



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERENCANAAN SISTEM TRANSMISI SERAT
OPTIK *DWDM* PT.TELKOM INDONESIA,Tbk
LINK JAKARTA - BANTEN**

SKRIPSI

**YORASHAKI MARTHA LEZA
07 06 26 81 01**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERENCANAAN SISTEM TRANSMISI SERAT
OPTIK DWDM PT.TELKOM INDONESIA,Tbk
LINK JAKARTA - BANTEN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**YORASHAKI MARTHA LEZA
07 06 26 81 01**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar



Nama : Yorashaki Martha Leza

NPM : 07 06 26 81 01

Tanda tangan : 

Tanggal : 27 Desember 2011

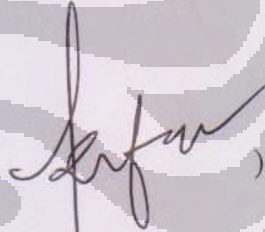
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Yorashaki Martha Leza
NPM : 07 06 26 81 01
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Perencanaan Sistem Transmisi Serat Optik DWDM PT.Telkom Indonesia,Tbk link Jakarta - Banten

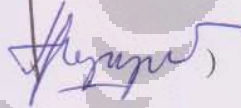
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

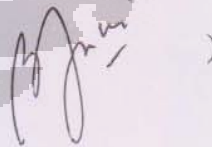
Pembimbing : Ir. Arifin Djauhari, M.T.

()

Penguji : Dr.Ir.Retno Wigajatri P, M.T.

()

Penguji : Basari, S.T., M.Eng., PhD

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah membimbing setiap detik hidup saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Ir. Muhammad Asvial M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- 2) Ir. Arifin Djauhari, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- 3) Ir. Krisman Pasaribu, M.T. (GM Network Area Jakarta) sebagai Pembimbing II yang telah banyak membimbing, menyediakan waktu dan memberikan banyak masukan serta mendukung penuh penelitian saya di Divisi *Infrastructure Telecommunication* (Infratel) PT Telekomunikasi Indonesia Tbk.
- 4) Bpk.Sigit Hartono (Manager Transport Tech. Support) dan Bpk.Zaenal Solihin (Asisten Manager SKSO/SKKL) sebagai praktisi dan pembimbing di lapangan yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membantu saya mempelajari perencanaan sistem transmisi *DWDM* PT. Telkom dan mendukung penuh penelitian saya di Divisi Infratel.
- 5) Pak Yoga, Pak Sulkon, Ibu santi, Ibu Asia dan semua karyawan Telkom Infratel yang bersedia membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.
- 6) Rekan-rekan seperjuangan atas segala bantuan, dan dukungannya.
- 7) Orang tua dan keluarga saya yang selalu memberikan perhatian, dukungan, dan doa dalam setiap usaha saya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 27 Desember 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yorashaki Martha Leza
NPM : 07 06 26 81 01
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

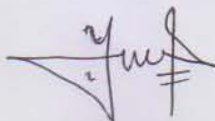
**Analisis Perencanaan Sistem Transmisi Serat Optik DWDM
PT.Telkom Indonesia, Tbk *link* Jakarta – Banten**

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 27 Desember 2011

Yang menyatakan



(Yorashaki Martha Leza)

ABSTRAK

Nama : Yorashaki Martha leza
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Perencanaan Sistem Transmisi Serat Optik DWDM PT.Telkom Indonesia,Tbk link Jakarta - Banten

Beragamnya layanan informasi semakin menuntut kehandalan jaringan yang memadai, dan persaingan antar penyedia jasa layanan di dunia telekomunikasi saat ini semakin ketat. Sehingga setiap penyedia jasa layanan harus meningkatkan kinerja pelayanannya dan dituntut untuk mampu memanfaatkan teknologi agar biaya operasional perusahaan dapat ditekan. Oleh sebab itu, PT.Telkom Indonesia,Tbk sebagai salah satu penyedia jasa layanan telekomunikasi di Indonesia telah merumuskan beberapa kebijakan, salah satunya adalah merencanakan pembangunan jaringan serat optik DWDM yang menghubungkan Jakarta dengan Banten.

Pada skripsi ini, akan dilakukan perencanaan jaringan serat optik DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) link Jakarta–Banten, dengan melihat dari kecenderungan pertumbuhan kebutuhan *bandwidth* terhadap jumlah pelanggan pada layanan Metro-E, diprediksikan kebutuhan *bandwidth* pada triwulan III tahun 2011 adalah 26,08 Gbps hingga triwulan IV tahun 2014 adalah 69,59 Gbps. Dengan kapasitas *bandwidth* 70Gbps dan kehandalan margin sistem sebesar 3 dB yang mampu mengkompensasi penambahan redaman pada optik.

Perhitungan *power link budget* dan *rise time budget* digunakan untuk menentukan apakah perencanaan yang dilakukan sudah memenuhi kriteria untuk diimplementasikan di lapangan. Hasil yang didapat dalam proses perhitungan menunjukkan bahwa perencanaan ini telah memenuhi kriteria untuk diimplementasikan di lapangan. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan 1 buah penguat, *power link budget* dapat menjangkau jarak tempuh transmisi sejauh 192 km, sedangkan jarak tempuh link Jakarta-Banten sejauh 153,66 km. Nilai *rise time* jalur perencanaan yang melebihi nilai *rise time* sistem akan terkompensasi setelah ditambahkan DCM pada jalur tersebut, dimana nilai *rise time budget* sistem sebesar 70 ps.

Kata kunci :
Metro Ethernet, *bandwidth*, *Dense Wavelength Division Multiplexing*, *power link budget*, *rise time budget*, *splice*, DCM

ABSTRACT

Name : Yorashaki Martha Leza
Study Program : Electrical Engineering
Title : **Planning Analysis Systems of DWDM Optical Fiber Transmission PT.Telkom Indonesia,Tbk link Jakarta - Banten**

Diversity of information services are increasingly demanding an adequate network reliability, and competition among providers of telecommunications services currently was increasingly stringent. So that, every operator must to increase their service and able to using technology to decrease operational cost company. Therefore, PT.Telkom Indonesia, Tbk on behalf of telecommunication operator in Indonesia have policy, one of the policy are building plan of DWDM optical fiber network for link Jakarta–Banten.

This thesis describes planning of DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) network fiber optic link Jakarta–Banten. From the trend growth of bandwidth requirements and the number of subscribers predicted that bandwidth requirements in the third quarter of 2011 is 26,08 Gbps and in the fourth quarter of 2014 is 69,59 Gbps. With the capacity of bandwidth is 70Gbps and reability of margin system is 3 dB that capable to compensate the attenuation in optical.

Calculation power link budget and rise time budget used to determine whether the planning are appropriate to implemented. The result of calculation showed that this planning is appropriate to implemented. It proved by using 1 optical amplifier, power link budget can reach 192 kilometers of transmission distance, whereas the distance of Jakarta–Banten is 153,66 kilometers. Value of rise time budget planning which higher than rise time budget system will be compensated after adding DCM on that sublink, whereas value of rise time budget system is 70 ps.

Keywords:

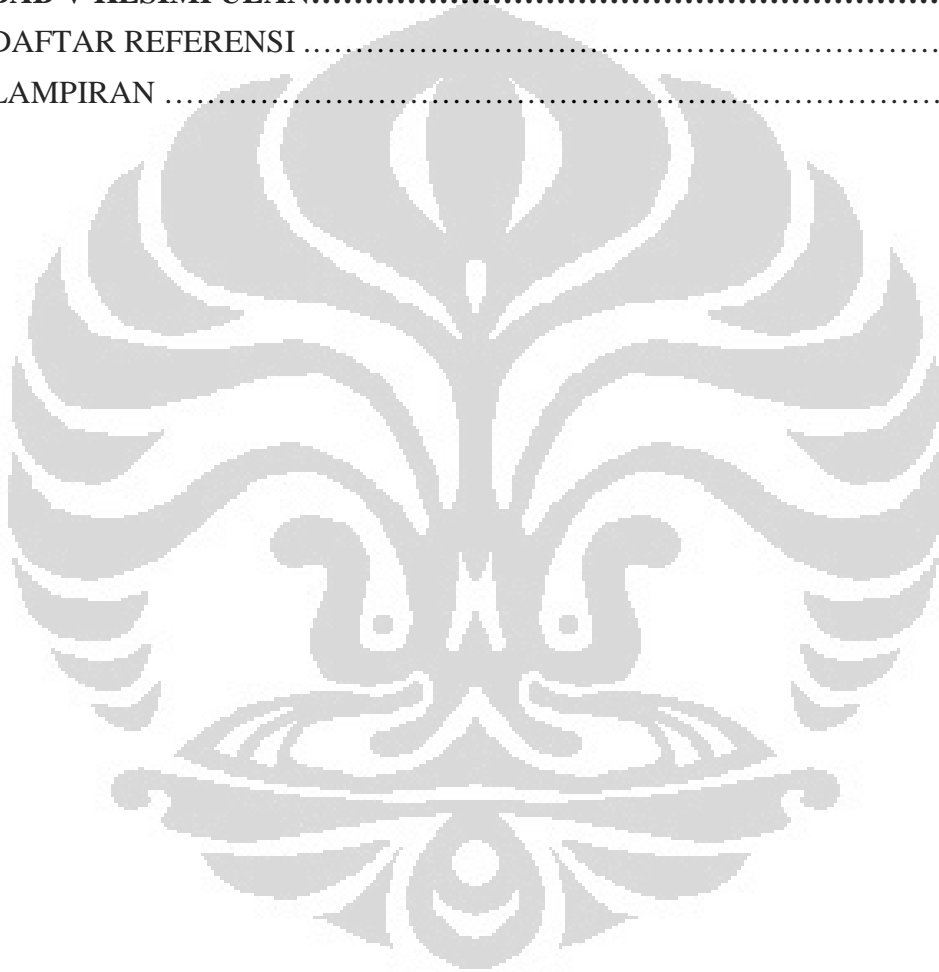
Metro Ethernet, bandwidth, Dense Wavelength Division Multiplexing, power link budget, rise time budget, splice, DCM

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penulisan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK	5
2.1 Dasar Sistem Komunikasi Optik.....	5
2.1.1 Struktur Serat Optik.....	5
2.1.2 Jenis dan Panjang Gelombang Serat Optik.....	7
2.1.3 Sumber Optik.....	10
2.1.4 Detektor Optik.....	10
2.2 Parameter Unjuk Kerja untuk Menganalisis Transmisi Serat Optik...11	
2.2.1 <i>Power Budget</i>	12
2.2.2 Jarak Transmisi Maksimum <i>Optical Amplifier</i>	13
2.2.3 <i>Rise Time Budget</i>	14
2.2.4 Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor.....	15
2.3 Teknologi dan Perangkat Jaringan Serat Optik.....	15
2.3.1 <i>Line coding, BER, dan PCM</i>	15
2.3.2 <i>Synchronous Digital Hierarchy (SDH)</i>	17

2.4	<i>Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)</i>	18
2.4.1	Konsep <i>DWDM</i>	18
2.4.2	Elemen Dasar <i>DWDM</i>	20
2.4.3	<i>Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)</i>	21
2.4.4	Spasi Kanal.....	22
2.4.5	Band Frekuensi.....	23
2.4.6	Keunggulan Teknologi <i>DWDM</i>	24
2.4.7	Karakteristik Redaman dan Dispersi Serat Optik <i>DWDM</i>	24
2.5	Metro Ethernet (Metro-E).....	26
2.5.1	Konsep Metro-E.....	26
2.5.2	Komponen Jaringan Metro-E.....	27
2.5.3	Layanan Jaringan Metro-E <i>Existing</i> PT.Telkom.....	28
2.6	Regresi Linear dengan Metoda <i>Least Square</i>	30
BAB III PERENCANAAN SISTEM TRANSMISI DWDM		32
3.1	Kebutuhan <i>Bandwidth</i> Metro-E PT.Telkom pada tahun 2008 hingga Triwulan II 2011.....	32
3.2	Topologi Jaringan Serat Optik	34
3.3	<i>Flow Chart</i> Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	36
3.4	Penjelasan <i>Flow Chart</i> Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	38
3.5	Penentuan Teknologi Transport <i>DWDM</i>	40
3.5.1	Pemenuhan Kebutuhan Kapasitas Kanal Menggunakan Perangkat STM-16.....	41
3.5.2	Pemenuhan Kebutuhan Kapasitas Kanal Menggunakan Perangkat STM-64.....	42
3.6	Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	42
3.7	Perhitungan <i>Power Budget</i>	44
3.7.1	Jarak Transmisi Maksimum Tanpa Penguat.....	44
3.7.2	Jarak Transmisi Maksimum dengan Penguat.....	45
3.7.3	Jarak Antar Penguat.....	46
3.8	Perhitungan <i>Rise Time Budget</i>	47
3.9	Perhitungan Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor.....	51
BAB IV ANALISIS PERENCANAAN SISTEM TRANSMISI DWDM LINK JAKARTA-BANTEN		53
4.1	Prediksi Kebutuhan Layanan Metro-E untuk Triwulan III 2011 hingga Triwulan IV 2014.....	53

4.1.1	Prediksi Jumlah Pelanggan.....	53
4.1.2	Prediksi Kebutuhan <i>Bandwidth</i>	58
4.2	Peta Perencanaan.....	62
4.3	Penentuan Teknologi Transport <i>DWDM</i>	65
4.4	<i>Power Link Budget</i>	66
4.5	<i>Rise Time Budget</i>	67
4.6	Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor.....	69
BAB V KESIMPULAN.....		71
DAFTAR REFERENSI		72
LAMPIRAN		74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi transmisi serat optik	5
Gambar 2.2 Elemen dasar kabel serat optik	6
Gambar 2.3 Serat optik berdasarkan jenis dan mode perambatannya	7
Gambar 2.4 <i>Window</i> transmisi siskom serat optik.....	9
Gambar 2.5 Format modulasi <i>RZ</i> dan <i>NRZ</i>	16
Gambar 2.6 <i>Pulse Code Modulation</i>	17
Gambar 2.7 Konfigurasi sistem <i>DWDM</i> secara umum	19
Gambar 2.8 Elemen dasar <i>DWDM</i>	20
Gambar 2.9 Struktur fisik <i>EDFA</i>	22
Gambar 2.10 Karakteristik spasi kanal	22
Gambar 2.11 Karakteristik tipe fiber berdasarkan standar ITU	25
Gambar 2.12 Konfigurasi jaringan <i>WDM</i>	26
Gambar 2.13 Komponen jaringan Metro Ethernet	28
Gambar 2.14 Konfigurasi area cakupan MEN Telkom-STO area Jakarta	29
Gambar 2.15 Konfigurasi jaringan Metro yang melingkupi 72 HRB tahun 2008	30
Gambar 3.1 Besarnya kebutuhan <i>bandwidth</i> terhadap waktu	32
Gambar 3.2 Topologi jaringan serat optik <i>DWDM</i> Jakarta-Banten.....	34
Gambar 3.3 <i>Flow chart</i> perencanaan jaringan serat optik	36
Gambar 3.4 Konfigurasi perangkat <i>STM-16</i>	41
Gambar 3.5 Konfigurasi perangkat <i>STM-64</i>	42
Gambar 3.6 Jarak antar penguat	46
Gambar 4.1 Kecenderungan pertumbuhan jumlah pelanggan.....	56
Gambar 4.2 Hasil prediksi jumlah pelanggan triwulan III 2011 hingga triwulan IV tahun 2014	57
Gambar 4.3 Hubungan antara jumlah pelanggan Telkom dengan kebutuhan <i>bandwidth</i> Metro Ethernet triwulan III 2008-triwulan II 2011	60
Gambar 4.4 Hasil prediksi kebutuhan <i>bandwidth</i> pelanggan layanan Metro-E Telkom untuk triwulan III 2011 hingga triwulan IV tahun 2014	62
Gambar 4.5 Peta perencanaan jaringan serat optik <i>DWDM link</i> Jakarta-Banten ..	63
Gambar 4.6 Rute jalur perencanaan serat optik <i>DWDM link</i> Jakarta-Banten	64
Gambar 4.7 Grafik <i>rise time budget link</i> Jakarta-Banten	68
Gambar 4.8 Grafik <i>rise time budget link</i> Jakarta-Banten dengan <i>DCM</i>	69

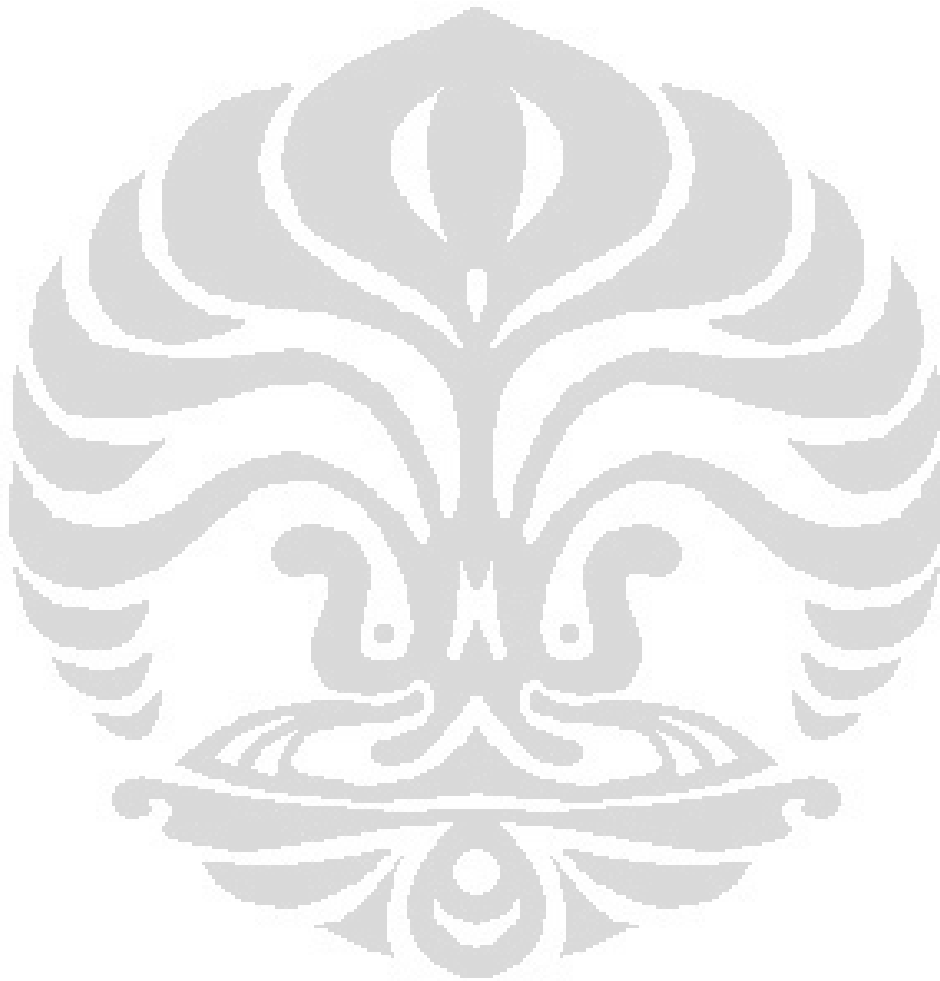
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kapasitas dan kecepatan transmisi <i>SDH</i>	18
Tabel 3.1 Besar kebutuhan <i>bandwidth</i> 2008 – 2011.....	33
Tabel 3.2 Jarak kabel serat optik	35
Tabel 3.3 Laju informasi berbagai layanan	38
Tabel 3.4 Parameter perencanaan jaringan serat optik	43
Tabel 4.1 Jumlah pelanggan layanan Metro-E 2008-2001 PT.Telkom	54
Tabel 4.2 Tabel perhitungan <i>least square</i> jumlah pelanggan	54
Tabel 4.3 Hasil prediksi jumlah pelanggan hingga 2014	57
Tabel 4.4 Data kebutuhan layanan Metro-E PT.Telkom	58
Tabel 4.5 Tabel perhitungan <i>least square</i> kebutuhan <i>bandwidth</i>	59
Tabel 4.6 Hasil prediksi kebutuhan <i>bandwidth</i> hingga 2014	61
Tabel 4.7 Jumlah sambungan serat optik dan jumlah konektor	70



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Plan serat optik <i>DWDM</i> Jakarta-Banten	75
Lampiran 2	Parameter perencanaan jaringan serat optik <i>DWDM</i>	76
Lampiran 3	Jaringan Metro Ethernet PT.Telkom <i>existing</i>	77
Lampiran 4	Konfigurasi jaringan Metro ke <i>High Rise Building</i>	78
Lampiran 5	Data kebutuhan layanan Metro-E Jakarta PT.Telkom	81
Lampiran 6	Hasil perhitungan <i>power link budget</i> dan <i>rise time budget</i>	82



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi sekarang ini mengalami kemajuan sangat cepat. Ini diakibatkan adanya permintaan dan peningkatan kebutuhan akan informasi, yang terus memacu para pengembang untuk memberikan suatu media transmisi yang dapat diandalkan dari segi kualitas sinyal, waktu akses (no delay), keamanan data, daerah cakupan penerima yang luas, maupun harga jual yang kompetitif.

Teknologi serat optik dipercaya memiliki *bandwith* dan *bit rate* tinggi terus dikembangkan demi memenuhi kebutuhan informasi tersebut. Salah satu perkembangannya adalah teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*. Teknologi ini merupakan teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses *multiplexing* seluruh panjang gelombang tersebut dapat ditransmisikan melalui sebuah serat optik. Faktor jarak saluran transmisi antara *transmitter* dan *receiver* yang terlalu jauh sering kali membuat tingkatan daya sinyal sistem *DWDM* menurun, hal ini sangatlah merugikan. Adanya *Optical Amplifier* yang diperlukan untuk mengatasi hal ini dikenal memiliki kemampuan untuk menguatkan tingkatan daya sinyal yang mengalami pelemahan.

PT.Telkom Indonesia, Tbk sebagai salah satu operator telekomunikasi di Indonesia, dituntut untuk selalu tepat dan cepat dalam menangani berbagai masalah agar dapat memuaskan pelanggannya, salah satu masalah yang sering dihadapi adalah permintaan jaringan yang membutuhkan *bit rate* yang tinggi dan *bandwith* yang lebar, untuk mengatasi masalah tersebut PT.Telkom Indonesia,Tbk merencanakan membuat jaringan serat optik dengan teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*. Pada skripsi ini akan dibahas tentang “Analisis

Perencanaan Sistem Transmisi Serat Optik DWDM PT.Telkom indonesia,Tbk link Jakarta - Banten”.

1.2 Rumusan Masalah

Melihat latar belakang masalah tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan pada skripsi ini, yaitu :

1. Bagaimana prinsip kerja *DWDM*.
2. Berapa prediksi besar kebutuhan *bandwidth* pada layanan Metro-E PT.Telkom.
3. Bagaimana standar parameter yang ditetapkan dalam perencanaan *DWDM*.
4. Bagaimana proses perhitungan *power link budget* dan *rise time budget*.

1.3 Tujuan

Tujuan penyusunan skripsi ini adalah menganalisis perencanaan jaringan serat optik *DWDM* yang menghubungkan Jakarta dengan Banten dari segi kebutuhan *bandwidth* untuk layanan Metro-E berdasarkan hasil prediksi hingga tahun 2014, kapasitas *bandwidth*, kehandalan margin sistem, dan menentukan apakah perencanaan yang dilakukan sudah memenuhi kriteria untuk diimplementasikan di lapangan berdasarkan hasil perhitungan *power link budget* dan *rise time budget*.

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan mencakup prediksi jumlah pelanggan dan kebutuhan *bandwidth* pada layanan metro-E di PT.Telkom hingga tahun 2014.
2. Pembahasan mencakup rugi-rugi transmisi jaringan *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* PT.Telkom link Jakarta-Banten.
3. Pembahasan mencakup analisis *power link budget*, *rise time budget*, perhitungan jumlah konektor dan jumlah sambungan (*splice*) serta analisis

perlu tidaknya diberikan *Optical Amplifier (OA)* pada jaringan *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* PT.Telkom Indonesia,Tbk link Jakarta - Banten.

4. Data spesifikasi jenis serat optik dan komponen penunjang yang digunakan pada perencanaan ini, disesuaikan dengan standarisasi yang telah ditentukan oleh PT.Telkom Indonesia, Tbk.

1.5 Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Studi Literatur yaitu berupa studi kepustakaan dan kajian dari buku-buku pendukung, baik dalam bentuk hardcopy dan softcopy.
2. Studi Lapangan yaitu berupa studi langsung di PT.Telkom Indonesia,Tbk.
3. Studi Analisis yaitu berupa studi analisis yang dilakukan pada data yang diperoleh selama melakukan penelitian di PT.Telkom Indonesia,Tbk.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disajikan dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB 2 SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK

Bab ini membahas tentang dasar teori dari serat optik serta jaringan *DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)* dan Metro Ethernet.

BAB 3 PERENCANAAN SISTEM TRANSMISI DWDM

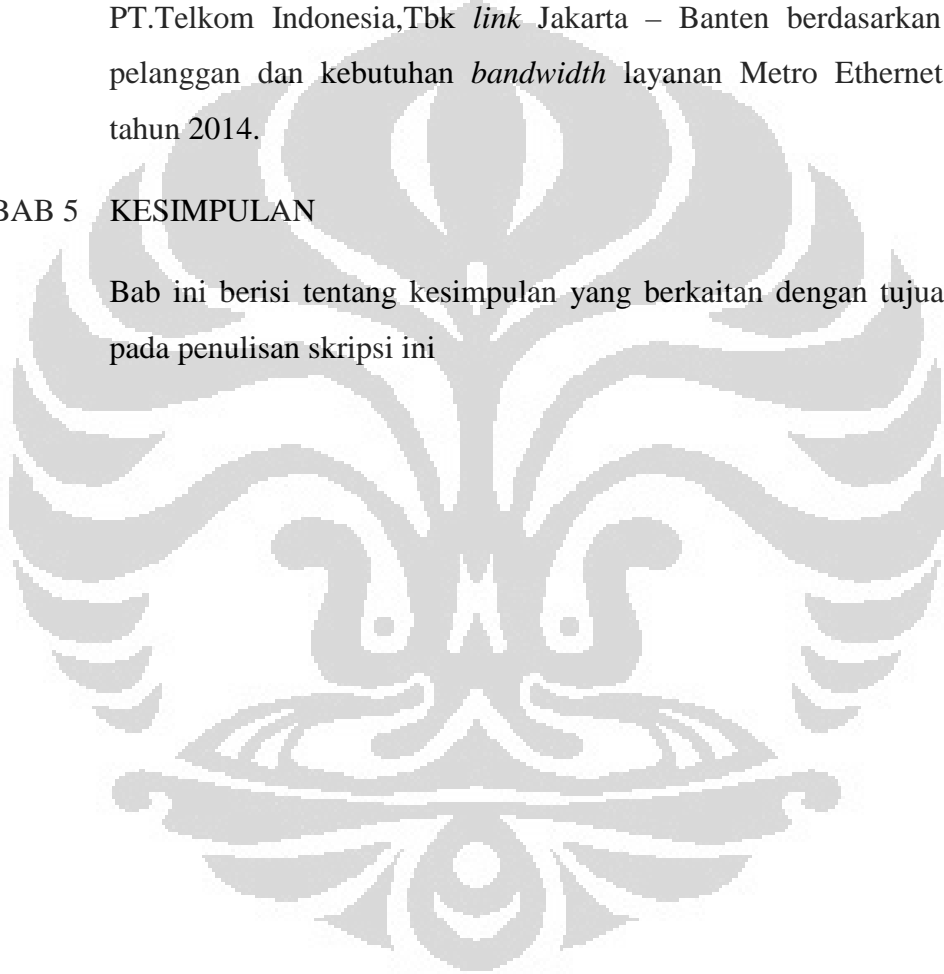
Bab ini berisikan tentang topologi jaringan dan data perencanaan transmisi *DWDM* PT.Telkom Indonesia,Tbk *link* Jakarta - Banten.

BAB 4 ANALISIS PERENCANAAN SISTEM TRANSMISI DWDM *LINK* JAKARTA - BANTEN

Bab ini berisikan tentang analisis perencanaan sistem transmisi *DWDM* PT.Telkom Indonesia,Tbk *link* Jakarta – Banten berdasarkan jumlah pelanggan dan kebutuhan *bandwidth* layanan Metro Ethernet hingga tahun 2014.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang berkaitan dengan tujuan bab 1 pada penulisan skripsi ini



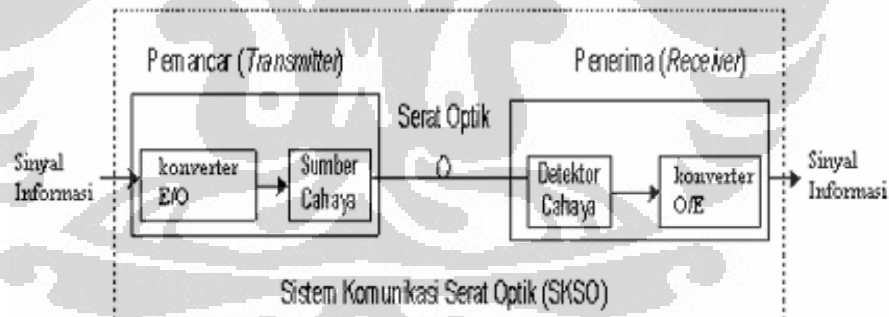
BAB 2

SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK

2.1 DASAR SISTEM KOMUNIKASI OPTIK

Serat optik merupakan saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Cahaya yang ada di dalam serat optik sulit keluar karena indeks bias dari kaca lebih besar daripada indeks bias dari udara. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser karena laser mempunyai spektrum yang sangat sempit. Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai saluran komunikasi.

Proses pengiriman informasi yang melalui serat optik menggunakan prinsip pemantulan sinyal optik yang berupa cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Secara umum, konfigurasi sistem transmisi serat optik ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Konfigurasi transmisi serat optik [1]

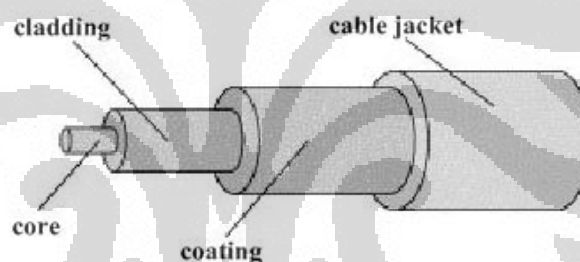
Pertama-tama sinyal awal tersebut berbentuk sinyal listrik yang diubah oleh konverter E/O pada pemancar (*transmitter*) menjadi gelombang cahaya dan diteruskan ke dalam sumber cahaya. Kemudian ditransmisikan melalui kabel serat optik menuju penerima (*receiver*) yang terletak pada ujung lainnya, hingga sinyal tersebut dapat dideteksi oleh detektor cahaya dan sinyal cahaya tersebut diubah kembali menjadi sinyal listrik oleh konverter O/E.

Dalam perjalanan dari *transmitter* menuju ke *receiver* akan terjadi redaman/rugi cahaya di sepanjang kabel serat optik dan konektor-konektornya. Oleh sebab itu, bila jarak antara *transmitter* dan *receiver* ini terlalu jauh akan diperlukan sebuah atau beberapa perangkat pengulang (*optical amplifier*) yang bertugas untuk memperkuat gelombang cahaya yang telah mengalami redaman.

2.1.1 Struktur Serat Optik

Sebuah serat optik terdiri atas inti (*core*), kulit (*cladding*), pelindung (*coating*), kulit kabel (*cable jacket*). Elemen dasar sebuah kabel serat optik adalah *cladding* dan *core*. Cahaya yang disalurkan merambat pada *core*, dimana pola rambatannya mengikuti pola cahaya masuk lalu cahaya dipantulkan oleh *cladding* sepanjang saluran.

Gambar 2.2 memperlihatkan struktur dasar sebuah kabel serat optik secara umum.

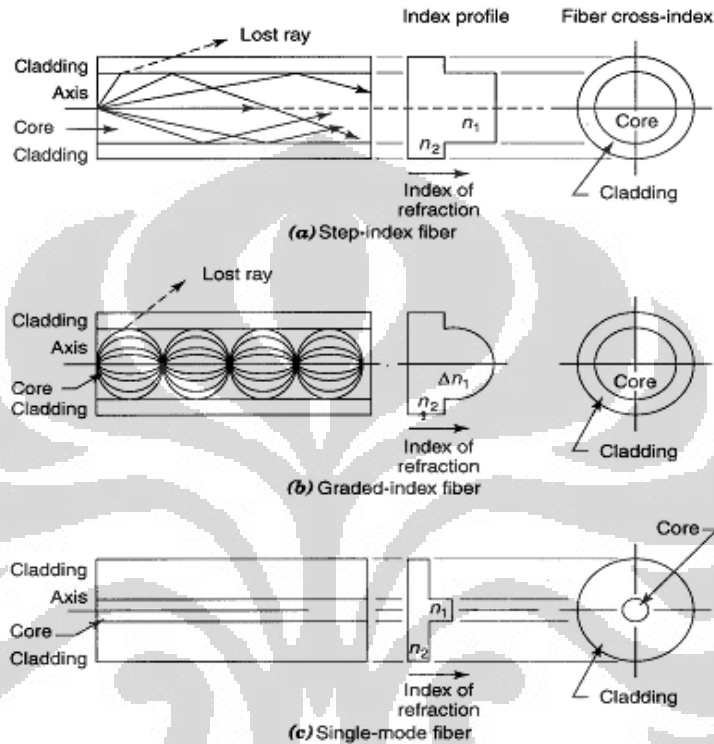


Gambar 2.2 Elemen dasar kabel serat optik [2]

Inti (*core*) adalah sebuah batang silinder terbuat dari bahan dielektrik/bahan silika (SiO_2), yang berfungsi untuk menyalurkan cahaya dari satu ujung ke ujung lainnya dimana indeks bias (n) *core* selalu lebih besar dari pada indeks bias *cladding* ($n_c > n_d$). Kulit (*cladding*) berfungsi sebagai cermin yaitu memantulkan cahaya agar dapat merambat ke ujung lainnya, hubungan indeks bias antara *core* dan *cladding* akan mempengaruhi perambatan cahaya pada *core*. Pelindung (*coating*) berfungsi sebagai pelindung mekanis yang melindungi serat optik dari kerusakan dan sebagai pengkodean warna pada serat optik. Kulit kabel (*cable jacket*) berfungsi sebagai pelindung keseluruhan bagian dalam kabel serat optik.

2.1.2 Jenis dan Panjang Gelombang Serat Optik

Berdasarkan jenisnya, serat optik terbagi menjadi tiga, yaitu *singlemode step-index*, *multimode step-index*, dan *multimode graded-index*. Berikut gambar mengenai ketiga jenis serat tersebut:



Gambar 2.3 Serat optik berdasarkan jenis dan mode perambatannya [3]

Singlemode step-index merupakan serat optik yang hanya merambatkan satu mode dengan indeks refraksi *core* sama pada keseluruhan bagian dan memiliki perubahan indeks refraksi secara tiba-tiba (*step*) pada perbatasan dengan *cladding*. Serat ini mempunyai *core* yang sangat tipis, dengan diameter sekitar 5-10 mikrometer. Pada serat tipe ini, sinyal merambat lurus ditengah serat tanpa memantul di sisi-sisi serat. Karena hanya merambatkan satu mode, serat *singlemode step-index* terbebas dari *intermodal dispersion*. Kemampuannya dalam membawa informasi yang banyak dan tingkat *intrinsic loss* yang rendah membuat serat ini digunakan untuk penyaluran data jarak jauh dan bandwidth besar seperti: TV kabel, internet, dan sinyal telepon [3].

Keunggulan serat *singlemode* dibandingkan serat *multimode*:

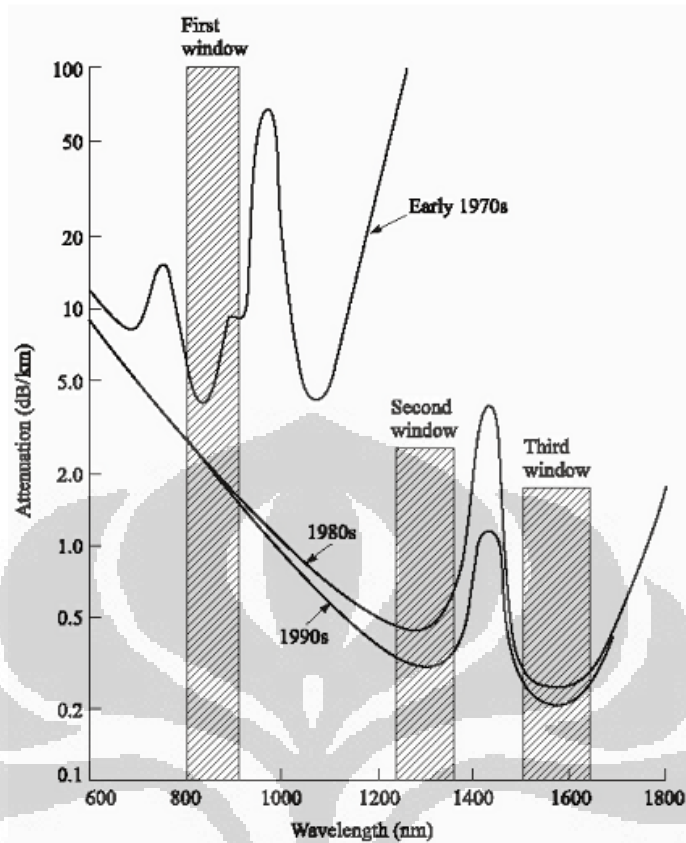
1. *Singlemode* cenderung mempunyai bandwidth yang lebih besar dan ideal untuk transmisi jarak jauh.
2. *Singlemode* tersedia untuk panjang gelombang 1310 dan 1550 nm, dimana pada panjang gelombang tersebut mempunyai atenuasi yang sangat kecil.
3. Jarak tempuh yang lebih jauh.

Keunggulan serat *multimode* dibandingkan serat *singlemode*:

1. Mempunyai radius yang besar sekitar 50-200 mikrometer, menyebabkan sinyal cahaya dapat lebih mudah masuk ke dalam serat dan juga lebih mudah dalam melakukan penggabungan antara serat yang sejenis.
2. Cahaya dapat dikirimkan menggunakan sumber *LED*, hal ini merupakan suatu keuntungan karena sumber *LED* lebih mudah dibuat, lebih murah, dan membutuhkan rangkaian yang tidak terlalu rumit dibandingkan *LD*.

Dari perbandingan di atas, tampak bahwa serat *singlemode* cocok untuk transmisi jarak jauh karena mempunyai performa yang sangat baik berupa *loss* yang sangat rendah. Sedangkan serat *multimode* mempunyai kelebihan dari sisi pengeluaran dana yang lebih rendah tetapi hanya cocok untuk digunakan pada transmisi jarak dekat. Dengan demikian, pada perencanaan sistem komunikasi serat optik Jakarta – Banten yang mempunyai jarak jauh ini digunakan serat *singlemode* untuk menjamin kualitas transmisi data yang baik.

Panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan pada serat optik adalah pada panjang gelombang dimana atenuasi per kilometernya paling kecil. Pada umumnya dipilih panjang gelombang pada kisaran spektrum ultraviolet dan inframerah; biasanya sekitar 850 nm, 1300 nm, dan 1550 nm. Perlu diperhatikan bahwa semakin besar panjang gelombang yang digunakan, atenuasi per kilometer akan semakin kecil.



Gambar 2.4 Window Transmisi Siskom Serat Optik [1]

Redaman fiber saat ini dapat ditampilkan dengan kurva Gambar 2.4, dimana fiber dapat dibagi atas 3 *window* atau band :

1. *Short Wavelength Band (First Window)*

Jalur ini berada pada 800 – 900 nm yang merupakan awal ditemuikannya fiber optik pada tahun 1970an dan awal 1980an. Jalur ini dapat menghemat biaya dalam hal sumber optik dan detektornya.

2. *Medium Wavelength Band (Second Window)*

Jalur ini berada pada 1310 nm dimana digunakan pada pertengahan tahun 1980. Pada kondisi ini dispersinya 0 (pada fiber *single mode*). Biaya sumber dan detektor optiknya lebih mahal namun redaman fibernya adalah 0,4 dB/km

3. *Long Wavelength Band (Third Window)*

Jalur ini berada pada 1510 nm dan 1600 nm yang mulai digunakan pada tahun 1990an hingga sekarang, dengan redaman terendah yang berada pada panjang

gelombang 1550 nm. Sebagai tambahan, penguat optik digunakan pada jalur ini.

Panjang gelombang yang digunakan pada perencanaan ini adalah 1550 nm untuk mendapatkan atenuasi yang sangat kecil mengingat jauhnya jarak transmisi dari Jakarta – Banten. Karakteristik dari serat optik *singlemode step-index* yang bekerja pada panjang gelombang 1550 nm adalah mempunyai atenuasi sebesar 0,3 dB/km, tidak mempunyai *intermodal dispersion*, dan mempunyai dispersi kromatik sebesar 3,5 ps/nm.km.

2.1.3 Sumber Optik

Serat optik mempunyai atenuasi yang rendah pada rentang panjang gelombang 0,8 μm hingga 1,8 μm . Ada dua sumber cahaya bekerja pada rentang ini: *light emitting diodes (LED)* dan *laser diode (LD)*. *LED* maupun *LD* umumnya terbuat dari bahan-bahan *aluminium-gallium-arsenid (GaAlAs)*, *aluminium-gallium-arsenid-phosphide (GaAlAsP)*, atau *gallium-indium-arsenid-phosphide (GaInAsP)*. Laser diode adalah teknologi yang berbasis pada teknik pembuatan *LED* dan memiliki prinsip yang sama dengan *LED* yaitu transmisi *carrier* pada *band gap* untuk menghasilkan radiasi foton. Tidak seperti *LED* yang menghasilkan pancaran spontan jika dikenai arus, *LD* menghasilkan pancaran foton lain yang dinamakan *stimulated emission*. Laser merupakan sumber cahaya yang sangat terfokus dengan berkas pancar yang lebih sempit dibandingkan *LED*. Laser dapat dimodulasikan hingga frekuensi yang lebih tinggi daripada *LED*, menghasilkan kemampuan pertukaran data yang lebih tinggi. Karakteristik dari *LD* yaitu mempunyai lebar *spectral* 0,1 nm (sangat sempit), daya transmit sebesar 8 milli-watt (9 dBm), dan *rise time* sebesar 60 ps. Selain itu, *LD* juga cenderung mempunyai *loss* yang lebih rendah dibandingkan *LED*. Karena keunggulan-keunggulan *LD* dibandingkan dengan *LED*, *LD* cocok untuk transmisi jarak jauh [1].

2.1.4 Detektor Optik

Setelah tiba di sisi *receiver*, cahaya yang dipancarkan dari ujung *link* serat optik harus dideteksi dan dikonversikan ke dalam pulsa-pulsa elektronik untuk pemrosesan lebih lanjut, sehingga informasi yang ditransmisikan dapat diterima. Ada dua tipe detektor yaitu *Avalanche Photo Detector (APD)* dan *Positive-Intrinsic-Negative Photo Diode (PIN)*. Keunggulan *APD* yang pertama adalah ia telah mempunyai amplifikasi sendiri. Kelemahan dari alat ini adalah ketika bekerja ia mengeluarkan suara yang berisik. Responsivitas alat mengindikasikan berapa banyak ampere yang dihasilkan dari detektor per satuan watt daya optik yang ia terima. Keunggulan *avalanche photodiode* yang kedua adalah memiliki respons yang lebih tinggi dibandingkan dengan *PIN photodiode* yang memerlukan penguat tambahan di bagian keluarannya [1]. Keunggulan lain yang penting dari *APD* yaitu mempunyai sensitivitas tinggi dan dapat mengakomodasi *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan *PIN photodiode*. Karakteristik dari *APD* yaitu mempunyai sensitivitas minimum hingga -38 dBm dan *rise time* sebesar 35 ps. Ini membuat *APD* cocok untuk transmisi jarak jauh (*long haul*).

2.2 Parameter Unjuk Kerja untuk Menganalisis Transmisi Serat Optik

Dalam perancangan suatu perencanaan sistem transmisi serat optik diperlukan suatu pengujian terhadap hasil perencanaan tersebut, hal ini diperlukan agar sistem yang direncanakan tersebut layak untuk diterapkan di lapangan. Adapun syarat-syarat yang diperlukan untuk menganalisis *link* transmisi serat optik, yaitu [1]:

1. Jarak transmisi yang diinginkan
2. *Data rate* atau *bandwidth* dari kanal
3. *Bit Error Rate (BER)*

Untuk memenuhi syarat-syarat ini, maka karakteristik yang berhubungan dengan komponen-komponen yang dipilih adalah sebagai berikut :

1. *Multimode* atau *Singlemode* fiber optik
 - a. Ukuran dari *core*
 - b. Profile indeks bias dari *core*
 - c. *Bandwidth* atau dispersi

- d. Redaman/*atenuasi*
 - e. *Numerical aperture*
2. Sumber optik *LED* atau laser dioda
- a. Panjang gelombang emisi
 - b. Daya keluaran
 - c. Pola emisi
3. *PIN* atau *APD*
- a. Responsivitas
 - b. Panjang gelombang operasi
 - c. Kecepatan
 - d. Sensitivitas

Dua analisis yang biasanya digunakan untuk memastikan bahwa sistem komunikasi serat optik yang diinginkan telah terpenuhi adalah melalui analisis *power link budget* dan *rise time budget*. Pada analisis *power link budget*, mula-mula menentukan rentang daya (*power margin*) antara *output transmitter* optik dan sensitivitas minimum dari *receiver* sehingga sesuai dengan spesifikasi dari *BER*. Kemudian batas ini dapat dialokasikan ke konektor, sambungan dan rugi-rugi serat, ditambah beberapa batasan lain yang diperlukan untuk degradasi atau efek temperatur dari komponen yang dipakai.

Apabila analisis *power link budget* telah memenuhi kriteria maka selanjutnya menggunakan analisis *rise time budget*. Perhitungan *rise time budget* merupakan metode untuk menentukan keterbatasan pengaruh dispersi pada saluran transmisi. Tujuannya adalah menganalisis apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi *bit rate* transmisi yang diinginkan.

2.2.1 Power Budget

Power Budget adalah perhitungan daya yang dilakukan pada suatu sistem transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran (rugi-rugi), sumber optik dan

sensitivitas detektor. Perhitungan daya sinyal dinyatakan dengan persamaan berikut [4]:

$$P_{det} = P_{tx} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_f \times L_{link}) - (\alpha_s \times N_s) - M_s \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

P_{det} = daya yang sampai pada detektor

P_{tx} = daya transmit laser dioda

α_c = redaman konektor

α_f = *attenuasi* kabel serat optik

L_{link} = Jarak total *link*

α_s = redaman *splice*

N_s = jumlah *splice*

N_c = jumlah konektor

M_s = Margin sistem

Pada rumus 2.1 apabila hasil nilai $P_{det} < P_{rx}$ maka sistem pada *link* tersebut perlu adanya penguat (*optical amplifier*).

2.2.2 Jarak Transmisi Maksimum *Optical Amplifier*

Jarak transmisi maksimum *optical amplifier* merupakan suatu nilai batas jarak tempuh *link* maksimum pada sistem jaringan optik apabila sistem tersebut tidak diberikan penguat maupun diberikan penguat, dan juga untuk menentukan batas jarak antar penguat tersebut. Perhitungan jarak transmisi maksimum dinyatakan dengan persamaan berikut [5]:

a. Jarak transmisi maksimum tanpa penguat

$$L_{sist} = \frac{P_{tx} - P_{rx} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f} \dots\dots\dots (2.2)$$

Apabila $L_{sist} < L_{link}$ maka sistem tersebut memerlukan penguat

b. Jarak transmisi maksimum dengan penguat

$$P_{out-amplifier} = P_{in-amplifier} + G \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$P_{tx'} = P_{out-amplifier} + P_{tx} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$L_{sist} = \frac{P_{tx'} - P_{rx} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

c. Jarak antar penguat

$$P_{in-1} + G - \alpha_{seg} - M_s = P_{in-2}$$

$$\alpha_{seg} = G - M_s \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$$L_{seg} = \frac{\alpha_{seg} + (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s)}{\alpha_f} \quad \dots\dots\dots$$

(2.7)

2.2.3 Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan keterbatasan akibat pengaruh dispersi pada saluran transmisi. Tujuannya adalah untuk menganalisis apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi *bit rate* transmisi yang diinginkan. *Rise time budget* dinyatakan dengan persamaan [5]:

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

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

dimana :

t_r = rise time total plan

t_{tx} = rise time sumber optik

t_{rx} = rise time detektor optik

t_f = dispersi total serat

D = dispersi kromatik

L = panjang *link*

Dalam kaitannya dengan *bit rate* sistem, *rise time budget* sistem dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

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

Untuk menjamin sistem dapat dilalui *bitrate* yang ditransmisikan maka $t_r \leq t_{sis}$.

2.2.4 Jumlah *Splice* dan Konektor

Jumlah *splice* (sambungan kabel) yang diperlukan sepanjang link transmisi dapat diperoleh berdasarkan persamaan [5]:

$$N_s = \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2 \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

L_{link} = jarak total *link* transmisi

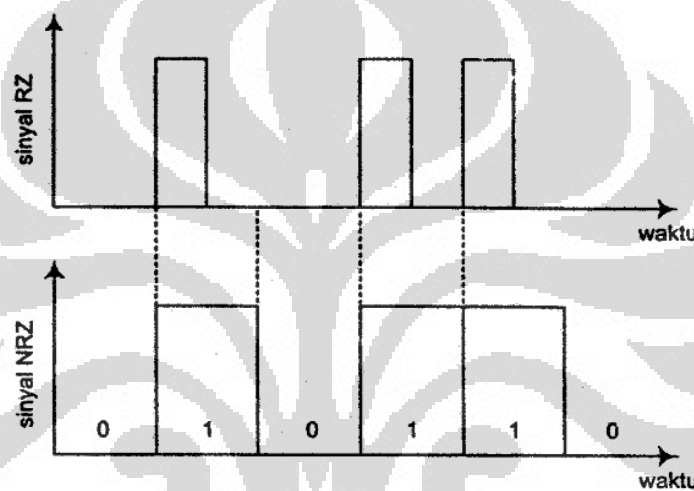
L_{kabel} = panjang maksimum kabel per gulungnya (3 km/roll)

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

2.3 Teknologi dan Perangkat Jaringan Serat Optik

2.3.1 *Line Coding*, *BER*, dan *PCM*

Line coding merupakan proses pengkodean sinyal yang menggunakan sekelompok aturan dalam simbol sinyal. Dalam desain *link* serat optik, penting untuk mempertimbangkan format sinyal optik yang ditransmisikan, karena dalam *link* data serat optik digital rangkaian keputusan di penerima harus dapat mengekstrak informasi waktu dari sinyal optik yang datang. Tujuan informasi waktu (pewaktuan) adalah agar sampling sinyal tepat, mempertahankan spasi pulsa dan mengindikasikan awal dan akhir tiap interval pewaktuan. Ada dua pilihan format modulasi yang dapat digunakan, yaitu *Return-to-Zero* (RZ) dan *Non-return-to-Zero* (NRZ), seperti pada Gambar 2.5 .



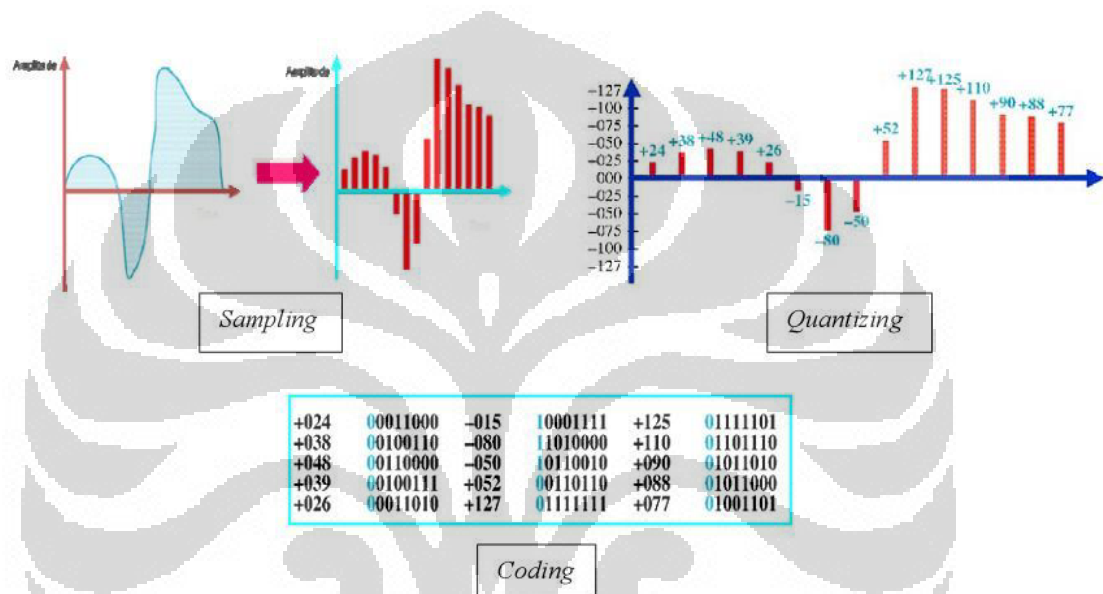
Gambar 2.5 Format Modulasi RZ dan NRZ [6]

Pada format RZ, pulsa optik yang mewakili bit 1 akan lebih pendek dibanding perioda pulsa dengan amplitudo yang menuju ke nol sebelum perioda akhir. Untuk format NRZ amplitudo pulsa untuk bit 1 tidak akan berubah selama satu perioda. Jenis pengkodean yang digunakan untuk perencanaan sistem komunikasi serat optik Jakarta - Banten adalah NRZ (*Non Return Zero*). NRZ disimbolkan 1 untuk kondisi positif (tegangan positif) dan 0 untuk kondisi negatif tanpa ada kondisi netral atau nol (*rest condition*).

BER (*Bit Error Rate*) merupakan banyaknya kesalahan pembacaan bit oleh *receiver* yang terjadi setiap detik. BER yang diberlakukan adalah 10^{-13} , hal ini berarti bahwa besarnya kemungkinan terjadi kesalahan dalam pembacaan bit

oleh receiver adalah sebesar 10^{-13} , atau dengan kata lain dalam 10^{-13} bit yang dikirimkan, ada 1 bit yang mengalami kesalahan dalam pembacaan. Dalam perencanaan sistem komunikasi serat optik Jakarta – Banten ini digunakan standar BER sebesar 10^{-13} untuk menjamin transmisi yang bermutu tinggi.

Sebelum ditransmisikan melalui sistem komunikasi digital, sinyal analog terlebih dahulu melalui proses PCM (*Pulse Code Modulation*) yang terdiri dari tiga tahap: sampling, quantizing dan coding.



Gambar 2.6 Pulse Code Modulation [5]

2.3.2 Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

Di dalam rekomendasi ITU-T G.707, transmisi SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) didefinisikan sebagai berikut : “*Synchronous Digital Hierarchy* merupakan suatu teknologi yang mempunyai struktur transport secara hierarki dan didesain untuk mengangkut informasi (*payload*) yang disesuaikan dengan tepat dalam sebuah jaringan transmisi”.

SDH adalah sistem multiplexing yang berdasarkan sistem *Time Division Multiplexing (TDM)* dimana suatu frame dibagi-bagi menjadi slot-slot waktu (*path/channel*). Frame tersebut mencakup *payload (muatan)* dan *overhead (OH)* yang memungkinkan SDH dapat menyalurkan berbagai macam service yang

berbeda dengan kecepatan yang berbeda dalam frame yang sama. *SDH* ini dilengkapi dengan *overhead* untuk mengatur link-link dari suatu *node* ke *node* yang lain.

Dalam ITU-T G.707, 708, 709 ditetapkan bit rate dasar sistem *SDH* adalah sebesar 155,52 Mbps. Kecepatan bit untuk tingkatan multipleks yang lebih tinggi merupakan kelipatan kecepatan dasar yaitu $155,52 \text{ Mbps} \times N$ yang didefinisikan sebagai kecepatan transmisi *STM-N* (*Synchronous Transfer Mode-N*). Kecepatan transmisi untuk *STM-N* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kapasitas dan Kecepatan Transmisi *SDH* [7]

<i>Bit-Rate</i>	<i>Rounded</i>	SDH	SDH Capacity
51.84 Mbit/s	51 Mbit/s	STM-0	21 E1
155.52 Mbit/s	155 Mbit/s	STM-1	63 E1
622.08 Mbit/s	622 Mbit/s	STM-4	252 E1
2488.32 Mbit/s	2.5 Gbit/s	STM-16	1008 E1
9953.28 Mbit/s	10 Gbit/s	STM-64	4032 E1
39813.12 Mbit/s	40 Gbit/s	STM-256	16128 E1

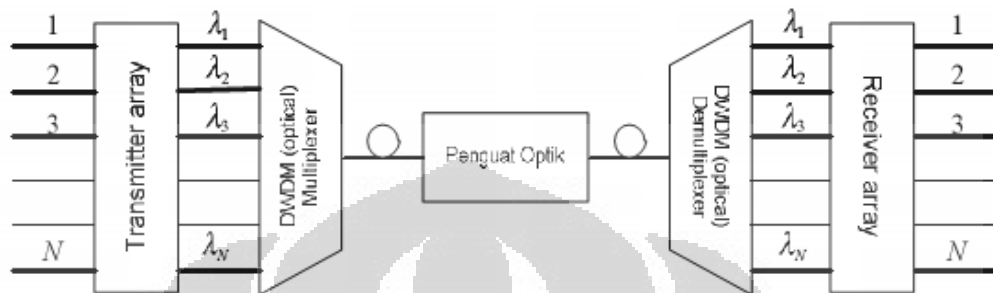
Teknologi *SDH* yang kami aplikasikan juga menggunakan *Dense Wavelength Division Multiplexing* (*DWDM*), karena dengan menggunakan *DWDM*, jumlah core optik yang diperlukan lebih sedikit jika dibandingkan dengan teknologi *SDH* tanpa *DWDM*. Hal ini disebabkan karena teknologi *DWDM* menempatkan setiap jalur data pada panjang gelombang cahaya yang berbeda, sehingga kita dapat mengirimkan banyak jalur data pada satu serat optik yang sama.

2.4 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

2.4.1 Konsep DWDM

Dense Wavelength Division multiplexing (*DWDM*) merupakan suatu metode penggabungan sinyal-sinyal optik dengan panjang gelombang operasi yang berbeda-beda yang ditransmisikan ke dalam sebuah serat optik tunggal

dengan memperkecil spasi antar kanal sehingga terjadi peningkatan jumlah kanal yang mampu dimultipleks. Transmisi data melalui jaringan optik yang umumnya digunakan untuk transmisi data yang memiliki jarak yang jauh antara satu titik terminasi (terminal) dengan titik terminasi lainnya[8].

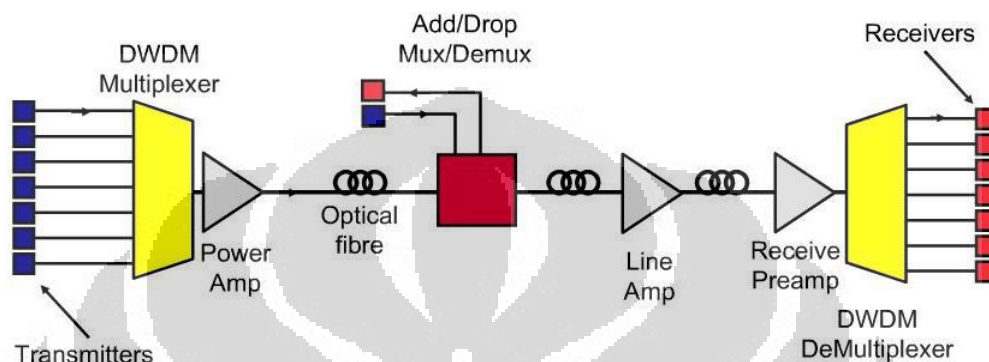


Gambar 2.7 Konfigurasi Sistem *DWDM* Secara Umum [9]

Pada dasarnya, konfigurasi sistem *DWDM* terdiri dari sekumpulan *transmitter* sebagai sumber optik yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Sinyal tersebut kemudian mengalami proses multiplexing, dan ditransmisikan secara simultan melalui serat optik yang sama. Di sisi receiver, sinyal tersebut kemudian di demultiplexing kembali dan dipisahkan berdasarkan panjang gelombangnya masing-masing. Gambar 2.7 menunjukkan konfigurasi sistem *DWDM* secara umum.

Teknologi *DWDM* berkembang dari keterbatasan pada sistem transmisi serat optik yang ada, dimana pertumbuhan trafik pada sejumlah jaringan *backbone* meningkat sangat pesat sehingga kapasitas *bandwidth* yang tersedia tidak mampu lagi mengakomodasi lonjakan trafik tersebut. Hal ini menjadi dasar pemikiran untuk memanfaatkan jaringan yang ada dibandingkan membangun jaringan baru yang tentunya akan menghabiskan biaya sangat besar. Di samping itu, *DWDM* dapat diintegrasikan pada jaringan transport yang ada, termasuk *Synchronous Digital Hierarchy (SDH)*. Oleh karena itu, teknologi *DWDM* yang beroperasi dalam sinyal dan domain optik memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan kapasitas transmisi yang besar dalam suatu jaringan.

2.4.2 Elemen Dasar DWDM



Gambar 2.8 Elemen dasar *DWDM* [9]

Gambar 2.8 merupakan elemen dasar untuk pentransmisian serat optik pada *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*, yang elemen-elemennya terdiri dari [10]:

1. *Wavelength Multiplexer/Demultiplexer*

Wavelength multiplexer berfungsi untuk memultiplikasi kanal-kanal panjang gelombang optik yang akan ditransmisikan dalam serat optik. Sedangkan *Wavelength demultiplexer* berfungsi untuk mendemultiplikasi kanal-kanal panjang gelombang optik yang ditransmisikan menjadi kanal-kanal panjang gelombang seperti semula.

2. *Optical Add/Drop Multiplexer (OADM)*

OADM digunakan untuk melewati sinyal dan melakukan fungsi *add* dan *drop* panjang gelombang ke atau dari serat optik tanpa memerlukan terminal SDH lagi, dan proses tersebut terjadi di level optik. *OADM* diaplikasikan pada sistem *long haul* atau pada jaringan dengan topologi *ring*.

3. *Optical Amplifier (OA)*

OA merupakan penguat optik yang berfungsi untuk memperbesar kemampuan jarak tempuh sinyal dan mempertahankan kualitasnya dengan melakukan proses penguatan sinyal optik tanpa proses konversi ke bentuk elektrik terlebih dahulu. Banyaknya panjang gelombang yang mampu dibawa oleh jaringan optik *DWDM*, terutama untuk *long haul* akan dipengaruhi oleh kemampuan *OA* dalam melakukan seluruh panjang gelombang yang melewatinya dan melakukan proses penguatan yang setara untuk seluruh panjang gelombang tersebut. Oleh karena itu, perangkat ini harus memiliki kemampuan mendeteksi sinyal secara presisi dan memiliki tingkat keakuratan dan *spacing* yang sempit.

Ada dua tipe penguat optikal yaitu :

- a. *Solid State Optical Amplifier* berupa penguat optikal yang terbuat dari bahan semikonduktor.
- b. *Fiber Amplifier* berupa penguatan pada serat optik yang terbagi atas *EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)* dan *Raman Amplifier*.

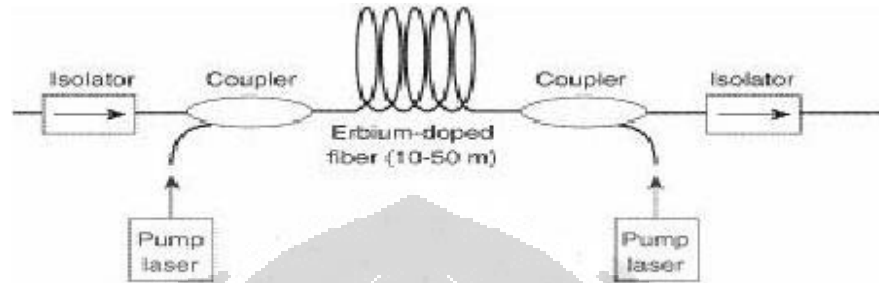
Sementara untuk jenis penguatan sinyal di dalam serat optik sendiri terdapat 3 macam yakni *power amplifier*, *pre amplifier* dan *line amplifier*. Pada Gambar 2.8 ditunjukkan ilustrasi tentang penguatan tersebut. Saat sinyal mulai ditransmisikan, maka dilakukan penguatan melalui *power amplifier*, yang ditempatkan pada setelah pengirim laser. Pada saat sinyal melewati serat optik, maka dilakukan penguatan kembali melalui *line amplifier* (terletak antara terminal pengirim dan penerima). Selain itu, *line amplifier* juga berfungsi untuk memperbaiki sinyal yang diterima sehingga pada saat akan dikirimkan kembali, sinyal menjadi bagus seperti semula. Pada sisi akhir, saat sinyal akan diterima kembali, maka dilakukan penguatan melalui *pre amplifier*, yang ditempatkan sebelum *photodetector*.

2.4.3 Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA merupakan salah satu jenis penguat optik yang turut memberikan kontribusi besar bagi perkembangan teknologi *DWDM*. Penguat ini melakukan proses penguatan sinyal optik tanpa terlebih dahulu melakukan proses konversi sinyal tersebut menjadi sinyal elektrik, seperti yang terdapat pada repeater atau

penguat elektronik. Secara fisik, *EDFA* merupakan serat optik aktif yang terdoping oleh unsur Erbium (Er^{3+}).

Struktur fisik sistem penguat optik secara umum dapat digambarkan seperti yang terlihat pada Gambar 2.9.



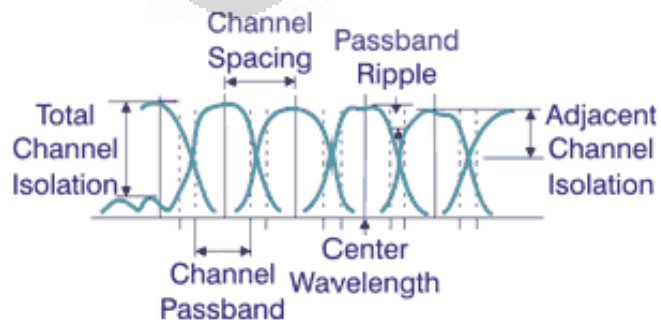
Gambar 2.9 Struktur Fisik EDFA [9]

Pada aplikasinya, *EDFA* dapat digunakan sebagai *Booster Amplifier* (ditempatkan setelah pengirim laser), *In-line amplifier* (terletak antara terminal pengirim dan penerima) dan *Pre-Amplifier* (ditempatkan sebelum *photodetector*).

2.4.4 Spasi Kanal

Spasi kanal merupakan sistem frekuensi minimum yang memisahkan 2 sinyal yang dimultipleksikan. Atau bisa disebut sebagai perbedaan panjang gelombang diantara 2 sinyal yang ditransmisikan. Amplifier optik dan kemampuan receiver untuk membedakan sinyal menjadi penentu dari spacing pada 2 gelombang yang berdekatan. Standarisasi spasi kanal perlu dilakukan agar sistem *DWDM* dari berbagai vendor yang berbeda dapat saling berkomunikasi.

Typical Optical Characteristics for DWDM Channels



Gambar 2.9 Karakteristik spasi kanal [8]

Faktor yang mengendalikan besar spasi kanal adalah *bandwidth* dan kemampuan penerima mengidentifikasi dua set panjang gelombang yang lebih rendah dalam spasi kanal. Kedua faktor itulah yang membatasi jumlah panjang gelombang yang melewati penguat. Saat ini terdapat dua pilihan untuk melakukan standarisasi kanal, yaitu menggunakan spasi lamda atau spasi frekuensi.

Hubungan antara spasi lamda dan spasi frekuensi adalah :

$$\Delta f = - \frac{c}{\lambda^2} \Delta \lambda \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

Δf = spasi frekuensi (GHz)

$\Delta \lambda$ = spasi lamda (nm)

λ = panjang gelombang daerah operasi

$c = 3 \times 10^8$ m/s

Pada *DWDM*, jarak atau *spacing* antara satu kanal dengan kanal lain atau satu panjang gelombang (λ) dengan panjang gelombang lain umumnya berkisar antara 1,6 ; 1,2 ; 1,0 ; 0,8 ; 0,4 ; dan 0,2 nm atau setara dengan 200, 150, 125, 100, 50, 25 GHz, dengan panjang gelombang daerah operasi yang digunakan $\lambda = 1550$ nm. Jarak atau *spacing* tersebut diperlukan agar tidak terjadi interferensi atau percampuran kanal yang masing-masing terdapat sinyal trafik, sehingga proses multipleksing dan demultipleksing nantinya berlangsung sesuai dengan yang diharapkan.

2.4.5 Band Frekuensi

Band frekuensi adalah rentang frekuensi modulasi yang dapat ditransmisikan pada suatu sistem sambil tetap dijaga agar daya keluarannya paling sedikit bernilai separuh dari respons maksimumnya. Untuk membuat sistem dapat bekerja, harus yakin bahwa laju transfer data yang memuaskan dapat dicapai, yang artinya harus memiliki bandwidth yang cocok.

Dalam sistem *DWDM* ini menggunakan rentang panjang gelombang 1530 nm – 1610 nm yang memiliki redaman minimum untuk transmisi yang jauh. Sistem *DWDM* pada umumnya beroperasi pada jalur frekuensi panjang gelombang 1550 nm. Hal ini disebabkan atenuasi yang rendah pada panjang gelombang 1550 nm.

Berdasarkan pembagian rentang frekuensi *DWDM* bekerja pada C dan L band yaitu antara 1530 sampai dengan 1565 nm (untuk C band) dan 1565 sampai dengan 1625 nm (untuk L band) [8].

2.4.6 Keunggulan Teknologi *DWDM*

Keunggulan teknologi *DWDM* adalah transparan terhadap berbagai trafik. Perbandingan teknologi serat optik konvensional dan teknologi *DWDM* adalah sebagai berikut[11]:

1. Kapasitas serat optik yang dipakai lebih optimal.
DWDM dapat mengakomodir banyak cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda dalam sehelai serat optik, sedangkan teknologi serat optik konvensional hanya dapat mentransmisikan satu panjang gelombang dalam sehelai serat optik.
2. Instalasi jaringan lebih sederhana.
Penambahan kapasitas jaringan pada teknologi serat optik konvensional dilakukan dengan memasang kabel serat optik baru, sedangkan *DWDM* cukup dengan menambahkan beberapa panjang gelombang baru tanpa harus melakukan perubahan fisik jaringan.
3. Penggunaan penguat lebih efisien.
DWDM menggunakan penguat optik yang dapat menguatkan beberapa panjang gelombang sekaligus dengan interval penguatan yang lebih jauh, sehingga penguat optik yang digunakan pada *DWDM* lebih sedikit dibandingkan pembangkit ulang yang digunakan pada teknologi serat optik konvensional.

2.4.7 Karakteristik Redaman dan Dispersi Serat Optik *DWDM*

Untuk mendukung sistem yang mentransmisikan informasi dengan kapasitas tinggi, pemilihan serat optik yang tepat sebagai media transmisi juga perlu diperhatikan. Ada dua tipe serat optik yang umum digunakan pada sistem *DWDM*, yaitu [8]:

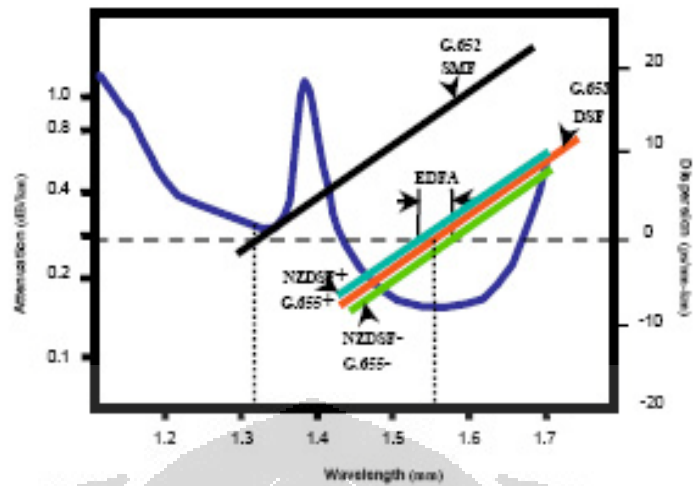
a. *Non Dispersion Shifted Fiber (NDSF)*

Serat optik *NDSF* juga dikenal sebagai *Standard Single Mode Fiber (SSMF)* dan dibuat berdasarkan rekomendasi ITU-T G.652. *NDSF* memiliki nilai koefisien dispersi kromatik (D) mendekati nol di daerah panjang gelombang 1310 nm. Sedangkan pada daerah 1550 nm, koefisien dispersi maksimumnya adalah 18 ps/nm.km.

b. *Non Zero Dispersion Shifted Fiber (NZDSF)*

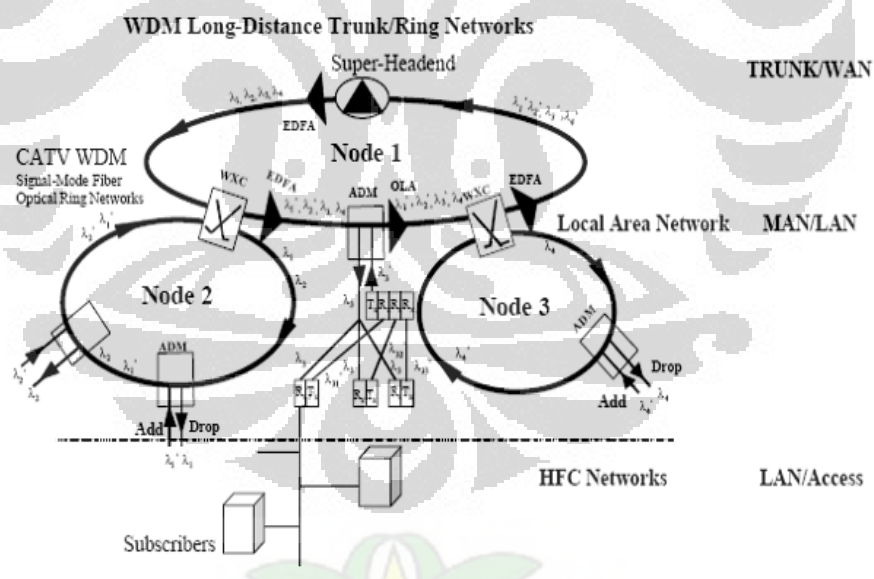
Dibandingkan *NDSF/SSMF*, serat optik *NZDSF (G.655)* memiliki koefisien dispersi kromatik yang lebih rendah pada daerah panjang gelombang 1550 nm, yaitu maksimum 6 ps/nm.km.

Kedua tipe serat optik ini dirancang agar dapat beroperasi dengan baik pada daerah panjang gelombang 1550 nm. Karakteristik yang membedakan keduanya adalah nilai koefisien dispersi kromatik dan redaman serat, dimana pada daerah kerja *DWDM*, serat optik *NZDSF* memiliki koefisien dispersi dan redaman yang lebih rendah. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Karakteristik Tipe Fiber Berdasarkan Standar ITU [8]

2.5 Metro Ethernet (Metro-E)



Gambar 2.11 Konfigurasi jaringan WDM [12]

Pada dasarnya, ada 3 jenis jaringan berdasarkan cakupan luas, yaitu [12] :

1. *Local Area Network (LAN)*

LAN adalah sejumlah komputer yang saling dihubungkan bersama di dalam satu areal tertentu yang tidak begitu luas, seperti di dalam satu kantor atau gedung.

2. *Metropolitan Area Network (MAN)*

Jaringan ini lebih luas dari jaringan LAN dan menjangkau antar wilayah dalam satu provinsi.

3. *Wide Area Network (WAN)*

Jaringan ini mencakup area yang lebih luas dan mampu menjangkau batas provinsi bahkan sampai negara yang ada di belahan bumi lain.

Pada Gambar 2.11 dapat dilihat konfigurasi jaringan dalam pentransmisian WDM melalui *single mode fibre* pada jaringan WAN, MAN, dan LAN. Sebagai contoh, data informasi yang ditransmisikan ialah berupa gelombang cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Untuk pentransmisian WAN menuju MAN, AWG dapat melakukan drop panjang gelombang yang diinginkan ke tujuan di jaringan MAN tanpa mengganggu informasi yang lainnya. Jika informasi tersebut tidak ingin di drop pada jaringan MAN, maka AWG cukup melewatkan informasi tersebut pada jaringan WAN dengan sistem *cross connect*.

2.5.1 Konsep Metro-E

Jaringan Metro Ethernet umumnya didefinisikan sebagai *bridge* dari suatu jaringan atau menghubungkan wilayah yang terpisah, bisa juga menghubungkan LAN dengan WAN atau *backbone network* yang dimiliki oleh *service provider*. Jaringan Metro Ethernet menyediakan layanan-layanan menggunakan Ethernet sebagai *core protocol* dan aplikasi *broadband*. Teknologi yang berbasis IP ini merupakan alternatif teknologi *transport SDH* berbasis *Time Division Multiplexing (TDM)* yang kemudian dapat diintergrasikan pada teknologi WDM. Sebagai jaringan WAN, Metro Ethernet dimiliki oleh para *service provider* yang menyewakan kepada suatu badan, berbeda dengan LAN Ethernet yang dimiliki biasanya hanya oleh suatu organisasi [12].

Metro Ethernet sebenarnya sama dengan Ethernet atau Fast Ethernet pada *Local Area Network* (LAN), tetapi perbedaannya adalah LAN hanya pada satu gedung sedangkan Metro Ethernet ini adalah untuk menghubungkan dua/lebih LAN pada gedung yang berbeda. Sehingga Metro Ethernet dapat digabungkan menjadi kelompok WAN walaupun pada mulanya adalah teknologi LAN yang diakses melalui jaringan metro optik.

Pengembangan Ethernet optik pada jaringan metropolitan dipromosikan oleh Metro Ethernet Forum (MEF) yang didirikan pada bulan Mei tahun 2001 oleh beberapa perusahaan jaringan. Pada saat ini, Metro Ethernet telah digunakan untuk melayani kebutuhan data *broadband* untuk *corporate customer* pada *High Rise Building* (HRB), dan *Small office Home office* (SoHo).

2.5.2 Komponen Jaringan Metro-E

Konfigurasi dasar implementasi Metro Ethernet terdiri atas perangkat *core*, *edge*, *customer edge*. Perangkat-perangkat tersebut membentuk suatu tingkatan-tingkatan dalam mengagregasi layanan mulai dari *customer* ke jaringan *core*. Komponen perangkat dari jaringan Metro Ethernet beserta tingkatan masing-masing perangkat ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Gambar 2.12 Komponen Jaringan Metro Ethernet [13]

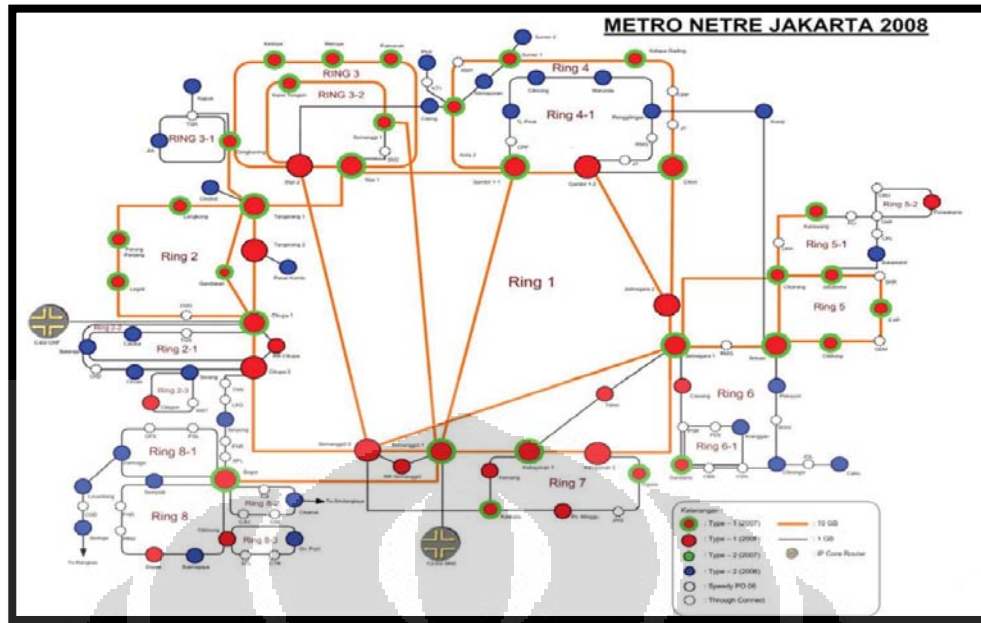
Source: Telkom PORTAL

Perangkat-perangkat *consumer* dapat saling berkomunikasi melalui koneksi *virtual* yang terbentuk pada jaringan yang disebut dengan *Virtual Private Network* (VPN).

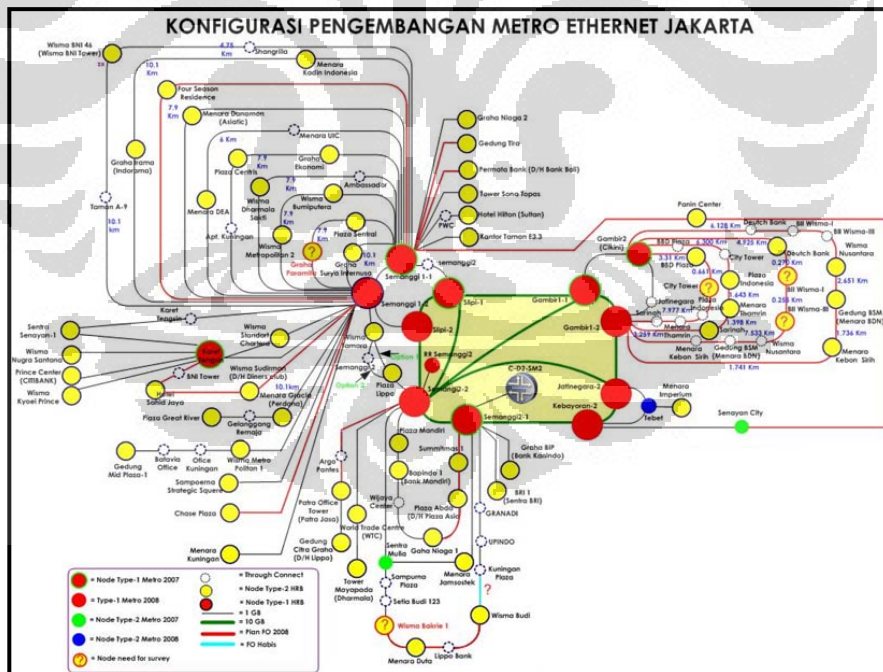
2.5.3 Layanan Jaringan Metro-E Existing PT.Telkom

Sejak pertengahan November tahun 2007, PT Telkom sudah mulai mengembangkan infrastruktur jaringan Metro Ethernet di beberapa wilayah metropolitan di Indonesia termasuk area Jakarta dengan jumlah node perangkat Metro Ethernet sebanyak 142 lokasi yang tersebar di wilayah area Jakarta (Jakarta-Bogor-Depok-Tangerang-Bekasi) dengan dukungan sistem serat optik (48/96/144 *core*) yang terkoneksi secara *mesh* (jejaring) di antara node-node layanan Telkom metro [14]. Konfigurasi jaringan Metro Ethernet yang mendukung layanan Telkom Metro area Jakarta terbagi atas dua bagian yang terintegrasi dalam *system platform* yang sama, yaitu jaringan Metro Ethernet Telkom Sambungan Telepon Otomatis (STO) dan jaringan Metro Ethernet Telkom *High Rise Building* (HRB). Detail jaringan Metro Ethernet *existing* dimuat dalam Lampiran 3.

Konfigurasi jaringan Metro Ethernet yang mendukung layanan Telkom Metro di area Jakarta-Banten terbagi atas dua bagian yang terintegrasi dalam *system platform* yang sama, yaitu 11 node STO TELKOM *Network Regional* (NetRe) area Jakarta – Banten (Ring I) pada Gambar 2.13 dan 72 node HRB yang tersebar pada segitiga emas Jakarta (Jl. Gatot Subroto – Jl. Rasuna Said – Jl. Jend. Sudirman) dan Jl. MH.Thamrin (Gambar 2.14). Gambar 2.13 menunjukkan jaringan Metro Ethernet *existing* yang dimiliki oleh TELKOM pada area Jakarta secara keseluruhan.



Gambar 2.13 Konfigurasi area cakupan MEN TELKOM-STO Area Jakarta [14]
 Pada Gambar 2.13 dapat dilihat bahwa Telkom telah memiliki jaringan optik dengan 11 STO yang tersebar di area Jakarta-Banten sehingga dapat mendekatkan jaringan ke pelanggan.



Gambar 2.14 Konfigurasi jaringan Metro yang melingkupi 72 HRB Tahun 2008 [14].

Dan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, jaringan metro TELKOM area Jakarta-Banten (Ring I) juga terdiri atas jaringan Metro HRB yang menghubungkan 72 HRB ke jaringan Metro Ethernet. Jaringan metro Telkom HRB tahun 2008 ditunjukkan pada Gambar 2.14.

2.6 Regresi Linear dengan Metode *Least Square*

Metode *least square* mengasumsikan bahwa kurva yang paling tepat adalah kurva yang memiliki total kuadrat deviasi yang minimum (*least square error*) dan sekumpulan data yang diberikan. Dalam hal ini, x sebagai variabel bebas adalah jumlah pelanggan pada triwulan tertentu dan y sebagai variabel terikat adalah kebutuhan *bandwidth* pada triwulan tersebut, maka regresi linier dari hubungan antara x dan y tersebut dinyatakan sebagai [15]:

$$\hat{y} = a + bx \quad (2.14)$$

Koefisien a dan b didapatkan dengan persamaan:

$$\begin{cases} a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \\ b = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \end{cases} \quad (2.15)$$

Kekuatan hubungan linieritas antara x dengan y dihitung dari koefisien korelasi r .

$$r(x, y) = \frac{n\sum((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{[n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (2.16)$$

dimana arti dari koefisien korelasi r :

- 1) bila $0,90 < r < 1,00$ atau $-1,00 < r < -0,90$; artinya hubungan yang sangat kuat.
- 2) bila $0,70 < r < 0,90$ atau $-0,90 < r < -0,70$; artinya hubungan yang kuat.
- 3) bila $0,50 < r < 0,70$ atau $-0,70 < r < -0,50$; artinya hubungan yang moderat.

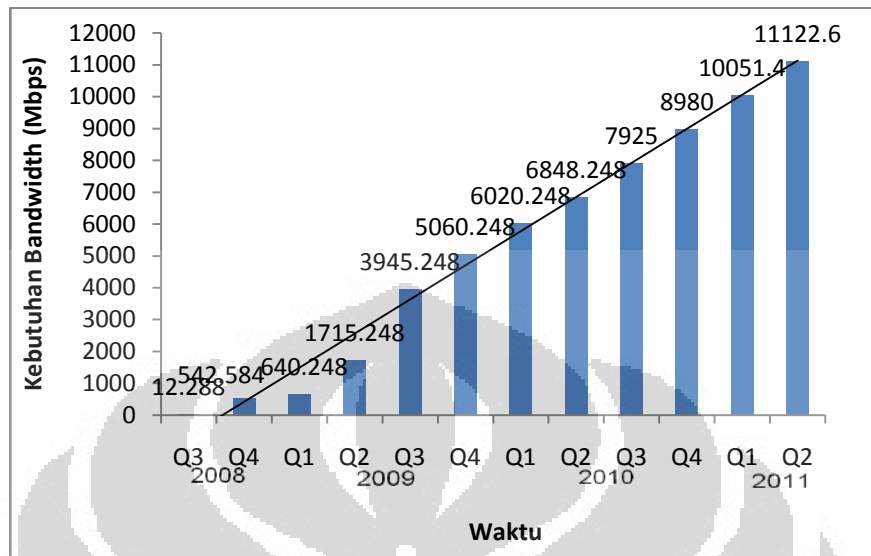


BAB 3
PERENCANAAN SISTEM TRANSMISI DWDM
(DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)

3.1 Kebutuhan *Bandwidth* Metro-E PT.Telkom pada Tahun 2008 hingga Triwulan II 2011

Gambar 3.1 menunjukkan grafik kebutuhan *bandwidth* terhadap waktu yang dirangkum dari implementasi jaringan Metro Ethernet pada tahun 2008 hingga tengah tahun pertama tahun 2011. Pada triwulan ketiga tahun 2008 besarnya kebutuhan *bandwidth* Metro Ethernet yaitu sebesar 12,3 Mbps. Pertumbuhan kebutuhan *bandwidth* relatif rendah lambat hingga tengah tahun kedua tahun 2009. Titik belok kecenderungan pertumbuhan kebutuhan *bandwidth* terjadi pada triwulan ketiga tahun 2009 dengan kebutuhan *bandwidth* pada saat itu sebesar 3,9 Gbps. Pada Tabel 3.1 ditunjukkan besarnya kebutuhan *bandwidth*

terus meningkat hingga pada triwulan kedua tahun 2011 dengan besar kebutuhan *bandwidth* adalah sebesar 11,122 Gbps.



Gambar 3.1 Besarnya kebutuhan *bandwidth* terhadap waktu

Tabel 3.1 Besar kebutuhan *Bandwith* tahun 2008 – 2011

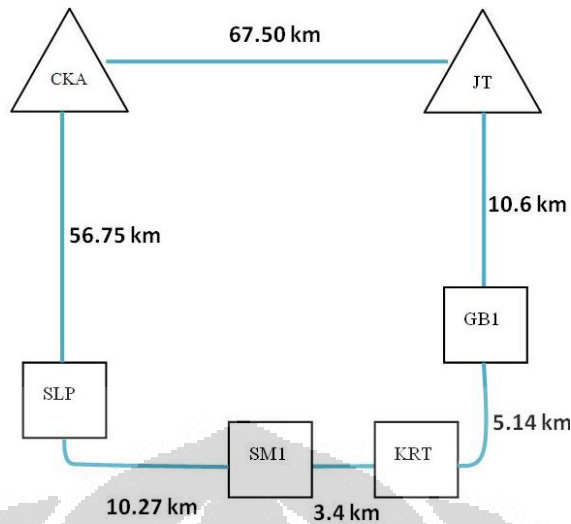
Tahun	Periode	Jumlah Bandwidth (Mbps)
2008	Juli – September	12.288
	Oktober – Desember	542.584
2009	Januari – Maret	640.248
	April – Juni	1715.248
	Juli – September	3945.248
	Oktober – Desember	5060.248
2010	Januari – Maret	6020.248
	April – Juni	6848.248
	Juli – September	7925
	Oktober – Desember	8980
2011	Januari – Maret	10051.4
	April – Juni	11122.6

Kebutuhan *bandwidth* ini akan terus naik sejalan dengan usaha Telkom dalam upaya menarik pelanggan. Telkom terus memperluas jaringan Metro Ethernet dengan berbagai variasi kapabilitas dan fitur yang dapat ditawarkan dengan kecepatan penetrasi penggunaannya yang relatif tinggi sehingga penggunaan *broadband* terus meluas pada berbagai kalangan. Beragam konten dan berbagai aplikasi juga bermunculan yang memperluas pemenuhan kebutuhan dari sekedar berkomunikasi dan mengakses informasi menjadi kebutuhan untuk bersosialisasi secara *online*, bekerja dan berbisnis *online*, bertransaksi perbankan *online*, berbelanja *online*, hingga sekedar bersenang-senang melalui *game* & musik, video conference, percakapan suara jarak jauh melalui media internet (VoIP), dan menonton TV secara *online* (IPTV). Dengan semakin tingginya penetrasi penggunaan layanan *broadband*, semakin meluasnya konten dan aplikasi *broadband* di berbagai segi kehidupan, dan semakin meningkatnya ketergantungan masyarakat akan akses komunikasi dan informasi tanpa batas karena gaya hidup yang semakin *ubiquitous*, maka kebutuhan *bandwidth* akan terus mengalami peningkatan.

Pada saat ini, serat optik menjadi media transmisi yang layak dikedepankan penggunaannya dalam penyediaan akses karena memiliki kapabilitas dan kapasitas yang paling tinggi dibandingkan dengan media transmisi lainnya. Dalam menyediakan akses informasi dengan volume *bandwidth* yang besar, serat optik memiliki prospek yang menjanjikan.

3.2 Topologi Jaringan Serat Optik

Topologi jaringan dengan bentuk *ring* merupakan konfigurasi yang dipilih untuk diimplementasikan pada perencanaan ini, dengan mempertimbangkan kemampuan dalam memenuhi layanan yang ditawarkan sekaligus menciptakan kehandalan yang tinggi.



Gambar 3.2 Topologi Jaringan Serat Optik DWDM Jakarta – Banten

Pada Gambar 3.2, Cikupa dan Jatinegara merupakan terminal utama (*backbone*) yang berfungsi sebagai pusat gerbang keluar optik yang akan menghubungkan ke antar kota lainnya, dengan perangkat yang digunakan adalah perangkat milik Alcatel Lucent. Masing-masing terminal yang menghubungkan Jakarta – Banten tersebut dihubungkan secara *direct* maupun *non direct*, dan untuk sub ruas lebih merinci dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jarak Kabel Serat Optik

NO	LINK	RUAS	JARAK	PJ. KABEL
	End to End		KM	(KM) TOTAL
1	CKA - JT	CKA - KB	53.58	
		KB - JT	13.92	
				67.50
2	JT - GB1	JT - GB1	10.60	
				10.60
3	GB1 - KRT	GB1 - KRT	5.14	
				5.14
4	KRT - SM1	KRT - SM1	3.4	
				3.40
5	SM1 - SLP	SM1 - KRT	3.40	
		KRT - SLP	6.87	
				10.27
6	SLP - CKA	SLP - KDY	7.37	

		KDY - CKG	10.95	
		CKG - TAN	12.93	
		TAN - PSK	16.75	
		PSK - CKA	8.76	
				56.75
Σ Total				153.66

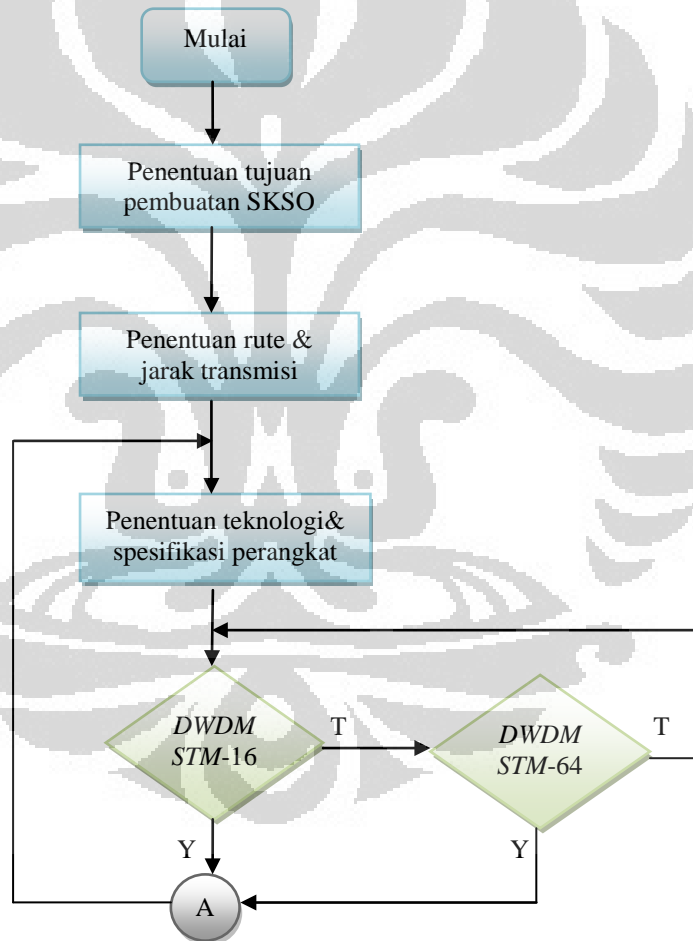
Pemilihan rute atau jalur serat optik merupakan salah satu komponen yang harus benar-benar dipertimbangkan karena hal ini menyangkut beberapa hal, yaitu panjang kabel yang akan dibutuhkan, jumlah sambungan kabel atau *splice* yang akan dibutuhkan hingga pemilihan jenis kabel serat optik serta jumlah *power transmit* yang dibutuhkan hingga perlu atau tidaknya komponen penguat pada jaringan serat optik, agar sinyal informasi dapat sampai pada penerima dengan baik. Untuk itu rute dari kabel serat optik disarankan untuk mengikuti jalan yang menghubungkan masing-masing kota yang ingin dilewati oleh serat optik. Cara pemilihan rute ini memiliki keuntungan antara lain :

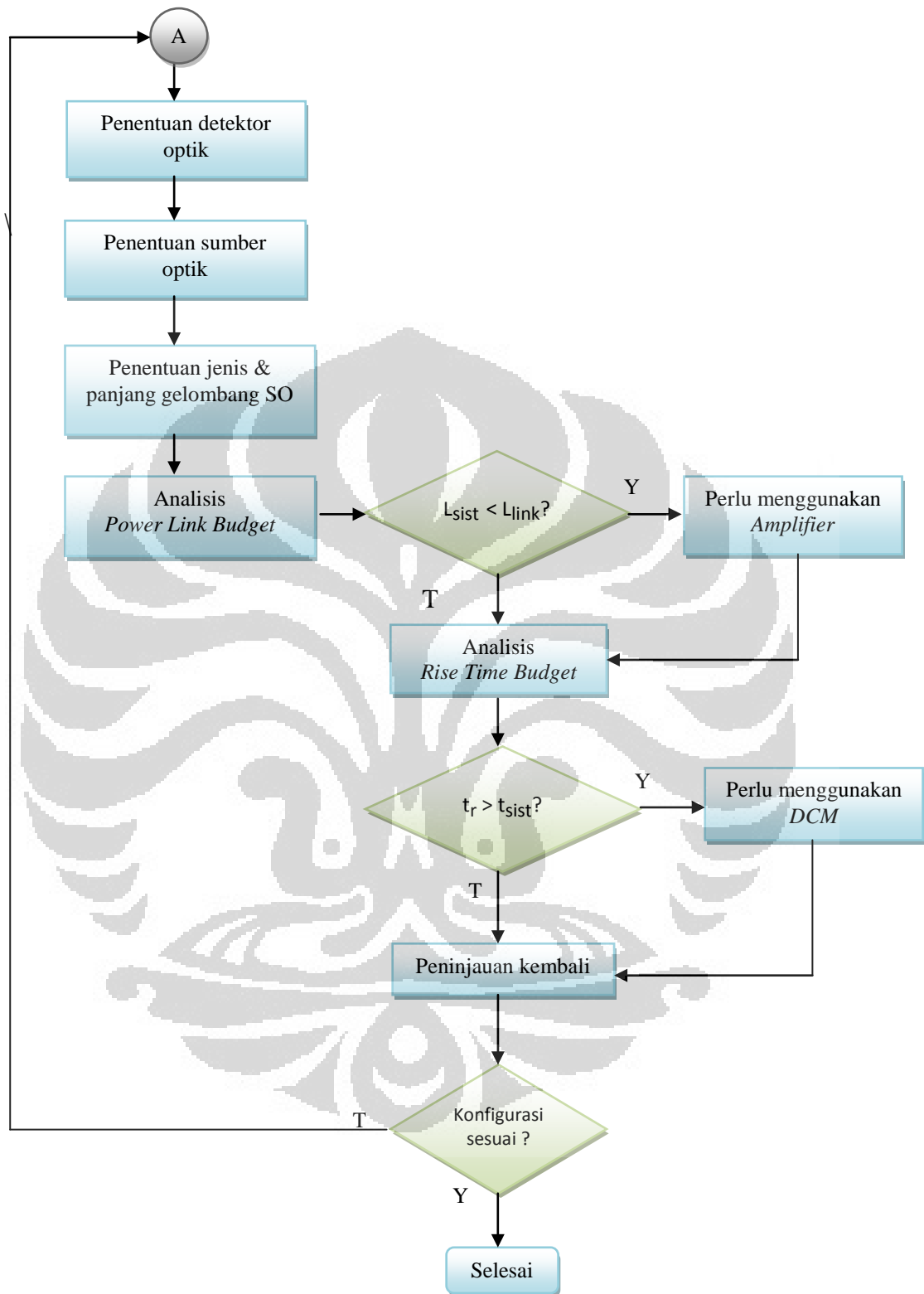
- a. Memudahkan *survey* di lapangan
- b. Memudahkan instalasi serat optik
- c. Memudahkan *maintenance*/pemeliharaan serat optik

Kabel yang digunakan pada perencanaan ini adalah kabel darat yang mempunyai 96 inti serat, kabel ini akan ditanam dalam tanah dengan kedalaman kurang lebih 1,5 m. Hasil survey lapangan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa jarak total yang menghubungkan Jakarta dengan Banten adalah sejauh 153,66 km, perinciannya dapat dilihat pada tabel 3.2.

3.3 Flow Chart Perencanaan Jaringan Serat Optik

Gambar 3.3 berikut menunjukkan *flow chart* suatu perencanaan jaringan serat optik yang akan digunakan pada perencanaan jaringan serat optik *DWDM* untuk link Jakarta – Banten.





Gambar 3.3 Flow Chart Perencanaan Jaringan Serat Optik

3.4 Penjelasan *Flow Chart* Perencanaan Jaringan Serat Optik

Dari *flowchart* pada Gambar 3.3, bahwa dalam perencanaan pembangunan jaringan serat optik, pertama-tama perlu mengetahui tujuan dalam pembangunan SKSO untuk suatu daerah. Hal yang perlu diketahui adalah berapa besar kebutuhan *bandwidth* yang diperlukan berdasarkan jumlah pelanggan pada daerah tersebut, dan mempertimbangkan apakah daerah tersebut benar-benar memerlukan suatu sistem komunikasi yang berkualitas tinggi, agar usaha pembangunan SKSO yang sangat besar benar-benar bisa menjadi investasi bagi perlembangan daerah tersebut. Dalam perencanaan ini, Cikupa merupakan sebuah kecamatan di kabupaten Tangerang, provinsi Banten (Indonesia), yang menghasilkan berbagai macam produk, dengan adanya perumahan Citra Raya, kawasan industri dan pergudangan Cikupamas sebagai faktor penunjang daerah yang membuat perkembangan kecamatan Cikupa tahun-tahun belakangan ini termasuk cepat. Jakarta sebagai kota metropolitan di Indonesia merupakan pangsa pasar strategis bagi pemasaran produk-produk kecamatan Cikupa. Komunikasi antar instansi pemerintah maupun kawasan industri sangat vital peranannya bagi kelancaran administrasi dan perekonomian suatu daerah. Dengan adanya SKSO yang menghubungkan Jakarta dengan Cikupa (Banten) diharapkan komunikasi antara kedua daerah menjadi bertambah lancar dan murah sehingga tercapai kesejahteraan masyarakat yang semakin meningkat. Beberapa penawaran tipe layanan aplikasi SKSO yang dibangun dari Jakarta ke Cikupa (Banten) akan digunakan untuk keperluan-keperluan komunikasi adalah seperti berikut :

Tabel 3.3 Laju Informasi Berbagai Layanan

Tipe Layanan	Data Rate
Remote Education	1,5 – 3 Mbps
Electronic Shopping	1,5 – 6 Mbps
Data transfer/telecommuting	1 – 3 mbps
Videoconferecing	0,384 – 2 Mbps
Voice (single channel)	64 Kbps

Kedua, menentukan rute transmisi yang cocok dan berapa jarak yang harus ditempuh agar tujuan kita dapat tercapai. Pada penentuan jarak rute jaringan serat optik, kita perlu memilih jenis jaringan serat optik yang hendak dibangun (*bus, mesh, ring, point to point, atau star*).

Ketiga, menentukan teknologi dan spesifikasi perangkat yaitu jenis modulasi, multipleksing, dan besar *bandwidth* yang akan digunakan. Dalam mempertimbangkan jenis modulasi dan multipleksing perlu pertimbangan akan biaya investasi pemasangan perangkat. Dalam mengetahui besar *bandwidth*, kita perlu mempertimbangkan kebutuhan *traffic* di wilayah pemasangan serat optik baik kebutuhan sekarang maupun kebutuhan masa datang.

Keempat, menentukan detektor optik. Pemilihan detektor optik diutamakan dibandingkan komponen-komponen lainnya karena dengan mengetahui detektor optik yang digunakan terlebih dahulu, kita dapat memastikan bahwa sinyal yang sampai ke bagian penerima masih dapat dideteksi dengan baik oleh detektor optik. Pilihan detektor optik ada dua: *PIN photodiode* dan *Avalanche photodiode*.

Kelima, menentukan sumber optik yang digunakan. Pilihan sumber optik untuk jarak dekat adalah LED. Sedangkan untuk jarak jauh umumnya digunakan Laser Diode (LD).

Keenam, kita tentukan jenis serta optik yang akan kita gunakan. Untuk jarak sangat dekat digunakan *step-index multimode*, untuk jarak dekat hingga menengah digunakan *graded-index multimode*, untuk jarak jauh atau kepentingan transmisi yang berkualitas sangat tinggi dapat digunakan *step-index singlemode*. Setelah itu tentukan panjang gelombang yang akan digunakan. Serat *multimode* dirancang untuk beroperasi pada 850 dan 1300 nm, sedangkan serat *singlemode* dioptimalkan untuk panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm. Dalam menentukan panjang gelombang serat optik yang digunakan, perlu dicermati bahwa semakin besar panjang gelombang serat optik, maka atenuasi per kilometer pada serat juga akan semakin kecil.

Setelah menjalani keenam langkah di atas, selanjutnya melakukan analisis power budget. Analisis *power link budget* berguna untuk memastikan apakah suatu sumber optik (*LED/LASER*) mempunyai daya yang cukup untuk menghasilkan sinyal yang dapat dideteksi pada bagian penerima (*PIN photodiode/Avalanche Photodiode*). Setelah melakukan analisis *power link budget*, kemudian menentukan apakah perlu digunakan *repeater/amplifier* untuk menjaga kekuatan daya sinyal.

Langkah selanjutnya, melakukan analisis *rise time budget* untuk memastikan apakah sinyal yang sampai ke detektor optik masih dapat diterima dengan baik tanpa terjadi distorsi yang mengganggu pembacaan sinyal. Setelah melakukan analisis *rise time budget*, kemudian menentukan apakah perlu digunakan *Dispersion Compensator Module (DCM)* untuk mengkompensasi efek dispersi sampai jarak tertentu. Jika perhitungan *rise time budget* memenuhi syarat, maka kita dapat melanjutkan dengan menghitung biaya untuk pembangunan sistem komunikasi serat optik tersebut. Namun apabila analisis yang dibuat belum terpenuhi, kita harus meninjau kembali sistem yang kita rancang.

3.5 Penentuan Teknologi Transport DWDM

Trend pentransmisian serat optik yang digunakan oleh PT. Telkom Indonesia, Tbk saat ini adalah berbasis *IP over WDM*, dimana pentransmisian melalui *Synchronous Digital Hierarchy (SDH)* kini sudah mulai ditinggalkan. Oleh sebab itu, kapasitas kanal yang dibutuhkan akan sangat besar untuk memenuhi kebutuhan *link* ini di masa yang akan datang. Kebutuhan kapasitas kanal yang dapat diprediksi pada suatu area berdasarkan berapa besar kebutuhan bandwidth terhadap banyak jumlah pelanggan di area tersebut. Data prediksi kebutuhan kapasitas kanal ini dibutuhkan agar jaringan serat optik yang akan dibangun nantinya dapat digunakan untuk masa mendatang. Apabila ada penambahan kapasitas kanal PT. Telkom Indonesia, Tbk tidak lagi melakukan pembangunan atau pemugaran jaringan yang ada, sehingga biaya pembangunan atau pemugaran jaringan dapat ditekan.

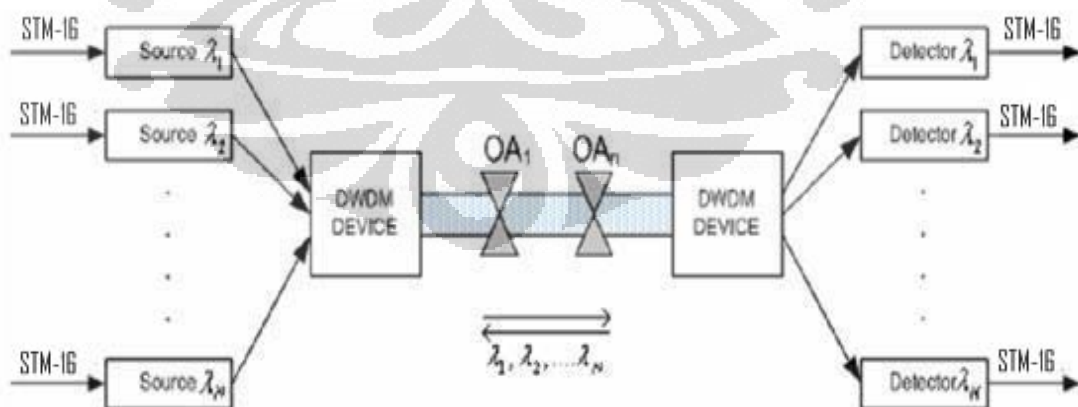
Adapun kebutuhan kapasitas kanal berdasar prediksi bandwidth terhadap jumlah pelanggan PT. Telkom Indonesia, Tbk untuk *link* Jakarta – Banten sampai dengan tahun 2014 dapat dilihat dalam pembahasan bab 4.1, apabila dikonversikan dalam format STM-16 dan STM-64 maka nilai konversinya sebagai berikut :

$$69,590 \text{ Gbps} \approx 28 \times \text{STM-16}$$

$$\approx 7 \times \text{STM-64}$$

3.5.1 Pemenuhan Kebutuhan Kapasitas Kanal Menggunakan Perangkat STM-16

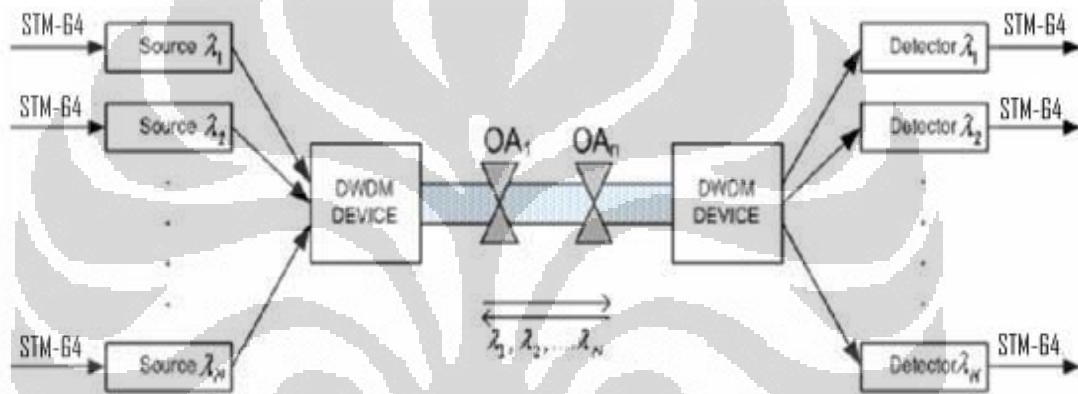
Kelebihan yang dimiliki teknologi *DWDM* terletak pada jumlah *core* optik yang diperlukan lebih sedikit jika dibandingkan dengan teknologi *SDH*. Gambar 3.4 merupakan ilustrasi konfigurasi sistem penggunaan teknologi *DWDM* untuk pemenuhan kebutuhan kapasitas kanal pada perangkat terminal STM-16 sebanyak 28 buah perangkat, yang sama dengan hasil perhitungan di atas. Sebagai media transmisi yang digunakan pada jaringan transport ini, jumlah *core* optik yang dibutuhkan untuk menghubungkan *transmitter* dan *receiver* adalah satu pasang (dua *core*), hal ini disebabkan sinyal-sinyal optik tiap panjang gelombang hanya dapat ditransmisikan melalui satu *core* pada serat optik tunggal.



Gambar 3.4 Konfigurasi Perangkat STM-16

3.5.2 Pemenuhan Kebutuhan Kapasitas Kanal Menggunakan Perangkat STM-64

Sama halnya dengan perangkat STM-16, perangkat STM-64 yang diintegrasikan dengan teknologi DWDM tetap hanya membutuhkan satu pasang *core* optik untuk menghubungkan bagian *transmitter* dengan bagian *receiver*. Gambar 3.5 merupakan ilustrasi konfigurasi sistem penggunaan teknologi DWDM yang diintegrasikan dengan perangkat STM-64, untuk pemenuhan kebutuhan kapasitas kanal pada perangkat terminal STM-64 dibutuhkan sebanyak 7 buah perangkat.



Gambar 3.5 Konfigurasi Perangkat STM-64

3.6 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik

Parameter perencanaan yang digunakan pada jaringan ini, disesuaikan dengan standarisasi yang berlaku di PT. Telkom Indonesia Tbk sebagai penyelenggara pembangunan serat optik ini. Parameter perencanaan serat optik tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik

DATA TEKNIS PERENCANAAN LINK JAKARTA – BANTEN	
1. Parameter Desain	
<i>Bit Rate</i> (B)	10 Gbps (<i>STM-64</i>)
Jarak <i>Link</i> (L_{link})	153,66 km
<i>BER</i> (<i>Bit Error Rate</i>)	10^{-13}
Format Modulasi	NRZ
Panjang Gelombang Operasi	1550 nm
<i>Margin Sistem</i> (M_s)	3 dB
2. Komponen SKSO	
A. Serat Optik Single Mode : ITU-T G.655 (Non Zero Dispersion Shifted Fiber)	
<i>Attenuasi</i> (α_f)	0,3 dB/km
Dispersi Kromatik (D)	1,8 - 6 ps/nm.km
B. Optical Interface	
B.1 Pengirim (transmitter)	
<i>Rise Time</i> (t_{tx})	60 ps
Lebar Spektral (σ_λ)	0.1 nm
Daya Transmit (P_{tx})	9 dBm
B.2 Penerima (receiver)	
<i>Rise Time</i> (t_{rx})	35 ps
Sensitivitas minimum (P_{rx})	-38 dBm
C. Komponen Tambahan	
Redaman Konektor (α_c)	0,2 dB/konektor
Redaman <i>Splice</i> (α_s)	0.05 dB/splice
Gain <i>EDFA</i> (G)	33 dB
Daya Input <i>EDFA</i> (P_{in-amp})	-14 dBm

3.7 Perhitungan *Power Budget*

Dengan menggunakan data-data parameter pada Tabel 3.4, maka dapat dihitung power budget untuk perencanaan sistem komunikasi serat optik Jakarta – Banten, dengan menggunakan persamaan 2.1 :

$$\begin{aligned} P_{det} &= P_{tx} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_f \times L_{link}) - (\alpha_s \times N_s) - M_s \\ &= 9 - (0,2 \times 12) - (0,3 \times 153,66) - (0,05 \times 63) - 3 \\ &= -45,648 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Avalanche photodiode mempunyai sensitivitas hingga -38 dBm, dengan demikian daya yang sampai pada pendeteksi (-45,648 dBm) adalah tidak cukup untuk dapat dideteksi oleh *Avalanche Photodiode*. Dari hasil perhitungan menandakan bahwa perlu dipasang penguat optik untuk memperkuat sinyal optik yang telah melemah. Dengan demikian, sinyal tersebut dapat sampai di detektor optik dengan daya yang lebih besar dari -38 dBm (sinyal dapat terdeteksi oleh *avalanche photodiode*).

Margin merupakan suatu nilai penambahan pada *loss* atau cadangan daya yang berfungsi untuk mengkompensasi redaman pada optik yang terjadi karena *aging*, fluktuasi suhu dan redaman-redaman yang muncul dari komponen yang akan ditambahkan suatu hari nanti (sebagai antisipasi perubahan parameter komponen yang dapat menimbulkan degradasi). PT.Telkom Indonesia,Tbk telah menetapkan standar untuk margin sistem yang digunakan adalah sebesar 3 dB.

3.7.1 Jarak Transmisi Maksimum Tanpa Penguat

Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui jarak transmisi maksimum serat optik apabila tidak menggunakan penguat (*optical amplifier*). Melalui perhitungan jarak maksimum yang mampu dicapai, maka dapat diketahui apakah *link* ini memerlukan penguat atau tidak. Dengan menggunakan persamaan 2.2 jarak maksimum tersebut dapat dihitung seperti berikut.

$$\begin{aligned}
L_{\text{sist}} &= \frac{P_{tx} - P_{rx} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f} \\
&= \frac{9 - (-38) - (0,2 \times 12) - (0,05 \times 63) - 3}{0,3} \\
&= \frac{38,45}{0,3} = 128,167 \approx 128 \text{ km}
\end{aligned}$$

Jadi, dari perhitungan jarak maksimum tampak bahwa jarak yang dapat ditempuh oleh sistem ini sejauh 128 km, yaitu lebih kecil daripada jarak yang diinginkan 153,66 km. Dengan demikian sistem ini membutuhkan penguat optis untuk menjamin tingkatan daya di penerima tetap baik.

3.7.2 Jarak Transmisi Maksimum dengan Penguat

Pada Tabel 3.2 ditunjukkan bahwa jarak perencanaan jaringan serat optik *DWDM link* Jakarta – Banten adalah sejauh 153,66 km, maka berikut akan dihitung jarak transmisi maksimum apabila menggunakan penguat.

a. Daya keluaran EDFA

$$\begin{aligned}
P_{\text{out-amplifier}} &= P_{\text{in-amplifier}} + G \\
&= -14 \text{ dBm} + 33 \text{ dB} \\
&= 19 \text{ dBm}
\end{aligned}$$

b. Daya pancar jaringan DWDM setelah ditambahkan EDFA

$$\begin{aligned}
P_{\text{tx}'} &= P_{\text{out}} + P_{\text{tx}} \\
&= 19 \text{ dBm} + 9 \text{ dBm} \\
&= 28 \text{ dBm}
\end{aligned}$$

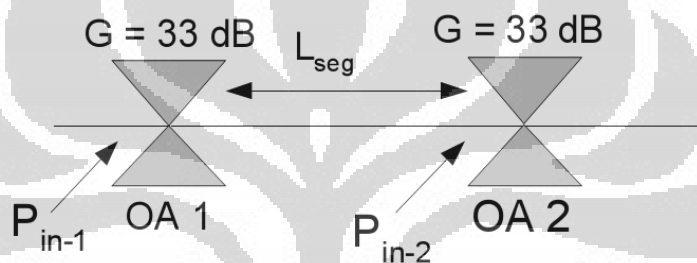
c. Jarak transmisi maksimum dengan 1 EDFA

$$\begin{aligned}
L_{\text{sist}} &= \frac{P_{\text{tx}'} - P_{rx} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f} \\
&= \frac{28 - (-38) - (0,2 \times 12) - (0,05 \times 63) - 3}{0,3} \\
&= \frac{57,45}{0,3} = 191,5 \approx 192 \text{ km}
\end{aligned}$$

d. Jarak transmisi maksimum dengan 2 EDFA

$$\begin{aligned}
 L_{\text{sist}} &= \frac{P_{tx'} - P_{rx} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f} \\
 &= \frac{47 - (-38) - (0,2 \times 12) - (0,05 \times 63) - 3}{0,3} \\
 &= \frac{76,45}{0,3} = 254,83 \approx 255 \text{ km}
 \end{aligned}$$

3.7.3 Jarak Antar Penguat



Gambar 3.5 Jarak Antar Penguat

Perancangan jarak antar penguat perlu dilakukan untuk mencegah pemborosan penggunaan perangkat. Dengan menggunakan persamaan 2.6 dan 2.7 maka dapat diketahui jarak antar penguat yang akan digunakan.

$$P_{in-1} + G - \alpha_{seg} - M_s = P_{in-2}$$

$$\alpha_{seg} = G - M_s$$

$$= 33 - 3 = 30 \text{ dB}$$

$$L_{\text{seg}} = \frac{\alpha_{seg} + (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s)}{\alpha_f}$$

$$= \frac{30 + (0,2 \times 12) - (0,05 \times 63)}{0,3}$$

$$= \frac{29.25}{0,3} = 97,5 \text{ km}$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa jarak antar penguat yang akan digunakan adalah 97,5 km.

3.8 Perhitungan *Rise Time Budget*

Berdasarkan nilai rise time perangkat dari data perencanaan pada tabel 3.4, dapat diperoleh nilai rise time sistem. Dengan menggunakan persamaan 2.10, maka rise time sistem untuk STM-64 (10 Gbps) dengan format pengkodean NRZ adalah :

$$t_{\text{sis}} = \frac{0.7}{BR} = \frac{0.7}{10 \times 10^9}$$

$$= 70 \text{ ps}$$

Agar hasil transmisi dapat diterima dengan baik, degradasi waktu total transmisi dari suatu hubungan digital tidak boleh melebihi 70 persen dari periode bit NRZ (*non-return-to-zero*).

Setelah dihitung nilai *rise time* sistem untuk format pengkodean NRZ, maka selanjutnya menghitung nilai *rise time* perencanaan tiap *sublink* dengan menggunakan persamaan 2.8 dan 2.9.

a. Link Cikupa – Jatinegara tanpa menggunakan DCM

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (67,50 \text{ km})$$

$$= 23,625 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_F^2}$$

$$= \sqrt{60^2 + 35^2 + 23,625^2}$$

$$= \sqrt{5383,1406} = 73,370 \text{ ps}$$

b. Link Jatinegara – Gambir1 tanpa menggunakan DCM

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (10,60 \text{ km})$$

$$= 3,71 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_F^2}$$

$$= \sqrt{60^2 + 35^2 + 3,71^2}$$

$$= \sqrt{4838,7641} = 69,561 \text{ ps}$$

c. Link Gambir1 – Karet tanpa menggunakan DCM

$$t_f = D \cdot \delta_\alpha \cdot L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (5,14 \text{ km})$$

$$= 1,799 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_F^2}$$

$$= \sqrt{60^2 + 35^2 + 1,799^2}$$

$$= \sqrt{4828,236} = 69,485 \text{ ps}$$

d. Link Karet – Semanggi1 tanpa menggunakan DCM

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (3,40 \text{ km})$$

$$= 1,19 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_F^2}$$

$$= \sqrt{60^2 + 35^2 + 1,19^2}$$

$$= \sqrt{4826,4161} = 69,472 \text{ ps}$$

e. Link Semanggi1 – Slipi tanpa menggunakan DCM

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (10,27 \text{ km})$$

$$= 3,5945 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_F^2}$$

$$= \sqrt{60^2 + 35^2 + 3,5945^2}$$

$$= \sqrt{4837,9204} = 69,55 \text{ ps}$$

f. Link Slipi – Cikupa tanpa menggunakan DCM

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (56,75 \text{ km})$$

$$= 19,8625 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_F^2}$$

$$= \sqrt{60^2 + 35^2 + 19,8625^2}$$

$$= \sqrt{5219,518} = 72,246 \text{ ps}$$

Berdasarkan nilai *rise time* perangkat dari data perencanaan di atas, dapat diperoleh nilai *rise time* sistem. *Rise time* sistem untuk 10 Gbps dengan format pengkodean NRZ adalah 70 ps. Dari hasil perhitungan *rise time budget*, diperoleh bahwa *rise time* untuk jalur Cikupa – Jatinegara dan jalur Slipi – Cikupa melebihi nilai *rise time* sistem. Hal ini berarti bahwa sinyal yang sampai ke detektor optik tidak dapat diterima dengan baik karena terjadi distorsi yang mengganggu

pembacaan sinyal. Untuk mengatasi hal ini, kita gunakan kompensator dispersi agar sinyal yang sampai ke detektor optik dapat terbaca dengan baik. Adapun modul kompensator dispersi (DCM) yang digunakan oleh PT. Telkom Indonesia, Tbk mampu mengkompensasi efek dispersi untuk serat optik sampai jarak 50 km.

Berikut ini merupakan perhitungan rise time perencanaan setelah ditambahkan *Dispersion Compensator Module (DCM)*.

a. Link Cikupa – Jatinegara dengan menggunakan DCM

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \cdot \sigma_\lambda \cdot L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (67,50 \text{ km} - 50 \text{ km}) \\
 &= 6,125 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 6,125^2} \\
 &= \sqrt{4862,516} = 69,73 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

b. Link Slipi – Cikupa dengan menggunakan DCM

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \cdot \sigma_\lambda \cdot L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (56,75 \text{ km} - 50 \text{ km}) \\
 &= 2,3625 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 2,3625^2} \\
 &= \sqrt{4830,581} = 69,50 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai rise time *link* Cikupa – Jatinegara dan Slipi – Cikupa bernilai kurang dari rise time sistem. Sehingga perencanaan ini dapat diimplementasikan di lapangan.

3.9 Pehitungan Jumlah *Splice* dan Konektor

Pada persamaan 2.12, maka jumlah sambungan kabel serat optik yang diperlukan pada perencanaan ini adalah sebagai berikut :

a. Link Cikupa – Jatinegara

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2 \\ &= \frac{67,50 \text{ km}}{3 \text{ km}} + 2 \\ &= 24,5 \approx 25 \text{ splice} \end{aligned}$$

b. Link Jatinegara – Gambir1

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2 \\ &= \frac{10,60 \text{ km}}{3 \text{ km}} + 2 \\ &= 5,53 \approx 6 \text{ splice} \end{aligned}$$

c. Link Gambir1 – Karet

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2 \\ &= \frac{5,14 \text{ km}}{3 \text{ km}} + 2 \\ &= 3,71 \approx 4 \text{ splice} \end{aligned}$$

d. Link Karet – Semanggi1

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2 \\ &= \frac{3,40 \text{ km}}{3 \text{ km}} + 2 \\ &= 3 \text{ splice} \end{aligned}$$

e. Link Semanggi1 – Slipi

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2 \\ &= \frac{10,27 \text{ km}}{3 \text{ km}} + 2 \\ &= 4 \text{ splice} \end{aligned}$$

f. Link Slipi – Cikupa

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2 \\ &= \frac{56,75 \text{ km}}{3 \text{ km}} + 2 \\ &= 20,91 \approx 21 \text{ splice} \end{aligned}$$

Berdasarkan penjelasan pada bab 2.2.4 dijelaskan bahwa *splice* pada perencanaan selain menghubungkan serat optik tiap jarak 3 km, juga diperlukan penambahan 2 *splice* untuk sambungan ke terminal, dimana jumlah *splice* untuk *sublink* dapat dilihat pada perhitungan bab 3.9. Dan untuk jumlah konektor, tiap *sublink* memiliki 2 buah konektor yang menghubungkan masing-masing terminal.

BAB 4
ANALISIS PERENCANAAN SISTEM TRANSMISI DWDM
LINK JAKARTA - BANTEN

4.1 Prediksi Kebutuhan Layanan Metro-E untuk Triwulan III 2011 hingga Triwulan IV 2014

Dengan berbagai faktor yang turut mendukung permintaan layanan Metro Ethernet seperti yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya, kebutuhan layanan Metro Ethernet perlu diprediksi ke depannya. Prediksi ini penting untuk masukan (*input*) perencanaan, baik bagi penyedia layanan maupun bagi operator. Perencanaan bagi penyedia layanan meliputi aspek pengadaan peralatan dan material, perencanaan jaringan, pengadaan SDM, pengorganisasian, rencana pemasaran, dan rencana pendanaan.

Bagi operator, perencanaan meliputi perencanaan pemasaran, manajemen operasi dan *monitoring* serta anggaran. Pada bagian ini akan dilakukan prediksi jumlah *bandwidth* selama triwulan ketiga 2011 hingga triwulan keempat tahun 2014 mendatang pada area implementasi Jakarta - Banten.

Dalam memprediksi kebutuhan *bandwidth* Telkom terhadap layanan Metro Ethernet, pertama diprediksi terlebih dahulu jumlah pelanggan atas dasar kecenderungan pertumbuhan jumlah pelanggan. Selanjutnya hasil prediksi jumlah pelanggan akan digunakan untuk memprediksi jumlah kebutuhan *bandwidth*. Prediksi-prediksi tersebut dilakukan menggunakan regresi linear dengan metode *least square*.

4.1.1 Prediksi Jumlah Pelanggan

Pada bagian ini akan diprediksi jumlah pelanggan Telkom Jakarta-Banten pada triwulan ketiga 2011 hingga keempat tahun 2014. Prediksi dilakukan dengan melihat kecenderungan jumlah pelanggan sejak triwulan III tahun 2008

hingga triwulan II tahun 2011. Data jumlah pelanggan Telkom setiap bulannya sejak Juli 2008 hingga Juni 2011 dimuat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jumlah pelanggan layanan Metro-E 2008-2011 PT.Telkom

Tahun	Periode	Jumlah Pelanggan (Juta)
2008	Juli – September	11.315
	Oktober – Desember	11.3
2009	Januari – Maret	11.423
	April – Juni	11.748
	Juli – September	12.431
	Oktober – Desember	12.73
2010	Januari – Maret	13.102
	April – Juni	13.273
	Juli – September	13.63
	Oktober – Desember	13.95
2011	Januari – Maret	14.275
	April – Juni	14.6

Melihat grafik tersebut jumlah pelanggan terus tumbuh. Kecenderungan pertumbuhan tersebut akan dihitung dengan regresi linier. Untuk melakukan perhitungan dibuat Tabel 4.2. Data jumlah pelanggan dalam setiap triwulan dimasukkan ke kolom y . Nilai $x = 1$ diberikan untuk triwulan III tahun 2008.

Tabel 4.2 Tabel perhitungan *least square* jumlah pelanggan

x	y	x^2	y^2	xy
1	11.315	1	128.0292	11.315
2	11.3	4	127.69	22.6
3	11.423	9	130.4849	34.269
4	11.748	16	138.0155	46.992

5	12.431	25	154.5298	62.155
6	12.73	36	162.0529	76.38
7	13.102	49	171.6624	91.714
8	13.273	64	176.1725	106.184
9	13.63	81	185.7769	122.67
10	13.95	100	194.6025	139.5
11	14.275	121	203.7756	157.025
12	14.6	144	213.16	175.2
78	153.507	650	1985.952	1046.004

Dengan memasukkan nilai x dan y ke persamaan (2.15) didapat :

$$a = \frac{(153,507 \times 650) - (78 \times 1046,004)}{12 \times 650 - (78)^2}$$

$$\Leftrightarrow a = 10,60 \quad (4.1)$$

$$b = \frac{12 \times 1046,004 - (78 \times 153,507)}{12 \times 650 - (78)^2}$$

$$\Leftrightarrow b = 0,337 \quad (4.2)$$

Dengan memasukkan hasil perhitungan (4.1) dan (4.2) pada persamaan regresi (2.14) didapat persamaan regresi linier jumlah pelanggan:

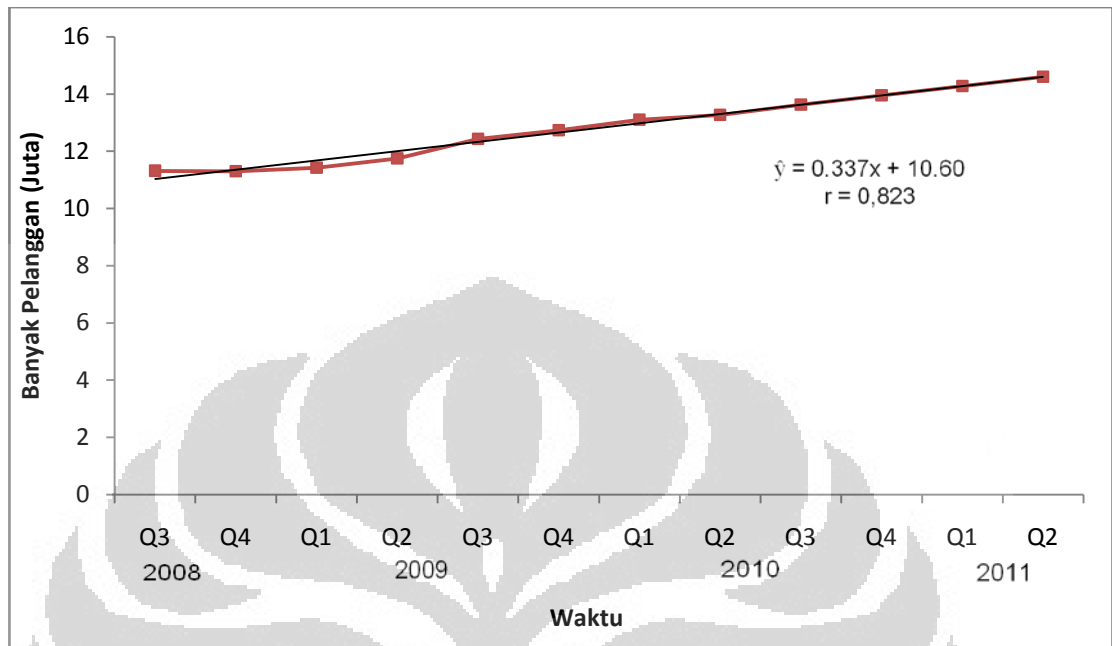
$$\hat{y} = 10,60 + 0,337x \quad (4.3)$$

Kekuatan hubungan linieritas antara jumlah pelanggan terhadap waktu dihitung dari koefisien korelasi $r_{\text{pelanggan}}$.

$$r_{\text{pelanggan}} = \frac{12 \sum ((x_i - 6,5)(y_i - 12,8))}{\sqrt{[12 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][12 \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

$$\Leftrightarrow r_{\text{pelanggan}} = 0,823 \quad (4.4)$$

Tingginya nilai koefisien korelasi ini menunjukkan hubungan linearitas yang tinggi antara pertumbuhan jumlah pelanggan terhadap waktu.



Gambar 4.1 Kecenderungan pertumbuhan jumlah pelanggan

Nilai-nilai prediksi jumlah pelanggan ditentukan pada titik-titik perpanjangan garis liniernya. Prediksi dilakukan dengan memasukkan nilai $x=13$ untuk memprediksi jumlah pelanggan pada triwulan III hingga $x=26$ ke persamaan (4.3) untuk memprediksi jumlah pelanggan pada triwulan IV tahun 2014.

$$\hat{y}_1 = 10,60 + 0,337(13) = 14,98 \quad (4.5)$$

$$\hat{y}_2 = 10,60 + 0,337(14) = 15,32 \quad (4.6)$$

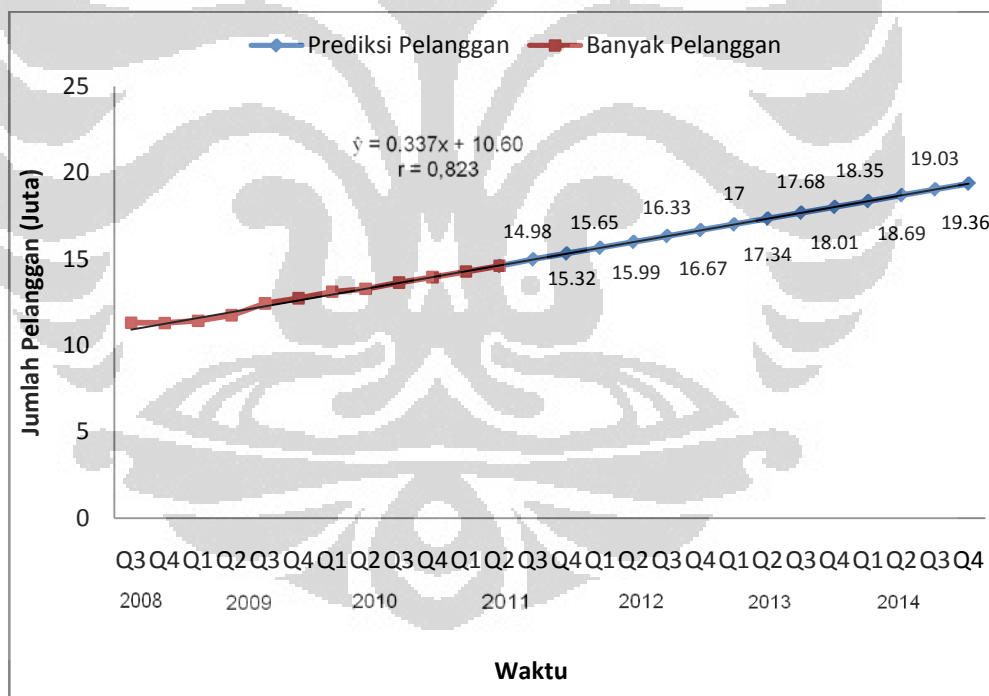
hingga,

$$\hat{y}_{14} = 10,60 + 0,337(26) = 19,36 \quad (4.18)$$

Untuk ringkasan hasil prediksi jumlah pelanggan pada triwulan III 2011 hingga triwulan IV 2014 akan disaji dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Prediksi Jumlah Pelanggan hingga 2014

Tahun	Periode	Jumlah Pelanggan (Juta)
2011	Juli – September	14.98
	Oktober – Desember	15.32
2012	Januari – Maret	15.65
	April – Juni	15.99
	Juli – September	16.33
	Oktober – Desember	16.67
2013	Januari – Maret	17.00
	April – Juni	17.34
	Juli – September	17.68
	Oktober – Desember	18.01
2014	Januari – Maret	18.35
	April – Juni	18.69
	Juli – September	19.03
	Oktober – Desember	19.36



Gambar 4.2 Hasil prediksi jumlah pelanggan triwulan III 2011 hingga triwulan IV tahun 2014

Dengan demikian didapat prediksi jumlah pelanggan sebanyak 14,98 juta pada triwulan III 2011 hingga 19,36 juta pada triwulan IV tahun 2014.

4.1.2 Prediksi Kebutuhan *Bandwidth*

Pada Tabel 4.4 tersaji data jumlah kebutuhan *bandwidth* terhadap jumlah pelanggan pada triwulan III 2008 hingga triwulan II 2011 yang tercantum pula pada lampiran 5.

Tabel 4.4 Data Kebutuhan Layanan Metro-E PT.Telkom

Tahun	Periode	Jumlah Pelanggan (Juta)	Jumlah Bandwidth (Mbps)
2008	Juli – September	11.315	12.288
	Oktober – Desember	11.3	542.584
2009	Januari – Maret	11.423	640.248
	April – Juni	11.748	1715.248
	Juli – September	12.431	3945.248
	Oktober – Desember	12.73	5060.248
2010	Januari – Maret	13.102	6020.248
	April – Juni	13.273	6848.248
	Juli – September	13.63	7925
	Oktober – Desember	13.95	8980
2011	Januari – Maret	14.275	10051.4
	April – Juni	14.6	11122.6

Prediksi akan dilakukan dengan melihat kecenderungan pertumbuhan kebutuhan *bandwidth* terhadap pertumbuhan jumlah pelanggan pada setiap triwulan. Untuk melakukan perhitungan dibuat Tabel 4.5. Data jumlah pelanggan dalam setiap triwulan dimasukkan ke kolom *x* sementara data kebutuhan *bandwidth* untuk triwulan yang bersangkutan dimasukkan ke kolom *y*.

Tabel 4.5 Tabel perhitungan *least square* kebutuhan *bandwith*

No	x	y	x ²	y ²	xy
1	11.315	12.288	128.0292	150.9949	139.0387
2	11.3	542.584	127.69	294397.4	6131.199
3	11.423	640.248	130.4849	409917.5	7313.533
4	11.748	1715.248	138.0155	2942076	20150.73
5	12.431	3945.248	154.5298	15564982	49043.38
6	12.73	5060.248	162.0529	25606110	64416.96
7	13.102	6020.248	171.6624	36243386	78877.29
8	13.273	6848.248	176.1725	46898501	90896.8
9	13.63	7925	185.7769	62805625	108017.75
10	13.95	8980	194.6025	80640400	125271
11	14.275	10051.4	203.7756	101030642	143483.74
12	14.6	11122.6	213.16	123712230.8	162389.96
Total	153.77	54781.36	1985.952	4.98E+08	856131.35

Dengan memasukkan nilai x dan y ke persamaan (2.15) didapat:

$$a = \frac{(54781.36 \times 1985.952) - (153.77 \times 856131.35)}{12 \times 1985.952 - (153.77)^2}$$

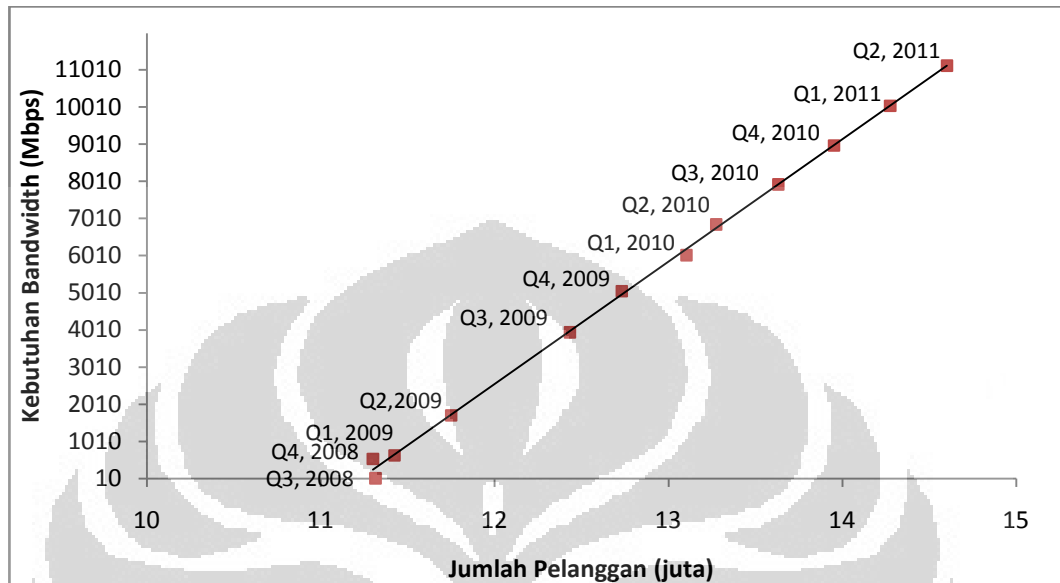
$$\Leftrightarrow a = -122732 \quad (4.19)$$

$$b = \frac{12 \times 856131.35 - (153.77 \times 54781.36)}{12 \times 1985.952 - (153.77)^2}$$

$$\Leftrightarrow b = 9934 \quad (4.20)$$

Dengan memasukkan hasil perhitungan (4.19) dan (4.20) didapat persamaan regresi linier:

$$\hat{y} = 9934x - 122732 \quad (4.21)$$



Gambar 4.3 Hubungan antara jumlah pelanggan Telkom dengan kebutuhan *bandwidth* Metro Ethernet Triwulan III 2008 – Triwulan II 2011

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara banyaknya pelanggan di Jakarta-Banten dengan kebutuhan *bandwidth* layanan Metro Ethernet pada setiap triwulan. Grafik ditampilkan mulai dari triwulan dua tahun 2008 hingga triwulan dua tahun 2011. Melihat hubungan antara kebutuhan *bandwidth* dengan peningkatan jumlah pelanggan dari kurun waktu yang telah terlewati dapat dibuat prediksi kebutuhan *bandwidth* pada masa yang akan datang. Nilai-nilai perkiraan kebutuhan *bandwidth* ditentukan pada titik-titik perpanjangan garis liniernya. Prediksi kebutuhan *bandwidth* dilakukan dengan menentukan nilai y dengan cara memasukkan hasil prediksi pelanggan (4.5) - (4.18) ke variable x pada persamaan (4.21).

$$\hat{y}_1 = (9934)(14,98) - 122732 \text{ juta} = 26079 \text{ Mbps} \quad (4.22)$$

$$\hat{y}_2 = (9934)(15,32) - 122732 \text{ juta} = 29457 \text{ Mbps} \quad (4.23)$$

hingga,

$$\hat{y}_{14} = (9934)(19,36) - 122732 \text{ juta} = 69590 \text{ Mbps} \quad (4.35)$$

Untuk ringkasan hasil prediksi jumlah kebutuhan bandwidth pada triwulan III 2011 hingga triwulan IV 2014 akan disaji dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Prediksi Kebutuhan *Bandwidth* hingga 2014

Tahun	Periode	Jumlah Bandwidth (Mbps)
2011	Juli – September	26079
	Oktober – Desember	29457
2012	Januari – Maret	32735
	April – Juni	36113
	Juli – September	39490
2013	Oktober – Desember	42868
	Januari – Maret	46146
	April – Juni	49524
	Juli – September	52901
2014	Oktober – Desember	56179
	Januari – Maret	59557
	April – Juni	62934
	Juli – September	66312
	Oktober – Desember	69590

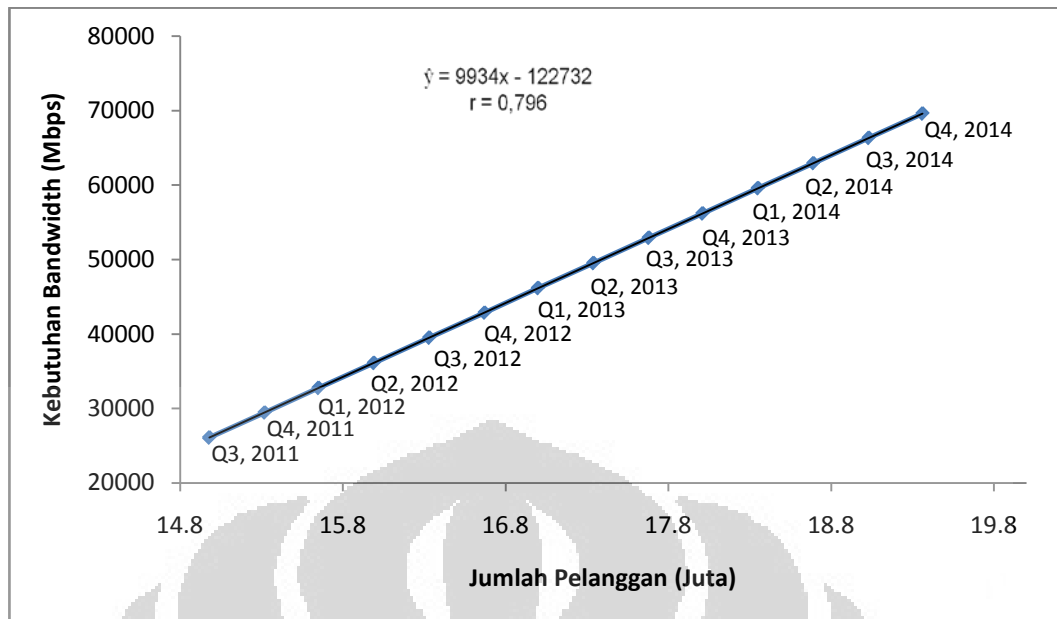
Kekuatan hubungan linieritas antara kebutuhan *bandwidth* terhadap jumlah pelanggan dihitung dari koefisien korelasi $r_{pelanggan}$.

$$r_{pelanggan} = \frac{8 \sum((x_i - 13)(y_i - 4565))}{\sqrt{[8 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][8 \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

$$\Leftrightarrow r_{pelanggan} = 0,796 \quad (4.36)$$

Tingginya nilai koefisien korelasi ini menunjukkan hubungan linearitas yang kuat antara pertumbuhan kebutuhan *bandwidth* terhadap pertumbuhan jumlah pelanggan dalam setiap waktu.

Gambar 4.4 merupakan grafik prediksi kebutuhan *bandwidth* Metro Ethernet Telkom pada tahun 2011 triwulan III sebesar 26,08 Gbps dan triwulan IV 2014 sebesar 69,59 Gbps.

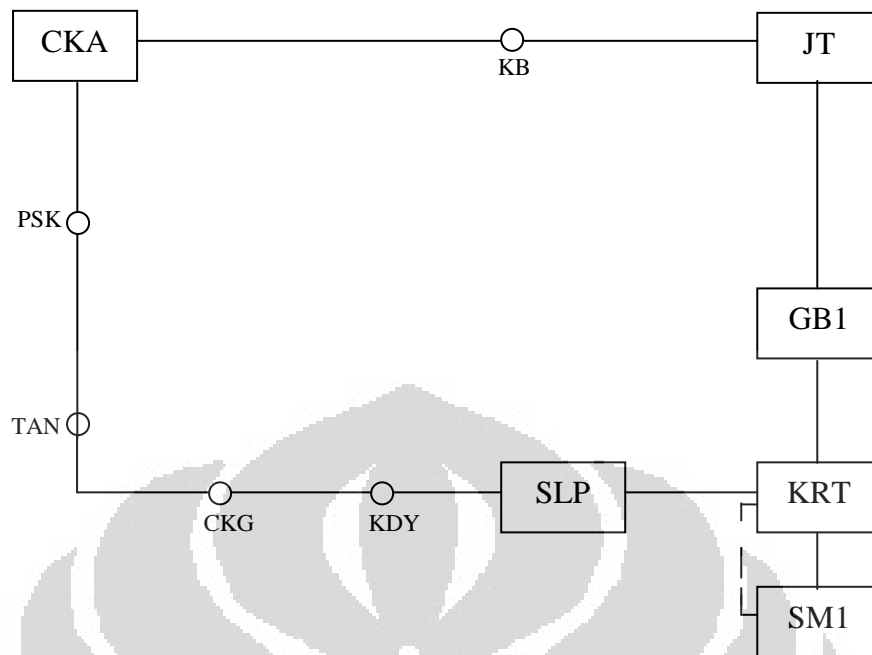


Gambar 4.4 Hasil prediksi kebutuhan *bandwidth* pelanggan layanan Metro-E Telkom untuk triwulan III 2011 hingga triwulan IV tahun 2014

Apabila dilihat dari hasil prediksi tersebut, maka kapasitas *bandwidth* yang dibutuhkan yaitu menggunakan perangkat STM-64 sebanyak 7 buah perangkat yang akan menghasilkan kapasitas *bandwidth* sebesar 70Gbps. Besar kapasitas inilah yang nantinya akan memenuhi kebutuhan *bandwidth* sebesar 69,59Gbps pada tahun 2014 yang telah terprediksi dalam perencanaan ini.

4.2 Peta Perencanaan

Gambar 4.5 menunjukkan peta perencanaan jaringan serat optik DWDM *link* Jakarta – Banten. Garis yang berwarna biru menunjukkan jalur yang dilalui oleh serat optik, sedangkan arah penunjuk berwarna hijau dan lingkaran putih merupakan letak STO PT.Telkom Indonesia yang berfungsi sebagai terminal optik



Gambar 4.6 Rute Jalur Perencanaan Serat Optik DWDM *Link* Jakarta - Banten

Pada *link* Semanggi1 – Slipi ini, PT.Telkom Indonesia,tbk tidak memiliki jalur lurus yang langsung menghubungkan antara Semanggi dengan Slipi, karena jaringan *SDH* yang dimiliki sebelumnya melewati rute Semanggi 1 – Karet – Slipi. Secara konsep yang telah dibahas pada bab 2, Teknologi *DWDM* berkembang dari keterbatasan pada sistem transmisi serat optik dengan memanfaatkan jaringan *SDH* yang telah tersedia. Oleh karena itu dalam jalur perencanaan *DWDM* ini PT.Telkom Indonesia, tbk lebih memanfaatkan jaringan yang ada dibandingkan membangun jaringan baru yang tentunya akan mengeluarkan biaya yang sangat besar.

Spesifikasi perencanaan sistem komunikasi serat optik Jakarta – Banten yaitu: berjarak 153,66 km, BER 10^{-13} , margin sistem 3 dB, format pengkodean *Non-Return to Zero (NRZ)*, dan *bit rate* 10 Gbps. Topologi yang digunakan adalah topologi *ring*, menggunakan serat optik berjenis *singlemode step-index (ITU-T G.655)*, dan panjang gelombang operasi 1550 nm. Untuk sumber dan detektor optik yang dipilih pada perencanaan ini adalah *laser diode (LD)* dan *Avalanche*

Photodiode (APD), karena *optical interface* ini memiliki kehandalan yang sangat baik untuk diaplikasikan pada jarak jauh.

4.3 Penentuan Teknologi Transport DWDM

Berdasarkan pembahasan pada bab 3.5 dijelaskan bahwa *trend* pentransmisiian serat optik yang digunakan oleh PT. Telkom Indonesia, Tbk saat ini adalah berbasis *IP over WDM*, dan kebutuhan kapasitas kanal pada suatu area dapat diprediksi berdasarkan berapa banyak jumlah pelanggan sehingga dapat ditentukan besar *bandwith* yang dibutuhkan pada area tersebut.

Untuk mengakomodasi kebutuhan kanal pada perencanaan sistem komunikasi serat optik Jakarta–Banten ini dipilih teknologi *DWDM* yang menggunakan perangkat *STM–64*. Hal ini dapat di analisa dengan melihat perbandingan kebutuhan kapasitas kanal apabila menggunakan perangkat *STM–16* dengan *STM–64*, dalam pembahasan bab 3.5.1 dan 3.5.2. Dikarenakan sinyal *transmitter* dan *receiver* melalui *core* optik yang berbeda pada proses pengiriman dan penerimaan sinyal optiknya, maka apabila kita menggunakan perangkat *STM–16* akan dibutuhkan modul *STM–16* sebanyak lima puluh enam buah dan *core* optik sejumlah 56 *core*, dimana 28 *core* untuk *transmitter* dan 28 *core* untuk *receiver*. Sedangkan apabila menggunakan *STM–64* maka akan dibutuhkan modul *STM–64* sebanyak empat belas buah serta *core* optik sejumlah 14 *core*, dimana 7 *core* untuk *transmitter* dan 7 *core* untuk *receiver*.

Penggunaan *STM–16* bukan pilihan yang tepat karena jumlah *core* optik yang dibutuhkan lebih banyak daripada *STM–64* dalam memenuhi kebutuhan *bandwidth* sebesar 69,590 Gbps. Hal ini tentunya akan berakibat pada borosnya penggunaan *core* serat optik, seperti yang kita ketahui biaya pergelaran serat optik tidaklah murah karena biaya tersebut selain meliputi biaya pekerja juga meliputi biaya ijin pergelaran kabel serat optik kepada pemerintah.

Penggunaan teknologi *DWDM* pada perencanaan jaringan serat optik untuk *link* Jakarta – Banten ini dirasakan sangat tepat dibandingkan menggunakan *Synchronous Digital Hierarchy (SDH)*, karena teknologi ini lebih menghemat

dalam jumlah pemakaian *core* optik, dimana jumlah *core* yang ditanam oleh PT.Telkom Indonesia,tbk pada perencanaan ini adalah sebanyak 96 *core*. Dengan demikian, apabila jumlah *core* yang digunakan sebanyak empat belas buah, maka jumlah *core* optik yang masih tersisa sebanyak 82 buah. Sisa *core* yang masih belum terpakai ini dapat digunakan untuk mengatasi kebutuhan kanal di masa yang akan datang.

4.4 Power Link Budget

Analisis *power budget* diperlukan untuk menjamin tingkatan daya terima pada *receiver* masih berada di atas minimum *sensitivitas threshold* sehingga sinyal informasi yang dikirim dapat diterima dengan baik oleh *receiver*. Hasil perhitungan *power budget* yang tercantum pada Lampiran 6, menunjukkan bahwa daya yang sampai ke detektor optik adalah sebesar -45,648 dBm, yaitu lebih kecil dari sensitivitas minimum *avalanche photodiode* sebesar -38 dBm. Dalam hal ini, *power budget* tidak terpenuhi sehingga perlu dipasang *optical amplifier* di tengah-tengah sambungan serat optik untuk memperkuat sinyal optik yang telah melemah.

Setelah itu, hal yang perlu dihitung adalah jarak maksimum yang dapat ditempuh oleh jaringan serat optik apabila tanpa menggunakan penguat, tentunya dengan merujuk pada parameter perangkat yang digunakan, Apabila jarak tempuh maksimum jaringan serat optik tersebut kurang dari jarak *link* perencanaan maka sistem tersebut diperlukan penguat. Dari data parameter dan hasil perhitungan pada bab 3, di dapat:

- a. Jarak total link Jakarta – Banten = 153,66 km
- b. Jarak transmisi maksimum tanpa penguat = 128 km

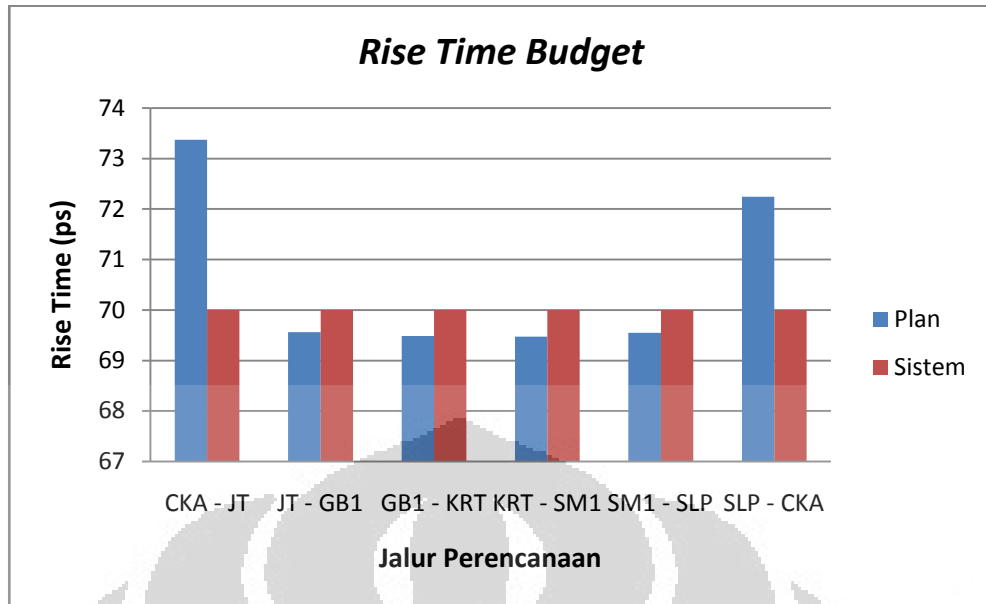
Dari keterangan diatas, dapat diketahui bahwa perencanaan jaringan serat optik ini membutuhkan penguat (*optical amplifier*). Setelah dilakukan perhitungan, diketahui bahwa apabila digunakan 1 penguat maka jarak transmisi maksimumnya sebesar 192 km, sedangkan apabila digunakan 2 penguat diketahui jarak transmisi maksimumnya sebesar 255 km (dengan nilai batas jarak/*space*

antar penguat sebesar 97,5 km). Dikarenakan jarak tempuh transmisi *link* Jakarta – Banten ini mencapai 153,66 km maka dengan menggunakan 1 buah penguat saja sudah cukup, sehingga kebutuhan penggunaan perangkat pada sistem ini bisa menjadi lebih minim dan juga dapat mengurangi jumlah *cost* yang dikeluarkan.

Margin sistem berperan penting dalam perhitungan *power link budget*. Sebagai tambahan pada loss, biasanya ditambahkan margin yang berfungsi sebagai cadangan daya untuk mengatasi masalah-masalah yang timbul pada *link*, seperti umur komponen, fluktuasi suhu dan redaman-redaman yang muncul dari komponen yang akan ditambahkan suatu hari. Apabila nilai daya yang sampai pada pendeteksi dari hasil perhitungan lebih kecil dari nilai sensitivitas (P_{rx}) pada perangkat, maka dapat dikatakan bahwa nilai margin masih dapat mengkompensasi redaman yang terjadi. Pada bab 3.7, dapat dilihat bahwa dengan penambahan nilai suatu margin maka daya yang sampai pada pendeteksi semakin lebih kecil dari nilai sensitivitas *APD*, sehingga tidak cukup untuk dapat dideteksi oleh *APD*. PT.Telkom menggunakan margin 3dB sebagai standart karena nilai ini memiliki kehandalan margin sistem yang efisien untuk perencanaan ini dengan mempertimbangkan daya yang sampai pada pendeteksi, jarak transmisi maksimum yang dapat ditempuh, dan jumlah penggunaan penguat.

4.5 Rise Time Budget

Gambar 4.7 di bawah ini menunjukkan grafik *rise time budget* perencanaan jaringan serat optik *DWDM link* Jakarta – Banten.



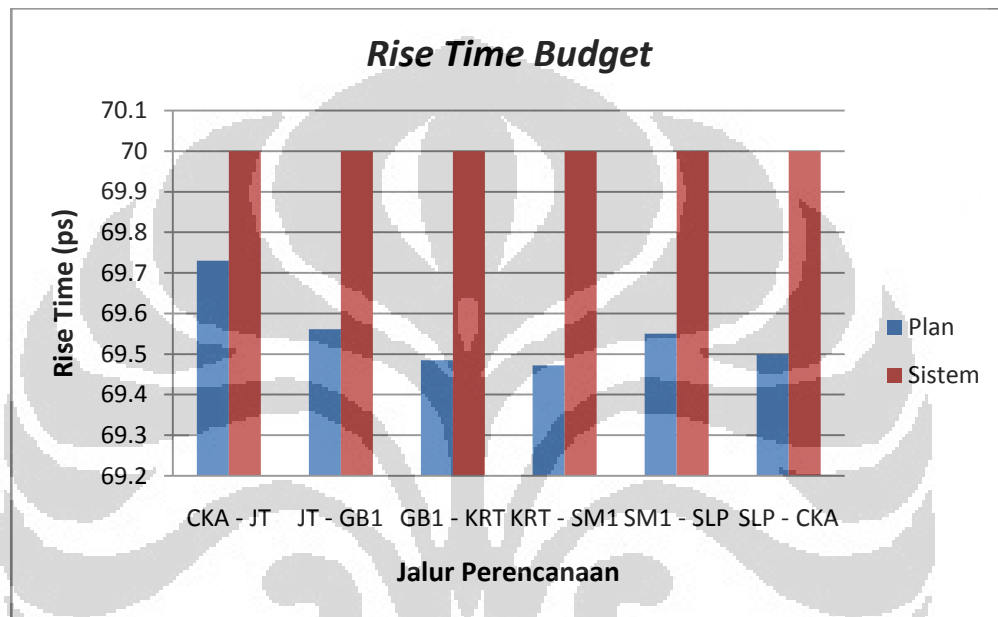
Gambar 4.7 Grafik *Rise Time Budget Link Jakarta – Banten*

Analisis *rise time* diperlukan untuk mengetahui apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai ataukah belum, dengan menentukan keterbatasan akibat disperse pada saluran transmisi dan memastikan bahwa sinyal yang sampai ke detektor masih dapat diterima dengan baik tanpa terjadi distorsi yang mengganggu pembacaan sinyal. Dan apabila nilai *rise time* telah terpenuhi, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung biaya untuk pembangunan SKSO suatu perencanaan.

Sesuai dengan hasil perhitungan di bab3 yang tercantum pada Lampiran 6, dapat diketahui bahwa nilai *rise time* sistem 70 ps. Nilai *rise time* ini dijadikan pembandingan nilai *rise time* setiap jalur perencanaan, sehingga dapat ditentukan apakah jaringan serat optik yang direncanakan sudah memenuhi syarat atau tidak. Setelah dilakukan perhitungan diperoleh bahwa nilai *rise time* sistem untuk jalur Cikupa – Jatinegara dan jalur Slipi – Cikupa melebihi nilai *rise time* sistem seperti terlihat pada Gambar 4.7. Hal ini berarti perencanaan ini belum memenuhi syarat sehingga tidak dapat diimplementasikan. Untuk itu dibutuhkan kompensator dispersi (*DCM*) dalam perencanaan ini agar nilai *rise time* jalur perencanaan tidak melebihi nilai *rise time* sistem. Adapun modul kompensator dispersi (*DCM*) yang

digunakan oleh PT. Telkom Indonesia, Tbk mampu mengkompensasi efek dispersi untuk serat optik sampai jarak 50 km.

Hasil perhitungan rise time untuk jalur Cikupa – Jatinegara dan jalur Slipi – Cikupa setelah menggunakan *DCM* menunjukkan bahwa nilai rise time sistem terlihat seperti pada Gambar 4.8. Sehingga perencanaan serat optik *DWDM* ini dapat diimplementasikan.



Gambar 4.8 Grafik *Rise Time Budget Link* Jakarta – Banten dengan *DCM*

4.6 Jumlah Splice dan Konektor

Dalam suatu perencanaan serat optik, jumlah sambungan (*splice*) dan konektor memiliki pengaruh dalam perhitungan *power budget*, besar redaman (*loss*) pada sambungan dan konektor inilah yang akan mempengaruhi besar nilai daya serat optik yang akan sampai pada pendeteksi *Avalanche Photodiode (APD)*. Sambungan serat optik diperlukan karena panjang gulungan kabel serat optik yang ada di pasaran panjangnya terbatas (3 km/roll untuk kabel darat) sehingga untuk menjangkau jarak transmisi sesuai dengan perencanaan maka kabel serat optik tersebut harus disambung. Ketika melakukan proses penyambungan, tingkat ketelitian sangat diperlukan, hal ini dikarenakan apabila sambungan kabel tidak

sempurna maka sambungan serat optik tersebut akan menghasilkan redaman yang besar. Tabel 4.7 di bawah ini menunjukkan jumlah sambungan dan konektor yang diperlukan pada perencanaan jaringan serat optik.

Tabel 4.7 Jumlah Sambungan Serat Optik dan Jumlah Konektor

Keterangan	Jarak (Km)	Jumlah sambungan	Jumlah konektor
Cikupa – Jatinegara	67,50	25	2
Jatinegara – Gambir1	10,60	6	2
Gambir1 – Karet	5,14	4	2
Karet – Semanggi1	3,40	3	2
Semanggi1 – Slipi	10,27	4	2
Slipi – Cikupa	56,75	21	2
Jumlah	153,66	63	12

BAB 5

KESIMPULAN

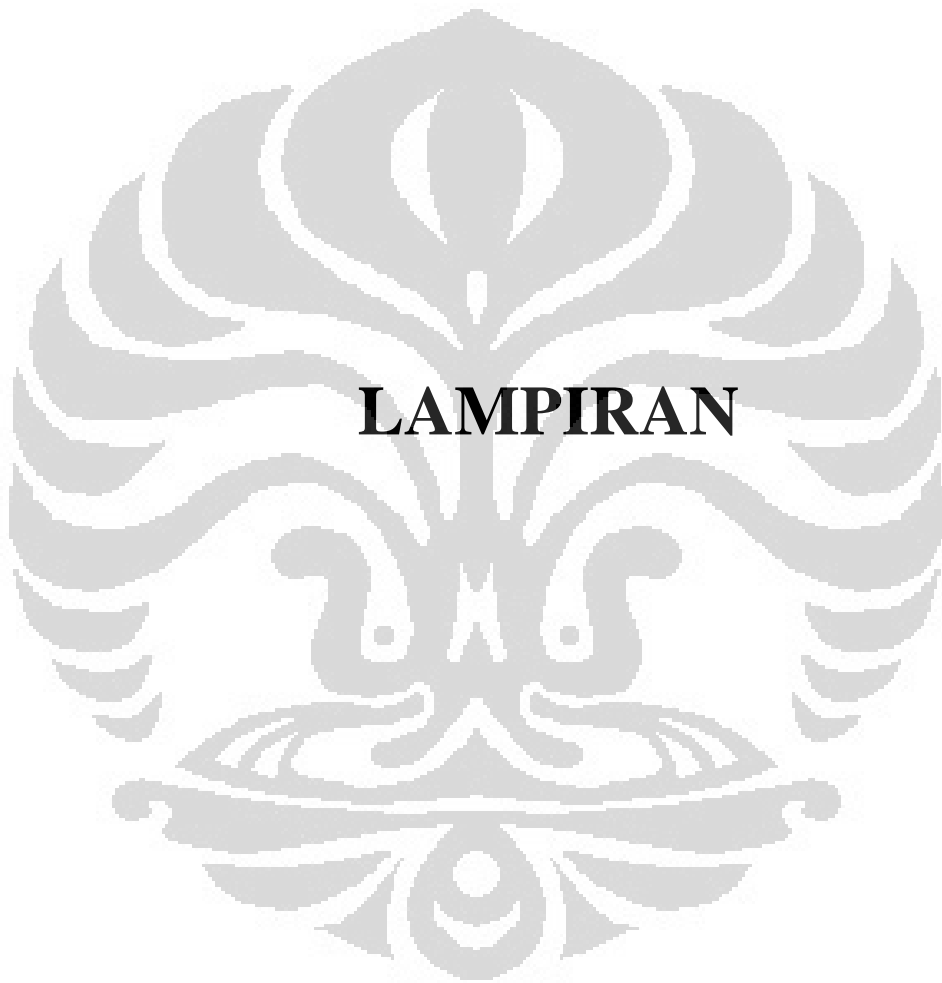
Dari uraian pada bab-bab sebelumnya disimpulkan beberapa hal berikut.

1. Kebutuhan *bandwidth* layanan Metro Ethernet PT Telkom di area Jakarta-Banten diprediksikan pada triwulan III tahun 2011 adalah 26,08 Gbps hingga triwulan IV tahun 2014 adalah 69,59 Gbps.
2. Kapasitas *bandwidth* maksimum pada perencanaan ini adalah sebesar 70Gbps dengan menggunakan 7 buah perangkat *STM-64*. Sehingga, nilai prediksi kebutuhan *bandwidth* hingga tahun 2014 sebesar 69,59 Gbps dapat terpenuhi.
3. Keandalan margin sistem yang digunakan adalah sebesar 3 dB (sebagai standar yang ditetapkan oleh PT.Telkom), yang mampu mengkompensasi redaman pada optik yang terjadi karena *aging*, fluktuasi suhu danantisipasi perubahan parameter komponen yang dapat menimbulkan degradasi.
4. Perencanaan jaringan serat optik *DWDM* ini dapat diimplementasikan di lapangan, dengan menggunakan 1 buah penguat, maka nilai *power link budget* dapat menjangkau jarak tempuh transmisi maksimum sejauh 192 km (jarak total *link* 153,66 km). Nilai *rise time* sistem adalah 70 ps dan pada jalur Cikupa – Jatinegara; Slipi – Cikupa memiliki nilai *rise time* perencanaan yang melebihi nilai *rise time* sistem, sehingga digunakan *DCM* yang mampu megkompensasi efek dispersi untuk serat optik sampai jarak 50 km.

DAFTAR REFERENSI

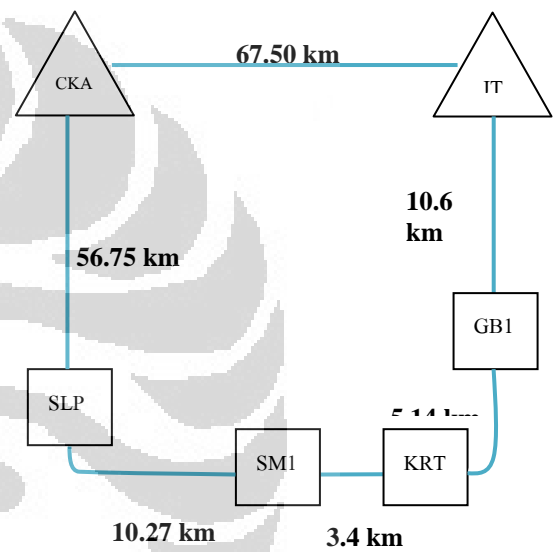
- [1] Keiser, Gerard. "*Optical Fiber Communication 2nd Edition*". Mc.Graw-Hill Inc., 1991.
- [2] "*The Glass Story: Multimode and Single Mode Optical Fibers for LAN system*". <http://www.occfiber.com/wpglass.html>. Tanggal akses 28 September 2011
- [3] Roger L, Freeman. "*Fiber-Optic Systems for Telecommunications*". John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [4] Sugijono, Erwin. "*Perencanaan Sistem Komunikasi Serat Optik Shanghai, China – Kabul, Afghanistan (5000 km) dengan BER 10^{-10}* ". Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2009.
- [5] Killen, B Harold. "*Fibre Optic Communication*". Prentice Hall International Editions. New Jersey, 1991.
- [6] Agrawal, G.P. "*Fiber Optic Communications System*". John Wiley & Sons, 1997.
- [7] Freeman, R.L. "*Telecommunication Transmission Handbook*". Edisi ke-4, John Willey & Sons, Inc. Canada, 1998.
- [8] Leza, Yorashaki M. "*Seminar : Perbandingan Transmisi dengan Teknik DWDM dan CWDM pada Komunikasi Serat Optik*". Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2011
- [9] Rochmah. "*Rancang Bangun Sistem Komunikasi Serat Optik antara Jakarta & Bandung*". Indonesia, 1992.
- [10] Dixit, Sudhir S. "*IP Over WDM : Building the Next Generation Optical Internet*". Wiley Inter Science. 2003.

- [11] “*Pengantar DWDM*”. <http://loehakim.blogspot.com/2009/03/pengantar-dwdm.html>. Tanggal akses 3 November 2011
- [12] Sitompul, Kristina R. “*Analisis Kinerja Jaringan MAN dengan Teknologi Metro Ethernet (Studi Kasus PT. Telkom Medan)*”. Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara. Medan, 2009.
- [13] Shalihah Nuruhli. “*Implementasi Jaringan Metro Ethernet PT Telkom Untuk Akses Layanan Mobile Broadband PT Telkomsel Area Jakarta*”. Depok: Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2008.
- [14] Tobing, Charles. “*Analisis Potensi Kompetitif dan Swot Layanan Telkom Metro Studi Kasus Area Jakarta*”. Depok: Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2008.
- [15] Harinaldi. “*Prinsip-Prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*”. Erlangga. Jakarta, 2005.



Lampiran 1. **PLAN SERAT OPTIK DWDM JAKARTA – BANTEN**

NO	LINK	RUAS	JARAK	PJ. KABEL (KM)
	End to End		KM	TOTAL
1	CKA - JT	CKA - KB	53.58	
		KB - JT	13.92	
				67.50
2	JT - GB1	JT - GB1	10.60	
				10.60
3	GB1 - KRT	GB1 - KRT	5.14	
				5.14
4	KRT - SM1	KRT - SM1	3.4	
				3.40
5	SM1 - SLP	SM1 - KRT	3.40	
		KRT - SLP	6.87	
				10.27
6	SLP - CKA	SLP - KDY	7.37	
		KDY - CKG	10.95	
		CKG - TAN	12.93	
		TAN - PSK	16.75	
		PSK - CKA	8.76	
				56.75
Σ Total				153.66



Keterangan :

CKA = Cikupa
 KB = Kebayoran
 JT = Jatinegara
 GB1 = Gambir1

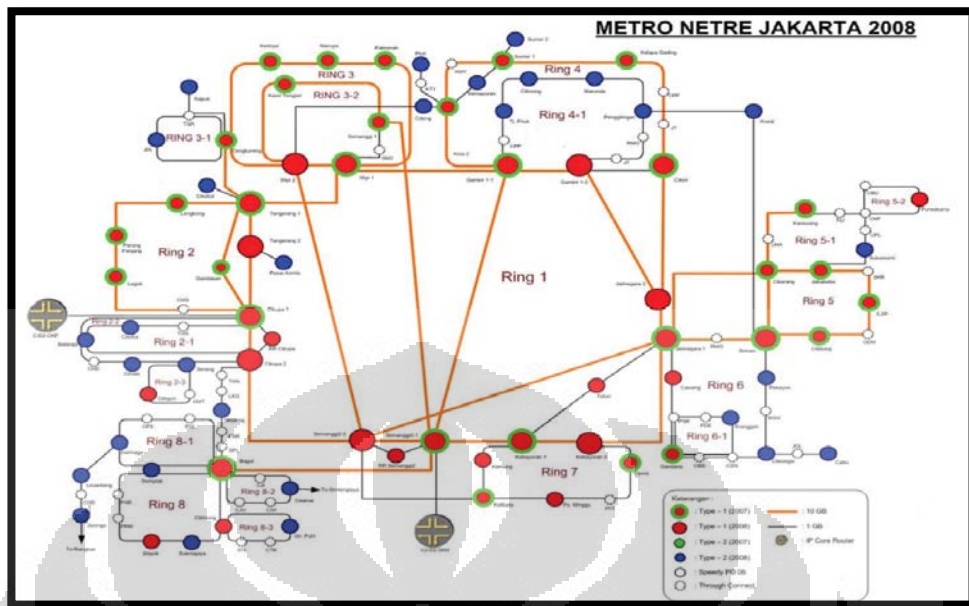
KRT = Karet
 SM1 = Semanggi1
 SLP = Slipi
 KDY = Kedoya

CKG = Cengkareng
 TAN = Tangerang
 PSK = Pasar Kamis

Lampiran 2. Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik DWDM

DATA TEKNIS PERENCANAAN LINK JAKARTA - BANTEN	
1. Parameter Desain	
Laju <i>Bit</i> (B)	10 Gbps (<i>STM-64</i>)
Jarak <i>Link</i> (L_{link})	153,66 km
<i>BER</i> (<i>Bit Error Rate</i>)	10^{-13}
Format Modulasi	NRZ
Panjang Gelombang Operasi	1550 nm
<i>Margin</i> Sistem (M_s)	3 dB
2. Komponen SKSO	
A. Serat Optik Single Mode : ITU-T G.655 (<i>Non Zero Dispersion Shifted Fiber</i>)	
<i>Attenuasi</i> (α_f)	0,3 dB/km
Dispersi Kromatik (D)	1,8 - 6 ps/nm.km
B. Optical Interface	
B.1 Pengirim (transmitter)	
<i>Rise Time</i> (t_{tx})	60 ps
Lebar Spektral (σ_λ)	0.1 nm
Daya Transmit (P_{tx})	9 dBm
B.2 Penerima (receiver)	
<i>Rise Time</i> (t_{rx})	35 ps
Sensitivitas minimum (P_{rx})	-38 dBm
C. Komponen Tambahan	
Redaman Konektor (α_c)	0,2 dB/konektor
Redaman <i>Splice</i> (α_s)	0.05 dB/splice
Gain <i>EDFA</i> (G)	33 dB
Daya Input <i>EDFA</i> (P_{in-amp})	-14 dBm

Lampiran 3. Jaringan Metro Ethernet PT.Telkom Existing



1	STO Semanggi 2	21	STO Pantai Indah	41	STO Karawang	61	STO Darmaga
2	STO Cikupa	22	STO Kemayoran	42	STO Pekayon	62	STO Cariu
3	STO Legok	23	STO Cideng	43	STO Kranji	63	STO Cibinong
4	STO Parung Panjang	24	STO Marunda	44	STO Purwakarta	64	STO Gunung Putri
5	STO Iengkong	25	STO Pluit	45	STO Sukaresni	65	STO Cileungsi
6	STO Tangerang	26	STO Sunter	46	STO Jatinegara	66	STO Depok
7	STO Gandasari	27	STO Tanjung Priok	47	STO Kranggan	67	STO Semplak
8	STO Balaraja	28	STO Cilincing	48	STO Penggilingan	68	STO Sukmajaya
9	STO Cilegon	29	STO Karet Tengsin	49	STO Tebet	69	STO Jasinga
10	STO Cikokol	30	STO Semanggi 1	50	STO Bekasi	70	STO Leuwilang
11	STO Ciruas	31	STO Gambir 1	51	STO Gandaria		
12	STO Serang	32	STO Kota-2	52	STO Cawang		
13	STO Pasar Kemis	33	STO Sunter	53	STO Kebayoran		
14	STO Cisoka	34	STO Kelapa Gading	54	STO Kemang		
15	STO Slipi	35	STO Gading-2	55	STO Pasar Minggu		
16	STO Palmerah	36	STO Bekasi	56	STO Cipete		
17	STO Meruya	37	STO Jababeka	57	STO Kalibata		
18	STO Kedoya	38	STO EJIP	58	STO Serpong		
19	STO Cengkareng	39	STO Cibitung	59	STO Cisarua		
20	STO JIA	40	STO Cikarang	60	STO Bogor		

No	HRB	Alamat	Kategori
1	Gedung BII	Cikini	Cikini
2	City Tower	Jl. MH Thamrin	Cikini
3	Gedung Sarana Jaya	Jl. Budi Kemuliaan	Gambir
4	Graha Paramita	Jl. Denpasar Raya	Gambir
5	BBD Plaza	Jl. Imam Bpnjol	Gambir
6	Menara Kebon Sirih	Jl. Kebon Sirih	Gambir
7	Grand Indonesia	Jl. MH Thamrin	Gambir
8	BII Plaza, Wisma 1	Jl. MH Thamrin	Gambir
9	BII Plaza, Wisma 2	Jl. MH Thamrin	Gambir
10	BII Plaza Wisma 3	Jl. MH Thamrin	Gambir
11	Gedung BSM	Jl. MH Thamrin	Gambir
12	Plaza Indonesia	Jl. MH Thamrin	Gambir
13	Wisma Nusantara	Jl. MH Thamrin	Gambir
14	Sarinah	Jl. MH Thamrin	Gambir
15	Menara Thamrin	Jl. MH Thamrin	Gambir
16	Graha BIP	Jl. Gatot Subroto	Gatsu
17	Gedung Citra Graha	Jl. Gatot Subroto	Gatsu

18	Menara Jamsostek	Jl. Gatot Subroto	Gatsu
19	Plaza Mandiri	Jl. Gatot Subroto	Gatsu
20	Patra Office Tower	Jl. Gatot Subroto	Gatsu
21	Gedung Sentra Mulia	Jl. Gatot Subroto	Gatsu
22	Wisma Bakrie	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
23	Wisma Budi	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
24	Plaza Centris	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
25	Menara Duta	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
26	Graha Ekonomi	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
27	Four Season Residence	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
28	Menara Gracia (perdana)	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
29	Great River Plaza	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
30	Menara Imperium	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
31	Graha Irama (Indorama)	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
32	Menara Kadin Indonesia	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
33	Menara Kuningan	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
34	Graha Surya Internusa	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu
35	Gedung Tira	Jl. HR Rasuna Said	Gatsu

Lampiran 5. Data Kebutuhan Layanan Metro-E Jakarta PT.Telkom

Tahun	Periode	Jumlah Pelanggan (Juta)	Jumlah Bandwidth (Mbps)
2008	Juli – September	11.315	12.288
	Oktober – Desember	11.3	542.584
2009	Januari – Maret	11.423	640.248
	April – Juni	11.748	1715.248
	Juli – September	12.431	3945.248
	Oktober – Desember	12.73	5060.248
2010	Januari – Maret	13.102	6020.248
	April – Juni	13.273	6848.248
	Juli – September	13.63	7925
	Oktober – Desember	13.95	8980
2011	Januari – Maret	14.275	10051.4
	April – Juni	14.6	11122.6

Lampiran 6. Hasil Perhitungan *Power Link Budget* dan *Rise Time Budget*

<i>Power Link Budget</i>	
Sensitivitas detektor	-38 dBm
Daya yang sampai detektor	-45,648 dBm
Jarak transmisi max tanpa penguat	128 Km
Jarak transmisi max dengan 1 penguat	192 Km

<i>Rise Time Budget sistem 70 ps</i>		
Keterangan	<i>Rise Time</i> Perencanaan tanpa DCM (ps)	<i>Rise Time</i> Perencanaan dengan DCM (ps)
Cikupa – Jatinegara	73,730	69,73
Jatinegara – Gambir1	69,561	69,561
Gambir1 – Karet	69,485	69,485
Karet – Semanggi1	69,472	69,472
Semanggi1 – Slipi	69,55	69,55
Slipi - Cikupa	72,246	69,50