

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang pengembangan, perancangan serta pembahasan secara detail mengenai 4G LTE sebenarnya telah banyak dilakukan seperti yang dilakukan Nafiz Imtiaz Bin Hamid, Md Ashraful Hoque, Kazi Khairul Islam pada tahun 2012 yang berjudul *Nominal and Detailed LTE Radio Network Planning Considering Future Deployment in Dhaka City*. Penelitian ini melakukan perencanaan jaringan radio pada penerapan teknologi *Long Term Evolution* di kota Dhaka. Adapun proses dari *Radio Network Planning* dalam penelitian ini adalah Mengumpulkan informasi *pre-planning* dan *dimensioning* jaringan seperti persiapan *Link budget*, perhitungan *coverage* dan *capacity* melalui *running* simulasi - *Nominal and detailed planning*, meliputi pemilihan dan penggunaan *radio planning tool*. Langkah ini meliputi pemilihan model propagasi, menentukan thresholds *Link Budget*, membuat *detailed radio plan* berdasarkan pada *threshold*, memeriksa kapasitas jaringan terhadap estimasi trafik yang lebih detail, perencanaan konfigurasi, *survey site*, pre-validasi dan validasi site, perencanaan parameter eNodeB.[2]

Penelitian lain yang dilakukan oleh Sri Ariyanti, yaitu melakukan penentuan frekuensi yang digunakan untuk teknologi 4G LTE wilayah Jabodetabek yang kemudian digunakan untuk pengalokasian frekuensi dan penentuan jumlah eNodeB,

coverage planning maupun *capacity planning* untuk. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran site yang diperlukan untuk penerapan teknologi LTE pada frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz. Metode penelitian menggunakan pendekatan data kuantitatif yaitu menghitung jumlah site yang dibutuhkan untuk menggelar jaringan LTE. Perhitungan jumlah site tersebut meliputi *coverage planning* dan *capacity dimensioning*. Hasil penelitian menunjukkan Jumlah eNodeB yang dibutuhkan untuk membangun jaringan LTE pada daerah Jabodetabek dengan jumlah pelanggan yang dilayani pada tahun pertama sebesar 2.02 juta, *bandwidth* 10 MHz pada frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz yaitu sebanyak 2546 buah.[3]

Kemudian penelitian yang dilakukan Zakaria diwilayah cakupan Tripoly yaitu perancangan jaringan radio melalui beberapa tahap yaitu *site survey*, perencanaan frekuensi yang digunakan, *link budget* dan *coverage planning* dan *capacity planning*. Lokasi objek penelitian di kota Tripoly. Daerah dibagi menjadi tiga area yaitu *dense urban*, *urban* dan *sub urban*. Frekuensi yang digunakan yaitu 1800 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz Teknologi yang digunakan yaitu LTE FDD, menggunakan *soft* frekuensi *reuse* (SFR 1*3*1), dan diasumsikan *cyclic prefix* normal(El-Feghi, Zakaria Sulima Zubi, A Jamil, 2014). Penelitian tersebut juga mengukur performansi moda propagasi LTE FDD untuk arah *uplink* maupun *downlink* dengan membandingkan modulasi QPSK, 16QAM dan 64QAM. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh kesimpulan bahwa BER vs SNR dan BLER vs SNR berbeda-beda tergantung pada beberapa parameter seperti skema modulasi, *code rate* dan

konfigurasi antenna. Performansi akan meningkat seiring dengan penambahan jumlah antenna di penerima (*diversity antenna*). Jumlah antenna pengirim tidak mempengaruhi nilai BER atau BLER.[4]

Kemudian penelitian mengenai 4G LTE terbaru oleh Muhammad Fahri Rian yaitu mengenai optimalisasi jaringan 4G menggunakan algoritma genetika wilayah Sleman, Penggunaan Algoritma Genetika sebagai salah satu alternatif mencari kombinasi BTS *Existing* untuk perancangan jaringan 4G *Long Term Evolution* di Kabupaten Sleman dapat memberikan solusi yang optimal, baik jika dilakukan tiap kecamatan maupun dilakukan secara global. Optimasi yang dilakukan untuk mengetahui dan mencari kombinasi BTS *Existing* untuk perancangan jaringan 4G *Long Term Evolution*. Data hasil pengujian menyimpulkan bahwa data kolektif nilai *fitness* hasil optimasi per-kecamatan yang telah diurutkan dari nilai tertinggi hingga terendah. Melalui data tersebut didapat nilai *fitness* tertinggi hasil optimasi per-kecamatan adalah -339,944 dan nilai terendahnya adalah -1063,190. Dari hasil pengujian untuk metode per-kecamatan nilai *fitness* maksimal yang didapat dari perubahan nilai parameter Algoritma Genetika berdampak tidak terlalu signifikan. Hal ini dibuktikan dengan dicapainya nilai *fitness* maksimal yang didapat dari keenam data diatas berkisar antara -410,94 hingga -339,944[5].

Penelitian ini melanjutkan penelitian Muhammad Fahri Rian dengan menambahkan perancangan jalur *backbone* dan distribusi 4G LTE. Kemudian melakukan simulasi untuk distribusi 4G LTE dengan *Optisystem10.0*. Seperti yang

diketahui bahwa kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai saluran utama dalam komunikasi *seluler* maupun non *seluler* untuk menjangkau pengguna layanan internet.

2.2. Teknologi 4G LTE (*Long Term Evolution*)

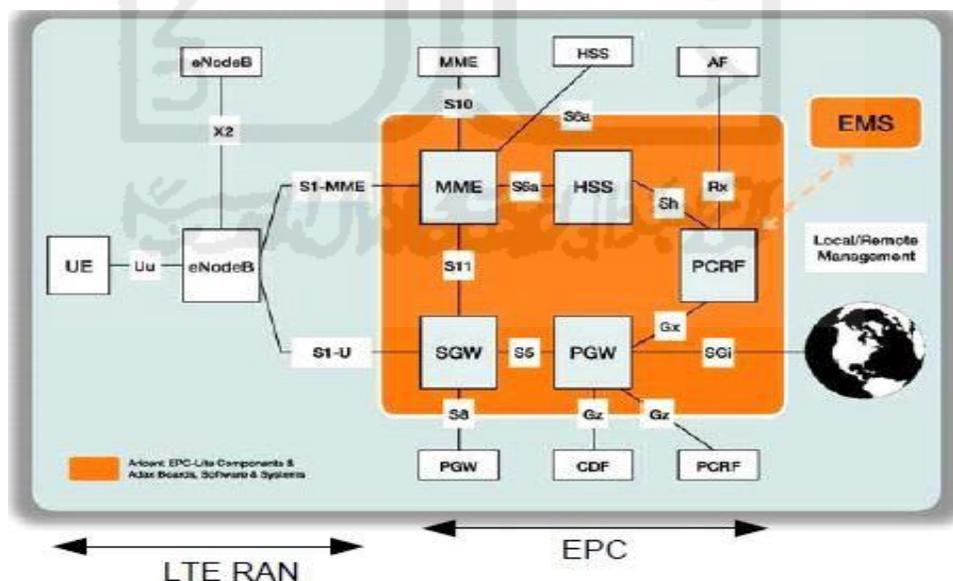
Long Term Evolution atau disebut juga LTE merupakan suatu standar teknologi komunikasi nirkabel data berkecepatan tinggi untuk komunikasi bergerak yang berbasis pada perkembangan teknologi GSM/EDGE dan UMTS/HSPA. Teknologi ini dikembangkan secara resmi oleh 3GPP yang juga mengeluarkan standar dan spesifikasi untuk UMTS dan GSM. LTE hadir untuk menjawab permasalahan komunikasi data berkecepatan tinggi yang sudah tidak dapat lagi dilayani oleh teknologi sebelumnya seperti HSPA dan sebagainya. LTE secara khusus dibahas oleh 3GPP melalui suatu *releases* yang dikenal dengan nama R8 atau rilis 8 bersamaan dengan standar untuk SAE (*System Architecture Evolution*). Menurut spesifikasi ITU-T suatu teknologi yang dapat diterima sebagai teknologi komunikasi generasi keempat adalah dapat terpenuhinya suatu persyaratan sebagai berikut [6]:

- *Peak Downlink (DL) rate* > 100 Mbps untuk aplikasi mobilitas tinggi dan > 1000 Mbps untuk aplikasi tetap.
- *Peak Uplink (UL) rate* > 50 Mbps.
- *User Plane Latency* rendah, ≤ 5 ms.

- Berorientasi pada *Internet Protocol (IP) Jaringan Packet Switch (PS)*.
- *Seamless Mobility / Mobilitas tanpa batas (tak terputus)*.
- Alokasi *bandwidth* kanal radio yang fleksibel dalam rentang 1,4 MHz hingga 20 MHz dengan optimal hingga 40 MHz.

2.2.1. Arsitektur Jaringan 4G LTE (*Long Term Evolution*)

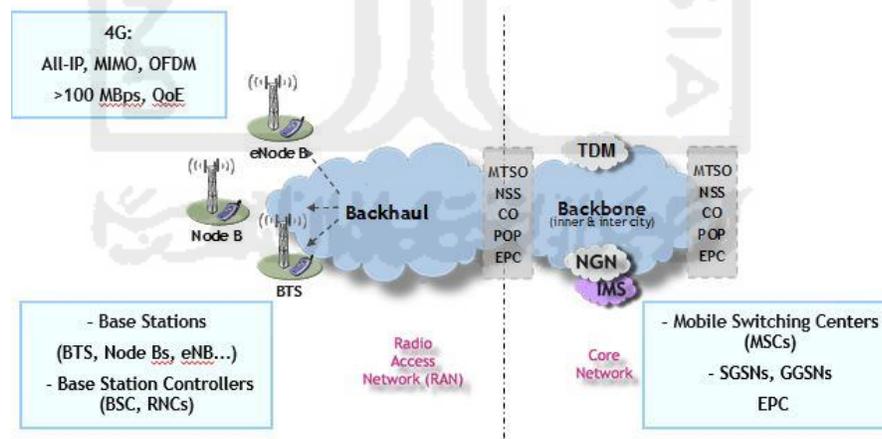
Arsitektur LTE diadopsi dari prinsip flat arsitektur, jika dibandingkan dengan arsitektur *release 6 HSPA*, arsitektur LTE *release 8* pada sisi radio dan *core* ditangani oleh satu elemen. Tujuannya adalah menjamin kemudahan skalabilitas untuk menghindari *upgrade* kapasitas beberapa tingkat ketika trafik naik seperti pada *release 6*[6]. Adapun arsitektur keseluruhan LTE *Radio Acces Network (LTE RAN)* dan *Evolved Packet Core (EPC)* ditunjukkan pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan *Long Term Evolution*[7]

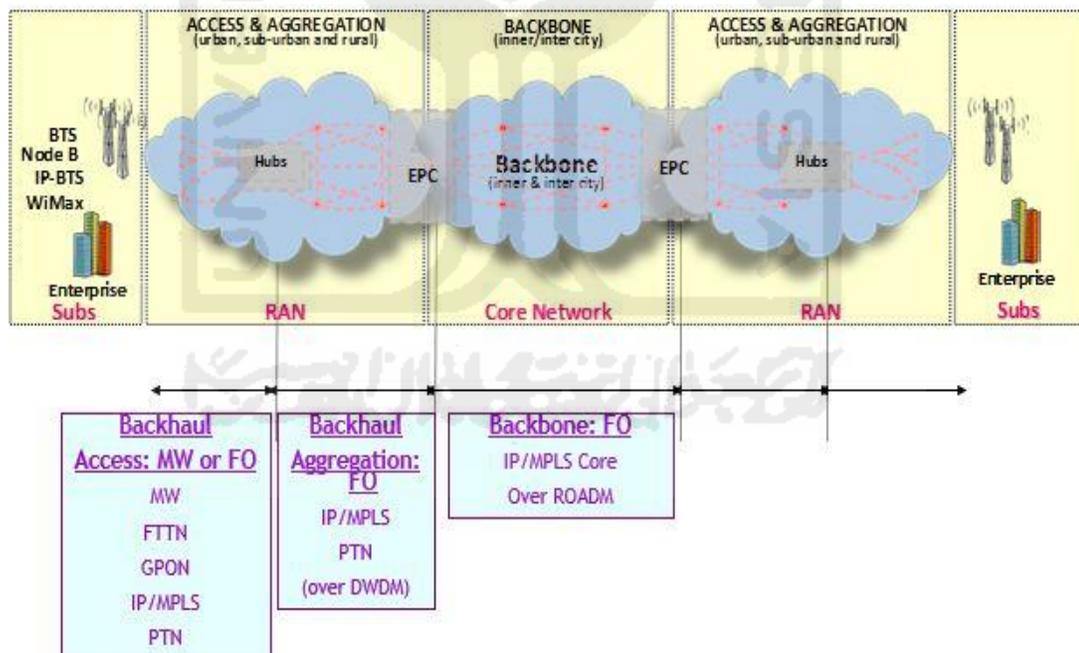
2.2.2. Konsep Dasar Jaringan *Backbone* dan *Backhaul*

Backbone yaitu saluran atau koneksi berkecepatan tinggi yang menjadi lintasan utama dalam suatu jaringan dan yang menghubungkan sekian banyak jaringan dengan berkecepatan tinggi lewat *gateway*. Dengan memakai jaringan *backbone*, masalah kecepatan *interkoneksi* antar jaringan lokal bakal teratasi. Berbeda dengan kabel jaringan Unshielded Twisted Pair (UTP) hanya bisa digunakan untuk menggabungkan antar jaringan lokal tetapi kecepatannya tidak maksimal, ini dikarenakan kabel UTP memiliki kecepatan transfer data hanya sampai 100 Mbps, sedangkan besar jaringan *backbone* hingga 10 Gbps bahkan lebih. Dengan kapasitas jaringan *backbone* yang besar maka jaringan *backbone* mutlak digunakan untuk migrasi dan distribusi jaringan 4G LTE untuk kebutuhan data yang besar. Gambar 2.2 dibawah adalah ilustrasi jaringan *backhaul-backbone*. [8]



Gambar 2.2 Komunikasi Jaringan *Backhaul-Backbone*[8]

Jaringan *backhaul* yang menghubungkan antara perangkat jaringan *access* dengan jaringan *core* biasanya dibagi menjadi dua segmen. Pembagi kedua segmen tersebut biasa disebut dengan agregasi (*aggregation*). Agregasi ini dibutuhkan untuk memudahkan manajemen jaringan *backhaul*. Pada sisi jaringan akses ada BTS 2G, NodeB 3G, eNodeB dan group *controller* seperti *BSC* dan *RNC*. Antara perangkat agregasi dengan jaringan *core* disebut dengan jaringan agregasi, sedangkan antara perangkat agregasi dengan jaringan *access* disebut dengan jaringan *backhaul*. Untuk segmen jaringan agregasi biasanya menggunakan tipe jaringan *full mesh* sedangkan tipe jaringan yang digunakan pada *backhaul* adalah tipe *tree* atau *ring*. Berikut adalah gambar konsep umum *mobile access* dan agregasi.[9]



Gambar 2.3 Konsep Umum *Mobile Access* Dan Agregasi[9]

Teknologi jaringan akses yang merupakan antarmuka udara yang berinteraksi langsung dengan perangkat UE tadi, dari *core network* menuju ke jaringan akses ini dibutuhkan suatu jaringan *transport* yang menghubungkan keduanya. Karena *end-point* dibutuhkan *bandwidth* data yang besar maka *transport* yang dibutuhkan pun besar. Sedangkan jaringan antara satu *core network* dengan *core network* lainnya disebut dengan jaringan *backbone*. Jaringan dapat terhubung dalam satu kota (*intra city*) maupun antar kota (*inter city*). Jaringan ini misalnya menghubungkan antar *Network Subsystem* (NSS), *Central Office* (CO), *Evolved Packet Core* (EPC), *Packet Data Network* (PDN) dan lain-lainnya.[10]

2.3. Sistem Komunikasi Fiber Optik

Suatu sistem dasar komunikasi terdiri dari sebuah *transmitter*, sebuah *recevier*, dan sebuah *information channel* Dimana *Information channels* nya dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu *Unguided channel* dan *Guided channel*. *Atmosphere* adalah sebuah contoh *Unguided channel*, sistem yang menggunakan *atmospheric channel* adalah radio, televisi dan *microwave relay links*. *Guided channels* mencakup berbagai variasi struktur transmisi seperti *two-wire line*, *coaxial cable*, *twisted-pair*, dan *fiber optic cable*. Sedangkan untuk sistem komunikasi *fiber optic* sendiri sedikit berbeda dengan sistem komunikasi pada umumnya, karena informasi yang dikirimkan dalam bentuk cahaya sehingga diperlukan proses perubahan informasi menjadi cahaya melalui media transmisi kawat konvensional.[11]

Untuk itu biasanya serat optik digunakan untuk media transmisi sinyal digital. Untuk pemilihan serat optik memiliki pilihan *single-mode* atau *multi-mode* dan pilihan antara *step index* atau *graded index*. Pemilihan ini tergantung jenis sumber cahaya yang digunakan dan besarnya dispersi maksimum yang diijinkan. Untuk sumber cahaya LED (*Light Emitting Diode*), biasanya digunakan serat *multi-mode*, meskipun LED jenis *edgeemitting* bisa digunakan dengan serat *single-mode* dengan laju sampai 560 Mbps sepanjang beberapa kilometer. Untuk Laser dioda, bisa digunakan *single-mode* atau *multimode*. Serat *single-mode* mampu menyediakan produk laju data-jarak yang sangat bagus (mampu mencapai 30 Gbps/km)[12]. Berikut adalah beberapa macam komponen *fiber optic*.

- *Optical Transmitter*

Optical transmitter merupakan sebuah komponen yang bertugas untuk mengirimkan sinyal-sinyal cahaya ke dalam media pembawanya. Di dalam komponen ini terjadi proses mengubah sinyal-sinyal elektronik analog maupun digital menjadi sebuah bentuk sinyal-sinyal cahaya. Sumber cahaya yang biasanya digunakan adalah *Light Emitting Diode (LED)* atau *solid state laser diode*.

- *Fiber optic cable*

Komponen inilah yang merupakan pemeran utama dalam sistem ini. Kabel fiber optik biasanya terdiri dari satu atau lebih serat fiber yang akan bertugas untuk memandu cahaya-cahaya tadi dari lokasi asalnya hingga sampai ke tujuan.

- *Optical receiver*

Optical receiver memiliki tugas untuk menangkap semua cahaya yang dikirimkan oleh *optical transmitter*. Setelah cahaya ditangkap dari media fiber optik, maka sinyal ini akan di *decode* menjadi sinyal-sinyal digital yang tidak lain adalah informasi yang dikirimkan. Biasanya *optical receiver* ini adalah berupa sensor cahaya seperti *photocell* atau *photodiode* yang sangat peka dan sensitif terhadap perubahan cahaya.

- *Optical repeater*

Optical repeater atau dalam bahasa Indonesianya penguat sinyal cahaya, sebenarnya merupakan komponen yang tidak perlu ada ketika menggunakan media fiber optik dalam jarak dekat. Sinyal cahaya yang dikirimkan baru akan mengalami degradasi dalam jarak kurang lebih 1 km[13].

2.4. Desain Jaringan *Backbone*

Kabel Fiber optik adalah sebuah kabel yang terbuat dari fiber kaca dengan teknologi canggih dan mempunyai kecepatan transfer data yang lebih cepat daripada kabel biasa, biasanya fiber optik digunakan pada jaringan *backbone* karena dibutuhkan kecepatan yang lebih dalam jaringan ini, namun pada saat ini sudah banyak yang menggunakan fiber optik untuk jaringan biasa baik *LAN*, *WAN* maupun

MAN karena dapat memberikan dampak yang lebih pada kecepatan dan *bandwidth* karena fiber optik ini menggunakan bias cahaya untuk mentransfer data yang melewatinya. Dalam membangun jaringan *backbone*, teknologi yang perlu dipersiapkan antara lain:

- *Bridge Backbone Ring*.
- Fiber Distributed Data Interface (FDDI) : 100 Mbps, Sistem *dual ring* dengan *protocol MAC token ring*.
- Teknologi SDH yang kemudian diikuti teknologi jaringan optik yang beroperasi dalam domain panjang gelombang, yaitu WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), DWDM (*Dense WDM*), OADM (*Optical Add/Drop Multiplexer*), dan OXC (*Optical Cross Connect*)

Dengan inovasi tersebut, saat ini, *bandwidth* bukan lagi sesuatu yang teramat mewah dan sulit untuk diperoleh. Jaringan *Transport* Optik Masa Depan, terutama untuk area *backbone* diyakini akan didominasi oleh teknologi berbasis *Dense Wavelength Division Multiplexing* dengan dukungan teknologi yang menggunakan prinsip optik dan fiber dengan tipe G.655[8].

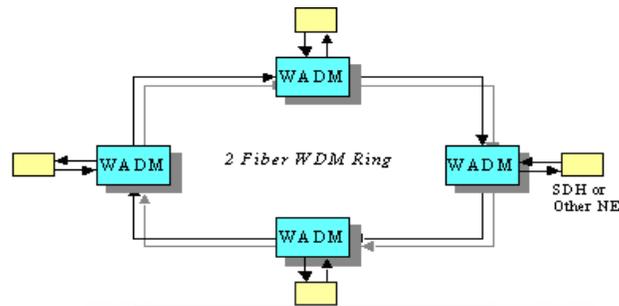
a) Topologi *Ring*

Topologi *ring* adalah topologi umum digunakan dalam jaringan SDH yang memiliki tingkat kehandalan yang tinggi dengan sistem proteksi *self healing ring*, dan tingkat *survivabilitas* 100%. Komponen perangkat utama dari topologi ini adalah *Add Drop Multiplexer* (ADM) pada jaringan SDH dan *Optical Add Drop Multiplexer* pada

teknologi Jaringan *Transport* Optik Masa Depan atau DWDM. Dalam konfigurasi *ring*, perangkat OADM berfungsi melakukan *add/drop* sinyal dalam sistem. Konfigurasi *ring*, seperti juga pada jaringan SDH, dimaksudkan untuk mengimplementasikan sistem proteksi. Prinsip dasar OADM (dengan topologi *ring*) adalah:

- Melakukan *multiplexing* panjang gelombang.
- Memiliki kemampuan menurunkan panjang gelombang 1 di suatu titik, di mana OADM ditempatkan.
- Memiliki kemampuan *add/drop* panjang gelombang 1 di titik OADM.
- Memiliki sistem *cross connect* pada satuan 1

Bila DWDM diimplementasikan berdasarkan topologi *ring*, maka jumlah perangkat dan komponen yang dipergunakan dalam sistem akan menjadi lebih sedikit. Jika sistem yang digunakan adalah $n \times 2,5$ Gbps maka total trafik yang mampu untuk dibawa oleh sistem *ring* DWDM adalah sama dengan $8 \times 2,5$ Gbps ($n=16$). Bila terjadi kerusakan *node* atau fiber, sistem ring DWDM dapat melakukan proteksi dengan metode pengaturan proteksi sinyal dan sinyal kerja mengacu pada sistem *ring*. Gambar 2.4 adalah topologi jaringan WDM *ring*.



Gambar 2.4 Topologi Jaringan *WDM Ring*

Perangkat untuk mendukung konsep jaringan optik transparan pada topologi ring adalah *add/drop* sinyal pada level optik. Proses yang akan didukung oleh perangkat ini dalam hal jaringan optik transparan adalah proses *pass through* trafik yang mungkin terjadi pada tiap node dalam jaringan. Proses *pass through* trafik dalam jaringan transparan dilakukan tanpa terlebih dahulu melalui proses konversi sinyal OEO.

b) Topologi *Mesh*

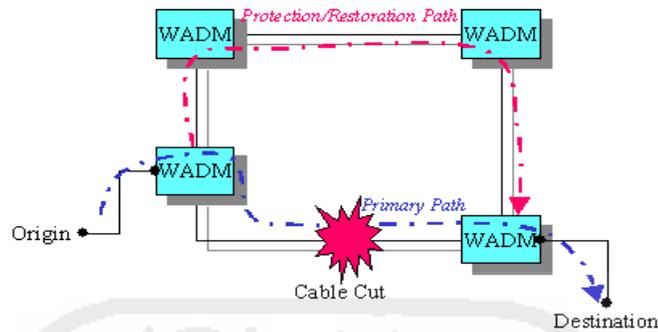
Topologi *Mesh* adalah topologi yang didisain untuk memiliki tingkat restorasi dengan berbagai alternatif rute yang biasanya disiapkan dengan dukungan perangkat lunak. Komponen utama dalam topologi ini adalah *Digital Cross Connect (DXC)* dengan lebih dari dua sinyal *aggregate*, dan tingkat *cross connect* yang beragam pada level sinyal SDH. Secara umum jaringan *mesh* dengan *DXC Self-Healing* dapat ditandai berdasarkan teknik implementasi yang berbeda-beda sebagai berikut:

1. Skema kontrol *self-healing* (terpusat dan terdistribusi)
2. Perutean kembali (*rerouting*) perencanaan kanal (*preplanned* dan dinamik)

3. Tingkat restorasi sinyal (restorasi saluran/*line* dan restorasi kanal/*path*)

Jaringan DXC disebut jaringan *self-healing* karena dapat memulihkan demand tanpa terpengaruh secara otomatis saat terjadi kesalahan fasilitas serat optik, perangkat atau *office*. DXC SDH memberikan kemampuan restorasi jaringan melalui perutean alternatif demand. Restorasi prioritas melalui penyusunan kembali *path* dapat diimplementasikan hanya jika kapasitas *spare* tersedia dalam jaringan. Sedangkan kemampuan DWDM dalam hal restorasi dan proteksi pada topologi mesh adalah sebagai berikut:

- a. Sistem DWDM memungkinkan pengimplementasian proteksi elektrik dengan sistem 1:N yang disandingkan dengan proteksi optik 1:1 untuk memberikan sistem proteksi yang lengkap.
- b. Sistem restorasi DWDM memiliki kemampuan untuk menyimpan *bundle* yang lebih banyak dari SDH, kecil kemungkinan terjadinya restorasi dan jika terjadi maka waktu restorasi yang dibutuhkan akan lebih singkat dan jumlah komponen elektrik yang diproteksi menjadi lebih sedikit. Gambar 2.5 adalah gambaran topologi WDM *mesh*.



Gambar 2.5 Topologi Jaringan WDM Mesh

DWDM juga mengakibatkan terjadinya evolusi sistem proteksi, di mana terjadi pergeseran *layer* yang diproteksi, yang mengakibatkan terjadinya perubahan waktu proteksi. Waktu proteksi yang dibutuhkan akan semakin bertambah sesuai dengan *layer* yang akan diproteksi (dari *layer* fisik sampai layanan). Kedua alternatif topologi ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa dan kajian agar pilihan topologi yang akan diterapkan dilapangan tepat dan memiliki kemampuan untuk memenuhi kebutuhan jangka panjang dengan biaya yang efisien. Menentukan proteksi yang tepat di antara arsitektur *ring* dan *mesh* pada jaringan dengan teknologi DWDM tergantung pada strategi perencanaan. Pada suatu disain atau perencanaan jaringan perlu dianalisa dalam kondisi seperti bagaimana jaringan *mesh* dengan *DXC Self-Healing* menjadi lebih menarik dibandingkan sistem *ring* dengan SHR, atau sebaliknya. Ada beberapa komponen yang menjadi bahan pertimbangan dalam mendesain suatu jaringan optik. Salah satunya adalah rugi-rugi transmisi serat optik (*attenuation*). Rugi-rugi transmisi

ini adalah salah satu karakteristik yang penting dari serat optik. Rugi-rugi ini menghasilkan penurunan dari cahaya dan juga penurunan *bandwidth* dari sistem, transmisi informasi yang dibawa, efisiensi, dan kapasitas sistem secara keseluruhan. Rugi-rugi serat optik meliputi : Rugi-rugi *Absorpsi*, Rugi-rugi Pada Inti dan *Cladding*, dan Rugi-rugi Konektor dan *Splice*. Pengukuran atau *power budget* adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui nilai dari parameter suatu kabel dan atau perangkat akses fiber optik. Parameter pengukuran atau *power budget* kabel fiber optik meliputi redaman, *loss* sambungan, jarak kabel, redaman *end to end*, dan *power level*. Adapun pengukuran perangkat aktif akses fiber optik meliputi *power transmit*, *power receiver* dan *sensitivity*. Peralatan yang digunakan untuk pengukuran kabel dan perangkat akses *fiber optic* diantaranya adalah OTDR (*Optical Domain Reflecto Meter*), *Power Meter* yang mempunyai kemampuan pengukuran *end to end passthrough splitter*[14].

2.5. Perhitungan Power Budget

Tujuan dilakukan perhitungan *power budget* adalah untuk mengetahui berapa besarnya daya yang dibutuhkan agar komunikasi yang baik dapat berlangsung. Besarnya daya diketahui dengan melakukan beberapa tahap perhitungan yaitu pertama dilakukan perhitungan redaman total dari jalur fiber dan kemudian dilakukan perhitungan *power margin* dari sistem. Dari kedua perhitungan tersebut, dapat diperoleh daya yang tersisa yang digunakan untuk berkomunikasi (*excess margin*).

Untuk tahap pertama, dilakukan perhitungan redaman total dari jalur fiber dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_{det} = P_{tx} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_f \times L_{link}) - (\alpha_s \times N_s) - M_s \quad (2.2)$$

dimana :

P_{rx} = Daya yang diterima oleh detektor (dBm)

P_{det} = Daya yang sampai pada detektor

P_{tx} = Daya transmit laser dioda

α_c = Redaman konektor

α_f = *Attenuasi* kabel serat optik

L_{link} = Jarak total *link*

α_s = Redaman *splice*

N_s = Jumlah *splice*

N_c = Jumlah konektor

M_s = Margin sistem

$\Delta\sigma$ = Lebar spektral

Pada rumus 2.2 apabila hasil nilai $P_{det} < P_{rx}$ maka sistem pada *link* tersebut perlu adanya penguat (*optical amplifier*). Setelah menghitung *power link budget* selanjutnya dilakukan perhitungan *rise time budget*. [15]

2.6. Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik. 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*. Untuk menghitung *Rise Time budget* dapat dihitung dengan rumus :

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L \quad (2.8)$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \quad (2.9)$$

Dimana :

t_r = *rise time* total plan

t_{tx} = *rise time* sumber optik

t_{rx} = *rise time* detektor optik

t_f = dispersi total serat

σ_λ = lebar spektral

D = dispersi kromatik

L = panjang *link* Dalam kaitannya dengan *bit rate* sistem, *rise time budget* sistem

dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$t_{sys} \leq 0,7/BR, \text{ untuk format pengkodean NRZ} \quad (2.10)$$

$$t_{sys} \leq 0,35/BR, \text{ untuk format pengkodean RZ} \quad (2.11)$$

Untuk menjamin sistem dapat dilalui *bitrate* yang ditransmisikan maka $tr \leq t_{sis}$ [15].

2.7 Jumlah *Splice* dan Konektor

Jumlah *splice* (sambungan kabel) yang diperlukan sepanjang *link* transmisi dapat diperoleh berdasarkan persamaan [15]:

$$N_s = \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2$$

Dimana :

Llink = jarak total *link* transmisi

Lkabel = panjang maksimum kabel per gulungnya (3 km/roll)

Dengan anggapan diperlukan satu *splice* setiap jarak 3 km serta diperlukan penambahan dua buah *splice* dan dua buah konektor untuk terhubung dengan masing-masing terminal.

2.7. *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH)

SDH adalah sistem *multiplexing* yang berdasarkan sistem *Time Division Multiplexing* (*TDM*) di mana suatu *frame* dibagi-bagi menjadi slot-slot waktu (*path/channel*). *Frame* tersebut mencakup *payload* (muatan) dan *overhead* (*OH*) yang memungkinkan *SDH* dapat menyalurkan berbagai macam *service* yang berbeda dengan kecepatan yang berbeda dalam *frame* yang sama. *SDH* ini dilengkapi dengan *overhead* untuk mengatur *link-link* dari suatu *node* ke *node* yang lain. Dalam rekomendasi *ITU-T* G.707, 708, 709 ditetapkan *bit rate* dasar sistem *SDH* adalah

sebesar 155,52 Mbps. Kecepatan bit untuk tingkatan *multiplex* yang lebih tinggi merupakan kelipatan dari kecepatan dasar yaitu 155,52 Mbps x N.

Yang didefinisikan sebagai kecepatan transmisi *STM-N* (*Synchronous Transfer Mode-N*). Hingga kini nilai N yang telah diterapkan adalah N = 1, 4, 16, dan 64, sehingga kecepatan transmisi untuk *STM-1* bernilai 155,52 Mbps, *STM-4* bernilai 622,08 Mbps, *STM-16* bernilai 2,488 Gbps dan *STM-64* bernilai 9,952 Gbps. Teknologi *SDH* yang di aplikasikan juga menggunakan *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*, karena dengan menggunakan *DWDM*, jumlah *core* optik yang diperlukan lebih sedikit jika dibandingkan dengan teknologi *SDH* tanpa *DWDM*. Hal ini disebabkan karena teknologi *DWDM* menempatkan setiap jalur data pada panjang gelombang cahaya yang berbeda, sehingga kita dapat mengirimkan banyak jalur data pada satu serat optik yang sama. Tabel 2.1 dibawah ini adalah kapasitas kecepatan transmisi untuk *STM-N*[16].

Tabel 2.1 Kapasitas dan Kecepatan Transmisi *SDH*[16]

Bitrate	Rounded	SDH	SDH capacity
51,84 Mbit/s	51 Mbit/s	STM-0	21 E1
155,52 Mbit/s	155 Mbit/s	STM-1	63 E1
622,08 Mbit/s	622 Mbit/s	STM-4	252 E1
2488,32 Mbit/s	2.5 Gbit/s	STM-16	1008 E1
9953,28 Mbit/s	10 Gbit/s	STM-64	4032 E1
39813 Mbit/s	40 Gbit/s	STM-256	16128 E1

2.8. *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*

Pada dasarnya, konfigurasi sistem *DWDM* terdiri dari sekumpulan *transmitter* sebagai sumber optik yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Sinyal tersebut kemudian mengalami proses *multiplexing*, dan ditransmisikan secara simultan melalui serat optik yang sama. Di sisi *receiver*, sinyal tersebut kemudian di *demultiplexing* kembali dan dipisahkan berdasarkan panjang gelombangnya masing-masing. Teknologi *DWDM* berkembang dari keterbatasan pada sistem transmisi serat optik yang ada, dimana pertumbuhan trafik pada sejumlah jaringan *backbone* meningkat sangat pesat sehingga kapasitas *bandwidth* yang tersedia tidak mampu lagi mengakomodasi lonjakan trafik tersebut. Hal ini menjadi dasar pemikiran untuk memanfaatkan jaringan yang ada dibandingkan membangun jaringan baru yang tentunya akan menghabiskan biaya sangat besar. Di samping itu, *DWDM* dapat diintegrasikan pada jaringan *transport* yang ada, termasuk *Synchronous Digital Hierarchy (SDH)*. Oleh karena itu, teknologi *DWDM* yang beroperasi dalam sinyal dan *domain* optik memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan kapasitas transmisi yang besar dalam suatu jaringan. Elemen jaringan *SDH* terdiri perangkat terminal, sejumlah *regenerator*, dan sepasang *core* serat optik (*transmitter* dan *receiver*). Jika kapasitas jaringan meningkat, perangkat *SDH* yang diperlukan juga akan bertambah, sehingga tidak ekonomis. Dengan di implementasikannya *DWDM* pada jaringan *transport SDH*, penambahan

perangkat *SDH* dapat dikurangi, dan efisiensi pemakaian *core* optik juga dapat ditingkatkan[17].

2.9. Teknologi GPON

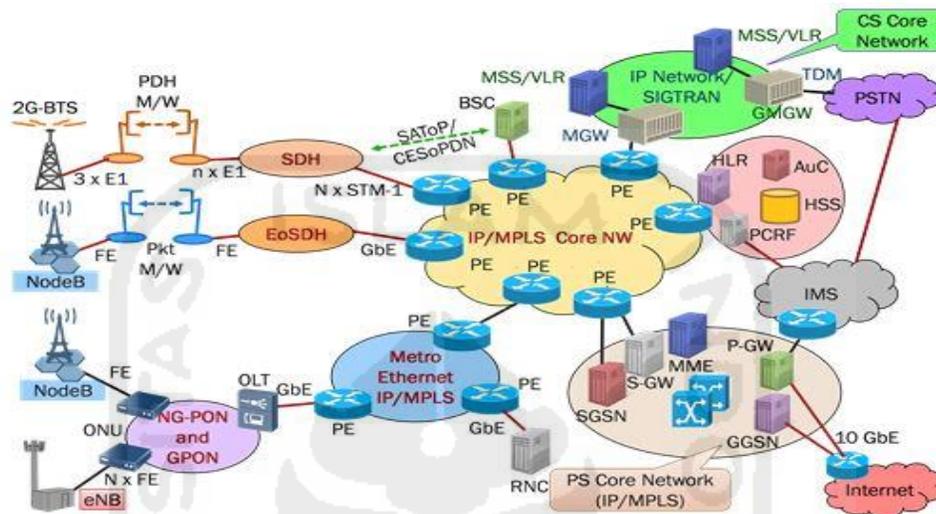
GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) adalah suatu teknologi akses optik dengan kecepatan 2,488 Gbps yang terstandarisasi oleh ITU-T G.984. Teknologi GPON menawarkan suatu jaringan yang *cost-effective*, *flexible* dan *scalable* dalam *provisioning voice* maupun *data service* yang *reliable* berbasis pada *optical access network*. Tabel dibawah adalah standar parameter GPON.

Tabel 2.2 Standar dari Teknologi GPON

Karakteristik	GPON
<i>Standardization</i>	ITU-T G.984
<i>Frame</i>	ATM / GEM
<i>Speed Upstream</i>	1,2 G / 2,4 G
<i>Speed Downstream</i>	1,2 G / 2,4 G
<i>Service</i>	<i>Data, Voice, Video</i>
<i>Transmission Distance</i>	10 km / 20 km
<i>Number of Branches</i>	64
<i>Wavelength Up</i>	1310 nm
<i>Wavelength Down</i>	1490 nm
<i>Splitter</i>	<i>Passive</i>

Standarisasi teknologi GPON juga bisa diaplikasikan ke dalam jaringan *backhaul* 4G LTE untuk mendukung layanan yang berkualitas dari segi finansial dan juga layanan yang berkualitas. GPON dipilih sebagai media *transport* dari *backbone* menuju distribusi 4G LTE atau *backhaul* karena Dengan kecepatan transmisi pada GPON sebesar 1.244 Gbps untuk *upstream* dan 2.488 Gbps untuk *downstream* serta

memiliki daerah cakupan area sepanjang 37 km[18]. Gambar 2.6 dibawah adalah implementasi *transport mobile backhaul* GPON.



Gambar 2.6 Alokasi GPON Untuk *Mobile Backhaul* [19]

GPON juga mendukung *system* redundansi dalam jaringan *broadband* untuk mengatasi gangguan atas sambungan serat optik. GPON juga dapat membawa delapan panjang gelombang yang berbeda yang melalui serat optik yang sama, ini tidak hanya dapat meningkatkan kapasitas dari *bandwidth* namun juga dapat meningkatkan rasio split. Standar terbaru yang dipergunakan pada teknologi ITU-T G.984 GPON adalah dapat mengirim *high bit rates* ketika sedang menjalankan transmisi dari format awal, seperti IP dan TDM pada perbedaan high level untuk efisiensi. Dari kedua teknologi yang telah keluar terlebih dahulu, GPON adalah teknologi yang sesuai untuk aplikasi FTTH skala besar. Ketika user menginginkan penambahan dari *bandwidth*, selain itu di daerah tersebut juga terdapat kegiatan

bisnis dan perumahan penduduk yang menggunakan *bandwidth* tersebut, maka GPON adalah solusinya, karena dengan menggunakan GPON, biaya yang keluar jauh lebih efektif[19].

2.9.1. *Link Power Budget Parameter*

Perhitungan *power link budget* dilakukan berdasarkan standarisasi ITU-T G.984 dan juga peraturan yang diterapkan oleh PT. TELKOM yaitu jarak tidak lebih dari 20 km dan redaman total tidak lebih dari 28 dB[20].

Downlink dan Uplink

$$atot = L . \alpha_{serat} + N_c . \alpha_c + N_s . \alpha_s + SP + RI \quad (2.12)$$

Dimana

$atot$ = Redaman total

L = Panjang serat optik (km)

α_{serat} = Redaman serat optik (dB/km)

N_c = Jumlah konektor

α_c = Redaman konektor (dB/konektor)

N_s = Jumlah *splice*

α_s = Redaman *splice* (dB/*splice*)

SP = Redaman *splitter* (dB)

RI = Redaman instalasi (dB/km)

2.9.2. Rise Time Budget Parameter

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik. Metode ini sangat berguna untuk menganalisis sistem transmisi digital. Umumnya degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70 persen dari satu periode bit untuk data NRZ (*Non-Return-to-Zero*) atau 35 persen dari satu periode bit untuk data RZ (*Return-to-Zero*).

Downlink Bit Rate downlink (Br) = 2.4 Gbps dengan format NRZ, sehingga:

$$tr = \frac{0,7}{Br} = \frac{0,7}{2,4 \times 10^9} = 0,2197 \text{ ns} \quad (2.13)$$

Menentukan T:

$$T_{material} = \Delta\sigma \times L \times Dm \quad (2.14)$$

$$t_{total} = (t_{tx^2} + t_{material^2} + t_{modus^2} + t_{tx^2})^{\frac{1}{2}}$$

Uplink Bit Rate downlink (Br) = 1.2 Gbps dengan format NRZ, sehingga:

$$tr = \frac{0,7}{Br} = \frac{0,7}{1,2 \times 10^9} = 0,5833 \text{ ns} \quad (2.15)$$

Dimana :

t_r = rise time total plan

t_{tx} = rise time sumber optik

t_{rx} = rise time detektor optik

t_f = dispersi total serat

σ_λ = lebar spektral

D = dispersi kromatik

L = panjang *link* Dalam kaitannya dengan *bit rate* sistem

2.9.3. Perhitungan Redaman Pada Setiap Distribusi

Perhitungan redaman untuk jaringan ini dibutuhkan karena dengan didapatkannya redaman yang sesuai dengan range yang ditentukan yaitu 13 – 25 dB maka jaringan tersebut bisa dikatakan bagus atau tidak akan terjadi gangguan secara teknis dari media transmisi. Rumus yang digunakan untuk menghitung redaman total seperti pada gambar dibawah ini [20] :

$$\begin{aligned} \text{Redaman TOTAL} = & \text{Redaman Kabel OLT} - \text{ODC} + \text{Redaman Kabel ODC} - \text{ODP} + \\ & \text{Redaman Kabel ODP} - \text{ONU} + \text{Redaman Splitter ODC} + \text{Redaman Splitter ODP} + \\ & \text{Redaman Splice Total} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Dimana :

Redaman kabel OLT-ODC = Redaman yang terjadi pada Optical Line Termination menuju Optical Distribution Cabinet

Redaman kabel ODC-ODP = Redaman yang terjadi pada Optical Distribution Cabinet menuju Optical Distribution Point

Redaman kabel ODP-ONU = Redaman yang terjadi pada Optical Distribution Point menuju Optical Network User

Redaman Splitter = Redaman yang terjadi pada saat pemisahan kabel optik

Redaman Splice = Redaman yang terjadi ketika penyambungan kabel optik

2.10. Perhitungan Traffik

Capacity merupakan suatu besaran yang menyatakan seberapa besar kemampuan suatu jaringan dalam melayani kebutuhan pelanggan dengan mempertahankan kriteria QoS/GOS tertentu. Dalam melakukan proses perencanaan kapasitas tetap memperhatikan beberapa aspek perencanaan meliputi estimasi jumlah pelanggan, perhitungan kebutuhan trafik pelanggan dan perhitungan kapasitas sel itu sendiri. Estimasi jumlah pelanggan didapat dengan menghitung melalui persamaan berikut:

$$U_0 = a \times b \times d \times n \quad (2.17)$$

Dengan,

U_0 = Jumlah pelanggan

a = Persentase pengguna seluler (%)

b = Penetrasi pelanggan suatu operator (%)

d = Persentase pengguna layanan LTE (%)

N = Jumlah penduduk

Dan estimasi pelanggan pada tahun tertentu didapat dengan menggunakan rumus:

$$U_n = U_0 (1 + gf)^n \quad (2.18)$$

Dimana

U_n = Prediksi *user* pada tahun ke-

U_0 = Total *user* pada tahun pertama

gf = angka pertumbuhan pelanggan

n = tahun prediksi

Capacity Dimensioning bertujuan untuk merumuskan seberapa besar kebutuhan *resource* yang harus disediakan oleh jaringan untuk mampu melayani *user* pada saat jam sibuk (*Bussy Hour Traffic*). Dilihat dari jenisnya, dimensioning pada LTE dapat dibagi menjadi dua, yakni *Traffic Volume Based Dimensioning* dan *Traffic Data Rate Based Dimensioning*. Pada model *Traffic Volume Based Dimensioning*, operator membatasi konsumsi layanan *user* pada jaringannya untuk setiap jangka waktu tertentu[21]. Dengan model seperti ini *user* akan dibatasi kemampuan mengakses jaringan berdasarkan kuota yang disediakan oleh penyedia layanan dan tidak dibatasi oleh kecepatan aksesnya. Berbeda dengan volume trafik, pada model *Traffic Data Rate Based Dimensioning*, kemampuan *user* untuk mengakses layanan jaringan dibatasi oleh kecepatan aksesnya. Biasanya operator akan memberikan kecepatan rata-rata *user* tergantung pada jenis paket-nya dan akan menetapkan kecepatan akses minimal kepada *user* pada saat jam sibuk[22].