

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh Bima Kurnia Marahsakti A.karel, Akhmad Hambali, dan Mochammad Hasan Jauhari pada tahun 2018 dengan judul “Perancangan Penggunaan Penguat Optik Pada Jaringan Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) di Jalur Sistem Indonesia *Global Gateway* (IGG)”. Penelitian ini membahas mengenai perancangan pengaruh dari penggunaan penguat optik terhadap jaringan Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) yang terdapat pada jalur sistem Indonesia Global Gateway (IGG) dimana perancangan sistem ini dilakukan dengan menggunakan *software OptiSystem*. Penguat optik yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan sistem *repeater-ed* atau menggunakan sistem *Repeaterless*. Pada penelitian ini menggunakan parameter ukur *Q-factor*, *Bit Error Rate* (BER), dan *Power Receiver*. Berdasarkan simulasi pemodelan sistem *repeater-ed* dengan jumlah kanal keseluruhan sebanyak 80 dan *bitrate* sebesar 100 Gbps dimana pada sistem ini menggunakan dua *pair fiber optic* yang digunakan sebagai komunikasi *upstream* dan komunikasi *downstream*. Sistem *repeater-ed* menggunakan konfigurasi *repeater-ed* sistem yang berarti menggunakan *booster amplifier*, *in-line amplifier*, dan *pre-amplifier*. Sedangkan untuk *Repeaterless* jumlah kanal dan *bitrate* yang didapatkan sama dengan *repeater-ed* yaitu dengan jumlah kanal sebanyak 80 dan *bitrate* sebesar 100 Gbps. Selain itu sistem ini menggunakan konfigurasi *Repeaterless* sistem yang berarti hanya menggunakan *Repeaterless* dan *pre-amplifier*. Hasil konfigurasi *repeater-ed* sistem memiliki performansi terbaik dengan nilai *Q-Factor* yang didapatkan mencapai 68, nilai *Bit Error Rate* (BER) 4.42×10^{-22} , dan nilai *Power receiver* 2.042 dBm. Menurut hasil konfigurasi, nilai-nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi dari standar kontrak Indonesia *Global Gateway* (IGG) [1].

Penelitian Desi Rahmawati Nugraha, Tri Nopiani Damayanti, dan Aris Hartaman pada tahun 2019 yang berjudul “Perancangan Penggunaan Penguat Optik Jaringan Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) Pada Jaringan *Broadband* Di Tanjung Pakis Karawang” dimana pada penelitian ini meneliti mengenai

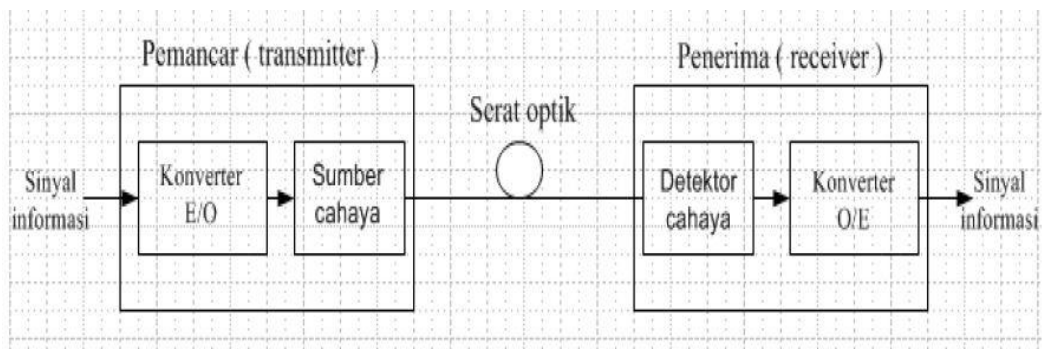
perancangan sistem komunikasi kabel laut (SKKL) dengan menggunakan penguat optik pada jaringan Tanjung Pakis yang terdapat pada jalur sistem JASUKA (Jawa, Sumatera, Kalimantan). Adapun pada penelitian ini menggunakan parameter ukur *Bit Error Rate*, *Q-Factor*, dan *Power receiver* yang dianalisis. Berdasarkan penelitian ini menunjukkan hasil *Bit Error Rate* yang didapat yaitu pada OLT pertama sebesar 2.66^{-53} , sedangkan OLT kedua sebesar 4.26^{-57} . Hasil tersebut memenuhi standar yang direkomendasikan karena telah memenuhi nilai minimum BER sebesar 10^{-9} . Sedangkan untuk nilai *Q-Factor* pertama adalah 15.3 dan *Q-Factor* kedua adalah 15.8. Untuk nilai *Receiver* OLT pertama sebesar -12.278 dB dan OLT kedua sebesar -12.272 dB [4].

Sedangkan penelitian Paliwan, Hambali, dan Hafidudin pada tahun 2016 dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Rekonfigurasi Jaringan *Hybrid* Optik Tembaga Menjadi Jaringan Optik” yang membahas mengenai perbandingan analisis rekonfigurasi jaringan *hybrid* yang dibandingkan dengan rekonfigurasi jaringan optik. Pada penelitian ini menggunakan parameter ukur *Power Link Budget*, *Rise Time Budget*, dan *Bit Error Rate* yang dianalisis. Pada penelitian ini hasil *power link budget* yang didapatkan berada diatas standar yang ditetapkan oleh PT. Telkom yaitu sebesar -28 dBm. Sedangkan untuk nilai t_{sys} yang didapatkan berdasarkan parameter ukur *rise time budget* masih berada dibawah batas periode *bit* pada pengkodean NRZ yaitu $t_{sys} < 70\%$ yang dikatakan layak. Untuk nilai SNR dan BER memenuhi standar dengan nilai SNR kurang dari 21.5 dB dan BER tidak lebih besar dari 10^{-9} dimana sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PT. Telkom [5].

2.2 SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK

Sistem komunikasi serat optik merupakan suatu teknologi komunikasi yang menggunakan gelombang cahaya sebagai media transmisinya[6]. Suatu sistem komunikasi mentransmisikan informasi dari satu tempat ke tempat lain yang memiliki kapasitas pembawa informasi yang tinggi, atau *bandwidth* dari serat[7]. Sistem komunikasi serat optik memiliki prinsip yaitu mengirimkan sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya. Komponen dasar yang digunakan dalam sistem komunikasi serat optik adalah pemancar kabel serat optik serta penerima

kabel serat optik. Komponen yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik yaitu pemancar serat optik[8]. Sistem komunikasi serat optik adalah pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya dari bagian pemancar ke penerima. Proses pengiriman sinyal informasi yang melalui serat optik adalah menggunakan prinsip pemantulan sinyal optik yang berupa cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Secara umum konfigurasi sistem komunikasi serat optik ditunjukkan pada gambar 2.1 [9].



Gambar 2.1 Konfigurasi Sistem Komunikasi Serat Optik [9]

Pada gambar 2.1 menunjukkan suatu konfigurasi sistem komunikasi serat optik dimana pemancar berfungsi mengubah sinyal elektrik ke dalam sinyal cahaya, kabel serat optik berfungsi sebagai media transmisi dan penerima berfungsi mengubah sinyal cahaya yang diterima menjadi sinyal elektrik. Sumber cahaya berfungsi mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal cahaya (E/O converter), kriteria yang harus dipenuhi sumber cahaya adalah ukuran dan konfigurasi yang sesuai dengan cahaya yang masuk kedalam serat optik, mempunyai akurasi yang tinggi, cahaya yang dihasilkan dapat digandeng ke serat optik sehingga menghasilkan daya optik yang cukup, menghasilkan cahaya dengan lebar pita yang cukup sempit untuk meminimumkan efek dispersi. Ada dua macam sumber cahaya yang sering diaplikasikan, pemakaian kedua jenis sumber optik ini tergantung dari pada bit rate transmisi data dan jarak tempuh yang ingin dicapai, kedua jenis sumber cahaya yang dimaksud yaitu LED (*Light emitting diode*) dan LASER (*Light Amplification by Stimulated Emmission of Radiation*). Setelah cahaya tiba di sisi penerima (*receiver*), cahaya yang dipancarkan dari ujung link serat optik harus dideteksi dan dikonversikan ke dalam pulsa-pulsa elektronik untuk pemrosesan lebih jauh sehingga informasi

yang ditransmisikan dapat diterima. Jenis detektor optik / cahaya yang digunakan pada sisi penerima yaitu APD (*Avalanche Photo Diode*) dan PIN (*Positive Intrinsic Negative Photo Diode*). Serat optik dikarakteristikan oleh strukturnya dan sifat transmisi. Secara dasar, serat optik diklasifikasikan menjadi dua serat optik *single mode* dan serat optik *multi mode* [9].

2.1 Kabel Serat Optik

Kabel serat optik merupakan media transmisi, yang dimana pada media serat optik adalah salah satu solusi dari berbagai permasalahan dalam dunia telekomunikasi, seperti peningkatan jumlah kanal yang tersedia, tersedianya *bandwidth* yang besar, mampu mengirim data dengan kapasitas besar dan berbagai kendala dalam komunikasi lainnya. Gambar 2.2 merupakan gambar dari struktur serat optik yang secara umum terbagi menjadi 3 bagian yang meliputi inti (*core*), *cladding*, dan *coating*.

1. Core

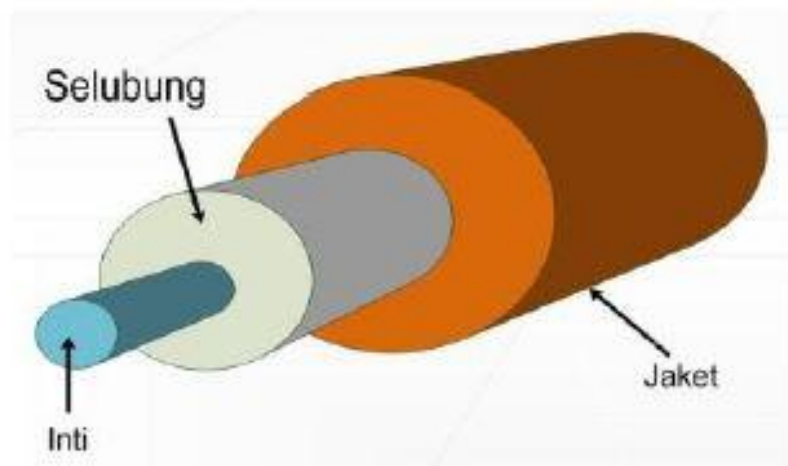
Core atau inti serat optik berfungsi sebagai media pemandu cahaya (*guided medium*) atau tempat perambatan cahaya dari satu titik ke titik yang lainnya. *Core* terbuat dari bahan kaca dengan kualitas sangat tinggi dan memiliki diameter 5-10 μm dimana ukuran *core* akan mempengaruhi karakteristik serat optik.

2. Cladding

Cladding atau selubung serat optik berfungsi sebagai bidang batas pemantulan agar cahaya optik yang dirambatkan dapat dipantulkan total lagi kedalam *core* sehingga cahaya dapat dipandu sampai diujung lainnya. *Cladding* terbuat dari bahan gelas dengan indeks bias lebih kecil dari *core* dan *cladding* akan mempengaruhi perambatan cahaya pada *core* (mempengaruhi besarnya sudut kritis).

3. Coating

Coating atau jaket pembungkus berfungsi sebagai pelindung mekanis serat optik sehingga serat optik lebih tahan terhadap gangguan eksternal. *Coating* terbuat dari bahan plastik dan juga untuk tempat kode warna dari tiap-tiap *tube* [6].



Gambar 2.2 Struktur Serat Optik [6]

Serat optik memiliki jangkauan yang lebih jauh dari 550 meter sampai ratusan kilometer, tahan terhadap interferensi elektromagnetik dan dapat mengirim data pada kecepatan yang lebih tinggi dari jenis lainnya. Serat optik tidak membawa sinyal elektrik, seperti lainnya yang menggunakan tembaga. Sebagai gantinya, sinyal yang mewakili bit tersebut diubah ke bentuk cahaya. Tabel 2.1 merupakan tabel perbandingan antar beberapa media transmisi [10].

Tabel 2.1 Perbandingan antar beberapa media transmisi [10]

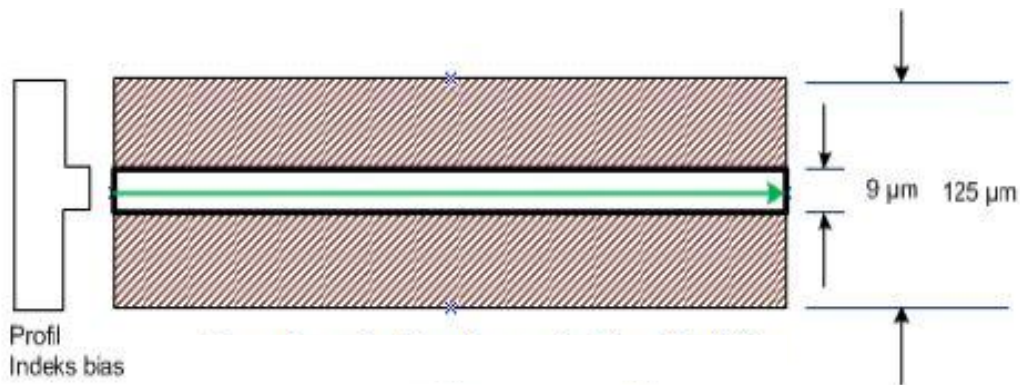
Media	Kecepatan	Biaya
Twisted Pair	300 bps – 10 Mbps	Rendah
Coaxial Cable	56 Kbps – 200 Mbps	Rendah
Microwave	256 Kbps – 100 Mbps	Tinggi
Satellite	256 Kbps – 100 Mbps	Tinggi
Fiber Optik	500 Kbps – 6,4 Tbps	Tinggi

2.2 Jenis-jenis Serat Optik

Pada kabel serat optik, terdapat tiga jenis kabel yang digunakan untuk sistem transmisi, yaitu *singlemode step index*, *multimode step index*, dan *multimode graded index*.

1. *Singlemode step index*

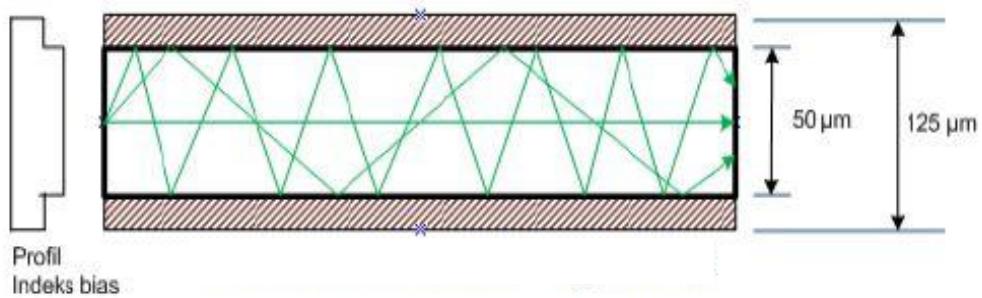
Singlemode step index merupakan jenis serat yang hanya mampu mentransmisikan satu sumber cahaya pada satu serat, sehingga pengaruh indeks bias cahaya dapat lebih ditekan [11]. *Single mode* itu sendiri merupakan serat optik dengan *core* yang sangat kecil, diameter mendekati panjang gelombang sehingga cahaya yang masuk ke dalamnya tidak dipantulkan ke dinding *cladding*. Diameter inti untuk *singlemode step index* yaitu antara 5 μm dan 10 μm dengan *cladding* 125 μm . Oleh karena itu, serat jenis ini sangat cocok untuk digunakan pada sistem komunikasi jarak jauh karena memiliki *bandwidth* yang lebar serta kecepatan transmisi yang tinggi [12]. Gambar 2.3 dibawah ini merupakan jenis serat optik *Singlemode Step Index*.



Gambar 2.3 *Singlemode Step Index* [6]

2. *Multimode Step Index*

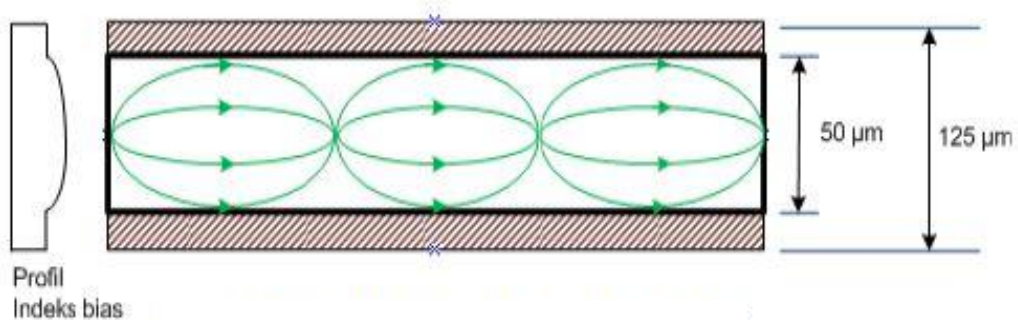
Multimode step index merupakan jenis serat yang memiliki diameter *core* lebih besar dari *cladding*, sehingga mampu mentransmisikan banyak modus cahaya. Serat jenis ini sangat cocok untuk digunakan pada sistem komunikasi jarak dekat dengan kecepatan data yang rendah [11]. Diameter inti dari serat *multimode* memiliki nilai yang digunakan oleh telekomunikasi yaitu 62.5 / 125 μm . Akan tetapi serat jenis ini tidak banyak digunakan karena serat yang berjenis *multimode* ini merupakan serat optik dengan diameter *core* yang agak besar yang membuat laser di dalamnya akan terpantul-pantul di dinding *cladding* yang dapat menyebabkan berkurangnya *bandwidth* dari serat optik jenis ini [12]. Pada gambar 2.4 berikut ini merupakan jenis kabel serat optik *Multimode Step Index*.



Gambar 2.4 Multimode Step Index [6]

3. *Multimode Graded Index*

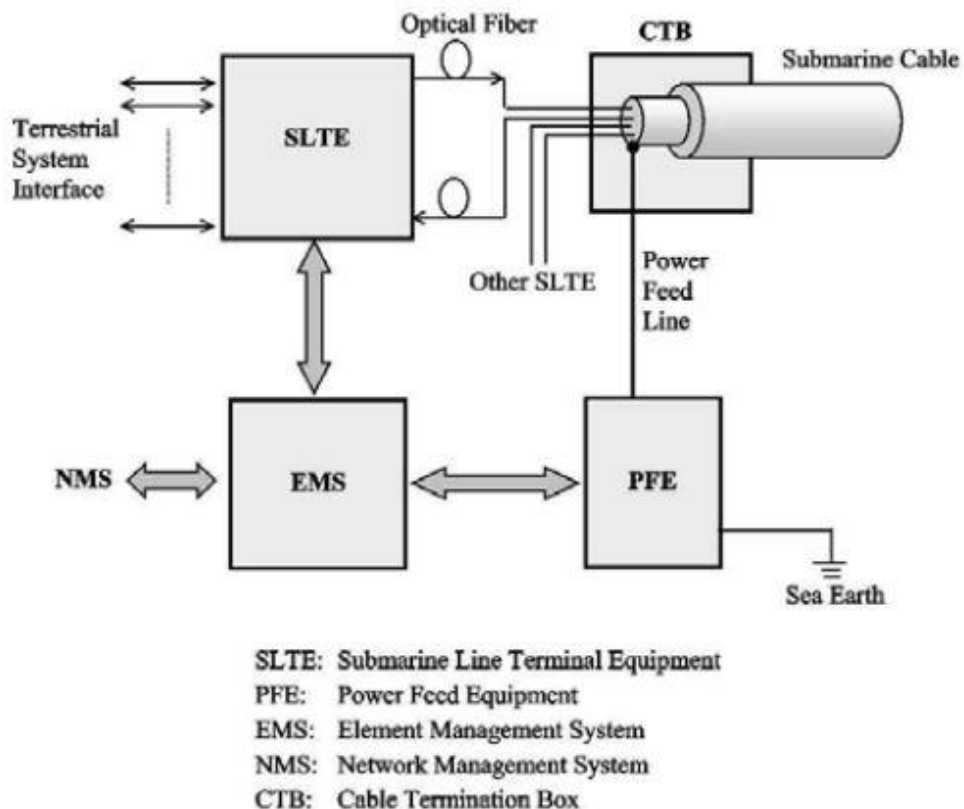
Jenis serat optik *multimode graded index*, perubahannya secara perlahan terjadi pada indeks bias. Proses perubahan indeks bias ini berubah semakin mengecil dimulai dari lapisan pusat inti (*core*) hingga batas lapisan *core* dengan *cladding* yang menyebabkan berkurangnya waktu perambatan cahaya hingga sampai ke ujung serat optik. Sehingga menyebabkan tingginya cepat rambat cahaya dalam proses transmisi sinyal serat optik [11]. Pada *graded index*, apabila *index* bias *core* semakin mendekati ke arah *cladding* maka semakin kecil. Maka apabila pada *graded index*, pusat *core* memiliki nilai *index* bias yang paling besar. Serat *graded index* memungkinkan untuk membawa *bandwidth* yang lebih besar, karena pelebaran pulsa yang terjadi dapat diminimalkan. Diameter *core* yang dimiliki oleh *multimode graded index* yaitu 30-60 μm dan *core* memiliki *index* bias yang berbeda jumlah lapisan gelasinya [12]. Gambar 2.5 dibawah ini merupakan jenis kabel serat optik *Multimode Graded Index*.



Gambar 2.5 Multimode Graded Index [6]

2.3 SISTEM KOMUNIKASI KABEL LAUT (SKKL)

Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) merupakan sistem komunikasi yang menggunakan kabel optik sebagai media transmisi yang ditanam atau diletakkan di dasar laut untuk menghubungkan komunikasi antar pulau atau antar negara. Sistem komunikasi kabel laut (SKKL) juga merupakan suatu sistem komunikasi melalui laut dengan media transmisi kabel koaksial yang diletakkan terbaring di atas dasar laut pada bagian air yang dalam, atau dalam parit di dasar laut pada bagian air yang dangkal untuk menghubungkan jalur komunikasi antar pulau atau antar negara. Kabel koaksial yang digunakan memiliki persyaratan-persyaratan tertentu, terutama mengenai perlindungan terhadap tegangan maupun gangguan dari luar. Kabel ini dirancang bebas dari gangguan dalam masa yang cukup lama, yaitu sekitar 20 tahun atau lebih. Pada dasarnya konfigurasi SKKL dibagi menjadi dua, yaitu perangkat terminal yang biasanya ditempatkan di darat (*dry plant*) dan jaringan serat optik yang ditempatkan di bawah laut (*wet plant*) [13]. Konfigurasi Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Konfigurasi Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) [14]

2.3.1 Submarine Line Terminal Equipment

Submarine Line Terminal Equipment atau yang sering disebut dengan sebutan SLTE merupakan sebuah perangkat yang bertanggung jawab dengan transmisi yang akan dikirimkan pada sistem komunikasi kabel laut. Dapat dikatakan seluruh data yang akan dikirimkan ke dalam jaringan *submarine cable* diproses pada perangkat ini [1]. SLTE juga merupakan suatu perangkat yang terdiri atas beberapa rak dan menyediakan arsitektur standar untuk sistem pendingin, *plug-in units*, serta kabel yang terinstalasi [14].

2.3.2 Power Feeding Equipment

Power Feeding Equipment atau PFE merupakan perangkat pada sistem komunikasi kabel laut yang diletakkan pada *Beach Main Hole* (BMH) yang berfungsi untuk memberikan daya melalui kabel fiber optik ke peralatan komponen-komponen yang terpasang pada sistem komunikasi kabel bawah laut. Selain itu perangkat ini digunakan untuk mencatu perangkat *repeater* yang berada di tengah laut karena *repeater* merupakan perangkat aktif pada sistem komunikasi kabel laut [13]. *Power Feed Equipment* (PFE) juga merupakan suatu perangkat penunjang yang terdapat pada infrastruktur jaringan *submarine cable* yang memiliki fungsi untuk menyalurkan arus listrik melalui lapisan konduktor yang terdapat pada kabel fiber optik, tujuannya ialah untuk memberikan catuan daya kepada perangkat *repeater/amplifier* yang berada di tengah laut. Perangkat *repeater* merupakan perangkat *Active Optical Network* (AON) atau perangkat yang memerlukan catuan daya agar dapat dioperasikan [1].

PFE memberikan catuan DC yang stabil kepada perangkat. *Repeater*, *equalizer* dan *branching unit* (BU) didukung pencatuannya secara seri oleh PFE yang terletak di stasiun terminal. PFE dapat menyediakan hingga 12.500 Volt pada arus hingga 1,6 Ampere, cukup untuk daya kabel melintasi Samudra Pasifik dari stasiun tunggal [14].

2.3.3 System Supervisory Equipment

System Supervisory Equipment (SSE) adalah stasiun terminal yang digunakan untuk memonitor, memelihara sistem, menyalurkan informasi dan

memberikan daya yang diperlukan. SSE terdiri atas *Element Management System* (EMS) dan *Network Management System* (NMS) [14].

1. *Elements Management System* (EMS)

Elements Management System (EMS) digunakan untuk menginformasikan mengenai hasil pemantauan. Prosedur ini memungkinkan EMS untuk memantau semua kabel bawah laut optik elemen sistem termasuk peralatan kapal selam serta peralatan yang dipasang di setiap stasiun. *Element Management System* (EMS) mengelola tipe spesifik dari satu atau lebih elemen jaringan dalam jaringan manajemen telekomunikasi. EMS berkomunikasi ke *Network Management System* (NMS), untuk mengatur lalu lintas antara EMS dan elemen-elemen jaringan lainnya [15].

2. *Network Management System* (NMS)

Network Management System (NMS) merupakan suatu kombinasi dari *hardware* dan *software* yang digunakan untuk memonitor dan mengatur suatu jaringan. *Network Management System* akan melakukan pemantauan jaringan secara *real time* maupun periodik, serta melaporkan apabila terdapat komponen yang mengalami *error* atau penurunan daya maupun kecepatan [1].

2.3.4 *Cable Terminating Box*

Cable Terminating Box (CTB) digunakan untuk memfasilitasi hubungan antara serat optik kabel bawah laut dan optik kabel *patch* ke stasiun *Optical Distribution Frame* (ODF), serta menyediakan *interface* untuk mengambil alih perintah ke pusat *power* DC konduktor kabel bawah laut [14].

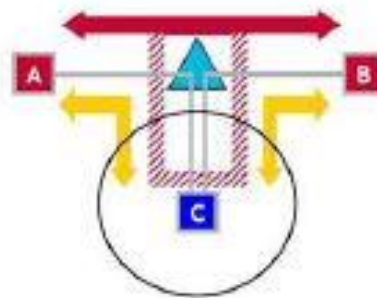
2.3.5 *Branching Unit*

Branching Unit (BU) digunakan pada SKKL yang memiliki lebih dari dua *landing station*, sebagai tempat membelokkan jalur optik, tempat membelokkan *wavelength/lambda*, dan merekonfigurasi sistem daya [14]. *Branching unit* (BU) juga merupakan perangkat pembagi, yang mana pada jaringan *terrestrial* dikenal dengan *splitter* atau pembagi. Pada *branching unit* selain berfungsi untuk

membagi *core*, *branching unit* dapat membagi panjang gelombang pada suatu kabel optik. Perlunya *Branching Unit* (BU) karena dapat memaksimalkan jaringan prioritas dengan *bandwidth* yang besar, menggabungkan kebutuhan *bandwidth* yang kecil sesedikit mungkin. Biaya membuat percabangan (menggunakan *branching unit*) lebih efisien dibandingkan membuat jalur baru [1].

1. *Full Fiber Drop* (FFD) BU

Pada jenis BU ini, fungsi *add/drop* pada wavelength dilakukan seluruhnya sesuai fiber yang dicabangkan. BU hanya melakukan *fiber connectivity*, sedangkan pembagian trafik yang akan di-*add/drop* dan di-*passthrough* (memerlukan *regenerator transponder*) dilakukan di SLTE *Branching* [16]. Untuk konfigurasi *Full Fiber Drop* (FFD) BU dapat dilihat pada Gambar 2.7

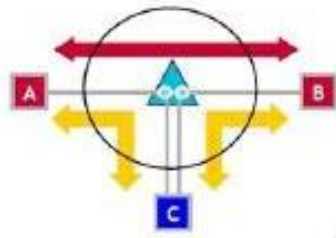


Gambar 2.7 Konfigurasi FFD BU [16]

2. *Optical Add/Drop Multiplexing* BU

Optical add/drop multiplexing (OADM) BU merupakan *fiber connectivity* yang memanfaatkan pembagian *wavelength* dalam satu fiber pair. Dalam satu *fiber pair* tidak semua *wavelength* di-*add/drop* tetapi ada juga yang di-*passthrough*. Berbeda dengan FFD yang dilakukan di SLTE (pembagian trafiknya), pembagian trafik OADM BU dilakukan di bawah laut. OADM merupakan suatu perangkat pada teknologi WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) yang menggabungkan dan merutekan saluran yang berbeda dari atau ke serat optik tunggal. Kebutuhan kapasitas meningkat mencapai 10 Gbps x 128 gelombang. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, teknologi OADM dapat membagi ke dalam spektrum panjang gelombang mencapai 128 gelombang dengan menggunakan OADM *branching*

unit [16]. Konfigurasi *Optical add/drop multiplexing* (OADM) BU dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Konfigurasi OADM BU [16]

2.3.6 *Submarine Cable*

Kabel bawah laut optik adalah kabel serat optik bawah laut yang dirancang agar cocok untuk dangkal dan dalam penggunaan air, yang diperlukan untuk memastikan perlindungan serat optik terhadap tekanan air, air memanjang propagasi, agresi kimia dan efek kontaminasi hidrogen sepanjang umur desain kabel. Kabel bawah laut diuji secara ekstensif untuk menunjukkan bahwa ia dapat dipasang dan diperbaiki in situ, bahkan dalam kondisi terburuk [4].

Kabel bawah laut harus dirancang sedemikian rupa untuk menjamin ketahanan desain sistem, dengan mempertimbangkan efek kumulatif dari beban yang diterapkan pada kabel selama peletakan, pemulihan dan perbaikan, serta permanen memuat atau perpanjangan yang diterapkan pada kabel yang dipasang [4]. Berdasarkan ITU-T G.972 terdapat berbagai jenis kabel yang dilindungi.

1. *Light Weight Cable (LW)*

Light Weight Cable (LW) merupakan kabel laut yang memiliki lapisan pelindung paling sedikit (dibandingkan kabel laut lainnya), dikarenakan kabel jenis LW ini diperuntukan digunakan untuk kedalaman 3.000 meter sampai dengan 8.000 meter [1]. Gambar 2.9 berikut merupakan kabel laut jenis *Light Weight Cable (LW)*.



Gambar 2.9 *Light Weight Cable (LW)* [1]

2. *Light Weight Protected Cable (LWP)*

Kabel ini lebih tebal jika dibandingkan dengan LW, karena kabel ini dirancang untuk tahan terhadap gigitan ikan serta abrasi, kabel ini diperuntukan digunakan untuk kedalaman 500 meter sampai dengan 3.000 meter [1]. Untuk kabel jenis *Light Weight Protected Cable (LWP)* dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Light Weight Protected Cable (LWP)* [1]

3. *Single Armored Cable (SA)*

Dibandingkan dengan kabel LWP, kabel ini memiliki bagian (lapisan) pelindung dibagian luar yang terbuat dari baja, yang mana berfungsi untuk melindungi kabel dari gesekan yang disebabkan oleh arus laut dengan karang yang berada dipermukaan laut, kabel ini diperuntukan digunakan untuk kedalaman 200 meter sampai dengan 500 meter [1]. Gambar 2.11 merupakan jenis kabel *Single Armored Cable (SA)*.



Gambar 2.11 *Single Armored Cable (SA)* [1]

4. *Double Armored Cable (DA)*

Dibandingkan jenis kabel laut seperti LW, LWP, SA, kabel DA ini merupakan kabel yang paling tebal, karena memiliki dua lapisan baja pada bagian luarnya, yang mana berfungsi untuk melindungi kabel dari jangkar kapal, serta aktifitas tepi pantai yang dapat menyebabkan kerusakan terhadap kabel, kabel ini diperuntukan digunakan digunakan sampai dengan kedalaman 200 meter, atau jarak maksimal dari landing station sejauh 20 Km [1]. Kabel dengan jenis *Double Armored Cable (DA)* dapat dilihat pada gambar 2.12 berikut ini.

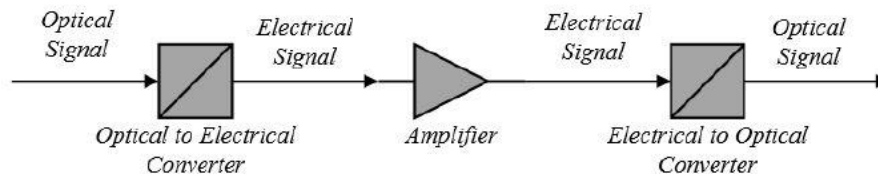


Gambar 2.12 *Double Armored Cable (DA)* [1]

2.4 REPEATER

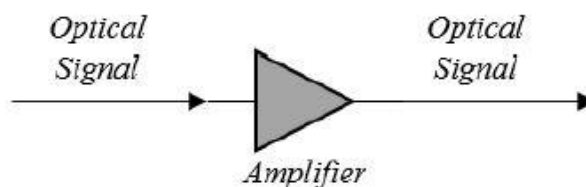
Repeater berfungsi untuk mengurangi dampak *loss*, sehingga pada sisi detektor sinyal masih dapat dideteksi dengan baik. *Repeater* ini melakukan proses penguatan sinyal optik tanpa terlebih dahulu melakukan proses konversi sinyal tersebut ke sinyal elektrik. Pada SKKL, tidak semua rancangan membutuhkan *repeater*. Beberapa jaringan membutuhkan *repeater* sehingga disebut jaringan *Repeatered* dan terdapat pula jaringan yang tidak membutuhkan *repeater* atau disebut jaringan *repeaterless* [14].

Repeater dapat berupa *repeater* elektronik atau *repeater optic (amplifier)*. Repeater elektronik mempunyai kelemahan karena sinyal pertama-tama mengalami konversi dari sinyal optik ke sinyal elektrik, kemudian diperkuat secara elektronik dan sesudah itu dikoversi kembali dari sinyal elektrik ke sinyal optik, akibatnya akan terjadi degradasi kualitas pada sinyal keluaran. Untuk mengatasi hal ini, banyak usaha yang telah dilakukan, sehingga diperoleh suatu *repeater* yang serba optik, dalam artian sinyal optik yang akan masuk ke dalam penguat (*amplifier*) tidak dirubah terlebih dahulu ke sinyal elektrik, melainkan langsung dikuatkan oleh *amplifier* [1].



Gambar 2.13 Electrical Amplifier [1]

Pada gambar 2.13 diatas merupakan gambar *Electrical Amplifier*. Dalam *optical amplifier* tidak ada konversi sinyal yang terjadi baik dari sinyal optik ke sinyal elektrik maupun sebaliknya, sehingga degradasi sinyal akibat konversi dan penguatan secara electrical dalam *repeater* tidak mungkin ada [1].



Gambar 2.14 Optical Amplifier [1]

2.4.1 Erbium Doped Fiber Amplifier

Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) yaitu material yang umum digunakan untuk aplikasi telekomunikasi long haul, dimana EDFA merupakan serat silika yang didoping dengan erbium. Untuk memberikan fasilitas layanan jaringan dengan kecepatan tinggi, maka diperlukan bandwidth dalam jumlah besar, sehingga EDFA digunakan secara ekstensif dalam teknologi WDM – DWDM dengan meningkatkan kapasitas jaringan optik dan bekerja secara efektif dengan kecepatan tinggi. Daerah operasi EDFA secara umum yaitu 1530 – 1565 nm. EDFA merupakan serat *singlemode optic* yang dimana inti (*core*) dikotori oleh atom erbium sehingga dapat memberikan penguatan terhadap sinyal yang melewatinya[3].

2.4.2 Semiconductor Optical Amplifier

Semiconductor Optical Amplifier (SOA) merupakan penguat optik yang memanfaatkan rongga atau ruangan *cavity* untuk penguatan cahaya. Prinsip kerja SOA yaitu arus elektrik dialirkan ke daerah aktif (*semiconductor Cavity*) untuk merangsang elektron. Ketika cahaya foton lemah masuk ke daerah aktif akan menyebabkan elektron ini kehilangan energinya. Sehingga cahaya lemah yang masuk dikuatkan. Bagian sisi dari daerah aktif merupakan bahan anti refleksi bertujuan agar tidak ada sinyal refleksi dari dalam semikonduktor sendiri. Inilah yang menjadi dasar membedakan dari laser semikonduktor.

Semiconductor Optical Amplifier (SOA) dapat digunakan pada transmisi satu arah maupun dua arah. *Semiconductor Optical Amplifier* didasarkan pada teknologi yang sama dengan dioda laser. SOA dapat beroperasi pada panjang gelombang 1280 nm sampai dengan 1650 nm [17].

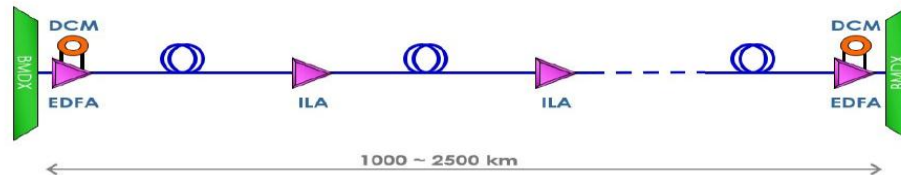
2.4.3 Hybrid Optical Amplifier

Terdapat satu metode untuk pemanfaatan optimal dari *bandwidth* serat yang tersedia yaitu dengan cara menggunakan berbagai kombinasi dari penguat optik dalam rentang panjang gelombang yang berbeda. Penguat optik (*optical amplifier*) menawarkan lebih banyak keuntungan dibanding regenerator elektronik, termasuk *data rate* sistem dapat diubah sesuai dengan kebutuhan, dimungkinkan untuk mengirimkan dalam banyak saluran (*multiple channles*), dan

tidak perlu memodifikasi *in-line transmission link* atau komponen lainnya untuk mendapatkan keuntungan tersebut. Penguat *hybrid* digunakan untuk mengoptimalkan peningkatan *gain-bandwidth* dari sistem berbasis WDM, untuk mengurangi kerugian karena induksi *non linieritas* dan untuk mencegah penggunaan biaya tinggi yang dibutuhkan untuk memperbaiki *gain flatness*. Meningkatkan *Gain-Bandwidth* penguat optik adalah cara yang paling efektif untuk pemanfaatan optimal *bandwidth* serat secara efisien dalam peningkatan jumlah saluran berbasis WDM [2].

2.4.4 Repeatered

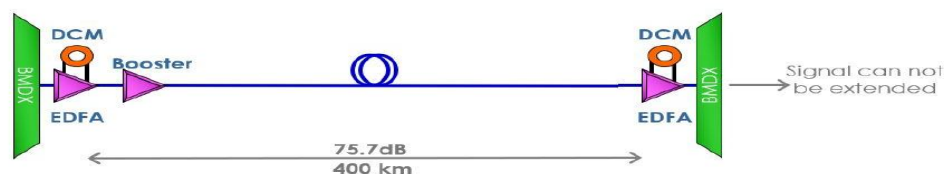
Repeatered merupakan jaringan membutuhkan *repeater* [14]. Konfigurasi dari penggunaan kategori *Repeatered* pada komunikasi *link* karena jarak yang cukup jauh maka dibutuhkan penguat dalam setiap penempatan, *booster*, *in-line*, dan *pre-amplifier*. Penggunaan *power feeding equipment* diperlukan pada *Repeatered*, karena penempatan *in-line* membutuhkan catuan [13]. Gambar 2.15 berikut merupakan gambar konfigurasi *Repeatered*.



Gambar 2.15 Repeatered [1]

2.4.5 Repeaterless

Repeaterless jaringan yang tidak membutuhkan *repeater* [14]. Pada *repeaterless* penggunaan penguat hanya pada *booster* atau *pre-amplifier* karena jarak *link* optik yang dekat. Penggunaan *power feeding equipment* tidak perlu pada *repeaterless* [13]. Gambar konfigurasi *Repeaterless* ditunjukkan pada gambar 2.16 sebagai berikut.



Gambar 2.16 Repeaterless [1]

2.5 DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING

Teknologi DWDM merupakan suatu pengembangan dari jaringan sebelumnya yang telah ada yaitu *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). WDM merupakan suatu teknologi yang dapat menggabungkan sejumlah panjang gelombang pembawa informasi independen melalui suatu serat yang sama. Secara historis, istilah DWDM pada umumnya mengacu pada pemisahan panjang gelombang dengan nilai *spacing* yang kecil seperti yang dinyatakan pada ITU-T G.692.

Sistem DWDM memiliki jarak antar kanal yang cukup rapat. Jarak antar kanal atau *spacing* dibutuhkan untuk menghindari terjadinya interferensi antar kanal yang digunakan agar tidak mempengaruhi performansi kinerja sistem DWDM. Pada umumnya nilai *spacing* antara satu kanal dengan kanal yang lain berkisar antara 50 - 200 GHz (0.4 - 1.6 nm). Pada saat ini sedang dikembangkan untuk *spacing* yang lebih rapat yaitu sebesar 25 dan 12.5 GHz atau yang setara dengan 0.2 dan 0.1 nm (yang disebut sebagai Ultra-DWDM). Pada implementasi sistem DWDM jarak jauh (*long haul*), memungkinkan penggunaan *amplifier* (penguat) untuk mencegah penurunan level daya sinyal optik yang dikirimkan. Oleh karena itu komponen *optical amplifier* yang digunakan untuk aplikasi jarak jauh harus memenuhi persyaratan performansi tinggi seperti, *optical amplifier* harus beroperasi pada pita spektral lebar dan memiliki laser pompa berdaya tinggi untuk memperkuat sejumlah besar saluran yang digunakan[3].

2.6 PARAMETER UKUR YANG DIUJI

2.6.1 Bit Error Rate

Bit Error Rate (BER) merupakan salah satu parameter yang paling umum dalam sebuah jaringan digital. *Bit Error Rate* (BER) merupakan rasio perbandingan *bit error* dengan bit yang dikirimkan keseluruhan. Sedangkan, BER tes adalah pengujian yang bertujuan menguji seberapa banyak kesalahan pembacaan yang diterima setiap detik. Sistem komunikasi optik menggunakan nilai BER untuk menentukan persyaratan performansi untuk aplikasi *link* transmisi tertentu. BER dilakukan untuk mengujikan seberapa besar perbandingan antara bit yang *error* dengan bit yang berhasil dikirimkan. Nilai BER tergantung

pada waktu pengukuran dan faktor penyebab terjadinya *error*. Batas toleransi nilai BER yang umum digunakan untuk kualitas sistem komunikasi digital yaitu tidak melebihi 10^{-9} [3] rekomendasi ITU-T G.976 [1].

$$BER = \frac{\exp - \frac{Q^2}{2}}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan 2.1 dapat diketahui keterangan dari BER yang merupakan Bit Error Rate dan Q yaitu faktor kualitas.

2.6.2 *Q-Factor*

Q Factor adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya kualitas suatu *link* berbasis DWDM. Dalam sistem komunikasi serat optik khususnya DWDM, minimal ukuran *Q Factor* yang bagus adalah 6 [2].

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{2}}}{2} \quad (2.2)$$

2.6.3 *Signal To Noise Ratio (SNR)*

Pada semua jenis sistem transmisi data, *signal to noise ratio* (SNR) merupakan parameter yang harus diperhatikan. SNR digunakan untuk menunjukkan seberapa banyak *noise* mengganggu sinyal yang ditransmisikan. Dengan kata lain, SNR membandingkan daya sinyal yang diinginkan terhadap *background noise* [18]. Nilai SNR dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 [1].

$$SNR = \frac{(Pr.R.M)^2}{2.q.Pr.R.M^2.F(M).Be + \frac{4.Kb.T.Be}{R_L}} \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan 2.3 dapat diketahui Pr adalah daya jatuh pada APD (*Watt*), R adalah responsivitas detektor (A/W), M adalah penguatan detektor, q adalah muatan elektron ($1,69 \times 10^{-19}$ C), F(M) adalah *noise figure*, Be adalah

receiver electrical bandwidth (Hz), K_B adalah konstanta *boltzman* ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), T adalah suhu (K), serta R_L adalah hambatan dalam (Ohm) [1].

2.6.4 Power Receiver

Power receiver merupakan penerima optik dalam sistem serat optik dimana level daya optik sinyal minimum yang harus dicapai *photodetector* atau pada penerima untuk mencapai kinerja BER tertentu. Standar minimum yang dimiliki *power receiver* dengan minimum -40 dBm dan +2 dBm [20].