

TUGAS AKHIR - TE 141599

STUDI PERANCANGAN JARINGAN KOMUNIKASI FIBER OPTIK
PADA *BACKBONE* PUSAT PENGATURAN BEBAN TENAGA
LISTRIK

Muhamad Fazrur Rizal
NRP 07111440000187

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Dr. Istas Pratomo, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI PERANCANGAN JARINGAN KOMUNIKASI FIBER OPTIK
PADA *BACKBONE* PUSAT PENGATURAN BEBAN TENAGA
LISTRIK**

Muhamad Fazrur Rizal
NRP 07111440000187

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Dr. Istas Pratomo, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

DESIGN OF OPTICAL FIBERS COMMUNICATION NETWORK FOR BACKBONE IN PUSAT PENGATURAN BEBAN

Muhamad Fazrur Rizal
NRP 07111440000187

Supervisors
Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Dr. Istas Pratomo, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**PERANCANGAN JARINGAN KOMUNIKASI FIBER
OPTIK PADA BACKBONE PUSAT PENGATURAN
BEBAN TENAGA LISTRIK**

TUCAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA

Dr. Istas Pratomo, ST., MT.

NIP. 196510141990021001

NIP. 197903252003121001



PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**PERANCANGAN JARINGAN KOMUNIKASI FIBER OPTIK PADA *BACKBONE* PUSAT PENGATURAN BEBAN TENAGA LISTRIK**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Muhamad Fazrur Rizal

07111440000187

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN JARINGAN KOMUNIKASI FIBER OPTIK PADA BACKBONE PUSAT PENGATURAN BEBAN TENAGA LISTRIK

Nama mahasiswa : Muhamad Fazrur Rizal
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Dosen Pembimbing II : Dr. Istas Pratomo, ST., MT.

Abstrak:

Kebutuhan energi listrik setiap waktunya tidak selalu sama. Tingginya kebutuhan konsumen membuat PLN perlu meningkatkan produksi energi listriknya pada waktu-waktu tertentu. Namun pada waktu kebutuhan rendah, PLN juga harus mengatur pembebanan listrik pada gardu induk agar pemakaian dari energy terbangkitkan dapat digunakan secara efektif karena energi yang sudah dibangkitkan harus langsung di transmisikan. Untuk mengatur pembebanan di gardu induk dan pembangkit yang tersebar di pulau jawa dan bali, PLN membangun sistem SCADA yang memiliki fungsi untuk akuisisi data dan melakukan kontrol jarak jauh.

Untuk mendukung kerja sistem SCADA PLN dibutuhkan jaringan telekomunikasi yang memiliki kinerja yang baik, tingkat keandalan yang tinggi dan mampu mengirim data secara real-time. Dalam tugas akhir ini, akan membahas mengenai desain jaringan komunikasi pada backbone pusat pengaturann beban beserta kebutuhan bandwidth dan perangkat dalam lima tahun kedepan.

Rute jaringan fiber optik yang di rancang melewati jalur SUTET 500kV milik PLN yang terbentang dari pulau Jawa sampai Bali dengan topologi Ring. Pada desain dihitung pula *power link budget*, *rise time budget*, dan simulasi menggunakan optisystem sehingga mendapatkan hasil nilai BER lebih kecil dari 10^{-12} dan OSNR lebih besar dari 15.66dB untuk setiap link. Total kebutuhan bandwidth untuk 607 node sebesar 9.12 Gbps untuk kebutuhan lima tahun kedepan.

Kata kunci: Fiber optik, Jaringan backbone, Optisystem, SCADA

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF OPTICAL FIBERS COMMUNICATION NETWORK FOR BACKBONE IN PUSAT PENGATURAN BEBAN

Student Name : Muhamad Fazrur Rizal
Supervisor I : Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Supervisor II : Dr. Istas Pratomo, ST., MT.

Abstract:

The need for electric energy every time is not always the same. The high needs of consumers to make PLN need to increase the production of electrical energy at certain times. However, when the requirement is low, PLN must also adjust the electrical loading of the substations so that the use of the generated energy can be used effectively because the energy already raised must be directly transmitted. To manage the loading in the substations and plants spread across the island of Java and Bali, PLN build SCADA system that has a function for data acquisition and remote control.

To support the work of SCADA system PLN telecommunications network needed a good performance, high reliability and able to send data in real-time. In this thesis, will discuss about the design of communication networks on the backbone of the load control center and the bandwidth and equipment requirements in the next five years.

Fiber optic network routes are designed to pass the PLN's 500kV SUTET line extending from Java Island to Bali with Ring topology. In the design is also calculated power link budget, rise time budget, and simulation using optisystem so get the value of BER value smaller than 10⁻¹² and OSNR greater than 15.66dB for each link. The total bandwidth requirement for 607 nodes is 9.12 Gbps for the next five years.

Key Word: *Backbone Network, Optical Fibers, Optisystem, SCADA*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PERANCANGAN JARINGAN TELEKOMUNIKASI SCADA PADA BACKBONE PUSAT PENGATURAN BEBAN TENAGA LISTRIK.**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu dan Bapak penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
2. Bapak Affandi dan bapak Istas selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
4. Teman-teman seperjuangan e54 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
1	
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1	
Latar Belakang	1
1.2	
Permasalahan	2
1.3	
Tujuan	2
1.4	
Batasan Masalah	3
1.5	
Metodologi	3
1.6	
Sistematika Penulisan.....	4
1.7	
Relevansi.....	5
2	
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1	
Jaringan Telekomunikasi	7
2.1.1	
Jaringan Backbone	7
2.1.2	
Topologi Jaringan.....	9
2.2	
Fiber Optik [1]	10
2.2.1	
Non-Zero Dispersion Shifted Fiber ITU-T G.655 [2]	12
2.2.2	
OPGW	14
2.3	
DWDM [3].....	15
2.4	
Perangkat Komunikasi Optik	16
2.4.1	
Optical Transmitter	16
2.4.2	
Optical Receiver	17
2.4.3	
Optical Add Drop Multiplexer	18
2.4.4	
Optical Amplfier	19
2.5	
Power Link Budget	21

2.5.1	Perhitungan Jumlah Splicing tiap Link	21
2.5.2	Perhitungan Loss Total	22
2.5.3	Perhitungan Margin	22
2.6	Rise Time Budget [7].....	23
2.7	Optisystem	24
2.8	Supervisory Control and Data Acquisition	26
2.9	Diagram Pola Mata	28
2.10	Kondisi Eksisting Jaringan	30
2.11	Pusat Pengaturan Beban.....	31
3	BAB 3 METODOLOGI PERANCANGAN.....	33
3.1	Pengambilan Data Kondisi Eksisting.....	34
3.2	Penentuan Rute Jaringan Fiber Optik	34
3.2.1	Banten-DKI Jakarta-Jawa Barat.....	36
3.2.2	Jawa Tengah	37
3.2.3	Jawa Timur-Bali	38
3.3	Penentuan Topologi Jaringan.....	39
3.4	Kebutuhan Bandwidth pada Jaringan	41
3.4.1	Jenis dan Ukuran Data	41
3.4.2	Perhitungan Kebutuhan Bandwidth	42
3.5	Perangkat yang dibutuhkan.....	45
3.5.1	Kabel.....	45
3.5.2	Transmitter.....	45
3.5.3	Receiver	46
3.5.4	Amplifier.....	46
3.6	Contoh Perhitungan Link Cawang-Bekasi.....	47
3.6.1	Contoh Perhitungan Power Link Budget	48
3.6.2	Contoh Perhitungan Rise Time Budget	53
3.6.3	Contoh Simulasi BER dan SNR Link cawang-Bekasi	54

3.6.4	Hasil Peformansi link Cawang-Bekasi.....	57
3.7	Link Fiber Optik Jawa-Bali.....	57
4	BAB 4 HASIL DAN ANALISA.....	59
4.1	Perhitungan Parameter Desain Jaringan Fiber Optik	59
4.1.1	Hasil Perhitungan Jumlah Splicing tiap Link.....	59
4.1.2	Hasil Perhitungan Total Loss	61
4.1.3	Penetapan Kebutuhan Penguat	62
4.1.4	Hasil Perhitungan Rise Time Budget	64
4.2	Analisis Topologi Jaringan	65
4.3	Analisa dan Pembahasan.....	67
4.3.1	Analisis Kebutuhan Penguat	67
4.3.2	Analisis Kebutuhan Kompensator Dispersi.....	71
4.3.3	Analisa Hasil Simulasi	72
4.4	Analisa Kebutuhan Perangkat Tambahan	81
5	BAB 5 KESIMPULAN.....	83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran	83
	DAFTAR PUSTAKA	85
	LAMPIRAN-A Lembar Pengesahan Proposal.....	87
	LAMPIRAN-B Peta Jaringan Tranmisi 500 kV	89
	LAMPIRAN-C Daftar Link komunikasi Fiber Optik	91
	LAMPIRAN-D Kebutuhan Attenuator	93
	LAMPIRAN-E Hasil Perhitungan Link Budget	95
	LAMPIRAN-F Spesifikasi Kabel Fiber Optik.....	97
	LAMPIRAN-G Spesifikasi Transceiver Optik	101
	LAMPIRAN-H Spesifikasi Amplifier	103
	LAMPIRAN-I Skema Rangkaian Simulas dan Hasil	105
	BIODATA PENULIS	113

S

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jaringan Backbone	8
Gambar 2.2 Karakteristik redaman pada fiber optic	13
Gambar 2.3 Perbandingan nilai chromatic dispersion	13
Gambar 2.4 link komunikasi dengan kabel OPGW	15
Gambar 2.5 Prinsip kerja DWDM.....	16
Gambar 2.6 Blok Diagram transmitter.....	17
Gambar 2.7 Blok diagram penerima optik.....	18
Gambar 2.8 Blok Diagram Optical Amplifier.....	20
Gambar 2.9 Perangkat lunak optisystem.....	25
Gambar 2.10 Tampilan pada aplikasi optisystem	25
Gambar 2.11 Contoh Eye diagram.....	29
Gambar 2.12 Struktur Organisasi P2B.....	32
Gambar 3.1 posisi OPGW dan ADSS pada menara SUTET	35
Gambar 3.2 Peta Jaringan FO Jawa-Bali	36
Gambar 3.3 Peta jaringan DKI-Banten-Jabar	36
Gambar 3.4 Peta Jaringan Jawa Tengah.....	37
Gambar 3.5 Peta Jaringan Jawa Timur-Bali.....	38
Gambar 3.6 konfigurasi BSHR 4 Fiber	40
Gambar 3.7 Konfigurasi USHR	40
Gambar 3.8 Tata letak amplifier	46
Gambar 3.9 Parameter optisystem	54
Gambar 3.10 Rangkaian Transmitter	55
Gambar 3.11 Rangkaian Receiver.....	55
Gambar 3.12 Kabel fiber optik.....	56
Gambar 3.13 Modul amplifier dan DCF	56
Gambar 4.1 Hirarki jaringan	65
Gambar 4.2 peta elemen jaringan ring USHR bagian barat	66

Gambar 4.3Peta elemen jaringan ring USHR bagian timur66

Gambar 4.4 Hasil simulasi link Waru-Grati72

Gambar 4.5 Simulasi link cilegon-cibinong73

Gambar 4.6 Hasil simulasi link Cigereleng-Madirancan....74

Gambar 4.7 Hasil simulasi link Depok-Tasikmalaya75

Gambar 4.8 Hasil Simulasi Rawalo-Pedan76

Gambar 4.9 Hasil simulasi Purwodadi Krian.....77

Gambar 4.10 Hasil Simulasi Pedan Kediri78

Gambar 4.11 Hasil simulasi link kediri-paiton79

Gambar 4.12 Hasil Simulasi link Pedan-Kediri dengan
booster 20dB80

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kebutuhan Bandwidth.....	42
Tabel 3.2 Kebutuhan <i>bandwidth</i> tiap node.....	44
Tabel 3.3 parameter desain link Cawang-Bekasi	48
Tabel 3.4 jarak link optik	58
Tabel 4.1 Jumlah Splicing	60
Tabel 4.2 Total Loss.....	61
Tabel 4.3 Total Loss pada Setiap Link.....	63
Tabel 4.4 Hasil perhitungan rise time budget	64
Tabel 4.5 Hasil penggunaan booster	68
Tabel 4.6 Kebutuhan amplifier.....	69
Tabel 4.7 Lokasi Amplifier Secara Teori.....	69
Tabel 4.8 Lokasi Amplifier (Realisasi)	70
Tabel 4.9 Perbandingan tsys dengan DCM yang berbeda .	71
Tabel 4.10 Rekapitulasi kebutuhan komponen tambahan..	82

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan masyarakat di zaman modern sangat bergantung dengan sumber daya energi, salah satunya adalah energi listrik. Kebutuhan akan energi listrik menjadi sebuah keharusan sebagai penggerak roda kehidupan. Ketergantungan pada listrik pun semakin meningkat mengingat keberlangsungan berbagai macam aktifitas sehari-hari masyarakat termasuk pertumbuhan perekonomian, perkembangan industri dan kemajuan teknologi. Dengan demikian kebutuhan dari suplai tenaga listrik semakin besar sehingga pemerintah mencanangkan program pembangunan pembangkit listrik 35.000 MW. Namun, pemakaian dari energi listrik ini tidak sama setiap waktu, ada kalanya ketika jam sibuk dimana dibutuhkan pasokan listrik yang besar juga ada kalanya saat pemakaian listrik minimum. Sehingga seringkali PLN merugi dikarenakan *oversupply* tenaga listrik yang pada akhirnya tidak dapat dipergunakan. PLN perlu melakukan pengaturan beban pada sistem pembangkitan energi listrik secara tepat agar dapat mengurangi kerugian dari *oversupply* energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit harus segera ditransmisikan menuju pelanggan karena energi listrik yang sudah dibangkitkan tidak dapat disimpan sehingga perlu adanya mekanisme untuk mengatur itu semua.

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) dinilai sangat layak untuk membantu pekerjaan PLN dalam melakukan pengaturan beban karena dengan sistem ini PLN mampu melakukan akuisisi data secara real time sehingga dapat membantu ketika melakukan pengambilan keputusan dalam pengaturan beban. Untuk mendukung sistem ini, jaringan telekomunikasi berperan penting untuk kelancaran pertukaran informasi. Sistem telekomunikasi digunakan untuk menghubungkan antara site-site pembangkit dan gardu induk ke pusat kontrol PLN. Dalam perkembangannya sistem SCADA pada PLN ini tidak hanya untuk akuisisi data lapangan saja, tetapi akan berkembang kearah automasi control sehingga pusat control dapat melakukan instruksi langsung ke pembangkit listrik.

Namun, sampai saat ini P2B belum memiliki jaringan fiber optik sendiri. Jaringan fiber optik yang digunakan oleh P2B menggunakan jaringan icon+. Sering terjadinya permasalahan/gangguan pada jaringan menyebabkan meningkatnya urgensi P2B memiliki core tersendiri untuk mendukung tugasnya. Terlebih jaringan P2B yang tidak privat masih ada kemungkinan ditembus oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Masalah keamanan jaringan menjadi penting karena kedepannya P2B dapat melakukan *tele-control* kepada proses-proses penting pada pembangkitan dan pembebanan energi listrik.

Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk memberikan rancangan backbone jaringan komunikasi fiber optik pusat pengaturan beban tenaga listrik sebagai acuan P2B dalam membuat backbone jaringannya yang *private (secure)*, *high availability*, dan sesuai dengan kebutuhan P2B.

1.2 Permasalahan

Masalah yang akan diteliti pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar bandwidth data yang harus disiapkan untuk memenuhi kebutuhan pengaturan beban dalam lima tahun kedepan?
2. Desain jaringan seperti apa yang sesuai dengan kebutuhan backbone pusat pengaturan beban tenaga listrik?

1.3 Tujuan

Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk mengetahui evaluasi dari kondisi eksisting jaringan telekomunikasi SCADA, mengetahui kebutuhan dari perkembangan backbone pusat pengaturan beban listrik dalam lima tahun kedepan dan menghasilkan rancangan jaringan telekomunikasi SCADA untuk kebutuhan backbone pengendalian beban tenaga listrik di wilayah Jawa-Bali. Di dalam desain jaringan backbone telekomunikasi akan dibahas terkait topology jaringan, kapasitas yang harus disiapkan dan infrastruktur telekomunikasi yang harus dipersiapkan pada backbone jaringan SCADA.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini berfokus pada perancangan jaringan backbone fiber optik untuk aplikasi pusat pengaturan beban Jawa-Bali
2. Desain jaringan telekomunikasi SCADA ini hanya untuk mendukung fungsi JCC (Jawa-Bali Control Centre) dengan mengacu pada JTN 500 kV.
3. Pada tugas akhir ini hanya membahas layer optikal.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka

Studi pustaka yang dilakukan yaitu mengenai perancangan jaringan fiber optik, SCADA, perangkat komunikasi optik, power link budget dan rise time budget.

2. Pengambilan data

Pada tahap ini penulis melakukan pengambilan data ke PLN P2B terkait kondisi jaringan telekomunikasi eksisting, kebutuhan aplikasi SCADA dan PLN P2B kedepan

3. Menentukan skenario perancangan

Tahap ini penulis menentukan rute terbaik untuk jaringan fiber optik dan topologi yang akan digunakan, kemudian menentukan parameter apa saja yang perlu dianalisis untuk merancang jaringan backbone fiber optik.

4. Analisis perancangan

Dalam tahap ini dilakukan perhitungan beserta analisis terkait kebutuhan jaringan dan parameter perancangan jaringan fiber optik seperti power link budget dan rise time budget serta melakukan simulasi.

Hasil dari simulasi yang dilakukan adalah kita dapat mengetahui nilai BER dan OSNR dari system yang sudah kita hitung.

5. Penulisan Buku TA.

Hasil perancangan yang telah dilakukan akan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir. Laporan berisi latar belakang penelitian, dasar teori yang digunakan, hingga hasil perancangan beserta analisisnya dan kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini. Tinjauan pustaka yang dibahas adalah teori dasar terkait SCADA, jaringan telekomunikasi, teori fiber optik dan sistem komunikasi menggunakan fiber optik

Bab 3 : Metodologi Perancangan

Bab ini membahas mengenai metode yang digunakan penulis untuk merancang jaringan backbone fiber optik, rumus-rumus yang dibutuhkan dalam perhitungan dan juga data-data pendukung perancangan jaringan

Bab 4 : Hasil dan Analisa

Bab ini membahas hasil perhitungan dan analisis dari jaringan yang sudah dirancang. Hasil perhitungan meliputi perhitungan kebutuhan bandwidth setiap link, power link budget, rise time budget, dan hasil dari simulasi untuk menganalisa nilai BER dan OSNR serta bentuk pola mata yang dihasilkan.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan terkait perancangan jaringan telekomunikasi scada pada backbone pusat pengaturan beban tenaga listrik

1.7 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Menjadi referensi dalam proyek roadmap pengembangan jaringan telekomunikasi pada pusat pengaturan beban tenaga listrik Jawa-Bali.
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa dan industri untuk melakukan pengembangan backbone jaringan telekomunikasi dengan memanfaatkan jaringan SUTET 500kV.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Telekomunikasi

Sebagaimana sudah ditetapkan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia dalam Undang-Undang Telekomunikasi nomor 36 tahun 1999, Jaringan telekomunikasi adalah rangkaian perangkat telekomunikasi dan kelengkapannya yang digunakan dalam melakukan aktivitas telekomunikasi.

Sistem komunikasi jaringan adalah pengaturan aset komputasi dan telekomunikasi (secara khusus, sekelompok node dan tautan) yang mampu membawa informasi berupa audio, visual, dan data dari pengirim menuju penerima. Fungsi utama dari setiap jaringan telekomunikasi adalah memberikan transmisi informasi yang efisien dari titik asal ke titik penghentian.

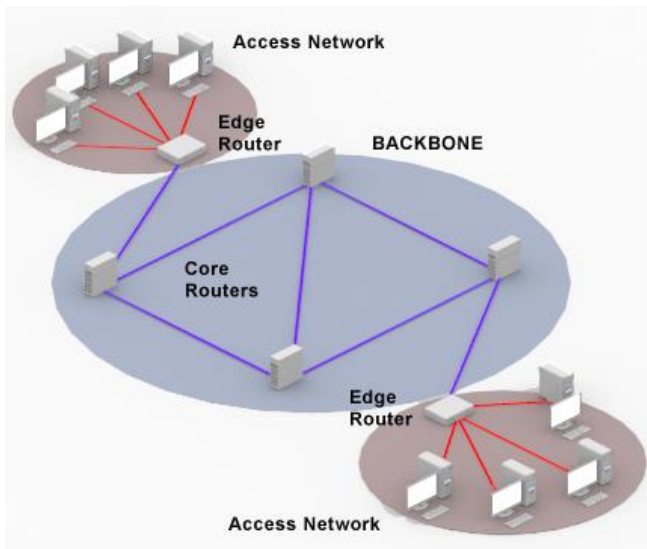
2.1.1 Jaringan Backbone

Dalam dunia Telekomunikasi, yang dimaksud dengan jaringan backbone adalah saluran atau koneksi berkecepatan tinggi yang menjadi lintasan utama dalam sebuah jaringan. Dengan menggunakan konsep jaringan backbone, masalah kecepatan interkoneksi antar jaringan lokal dapat teratasi.

Jaringan backbone merupakan mekanisme hirarki dari jaringan telekomunikasi. Backbone berada pada lapisan atas pada network, terutama dalam sambungan ke sebuah sistem lanjutan. Link ini berkecepatan tinggi yang menghubungkan link-link yang lebih kecil kapasitasnya. Backbone Internet biasanya menghubungkan antar negara-negara untuk backbone internasional dan menghubungkan antar kota-kota untuk backbone domestik.

Backbone merupakan jaringan telekomunikasi utama yang terdiri dari fasilitas switching dan transmisi yang menghubungkan beberapa node akses jaringan. Link transmisi antara node dan fasilitas switching itu

termasuk didalamnya microwave, kabel bawah laut, satelit, serat optik dan teknologi transmisi lainnya.



Gambar 2.1 Jaringan Backbone

Berikut ini adalah beberapa hal yang dapat diperhatikan sebelum membangun *Backbone Network*, antara lain :

1. Penyediaan seluruh kebutuhan yang diperlukan untuk membangun desain jaringan, seperti jenis data, service, frame relay dan IP.
2. Perhatikan kapasitas yang diperlukan untuk membuat *Backbone network*. Hal ini sangat tergantung pada desain output yang diinginkan.
3. Pertimbangan setiap desain topologi dan teknologi yang digunakan untuk membangunnya.
4. Konsep atau rancangan topologi sangat berpengaruh pada letak node, jumlah, desain jalur/ sambungan dan seluruh desain akses backbone.

5. Konsep penggabungan traffic pada path yang memiliki tipe yang berbeda
6. Platform yang digunakan sesuai dengan bandwidth yang dimiliki
7. Perancangan Rerouting dan redundancy

2.1.2 Topologi Jaringan

Topologi jaringan merupakan sebuah pola atau cara interkoneksi antara unsur-unsur dasar penyusun jaringan telekomunikasi yang meliputi node, link dan juga station. Dalam memilih topologi jaringan terdapat beberapa factor yang harus dipertimbangkan, factor-faktor tersebut, diantaranya sebagai berikut:

1. Biaya
2. Kecepatan
3. Lingkungan
4. Ukuran
5. Konektivitas

Topologi jaringan dapat dibagi menjadi 6 kategori/jenis menurut pola interkoneksinya yaitu:

1. Topologi Bus
Topologi bus merupakan topologi dimana semua perangkat keras terhubung melalui kabel tunggal yang kedua ujungnya tidak tertutup dan masing-masing ujungnya menggunakan sebuah perangkat terminator.
2. Topologi Star
Topologi star merupakan bentuk topologi jaringan yang berupa konvergensi dari node tengah ke setiap node atau pengguna.
3. Topologi Ring
Topologi Ring merupakan topologi dimana setiap perangkat dihubungkan sehingga berbentuk cincin (lingkaran). Topologi ini memiliki keandalan yang lebih baik disbanding topologi

lainnya kecuali untuk topologi mesh, namun topologi mesh membutuhkan biaya yang lebih besar dibandingkan ring.

4. Topologi Tree

Topologi tree merupakan generalisasi dari topologi bus, media transmisi berupa kabel yang bercabang tanpa loop tertutup. Topologi tree selalu dimulai pada titik yang disebut headend.

5. Topologi Mesh

Jenis topologi yang setiap perangkatnya saling terhubung satu sama lain. Biasanya digunakan pada jaringan yang tidak memiliki terlalu banyak node di dalamnya. Dikarenakan setiap perangkat dihubungkan dengan perangkat lainnya.

6. Topologi Linier

Topologi linear merupakan topologi yang terdiri dari satu kabel utama yang menghubungkan tiap titik sambungan yang dihubungkan dengan penyambung dan pada ujungnya harus diakhiri dengan sebuah penamat (terminator).

Untuk menghitung besar kebutuhan bandwidth pada jaringan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Demand BW} = BW \times n \quad (2.1)$$

Dimana:

BW= Rata-rata bandwidth data per pelanggan

n = Jumlah pelanggan

2.2 Fiber Optik [1]

Menurut Agrawal dan John Wiley pada bukunya yang menjelaskan tentang fiber optic, Serat optik adalah saluran transmisi atau sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dari sehelai rambut, dan dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal

cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah laser atau LED. Kabel fiber optik terdiri dari kumpulan banyak serat-serat kaca yang digabung dalam satu kabel. Setiap serat kaca memiliki diameter sebesar 9 sampai 100 mikrometer, atau kurang dari sepersepuluh diameter rambut manusia.

Pada system komunikasi fiber optic, sinyal yang biasa digunakan adalah sinyal digital, sedangkan penyaluran sinyal pada kabel fiber optic adalah dalam bentuk pulsa cahaya (*light pulse*). Pulsa cahaya dapat diperoleh melalui proses modulasi sinyal informasi dalam bentuk digital kedalam suatu komponen sumber optik. Begitupun pada pihak penerima sinyal berupa pulsa cahaya yang diterima akan dimodulasikan kembali menjadi bentuk sinyal digital.

Adapun keunggulan dari kabel fiber optik adalah sebagai berikut:

1. Bandwidth. Koneksi fiber optik secara teori memang tidak memiliki batasan bandwidth karena menggunakan jalur dedicated bandwidth data yang artinya kemampuannya hanya dibatasi oleh kemampuan sarana-prasana di titik-titik media terpadu. Hal inilah yang menyebabkan koneksi fiber optik menjadi yang terdepan karena mampu menghasilkan kecepatan hingga beberapa gigabits per second.
2. Gangguan. Fiber optik tidak akan mengalami masalah kepadatan spektrum karena bentuk kabel fiber optik saling berdekatan antara setiap jalur lokasi dengan penyedia layanan kepada pelanggan. Karena itu fiber optik tidak akan mengalami gangguan meski ada perangkat elektromagnetik di sekitarnya seperti radio, motor, atau kabel-kabel transmisi lain di sekelilingnya.
3. Peningkatan performa. Sekali kabel fiber optik dipasang, maka performanya bisa ditingkatkan hanya dengan memperbaharui peralatan di titik akhir.

4. Keamanan. Keamanan fiber optik bisa dibilang sangat sulit untuk ditembus, sehingga jauh lebih aman karena bebas ancaman penyadapan atau pengguna yang mengakses secara ilegal.
5. Aplikasi pendukung. Karena koneksi fiber optik tidak memiliki batasan bandwidth, sehingga kualitas layanannya mampu mendukung seluruh aplikasi telekomunikasi termasuk akses jaringan, distribusi jaringan bahkan menjadi tulang punggung layanan di sebuah wilayah.

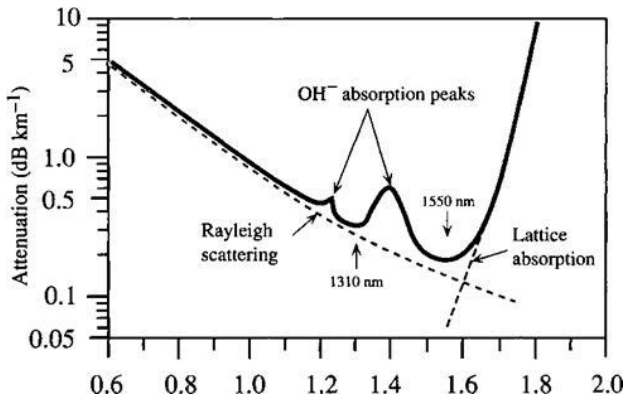
2.2.1 Non-Zero Dispersion Shifted Fiber ITU-T G.655 [2]

Kabel fiber NZDSF merupakan salah satu jenis dari kabel *Single Mode Fiber* (SMF). Jenis kabel ini merupakan jenis kabel yang direkomendasikan oleh ITU-T G.655 untuk aplikasi long haul network. Biasa digunakan dengan panjang gelombang antara 1550 nm sampai 1580 nm yang terletak pada C-Band.

Sesuai dengan ITU-T G.655 jenis kabel Non-Zero Dispersion Shifted Fiber memiliki karakteristik sebagai berikut:

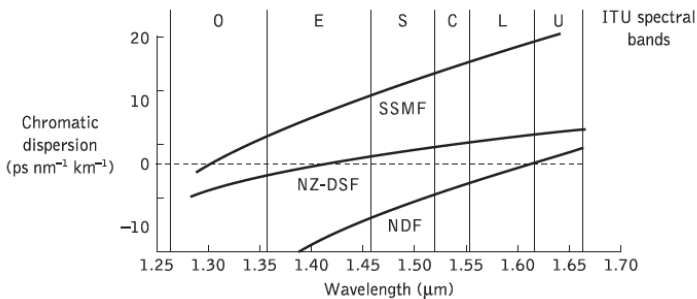
Cladding Diameter	125 μm
Tolerance	1 μm
Attenuation Coefficient (Maximum)	0.35 dB/km @ 1550 nm
	0.4 dB/km @ 1625 nm
Chromatic Dispersion for typ. 1550 nm	1.0 ps/nm.km (Minimum D)
	10.0 ps/nm.km (Maximum D)

The Fiber Optic Association Inc. (FOA) dalam buletinnya yang diterbitkan dalam panduan perancangan jaringan fiber optic menyakan penggunaan panjang gelombang 1550nm dalam *long haul link* (link jarak jauh). Dikarenakan atenuasi/redaman yang dialami oleh sinyal pada panjang gelombang 1550 nm merupakan yang terendah dibandingkan daerah panjang gelombang lainnya seperti 1330 nm dan 800 nm. Untuk lebih jelasnya, perbandingan redaman dapat dilihat dari gambar dibawah.



Gambar 2.2 Karakteristik redaman pada fiber optic

Namun untuk nilai *chromatic dispersion* pada panjang gelombang 1550 nm yang sebesar 1-10 ps bukan yang terkecil dibanding yang lain. Panjang gelombang 1330 nm memiliki disperse yang lebih kecil dibandingkan panjang gelombang 1550 nm. Maka dari itu untuk menunjang peformansi pada panjang gelombang 1550nm, sangat dianjurkan untuk menggunakan jenis kabel NZDSF. NZDSF memiliki koefisien dispersi yang relative lebih kecil apabila dibandingkan dengan jenis kabel single mode biasa. Untuk contoh perbandingannya dapat dilihat dari gambar dibawah.



Gambar 2.3 Perbandingan nilai chromatic dispersion

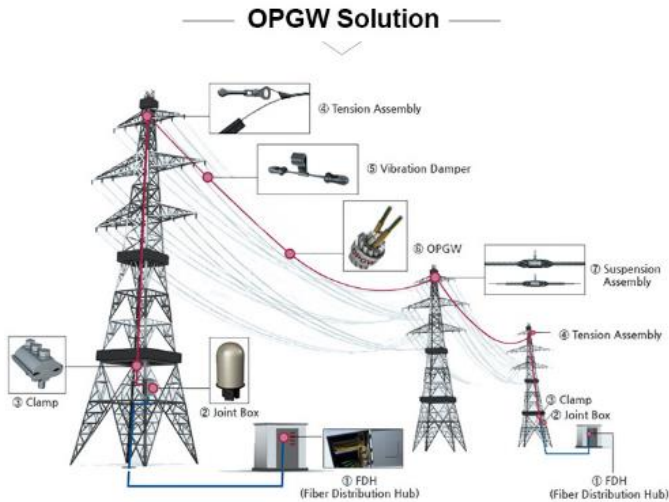
Sehingga dapat diambil kesimpulan, untuk merancang jaringan long-haul perlu digunakan kabel Single mode dengan jenis NZDSF dan beroperasi di area 1550nm pada jendela C-Band

2.2.2 OPGW

Optical ground wire yang juga dikenal sebagai OPGW atau berdasarkan standar IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) juga disebut sebagai optical fiber composite overhead ground wire adalah tipe kabel yang digunakan pada konstruksi transmisi daya listrik dan jaringan distribusi. Kabel tersebut mengkombinasikan fungsi dari grounding dan komunikasi. Kabel OPGW berbentuk tabung dengan serat optik di dalamnya, dikelilingi oleh lapisan kabel baja dan aluminium. Kabel OPGW berada pada posisi paling atas di tower listrik tegangan tinggi. Bagian konduktifnya menjaga konduktor tegangan tinggi dari kilatan petir. Serat optik yang ada di dalam OPGW dapat digunakan untuk transmisi (data dan suara) berkecepatan tinggi juga untuk proteksi dan kontrol jaringan listrik atau dapat juga beberapa diperdagangkan untuk menyediakan interkoneksi serat optik berkecepatan tinggi antar kota.

Serat optik pada OPGW sendiri adalah media insulasi dan proteksi terhadap daya jaringan listrik dan induksi karena kilat, gangguan dari luar dan cross talk. OPGW terdiri dari serat optik tipe single mode dengan kehilangan daya yang kecil untuk transmisi jarak jauh pada kecepatan tinggi. Bagian terluar OPGW serupa dengan kabel ACSR yang biasa digunakan sebagai selubung kabel.

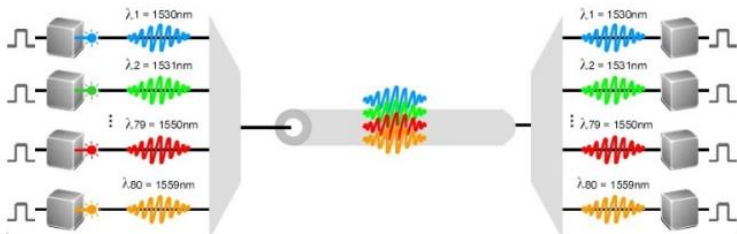
OPGW sebagai media komunikasi memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan kabel serat optik dalam tanah. Biaya instalasi tiap kilometer untuk OPGW lebih rendah daripada serat optik dalam tanah.



Gambar 2.4 link komunikasi dengan kabel OPGW

2.3 DWDM [3]

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) adalah suatu teknologi jaringan transport optik yang memanfaatkan cahaya dari serat optik dengan panjang gelombang yang berbeda-beda untuk ditransmisikan melalui kanal-kanal informasi dalam satu fiber. Jumlah panjang gelombang yang dapat ditransmisikan dalam jaringan pada satu fiber terus berkembang (4, 8, 16, 32, dan seterusnya), jenis fiber yang direkomendasikan oleh ITU-T (International Telecommunication Union) adalah G.650 – G.659 dan yang sering digunakan saat ini yaitu jenis fiber G.655, jenis fiber G.655 merupakan jenis fiber yang mempunyai karakteristik umum Non Zero Dispersion Shifted Fibre (NZDSF) yaitu fiber yang memiliki koefisien dispersi kromatik lebih rendah (dispersi optimal).



Gambar 2.5 Prinsip kerja DWDM

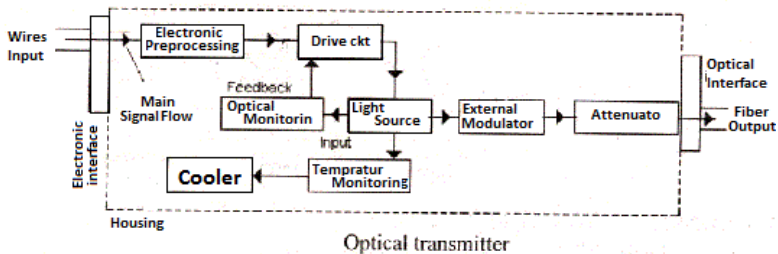
2.4 Perangkat Komunikasi Optik

Dalam melakukan komunikasi lewat fiber optik dibutuhkan perangkat-perangkat yang dapat mendukung kerja dari komunikasi optik. Perangkat yang dibutuhkan diantaranya adalah *transmitter*, *receiver*, *optical add drop mux*, *optical amplifier*, *attenuator* dan *Dispersion compensator*

Berikut merupakan penjelasan terkait perangkat-perangkat komunikasi optik yang dibutuhkan:

2.4.1 Optical Transmitter

Pemancar serat optik adalah perangkat yang mampu memancarkan sinyal cahaya yang dapat merambat melalui media fiber optik. Didalam sebuah pemancar terdapat sumber cahaya bisa berupa photodioda atau laserdioda dan signal generator yang digunakan untuk membangkitkan sinyal ke serat optic. Sinyal yang dbangkitkan pada awalnya merupakan sinyal digital yang kemudian di modulasi bersama dengan sumber cahaya sehingga menjadi pulsa cahaya yang dapat di transmisikan lewat kabel serat optik.



Optical transmitter
Gambar 2.6 Blok Diagram transmitter

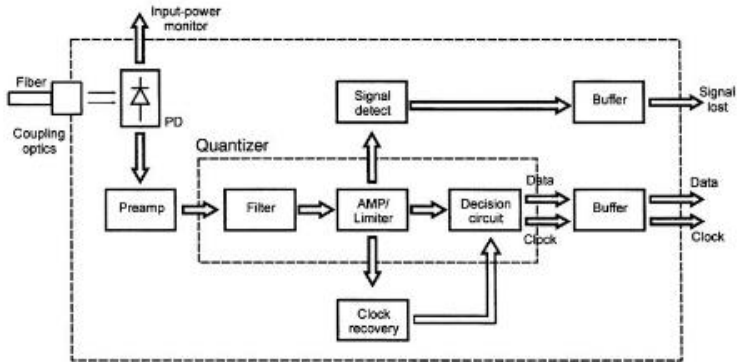
Terdapat dua jenis optical transmitter bila dibedakan dari jenis cahaya yang dibangkitkannya, kedua jenis pemancar tersebut adalah

1. Light emitting diodes
2. Laser diodes

Characteristic	LED	Laser Diodes
Harga	Rendah	Tinggi
Data rate	Up to 100 Mbps	Up to 100 Gbps
Jarak	pendek	Jauh
Tipe Fiber	Multimode fiber	Multimode dan Singlemode fiber

2.4.2 Optical Receiver

Setelah data dikirimkan melalui kabel serat optik, pada sisi penerima dibutuhkan penerima yang mampu mengubah kembali sinyal cahaya menjadi sinyal listrik sehingga sinyal dapat diteruskan d perangkat-perangkat setelahnya dan sampai pada tujuan akhirnya. Dalam penerima serat optic, photodetector merupakan elemen penting. Selain *photodetector*, terdapat pula komponen pendukung seperti pre-amp, quanti



Gambar 2.7 Blok diagram penerima optik

Dalam penerima serat optic, jenis diode yang banyak digunakan adalah jenis p-i-n diode. Diode tipe ini memberikan tingkat konversi yang lebih baik dibandingkan tipe p-n karena keberadaan daerah intrinsik diantara p dan n dimana cahaya diubah menjadi sinyal listrik.

2.4.3 Optical Add Drop Multiplexer

Optical add drop multiplexer (OADM) adalah perangkat yang digunakan dalam sistem multiplexing dan routing saluran optik yang berbeda kedalam atau keluar dari serat *single mode fiber* (SMF). Add dan drop disini merupakan kemampuan perangkat untuk menambahkan satu atau lebih panjang gelombang ke sinyal dwdm multi-wavelength dan menjatuhkan panjang gelombang yang ada untuk dilanjutkan ke sisi penerima. OADM merupakan salah satu jenis dari optical cross connect (OXC).

OADM pada dasarnya terdiri dari tiga tahap yaitu, demultiplexer, menambahkan dan menjatuhkan sinyal dan multiplexer. Sinyal awal optik yang diterima dalam bentuk WDM di demultiplexer untuk memisahkan panjang gelombang. Setelah itu dilakukan add atau drop pada panjang gelombang tertentu. Setelah proses itu sinyal di multiplexer kembali sebelum ditransmisikan melalui g fiber selanjutnya.

2.4.4 Optical Amplifier

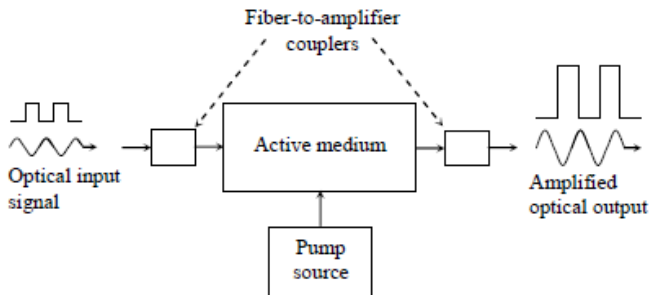
Dalam sebuah system komunikasi jarak jauh, kebutuhan penguat sangat dibutuhkan, karena penguat mampu memperbaiki sinyal yang sudah menurun karena menempuh jarak yang jauh. Dalam system komunikasi optic, repeater tidak melakukan penguatan dengan cara mengkonversi dahulu sinyal optic menjadi sinyal listrik, namun langsung diperkuat secara optis.

Secara umum optical amplifier terbagi menjadi tiga tipe optical amplifier yaitu:

- a. EDFA (Erbium Doper Fiber Amplifier)
- b. FRA (Fiber Raman Amplifier)
- c. SOA (Semiconductor Optical Amplifier)

Bagian terpenting dari rangkaian penguat optik adalah *active medium*. Active medium ini adalah fiber optic yang sudah ditambahkan dengan unsur-unsur tertentu, yaitu unsur Erbium (Er) dan Ytterbium (Yb) yang bekerja pada window 1550 nm dan Neodymium (Nd) dan Praseodymium (Pr) digunakan untuk window 1330 nm.

Untuk penggunaan panjang gelombang 1550 nm yang sering digunakan adalah EDFA (Erbium Doper Fiber Amplifier) sedangkan untuk panjang gelombang 1330 nm menggunakan PDFA ((Praseodymium Doper Fiber Amplifier)). Secara keseluruhan cara kerja dari keduanya hampir sama hanya saja medium aktif yang terdapat pada amplifier tersebut berbeda. Berikut dibawah adalah gambar 2.8 blok diagram dari EDFA.



Gambar 2.8 Blok Diagram Optical Amplifier

Blok diagram diatas merupakan cara kerja dari perangkat amplifier. Dimana input sinyal optik kemudian sinyal akan melewati medium aktif yang dapat menguatkan sinyal optik yang melewatinya. Selain itu juga terdapat optical pumping dengan menggunakan cahaya (photon) dengan panjang gelombang yang lebih rendah. Setelah lewat dari medium aktif sinyal akan langsung dikeluarkan menuju kabel fiber kembali.

2.4.4.1 Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA adalah suatu system penguatan pada telekomunikasi optik yang dapat meningkatkan performa dari system komunikasi tersebut. Beberapa keuntungan dari pemakaian EDFA adalah sebagai berikut:

- a. High *Gain* (10 dB – 30 dB)
- b. High Output power (>100 mW)
- c. Low Noise Figure (~4 dB)
- d. Dapat digunakan untuk WDM dan DWDM
- e. Low power consumption

EDFA Merupakan penguat optic yang bekerja pada panjang gelombang 1550 nm dan memiliki medium aktif berupa fiber silica yang memiliki panjang 10-30 meter yang sudah ditambahkan unsur Erbium (Er).

2.5 Power Link Budget

Perhitungan power link budget dan analisis nya sangat dibutuhkan dalam perancangan link telekomunikasi. Analisis ini digunakan untuk menentukan margin dan loss terbesar yang dapat diterima oleh sistem agar daya yang diterima oleh receiver masih dapat diterima dengan baik. Dalam perhitungan link budget ini dibutuhkan informasi terkait *Power Output* maksimal dan minimal pada transmitter dan sensitivitas pada receiver. Berikut merupakan rumus untuk menghitung Link Budget

$$P_{Tx} - P_{Rx} = \alpha_{total} + M_s \quad (2.2)$$

Dimana:

P_{Tx} = Daya output pada transmitter

P_{Rx} = Sensitivitas pada receiver

α_{total} = Jumlah Loss pada link

M_s = Margin System

2.5.1 Perhitungan Jumlah Splicing tiap Link

Splicing diperlukan untuk membuat kabel dengan panjang yang kita inginkan, kabel fiber yang dijual di pasaran memiliki panjang tertentu yang terbatas, apabila kita ingin menggunakan kabel fiber untuk jarak yang lebih panjang dari kabel fiber yang tersedia maka harus dilakukannya splicing atau penyambungan kabel fiber optik.

Untuk menentukan jumlah sambungan splice pada link Fiber Optik dapat menggunakan formula berikut:

$$N_c = \left\lceil \frac{L}{L_d} \right\rceil \quad (2.3)$$

Dimana:

N_c = Jumlah sambungan splice

L = Panjang link (km)

Ld= Panjang kabel dalam gulungan (DrumLength) (km)

Menggunakan *Floor function* (pembulatan ke-bawah) pada pembagian antara panjang link dengan panjang kabel dikarenakan jumlah splicing pasti merupakan bilangan bulat.

2.5.2 Perhitungan Loss Total

Serangkaian perangkat Fiber optik dapat memberikan kontribusi terhadap besarnya loss yang diterima oleh sebuah link. Dalam hal ini Fiber optik yang digunakan adalah tipe NZDSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber) dengan menggunakan panjang gelombang 1550nm sesuai dengan ITU-T G.955. Loss pada kabel fiber dapat dikontribusikan oleh redaman pada kabel, loss akibat splicing, loss terhadap connector dan margin loss sehingga formula untuk menghitung Total Loss adalah sebagai berikut:

$$\alpha_{total} = L \cdot \alpha_{fiber} + N_s \cdot \alpha_s + N_c \cdot \alpha_c + M_{loss} \quad (2.4)$$

Dimana:

L = panjang kabel α_{fiber} = Redaman kabel

N_c = Jumlah konektor α_c = Redaman konektor

M_{loss} = Margin Loss α_s = Redaman splicing

2.5.3 Perhitungan Margin

Margin sistem diperlukan untuk mengetahui apakah pada link tersebut dibutuhkan repater ataupun attenuator. Penentuan tersebut dihitung berdasarkan nilai margin apakah lebih besar dari nol atau lebih kecil dari nol. Untuk mengetahui besarnya margin dapat digunakan rumus seperti berikut

$$M = P_{tx} - P_{rx_{Sensitivity}} - \alpha_{total} \quad (2.5)$$

Dimana:

M = Margin system

P_{tx} = Daya pancar (dBm)

$P_{rx_{Sensitivity}}$ = sensitivitas daya penerima (dBm)

Dengan nilai margin lebih besar dari nol, maka sistem dapat dikatakan berjalan dengan baik karena daya yang diterima di sisi receiver melebihi batas daya terendah yang dapat diterima oleh receiver. Namun, apabila nilai margin dibawah nol maka perlu ditambahkan penguat/regenerator pada link tersebut.

2.6 Rise Time Budget [7]

Perhitungan rise time budget perlu dilakukan dalam merancang jaringan fiber optik. Fungsi perhitungan rise time budget adalah untuk mengetahui nilai dispersi pada link fiber optik sehingga kita dapat mengetahui kualitas seperti apa yang diterima oleh receiver optik dan kebutuhan DCM (Dispersion Compensation module). Untuk menghitung rise time maksimum yang dapat diterima oleh system, terlebih dahulu perlu diketahui modulasi yang digunakan serta bit-rate yang dilewatkan pada system.

Dalam menghitung Rise Time budget dibutuhkan informasi berapa dispersi system yang dapat di toleransi. Nilai toleransi bergantung kepada bitrate dan jenis line coding pada sistem komunikasi yang digunakan. Untuk line coding jenis RZ, memiliki nilai maksimum rise time sebesar 30% dari panjang periode bit, sementara NRZ memiliki maksimum rise time sebesar 70% dari panjang periode bit. [5]

$$t_{sys(RZ)} = \frac{0.3}{BR} \quad t_{sys(NRZ)} = \frac{0.7}{BR} \quad (2.6)$$

Terdapat empat factor dasar yang dapat mempengaruhi dispersi pada optik. keempat diantaranya adalah: [1]

1. Group Velocity Dispersion
2. Transmitter Rise Time
3. Modal dispersion rise time
4. Receiver rise time

Namun karena dalam jaringan ini hanya menggunakan single mode fiber maka tidak terjadi modal dispersion rise time sehingga untuk perhitungan rise time antar node dalam system dapat menggunakan rumus berikut

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + GVD} \quad (2.7)$$

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

Dimana:

D = karakteristik fiber optik (ps/nm.km)

$$\sigma_\lambda = 0.1 \text{ nm}$$

L = panjang link

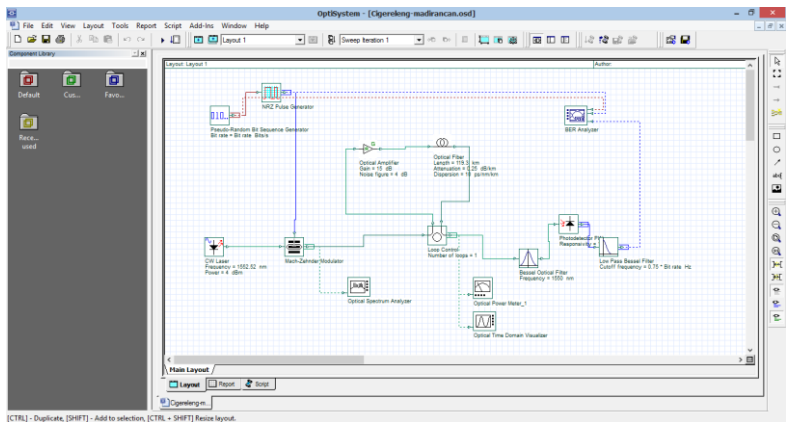
2.7 Optisystem

Optisystem merupakan sebuah tools untuk simulasi system komunikasi optic yang berupa aplikasi computer dan dikeluarkan oleh *optiwave corporation*. Aplikasi ini digunakan untuk memuat desain, pengujian, dan optimalisasi pada jaringan optic pada layer fisik dari mulai system komunikasi fiber optic untuk penyiaran video sampai kepada backbone komunikasi antar benua. Optisystem memiliki siste simulasi yang kuat dan juga hierarkial dari mulai komponen hingga ke system. Optisystem juga merupakan aplikasi yang kompatibel dengan software-software lainnya seperti Optiamplifier dan OptiBPM.

Optisystem dapat mensimulasikan berbagai macam aplikasi dari mulai desain jaringan CATV, WDM hingga desain cincin SONET/SDH. Digunakan juga untuk menentukan dan memetakan pemancar, panjang link, letak amplifier dan desain penerima. Optisystem pun sudah mengandung komponen matlab sehingga memungkinkan pengguna untuk memanggil komponen baru atau model baru ke dalam optisystem. Aplikasi ini pun menggunakan file MATLAB untuk mengevaluasi system dan melakukan perhitungannya.



Gambar 2.9 Perangkat lunak optisystem



Gambar 2.10 Tampilan pada aplikasi optisystem

Optisystem yang digunakan pada tugas akhir ini adalah optisystem 7.0 yang dikeluarkan oleh OptiWave Corporation pada tahun 2008. Berikut diatas merupakan versi perangkat lunak yang digunakan dan gambar tampilan interface dalam aplikasi yang digunakan untuk simulasi pada tugas akhir ini.

2.8 Supervisory Control and Data Acquisition

Seiring dengan kemajuan teknologi informasi, salah satu layanan canggih yang dikaitkan dengan kemajuan teknologi informasi adalah adanya ketergantungan sektor swasta dan publik terhadap sistem SCADA. Tujuan mendasar dari Sistem SCADA adalah untuk mengendalikan (control), memantau (Monitoring) dan mengambil data (Data Acquisition) pada operasi tertentu, baik dalam taraf lokal ataupun remote jarak jauh. SCADA melakukan berbagai macam fungsinya seperti pengumpulan data, pengendalian, telekomunikasi, dan manajemen kerja perangkat untuk sistem pengoperasian yang lebih efektif dari infrastruktur berskala besar. Pekerjaan yang dilakukan jarak jauh ini berguna untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengendalian, operasi, dan manajemen infrastruktur fisik kritis. Sistem SCADA dan teknologi terkaitnya mampu menggantikan dan menggeser operator manusia dan kolektor data di banyak infrastruktur penting.

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) merupakan komunikasi yang merujuk pada saluran komunikasi yang bekerja diantara perangkat lapangan (Sensor, RTU) dan Master Station. Saluran ini memungkinkan Control Center untuk mengakses data lapangan secara real time untuk menilai keadaan sistem, apakah dibangkitkan oleh masing-masing unit, Tegangan dan arus dari buses dan sistem pembebanan atau circuit breaker dan posisi isolator. Saluran komunikasi ini juga menyalurkan perintah control dari pusat control dari master station menuju ke alat tertentu yang akan dikontrol untuk mendapatkan sistem yang lebih stabil dan aman.

Dengan perkembangan dari sistem Smart grid, two way communication berkembang ke arah end customer sebagai perpanjangan dari proses pembangkitan menuju transmisi, transmisi menuju distribusi, dan distribusi kepada customer, dengan adanya home automation kini dapat diimplementasikan dalam skala besar. Jika dibandingkan dengan Industrial Automation Systems, sistem komunikasi merupakan sistem yang sangat penting di dalam sistem automasi dalam bidang energy dengan 3 alasan berikut [5]:

1. Luasnya cakupan Power sistem, dengan area control yang tersebar di area yang sangat luas, membentang sepanjang ribuan kilometer, mengindikasikan bahwa sistem komunikasi harus bisa tahan, andal, dan layak secara fisik.
2. Kecepatan transfer data dibutuhkan dalam power sistem untuk data-data kritis, yang dimana sangat diperlukan teknologi yang dapat membantun aspek ini. Saluran komunikasi cepat sangat diperlukan untuk fungsi pengukuran dengan PMU, pembangkitan otomatis, stabilitas transien, oscillation data, dan untuk mekanisme demands response untuk bekerja. Data dari circuit breaker, isolator dan switches harus bisa sampai ke control room dalam 1 atau 2 detik, dimana dengan cara konvensional (analog) data baru sampai pada kontrol room pada rentang waktu 30-60s.
3. Energi listrik yang dibangkitkan dari pembangkit tidak dapat disimpan lama, harus langsung ditransmisikan dan digunakan sehingga PLN harus efektif dalam memproduksi energy listrik pada saat kondisi permintaan tinggi dan rendah untuk menghindari kerugian PLN.

Dengan begitu jaringan telekomunikasi dengan performa yang baik sangat dibutuhkan untuk mendukung sistem SCADA ini karena tanpa jaringan telekomunikasi yang baik sulit menerapkan SCADA terutama di lini yang kritis.

Berikut merupakan kebutuhan telekomunikasi SCADA [1]:

1. Aliran traffic SCADA harus di indentifikasikan, yang termasuk banyaknya data yang d transfer, sumber data, dan tujuan kemana data akan di transmisikan.
2. Sistem Topology : Ring, Star, Mesh, atau hybrid itu sangat penting.
3. Kapabilitas dari devices yang diunakan dalam kedua point, dan processor yang digunakan patut menjadi catatan
4. Karakteristik sesi komunikasi dan dialog penting untuk diperhatikan pad saat mendesain.

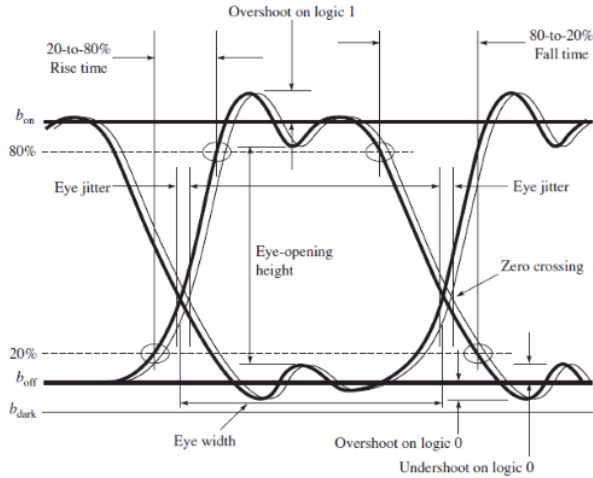
5. Karakteristik traffic komunikasi adalah sangat penting terutama dalam waktu-waktu kritis
6. Performansi system komunikasi harus diketahui
7. Keandalan dari system komunikasi juga penting
8. Waktu komunikasi
9. Aplikasi data dan aplikasi pada end user penting
10. Electromagnetic interference juga harus diperhatikan
11. Kebutuhan operasional seperti direktori, keamanan dan pengaturan jaringan menjadi penting

2.9 Diagram Pola Mata

Dalam telekomunikasi, pola mata, juga dikenal sebagai diagram mata, adalah layar osiloskop di mana sinyal digital dari penerima berulangi kali diulang dan diterapkan ke input vertikal, sementara laju data digunakan untuk memicu sapuan horizontal. Disebut demikian karena, untuk beberapa jenis pengkodean, pola itu tampak seperti serangkaian mata di antara sepasang rel. Ini adalah alat untuk evaluasi efek gabungan kebisingan saluran dan interferensi intersymbol pada kinerja sistem transmisi pulsa baseband. Ini adalah superposisi yang disinkronkan dari semua kemungkinan realisasi sinyal yang menarik dilihat dalam interval sinyal tertentu.

Beberapa ukuran kinerja sistem dapat diturunkan dengan menganalisis tampilan. Jika sinyal terlalu panjang, terlalu pendek, disinkronisasikan dengan jam sistem, terlalu tinggi, terlalu rendah, terlalu berisik, atau terlalu lambat untuk berubah, atau terlalu banyak undershoot atau overshoot, ini dapat diamati dari diagram mata. Pola mata terbuka sesuai dengan distorsi sinyal minimal. Distorsi dari gelombang sinyal karena gangguan intersymbol dan noise muncul sebagai penutupan pola mata.

Dari diagram pola mata ini kita dapat menentukan nilai BER (*Bit Error Rate*) yang terjadi pada link komunikasi optik yang sudah dirancang. Tidak hanya BER kita pun dapat mengetahui SNR dari sinyal tersebut dan juga mengetahui pengaruh ISI (Inter Symbol Interference) yang terjadi pada link komunikasi tersebut.



Gambar 2.11 Contoh Eye diagram

Dari hasil simulasi dengan software Optisystem dihasilkan pola mata, nilai BER dan nilai Q factornya. Untuk menghitung nilai OSNR dapat dihitung dari nilai Q-factor dengan hubungan sebagai berikut

$$OSNR = 20 \text{ Log } Q \quad (2.9)$$

$$BER = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \quad (2.10)$$

OSNR juga dapat dihitung melalui rumus empiris yang merupakan penyederhanaan dari rumus diatas yaitu sebagai berikut

$$\text{Log}^{10}(BER) = 10.7 - 1.45(OSNR) \quad (2.11)$$

Dari formula diatas kita dapat mengetahui nilai OSNR pada link yang kita rancang.

2.10 Kondisi Eksisting Jaringan

Sistem telekomunikasi pada jaringan pusat pengaturan beban jawa-bali sangat diperlukan untuk melayani sistem akuisisi data, telecontrol, teleproteksi dan support kinerja P2B. Sebagai pusat pengatur beban P2B harus mendapatkan data secara realtime dari seluruh gardu induk yang tersebar di berbagai tempat, data yang dilewatkan pada jaringan mereka pun merupakan data yang sangat penting sehingga dibutuhkan security yang sangat tinggi dari sisi jaringan sehingga sangat dianjurkan P2B memiliki jalur private untuk menopang segala informasi yang dikontrol oleh P2B.

Saat ini kondisi jaringan SCADA yang digunakan oleh P2B menggunakan jasa Icon+ dengan menumpangkan data SCADA milik P2B kepada cloud icon+ dengan menambahkan VPN sebagai proteksi dari system keamanan jaringan mereka. P2B tidak memiliki link private untuk mendukung kerjanya, hanya menggunakan link public yang dilengkapi VPN saja. Kemudian belum seluruh titik menggunakan fiber optic untuk komunikasi SCADA nya, ada yang masih menggunakan *power line carrier* untuk metransisikan data proteksi dan data SCADA. Jika terdapat gangguan pada jaringan komunikasi, alur perbaikannya cukup lama karena P2B tidak memiliki NOC untuk memonitor kegagalan pada jaringan.

Karena sistem SCADA mampu melakukan control jarak jauh (telecontrol) kepada perangkat-perangkat listrik di gardu induk, maka keamanan system menjadi yang paling penting. Jika berkaca kepada negara-negara yang sudah menerapkan konsep smartgrid dan telecontrol untuk Power Management di negaranya, mereka pasti memiliki jaringan privat yang dibangun hanya untuk kepentingan perusahaan listrik tersebut. Sehingga jaringan komunikasi dan data yang dilewatkan didalamnya lebih aman.

Masa depan teknologi smartgrid di Indonesia pun akan mengarah kepada Power Market yang merupakan sebuah system yang memungkinkan PLN melakukan pembelian energy listrik melalui lelang, pembelian jangka pendek baik dari pembangkit besar maupun dari pembangkit kecil sehingga PLN dapat mengoptimalkan pengeluaran

mereka untuk pembelian energy listrik dari pembangkit. Oleh karena itu kebutuhan data yang lewat ke jaringan PLN akan sangat banyak sehingga jaringan membutuhkan kapasitas yang besar untuk membantu kerja dari PLN P2B.

Kegagalan arus komunikasi anantara P2B dengan gardu-gardu induk dapat menyebabkan sulitnya memperbaiki atau melakukan antisipasi terhadap kondisi blackout (listrik padam) pada area yang dapat membuat kerugian dari pihak konsumen PLN atau pihak PLN itu sendiri. Oleh karena itu diperlukan jaringan komunikasi yang andal dan memiliki tingkat ketersediaan (Availability) yang tinggi.

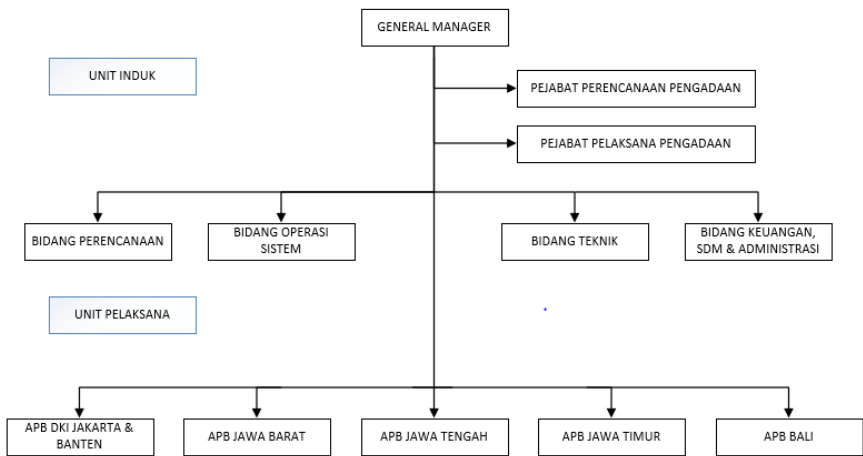
Jaringan backbone yang dirancang untuk keperluan PLN harus memiliki ketersediaan yang tinggi, jaringan yang secure dan kapasitas yang besar sehingga jaringan ini dapat membantu kerja PLN P2B dengan maksimal sehingga sangat sesuai apabila dalam perancangannya menggunakan jaringan fiber optik dan didukung oleh system DWDM pada fiber optik yang menjanjikan kapasitas transfer data yang sangat tinggi.

2.11 Pusat Pengaturan Beban

Pusat pengaturan beban adalah salah satu unit kerja dari Perusahaan Listrik Negara. Pusat pengaturan beban memiliki tugas sebagai tempat pengaturan beban dan pengaturan flow pada sistem energi listrik di Indonesia. Pengaturan beban dilakukan dari pembangkitan hingga listrik sampai pada sistem distribusi. Fungsi dari pengaturan beban adalah untuk menjaga kualitas energi listrik yang di salurkan agar sesuai dengan yang di inginkan konsumen salah satu faktor yang di jaga oleh pengatur beban adalah frekuensi tegangan listrik dimana frekuensi tetap di jaga 50Hz. Faktor lain yang selalu diawasi pusat pengaturan beban adalah kebutuhan daya dan faktor daya. Pusat pengaturan beban juga memiliki tugas untuk memilih pembangkit mana yang harus di beli energi listriknya dan mencatat transaksi energi.

Pusat pengaturan beban terbagi menjadi 5 bagian yaitu Sumatra, Kalimantan, Jawa-Bali, Sulawesi-Nusra dan Maluku-Papua. Setiap bagian bertugas mengatur beban di wilayah masing masing. Dalam Tugas

Akhir ini, penulis hanya berfokus kepada pusat pengaturan beban unit jawa-bali. Di P2B yang memiliki tugas untuk menjalankan dan membantu sistem SCADA adalah pada bidang Teknik (SCADA, IT, Teleproteksi, Telekomunikasi) dan Operasi Sistem. Berikut merupakan struktur organisasi pusat pengaturan beban (P2B) jawa-bali yang dapat dilihat pada gambar 2.11



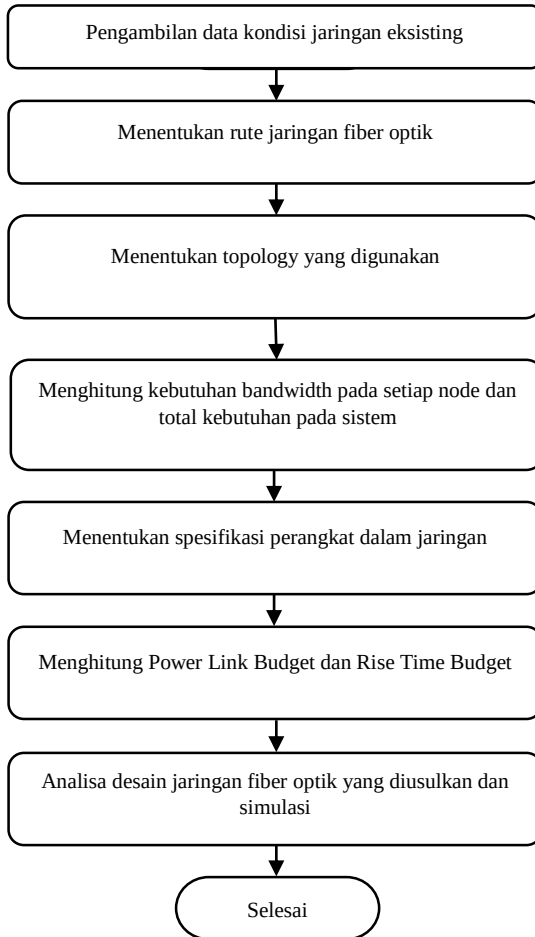
Gambar 2.12 Struktur Organisasi P2B

Untuk mengetahui kebutuhan pelanggan dan banyak listrik yang harus disuplai dari pembangkit, P2B memasang sensor-sensor yang mengukur penggunaan listrik di tiap gardu induk. Saat energi listrik dibangkitkan, energi listrik tidak dapat disimpan sehingga harus segera dihabiskan dengan cara didistribusikan kepada pelanggan-pelanggan PLN. Oleh karena itu Pusat pengaturan beban memerlukan sistem control jarak jauh dan realtime. SCADA pun di pilih sebagai sistem control jarak jauh yang realtime yang sudah digunakan oleh P2B sejak pertengahan tahun 1980an.

BAB 3

METODOLOGI PERANCANGAN

Berikut merupakan metodologi yang digunakan dalam melakukan penelitian terkait perancangan backbone jaringan fiber optik [5]



3.1 Pengambilan Data Kondisi Eksisting

Proses pengambilan data merupakan proses awal dalam tahap perancangan jaringan sebagaimana tercantum pada metode NDLC (Network Design Life Cycle). Pada tahap ini diharapkan perancang mengerti apa kebutuhan dan persyaratan dari jaringan yang akan dirancang

Pada proses ini, penulis menggunakan teknik wawancara untuk melakukan pengambilan data terkait kondisi jaringan eksisting. Wawancara dilakukan di kantor PLN P2B, gandul, Depok. Narasumber dari wawancara ialah Bapak Resa, Deputy Manager (DM) Telekomunikasi, Divisi Teknis, PLN P2B.

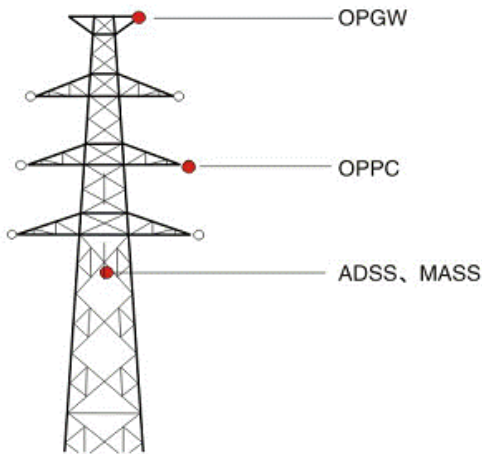
3.2 Penentuan Rute Jaringan Fiber Optik

Dalam menentukan rute backbone fiber optik untuk keperluan SCADA, mengikuti rute jalur transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV dan 150 kV milik PLN di pulau Jawa-Bali. Hal ini dilakukan karena dalam pemasangannya kabel fiber optik di pasang bersama dengan jaringan SUTET, kabel Fiber optik ini berfungsi sebagai kabel ground dari jaringan SUTET. Jenis kabel fiber optik yang digunakan adalah jenis Optik Power Ground Wire (OPGW).

Skenario lainnya juga dapat dilakukan dengan memasang kabel Fiber Optik dengan jenis All Dielectric Self-Supporting (ADSS) yang memanfaatkan Menara SUTET dalam transmisinya. Berikut merupakan gambar dari lokasi kabel pada Menara SUTET.

Namun dalam perancangan ini yang akan dipakai adalah jenis kabel OPGW karena untuk jaringan transmisi 500 kV kabel tipe ADSS tidak dapat beroperasi secara optimal. Pada datasheet kabel ADSS tercantum bahwa dapat berkerja sampai dengan tegangan 250kV saja. Sehingga untuk jalur 500 kV memerlukan kabel OPGW.

Pemilihan rute dipilih karena sesuai dengan kebutuhan dari jaringan komunikasi ini yang menghubungkan antara gardu induk dengan gardu induk lainnya, pembangkit dan jruang kontrol yang berada di Gandul.



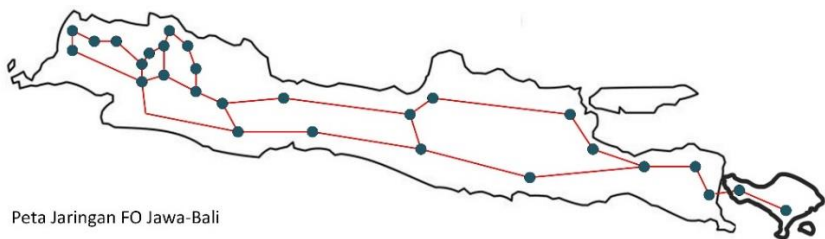
Gambar 3.1 posisi OPGW dan ADSS pada menara SUTET

Rute jaringan fiber optik ini sebagian besar rutenya mengikuti rute jaringan transmisi listrik nasional (JTN) sesuai dengan rute SUTET 500 kV sebagai backbone jaringan listrik Jawa Bali. Hal ini dilakukan karena dalam pembangunan dan aplikasinya, kabel fiber optik ditumpangkan ke Menara SUTET lewat kabel ground yang terpasang disana. Maka dari itu jenis kabel fiber optik yang digunakan adalah jenis kabel Optikal Power Ground Wire (OPGW) dimana kabel optik ditumpangkan melalui tengah kabel ground.

Rute jaringan transmisi listrik pun dipilih karena pelanggan dari layanan SCADA P2B merupakan gardu-gardu induk yang sudah pasti terlewati oleh jaringan transmisi listrik, sehingga sudah tepat sekali bila rute jaringan telekomunikasi ditumpangkan kepada jaringan transmisi nasional.

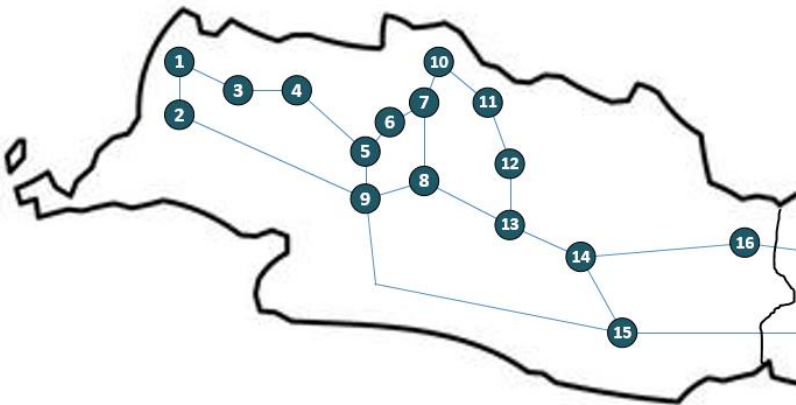
Sebagaimana jaringan SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) jaringan fiber optik ini juga akan menghubungkan tempat-tempat penting seperti, Gandul, Cawang, Depok, Cibinong, Cigereleng,

Tasikmalaya, Ungaran, Klaten, Babat, Gresik, Krian, Waru, Grati, Paiton, Kediri, Situbondo, Banyuwangi dan Bali. Tempat-tempat tersebut diatas merupakan node-node dari jarngan fiber optik yang akan dibangun. Dalam pembangunannya jaringan telekomunikasi ini akan dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian barat dan timur, dimana pada jaringan barat akan menghubungkan link fiber optik dari ungaran dan klaten menuju kearah barat, dan menuju kearah timur untuk area timur.



Gambar 3.2 Peta Jaringan FO Jawa-Bali

3.2.1 Banten-DKI Jakarta-Jawa Barat

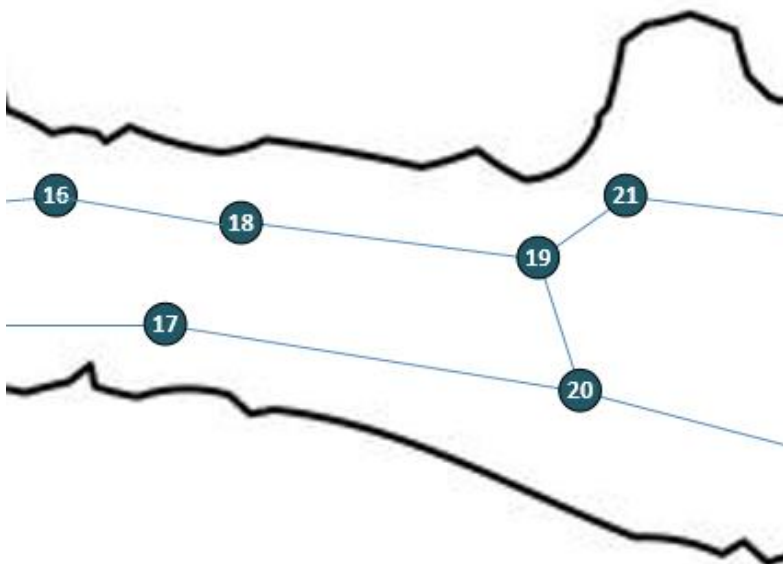


Gambar 3.3 Peta jaringan DKI-Banten-Jabar

Gambar 3.3 adalah peta rancangan jaringan fiber optik yang menghubungkan node-node di wilayah barat pulau jawa. Berikut merupakan node-node yang dilewati jaringan sesuai nomor yang tertera pada peta, yaitu:

1	Suralaya	9	Depok
2	Cilegon	10	Muaratawar
3	Balaraja	11	Cibatu
4	Kembangan	12	Cirata
5	Gandul	13	Saguling
6	Cawang	14	Cigereleng
7	Bekasi	15	Tasikmalaya
8	Cibinong	16	Madirncan

3.2.2 Jawa Tengah

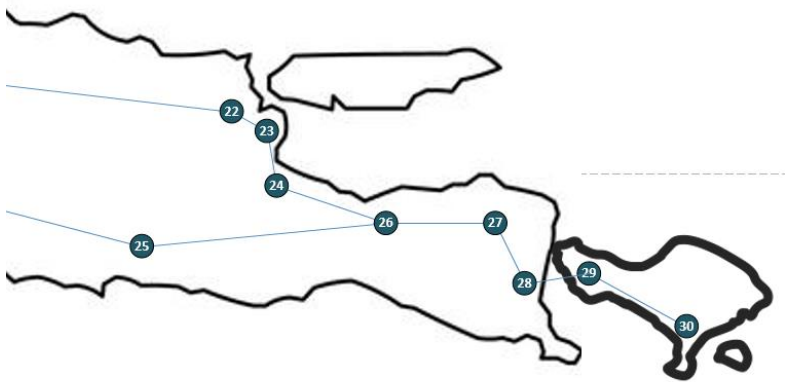


Gambar 3.4 Peta Jaringan Jawa Tengah

Gambar 3.4 adalah peta rancangan jaringan fiber optik yang menghubungkan node-node di wilayah tengah pulau jawa. Berikut merupakan node-node yang dilewati jaringan sesuai nomor yang tertera pada peta, yaitu:

- 17. Rawalo
- 18. Pemalang
- 19. Ungaran
- 20. Pedan
- 21. Purwodadi

3.2.3 Jawa Timur-Bali



Gambar 3.5 Peta Jaringan Jawa Timur-Bali

Gambar 3.5 adalah peta rancangan jaringan fiber optik yang menghubungkan node-node di wilayah timur pulau jawa dan bali. Berikut merupakan node-node yang dilewati jaringan sesuai nomor yang tertera pada peta, yaitu:

- 22. Surabaya

23. Waru
24. Grati
25. Kediri
26. Paiton
27. Situbondo
28. Banyuwangi
29. Gilimanuk
30. Kapal

3.3 Penentuan Topologi Jaringan

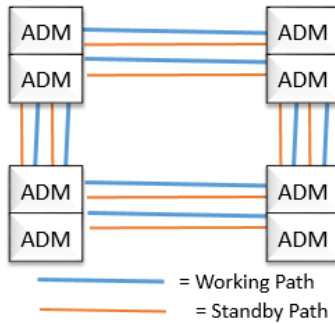
Dari analisa terkait node-node penting pada jaringan dapat ditentukan bahwa topologi jaringan yang digunakan adalah topologi ring. Topologi ring dipilih karena letak dari node-node yang cukup berjauhan sehingga tidak efektif apabila menggunakan topologi mesh karena dengan topologi mesh, karena dalam topologi mesh setiap node harus terhubung satu dengan lainnya.

Topologi jaringan cincin sangat sesuai dengan kebutuhan dan keadaan P2B untuk mengontrol SCADA nya. Terlebih bila kita mengacu pada link yang sudah ada, yaitu link transmisi 500 kV, sudah menggunakan topologi cincin pada jaringannya. Bisa dilihat pada gambar 3.2.

Terdapat dua jenis metode self healing pada topologi ring jaringan fiber optik. Kedua jenis ring tersebut adalah USHR dan BSHR - 4 fiber dalam desain akan dilakukan desain untuk USHR dan BSHR dan dikomparasikan antar kedua metode tersebut.

1. Bidirectional Self Healing Ring - 4 fiber

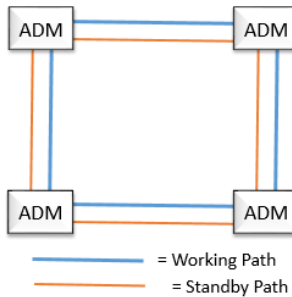
BSHR (*Bidirectional Self Healing Ring*) dengan 4 fiber membutuhkan empat fiber diantara node yang berhubungan. 4 fiber pada arsitektur ini terdiri dari 2 Working Path dan 2 Standby Path sebagai redundan dan juga membutuhkan 2 buah OADM (*Optical Add Drop Multiplexer*) pada setiap node [6].



Gambar 3.6 konfigurasi BSHR 4 Fiber

2. Unidirectional Self Healing Ring

Arsitektur USHR memerlukan hanya dua fiber dengan satu *working path* dan lainnya standby path dan membutuhkan OADM di setiap node. Dalam satu core fiber optic terdapat dua kanal duplex yang bekerja berlawanan arah diantara 2 nod (A-B dan B-A) [6].



Gambar 3.7 Konfigurasi USHR

Dari kedua model jaringan diatas akan dianalisa terkait biaya dan kapasitas jaringan sehingga dapat ditentukan model apa yang direkomendasikan untuk digunakan.

3.4 Kebutuhan Bandwidth pada Jaringan

Perhitungan kebutuhan bandwidth dalam suatu jaringan sangat diperlukan untuk menentukan kapasitas dari rancangan jaringan yang dibuat. Perhitungan kebutuhan kapasitas/bandwidth setiap titik (Node) dilakukan dengan formula sebagai berikut:

Dalam kasus ini pelanggan dari jaringan ini adalah gardu induk dan kantor P2B yang berada di pulau Jawa dan Bali dan juga untuk rata-rata kebutuhan bandwidth dapat dilihat dari standar-standar terkait.

3.4.1 Jenis dan Ukuran Data

Dalam memasuki era SmartGrid, PLN sebagai satu-satunya perusahaan listrik negara sedang giat melakukan pembangunan infrastruktur IT untuk mendukung SmartGrid atau Jaringan Listrik Pintar (LPR) di Indonesia. Banyak aplikasi dari SmartGrid yang membutuhkan jaringan telekomunikasi seperti Telecontrol, Teleproteksi, Akuisisi data secara realtime dari gardu induk dan pembangkit, dan kebutuhan lainnya.

Karena tingginya kebutuhan dari sistem Jaringan Listrik Pintar dan perkembangan kebutuhan listrik di Indonesia, maka dari itu PLN harus memiliki jaringan telekomunikasi private yang memiliki performansi tinggi dan juga ketersediaan (availability) yang tinggi.

Dalam Tugas akhir ini yang didefinisikan sebagai kebutuhan jaringan telekomunikasi meliputi:

1. SCADA dan Teleproteksi

Untuk data kebutuhan SCADA sesuai dengan rekomendasi IEC 61850-5-104 mengenai protokol komunikasi SCADA yang digunakan, untuk keperluan data SCADA membutuhkan bandwidth sebesar 64 kbps.

2. Intranet PLN

Untuk kebutuhan intranet PLN sendiri, bandwidth yang dialokasikan untuk kebutuhan intranet PLN sebesar 10 Mbps pada setiap gardu induk baik di level 500 kV maupun 150 kV.

3. CCTV pada gardu Induk

CCTV disini menggunakan kamera CCTV dengan stream type: H.264 dengan resolusi video 720p dan 12 FPS (30Fps) sehingga kebutuhan data dari 1 kamera cctv adalah 576 kbps pada kondisi optimumnya. Dalam hal ini di asumsikan terdapat 4 kamera CCTV yang terpasang di setiap gardu induk.

4. Video Conference

Sesuai dengan kebutuhan ideal video conference sesuai dengan standar/rekomendasi yang dikeluarkan apabila menggunakan aplikasi google hangout untuk video conference, maka kebutuhan bandwidth yang harus disiapkan adalah 2.6 mbps.

Berikut merupakan tabel yang menjelaskan rata-rata kebutuhan bandwidth:

Tabel 3.1 Kebutuhan Bandwidth

Layanan	Bandwidth	Keterangan
Data SCADA	64 kbps	IEC 60870-5-104
Intranet PLN	10 Mbps	Hasil wawancara dengan staff IT
CCTV	576 kbps	Stardot Technologies (produsen CCTV)
Suara	64 kbps	ITU-T G.711
Video Conference	2.6 mbps	Standar Google Hangout

3.4.2 Perhitungan Kebutuhan Bandwidth

Perhitungan kebutuhan bandwidth dalam suatu sistem fiber optic sangat diperlukan untuk menentukan berapa bandwidth yang harus disediakan oleh sistem untuk menampung data-data yang dibutuhkan. Selain itu, dengan mengetahui berapa besar bandwidth yang lewat pada link komunikasi fiber optic kita dapat menentukan standar jaringan tranmsisi berapa yang baik digunakan pada link-link fiber optic tersebut.

3.4.2.1 Perhitungan kebutuhan Bandwidth Setiap Node

Berikut merupakan hasil kalkulasi kebutuhan bandwidth pada setiap node. Misal kita ambil contoh untuk node gandul. Dengan rumus seperti yang tertulis pada rumus 2.1, harus diketahui terlebih dahulu berapa jumlah pelanggan (GI yang dilayani) pada node tersebut. Gandul memiliki jumlah pelanggan sebanyak 90 buah dan kebutuhan bandwidth tiap pelanggannya sesuai dengan data yang sudah tercantum dalam tabel 2.1, sehingga cara menghitungnya adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Demand BW Gandul} &= (64 + 10000 + 2600 + (576 \times 4)) \times 90 \\ \text{Demand BW Gandul} &= 1.227.376 \text{ kbps} = 1.2 \text{ Gbps} \end{aligned}$$

Dengan rumus dan cara menghitung yang sama dengan gandul, data kebutuhan BW pada setiap node dapat dilihat pada table 3.2. dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa total jumlah node yang dicakup oleh jaringan adalah sebanyak 607 node yang tersebar mulai dari Banten sampai Bali dengan jumlah pelanggan terbanyak berada di gandul sebanyak 82 titik yang harus dimonitor dan dikontrol oleh gandul. Data ini sudah mencakup jumlah node yang ada untuk lima tahun kedepan yang diambil dari RUPTL (Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik) PLN periode 2018-2022

Untuk 1 node pelanggan dibutuhkan bandwidth sebesar 15.032 kbps apabila seluruh layanan digunakan (SCADA, Intranet pemakaian maksimum, Video Conference, CCTV). Sehingga total untuk seluruh node yang ada pada jaringan kebutuhan bandwidthnya adalah 9.124 Gbps untuk kondisi seluruh layanan digunakan hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Kebutuhan *bandwidth* tiap node

Node	Jumlah Pelanggan	Bandwidth Demand (kbps)	Keterangan
Suralaya	13	195416	Bandwidth data per subs for: 1. SCADA = 64 kbps (IEC 61850.104) 2. Intranet: 10mbps 3.Video conf. : 2.6mbps 4. CCTV : 576 kbps
Cilegon	8	120256	
Balaraja	25	375800	
Kembangan	11	165352	
Gandul	82	1232624	
Cawang	69	1037208	
Depok	21	315672	
Cibinong	22	330704	
Bekasi	12	180384	
Muaratawar	5	75160	
Cibatu	16	240512	
Cirata	12	180384	
Saguling	5	75160	
Cigereleng	22	330704	
Tasikmalaya	10	150320	
Madirancan	7	105224	
Rawalo	15	225480	
Ungaran	32	481024	
Klaten	21	315672	
Purwodadi	19	285608	
Kediri	64	962048	
Waru	60	901920	
Grati	24	360768	
Paiton	14	210448	
Situbondo	3	45096	
Banyuwangi	3	45096	
Bali	12	180384	
TOTAL	607	9124424	Kbps
		9.124424	Gbps

Dalam perhitungan distribusi bandwidth pada fiber optik diambil total trafik data yang memungkinkan melewati jaringan. Karena dalam konfigurasi ring, setiap jalur harus bias menampung seluu traffic yang lewat karena memungkinkan terdapat lemparan trafik data dari link yang memiliki arah berlawanan. Pertimbangan ini dapat dilakukan dikarenakan bandwidth yang ada cukup untuk melewatkan seluruh trafik yang ada pada jaringan.

3.5 Perangkat yang dibutuhkan

Dalam sub bab ini akan didefinisikan perangkat apa saja yang dibutuhkan dalam perancangan jaringan backbone fiber optik beserta spesifiikasi dari perangkat yang digunakan

3.5.1 Kabel

Jenis kabel yang digunakan adalah tipe NZDSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber) yang telah direkomendasikan pada ITU-T G.655 dengan panjang gelombang 1550nm. Pemilihan kabel ini pun didasari oleh bulletin yang diterbitkan oleh The FOA inc. (Fiber Optic Association) terkait jaringan fiber optik jarak jauh (*Long-haul network*).

Jenis kabel	OPGW dengan kabel fiber tipe ITU-T G.655 – NZDSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber)
Koefisien Redaman	0.25 dB/km @1550nm
Dispersi Chromatic	6 ps/nm.km
Panjang Kabel/Drum	6 km

3.5.2 Transmitter

Pada rancangan jaringan komunikasi backbone di pusat pengaturan beban tenaga listrik, penulis menyarankan spesifikasi transmitter seperti dibawah untuk mendukung kinerja jaringan yang baik. Transmitter yang

memiliki data rate 10 Gbps atau STM-64 dengan daya pancar maximum 4dBm dan minimum 0 dBm. Serta menghasilkan gelombang cahaya pada jendela C-Band (Typ. 1550nm).

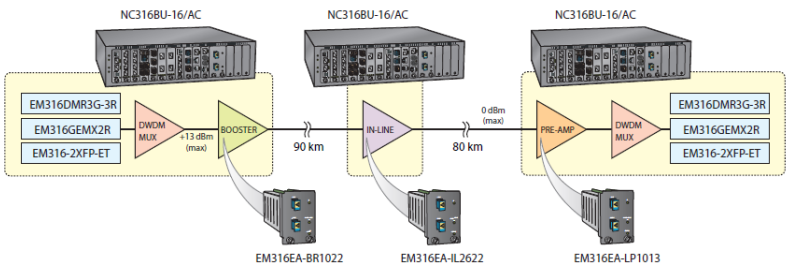
Data Rate	10 Gbps
Daya pancar (P _{Tx})	4 dBm
Panjang Gelombang	1550 nm
Rise Time (t _{Tx})	28 ps

3.5.3 Receiver

Sedangkan di sisi receiver sebagai penerima sinyal optic pada rancangan jaringan komunikasi backbone di pusat pengaturan beban tenaga listrik, penulis menyarankan spesifikasi receiver seperti dibawah. Receiver yang mampu menerima data rate 10 Gbps atau STM-64 dengan daya terima minimum -23 dBm untuk BER sebesar 10⁻¹². Serta menghasilkan gelombang cahaya pada jendela C-Band (Typ. 1550nm).

Data Rate	10 Gbps
Sensitivitas daya terima (P _{Rx})	-23 dBm @10 Gbps, 80km
Panjang Gelombang	1550 nm
Rise Time (t _{Tx})	28 ps

3.5.4 Amplifier



Gambar 3.8 Tata letak amplfier

Dalam sistem komunikasi optik, terdapat tiga jenis amplifier menurut tata letak amplifier pada suatu link komunikasi. Ketiga jenis amplifier itu adalah:

- 1) *Booster*, merupakan jenis penguat yang ditempatkan di bagian awal lin FO, biasa ditempatkan setelah transmitter untuk memperkuat daya pancar transmitter
- 2) *In-Line Amplifier*, merupakan jenis amplifier yang ditempatkan di posisi tengah link komunikasi. Digunakan untuk penguatan daya di tengah link komunikasi.
- 3) *Pre-Amplifier*, merupakan jenis amplifier yang ditempatkan di posisi akhir dalam sebuah link komunikasi sebelum masuk ke penerima (receiver)

<i>Booster</i>		
<i>Gain</i>	15 dB	20 dB
Max output power	22.5 dBm	22.5 dBm
Max input power	8 dBm	3 dBm
Noise Figure	5.5 dB	5.5 dB
<i>In-Line / Pre-Amp</i>		
<i>Gain</i>	10 dB	15, 20 dB
Max output power	17 dBm	17 dBm
Min input power	-28 dBm	-28 dBm
Noise Figure	5 dB	5 dB

3.6 Contoh Perhitungan Link Cawang-Bekasi

Pada sub bab ini akan dilakukan contoh perhitungan *Power link Budget* dan *Rise Time Budget* pada link Cawang-Bekasi. Berikut merupakan parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan pada sub-bab selanjutnya

Tabel 3.3 parameter desain link Cawang-Bekasi

Parameter Desain Lnk Cawang-Bekasi	
Jarak	21.75 km
Daya Pancar (Ptx)	4 dBm
Sensitivitas (Pst)	-23 dBm
Panjang potongan kabel	6 km
Tr	28 ps
Tf	28 ps

Data diatas merupakan modal untuk perhitungan yang akan dihitung pada perhitungan di sub bab berikutnya.

3.6.1 Contoh Perhitungan Power Link Budget

Perhitungan power link budget dan analisis nya sangat dibutuhkan dalam perancangan link telekomunikasi. Analisis ini digunakan untuk menentukan margin dan loss terbesar yang dapat diterima oleh sistem agar daya yang diterima oleh receiver masih dapat diterima dengan baik.

Adapun tahapan dalam melakukan perhitungan link budget adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai daya pancar (Ptx) dan Sensitivitas penerima (Prx) yang dapat dilihat pada spesifikasi perangkat pemancar dan penerima.
2. Mengukur jarak dan menghitung kebutuhan splicing tiap link.
3. Mengitung jumlah loss total pada setiap link.
4. Menghitung margin sistem dengan rumus power link budget.

Berikut dibawah merupakan rincian contoh perhitungan mulai dari proses nomor 2, 3 dan 4.

3.6.1.1 Perhitungan Jumlah Splicing tiap Link

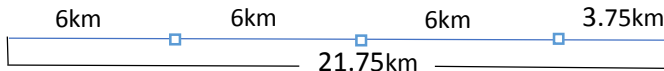
Dengan menggunakan persamaan 2.3 kita dapat mencari berapa total splicing yang dibutuhkan untuk link tertentu. Misal, ambil contoh untuk link Cawang-Bekasi dengan panjang link 21.75 km dengan kabel yang memiliki panjang sebesar 6km jika dihitung menggunakan persamaan dibawah maka hasilnya adalah sebagai berikut

$$N_c = \left\lfloor \frac{21.75}{6} \right\rfloor$$

Sehingga,

$$N_c = 3$$

Dalam menghitung persamaan diatas menggunakan fungsi lantai untuk melakukan pembulatan kebawah dari hasil perhitungan. Dalam excel, digunakan formula “=ROUNDDOWN(number,0)” dimana number merupakan hasil pembagian dan digit merupakan angka dibelakang koma. Untuk membuktikan hasil perhitungan dapat dijelaskan dengan ilustrasi di bawah ini.



Dari ilustrasi diatas dapat dilihat bahwa untuk link 21.75 km membutuhkan 3 sambungan (*splicing*).

3.6.1.2 Perhitungan Loss Total

Serangkaian perangkat fiber optik dapat memberikan kontribusi terhadap besarnya loss yang diterima oleh sebuah link. Dalam hal ini Fiber optik yang digunakan adalah tipe NZDSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber) dengan menggunakan panjang gelombang 1550nm sesuai dengan ITU-T G.655 dan spesifikasi perangkat. Berikut merupakan karakteristik dari kabel tersebut:

Loss pada Kabel Fiber optik:

1. Redaman Kabel

Sesuai dengan standar yang dikeluarkan oleh ITU-T G.655 untuk kabel tipe NZDSF dengan panjang gelombang 1550nm

$$\text{Loss/km} = 0.25\text{dB/km}$$

2. Splicing loss

Panjang Kabel maksimum adalah 6 km (6000 m), yang berarti setiap 6km harus digabungkan dengan kabel fiber optik lainnya untuk mencapai jarak

tertentu. Metode yang digunakan dalam penyambungan ini adalah metode Fusion Splicing yang memiliki loss 0.2dB tiap splice.

$$\text{Loss Splice} = 0.2\text{dB}/6\text{km}$$

3. Connector Loss

Untuk menghubungkan kabel fiber kepada perangkat transmitter dan receiver dibutuhkan connector dengan jenis Nilai Loss dari connector ini Sebesar 0.25dB

4. Loss Margin

Margin loss diasumsikan sebesar 4dB untuk seluruh link. Kontribusi loss yang mungkin terjadi adalah margin apabila ada splicing tambahan, perbaikan kabel, penambahan perangkat di tengah link, aging kabel, level margin dan lainnya. Sehingga dengan margin 4dB ini dapat menjadi jarak aman dalam desain (perhitungan) untuk kondisi real di lapangan.

5. Total Loss

Merupakan penjumlahan dari loss/redaman kabel, splicing, konektor dan margin. Sesuai dengan rumus 2.4, Berikut merupakan contoh perhitungan untuk total loss jika diambil contoh untuk link Cawang-Bekasi:

- *Loss pada kabel*

$$\begin{aligned}\text{Cable Loss} &= \text{Loss Fiber}/\text{km} \times \text{panjang kabel antar node (km)} \\ &= 0.25 \text{ dB}/\text{km} \times 21.75 = 5.4375 \text{ dB}\end{aligned}$$

- *Loss pada konektor*

$$\begin{aligned}\text{Connector Loss} &= \text{Loss per connector} \times 2 \text{ (Tx dan Rx)} \\ &= 0.25 \times 2 \\ &= 0.5 \text{ dB}\end{aligned}$$

- *Loss pada sambungan (Splice)*

$$\text{Splicing Loss} = \text{Loss Splicing} \times [\text{Jumlah Splice}]$$

$$= 0.2 \text{ dB} \times 3 = 0.6 \text{ dB}$$

Sehingga total loss pada link fiber optic dari cawang-bekasi adalah sebagai berikut:

$$\alpha_{total} = 5.4375 + 0.6 + 0.5 + 4$$

$$\alpha_{total} = 10.5375 \text{ dB}$$

3.6.1.3 *Perhitungan Margin*

Selanjutnya adalah perhitungan margin sistem, untuk perhitungan margin dibutuhkan informasi terkait besar P_{tx} , P_{rx} , dan total loss. Sehingga dengan mengambil contoh link Cawang Bekasi, margin system dengan menggunakan rumus 2.5 adalah sebagai berikut

$$M = 4 - (-23) - 10.5375$$

$$M = 16.4625$$

Dengan nilai margin lebih besar dari nol, maka sistem dapat dikatakan berjalan dengan baik karena daya yang diterima di sisi receiver melebihi batas daya terendah yang dapat diterima oleh receiver. Namun, apabila nilai margin dibawah nol maka perlu ditambahkan penguat/regenerator pada link tersebut.

3.6.1.4 *Perhitungan Kebutuhan Penguat*

Apabila jarak antara dua node yang berurutan (link) sangat jauh maka perlu dipasang repeater (regenerator). untuk mengetahui apakah dalam suatu link dibutuhkan repeater atau tidak, maka perlu diketahui margin (M) pada system dan berapa total loss yang terjadi pada system (α_{total}) dan margin loss (α_M).

Jika nilai margin (M) Lebih besar dari pada nol. Maka pada link tersebut perlu ditambahkan repeater (regenerator). Fungsi repeater adalah untuk memperkuat sinyal dan melakukan fungsi regenerative pada sinyal sehingga dapat menjangkau jarak yang lebih jauh.

$M > 0$, maka sistem tidak membutuhkan repeater

$M \leq 0$, maka sistem membutuhkan repeater

Setelah mengetahui bahwa link tersebut membutuhkan repeater, dihitung juga berapa jumlah penggunaan repeater dalam satu link dan jarak penempatan repeater. Untuk mengetahui jarak yang mampu dicapai diantara repeater dapat dihitung dengan melakukan persamaan berikut:

3.6.1.5 Perhitungan Kebutuhan Attenuator

Namun kita juga perlu menentukan nilai attenuasi minimum pada system. Fungsinya adalah untuk mengetahui apakah dibutuhkan attenuator pada system tersebut. Karena apabila nilai attenuasi pada system berada dibawah nilai attenuasi minimum, maka system tersebut membutuhkan attenuator untuk menambahkan attenuasi pada system. Apabila attenuasi pada system terlalu kecil maka daya yang diterima pada receiver terlalu besar, jika demikian dapat menyebabkan kerusakan dan umur dari alat berkurang.

Langkah pertama dalam perhitungan adalah dengan menentukan attenuasi minimum yang dapat diterima di system, berikut merupakan cara menghitung margin maksimum mengacu pada persamaan 2.5 adalah sebagai berikut

$$\text{Margin Maksimum} = \text{receiver overload} - P_{Rx}$$

$$\text{Margin Maksimum} = -7\text{dBm} - (-23\text{dBm})$$

$$\text{Margin Maksimum} = 16\text{dB}$$

Sehingga untuk link Cawang-Bekasi yang memiliki margin sebesar 16.4625 dB dan perlu dipasang attenuator. Attenuator yang dipasang pada link Cawang-Bekasi ini minimal memiliki attenuasi sebesar 0.5dB agar mampu menurunkan margin system menjadi kurang dari 16dB. Dengan perhitungan yang sama, digunakan juga pada link-link yang lain sehingga nilai attenuasi dapat diketahui.

3.6.2 Contoh Perhitungan Rise Time Budget

Perhitungan rise time budget perlu dilakukan dalam merancang jaringan fiber optik. Fungsi perhitungan rise time budget adalah untuk mengetahui nilai dispersi pada link fiber optik sehingga kita dapat mengetahui kualitas seperti apa yang diterima oleh receiver optik dan kebutuhan DCM (Dispersion Compensation module). Untuk menghitung rise time maksimum yang dapat diterima oleh system, terlebih dahulu perlu diketahui modulasi yang digunakan serta bit-rate yang dilewatkan pada system sehingga kita dapat menentukan dispersi maksimum yang dapat di toleransi oleh sistem. Kemudian mencari disperse sistem di setiap link, apabila terdapat link yang memiliki disperse melewati batas toleransi, maka diperlukan compensator untuk mendukung sistem tersebut.

3.6.2.1 Perhitungan Nilai Dispersi Untuk Link Cawang-Bekasi

Dalam rancangan jaringan Fiber Optik ini, membutuhkan bitrate sebesar 10 Gbps (STM 64) dan format modulasi NRZ memiliki nilai maksimum rise time sebesar 70% dari panjang periode bit. Sehingga toleransi disperse yang diizinkan oleh sistem yang menggunakan line coding NRZ (Non Return to Zero) dan STM 64 dapat dihitung dengan rumus 2.6 seperti dibawah ini :

$$t_{sys} = \frac{0.7}{BR} = \frac{0.7}{10 \times 10^9} = 0.07 \times 10^{-9} = 70 \text{ ps}$$

Dengan mengambil contoh link Cawang-Bekasi mengacu pada rumus 2.7 dan 2.8, maka perhitungan rise time budget adalah sebagai berikut:

$$GVD = 6.0 \times 1 \times 21.75$$

$$GVD = 13.05 \text{ ps}$$

Maka,

$$t_{sys} = \sqrt{30^2 + 35^2 + 13.05^2}$$

$$t_{sys} = 47.91 \text{ ps}$$

Sehingga disperse yang terjadi pada link cawang-bekasi pada penerima adalah bergeser sebesar 47.91 ps.

3.6.2.2 Perhitungan kebutuhan DCM

Apabila tsys pada link yang dirancang melebihi nilai toleransi dari rise time system yaitu 70 ps maka perlu menggunakan DCM untuk menekan nilai disperse sehingga nilai dispersi dapat di tolerir. Untuk perangkat Huawei Optik dapat melakukan kompensasi disperse dengan jarak 20 km, 40 km, 60 km, 80 km, 100 km dan 120 km untuk kabel fiber optik G.655. Sehingga dengan DCM perhitungan semula pada jarak akan dikurangi jumlah kompensasi pada DCM. Misalnya ketika kita menggunakan DCM 40 km maka perhitungan GVD akan menjadi seperti ini

$$GVD = 6 \times 0.1 \times (L - 40)$$

3.6.3 Contoh Simulasi BER dan SNR Link cawing-Bekasi

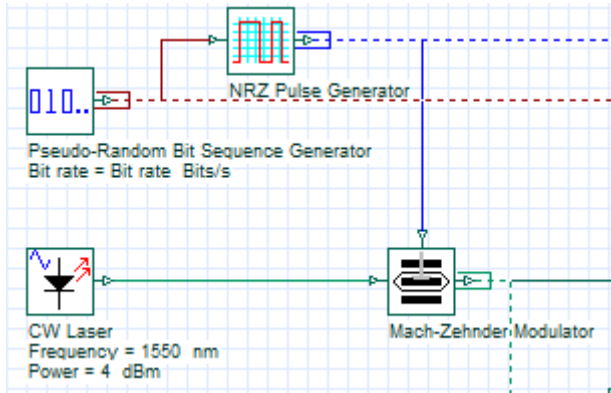
Langkah terakhir dalam penelitian ini adalah mensimulasikan hasil perhitungan yang sudah dihitung di sub-bab sebelumnya, untuk mengetahui apakah hasil perhitungan sudah sesuai atau belum dan mengetahui nilai BER dan OSNR dari system tersebut dengan melakukan analisa dari bentuk pola mata yang dibuat oleh BER Analyzer pada Optisystem.

Dalam proses simulasi ditetapkan bahwa bitrate adalah 10 Gbps sebagai layout parameter yang di set. Sementara untuk parameter lain menggunakan parameter default dari aplikasi yang disesuaikan dengan bit rate.

Name	Value	Units	Mode
Simulation window	Set bit rate		Normal
Reference bit rate	☒		Normal
Bit rate	10000000000	Bits/s	Normal
Time window	1.28e-008	s	Normal
Sample rate	640000000000	Hz	Normal
Sequence length	128	Bits	Normal
Samples per bit	64		Normal
Number of samples	8192		Normal

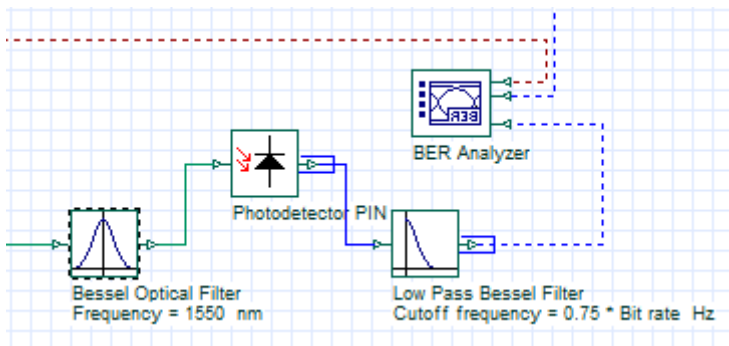
Gambar 3.9 Parameter optisystem

Untuk transmitter rangkaiannya terdiri dari Bit sequence generator, NRZ pulse generator, CW Laser, dan mach zeinder modulator yang tersusun sebagai berikut:



Gambar 3.10 Rangkaian Transmitter

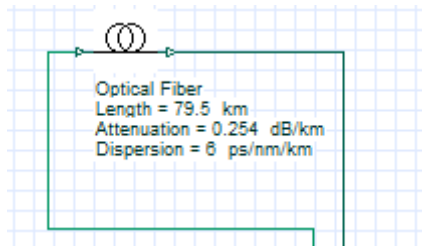
Untuk receiver rangkaiannya terdiri dari bandpass filter, photodetector, Lowpass filter dan ditambah dengan BER Analyzer untuk memunculkan analisa BER nya. Susunannya adalah sebagai berikut:



Gambar 3.11 Rangkaian Receiver

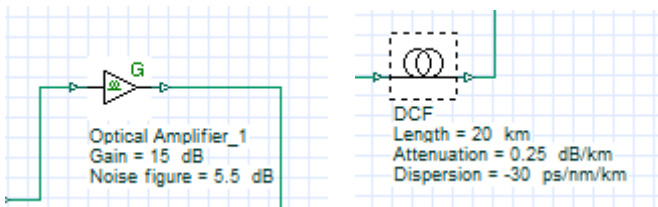
Gambar dibawah merupakan simulasi untuk kabel fiber optik. Yang perlu diubah saat simulasi adalah parameter jarak, redaman dan dispersi.

Untuk loss pada splicing/sambungan tidak terdapat pada parameter desain sehingga ditambahkan kepada redaman kabel sehingga yang mlanya redaman kabel adalah 0.25 dB/Km menjadi 0.254 dB/km dengan pertimbangan bahwa setiap 6km aka nada loss sebesar 0.2 dB.



Gambar 3.12 Kabel fiber optik

Untuk optical amplifier yang digunakan adalah EDFA, dalam hal ini langsung menggunakan modul amplifier yang sudah disediakan oleh aplikasi, besar *gain* dan *noise figure* di set terlebih dahulu disesuaikan dengan perangkat yang akan digunakan. Berikut merupakan contoh gambarnya



Gambar 3.13 Modul amplifier dan DCF

Selanjutnya ada komponen yang tidak kalah penting yaitu DCM, karena pada versi optisystem 7.0 belum tersedia modul untuk DCM maka DCM dibuat menggunakan Single Mode Fiber yang nilai dispersinya diubah menjadi negative dan selanjutnya akan diberi nama DCF (Dispersion Compensated Fiber). Dalam hal ini 1 km pada simulasi sama

dengan 5 km pada kondisi sebenarnya. Sehingga nilai dispersi pada 1 km DCF adalah -30ps.nm/km dengan dispersi fiber sebesar 6ps.nm/km.

Hasil dari simulasi ini merupakan diagram mata yang dapat enunjukkan nilai BER dan Q-factor dari link komunikasi tersebut. Dalam perancangan ini diharapkan BER pada link komunikasi optik yang dirancang lebih kecil dari standar BER SCADA PLN yaitu 10^{-12} dan memiliki nilai OSNR yang lebih besar dari 15.66 dB.

Dari hasil pada simulasi pada link Cawang-Bekasi, dihasilkan nilai BER = 0, ini berarti tidak ada bit error pada transmisi datanya dan jika dihitung menggunakan persamaan 2.10 dan 2.11 Nilai SNR nya adalah sebesar 33.6 dB

3.6.4 Hasil Peformansi link Cawang-Bekasi

Setelah selesai menghitung Power Link Budget, Rise Time Budget dan dilakukan simulasi untuk menghitung nilai BER dan SNR maka didapatkan hasil sebagai berikut

Hasil Perhitungan Link Cawang-Bekasi	
Jarak	21.75 km
Jumlah splicing	3 splice
Total loss	10.5375 dB
Daya terima (Ptr)	-6.54 dBm
Margin system	16.4625
Waktu disperse (tsys)	41.69 ps
BER	0
SNR	33.6 dB

3.7 Link Fiber Optik Jawa-Bali

Dalam desain jaringan fiber optik PLN P2B, terdapat 35 link yang terbentang di sepanjang pulau Jawa sampai Bali. Sesuai dengan ilustrasi pada sub bab 3.2, berikut merupakan link beserta jarak tiap link.

Tabel 3.4 jarak link optik

No.	Link Fiber Optik		Jarak
	Node A	Node B	
1	Suralaya	Cilegon	12.5
2	Suralaya	Balaraja	39.7
3	Balaraja	Kembangan	41.3
4	Kembangan	Gandul	30.1
5	Cilegon	Cibinong	130.8
6	Gandul	Cawang	16
7	Gandul	Depok	10.01
8	Cawang	Bekasi	21.75
9	Bekasi	Cibinong	37.9
10	Depok	Cibinong	18.46
11	Bekasi	Muara Tawar	19.5
12	Muaratawar	Cibatu	48.2
13	Cibatu	Cirata	46.8
14	Cirata	Saguling	25.2
15	Cibinong	Saguling	80.4
16	Saguling	Cigereleng	50.7
17	Depok	Tasikmalaya	175
18	Cigereleng	Tasikmalaya	90.8
19	Cigereleng	Madirancan	119.3
20	Madirancan	Pemalang	130.2
21	Pemalang	Ungaran	94.5
22	Tasikmalaya	Rawalo	117
23	Rawalo	Pedan	187
24	Ungaran	Pedan	75.3
25	Ungaran	Purwodadi	56.8
26	Purwodadi	Krian	193.8
27	Krian	Waru	17.5
28	Waru	Grati	79.5
29	Grati	Paiton	88.8
30	Klaten	Kediri	209
31	Kediri	Paiton	210
32	Paiton	Situbondo	55.4
33	Situbondo	Banyuwangi	74.2
34	Banyuwangi	Gilimanuk	5.8
35	Gilimanuk	Banyuwangi	67.7

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

4.1 Perhitungan Parameter Desain Jaringan Fiber Optik

Dalam melakukan desain jaringan fiber optik, terdapat beberapa parameter yang perlu untuk diperhitungkan untuk mendukung rancangan jaringan yang sudah di desain. Parameter desain jaringan fiber optik yang diperhitungkan dalam tugas akhir ini adalah power link budget dan rise time budget Berikut dibawah merupakan perhitungan yang dibutuhkan untuk mendesain jaringan komunikasi optik.

4.1.1 Hasil Perhitungan Jumlah Splicing tiap Link

Menghitung jumlah splicing dalam sebuah link fiber optik perlu dilakukan, karena dalam prakteknya pada sambungan-sambungan kabel fiber optic tersebut menghasilkan loss pada sistem yang bervariasi tergantung kerapihan dari penyambungan kabel fiber optic tersebut. Cara menghitung jumlah splicing dapat dilihat pada persamaan 2.2 dimana *drumlength* atau panjang potongan kabel adalah 6 km. yang berarti setiap 6 km jarak, kabel harus dsambungkan dengan kabel lainnya.

Jarak yang tercantum pada table 4.1 merupakan data jarak yang didapatkan dari keputusan menteri ESDM no 55 tahun 2002. Dari data jarak yang diketahui kita bisa mendapatkan perkiraan jumlah splicing pada tiap-tiap link. Mengacu pada rumus 3.2, maka data jarak masing-masing link akan dibagi dengan panjang kabel/drum sehingga didapatkan berapa jumlah kebutuhan splicing untuk jarak tersebut. Dengan jarak total seluruh rute adalah 2.675 km dengan link terpanjang adalah link Kediri-Paiton dengan panjang 210km dan membutuhkan splicing sebanyak 35 kali. Dan link terpendek yang membutuhkan splicing adalah link Gandul depok dengan satu splicing. Adapun link-link yang tidak memerlukan Splicing seperti pada link banyuwangi gilimanuk, karena pada link tersebut panjang lintasan fiber optic tidak sampai 6 km.

Hasil perhitungan selengkapanya terdapat dalam tabel 4.1 sebagai berikut

Tabel 4.1 Jumlah Splicing

No.	Link Fiber Optik		Jumlah Splicing
	Node A	Node B	
1	Suralaya	Cilegon	2
2	Suralaya	Balaraja	6
3	Balaraja	Kembangan	6
4	Kembangan	Gandul	5
5	Cilegon	Cibinong	21
6	Gandul	Cawang	2
7	Gandul	Depok	1
8	Cawang	Bekasi	3
9	Bekasi	Cibinong	6
10	Depok	Cibinong	3
11	Bekasi	Muara Tawar	3
12	Muaratawar	Cibatu	8
13	Cibatu	Cirata	7
14	Cirata	Saguling	4
15	Cibinong	Saguling	13
16	Saguling	Cigereleng	8
17	Depok	Tasikmalaya	29
18	Cigereleng	Tasikmalaya	15
19	Cigereleng	Madirancan	19
20	Madirancan	Pemalang	21
21	Pemalang	Ungaran	15
22	Tasikmalaya	Rawalo	19
23	Rawalo	Pedan	31
24	Ungaran	Pedan	12
25	Ungaran	Purwodadi	9
26	Purwodadi	Krian	32
27	Krian	Waru	2
28	Waru	Grati	13
29	Grati	Paiton	14
30	Klaten	Kediri	34
31	Kediri	Paiton	35
32	Paiton	Situbondo	9
33	Situbondo	Banyuwangi	12
34	Banyuwangi	Gilimanuk	0
35	Gilimanuk	Banyuwangi	11
Total Kebutuhan Splicing			448

4.1.2 Hasil Perhitungan Total Loss

Dengan mengetahui jumlah splicing, kita dapat mengetahui berapa loss yang mungkin terjadi karena splicing. Sehingga kita dapat menghitung berapa loss total dalam satu link komunikasi. Dalam perhitungan total loss, terdapat empat jenis loss yang diperhitungkan yaitu loss pada kabel, splicing loss, loss pada konektor dan juga loss margin. Hasil dari perhitungan total loss selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.2 Total Loss

No.	Link Fiber Optik		Jarak (km)	Cable Loss (dB)	Splicing Loss (dB)	Connector Loss (dB)	Loss Margin (dB)	Total Loss (dB)
	Node A	Node B						
1	Suralaya	Cilegon	12.5	3.125	0.4	0.5	4	8.025
2	Suralaya	Balaraja	39.7	9.925	1.2	0.5	4	15.625
3	Balaraja	Kembangan	41.3	10.325	1.2	0.5	4	16.025
4	Kembangan	Gandul	30.1	7.525	1	0.5	4	13.025
5	Cilegon	Cibinong	130.8	32.7	4.2	0.5	4	41.4
6	Gandul	Cawang	16	4	0.4	0.5	4	8.9
7	Gandul	Depok	10.01	2.5025	0.2	0.5	4	7.2025
8	Cawang	Bekasi	21.75	5.4375	0.6	0.5	4	10.5375
9	Bekasi	Cibinong	37.9	9.475	1.2	0.5	4	15.175
10	Depok	Cibinong	18.46	4.615	0.6	0.5	4	9.715
11	Bekasi	Muara Tawar	19.5	4.875	0.6	0.5	4	9.975
12	Muara Tawar	Cibatu	48.2	12.05	1.6	0.5	4	18.15
13	Cibatu	Cirata	46.8	11.7	1.4	0.5	4	17.6
14	Cirata	Saguling	25.2	6.3	0.8	0.5	4	11.6
15	Cibinong	Saguling	80.4	20.1	2.6	0.5	4	27.2
16	Saguling	Cigereleng	50.7	12.675	1.6	0.5	4	18.775
17	Depok	Tasikmalaya	175	43.75	5.8	0.5	4	54.05
18	Cigereleng	Tasikmalaya	90.8	22.7	3	0.5	4	30.2
19	Cigereleng	Madirancan	119.3	29.825	3.8	0.5	4	38.125
20	Madirancan	Pemalang	130.2	32.55	4.2	0.5	4	41.25
21	Pemalang	Ungaran	94.5	23.625	3	0.5	4	31.125
22	Tasikmalaya	Rawalo	117	29.25	3.8	0.5	4	37.55
23	Rawalo	Pedan	187	46.75	6.2	0.5	4	57.45
24	Ungaran	Pedan	75.3	18.825	2.4	0.5	4	25.725
25	Ungaran	Purwodadi	56.8	14.2	1.8	0.5	4	20.5
26	Purwodadi	Krian	193.8	48.45	6.4	0.5	4	59.35
27	Krian	Waru	17.5	4.375	0.4	0.5	4	9.275
28	Waru	Grati	79.5	19.875	2.6	0.5	4	26.975
29	Grati	Paiton	88.8	22.2	2.8	0.5	4	29.5
30	Klaten	Kediri	209	52.25	6.8	0.5	4	63.55
31	Kediri	Paiton	210	52.5	7	0.5	4	64
32	Paiton	Situbondo	55.4	13.85	1.8	0.5	4	20.15
33	Situbondo	Banyuwangi	74.2	18.55	2.4	0.5	4	25.45
34	Banyuwangi	Gilimanuk	4.8	1.2	0	0.5	4	5.7
35	Gilimanuk	Kapal	67.7	16.925	2.2	0.5	4	23.625

Dari table 4.2 mengenai total loss yang terjadi pada setiap link, kita dapat mengetahui link mana yang memiliki loss terbesar dan link mana yang memiliki loss terkecil. Untuk loss terbesar terjadi pada link Kediri-Paiton dengan total loss sebesar 64 dB, kemudian disusul oleh link Klaten-Kediri dengan total loss sebesar 63.55dB. Sementara itu, link dengan total loss terendah adalah link Banyuwangi Gilimanuk dengan total loss hanya 5.7 dB. Dari table 4.2 dapat disimpulkan bahwa Jarak sangat berpengaruh kepada nilai total loss. Semakin jauh jaraknya maka nilai loss nya pun akan semakin besar sebaliknya apabila jaraknya pendek maka total loss yang ada pada link tersebut pun kecil. Jarak berpengaruh kepada nilai loss pada kabel dan nilai loss splicing.

4.1.3 Penetapan Kebutuhan Penguat

Hasil akhir yang dicari dari perhitungan power link budget ini adalah mengetahui seberapa besar margin pada sistem. Dengan mengetahui berapa besar margin maka kita dapat mengetahui kebutuhan elemen-elemen jaringan lainnya. Untuk dapat menghitung margin system, dihitung dengan menggunakan rumus 3.4 untuk menghitungnya dibutuhkan data terkait daya pancar transmitter, sensitivitas penerima dan total loss di setiap link. Untuk daya pancar transmitter yang digunakan pada desain jaringan ini sebesar 4 dBm dan dengan Sensitivitas penerima sebesar -23 dBm maka hasil perhitungan linknya Secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.3.

Pada tabel 4.3, kita ketahui bahwa nilai margin pada system tidak boleh kurang dari nol. Apabila nilai margin kurang dari nol maka pada system itu dibutuhkan penguat. Karena sensitivitas pada penerima adalah -23 dBm dan loss margin sebesar 4dB maka daya terima minimum yang dapat diterima oleh system tanpa memperhitungkan loss margin adalah sebesar -19dBm. Dalam tabel 4.3, kita dapat mengetahui link mana saja yang memiliki margin negative sehingga dibutuhkan tambahan penguat pada link tersebut dan link yang tidak membutuhkan penguat untuk memperbaiki kinerja link nya karena margin sistemnya sudah positif. Contoh link yang membutuhkan amplifier adalah link Klaten-Kediri, Kediri-Paiton, cigereleng madirancan dan link lain yang marginnya kurang dari nol. Sementara link seperti Cawang-Bekasi, Gandul-Cawang

tidak memerlukan amplifier untuk menukung kerja dari system komunikasi pada link tersebut.

Tabel 4.3 Total Loss pada Setiap Link

No.	Link Fiber Optik		Total Loss (dB)	Daya Terima (dBm)	Margin Sistem	Kebutuhan Penguat
	Node A	Node B				
1	Suralaya	Cilegon	8.025	-4.025	18.975	Tidak
2	Suralaya	Balaraja	15.625	-11.625	11.375	Tidak
3	Balaraja	Kembangan	16.025	-12.025	10.975	Tidak
4	Kembangan	Gandul	13.025	-9.025	13.975	Tidak
5	Cilegon	Cibinong	41.4	-37.4	-14.4	Ya
6	Gandul	Cawang	8.9	-4.9	18.1	Tidak
7	Gandul	Depok	7.2025	-3.2025	19.7975	Tidak
8	Cawang	Bekasi	10.538	-6.5375	16.4625	Tidak
9	Bekasi	Cibinong	15.175	-11.175	11.825	Tidak
10	Depok	Cibinong	9.715	-5.715	17.285	Tidak
11	Bekasi	Muaratawar	9.975	-5.975	17.025	Tidak
12	Muaratawar	Cibatu	18.15	-14.15	8.85	Tidak
13	Cibatu	Cirata	17.6	-13.6	9.4	Tidak
14	Cirata	Saguling	11.6	-7.6	15.4	Tidak
15	Cibinong	Saguling	27.2	-23.2	-0.2	Ya
16	Saguling	Cigereleng	18.775	-14.775	8.225	Tidak
17	Depok	Tasikmalaya	54.05	-50.05	-27.05	Ya
18	Cigereleng	Tasikmalaya	30.2	-26.2	-3.2	Ya
19	Cigereleng	Madirancan	38.125	-34.125	-11.125	Ya
20	Madirancan	Pemalang	41.25	-37.25	-14.25	Ya
21	Pemalang	Ungaran	31.125	-27.125	-4.125	Ya
22	Tasikmalaya	Rawalo	37.55	-33.55	-10.55	Ya
23	Rawalo	Pedan	57.45	-53.45	-30.45	Ya
24	Ungaran	Pedan	25.725	-21.725	1.275	Tidak
25	Ungaran	Purwodadi	20.5	-16.5	6.5	Tidak
26	Purwodadi	Krian	59.35	-55.35	-32.35	Ya
27	Krian	Waru	9.275	-5.275	17.725	Tidak
28	Waru	Grati	26.975	-22.975	0.025	Tidak
29	Grati	Paiton	29.5	-25.5	-2.5	Ya
30	Klaten	Kediri	63.55	-59.55	-36.55	Ya
31	Kediri	Paiton	64	-60	-37	Ya
32	Paiton	Situbondo	20.15	-16.15	6.85	Tidak
33	Situbondo	Banyuwangi	25.45	-21.45	1.55	Tidak
34	Banyuwangi	Gilimanuk	5.7	-1.7	21.3	Tidak
35	Gilimanuk	Banyuwangi	23.625	-19.625	3.375	Tidak

4.1.4 Hasil Perhitungan Rise Time Budget

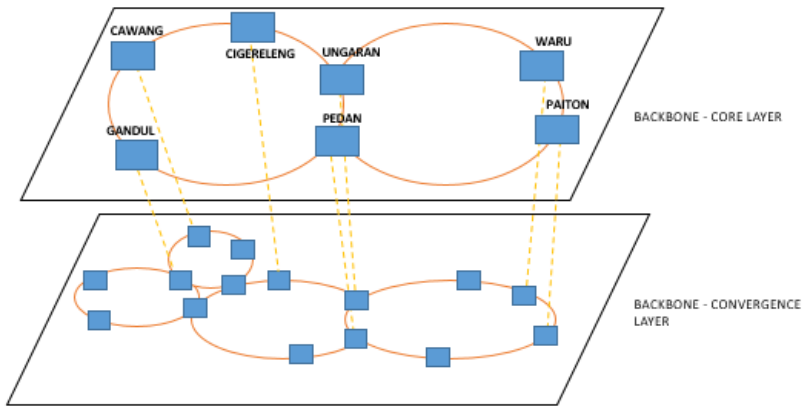
Diketahui bahwa nilai dari Rise time pemancar dan penerima adalah 28ps. Dengan persamaan 3.7 dan 3.8, berikut merupakan hasil perhitungan rise time budget di setiap link pada jaringan.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan rise time budget

No.	Link Fiber Optik		tsys	Margin tsys	DCM
	Node A	Node B			
1	Suralaya	Cilegon	40.3	29.7	Tidak
2	Suralaya	Balaraja	46.21	23.79	Tidak
3	Balaraja	Kembangan	46.71	23.29	Tidak
4	Kembangan	Gandul	43.52	26.48	Tidak
5	Cilegon	Cibinong	87.9	-17.9	Ya
6	Gandul	Cawang	40.75	29.25	Tidak
7	Gandul	Depok	40.05	29.95	Tidak
8	Cawang	Bekasi	41.69	28.31	Tidak
9	Bekasi	Cibinong	45.66	24.34	Tidak
10	Depok	Cibinong	41.12	28.88	Tidak
11	Bekasi	Muaratawar	41.29	28.71	Tidak
12	Muaratawar	Cibatu	49.03	20.97	Tidak
13	Cibatu	Cirata	48.54	21.46	Tidak
14	Cirata	Saguling	42.39	27.61	Tidak
15	Cibinong	Saguling	62.41	7.59	Tidak
16	Saguling	Cigereleng	49.93	20.07	Tidak
17	Depok	Tasikmalaya	112.22	-42.22	Ya
18	Cigereleng	Tasikmalaya	81.8	-11.8	Ya
19	Cigereleng	Madirancan	87.58	-17.58	Ya
20	Madirancan	Pemalang	69.16	0.84	Tidak
21	Pemalang	Ungaran	80.6	-10.6	Ya
22	Tasikmalaya	Rawalo	118.98	-48.98	Ya
23	Rawalo	Pedan	60.08	9.92	Tidak
24	Ungaran	Pedan	52.24	17.76	Tidak
25	Ungaran	Purwodadi	122.84	-52.84	Ya
26	Purwodadi	Krian	42.14	27.86	Tidak
27	Krian	Waru	40.97	29.03	Tidak
28	Waru	Grati	61.99	8.01	Tidak
29	Grati	Paiton	66.38	3.62	Tidak
30	Klaten	Kediri	131.5	-61.5	Ya
31	Kediri	Paiton	132.08	-62.08	Ya
32	Paiton	Situbondo	51.7	18.3	Tidak
33	Situbondo	Banyuwangi	59.58	10.42	Tidak
34	Banyuwangi	Gilimanuk	39.7	30.3	Tidak
35	Gilimanuk	Banyuwangi	56.73	13.27	Tidak

4.2 Analisis Topologi Jaringan

Hirarki dari jaringan backbone pengaturan beban dibagi menjadi 2 layer. Layer atas adalah core layer yang menghubungkan antara JCC (Jawa-Bali Control Center) yang berlokasi di Gandul dengan APB (Area Pengaturan Beban) Cawang, Cigereleng, Ungaran, dan Waru dan node-node penting lainnya seperti pada Paiton dan Ungaran. Hirarki Jaringan dapat dilihat pada gambar 4.1



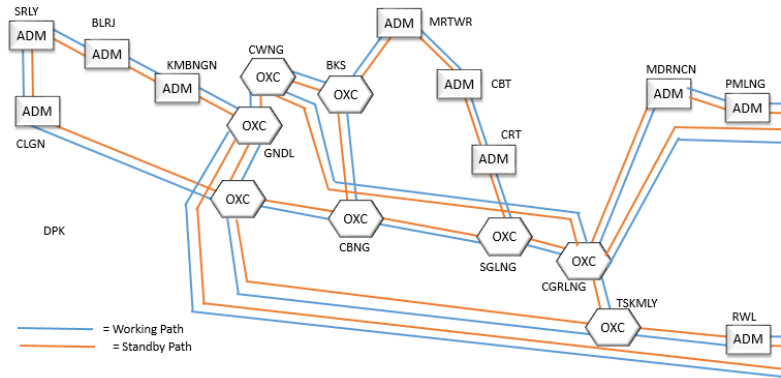
Gambar 4.1 Hirarki jaringan

Desain jaringan dengan topology ring USHR 1 fiber sangat pas untuk diterapkan pada sistem ini karena perangkat OADM Unidirectional dan Bidirectional memiliki harga yang relative sama namun pada penggunaannya/konfigurasinya, BSHR 4Fiber harus memiliki dua OADM disetiap titiknya berbeda dengan USHR yang hanya membutuhkan 1 buah OADM di setiap nodenya sehingga dari segi investasi, biaya investasi untuk perangkat USHR lebih murah dibandingkan konfigurasi BSHR-4fiber yang memiliki harga 2 kali lipat.

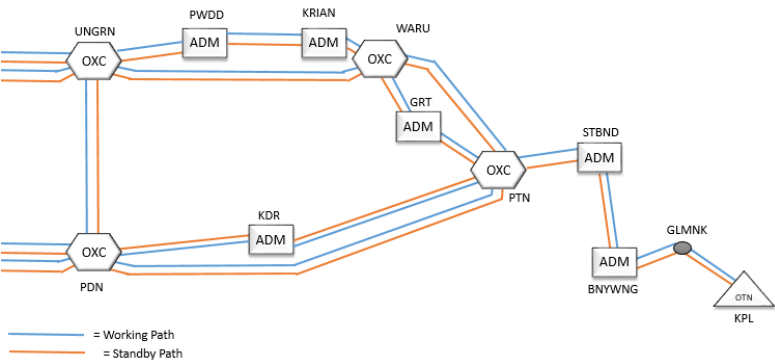
Kelebihan dari konfigurasi BSHR adalah mampu menyediakan Bandwidth yang lebih besar dibandingkan USHR. Namun dalam kasus penelitian ini, total trafik yang melewati jaringan tidak besar (9.2Gbps)

sehingga kebutuhan menyediakan bandwidth yang besar tidak terlalu urgent.

Berikut merupakan topologi jaringan dan konfigurasinya yang telah didesain dengan menggunakan konfigurasi USHR.



Gambar 4.2 peta elemen jaringan ring USHR bagian barat



Gambar 4.3Peta elemen jaringan ring USHR bagian timur

Dari kedua gambar diatas dapat diketahui bahwa pada desain ini dibutuhkan 19 OADM (*Optical Add Drop Mux.*) dan 10 OXC (*Digital Cross Conect*) untuk konfigurasi USHR dan menggunakan 4 core fiber

optik dengan rincian 2 core untuk core network (*Active, Standby*) dan 2 core untuk *convergence network* (*Active, Standby*). Sehingga kita dapat memanfaatkan sisa fibernya untuk kebutuhan lain dari PLN juga bias sebagai tambahan jalur backbone untuk fiber optik milik Icon+.

Untuk mendukung hal ini perangkat yang digunakan adalah perangkat OSN (Optical Switching and Networking) ambil contoh perangkat Huawei Optix OSN 8800 yang didalamnya dapat menjalankan fungsi kerja OADM dan OXC dalam 1 perangkat. Kemudian untuk proteksi agar menghasilkan reliability tinggi perangkat ini dapat menggunakan mekanisme proteksi MSP (Multiplex Section Protection) yang dapat mendeteksi apabila terdapat kemacetan trafik pada link tertentu dan aliran data dapat dialirkan melalui link lainnya. Sehingga untuk desain ini kita membutuhkan 29 buah OSN yang diletakkan di seluruh node.

Untuk keamanan jaringan menggunakan VPN dimana jaringan SCADA dan proteksi memiliki VPN tersendiri dan sisanya tergabung dalam VPN P2B. Jaringan ini dinilai lebih aman dari jaringan sebelumnya karena merupakan jaringan private sehingga hanya pegawai P2B saja dan teknisi terkait yang dapat memiliki akses ke jaringan.

4.3 Analisa dan Pembahasan

Pada sub-bab ini akan dilakukan analisa terkait perhitungan yang sudah dikerjakan pada sub-bab sebelumnya. Analisis yang dilakukan mencakup kebutuhan kapasitas amplifier, penentuan lokasi peletakan amplifier, kebutuhan attenuator, kebutuhan dan kemampuan kompensator disperse dan pembahasan terkait hasil simulasi.

4.3.1 Analisis Kebutuhan Penguat

Dari tabel-tabel hasil perhitungan power link budget pada sub-bab 4.1.2, Diketahui bahwa terdapat beberapa link yang memiliki nilai MS (*Margin system*) yang bernilai negatif. MS bernilai negative tidak dapat diterima secara baik oleh penerima. Untuk memperbaiki kondisi tersebut maka dibutuhkan penguat yang diletakkan. Berikut merupakan analisis penggunaan penguat pada link-link yang bermasalah.

4.3.1.1 Analisa penggunaan Booster

Dalam menentukan peletakan amplifier, disini jenis amplifier yang digunakan adalah EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) yang dapat bersifat sebagai *Booster* dan in-line amplifier. Dalam perhitungan, yang pertama kali ditambahkan pada link adalah *Booster dalam hal ini yang digunakan adalah booster 15dB*. Alasan penggunaan *booster* terlebih dahulu karena dua alasan utama yaitu:

- 1. Peletakan amplifier yang mudah
Dengan kondisi rute jaringan fiber optic yang mengikuti jalur jaringan SUTET 500kV, peletakan amplifier tidak boleh sembarangan.
- 2. Noise
Kondisi noise pada saat awal pengiriman sinyal cenderung lebih kecil dibandingkan kondisi di tengah link, karena sudah terkena noise dari factor-faktor lainnya

Tabel 4.5 Hasil penggunaan booster

Link		Margin System	Booster	Margin System'
Node Awal	Node Akhir			
Cilegon	Cibinong	-14.4	15 dB	0.6
Cibinong	Saguling	-0.2	15 dB	14.8
Depok	Tasikmalaya	-27.05	15 dB	-12.05
Cigereleng	Tasikmalaya	-3.2	15 dB	11.8
Cigereleng	Madirancan	-11.125	15 dB	3.875
Madirancan	Pemalang	-14.25	15 dB	0.75
Pemalang	Ungaran	-4.125	15 dB	10.875
Tasikmalaya	Rawalo	-10.55	15 dB	4.45
Rawalo	Pedan	-30.45	15 dB	-15.45
Purwodadi	Waru	-32.35	15 dB	-17.35
Grati	Paiton	-2.5	15 dB	12.5
Klaten	Kediri	-36.55	15 dB	-21.55
Kediri	Paiton	-37	15 dB	-22

4.3.1.2 Analisa penggunaan Amplifier

Setelah penggunaan booster pada link-link yang memiliki margin sistem negative, masih terdapat beberapa link yang memiliki margin negative walaupun sudah ditambahkan booster. Sehingga dibutuhkan in-line amplifier pada link tersebut agar system komunikasi dapat bekerja dengan baik. Amplifier yang digunakan memiliki gain 20dB dan 26dB.

Tabel 4.6 Kebutuhan amplifier

Link		Margin System'	Amplifier	Margin System''
Node Awal	Node Akhir			
Depok	Tasikmalaya	-12.05	20 dB	7.5
Rawalo	Pedan	-15.45	20 dB	4.55
Purwodadi	Waru	-17.35	20 dB	2.65
Klaten	Kediri	-21.55	26 dB	4.45
Kediri	Paiton	-22	26 dB	4

4.3.1.3 Penetapan Lokasi Amplifier

Titik peletakan amplifier penting untuk diketahui karena perbedaan posisi pada amplifier mampu membuat efek yang berbeda pada sistem komunikasi fiber optik. Dengan menggunakan rumus penentuan jarak penempatan amplifier seperti yang ditulis pada sub-bab 3.6.4 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.7 Lokasi Amplifier Secara Teori

Link		Ptx	Prx	Loss total	Loss Margin	Lokasi (km)
Node Awal	Node Akhir					
Depok	Tasikmalaya	4	-23	50.05	4	108.2
Rawalo	Pedan	4	-23	53.45	4	121.8
Purwodadi	Krian	4	-23	55.35	4	129.4
Klaten	Kediri	4	-23	59.55	4	146.2
Kediri	Paiton	4	-23	60	4	148

Karena dalam jaringan ini melewati jaringan transmisi SUTET, maka peletakan amplifler tidak bisa sembarangan. Peletakan amplifler harus melihat kondisi Menara SUTET berada dimana karena penguatan tidak dilakukan di saluran udara melainkan di shelter yang berlokasi di bawah Menara SUTET. Menurut peeraturan menteri ESDM no. 18 tahun 2015 jarak dasar antara menara SUTET 275 kV adalah 400 m dan jarak dasar antara Menara SUTET 500 kV adalah 450 m. maka dalam penelitian ini diambil aasumsi bahwa jarak antara Menara di seluruh jalur adalah 450m. Dengan diketahuinya jarak antar Menara maka kita dapat melakukan optimalisasi jarak peletakan amplifler, berikut merupakan tabel optimalisasi jarak peletakan amplifler.

Tabel 4.8 Lokasi Amplifier (Realisasi)

Link		Lokasi (km)*	Jarak dasar antar menara (km)	lokasi sebenarnya (km)
Node Awal	Node Akhir			
Depok	Tasikmalaya	108.2	0.45	108
Rawalo	Pedan	121.8	0.45	121.5
Purwodadi	krian	129.4	0.45	129.15
Klaten	Kediri	146.2	0.45	145.8
Kediri	Paiton	148	0.45	147.6

Optimalisasi ini dilakukan dengan mencari posisi menara terdekat dari perhitungan jarak peletakan amplifler lalu menggeser letaka amplifler ke menara tersebut. Sehingga lokasi peletakan amplifler yang sebenarnya dapat dilihat pada tabel 4.18.

4.3.1.4 Analisis Kebutuhan Attenuator

Untuk menganalisa kebutuhan attenuator kita perlu menghitung margin maksimum yang dapat diterima oleh sistem. Setelah dihitung, margin maksimum yang dapat diterima adalah sebsar 16dB. Sehingga untuk link dengan margin diatas 16 dB perlu ditambahkan attenuator.

Dari Tabel pada lampiran D, dapat disimpulkan bahwa untuk mendukung kinerja link komunikasi fiber optik jawa-bali ini dibutuhkan delapan buah attenuator yang masing-masing diletakan pada link

Suralaya-Cilegon, Gandul-Cawang, Gandul-Depok, Cawang-Bekasi, Depok-Cibinong, Bekasi-MuaraTawar, Krian-Waru dan Banyuwangi-Gilimanuk dan nilai attenuasi minimumnya bila dinyatakan dalam vector secara berurutan adalah {3,3,4,1,2,2,2,6}.

4.3.2 Analisis Kebutuhan Kompensator Dispersi

Berdasarkan hasil perhitungan rise time budget pada sub-bab 4.1.3 terdapat link-link yang memiliki nilai tsys lebih dari 70 ps maka dari itu perlu dilakukan analisa terkait kebutuhan kompensator yang dibutuhkan pada tiap link yang bermasalah. Terdapat empat jenis DCM yang ditawarkan oleh produk yaitu 40km, 80km, 100km dan 120 km. Berikut merupakan perbandingan dari kompensator disperse yang digunakan

Tabel 4.9 Perbandingan tsys dengan DCM yang berbeda

Sub-Link		tsys (ps)	Tsys DCM				Penet apan DCM
Node A	Node B		40 km	80 km	100 km	120 km	
Cilegon	Cibinong	87.9	67.35	49.97	43.7	40.12	40 km
Depok	Tasikmalaya	72.94	90.16	69.4	59.94	51.55	80 km
Cigereleng	Madirancan	81.8	61.9	46.09	41.26	39.6	40 km
Madirancan	Pemalang	87.58	67.06	49.75	43.55	40.07	40 km
Tasikmalaya	Rawalo	80.6	60.85	45.4	40.89	39.64	40 km
Rawalo	Pedan	118.98	96.68	75.43	65.52	56.43	100km
Purwodadi	Krian	122.84	100.42	78.93	68.81	59.4	100km
Klaten	Kediri	131.5	108.86	86.94	76.45	66.48	120km
Kediri	Paiton	132.08	109.42	87.48	76.97	66.96	120km

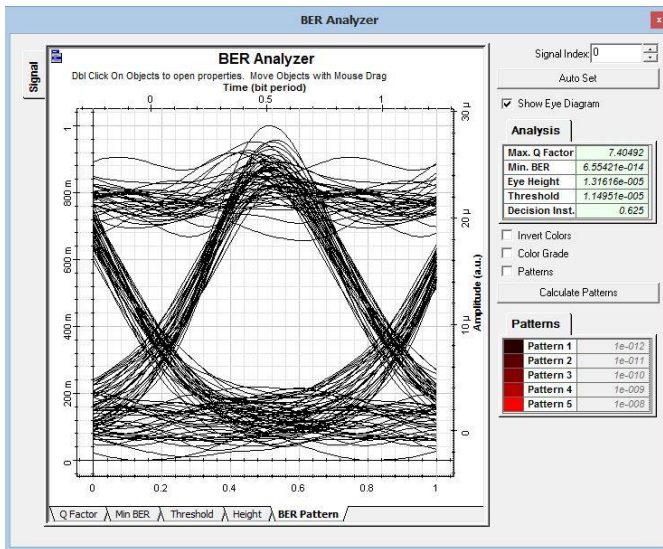
Tabel 4.7 merupakan perbandingan kompensator yang digunakan. Karena kita mencari nilai disperse dibawah 70 ps, kolom berwarna hijau merupakan DCM yang kita pilih untuk link-link diatas. Kolom berwarna hiru merupakan kemampuan kompensator minimum agar link dapat diterima oleh system.

Dalam desain jaringan ini dibutuhkan 9 buah kompensator yang terletak pada link Cilegon-Cibinong, Depok-Tasikmalaya, Cigereleng-Madirancan, Madirancan-Pemalang, Tasikmalaya-Rawalo, Rawalo-Pedan, Purwodadi-Krian, Klaten-Kediri, Kediri-Paiton.

4.3.3 Analisa Hasil Simulasi

4.3.3.1 Hasil Simulasi untuk Link Dibawah 80 km

Hasil simulasi dibawah merupakan hasil untuk link komunikasi Waru –Grati dengan jarak 79.5 km. link ini diambil sebagai contoh karena memiliki jarak terjauh dalam kategori link dibawah 80 km. Berikut merupakan analisa BER dari link komunikasi Waru-Grati.



Gambar 4.4 Hasil simulasi link Waru-Grati

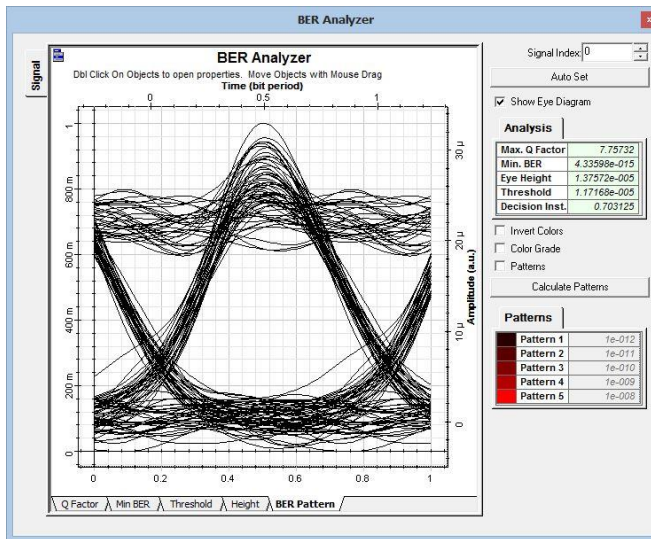
Hasil simulasi diatas merupakan hasil llink komunikasi tanpa amplifier dan DCF sesuai dengan perhitungan kebutuhan DCF dan Amp. Pada sub-bab sebelumnya. Dari *eye diagram* diatas kita dapat mengetahui bahwa BER (*Bit Error rate*) memiliki nilai minimum 1.5×10^{-15} . Dengan nilai BER tersebut maka system dapat berjalan dengan baik karena

memenuhi standar SCADA yaitu minimum BER 10^{-12} . Dengan bentuk pola mata seperti diatas juga menunjukan bahwa nilai SNR bagus karena mata terbuka dengan lebar. Diketahui bahwa nilai Q-factor maksimum sebesar 7.4042 sehingga memiliki OSNR sebesar 17.389 dB.

4.3.3.2 Hasil Simulasi untuk Link dengan Satu Jenis Penguat

1. Hasil Simulasi Link Cilegon-Cibinong

Hasil simulasi dibawah merupakan hasil untuk link komunikasi Cilegon-Cibinong dengan jarak 130.8 km, melakukan simulasi dengan menambahkan komponen *Booster* 15dB dan DCM 40km sesuai dengan perhitungan pada sub-bab sebelumnya. Berikut merupakan analisa BER dari link komunikasi Cilegon-Cibinong.



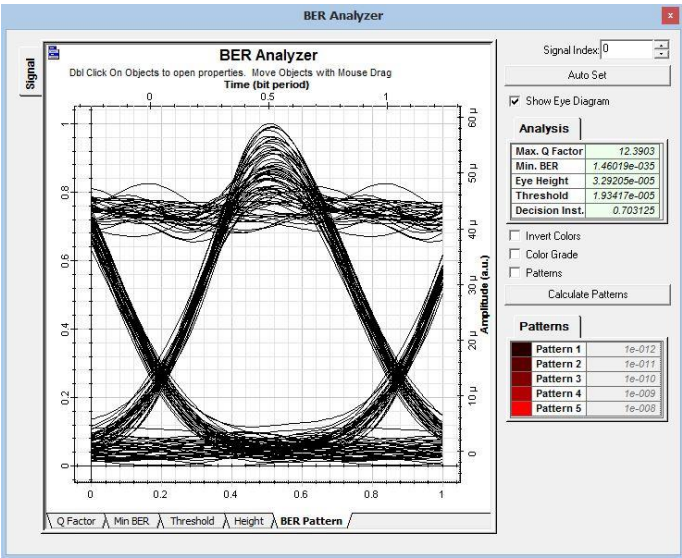
Gambar 4.5 Simulasi link cilegon-cibinong

Dari *eye diagram* diatas kita dapat mengetahui bahwa BER (*Bit Error rate*) memiliki nilai minimum 4.33×10^{-15} . Dengan nilai BER tersebut maka system dapat berjalan dengan baik karena memenuhi standar SCADA yaitu minimum BER 10^{-12} . Dengan bentuk pola mata seperti diatas juga menunjukan bahwa nilai SNR bagus karena mata

terbuka dengan lebar. Bila dihitung nilai SNR nya sebesar 17.8dB yang dimana sudah lebih besar dari kebutuhan desain yang sudah diberikan yaitu sebesar 15.66 dB.

2. Hasil Simulasi Link Cigereleng-Madirancan

Simulasi dibawah merupakan hasil untuk link komunikasi Cigereleng-madirancan dengan jarak 119.3 km. melakukan simulasi dengan menambahkan komponen *Booster* 15dB dan DCM 40km sesuai dengan perhitungan pada sub-bab sebelumnya. Berikut merupakan analisa BER dari link komunikasi Cigereleng-Madirancan.



Gambar 4.6 Hasil simulasi link Cigereleng-Madirancan

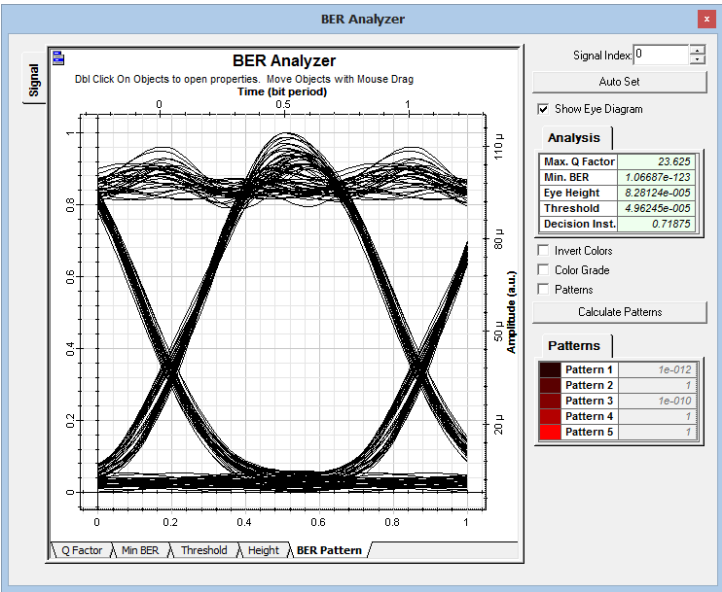
Dari *eye diagram* diatas kita dapat mengetahui bahwa BER (*Bit Error rate*) memiliki nilai minimum 1.46×10^{-35} . Dengan nilai BER tersebut maka system dapat berjalan dengan sangat baik karena nilai BERnya sangat kecil dan sudah memenuhi standar SCADA yaitu minimum BER 10^{-12} . Dengan bentuk pola mata seperti diatas juga menunjukan bahwa nilai SNR bagus karena mata terbuka dengan lebar. Jika dihitung maka didapatkan nilai SNR sebesar 21.86 dB .Namun

terjadi power offset seperti yang kita dapat lihat dari bagian atas pola mata yang terlampaui jauh melebihi garis atas mata. Itu terjadi karena adanya *wasted power* karena penguatan terlalu besar.

4.3.3.3 Hasil Simulasi untuk Link dengan Dua Jenis Penguat

1. Hasil Simulasi Link Depok-Tasikmalaya

simulasi dibawah merupakan hasil untuk link komunikasi Cigereleng-madirancan dengan jarak 175 km. melakukan simulasi dengan menambahkan komponen *Booster* 15 dB dan in-line amplifier 20 dB pada jarak 108.2 km dari node depot dan DCM 100km sesuai dengan perhitungan pada sub-bab sebelumnya. Berikut merupakan analisa BER dari link komunikasi Depok-Tasikmalaya



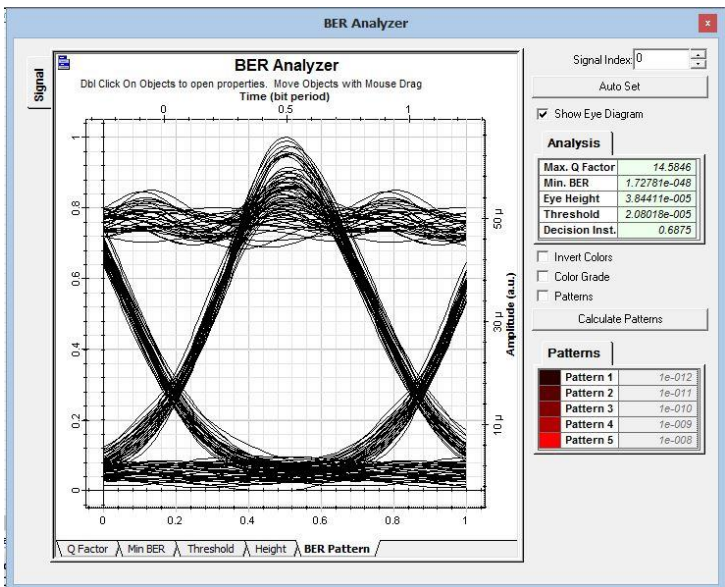
Gambar 4.7 Hasil simulasi link Depok-Tasikmalaya

Dari eye diagram diatas kita dapat mengetahui bahwa BER (Bit Error rate) memiliki nilai minimum 1.06×10^{-123} . Dengan nilai BER

tersebut maka sistem dapat berjalan dengan sangat baik karena nilai BERnya sangat kecil dan sudah memenuhi standar SCADA yaitu minimum BER 10^{-12} . Dengan bentuk pola mata seperti diatas juga menunjukan bahwa nilai SNR bagus karena mata terbuka dengan lebar. Nilai SNR pada link diatas adalah 27.39dB.

2. Hasil Simulasi Link Rawalo-Pedan

Simulasi dibawah merupakan hasil untuk link komunikasi Cigereleng-madirancan dengan jarak 187 km. melakukan simulasi dengan menambahkan komponen *Booster* 15 dB dan in-line amplifier 20 dB pada jarak 121.8 km dari node rawalo dan DCM 100km sesuai dengan perhitungan pada sub-bab sebelumnya. Berikut merupakan analisa BER dari link komunikasi Rawalo-Pedan



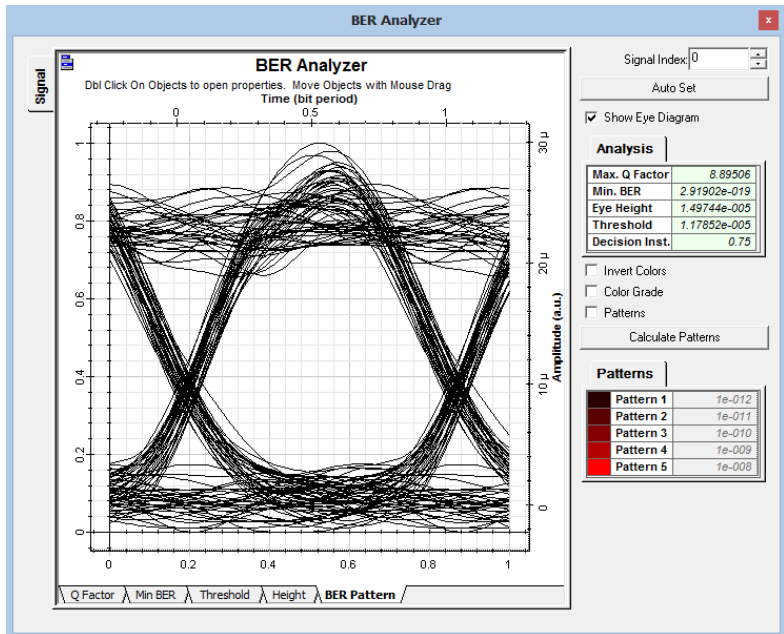
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Rawalo-Pedan

Dari *eye diagram* diatas kita dapat mengetahui bahwa BER (Bit Error rate) memiliki nilai minimum 1.7×10^{-48} . Dengan nilai BER tersebut maka system dapat berjalan dengan sangat baik karena nilai BERnya

sangat kecil dan sudah memenuhi standar SCADA yaitu minimum BER 10^{-12} . Dengan bentuk pola mata seperti diatas juga menunjukan bahwa nilai SNR bagus karena mata terbuka dengan lebar. Nilai SNR pada link ini adalah 23.27 dB.

3. Hasil Simulasi Link Purwodadi-Krian

Simulasi dibawah merupakan hasil untuk link komunikasi Cigereleng-madirancan dengan jarak 193.8 km, melakukan simulasi dengan menambahkan komponen *Booster* 15 dB dan in-line amplifier 20 dB pada jarak 121.8 km dari node purwodadi dan DCM 100km sesuai dengan perhitungan pada sub-bab sebelumnya. Berikut merupakan analisa BER dari link komunikasi Purwodadi-Krian



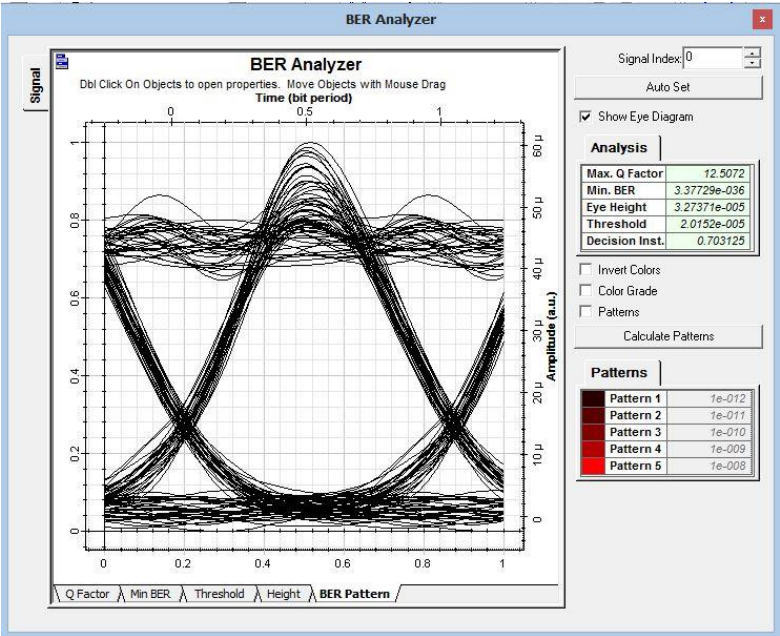
Gambar 4.9 Hasil simulasi Purwodadi Krian

Dari *eye diagram* diatas kita dapat mengetahui bahwa BER (Bit Error rate) memiliki nilai minimum 2.9×10^{-19} . Dengan nilai BER tersebut

maka system dapat berjalan dengan sangat baik karena nilai BERnya sangat kecil dan sudah memenuhi standar SCADA yaitu minimum BER 10^{-12} . Dengan bentuk pola mata seperti diatas juga menunjukkan bahwa nilai SNR bagus karena mata terbuka dengan lebar. Nilai SNR pada link ini adalah 18.97dB.

4. Hasil Simulasi Link Pedan-Kediri

Simulasi dibawah merupakan hasil untuk link komunikasi Pedan-Kediri dengan jarak 209 km. melakukan simulasi dengan menambahkan komponen *Booster* 15 dB dan in-line amplifier 26 dB pada jarak 140.6 km dari node Pedan dan DCM dengan jarak kompensator 120 km. Berikut merupakan analisa BER dari link komunikasi Pedan-Kediri.



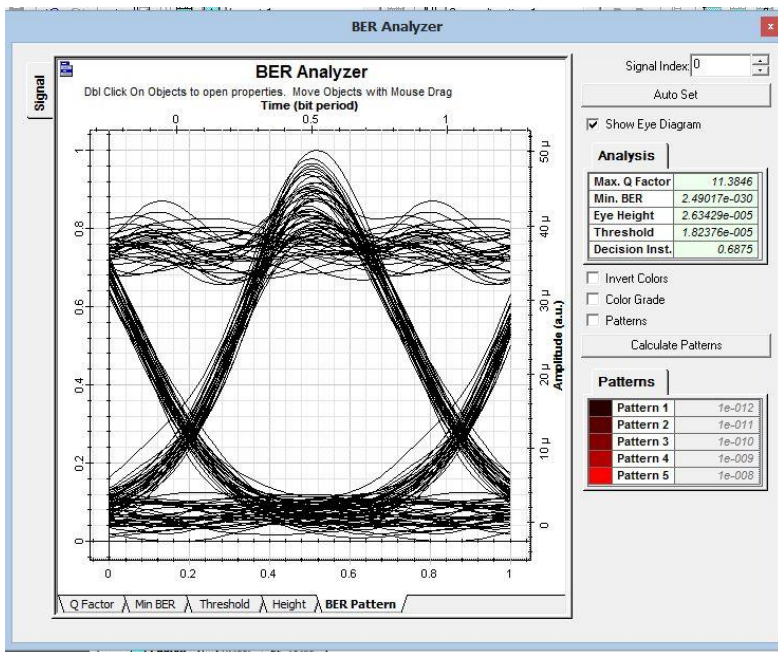
Gambar 4.10 Hasil Simulasi Pedan Kediri

Dari *eye diagram* diatas kita dapat mengetahui bahwa BER (Bit Error rate) memiliki nilai minimum 3.37×10^{-36} . Dengan nilai BER

tersebut maka system dapat berjalan dengan sangat baik karena nilai BERnya sangat kecil dan sudah memenuhi standar SCADA yaitu minimum BER 10^{-12} . Dengan bentuk pola mata seperti diatas juga menunjukkan bahwa nilai SNR bagus karena mata terbuka dengan lebar. Besar nilai SNR nya adalah 21.9dB

5. Hasil simulasi link Kediri-Paiton

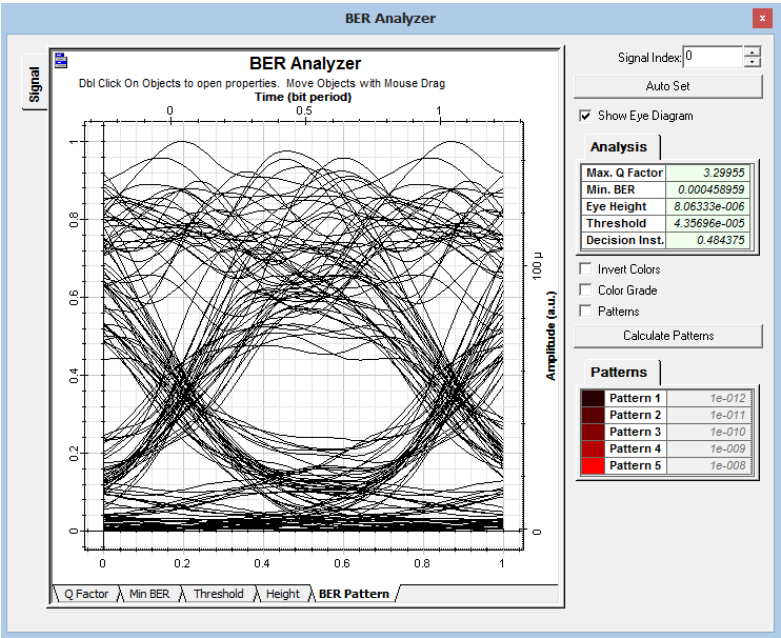
Simulasi dibawah merupakan hasil untuk link komunikasi Pedan-Kediri dengan jarak 210 km. melakukan simulasi dengan menambahkan komponen *Booster* 15 dB dan in-line amplifier 26 dB pada jarak 148 km dari node Kediri DCM 120km. Berikut merupakan analisa BER dari link komunikasi Pedan-Kediri.



Gambar 4.11 Hasil simulasi link kediri-paiton

Dari *eye diagram* diatas kita dapat mengetahui bahwa BER (*Bit Error rate*) memiliki nilai minimum 6.85×10^{-28} . Dengan nilai BER tersebut maka system dapat berjalan dengan sangat baik karena nilai BERnya sangat kecil dan sudah memenuhi standar SCADA yaitu minimum BER 10^{-12} . Dengan bentuk pola mata seperti diatas juga menunjukan bahwa nilai SNR bagus karena mata terbuka dengan lebar.

Adapun dilakukan simulasi dengan peletakan amplifier yang tidak tepat dan menggunakan booster 20dB. Hasil simulasi BER nya adalah sebagai berikut



Gambar 4.12 Hasil Simulasi link Pedan-Kediri dengan booster 20dB

Disini terlihat bahwa pola mata tidak sempurna, dengan nilai BER yang buruk 4.5×10^{-4} yaitu lebih besar dari 10^{-12} sistem ini tidak memenuhi standar BER SCADA. Sehingga penggunaan *booster* dengan *gain* 20dB tidak dianjurkan dalam desain. Hal ini dapat terjadi karena nilai SNR dari

sistem tersebut kecil yaitu 10.34 dB. SNR yang besar dapat dilihat dengan garis atas pola mata yang sangat lebar.

4.4 Analisa Kebutuhan Perangkat Tambahan

(Intro ttg PLN, Selain kompemomem dasar)

Jika dilihat pada tabel 4.10 kita dapat mengetahui kebutuhan splicing, Boster, Amplifier, Attenuator dan DCM pada setiap link. Hasil ini didapatkan dari hasil perhitungan pada sub-bab sebelumnya. Ambil contoh untuk link Depok-Tasikmalaya diketahui bahwa pada link tersebut dibutuhkan splicing sebanyak 29 kali, penggunaan booster 15 dB, amplifier 20 dB dan dibutuhkan juga DCM dengan kompensasi jarak 80 km dan dilakukan simulasi sesuai dengan kebutuhan link diatas yang menghasilkan BER.

Berikut merupakan rincian kebutuhan jaringan seperti yang dijelaskan pada tabel 4.10

1. Dibutuhkan total 446 splicing untuk seluruh link.
2. 13 buah Booster EDFA dengan Gain 15dB.
3. 3 buah in-line EDFA dengan gain 20dB dan 2 buah in-line EDFA dengan gain 26 dB.
4. 8 buah attenuator.
5. 9 buah DCM dengan kompensasi 40 km (4 buah), 80 km (1 buah), 100 km (2 buah), dan 120 km (2 buah)

Tabel 4.10 Rekapitulasi kebutuhan komponen tambahan

No.	Link Fiber Optik		Splitting	Booster	Amplifier	Attenuator	DCM (km)	Konektor tambahan	BER
	Node A	Node B							
1	Suralaya	Cilegon	2			3 dB		2	0
2	Suralaya	Balaraja	6					0	2.4×10^{-127}
3	Balaraja	Kembangan	6					0	2.8×10^{-120}
4	Kembangan	Gandul	5					0	$1/2 \times 10^{-233}$
5	Cilegon	Cibinong	21	√			40	4	4.3×10^{-15}
6	Gandul	Cawang	2			3 dB		2	0
7	Gandul	Depok	1			4 dB		2	0
8	Cawang	Bekasi	3			1 dB		2	0
9	Bekasi	Cibinong	6					0	4.3×10^{-137}
10	Depok	Cibinong	3			2 dB		2	0
11	Bekasi	Muaratawar	3			2 dB		2	0
12	Muaratawar	Cibatu	8					0	4.3×10^{-95}
13	Cibatu	Cirata	7					0	4.5×10^{-100}
14	Cirata	Saguling	4					0	0
15	Cibinong	Saguling	13	√				2	0.7×10^{-12}
16	Saguling	Cigereleng	8					0	3.2×10^{-86}
17	Depok	Tasikmalaya	29	√	20dB		80	6	7×10^{-25}
18	Cigereleng	Tasikmalaya	15	√				2	6.5×10^{-163}
19	Cigereleng	Madirancan	19	√			40	4	1.5×10^{-35}
20	Madirancan	Pemalang	21	√			40	4	1.3×10^{-21}
21	Pemalang	Ungaran	15	√				2	1.2×10^{-143}
22	Tasikmalaya	Rawalo	19	√			40	4	4.8×10^{-57}
23	Rawalo	Pedan	31	√	20dB		100	6	9.2×10^{-57}
24	Ungaran	Pedan	12					0	8.6×10^{-20}
25	Ungaran	Purwodadi	9					0	1.2×10^{-67}
26	Purwodadi	Krian	32	√	20dB		100	6	2.9×10^{-19}
27	Krian	Waru	2			2 dB		2	0
28	Waru	Grati	13					0	6.5×10^{-14}
29	Grati	Paiton	14	√				2	5.8×10^{-188}
30	Klaten	Kediri	34	√	26dB		120	6	3.3×10^{-36}
31	Kediri	Paiton	35	√	26dB		120	6	2.5×10^{-30}
32	Paiton	Situbondo	9					0	3×10^{-70}
33	Situbondo	Banyuwangi	12					0	10^{-21}
34	Banyuwangi	Gilimanuk	0			6 dB		2	0
35	Gilimanuk	Banyuwangi	11					0	1.5×10^{-35}
TOTAL			446	13	5	8	9	66	100% memenuhi syarat

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Secara keseluruhan dari hasil perancangan link fiber optik PT. PLN P2B yang terdiri dari 35 link dan terbagi menjadi 6 kelompok ring dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari perhitungan power link budget terdapat 37,14% link yang memiliki besar daya terima yang lebih kecil dari sensitivitas penerima sehingga diperlukan tambahan penguat.
2. Dari perhitungan rise time budget diketahui bahwa terdapat 25.7% dari seluruh link yang memiliki nilai disperse lebih besar dari 70ps sehingga perlu ditambahkan kompensator dispersi
3. Perancangan jaringan *backbone* fiber optik ini memiliki total panjang lintasan 2.675 Km sehingga membutuhkan *splicing* sebanyak 448 kali *splicing*. Setelah dilakukan penanganan terhadap link-link yang bermasalah maka jaringan fiber optic ini membutuhkan 13 *Booster* EDFA dengan *gain* 15 dB, 2 In-Line EDFA dengan *gain* 26 dB, 3 In-Line Amplifier dengan *gain* 20 dB dan 8 attenuator. Serta membutuhkan 11 unit dispersion compensator. Karena penambahan perangkat maka terdapat penambahan jumlah konektor sebanyak 66 buah.
4. Setelah dilakukan penanganan link-link bermasalah, hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh link sudah sesuai dengan standar yang diinginkan yaitu nilai BER lebih kecil dari 10^{-12} dan nilai OSNR yang lebih besar dari 15.66dB.

5.2 Saran

Sebagai hasil penelitian Tugas Akhir yang dilakukan, berikut merupakan beberapa saran untuk dilakukan penelitian lanjutan mengenai topik yang serupa:

1. Perlu dilakukan optimasi terkait kondisi *real* lapangan, termasuk jarak penempatan *repeater* yang tidak bisa diletakan

sembarangan, harus memiliki suplai daya yang cukup untuk menjalankan tugasnya

2. Karena tugas akhir ini hanya memikirkan kebutuhan JCC, maka perlu juga dibuat desain *backbone* jaringan komunikasi SCADA pada APB di wilayah Jawa dan Bali

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. P. Agrawal, *Fiber Optics Communication System* Third Edition, New York: John Wiley & sons, 2001.
- [2] ITU, "G.655 : Characteristic of a NZDSF Single mode optical Fiber and Cable," ITU-T, 2009.
- [3] Cisco System, *Introduction to DWDM Technology*, San Jose: Cisco System Inc., 2000.
- [4] M. S. M. J. D. Thomas, *Power System SCADA and SmartGrid*, New Delhi: CRC Press, 2015.
- [5] The Fiber Optic Association, "Guide To Fiber Optic Network Design," *FOA Technical Bulletin*, 26 February 2014.
- [6] T.-H. Wu, "A Class of Self Healing Ring Architectures for Sonet Network Application," *IEEE TRANSACTION ON COMMUNICATION*, vol. 43, p. 11, 1992.
- [7] D. T. Putri, T. Juhana and S. Haryadi, "DWDM System Design," in *IEEE*, 2016.
- [8] IEEE, "IEEE Citation Reference," [Online]. Available: www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf.
- [9] A. A. Prabowo, A. Hambali and O. Yusuf, "Analysis and Design of Migration DWDM Backbone Network Jakarta-Surabaya," 2014.
- [10] Y. Joo, G. Lee and S. Park, "1-Fiber WDM Self Healing Ring With Bidirectional Optical Add/Drop Multiplexers," in *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, VOL.16, NO.2, 2004.

- [11] Bidang SCADA PLN, “Peralatan SCADA sistem Tenaga Listrik,” PT PLN (PERSERO), 2008.
- [12] M. L. Ayers, Telecommunication System Reliability Engineering, Theory, Practices, Canada: IEEE Press, 2012.
- [13] J. M. Senior, Optical Fiber Communications: Principles and Practice, Pearson Prentice Hall, 1992.

LAMPIRAN-A

Lembar Pengesahan Proposal

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro – ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Muhamad Fazzur Rizal
Nomer Pokok : 07111440000187
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap 2017/2018
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
2. Dr. Istas Pratomo, ST., MT.
Judul Tugas Akhir : *Perancangan Jaringan Telekomunikasi SCADA pada Backbone Pusat Pengaturan Beban Tenaga Listrik (Design of SCADA Telecommunication Network for Backbone Load Management in Power Systems)*

09 FEB 2018

Uraian Tugas Akhir :

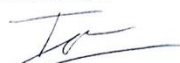
Proses pengendalian beban pada pembangkitan tenaga listrik di Indonesia sangatlah penting. Dengan dikendalikannya beban pada pembangkit maka mampu mengurangi kerugian dari produksi energi listrik. Untuk membuat mekanisme pengaturan beban yang efektif dan efisien guna melakukan penghematan untuk produksi tenaga listrik, maka implementasi dari SCADA sangat diperlukan. Dalam hal ini, sistem telekomunikasi berperan penting dalam kelancaran pertukaran informasi. Sistem Telekomunikasi diperlukan untuk menghubungkan site-site pembangkit listrik ke ruang kendali pusat, sehingga kondisi yang ada di lapangan dapat langsung di monitoring dan dikontrol oleh pusat kendali. Untuk menciptakan backbone jaringan yang memiliki keandalan yang tinggi dan sesuai dengan kondisi Indonesia di lima tahun kedepan, maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis terkait kondisi jaringan telekomunikasi eksisting SCADA pada sistem pengaturan beban tenaga listrik, analisa kebutuhan jaringan sistem tenaga listrik jawa-bali dalam lima tahun kedepan, dan membuat perancangan terkait desain backbone jaringan telekomunikasi untuk menunjang perkembangan sistem pengaturan beban tenaga listrik di masa depan.

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Nip : 196510141990021001

Dosen Pembimbing II,



Dr. Istas Pratomo, ST., MT.
Nip : 197903252003121001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



Dedet C. Riawan, ST, M.Eng. Ph. D.
Nip : 197311192000031001

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Jaringan
Telekomunikasi

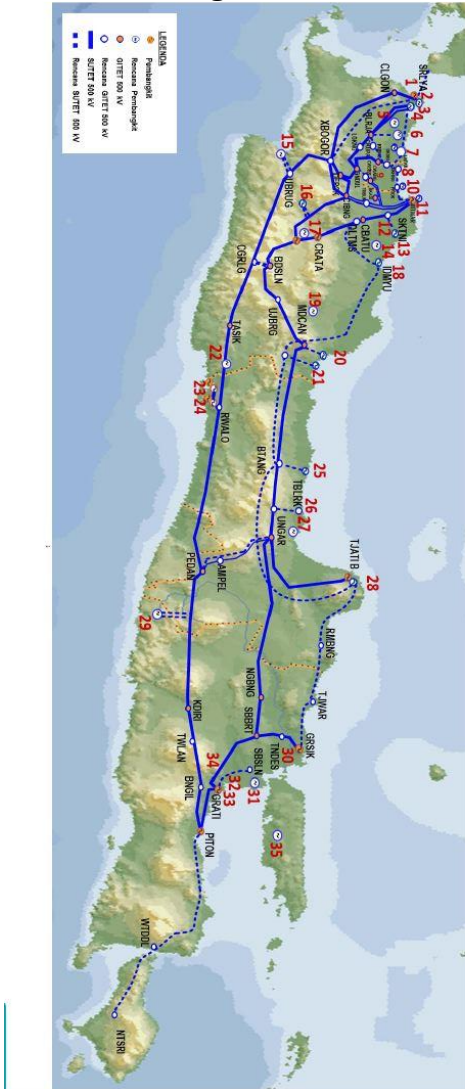


Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Nip : 196510141990021001

LAMPIRAN-B

Peta Jaringan Tranmisi 500 kV

Rencana Pengembangan Backbone 500 kV Sistem Jawa-Bali



LAMPIRAN-C

Daftar Link komunikasi Fiber Optik

Link					
No.	Node Awal	Node Akhir	No.	Node Awal	Node Akhir
1	Suralaya	Cilegon	22	Tasikmalaya	Rawalo
2	Suralaya	Balaraja	23	Rawalo	Pedan
3	Balaraja	Kembangan	24	Ungaran	Pedan
4	Kembangan	Gandul	25	Ungaran	Purwodadi
5	Cilegon	Cibinong	26	Purwodadi	Krian
6	Gandul	Cawang	27	Gresik	Krian
7	Gandul	Depok	28	Krian	Waru
8	Cawang	Bekasi	29	Waru	Grati
9	Bekasi	Cibinong	30	Grati	Paiton
10	Depok	Cibinong	31	Klaten	Kediri
11	Bekasi	Muara Tawar	32	Kediri	Paiton
12	Muara Tawar	Cibatu	33	Paiton	Situbondo
13	Cibatu	Cirata	34	Situbondo	Banyuwangi
14	Cirata	Saguling	35	Banyuwangi	Gilimanuk
15	Cibinong	Saguling	36	Gilimanuk	Kapal
16	Saguling	Cigereleng	37	Gandul	Pedan
17	Depok	Tasikmalaya	38	Cawang	Cigereleng
18	Cigereleng	Tasikmalaya	39	Cigereleng	Ungaran
19	Cigereleng	Madirancan	40	Ungaran	Waru
20	Madirancan	Pemalang	41	Waru	Paiton
21	Pemalang	Ungaran	42	Paiton	Pedan

LAMPIRAN-D

Kebutuhan Attenuator

No.	Link Fiber Optik		Sistem Margin (dBm)	Attenuator	Attenuasi (dB)
	Node A	Node B			
1	Suralaya	Cilegon	18.975	Ya	3
2	Suralaya	Balaraja	11.375	Tidak	
3	Balaraja	Kembangan	10.975	Tidak	
4	Kembangan	Gandul	13.975	Tidak	
5	Cilegon	Cibinong	0.6	Tidak	
6	Gandul	Cawang	18.1	Ya	3
7	Gandul	Depok	19.7975	Ya	4
8	Cawang	Bekasi	16.4625	Ya	1
9	Bekasi	Cibinong	11.825	Tidak	
10	Depok	Cibinong	17.285	Ya	2
11	Bekasi	Muara Tawar	17.025	Ya	2
12	Muara Tawar	Cibatu	8.85	Tidak	
13	Cibatu	Cirata	9.4	Tidak	
14	Cirata	Saguling	15.4	Tidak	
15	Cibinong	Saguling	14.8	Tidak	
16	Saguling	Cigereleng	8.225	Tidak	
17	Depok	Tasikmalaya	2.95	Tidak	
18	Cigereleng	Tasikmalaya	11.8	Tidak	
19	Cigereleng	Madirancan	3.875	Tidak	
20	Madirancan	Pemalang	0.75	Tidak	
21	Pemalang	Ungaran	10.875	Tidak	
22	Tasikmalaya	Rawalo	4.45	Tidak	
23	Rawalo	Pedan	4.55	Tidak	
24	Ungaran	Pedan	1.275	Tidak	
25	Ungaran	Purwodadi	6.5	Tidak	
26	Purwodadi	Krian	2.65	Tidak	
28	Krian	Waru	17.725	Ya	2
29	Waru	Grati	0.025	Tidak	
30	Grati	Paiton	12.5	Tidak	
31	Klaten	Kediri	3.45	Tidak	
32	Kediri	Paiton	3	Tidak	
33	Paiton	Situbondo	6.85	Tidak	
34	Situbondo	Banyuwangi	1.55	Tidak	
35	Banyuwangi	Gilimanuk	21.3	Ya	6
36	Gilimanuk	Kapal	3.375	Tidak	

LAMPIRAN-E

Hasil Perhitungan Link Budget

No.	Link Fiber Optik		Jarak (km)	Margin Sistem	Tsyst (ps)	BER
	Node A	Node B				
1	Suralaya	Cilegon	12.5	18.975	40.3	0
2	Suralaya	Balaraja	39.7	11.375	46.21	2.4×10^{-127}
3	Balaraja	Kembangan	41.3	10.975	46.71	2.8×10^{-120}
4	Kembangan	Gandul	30.1	13.975	43.52	$1/2 \times 10^{-233}$
5	Cilegon	Cibinong	130.8	0.6	87.9	4.3×10^{-15}
6	Gandul	Cawang	16	18.1	40.75	0
7	Gandul	Depok	10.01	23.7975	40.05	0
8	Cawang	Bekasi	21.75	16.4625	41.69	0
9	Bekasi	Cibinong	37.9	15.175	45.66	4.3×10^{-137}
10	Depok	Cibinong	18.46	17.285	41.12	0
11	Bekasi	Muaratawar	19.5	17.025	41.29	0
12	Muaratawar	Cibatu	48.2	8.85	49.03	4.3×10^{-95}
13	Cibatu	Cirata	46.8	9.4	48.54	4.5×10^{-100}
14	Cirata	Saguling	25.2	15.4	42.39	0
15	Cibinong	Saguling	80.4	14.8	62.41	0.7×10^{-12}
16	Saguling	Cigereleng	50.7	8.225	49.93	3.2×10^{-86}
17	Depok	Tasikmalaya	175	7.5	69.4	7×10^{-25}
18	Cigereleng	Tasikmalaya	90.8	11.8	67.35	6.5×10^{-163}
19	Cigereleng	Madirancan	119.3	3.875	47.58	1.5×10^{-35}
20	Madirancan	Pemalang	130.2	0.75	67.06	1.3×10^{-21}
21	Pemalang	Ungaran	94.5	10.875	69.16	1.2×10^{-143}
22	Tasikmalaya	Rawalo	117	4.45	60.85	4.8×10^{-57}
23	Rawalo	Pedan	187	4.55	65.52	9.2×10^{-57}
24	Ungaran	Pedan	75.3	1.275	60.08	8.6×10^{-20}
25	Ungaran	Purwodadi	56.8	6.5	52.24	1.2×10^{-67}
26	Purwodadi	Krian	193.8	2.65	56.28	2.9×10^{-19}
27	Krian	Waru	17.5	17.725	40.97	0
28	Waru	Grati	79.5	0.025	61.97	6.5×10^{-14}
29	Grati	Paiton	88.8	12.5	66.38	5.8×10^{-188}
30	Klaten	Kediri	209	4.45	66.48	3.3×10^{-36}
31	Kediri	Paiton	210	4	66.96	2.5×10^{-30}
32	Paiton	Situbondo	55.4	6.85	51.7	3×10^{-70}
33	Situbondo	Banyuwangi	74.2	1.55	59.58	10^{-21}
34	Banyuwangi	Gilimanuk	4.8	21.3	39.7	0
35	Gilimanuk	Kapal	67.7	3.375	56.73	1.5×10^{-35}

LAMPIRAN-F

Spesifikasi Kabel Fiber Optik

Stainless - Steel Loose Tube Type



Features & Benefits

- Our high quality standards for designing, testing and manufacturing with the highest grade materials available to ensure long-term reliability.
- Maximum fiber counts up to 288 fibers with minimized cable diameter due to variable designs.
- Superior optical performance over a broad temperature range from -40°C to +85°C.
- Engineering support, supervising and providing its own line of accessory hardware.
- Compact design light weight & small out diameter for low wind and ice loading, reducing the need for tower reinforcement and additional costs.
- High crush resistance due to the metallic tube design.
- Sealed tube for superior protection to the optical fibers from moisture and extreme environmental conditions such as lightning.
- Simple installation with the same method as conventional ground wire.

The Main Design Parameters

- **Mechanical**
 - Minimum Breaking Load
 - Maximum Permissible Weight & Diameter
 - Minimum Modulus of Elasticity & Maximum Coefficient of Linear Expansion
- **Electrical**
 - Minimum Short-Circuit Capacity & Lightning Resistance
 - Minimum Ohmic Resistance
- **Optical**
 - The Number & Type of Optical Fibers
 - Transmission Capacity & Distance

Applicable Standards

- **Optical Fiber**
 - ITU-T G.650 / ITU-T G.652
 - ITU-T G.653 / ITU-T G.655
 - IEC 60793
- **Aluminum-Clad Steel Wire**
 - IEC 61232 / ASTM B 415
- **Aluminum Alloy Wire**
 - IEC 60104 / ASTM B 398
- **Complete OPGW**
 - IEC 61089 / IEC 60754
 - IEC 60704-4
 - ASTM B 416 / IEEE 1138

Construction

The optical fibers loosely placed in a hermetically sealed stainless-steel loose tube.

• Central Construction Type

Aluminum-clad steel wires are stranded together around the central stainless-steel tube.



• Layer Construction Type

One or more stainless-steel tube shall be stranded together with aluminum clad steel and/or aluminum alloy wires.



- Number of Fibers : 6 to 288 Nos.
- Overall Diameter : 9 mm ~ 20 mm
- Standard Weight : 300 kg/km ~ 1,000 kg/km
- Nominal Breaking Strength : 4,000 kgf ~ 8,550 kgf
- Short Circuit Current Capacity : 25 kA / sec ~ 210 kA / sec
- Maximum Allowable Temperature : 180°C
- The values indicated above are provided as an example. Other requirements subject to assessment.

* Note : Aluminum covered stainless-steel tube optical unit available to improve corrosion properties.

Optical Fibers

The optical fibers are used primarily in telecommunication networks characterized by long distance links and high capacity. The optical fibers in cable are designed and manufactured to provide optimum transmission services.

Dual Window Single Mode Fiber (ITU-T G.652)

- **Application**
 - General application fiber suitable for most uses
- **Attenuation**
 - Attenuation Coefficient at 1310 nm : 0.35–0.40 dB/km
 - Attenuation Coefficient at 1550 nm : 0.21–0.30 dB/km
- **Dispersion**
 - Dispersion Coefficient at 1310 nm : 3.5 ps/nm.km, Maximum
 - Dispersion Coefficient at 1550 nm : 18 ps/nm.km, Maximum

Dispersion Shifted Single Mode Fiber (ITU-T G.653)

- **Application**
 - Fiber optimized for transmission in the third window (1550 nm wavelength), recommended in very high speed and long distance applications
- **Attenuation**
 - Attenuation Coefficient at 1550 nm : 0.23 dB/km, Maximum
- **Dispersion**
 - Dispersion Coefficient at 1550 nm : 3.5 ps/nm.km, Maximum

Non-Zero Dispersion Shifted Single Mode Fiber (ITU-T G.655)

- **Application**
 - Fiber designed for DWDM applications. It is characterized by very low dispersion at 1550 nm and a high effective area, which prevents the non-linear effects of high speed in this type of transmission, offering improved service in comparison to the previous fibers.
- **Attenuation**
 - Attenuation Coefficient at 1550 nm : 0.22–0.25 dB/km
 - Attenuation Coefficient at 1625 nm : 0.25 dB/km, Maximum
- **Dispersion**
 - Dispersion Coefficient at 1535–1565 nm : 0.1 to 6.0 ps/nm.km or 1.0 to 10.0 ps/nm.km
 - Dispersion Coefficient at 1565–1625 nm : 4.5 to 11.2 ps/nm.km
- Above values indicated are provided as an example. Other requirements subject to assessment.

LAMPIRAN-G

Spesifikasi Transceiver Optik



FS.COM

Optical Communication System

Datasheet

IV. Optical Characteristics (TOP = 0 to 70 °C, VCC = 3.14 to 3.46 V)

Parameter	Symbol	Min	Type	Max	Unit	Note
Transmitter (Tx)						
Average Launch Power	P _{Ave}	0		4	dBm	
Optical Wavelength	λ	1530		1565	nm	
Side-Mode Suppression Ratio	SMSR	30			dB	
Optical Extinction Ratio	ER	9			dB	
Average Launch power when Tx is OFF	P _{OFF}			-30	dBm	
Relative Intensity Noise	RIN			-128	dB/Hz	
Receiver (Rx)						
Optical Center Wavelength	λ _C	1260		1600	nm	
Sensitivity (0km)	Bit Rate (Gb/s)	BER				
	8.5, 9.95-10.7	<10 ⁻¹²	R _{SENS1}		-24	dBm 1,2
	11.1	<10 ⁻¹²	R _{SENS2}		-23	dBm 1
		<10 ⁻⁴	R _{SENS3}		-27	dBm 1
	11.3	<10 ⁻⁴	R _{SENS4}		-27	dBm 1
Sensitivity (80km)	8.5, 9.95-10.7	<10 ⁻¹²	R _{SENS5}		-24	dBm 1,2,3
	11.1	<10 ⁻⁴	R _{SENS6}		-25	dBm 1,2
Overload (Average Power)	P _{Ave}	-7			dBm	
Receiver Reflectance	R _{rx}			-27	dB	

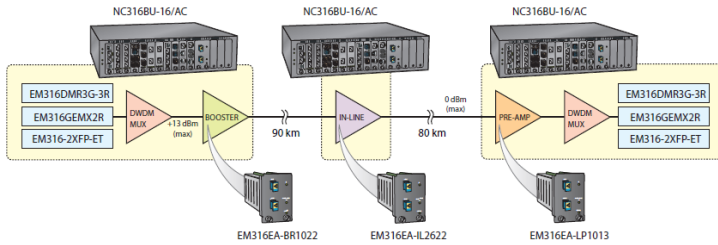
5

Receiver (Rx)						
Output differential impedance	R_{out}	80	100	120	Ω	
Differential data output swing	$V_{out,pp}$	300		850	mV	2
Output rise time and fall time	T_r, T_f	28			ps	3
LOS asserted	$V_{LOS\ A}$	$V_{CC}-0.8$		V_{CC}	V	4
LOS de-asserted	$V_{LOS\ D}$	0		0.8	V	4
Power Supply Noise Tolerance	V_{CCT}/V_{CCR}	Per SFF-8431 Rev 4.1			mVpp	5

LAMPIRAN-H

Spesifikasi Amplifier

Long Haul Application Example



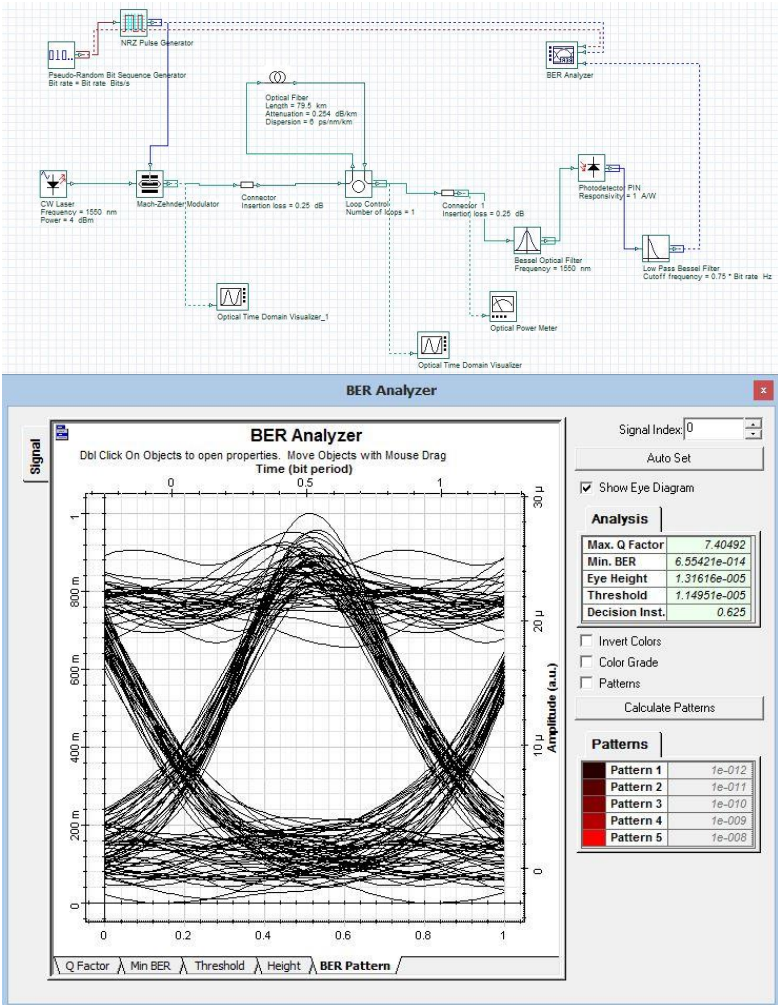
Ordering Information: C-BAND (1529 - 1563nm)

Model	Description	Gain (dB)	Max. Output (dBm)	Min. Input (dBm)	Max. Input (dBm)	Typ. NF (dB)	Max. NF (dB)	Max. Power Consump. (W)
Booster								
EM316EA-BR0918	DWDM C-band EDFA booster, optical amplifier, 2 slots	9	18	-10	9	5.5	6.0	6
EM316EA-BR1522	DWDM C-band EDFA booster optical amplifier, with Automatic Power Reduction (APR), 2 slots	15	22.5	-10	8	5.5	6.0	11
EM316EA-BR2022	DWDM C-band EDFA booster, optical amplifier, with Automatic Power Reduction (APR), 2 slots	20	22.5	-15	3	5.5	6.0	11
EM316EA-BR1525	DWDM C-band EDFA booster, optical amplifier, with Automatic Power Reduction (APR), 2 slots	15	25	-10	11.5	5.5	6.0	20
In-Line/Pre-Amp								
EM316EA-PR1013	DWDM C-band EDFA preamp, optical amplifier, 2 slots	10	13	-30	0	6.0	6.5	5
EM316EA-LPR2017	DWDM C-band EDFA in-line/preamp, optical amplifier, 2 slots	20	17	-28	-3	5	5.5	5
EM316EA-IL2622	DWDM C-band EDFA in-line, optical amplifier, with Automatic Power Reduction (APR), 2 slots	26	22.5	-25	-3	5.0	5.5	11
EM316EA-IL2625	DWDM C-band EDFA in-line/preamp, optical amplifier, with Automatic Power Reduction (APR), 2 slots	26	25	-25	-0.5	5.0	5.5	20

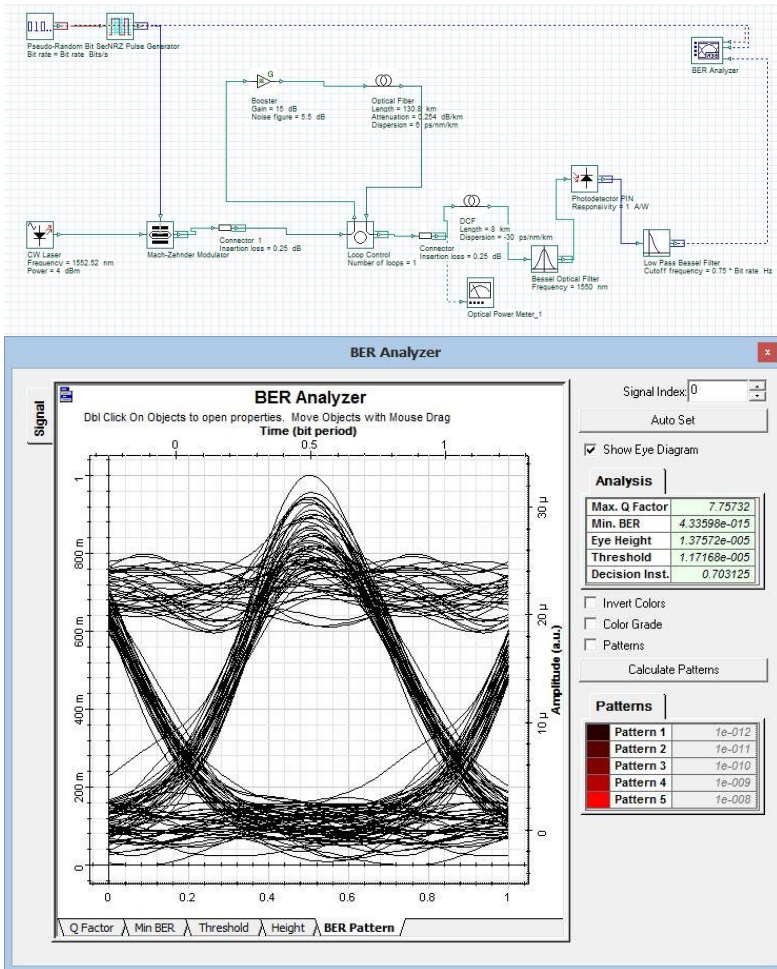
LAMPIRAN-I

Skema Rangkaian Simulas dan Hasil

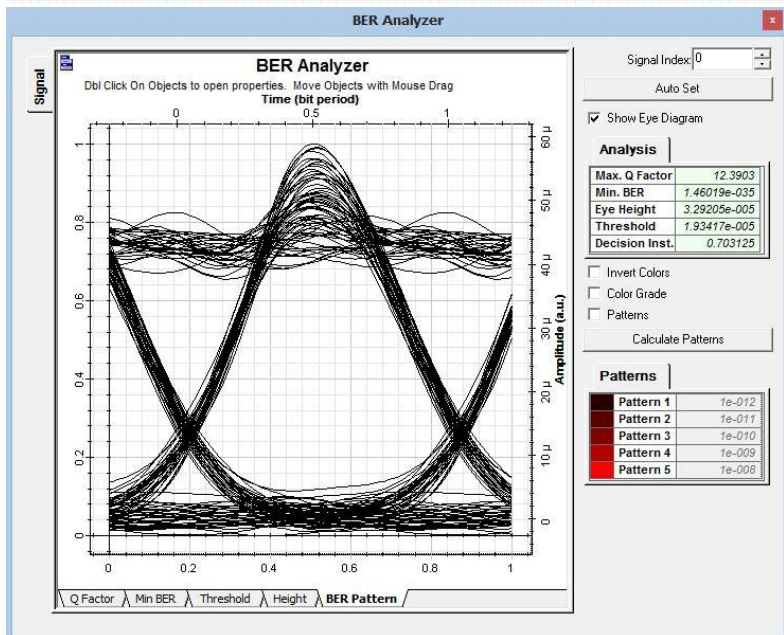
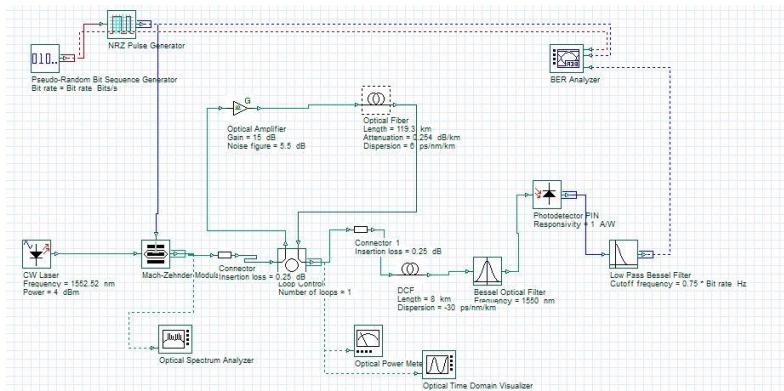
1. Simulasi link Waru-Grati



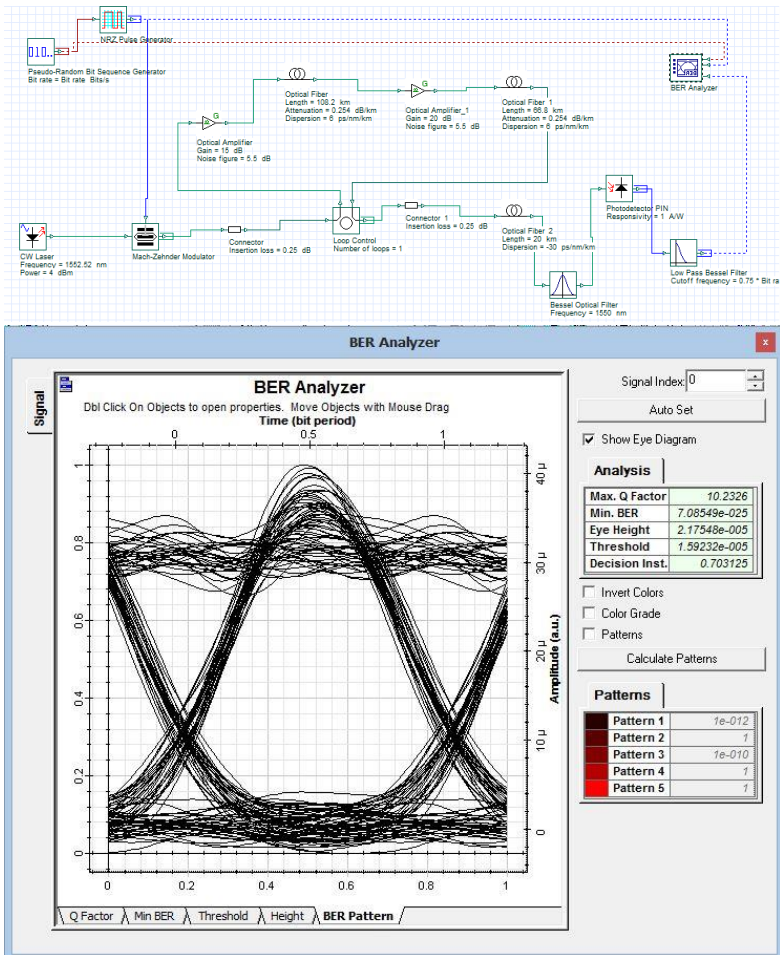
2. Simulasi Link Cilegon-Cibinong



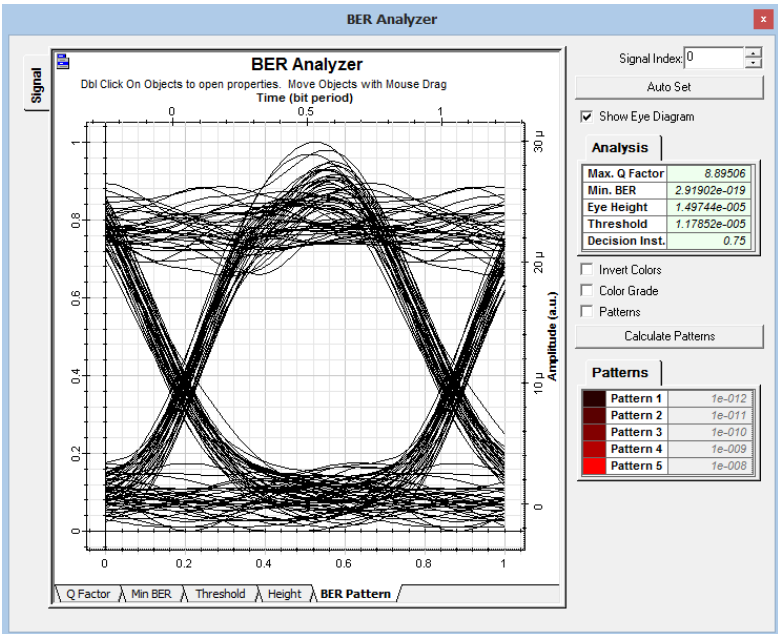
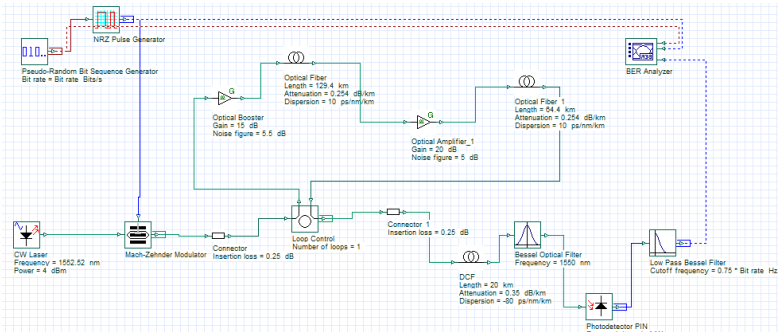
3. Hasil Simulasi Link Cigereleng-Madirancan



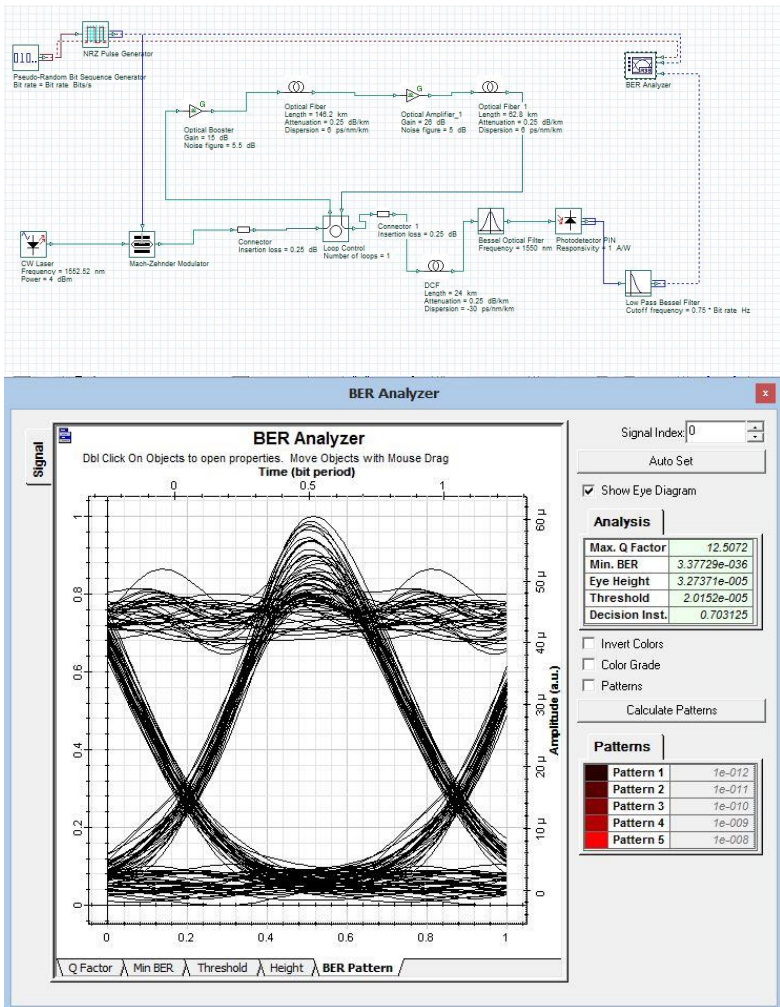
4. Hasil Simulasi Link Depok-Tasikmalaya



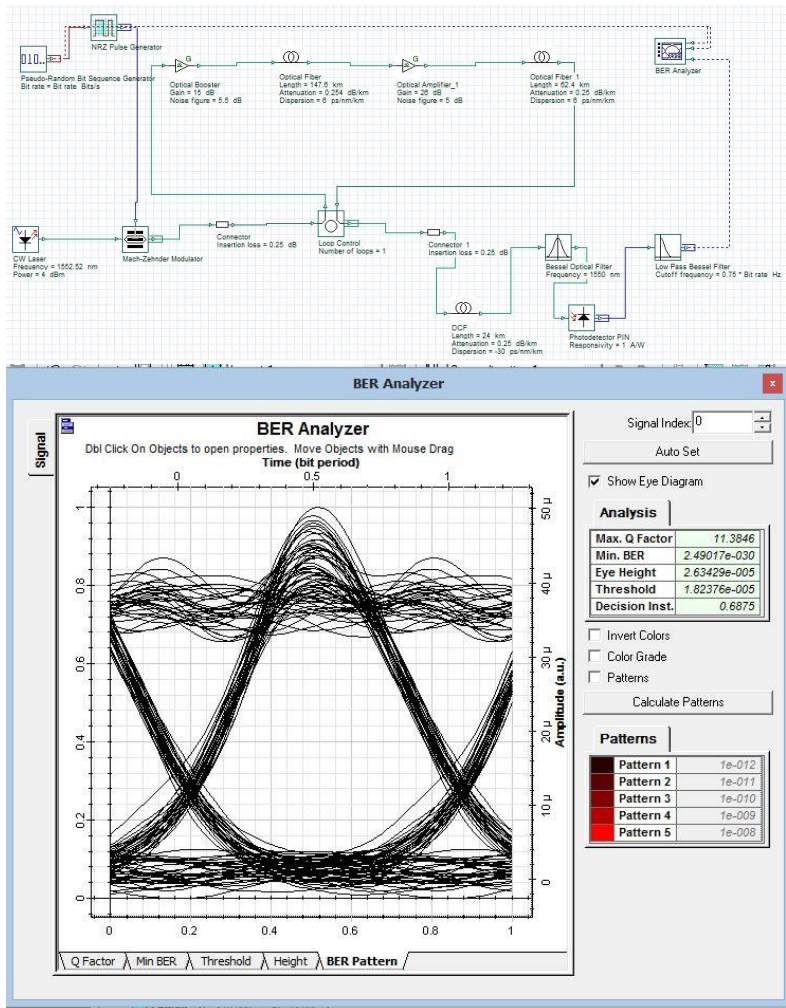
5. Hasil Simulasi Link Purwodadi-Waru



6. Hasil Simulasi Link Pedan-Kediri



7. Hasil Simulasi Link Kediri-Paiton



BIODATA PENULIS



Muhamad Fazrur Rizal, lahir di Cirebon pada tanggal 20 Oktober 1996. Anak pertama dari dua bersaudara, merupakan anak dari pasangan Dede Ruhimat yang berprofesi sebagai wiraswasta dan Effi Herawati seorang ibu rumah tangga. Penulis menempuh pendidikan formal dari SD Islam Darul Hikam Bandung, lalu melanjutkan ke SMPN 7 Bandung, dan SMAN 5 Bandung. Saat ini penulis sedang menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro, pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia, Fakultas

Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menempuh Pendidikan S1, penulis tidak hanya aktif pada kegiatan akademik, tapi juga aktif dalam keorganisasian kampus. Sempat menjabat sebagai sekretaris Electra 2016 dan ketua National Symposium 2017 Teknik Elektro.

Berikut merupakan hasil perhitungan link antara node awal dan node akhir pada setiap link yang sudah dirancang