripada satelit GEO • Stasiun bumi sangat 	<ul style="list-style-type: none"> • unduh minimal dari 50 Mbps dan unggah pada 10 Mbps

	<p>frekuensi yang lebih baik dapat dicapai karena footprint yang lebih kecil.</p> <ul style="list-style-type: none"> • menyediakan elevasi tinggi untuk wilayah populer di Bumi. Oleh karena itu cakupan global yang lebih baik dapat dicapai. 	<p>kompleks karena membutuhkan menangani handoff yang sering terjadi antara satelit LEO.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penerapan LEO penuh konstelasi sangat penting untuk memulai layanan, membutuhkan lebih banyak waktu untuk memberikan layanan satelit & massa adopsi oleh pengguna dibandingkan dengan yang lain yang tersedia jasa • Satelit LEO memiliki jarak yang lebih pendek rentang hidup (sekitar 5 hingga 8 tahun) dibandingkan dengan GEO satelit (sekitar 10 tahun) • Efek atmosfer yang lebih besar menyebabkan disorientasi orbit satelit secara bertahap, membutuhkan reguler intervensi untuk mempertahankan orbit mereka 	
Mobile Internet	<ul style="list-style-type: none"> • Bisa lebih cepat dari fixed line Internet • Tidak diperlukan instalasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Tunjangan data yang lebih kecil • Bisa lebih mahal daripada koneksi saluran tetap 	

2.2.6 Keunggulan AirPON

Dalam pemanfaatan teknologi AirPON keuntungan yang dapat ditinjau dari beberapa segi yaitu diantaranya sebagai berikut:

2.2.5.1 Arsitektur dan Fisik Perangkat AirPON



Gambar 2.13 Arsitektur AirPON

Secara arsitektur teknologi AirPON seperti diagram yang di gambarkan pada gambar 2.13 masih menggunakan mekanisme yang sama dengan struktur jaringan FTTH namun dalam pengembangannya terdapat beberapa bagian perangkat yang secara fisik memiliki dimensi yang lebih kecil dan juga mekanisme pembagian kabel serat optik (*Splitter*) yang memanfaatkan kabel yang sama sehingga lebih efisien. Berikut ini adalah beberapa bagian perangkat AirPON sebagai gambaran.

(a) AirPON OLT



Gambar 2.14 AirPON OLT (Optical Line Termination)

AirPON OLT (*Optical Line Termination*) di desain secara *compact* dengan mengantisipasi kondisi di lapangan dimana secara arsitektur perangkat ini akan digunakan untuk kebutuhan luar ruangan (*Outdoor*). Sehingga perangkat ini bisa dipasang secara langsung baik di tiang (*Pole*) berdampingan dengan perangkat *BTS Mobile*, atau di dalam *outdoor cabinet*. Secara fisik perangkat AirPON Olt seperti pada gambar 2.14.

(b) AirPON QODN



Gambar 2.15 AirPON QODN (*Quick Optical Distribution Network*)

AirPON QODN (*Quick Optical Distribution Network*) seperti pada gambar 2.15 di atas, perangkat ini memiliki fungsi yang sama dengan ODC (*Optical Distribution Cabinet*) namun dalam skala kapasitas yang lebih kecil menyesuaikan dengan desain kapasitas jaringan AirPON yang hanya memiliki kapasitas maksimal 1.024 pelanggan.

(c) AirPON FAT



Gambar 2.16 AirPON FAT (*Fiber Access Termination*)

AirPON FAT (*Fiber Access Termination*) seperti pada Gambar 2.16 di atas, adalah perangkat ini memiliki fungsi Sebagai *end-point* terminasi dari kabel operator ke arah pelanggan dengan menggunakan *drop wire* untuk interkoneksi ke ONT.

(d) Kabel AirPON *pre-Connectorized Cable*



Gambar 2.17 Kabel AirPON *Pre-connectorized*

Kabel AirPON menggunakan metode pre connectorized seperti pada gambar 2.17 di atas, dimana memiliki keunggulan dalam kemudahan instalasi. Dengan menggunakan kabel ini tidak lagi diperlukan waktu untuk penyambungan kabel dan penyambungan konektor. Kabel ini juga dibuat menyesuaikan dengan Panjang kebutuhan bentangan jaringan kabel serat optik. Satu hal yang menjadi kekurangan kabel ini adalah diperlukan perencanaan inventori kabel yang baik sehingga pada saat terjadi kendala jaringan akan lebih mudah dan cepat dalam penanganan gangguan tersebut.

2.2.5.2 Biaya

Dari segi komponen biaya pada pembangunan dengan menggunakan perangkat AirPON, terdapat beberapa parameter biaya yang diperhitungkan sebagai dasar dalam meningkatkan efisiensi diantaranya Peningkatan Bandwidth Upstream: Bandwidth upstream telah ditingkatkan dari 1 Gbit/dtk menjadi 10 Gbit/dtk. Dengan peningkatan ini, lebih banyak data dapat dikirim dalam waktu yang sama, memungkinkan beberapa layanan diproses secara bersamaan. Selain itu, efisiensi penggunaan bandwidth meningkat, menghasilkan penghematan.

Penggantian Perangkat CMTS dengan OLT: Sebelumnya, terdapat 25 rak perangkat CMTS. Namun, sekarang perangkat CMTS telah digantikan oleh perangkat OLT yang hanya memerlukan 3 rak. Selain menghemat ruang peralatan, penggantian ini juga mengurangi konsumsi daya, memberikan manfaat ganda.

Pengurangan Latensi Saluran: Latensi saluran berkurang drastis, dari 10 ms menjadi hanya 1 ms. Ini berarti koneksi menjadi lebih responsif dan efisien, terutama dalam situasi yang memerlukan waktu respons yang cepat seperti dalam komunikasi *real-time* atau game online [15].

2.2.5.3 Pembangunan jaringan

Blade OLT dan Optik Pengumpan Ulang WDM1r: Dalam rangka meningkatkan efisiensi dan menghindari penggalian tambahan, Blade OLT ditempatkan lebih dekat ke pengguna. Selain itu, penggunaan optik pengumpan ulang WDM1r memungkinkan kabel untuk menghindari area penggalian, mengurangi kerumitan dalam pemasangan infrastruktur.

Konstruksi ODN Cepat dengan Kabel Optik MPO: Dengan menggunakan kabel optik MPO yang telah terhubung sebelumnya, konstruksi Optical Distribution Network (ODN) dapat dilakukan dengan lebih cepat. Kabel optik MPO memungkinkan penyambungan tanpa perlu melakukan serat penyambungan secara manual, menghemat waktu dan sumber daya. Selain itu, manajemen terpusat menggunakan OLT, ZTD, dan NCE untuk mengimplementasikan penyediaan layanan otomatis. Ini memungkinkan pengaturan dan pengelolaan layanan secara efisien dan terkoordinasi [15].

2.2.5.4 Live Broadcast

Fitur eAI+Wi-Fi 6 *Slicing Technology* pada ONT: ONT (*Optical Network Terminal*) memiliki fitur eAI+Wi-Fi 6 *slicing technology*. Fitur ini memungkinkan implementasi akselerasi cerdas yang disebut “*onetrrip time latency (OTT)*”. Dengan demikian, latensi waktu perjalanan data menjadi lebih efisien dan responsif.

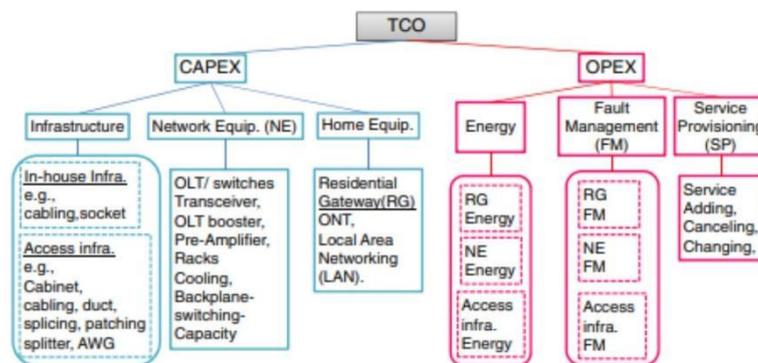
Teknologi Kecepatan Bit Adaptif *Multicast* (M-ABR): ONT juga menampilkan teknologi M-ABR yang berfokus pada kecepatan bit adaptif untuk layanan multicast. Teknologi ini mengkonversi unicast (pengiriman data satu-ke-

satu) menjadi *multicast* (pengiriman data ke banyak penerima sekaligus). Dengan demikian, kemacetan layanan dapat dihindari dan efisiensi penggunaan jaringan meningkat.

Penggunaan NCE untuk Evaluasi Layanan Broadband Rumah: NCE (*Network and Customer Experience*) digunakan untuk mengevaluasi layanan broadband rumah yang mengalami masalah kualitas pengalaman (QoE) yang buruk. Dengan NCE, kesalahan dan pemeliharaan dapat ditemukan secara akurat, sehingga layanan dapat diperbaiki dan ditingkatkan [15].

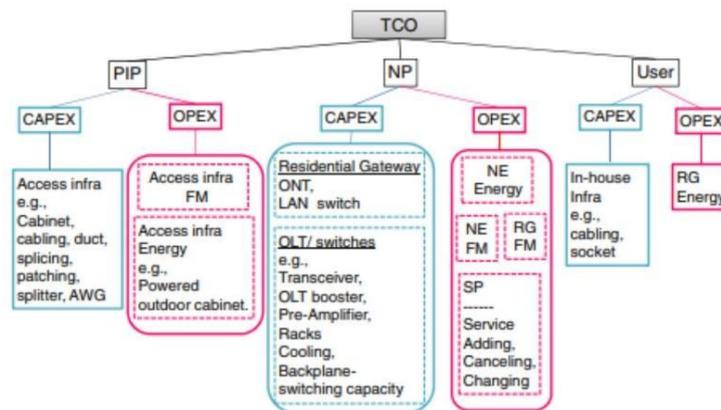
2.2.7 Pemodelan Biaya (*Cost Modeling*)

Penilaian biaya jaringan didasarkan pada TCO yang terdiri dari belanja modal (CAPEX) dan pengeluaran operasional (OPEX). CAPEX dan OPEX dibagi menjadi beberapa kategori yang ditunjukkan pada Gambar 2.18 seperti berikut [16].



Gambar 2.18 TCO breakdown, cost category view.

lalu dari beberapa kategori tersebut di rubah sesuai peran bisnis yang berbeda. Menjadi PIP, NP dan Pengguna, perubahan susunan kategori dapat dilihat pada gambar 2.19 berikut [16].



Gambar 2.19 TCO breakdown, multi-actor view

- **PIP CAPEX** (*Physical Infrastructure Provider*) mengacu pada biaya penerapan yang terkait dengan infrastruktur akses milik PIP.
- **NP CAPEX** (*Network Provider*) termasuk biaya peralatan jaringan dan (*Residential Gateway*) RG yang dimiliki oleh NP.
- **CAPEX User** mengacu pada infrastruktur internal dan RG. Infrastruktur internal biasanya dibayar oleh pengguna, perusahaan konstruksi, perusahaan real estate, atau perusahaan pengelola rumah/bangunan
- **PIP OPEX** terdiri dari FM dan konsumsi energi dari infrastruktur yang dimiliki PIP. PIP FM melibatkan acara seperti: sebagai perbaikan dari pemotongan serat atau AWG atau kegagalan power splitter. Biaya energi PIP dikaitkan dengan energi tagihan terkait infrastruktur. Misalnya, di beberapa akses arsitektur jaringan, lemari luar ruangan (jarak jauh node) memerlukan catu daya untuk mengakomodasi yang aktif peralatan. Meskipun energi dari peralatan aktif adalah bagian dari NP OPEX, masih ada biaya energi yang dibayarkan oleh PIP untuk pendinginan dan pemeliharaan kabinet.
- **NP OPEX** terdiri dari biaya FM peralatan jaringan dan RG, konsumsi energi peralatan jaringan, dan *Service Provisioning* SP
- **OPEX Pengguna** mengacu pada tagihan energi yang terkait dengan RG, yang biasanya dibayar oleh pelanggan [17].

Waktu pengembalian investasi (*Break Even Point*)

Salah satu indikator yang digunakan untuk pemodelan investasi adalah dengan melakukan perhitungan pengembalian investasi. *Break even* analysis ini

juga membantu dalam bisnis untuk menentukan re-strukturisasi atau pemotongan biaya (*Cost*) untuk mendapat kan hasil yang optimal pengembalian nilai investasi. Pada perhitungan analisa linear *cost volume model* pengembalian investasi atau *break even model* bisa dihitung dengan membandingkan TR (*Total Revenue*) dibandingkan dengan TC (*Total Cost*) dengan menggunakan formula:

$$TR = TC$$

$$P \times X = TFC + V \times X$$

Dimana:

TFC : Total Fixed Cost

P : Unit sale price atau ARPU

V : Variabe cost (cost marketing, komisi dll)

2.2.6.1 Penilaian Kategori CAPEX

Penilaian pada CAPEX ditinjau dari beberapa aspek diantaranya insfrakstruktur, *network equipment*, dan *home equipment* [13].

- ***Insfrastruktur***

Infrastruktur dibagi menjadi akses dan infrastruktur *in-house*. Biaya infrastruktur akses termasuk fiber kabel, saluran, parit, penyambungan dan fusi serat, optic bingkai distribusi (ODF), dan komponen pasif di jaringan akses. Biaya infrastruktur inhouse terdiri dari pemasangan kabel in-house, soket optik, dan pemasangan yang diperlukan di pelanggan tempat atau bangunan. Model biaya investasi tahunan dapat dirumuskan sebagai:[13]

$$I(Y) = \sum_{i=1}^{Nt} (V_i(Y) \times P_{ri}(Y)) \quad (2.3)$$

Keterangan :

I(Y) : Menunjukkan investasi pada tahun ke-Y

V_i(Y) : Volume jenis tertentu dari komponen (i) pada Yth tahun,

Nt : jumlah jenis komponen

$P_{ii}(Y)$: adalah harga satuan komponen (i) pada tahun ke-Y.

Namun tergantung pada tipe infrastruktur yang berbeda, V_i Y dimodelkan lebih lanjut; untuk infrastruktur akses menjadi seperti ini :[13]

$$V_i(Y) = \frac{PC_{pip}(Y) \times N_{user}}{S_i} \quad (2.4)$$

Keterangan :

- PC_{PIP} : $PC_{PIP}(Y)$ adalah kurva penetrasi untuk infrastruktur PIP pada tahun ke-Y
- N_{user} : jumlah total pengguna di area tersebut
- S_i : berbagai *rasio komponen (i)*

Sedangkan pada model insfrakstruktur *In house* nya dapat dimodelkan seperti ini :

$$V_i(Y) = \frac{[PC_{np}(Y) - PC_{np}(Y-1)] \times N_{user}}{S_i} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- PC_{np} : $PC_{np}(Y)$ adalah kurva penetrasi untuk infrastruktur np pada tahun ke-Y
- N_{user} : jumlah total pengguna di area tersebut
- S_i : berbagai *rasio komponen (i)*

- **Network Equipment**

Network equipment (NE) peralatan jaringan mengacu pada peralatan aktif yang terletak di segmen jaringan akses, Ini termasuk Sakelar Ethernet, OLT, *transceiver optik*, bidang belakang ganti fabric, peralatan pendingin, booster OLT, dan preamplifier jika diperlukan [13].

Pemodelan biaya peralatan jaringan dibagi menjadi dua kelas, aktif atau pasif untuk arsitektur yang memiliki NE aktif biaya NE

dimodelkan sebagai investasi tambahan. Jumlah NE yang diinvestasikan dalam setahun sebanding dengan jumlah pelanggan baru. Jumlah NE baru yang dibutuhkan setiap tahun . Pada tahun migrasi, peralatan LSM baru diperlukan untuk pelanggan baru dan lama dari warisan jaringan. Oleh karena itu, biaya NE pada tahun migrasi Y_{mig} dapat dihitung menurut persamaan 2.5 , di mana saya mengacu pada komponen yang diganti pada tahun Y_{mig} [13].

$$V_i(Y_{mig}) = \frac{PC_{NP}(Y_{mig}) \times N_{user}}{S_i} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- $V_i(Y_{mig})$: volume jenis tertentu dari komponen (i) pada Y tahun migrasi
- $PC_{np}(Y_{mig})$: $PC_{np}(Y_{mig})$ adalah kurva penetrasi untuk infrastruktur np pada tahun ke- Y migrasi
- N_{user} : jumlah total pengguna di area tersebut
- S_i : Berbagai rasio komponen(i)

- **Home Equipment**

Pada *home equipment* mengacu pada biaya perumahan *gateway/residential gateway* (RG) yang mencakup fungsi ONT dan jaringan area lokal (LAN). Jumlah RG dimodelkan menurut persamaan (2.4) . Pada tahun migrasi (Y_{mig}), jumlah total RG dimodelkan menurut Persamaan. (2.5) karena semua RG di warisan AON harus diubah [13].

2.2.6.2 Penilaian Kategori OPEX

Penilaian OPEX mempertimbangkan beberapa proses penggerak biaya seperti penyediaan layanan, manajemen kesalahan, pemeliharaan, konsumsi energi, dan *floor space*. Pada gambar 2.6 OPEX terdiri dari tiga kategori utama yang memiliki pemodelan biaya seperti berikut [13] :

- **Energy**

Pada kategori Energi mengacu pada biaya energi yang dikonsumsi oleh peralatan di jaringan, termasuk perangkat pendingin dan RG.

Beberapa item yang termasuk dalam infrastruktur dapat juga memiliki biaya energi, misalnya, kabinet luar ruang aktif (energi untuk pendinginan, dll.). Biaya energi berbeda tergantung di lokasi peralatan (CO atau kabinet), bisnis peran, dan tahun. Biaya energi tahunan dapat dimodelkan sebagai berikut [13] :

$$I_{energy}(Y) = \sum_{j=1}^{Nl} \sum_{i=1}^{Nt} (V_{ij} \times E_{ij} \times Pr_{ij}(Y)) \quad (2.7)$$

Keterangan :

- $I_{energi}(Y)$: biaya konsumsi energi pada tahun ke-Y
 i : menunjukkan jenis peralatan tertentu
 j : menunjukkan lokasi tertentu (misalnya, CO, kabinet)
 V_{ij} : volume peralatan i di lokasi j
 N_t dan N_l : menunjukkan jumlah total peralatan dan jenis lokasi masing-masing
 E_{ij} : merupakan konsumsi energi komponen i di lokasi j selama satu tahun (mengingat waktu berjalan per tahun 24 jam \times 365 hari)
 $Pr_{ij} Y$: merupakan satuannya harga energi (CU per kW tahun), yang berbeda dari tahun ke tahun dan tergantung pada lokasi

- **Service Provisioning (SP)**

Service Provisioning (SP) adalah biaya yang terkait dengan aktivitas apa pun yang terkait dengan penambahan, perubahan, dan pembatalan layanan pelanggan. Hal ini terkait dengan banyak faktor seperti sebagai manajemen serat (misalnya, menambal, menyambung), jarak jauh konfigurasi, sumber daya manusia, dan perjalanan [13].

- **Fault Management (FM)**

Fault Management (FM) adalah biaya yang terkait dengan pemantauan kegagalan, deteksi, dan komponen penggantian dan perbaikan. Biaya tergantung pada jenis dan lokasi peralatan atau infrastruktur jaringan yang telah gagal. Setiap elemen/perangkat jaringan dicirikan oleh seperangkat parameter yang terkait dengan

manajemen kesalahan seperti waktu rata-rata untuk perbaikan, waktu perjalanan untuk lokasi kerusakan, dan jumlah teknisi yang diperlukan untuk melakukan perbaikan [13].

2.2.8 Throughput

Throughput adalah bandwidth aktual yang terukur pada suatu ukuran waktu tertentu dalam mentransmisikan berkas. Berbeda dengan bandwidth walaupun satuannya sama *bits per second*(bps), tapi throughput lebih menggambarkan bandwidth yang sebenarnya pada suatu waktu dan pada kondisi dan jaringan tertentu yang digunakan untuk mengunduh suatu file dengan ukuran tertentu [16].

$$Throughput = \frac{P_r}{L_p} \quad (2.8)$$

Keterangan :

Pr : Paket yang diterima (paket)

Lp : Lama pengiriman packet melalui kanal

2.2.9 Bandwidth

Bandwidth adalah suatu nilai konsumsi transfer data yang dihitung dalam bit/detik atau yang biasanya di sebut dengan *bit per second* (bps), antara server dan *client* dalam waktu tertentu. Atau bisa didefinisikan sebagai lebar cakupan frekuensi yang dipakai oleh sinyal dalam medium transmisi , *bandwidth* dapat dirumuskan seperti ini [13] :

$$Bandwidth = \frac{\text{jumlah data yang dikirim}}{\text{waktu pengiriman data}} \quad (2.9)$$

2.2.10 Link Budget

Link budget merupakan perhitungan level daya yang dilakukan untuk memastikan bahwa level daya penerimaan lebih besar atau sama dengan level daya yang dikirimkan. Tujuannya untuk menjaga keseimbangan gain dan *loss* dari antenna pemancar (Tx) ke antenna penerima (Rx) [18].

2.2.9.1 Link Loss Budget

Link loss budget digunakan untuk mengetahui batasan redaman total saluran yang diizinkan karena terjadinya rugi-rugi di setiap elemen (rugi-rugi serat, konektor dan sambungan.) sepanjang link saluran komunikasi optik [18].

$$\alpha_{total} = L. \alpha_{total} + NC. \alpha_{connector} + NS. \alpha_{spliccer} + Nsp. asp \quad (2.10)$$

Keterangan :

- α_{total} : Redaman total saluran (dB)
- L : Panjang serat optic (km)
- Nc : Jumlah konektor
- α_c : Redaman Konektor (dB/konektor)
- Ns : Jumlah sambungan
- α_s : Redaman sambungan (dB/sambungan)
- Nsp : Jumlah splitter
- α_s : Redaman Splitter (dB)

2.2.9.2 Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik. Metode ini sangat berguna untuk menganalisa sistem transmisi digital. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisa apakah unjuk kerja jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. Umumnya degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70 persen dari satu periode bit NRZ (*Non-return-to-zero*) atau 35 persen dari satu periode bit untuk data RZ (*return-to-zero*). Satu periode bit didefinisikan sebagai resiprokal dari data rate. Menghitung *Rise Time Budget* [18]:

$$T_{total} = \sqrt{Ttx^2 + Tintramodal^2 + Tintermodal^2 + Trx^2} \quad (2.11)$$

Keterangan :

- Ttx : Rise Time Transmitter (ns)
- Trx : Rise time receiver (ns)

Tintramodal : tidak bernilai atau nol karena menggunakan optik *single mode*

2.2.9.3 *Power Link Budget*

Perhitungan *power link budget* bertujuan untuk menghitung anggaran daya yang diperlukan pada receiver sehingga level daya terima tidak kurang dari sensitivitas minimum [19].

$$PR_x = PT_x - \alpha_{tot} \quad (2.12)$$

Keterangan :

Prx : Sensitivitas *Receiver* (dBm)

Ptx : Daya keluaran *transmitter* (dBm)

α_{tot} : *Link loss budget* (dB)

2.2.9.4 *Power Margin*

Power Margin adalah daya yang masih tersisa dari power transmit setelah dikurangi dari *link loss budget* selama proses pentransmisian, power margin disyaratkan harus memiliki nilai lebih dari 0 (nol) [19].

$$M = (P_t - P_r) - \alpha_{total} - SM$$

(2.13)

Keterangan :

Pt : Daya keluaran *transmitter* (dBm)

Pr : Sensitivitas *receiver* (dBm)

α_{total} : *Link loss budget* (dB/Km)

SM : *Safety margin*