



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERLUASAN JARINGAN SERAT OPTIK DI UNIVERSITAS
INDONESIA**

SKRIPSI

**SITI ZAHARA WATI
0706199924**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS INDONESIA
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERLUASAN JARINGAN SERAT OPTIK DI UNIVERSITAS
INDONESIA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SITI ZAHARA WATI
0706199924**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS INDONESIA
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yan dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Siti Zahara Wati
NPM : 0706199924
Tanda Tangan :
Tanggal : 30 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Seminar ini diajukan oleh :
Nama : Siti Zahara Wati
NPM : 0706199924
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Seminar : ANALISIS PERLUASAN JARINGAN SERAT
OPTIK DI UNIVERSITAS INDONESIA

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Ny. Rochmah N Sukardi M.Sc (.....)
Penguji : Dr. Ir. Dodi Suriana M.Eng (.....)
Penguji : Budi Sudiarto ST, MT (.....)

Ditetapkan di : Universitas Indonesia
Tanggal : 30 Juni 2009



*Untuk Orang Tua Tercinta:
Ibunda Rahil dan Ayahanda Zainuri*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunianya sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan dan dukungan beberapa pihak. Pertama-tama kami ingin mengucapkan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Ibu **Rochmah** selaku pembimbing tugas akhir atas bimbingan, ilmu, diskusi, nasehatnya dan waktu yang diberikan kepada kami. Kami juga ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada pihak-pihak berikut yang juga telah membantu dan mendukung dalam mengerjakan tugas akhir ini:

1. Keluarga tercinta atas do'a, kasih sayang, dukungan dan segala hal yang begitu banyak dicurahkan kepada kami.
2. Ibu Riri Fitri Sari dan Bapak Adhi Yuniarto, terima kasih atas dukungan dan waktu yang diberikan kepada kami agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ihdina Adli, terima kasih atas dukungan, semangat, perhatian dan segala hal yang telah dicurahkan kepada kami.
4. Teman-teman PPSI, teman-teman kosan An-Nisa dan Nurika Budi Lestari atas semangat dan dukungannya.
5. Teman-teman Teknik Elektro Program Ekstensi Angkatan 2007 atas diskusi, dukungan dan semangatnya kepada kami.
6. Segenap dosen dan staf pengajar di Program Studi Teknik Elektro yang telah membekali ilmu pengetahuan yang berguna kepada kami.

Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca ataupun para mahasiswa. Kritik dan saran dalam bentuk apapun akan dengan senang hati kami terima, dan akan kami jadikan masukan untuk masa yang akan datang.

Depok, 17 Juni 2009

Siti Zahara Wati

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

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

Nama : Siti Zahara Wati
NPM : 0706199924
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas akhir

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 PERLUASAN JARINGAN SERAT OPTIK DI UNIVERSITAS
INDONESIA

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat sengan sebenarnya.

Dibuat di : Universitas Indonesia
Pada tanggal : 17 Juni 2009
Yang menyatakan

(Siti Zahara Wati)

ABSTRACT

Name : Siti Zahara Wati
Major : Electrical Engineering
Topic : Development Of Fiber Optic Network Analysis In The University of Indonesia

University of Indonesia was using fiber optic as transmission media of the University of Indonesia Network Integrated (JUITA). Fiber optic has high capacity transfer; therefore fiber optic network was implemented in the JUITA. University of Indonesia has developed JUITA to increase information services that more fast and high qualified that include transmission link from Engineering Faculty to CDC UI building, Engineering Faculty to hospital project building and FIK to PKM building. Development of JUITA was adapted with University of Indonesia requirement likes: BER of 10^{-10} , data rate of 100 Mbps, 1550 nm wavelength. Optical devices that used were singlemode fiber optic loose tube type, PIN photodiode, laser diode and ST connector. The power link budget analysis was given maximum length of fiber optic that can be used without optical amplifier 491.9 km. The rise time budget analysis was given data rate maximum of 896 Mbps.

Keywords: fiber optic, power link budget, rise time budget, University of Indonesia Network integrated, University of Indonesia.

ABSTRAK

Nama : Siti Zahara Wati
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Perluasan Jaringan Serat Optik di Universitas Indonesia

Universitas Indonesia menggunakan serat optik sebagai media transmisi dalam membangun Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA). Serat optik mempunyai kapasitas transmisi yang besar, oleh karena itu jaringan serat optik diimplementasikan di JUITA. Guna meningkatkan layanan informasi yang cepat dan handal, Universitas Indonesia melakukan perluasan JUITA meliputi jalur transmisi serat optik dari Fakultas Teknik ke gedung CDC UI, Fakultas Teknik ke gedung proyek Rumah Sakit dan juga dari Fakultas Ilmu Keperawatan ke gedung PKM. Perencanaan perluasan JUITA ini disesuaikan dengan kebutuhan Universitas Indonesia seperti: BER 10^{-10} , kecepatan data 100 Mbps, panjang gelombang yang digunakan 1550 nm. Peralatan optik yang dipilih adalah serat optik *singlemode* jenis *loose tube*, detektor cahaya PIN photodiode, sumber optik laser diode, dan konektor ST. Dari analisis *power link budget* didapat jarak maksimum tanpa menggunakan penguat optik sejauh 491,9 km, sedangkan dari analisis *rise time budget* didapat kecepatan maksimum sebesar 896 Mbps.

Kata kunci: Serat Optik, Rise Time Budget, Power Link Budget, Jaringan Universitas Indonesia Terpadu, Universitas Indonesia

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vi
ABSTRACT	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
1. PENDAHULUAN	1
Latar Belakang.....	1
Tujuan.....	2
Pembatasan Masalah.....	2
Sistematika Penulisan.....	3
2. LANDASAN TEORI	4
Sistem Komunikasi Serat Optik.....	4
Pemancar Optik.....	7
Serat Optik.....	9
Penerima Optik.....	16
Parameter Unjuk Kerja Saluran Transmisi Serat Optik.....	20
<i>Power Link Budget</i>	21
<i>Rise Time Budget</i>	22
3. PERENCANAAN PENGEMBANGAN JARINGAN UNIVERSITAS INDONESIA TERPADU (JUITA)	24
Identifikasi Area Lokasi.....	24
Pemilihan Komponen Optik.....	26
Diagram <i>Single Line</i>	33
Instalasi dan Terminasi Serat Optik.....	35
Parameter Performansi Serat Optik.....	37
<i>P o w e r L i n k Budge</i>	37

<i>R i s e T i m e</i>	
<i>Budget</i>	39
4. ANALISIS PENGEMBANGAN JARINGAN UNIVERSITAS INDONESIA TERPADU	43
Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik.....	43
Analisis Jarak Maksimum Setiap Core.....	49
Analisis <i>Power Link Budget</i>	53
Analisis <i>Rise Time Budget</i>	55
Analisis Kecepatan Data Setiap Core.....	56
5. KESIMPULAN	61
DAFTAR REFERENSI	62
LAMPIRAN 1	
LAMPIRAN 2	
LAMPIRAN 3	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Blok Diagram Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik.....	4
Gambar 2.2	Struktur Dasar Serat Optik.....	10
Gambar 2.3	Serat Optik Tipe <i>Tight-Jacket</i> [2].....	10
Gambar 2.4	Serat Optik Tipe <i>Loose Tube</i> [2].....	11
Gambar 2.5	Konstruksi Kabel Serat Optik.....	11
Gambar 2.6	Index PProfil, Perambatan Cahaya, Masukan-Keluaran Pulsa dari Jenis Serat Optik <i>Single Mode Step Index</i> , <i>Multimode Step Index</i> dan <i>Multi Mode Gradded Index</i>	12
Gambar 2.7	Rambatan Sinar Dalam Serat Optik yang Dibengkokkan	15
Gambar 2.8	Blok Diagram Penerima Fiber Optik.....	17
Gambar 2.9	Struktur dan Prinsip [4].....	18
Gambar 2.10	Struktur dan Prinsip APD [4].....	19
Gambar 3.1	Jalur Kabel Serat Optik dari FIK ke Gedung PKM.....	25
Gambar 3.2	Jalur Kabel Serat Optik dari FT ke CD UI dan Gedung Proyek RS.....	26
Gambar 3.3	Flowchart Perencanaan Pengembangan JUITA.....	28
Gambar 3.4	<i>Single Mode outdoor centra tube cable</i> [10].....	29
Gambar 3.5.	Konektor ST [12].....	32
Gambar 3.6	<i>Single Line</i> diagram FT ke CDC UI.....	33
Gambar 3.7	<i>Line diagram</i> FT ke CDC UI FIK ke PKM.....	34
Gambar 3.8	Sistem Struktur Kabel Serat Optik dari FT ke CDC UI dan RS....	36
Gambar 3.9	Grafik $0,5 \operatorname{erfc}$	38
Gambar 4.1	Grafik <i>Loss</i> Serat Optik Pada Jalur Transmisi FT - CDC UI.....	44
Gambar 4.2	Grafik <i>Loss Splice</i> Pada Jalur Transmisi FT - CDC UI.....	45
Gambar 4.3	Grafik <i>Loss</i> Konektor Pada Jalur Transmisi FT – CDC UI.....	45
Gambar 4.4	Grafik <i>Loss</i> Serat Optik Pada Jalur Transmisi FT – RS.....	46
Gambar 4.5	Grafik <i>Loss Splice</i> Pada Jalur Transmisi FT – RS.....	47
Gambar 4.6	Grafik <i>Loss</i> Konektor Pada Jalur Transmisi FT – RS.....	47
Gambar 4.7	Grafik <i>Loss</i> Serat Optik Pada Jalur Transmisi FIK-PKM.....	48

Gambar 4.8	Grafik <i>Loss</i> Konektor Pada Jalur Transmisi FIK – PKM.....	49
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT – CDC UI	50
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT–RS...	51
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Jalur Transmisi FIK– PKM.....	52
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan BER Terhadap SNR.....	53
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan BER terhadap Daya Pemancar Optik.....	54
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan BER terhadap Jarak Maksimum.....	54
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan Kecepatan Data Setiap Jalur Transmisi.....	55
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan <i>Bandwidth</i> Pada Jalur Transmisi FT – CDC UI.....	57
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Kecepatan Data Pada Jalur Transmisi FT – CDC UI	57
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan <i>Bandwidth</i> Pada Jalur Transmisi FT – RS...	58
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Kecepatan Data Pada Jalur Transmisi FT – RS	59
Gambar 4.20	Grafik Perbandingan <i>Bandwidth</i> Pada Jalur Transmisi FIK – PKM.....	60
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan Kecepatan Data Pada Jalur Transmisi FIK – PKM.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Laser Dioda dan LED.....	9
Tabel 2.2	Perbandingan antara <i>Step Index</i> , <i>Grade Index</i> dan <i>Single Mode</i> ...13	
Tabel 2.3	Perbandingan PIN dan APD [4].....	20
Tabel 3.1	Spesifikasi Kebutuhan Pengembangan JUITA.....	25
Tabel 3.2	Karakteristik Fisik Serat Optik[10].....	29
Tabel 3.3	Karakteristik Optik Berdasarkan <i>Wavelength</i> Serat Optik.....	29
Tabel 3.4	Karakteristik Elektrik Pemancar Optik.....	30
Tabel 3.5	Karakteristik Optik Pemancar Optik[11].....	30
Tabel 3.6	Karakteristik Optik Penerima Optik[11].....	31
Tabel 3.7	Karakteristik Elektrik Penerima Optik[11].....	31
Tabel 3.8	Karakteristik Elektrik dan Optik LD [11].....	32
Tabel 3.9	Parameter Photodioda LD [11].....	32
Tabel 3.10	Karakteristik konektor ST/SC [12].....	32
Tabel 3.12	Karakteristik Jalur Transmisi Serat Optik.....	37
Tabel 3.13	Karakteristik <i>Rise Time Budget</i>	40
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran OTDR FT-CDC UI.....	44
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran OTDR FT-RS.....	46
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran FIK-PKM.....	48
Tabel 4.4	Analisa Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT-CDC UI.....	49
Tabel 4.5	Analisa Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT-RS.....	51
Tabel 4.6	Analisa Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT-CDC UI.....	52
Tabel 4.7	Perbandingan BER Terhadap SNR, P_d dan Jarak.....	53
Tabel 4.8	Perbandingan Rise Time Budget Pada Setiap Jalur Transmisi.....	55
Tabel 4.9	Perbandingan <i>Bandwidth</i> dan Kecepatan Data Setiap <i>Core</i> (FT-CDC UI)	56
Tabel 4.10	Perbandingan <i>Bandwidth</i> dan Kecepatan Data Setiap <i>Core</i> (FT-RS).....	58
Tabel 4.11	Perbandingan <i>Bandwidth</i> dan Kecepatan Data Setiap <i>Core</i> (FIK-PKM).....	59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keterbatasan utama dalam sistem komunikasi adalah kecepatan dan kapasitas transmisi, sehingga menuntut perkembangan yang semakin cepat seiring berkembangnya sektor komunikasi data dan suara. Teknologi serat optik dengan frekuensi 10^{13} Hz dan cahaya sebagai media transmisi menawarkan suatu jawaban dalam membangun suatu sistem transmisi yang berkecepatan tinggi dan memiliki kapasitas yang besar. Saat ini *kecepatan* transmisi serat optik sudah mencapai 10 Gbps dan *bandwidth* sebesar 19,3 THz untuk panjang-gelombang sebesar 1550 nm.

Universitas Indonesia merupakan salah satu dari tiga universitas terbesar di Indonesia. Universitas Indonesia sendiri memanfaatkan serat optik sebagai sarana pengiriman informasi yang menghubungkan 12 fakultas yang ada di Depok maupun di Salemba yang disebut Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA). Alasan digunakannya serat optik sebagai sarana transmisi JUITA adalah sebagai berikut:

- a. Tahan terhadap gangguan *Radio Frequency Interference* (RFI) dan *Electro Magnetic Interference* (EMI).
- b. Lebih aman, karena tidak bisa disadap melalui kabel biasa.
- c. *Bandwidth* yang besar.
- d. Tidak berkarat.
- e. Jangkauan lebih jauh dibanding kabel tembaga.
- f. Kecepatan transfer lebih tinggi.

Dalam memenuhi kebutuhan akan sarana informasi yang cepat dalam kehidupan kampus, Universitas Indonesia melakukan perluasan JUITA. Perluasan tersebut meliputi tiga saluran transmisi serat optik, yaitu:

- a. Dekanat Fakultas Teknik \leftrightarrow CDC Universitas Indonesia.

- b. Dekanat Fakultas Teknik \leftrightarrow Gedung Proyek Rumah Sakit UI.
- c. Fakultas Ilmu Keperawatan (FIK) \leftrightarrow Gedung Pusat Kesehatan Mahasiswa (PKM).

Berdasarkan hal diatas, maka akan dibuat perencanaan sistem komunikasi serat optik guna membangun tiga saluran transmisi serat optik tersebut. Selain itu juga akan dilakukan analisis dari hasil pengukuran ketiga saluran transmisi tersebut. Diharapkan perencanaan dan analisis ini dapat memberikan manfaat bagi Universitas Indonesia.

1.2. Tujuan

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Merencanakan perluasan Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA).
- b. Menganalisis *power link budget*.
- c. Menganalisis *rise time budget*.
- d. Menganalisis rugi-rugi pada setiap jalur transmisi serat optik untuk mengetahui jarak maksimum tanpa penguat optik.
- e. Menganalisis *Bit Error Ratio* (BER).

1.3. Pembatasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi ini tidak terlalu meluas, maka perlu dilakukan pembatasan terhadap masalah yang akan dibahas yaitu:

- a. Bagaimana tahap-tahap dalam membuat perencanaan pengembangan Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA).
- b. Bagaimana analisis *power link budget* dan *rise time budget* terhadap hasil perencanaan pengembangan JUITA.
- c. Bagaimana analisis rugi-rugi saluran transmisi terhadap jarak maksimum tanpa penguat optik.
- d. Bagaimana hubungan antara jarak transmisi terhadap *bandwidth* dan kecepatan data pada sistem komunikasi serat optik.

1.4. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini akan dibagi menjadi lima bab yang seluruhnya merupakan satu kesatuan yang saling berkaitan. Bab pertama dari tugas akhir ini berisi mengenai latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, serta sistematika penulisan.

Pada bab kedua akan menjelaskan dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir ini. Dasar teori yang akan mencakup dalam tugas akhir ini diantaranya adalah sistem komunikasi serat optik, pengenalan serat optik, komponen-komponen optik, parameter-parameter analisis *power link budget* dan analisis *rise time budget*.

Selanjutnya pada bab ketiga akan memaparkan mengenai perencanaan pengembangan Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA) yang meliputi tiga saluran transmisi serat optik, yaitu: Fakultas Teknik ke gedung CDC UI, Fakultas Teknik ke gedung proyek Rumah Sakit (RS) dan dari Fakultas Ilmu Keperawatan (FIK) ke gedung PKM.

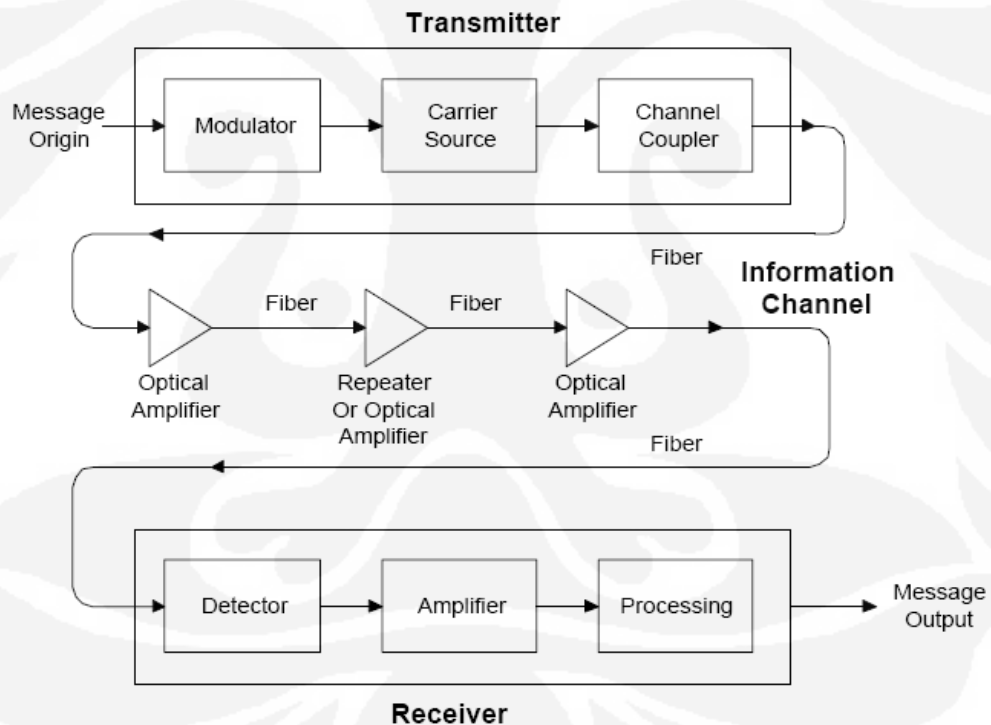
Pada bab ke empat akan membahas mengenai analisis dari perencanaan pengembangan JUITA yang meliputi: analisis rugi-rugi saluran transmisi serat optik, analisis jarak maksimum setiap *core*, analisis *power link budget*, analisis *rise time budget* dan analisis kecepatan data pada setiap *core*. Selanjutnya pada bab yang terakhir berisi kesimpulan dari tugas akhir ini.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Pada 30 tahun belakangan ini, telah dikembangkan sebuah teknologi baru yang menawarkan kecepatan data yang lebih besar sepanjang jarak yang lebih jauh dengan harga yang lebih rendah daripada sistem kawat tembaga. Teknologi baru ini adalah serat optik. Serat optik menggunakan cahaya untuk mengirimkan informasi.

2.1. Sistem Komunikasi Serat Optik

Elemen kunci dari sistem komunikasi optik adalah pemancar optik, kabel optik, dan penerima optik.



Gambar 2.1. Blok Diagram Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik

Gambar 2.1. merupakan blok diagram sistem komunikasi serat optik secara umum,

dimana fungsi-fungsi dari setiap bagian adalah sebagai berikut:

1. *Message Origin*
 - a. *Message origin* bisa berupa besaran fisik non-listrik (suara atau gambar), sehingga diperlukan transduser⁴(sensor) yang merubah *message* dari bentuk non-listrik ke bentuk listrik.
 - b. Contoh yang umum adalah *microphone* merubah gelombang suara menjadi arus listrik dan video kamera (*CCD*) merubah gambar menjadi arus listrik.
2. *Modulator dan Carrier Source*
 - a. Memiliki dua fungsi utama, pertama merubah *message* elektrik ke dalam bentuk yang sesuai, kedua menumpangkan sinyal ini pada gelombang yang dibangkitkan oleh *carrier source*.
 - b. Format modulasi dapat dibedakan menjadi modulasi analog dan digital.
 - c. Pada modulasi digital untuk menumpangkan sinyal data digital pada gelombang *carrier*, modulator cukup hanya meng-on-kan atau meng-off-kan *carrier source* sesuai dengan sinyal datanya.
 - d. *Carrier source* membangkitkan gelombang cahaya dimana informasi akan ditransmisikan, yang umum digunakan *Laser Diode (LD)* atau *Light Emitting Diode (LED)*.
3. *Channel Coupler*
 - a. Untuk menyalurkan daya gelombang cahaya yang telah termodulasi dari *carrier source* ke *information channel* (serat optik).
 - b. Merupakan bagian penting dari desain sistem komunikasi serat optik sebab kemungkinan *loss* yang tinggi.
4. *Information Channel (Serat Optik)*
 - a. Karakteristik yang diinginkan dari serat optik adalah atenuasi yang rendah dan sudut *light-acceptance-cone* yang besar.
 - b. *Amplifier* dibutuhkan pada sambungan yang sangat panjang (ratusan atau ribuan kilometer) agar didapatkan daya yang cukup pada *receiver*.

- c. *Repeater* hanya dapat digunakan untuk sistem digital, dimana berfungsi merubah sinyal optik yang lemah ke bentuk listrik kemudian dikuatkan dan dikembalikan ke bentuk sinyal optik untuk transmisi berikutnya.
 - d. Waktu perambatan cahaya didalam serat optik tergantung pada frekuensi cahaya dan pada lintasan yang dilalui, sinyal cahaya yang merambat di dalam serat optik memiliki frekuensi berbeda-beda dalam rentang tertentu (lebar spektrum frekuensi) dan dayanya terbagi-bagi sepanjang lintasan yang berbeda-beda, hal ini menyebabkan distorsi pada sinyal.
 - e. Pada sistem digital distorsi ini berupa pelebaran (dispersi) pulsa digital yang merambat di dalam serat optik, pelebaran ini makin bertambah dengan bertambahnya jarak yang ditempuh dan pelebaran ini akan tumpang tindih dengan pulsa-pulsa yang lainnya, hal ini akan menyebabkan kesalahan pada deteksi sinyal. Adanya dispersi membatasi kecepatan informasi (pada sistem digital kecepatan informasi disebut *data rate* diukur dalam satuan *bit per second (bps)*) yang dapat dikirimkan.
5. *Detector dan Amplifier*
- a. Digunakan detektor cahaya (*photo-diode* dan *photo transistor*) yang berfungsi merubah sinyal optik yang diterima menjadi sinyal listrik.
6. *Signal Processor*
- a. Untuk transmisi analog, sinyal prosesor terdiri dari penguatan dan *filtering* sinyal. *Filtering* bertujuan untuk memaksimalkan rasio dari daya sinyal terhadap power sinyal yang tidak diinginkan. Fluktuasi acak yang ada pada sinyal yang diterima disebut sebagai *noise*. Bagaimana pengaruh *noise* ini terhadap sistem komunikasi ditentukan oleh besaran *Signal to Noise Ratio (SNR)*, yaitu perbandingan daya sinyal dengan daya *noise*, biasanya dinyatakan dalam desibel (dB), makin besar SNR maka makin baik kualitas sistem komunikasi tersebut terhadap gangguan *noise*.
 - b. Untuk sistem digital, sinyal prosesor terdiri dari penguatan dan filtering sinyal serta rangkaian pengambil keputusan .
 - c. Rangkaian pengambil keputusan ini memutuskan apakah sebuah bilangan biner 0 atau 1 yang diterima selama slot waktu dari setiap individual bit. Karena adanya *noise* yang tak dapat dihilangkan maka selalu ada

kemungkinan kesalahan dari proses pengambilan keputusan ini, dinyatakan dalam besaran *Bit Error Rate* (BER) yang nilai-nya harus kecil pada sistem komunikasi.

- d. Jika data yang dikirim adalah analog (misalnya suara), namun ditransmisikan melalui serat optik secara digital (pada *transmitter* dibutuhkan *Analog to Digital Converter (ADC)* sebelum sinyal masuk *modulator*) maka dibutuhkan juga *Digital to Analog Converter (DAC)* pada sinyal prosesor, untuk merubah data digital menjadi analog, sebelum dikeluarkan ke keluaran (misalnya *speaker*).

7. *Message Output*

- a. Jika keluaran yang dihasilkan di presentasikan langsung ke manusia, yang mendengar atau melihat informasi tersebut, maka keluaran yang masih dalam bentuk sinyal listrik harus dirubah menjadi gelombang suara atau *visual image*. Transduser (*actuator*) untuk hal ini adalah *speaker* untuk *audio message* dan tabung sinar katoda (*CRT*) (atau yang lainnya seperti *LCD*) untuk *visual image*.
- b. Pada beberapa situasi misalnya pada sistem dimana komputer-komputer atau mesin-mesin lainnya dihubungkan bersama-sama melalui sebuah sistem serat optik, maka keluaran dalam bentuk sinyal listrik langsung dapat digunakan. Hal ini juga jika sistem serat optik hanya bagian dari jaringan yang lebih besar, seperti pada sebuah *fiber link* antara *telephone exchange* atau sebuah *fiber trunk line* membawa sejumlah program televisi, pada kasus ini *processing* mencakup distribusi dari sinyal listrik ke tujuan-tujuan tertentu yang diinginkan. Peralatan pada *message output* secara sederhana hanya berupa sebuah konektor elektrik dari prosesor sinyal ke sistem berikutnya.

2.1.1. **Pemancar Optik**

Pemancar optik merupakan sumber cahaya dalam sistem komunikasi serat optik. Pemancar optik digunakan untuk mengkonversi sinyal elektrik menjadi sinyal optik yang akan dilewatkan melalui serat optik. Cahaya yang dibawa dapat diatur kedalam tingkat intensitas yang berbeda-beda, sehingga menjadi lebih

mudah untuk diaktifkan dan dinonaktifkan yang disebut dengan modulasi analog. Modulasi yang dapat merubah intensitas cahaya disebut juga dengan *Amplitude Modulation* (AM).

Secara umum sumber cahaya dalam sistem komunikasi serat optik ada dua jenis, yaitu:

1. *Light Emitting Diode (LED)*

LED yang sering digunakan dalam sistem komunikasi serat optik adalah *solid state semiconductor*. LED sering digunakan untuk jalur transmisi *multimode*. Sumber cahaya yang menggunakan LED lebih sedikit mengkonsumsi daya daripada laser. Namun sebagai konsekuensinya, sinar yang dipancarkan oleh LED tidak dapat menempuh jarak sejauh laser. Terdapat dua jenis LED yaitu *edge emitting LED (ELED)* dan *surface emitting LED*. Keduanya mempunyai divergensi tinggi dari cahaya keluaran. Selain itu LED mempunyai *rise time* yang lambat (kurang dari 1ns) yang membatasi kecepatan sistem komunikasi dan juga kurang sensitif terhadap suhu. ELED dapat digunakan pada jalur transmisi *single mode*.

2. Laser.

Laser digunakan untuk kecepatan data yang lebih tinggi. Laser dengan panjang gelombang (*wavelength*) yang pendek (780-850 nm) umumnya digunakan untuk serat optik *multimode*, sedangkan laser dengan *wavelength* yang lebih panjang (1,3-1,5 μm) digunakan untuk serat optik *singlemode*. Laser yang digunakan dalam sistem komunikasi serat optik merupakan laser tipe *edge emitting laser*. Terdapat banyak jenis laser, tetapi hanya sebagian jenis saja yang dapat digunakan dalam sistem komunikasi serat optik, yaitu:

- a. *Double Heterostructure (DH)*
- b. *Quantum Well (QW)*
- c. *Strained Layer (SL)*
- d. *Distributed Feedback (DFB)*
- e. *Distributed Bragg Reflector (DBR)*
- f. *Vertical Cavity Surface Emitting Lasers (VCSEL)*

Laser diode mempunyai *bandwidth* sebesar 1000 GHz ($\Delta\lambda \approx 2nm$), LED mempunyai *bandwidth* sebesar 10.000 GHz ($\Delta\lambda \approx 2nm$). Baik LD maupun LED mempunyai redaman yang rendah. Lebar *spectral* $\Delta\lambda$ akan sekecil mungkin sedangkan batasan modulasinya Δf akan menjadi sebesar mungkin. Pada 3 dB, *insertion loss* dari *laser diode* hanya 50% dari kekuatan cahaya yang ditembakkan dalam serat optik. Pada 15-20 dB, *insertion loss* dari LED berkurang hanya beberapa persen saja.

Tabel 2.1. Perbandingan Laser Dioda dan LED

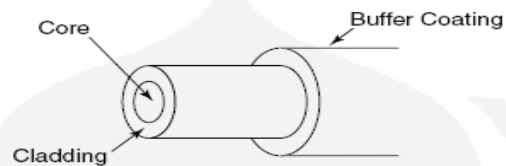
Karakteristik	<i>Laser Diode</i>	<i>Light Emitting Diode</i>
<i>Wavelength</i>	>1300 nm	800-900 nm
<i>Spectral Width</i>	1-2 nm	30-40 nm
<i>Available Output Power</i>	5-15 mW	1-5 mW
<i>Insertion Loss</i>	3 dB	15-20 dB
<i>Modulation Frequency</i>	1000 MHz	10-100 MHz
<i>Life Expectancy</i>	10^4 - 10^5 hours	10^3 - 10^6 hours

2.1.2. Serat Optik

Serat optik adalah 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.

Sebuah serat optik terdiri dari tiga bagian, yaitu: inti (*core*), kulit (*cladding*) dan mantel (*buffer*) atau pelindung. *Core* adalah sebuah batang silinder terbuat dari bahan dielektrik bahan silika (SiO_2), biasanya diberi pengotor dengan germanium oksida (GeO_2) atau fosfor penta oksida (P_2O_5) untuk meningkatkan indek bias. *Core* memiliki jari-jari sekitar 8 – 200 μm dan indeks bias (n_1) besarnya sekitar 1,5. *Core* diselubungi oleh lapisan material yang disebut kulit dan terbuat dari bahan dielektrik (silika tanpa atau sedikit pengotor), kulit

memiliki jari-jari sekitar 125 – 400 μm , indeks bias (n_2) sedikit lebih rendah dari n_1 .



Gambar 2.2. Struktur Dasar Serat Optik [2]

Keuntungan serat optik adalah sebagai berikut:

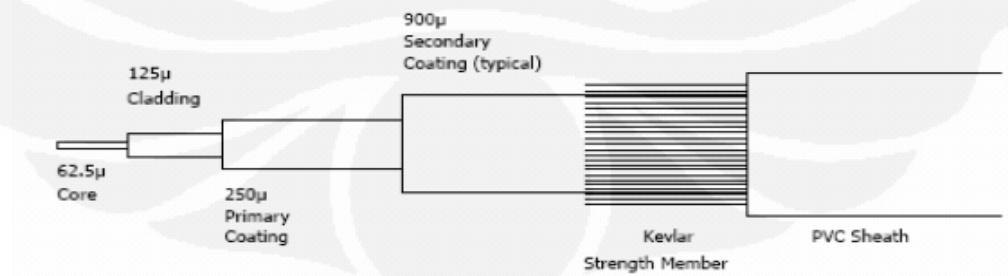
1. Tahan terhadap gangguan RFI (*Radio Frequency Interference*) dan EMI (*ElectroMagnetic Interference*).
2. Keamanan, tidak bisa disadap melalui kabel biasa.
3. *Bandwidth* yang besar.
4. Tidak berkarat.
5. Jangkauan lebih jauh dibanding kabel tembaga.
6. Kecepatan transfer lebih tinggi.

Kelemahan serat optik adalah sebagai berikut:

1. Guncangan fisik akan menjadi gangguan terhadap sinyal.
2. Sulit dalam instalasi dibanding kabel tembaga yaitu penyambungan untuk instalasi atau apabila putus.
3. Pembelokan yang tajam bisa menyebabkan patah.

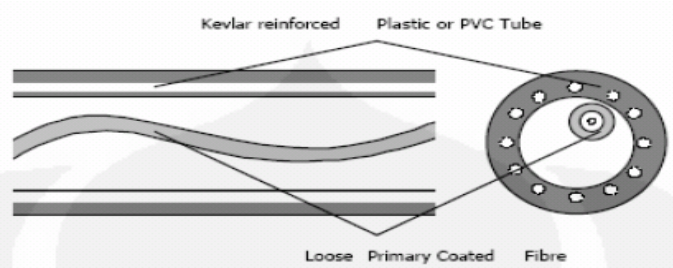
Berdasarkan tipe struktur, serat optik dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Struktur kabel tipe *tight-jacket*

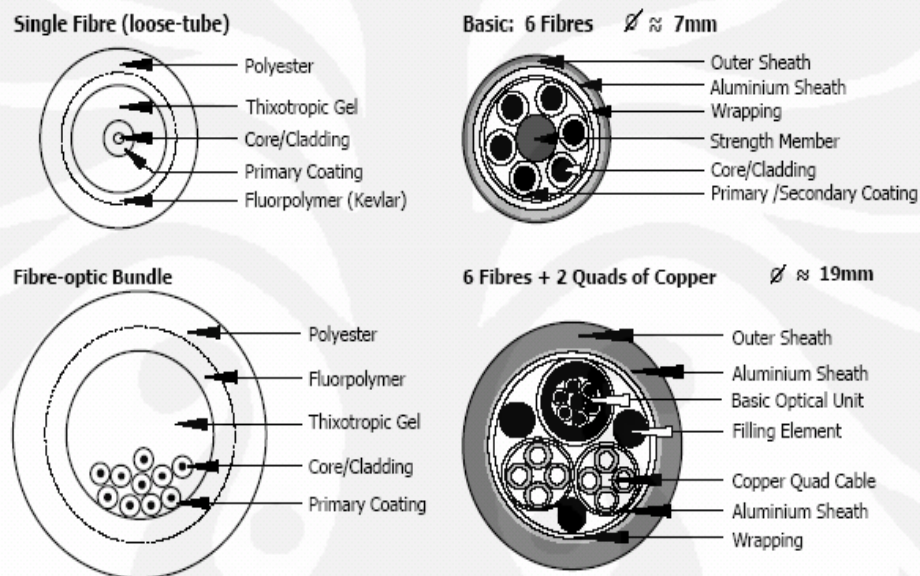


Gambar 2.3. Serat Optik Tipe *Tight-Jacket* [2]

2. Struktur kabel tipe *loose tube*



Gambar 2.4. Serat Optik Tipe *Loose Tube* [2]



Gambar 2.5. Konstruksi Kabel Serat Optik [2]

Secara umum serat optik dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Berdasarkan mode yang dirambatkan:

a. *Singlemode*

Serat optik dengan inti yang sangat kecil, diameter mendekati panjang gelombang sehingga cahaya yang masuk ke dalamnya tidak terpantul-pantul ke dinding kulit.

b. *Multimode*

Serat optik dengan diameter inti yang agak besar yang membuat laser di dalamnya akan terpantul-pantul di dinding kulit yang dapat menyebabkan berkurangnya *bandwidth* dari serat optik jenis ini.

2. Berdasarkan indeks bias inti :

a. *Step index*

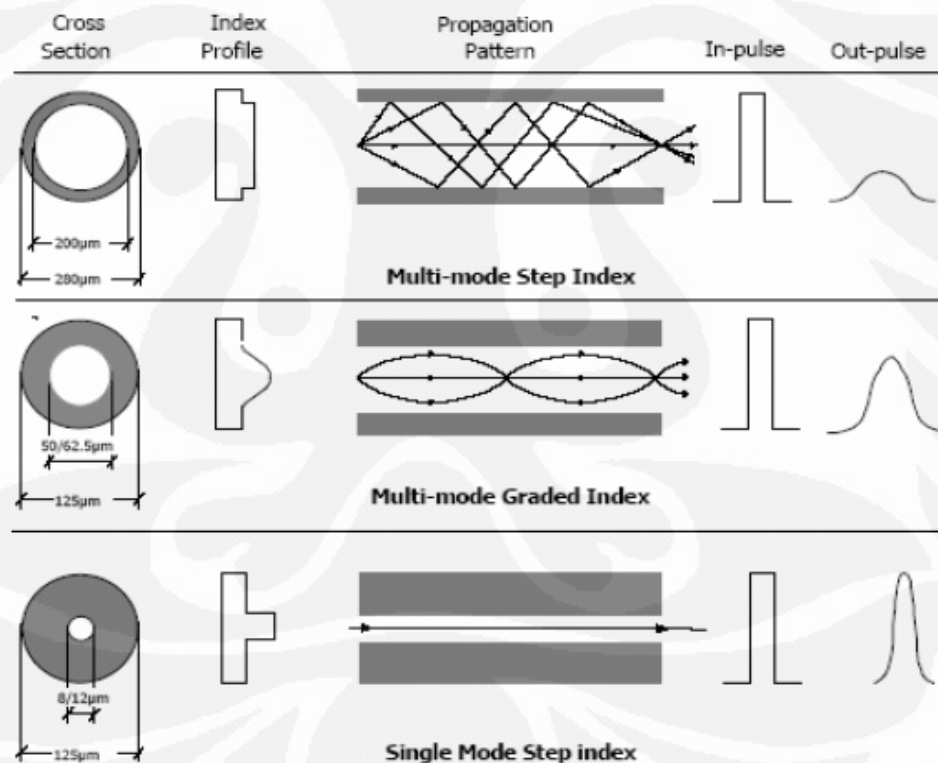
Pada serat optik *step index*, inti memiliki indeks bias yang homogen.

b. *Graded index*

Indeks bias inti semakin mendekati ke arah kulit semakin kecil. Jadi pada *graded index*, pusat inti memiliki nilai indeks bias yang paling besar. Serat optik jenis *graded index* memungkinkan untuk membawa *bandwidth* yang lebih besar, karena pelebaran pulsa yang terjadi dapat diminimalkan.

Terdapat tiga jenis kabel serat optik yang sering digunakan:

1. *Multimode Step Index*
2. *Multimode Grade Index*
3. *Single Mode*



Gambar 2.6. Index Profil, Perambatan Cahaya, Masukan-Keluaran Pulsa dari Jenis Kabel Serat Optik *Single Mode Step Index*, *Multimode Step Index* dan *Multi Mode Graded Index*[3]

Tabel 2.2. Perbandingan Antara *Step index*, *Grade index* dan *Single Mode* [3]

Fiber Type	Core/Cladding Diameter(m)	Attenuation Coefficient (dBkm)			Bandwidth (MHz-km)
		850 nm	1300 nm	1550 nm	
Multimode/Plastic	1 mm	(1 dB/m	@665 nm)		Low
Multimode/Step Index	200/240	6			50 @ 850 nm
Multimode/Graded Index	50/125	3	1		600 @1300 nm
	62.5/125	3	1		500 @1300 nm
	85/125	3	1		500 @1300 nm
	100/140	3	1		300 @1300 nm
Singlemode	8-9/125		0.5	0.3	high

Ada lima jenis redaman dalam serat optik, yaitu:

1. Rugi-rugi penyerapan

Rugi-rugi penyerapan pada serat optik disebabkan oleh tiga mekanisme yang berbeda, yaitu penyerapan ultraviolet, penyerapan inframerah, dan penyerapan resonansi ion. Penyerapan ultraviolet terjadi karena untuk silika lebur murni (*pure fused silica*). Penyerapan inframerah terjadi karena foton-foton dari energi cahaya diserap oleh atom-atom di dalam molekul gelas dan diubah menjadi getaran mekanis yang acak yang merupakan ciri khas dari pemanasan. Ionisasi ini berkembang menjadi suatu rugi energi pada medan-medan cahaya dan mempengaruhi rugi transmisi.

2. Rugi-rugi penyebaran *rayleigh*

Gelas dalam serat optik merupakan suatu benda padat *amorphous* (tidak berbentuk kristal) yang dibentuk dengan cara membiarkan gelas itu mendingin dari keadaan cairnya pada suhu tinggi hingga membeku. Selama proses pembentukan ini, variasi-variasi submikroskopis dalam kerapatan gelas dan dalam campuran-campuran didalamnya ikut dibekukan di dalam gelas, dan kemudian menjadi facet-facet yang memantulkan dan membiaskan serta menyebarkan (*scatter*) sebagian kecil cahaya yang lewat melalui gelas tersebut. Meskipun teknik pembuatannya yang teliti dapat mengurangi penyimpangan hingga minimum, mereka tidak dapat seluruhnya dihilangkan. Rugi-rugi yang ditimbulkan karena efek penyebaran ini berubah menurut perbandingan terbalik pangkat empat dari panjang gelombang ($\alpha\lambda_0^{-4}$),

sehingga pengaruhnya akan berkurang hingga lebih kecil dari kira-kira 0.3 dB/km pada panjang gelombang 1.3 μm .

3. Ragam-ragam yang bocor

Bila pelapis dikelilingi oleh suatu bahan dengan indeks bias yang lebih rendah, pembiasan sebagian dari ragam-ragam lengkungan akan terjebak di dalam pelapis dan merambat di sepanjang pelapis ke penerima. Ragam-ragam bocor harus dibuang dari inti dan pelapis sedini mungkin agar dapat mengurangi penyebaran sinyal. Ragam-ragam bocor yang ditimbulkan pada ujung pemancar dari serat optik biasanya hanya mengandung beberapa persen dari daya terbimbing total, dan hal ini akan diredam dengan cepat didekat pemancar. Hal ini menjadi suatu rugi tetap bagi serat optik. Bila serat optik tidak bersambung, rugi ini hanya akan terjadi sekali. Tetapi bila pada kabel terdapat sambungan-sambungan (*splices*), ragam-ragam yang terkandung dan merambat di bagian pertama mungkin tidak digandengkan (*coupled*) ke bagian berikutnya, dan ini akan mengakibatkan dipindahkannya daya ke ragam-ragam bocor pada sambungan tersebut. Daya ini hilang tepat dibelakang sambungan karena efek menghilangkan (*stripping*), sehingga setiap sambungan akan menambah rugi.

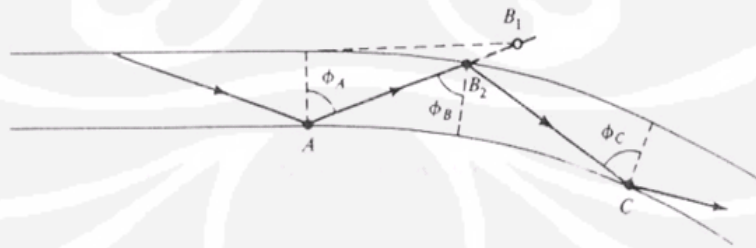
4. Rugi-rugi penggandengan ragam (*Mode-Coupling Losses*)

Daya yang sudah dilepaskan dengan baik ke dalam suatu ragam yang merambat kemungkinan digandengkan ke dalam suatu ragam bocor atau ragam radiasi pada sebuah titik yang agak jauh pada fiber. Efek penggandengan ini dapat terjadi karena cacat-cacat kecil pada gelas inti atau pada *interface* inti-pelapis, seperti misalnya variasi kecil pada diameter inti, bentuk penampang atau gelembung-gelembung dalam gelas dapat menyebabkan digandengkannya energi ke dalam salah satu dari ragam-ragam bocor. Rugi-rugi dari sumber ini akan terbagi rata di sepanjang fiber. Sumber lain dari penggandengan ragam ialah sambungan-sambungan yang dibentuk dengan kurang sempurna. Pada umumnya, rugi-rugi ini ditekan hingga 0.5 dB per gandengan atau kira-kira 0.2 dB per sambungan. Hal ini merupakan rugi-rugi yang diskrit dan dapat dibuat menjadi minimum dengan cara mengurangi

banyaknya sambungan atau konektor yang diperlukan dalam suatu jalur serat optik tertentu.

5. Rugi-rugi pembengkokan (*Bending Losses*)

Dua jenis pembengkokan yang menyebabkan rugi-rugi dalam serat optik, adalah pembengkokan mikro (*microbending*) dan pembengkokan radius konstan. Keduanya timbul karena alasan-alasan yang berbeda, dan menimbulkan rugi-rugi dengan dua macam mekanisme yang berbeda pula. Pembengkokan mikro adalah suatu pembengkokan mikroskopis dari inti serat optik yang disebabkan oleh laju penyusutan atau kontraksi suhu yang sedikit berbeda antara bahan inti dan bahan pelapis. Pembengkokan mikro juga dapat timbul jika serat optik berulang kali digulung menjadi suatu kabel serat optik majemuk atau jika digulung pada kelas-kelas untuk memudahkan pengangkutan dan penyimpanan. Ketelitian selama pembuatan dan pengangkutannya akan banyak mengurangi rugi-rugi ini. Bila serat optik diinstalasikan dalam saluran kabel atau pada tiang-tiang untuk saluran transmisi, seringkali menemukan adanya belokan-belokan pada fiber untuk mengikuti misalnya sudut atau tikungan. Belokan yang cukup tajam dapat juga menyebabkan rugi atau hilangnya cahaya dalam fiber. Makin tajam belokan itu dibuat, makin banyak pula ragam-ragam yang terlepas pada belokan, sehingga untuk memasang serat optik, perlu dipastikan bahwa tidak ada belokan-belokan yang tajam. Pembuat fiber biasanya menspesifikasikan suatu radius belokan minimum dan memberikan pula suatu angka rugi minimum yang berkaitan dengan belokan tersebut.



Gambar 2.7. Rambatan Sinar Dalam Serat Optik yang Dibengkokkan[3]

2.1.3. Penerima Optik

Penerima berfungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik. Oleh karena itu, karakteristik yang sangat dibutuhkan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sensitivitas tinggi
2. *Bandwidth* yang mencukupi dan respon yang cepat untuk mengakomodasi laju informasi.
3. *Noise* rendah.
4. Reliabilitas tinggi dan tidak terpengaruh oleh perubahan suhu.

Komponen penerima dibagi menjadi 3, yaitu:

1. *Front End*

Terdiri dari :

- a. *Photo Diode* : mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik.
- b. *Preamplifier* : menguatkan sinyal untuk proses selanjutnya.

2. *Linear Channel*

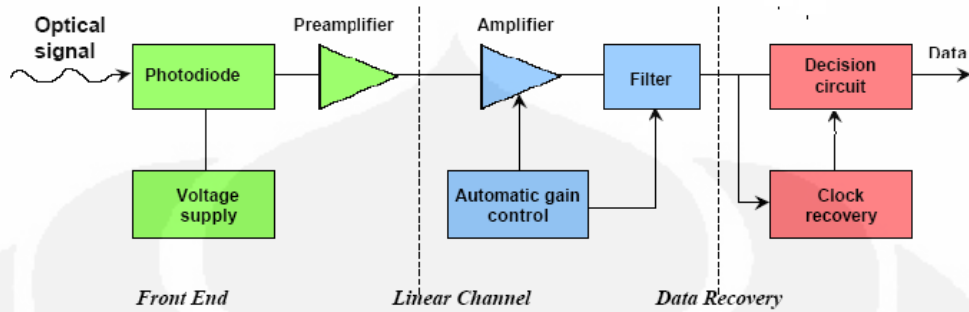
Terdiri dari :

- a. *Main Amplifier* : dikontrol secara otomatis untuk membatasi tegangan keluaran.
- b. *Low Pass Filter* : untuk membentuk pulsa tegangan yang berguna untuk mengurangi *noise*.

3. *Data Recovery*

Terdiri dari :

- a. *Sirkuit Decision* : untuk membandingkan output dari linear channel terhadap level threshold dan memutuskan apakah sinyal merupakan bit “1” atau bit “0”.
- b. *Sirkuit Clock Recovery* : mensinkronkan proses keputusan.



Gambar 2.8. Blok Diagram Penerima Serat Optik

Penerima pada sistem komunikasi serat optik terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. Detektor penerima

Detektor Penerima (*Photodetector*) berfungsi untuk menangkap cahaya yang berupa gelombang optik pembawa informasi.

2. Rangkaian elektrik

Rangkaian elektrik berfungsi untuk mengkonversi cahaya pembawa informasi terhadap data informasi terhadap data informasi yang dibawa dengan melakukan regenerasi waktu, regenerasi pulsa serta konversi sinyal elektrik ke dalam *interface* V.28 yang berupa sinyal digital dan sebaliknya.

Pendeteksi Cahaya

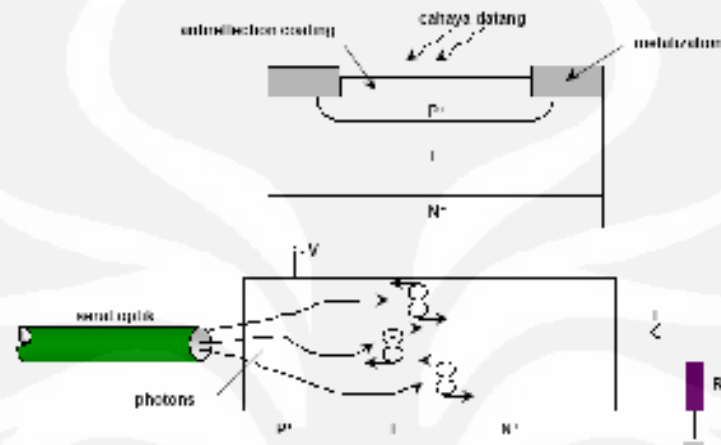
Detektor adalah bagian integral dari seluruh sistem komunikasi serat optik, yang terletak pada bagian penerima. Berfungsi untuk mengubah kembali sinyal optik menjadi sinyal elektrik. Detektor optik dapat menghasilkan gelombang sesuai aslinya, dengan meminimalisasi rugi-rugi yang timbul selama perambatan, sehingga dapat juga menghasilkan sinyal elektrik yang maksimum dengan daya optik yang kecil.

Detektor penerima berfungsi untuk menangkap cahaya yang berupa gelombang optik pembawa informasi, dapat berupa PIN *diode* atau *Avalanche Photo Diode* (APD). Pemilihannya tergantung keperluan sistem komunikasinya. Seperti halnya pemancar optik, penerima optik juga terdiri dari bahan

semikonduktor. Dikombinasikan dengan pemancar *Gallium Arsenide* (GaAS), serat *silika quartz* (SiO₂) dan *silika* (Si).

Terdapat dua jenis penerima detektor yaitu:

1. PIN/ FET Photo Diode



Gambar 2.9. Struktur dan Prinsip PIN [4]

Di dalam dioda PIN, serat optik ditempatkan sedemikian rupa sehingga cahaya yang diterima jatuh pada suatu lapisan intrinsik dari material semi konduktor yang diletakkan antara lapisan tipe n dan tipe p. *Diode junction* yang dibentuk oleh lapisan. Lapisan ini dibias mundur (*reverse-bias*) dan jumlah arus yang mengalir melalui *junction* tersebut ditentukan oleh intensitas cahaya (jumlah photon) yang masuk dalam lapisan intrinsik. Variasi arus yang mengalir melalui *diode* PIN sebagai hasil dari variasi intensitas sinyal optik yang diterima adalah sangat kecil sehingga memerlukan penguatan.

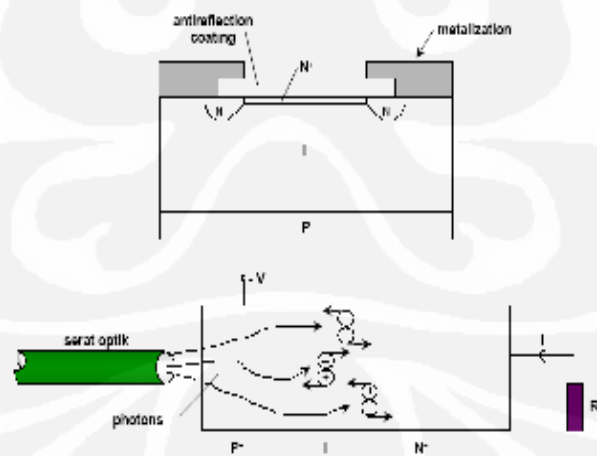
2. *Avalanche Photo Diode* (APD)

APD mempunyai konstruksi yang mirip dan beroperasi dengan cara yang sama dengan diode PIN. Akan tetapi APD tidak memerlukan penguat efek medan di dalam modul penerima. Internal *gain* yang membuat APD lebih sensitif, diperoleh melalui penggunaan tegangan bias mundur yang tinggi pada *diode junction*-nya. Hal ini menghasilkan suatu medan listrik yang tinggi pada lapisan intrinsik dioda. Pada saat suatu elektron dilepas karena adanya suatu photon yang

masuk ke lapisan intrinsik, medan listrik akan menyebabkan elektron tersebut bergerak sepanjang lapisan pada kecepatan yang tinggi dan bertubrukan dengan molekul-molekul lain sehingga melepaskan lebih banyak elektron-elektron yang selanjutnya akan bergerak sepanjang lapisan dengan kecepatan tinggi. Proses ini dinamakan *avalanche breakdown*.

Cara kerja APD adalah photon diserap di daerah pengosongan (*depletion*), menimbulkan elektron bebas dan lobang (*hole*) bebas. Gaya listrik yang besar pada bagian ini menyebabkan perubahan percepatan yang dapat membangkitkan energi kinetik. Energi kinetik ini meningkatkan elektron yang menyebrang pita energi pemisah. Percepatan muatan pertama dapat membangkitkan beberapa kali percepatan muatan yang baru. Hal ini menyebabkan proses pengkalian arus pada APD.

Pada saat suatu elektron dilepas karena adanya suatu photon yang masuk ke lapisan intrinsik, medan listrik akan menyebabkan elektron tersebut bergerak sepanjang lapisan pada kecepatan yang tinggi dan bertubrukan dengan molekul-molekul lain sehingga melepaskan lebih banyak elektron-elektron yang selanjutnya akan bergerak sepanjang lapisan dengan kecepatan tinggi. Keuntungan penggunaan *avalanche breakdown* ini adalah peningkatan sensitivitas dibandingkan dengan diode PIN



Gambar 2.10. Struktur dan Prinsip APD [4]

Keuntungan penggunaan *avalanche breakdown* ini adalah dapat digunakan untuk komunikasi jarak jauh pada panjang gelombang 1300 nm, 1500 nm dan 1550 nm dengan kualitas yang baik. Artinya detektor APD mempunyai sensitivitas dan response yang tinggi terhadap sinar laser sebagai pembawa gelombang optik informasi.

Tabel 2.3. Perbandingan PIN dan APD [4]

Karakteristik	PIN Photodiode	APD
<i>Bandwidth</i> modulasi	Puluhan MHz hingga puluhan GHz	Ratusan MHz hingga puluhan GHz
<i>Gain</i>	1	>1
Kebutuhan rangkaian tambahan	Tidak	Sumber tegangan bias yang tinggi, rangkaian pengkompensasi suhu
Linieritas	Tinggi	Rendah
Biaya	Rendah	Sedang hingga tinggi

2.2. Parameter Unjuk Kerja Saluran 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 jalur transmisi serat optik, yaitu:

1. Jarak transmisi yang diinginkan
2. Kecepatan data atau *bandwidth*
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 atau *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* sistem. Pada analisis *power link budget*, mula-mula menentukan rentang daya (*power margin*) antara keluaran pemancar optik dan sensitivitas minimum dari penerima, 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 dengan *power link budget* telah memenuhi kriteria maka selanjutnya menggunakan analisis *rise time budget*. Perhitungan *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.

2.2.1. Power Link Budget

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

sensitivitas detektor. Berikut ini persamaan-persamaan yang digunakan dalam menghitung *power link budget*:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$B = \frac{1}{2} B_T \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P_d = \frac{2 \times B \times F(M) \times SNR}{R} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P_s = 10 \log P_{LD} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$l = \frac{P_s - P_d - (n_c \cdot L_c) - (n_s \cdot L_s) - P_M}{L_f} \dots\dots\dots(2.5)$$

keterangan :

- P_s = Daya sumber optik (dBm)
- P_d = Sensitivitas penerima (dBm)
- L_s = Redaman penyambungan (*splice*) (dB)
- L_c = Redaman konektor (dB)
- n_s = Jumlah *splice*
- n_c = Jumlah konektor
- L_f = Redaman serat optik (dB/Km)
- P_M = *Margin* sistem (dB)
- $F(M)$ = Faktor Penguatan
- B = *Bandwidth* (Hz)
- B_T = Kecepatan Data (bps)
- BER = *Bit Error Ratio*
- SNR = *Signal to Noise Ratio*

2.2.2. Rise Time Budget

Perhitungan *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* dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini:

$$ts = Mx\sigma_{\lambda}xL \dots\dots\dots(2.6)$$

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$B_T = 2xB \dots\dots\dots(2.9)$$

keterangan:

- t_{sis} = *Rise time* total sistem
- t_{TX} = *Rise time* sumber optik
- t_{RX} = *Rise time* detektor optik
- t_s = *Rise time* serat optik
- σ_{λ} = Dispersi kromatik
- L = Panjang *link*
- B = *Bandwidth*

BAB 3

PERENCANAAN PENGEMBANGAN JARINGAN UNIVERSITAS INDONESIA TERPADU (JUITA)

Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA) dibangun untuk mendukung kegiatan akademis dan penelitian bagi sivitas akademika di lingkungan Universitas Indonesia. JUITA melayani 12 fakultas dan pusat-pusat layanan yang dikelompokkan dalam tiga area di Depok dan satu area di Salemba. Universitas Indonesia menyediakan sarana yang terintegrasi untuk layanan suara, video dan data melalui:

1. Fasilitas *Single Sign-On* untuk pengaksesan layanan dan sistem informasi yang ada
2. Fasilitas VoIP yang menghubungkan 12 fakultas dan pusat-pusat layanan.
3. Fasilitas *Video-Conference* pada 12 Fakultas, PAU, dan GDLN
4. Interkoneksi internet dengan kecepatan data sebagai berikut:
 - a. Nasional : 100 Mbps
 - b. Internasional : 80 Mbps (Indosat 40 Mbps, 40 dari Telkom)
 - c. INHERENT : 3X 155 Mbps

3.1. Identifikasi Area Lokasi

Universitas Indonesia memperluas Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA). Perluasan ini terdiri atas tiga segment kabel serat optik. Interkoneksi yang akan dilakukan akan meliputi:

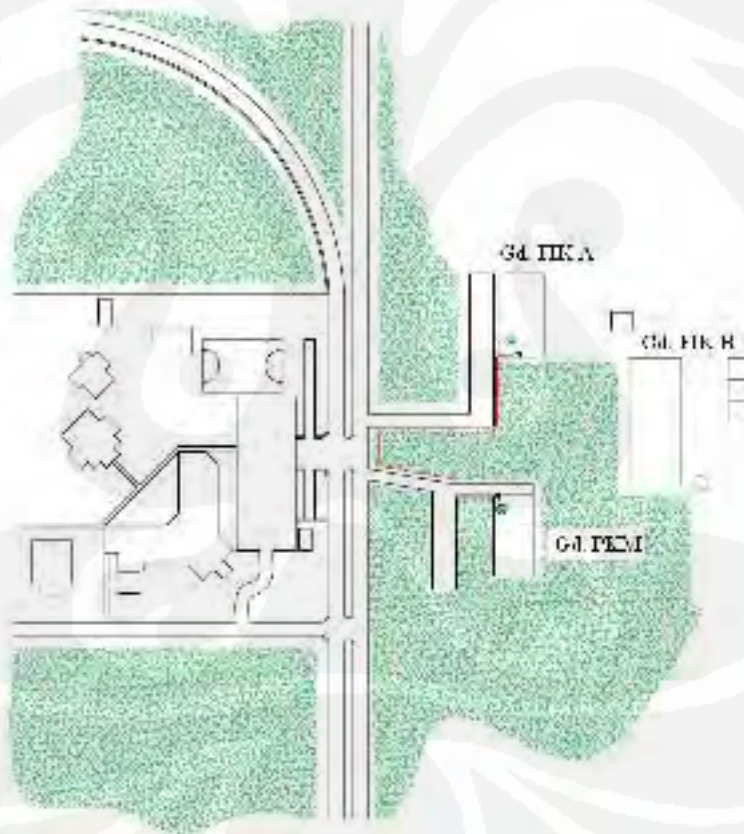
1. Dekanat Fakultas Teknik \leftrightarrow CDC Universitas Indonesia.
2. Dekanat Fakultas Teknik \leftrightarrow Gedung Proyek Rumah Sakit UI.
3. Fakultas Ilmu Keperawatan (FIK) \leftrightarrow Gedung Pusat Kesehatan Mahasiswa (PKM).

Sebelum memilih komponen, harus ditentukan terlebih dahulu kebutuhan pengembangan Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA) yang dapat dilihat pada tabel 3.1.

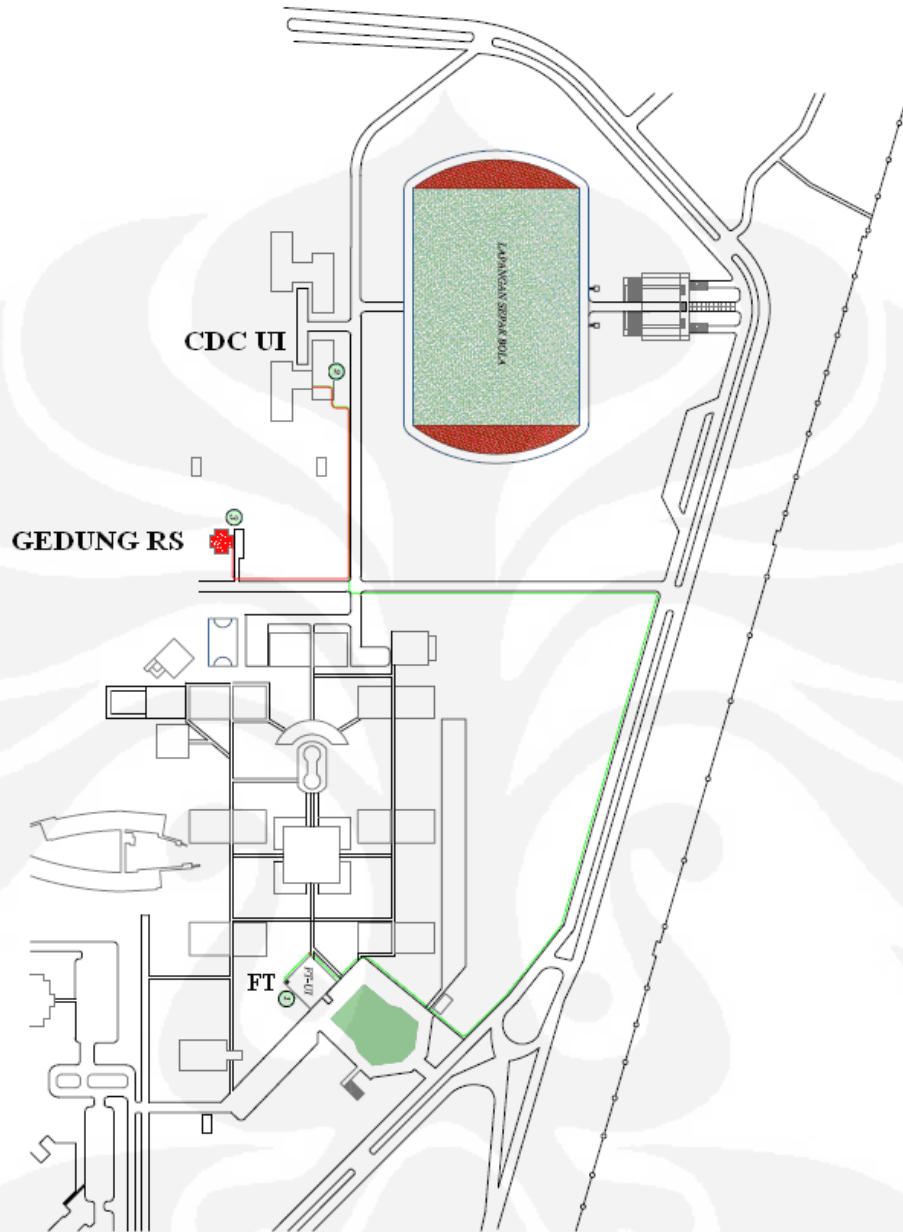
Tabel 3.1. Spesifikasi Kebutuhan Pengembangan JUITA

No	Spesifikasi	Nilai
1	Kecepatan data	100 Mbps
2	Jenis transmisi	Digital (NRZ)
3	Panjang gelombang	1550 nm
4	Jarak transmisi <ul style="list-style-type: none"> - FT ke CDC UI - FT ke Proyek Gd. RS - Gd. FIK A ke Gd. PKM 	1000 m 310 m 220 m
5	<i>Bit Error Rate</i> (BER)	10^{-10}

Berikut ini pemetaan jalur serat optik dalam pengembangan JUITA.



Gambar 3.1. Jalur Kabel Serat Optik dari FIK ke Gedung PKM



Gambar 3.2. Jalur Kabel Serat Optik dari FT ke CDC UI dan Gedung Proyek RS

3.2. Pemilihan Komponen Optik

Pemilihan komponen untuk pengembangan Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA) dengan kebutuhan yang dijelaskan pada tabel 3.1 meliputi jenis kabel serat optik, sumber optik dan photodetektor yang digunakan. Pertama kali ditentukanlah panjang gelombang 1550 nm. Panjang gelombang tersebut dipilih

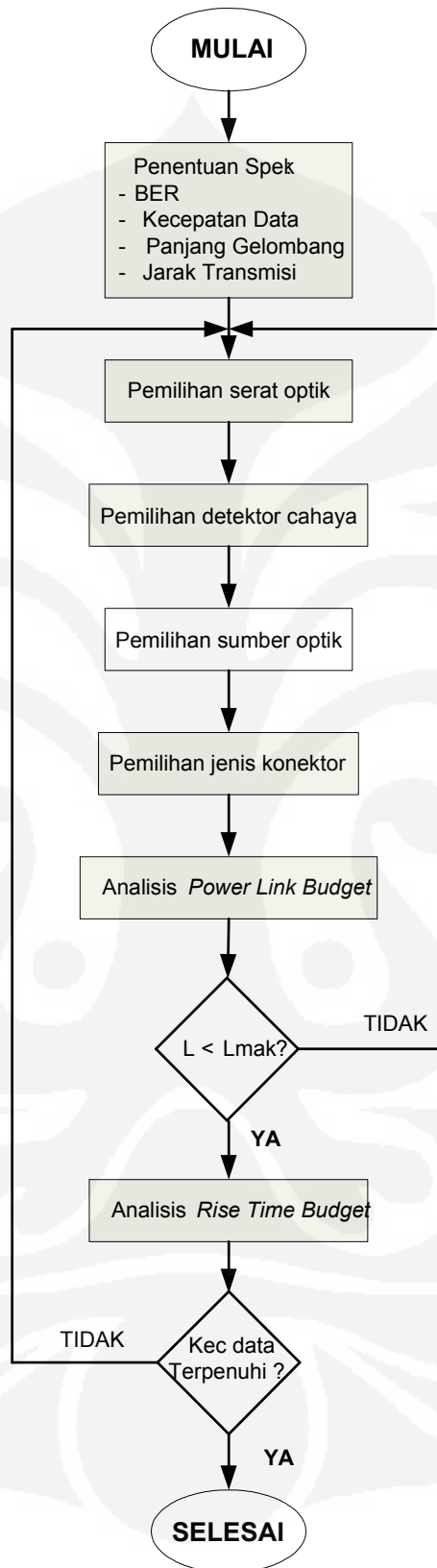
berdasarkan kebutuhan JUITA akan kecepatan data yang tinggi. Pada saat penulisan tugas akhir ini *bandwidth* JUITA adalah 100 Mbps.

Selanjutnya adalah pemilihan detektor cahaya yang akan digunakan. Dalam memilih detektor cahaya kita menentukan daya minimum yang harus diterima detektor cahaya untuk mencapai BER sebesar 10^{-10} guna mencapai data yang diinginkan. Pada pengembangan JUITA dipilihlah PIN dengan panjang gelombang 1550 nm sebagai detektor cahaya pada penerima optik. Pemilihan PIN tersebut dikarenakan PIN lebih sederhana dan stabil terhadap perubahan suhu serta lebih murah dari APD. Selain itu PIN juga memiliki tegangan bias lebih kecil daripada APD.

Dalam pemilihan sumber cahaya perlu mempertimbangkan kecepatan pengiriman data, jarak transmisi dan biaya. Dengan pertimbangan tersebut maka dipilihlah laser dioda (LD) sebagai sumber cahaya. Hal itu dikarenakan LD mempunyai kecepatan data mencapai 2,5 GHz.km. Selain itu daya kopling ke serat optik lebih besar daripada LED, sehingga dapat meminimalkan penggunaan penguat optik pada pengembangan JUITA.

Serat optik yang digelar hendaknya memperhitungkan besar kapasitasnya supaya nantinya dapat melayani penambahan kebutuhan hingga tahun-tahun yang akan datang dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang sangat panjang. Sehingga penggelaran fiber optik yang baru hanya dilakukan jika terjadi penambahan pelanggan yang jaraknya diluar jangkauan. Serat optik menggunakan tipe ragam tunggal (*single mode*) karena adanya kebutuhan *bandwidth* yang besar pada pengembangan JUITA. Dikarenakan kabel serat optik tersebut digunakan untuk *outdoor*, maka dipilihlah serat optik jenis *Single mode outdoor centra tube cable*. Kabel jenis ini lebih handal karena dilengkapi dengan bagian pembungkus yang kuat. Sehingga diharapkan kabel tersebut lebih tahan dan kuat jika ditanam dibawah tanah.

Berikut ini alur perencanaan pengembangan jaringan JUITA.



Gambar 3.3 Flow Chart Perencanaan Pengembangan JUITA

Berikut ini spesifikasi komponen-komponen optik yang digunakan:

1. Kabel serat optik (*Singlemode outdoor centra tube cable*)

Tabel 3.2. Karakteristik Fisik Serat Optik [10]

<i>Cladding Diameter</i>	125.0 ± 0.7 μm
<i>Core/Clad Offset</i>	0.9 μm
<i>Coating Diameter (Uncolored)</i>	245 ± 10 μm
<i>Coating Diameter (Colored)</i>	254 ± 7 μm
<i>Coating/Cladding Concentricity Error, Max</i>	12 μm
<i>Clad Non-Circularity</i>	≤ 1%

Tabel 3.3. Karakteristik Optik Berdasarkan *Wavelength* Serat Optik [10]

Karakteristik	1310 nm	1385 nm	1550 nm
<i>Max. Attenuation, Loose Tube Cable</i>	0.34 dB/km	0.31 dB/km	0.22 dB/km
<i>Max. Attenuation, Tight Buffer Cable</i>	0.70 dB/km	0.70 dB/km	0.70 dB/km
<i>Mode Field Diameter</i>	9.2 ± 0.3 μm	9.6 ± 0.6 μm	10.4 ± 0.5 μm
<i>Group Refractive Index</i>	1.466	1.466	1.467
<i>Dispersion, Max.</i>	3.5 ps/(nm-km) dari 1,285 to 1,330 nm	-	18 ps/(nm-km)



Gambar 3.4. *Single mode outdoor centra tube cable* [10]

2. Pemancar optik

Tabel 3.4. Karakteristik Elektrik Pemancar Optik [11]

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
dc Power Supply Voltage	$V_{CC} - V_{EE}$	4.75	5.0	5.25	V
dc Power Supply Current	I_{CC} or I_{EE}	--	0.1	0.2	A
Input Data Voltage:^{1,2}					
Low	V_{IL}	-1.95	-1.8	-1.45	V
High	V_{IH}	-1.16	-0.9	-0.7	V
Input Swing ³	V_{PP}	250	---	1000	mV
Common Mode Range	V_{CM}	$V_{CC} - 2.5$	---	$V_{CC} - 0.5$	V
Input Transition Time ⁴	t_i	--	1.6	2.2	ns
Transmitter Disable Voltage ⁵	V_D	$V_{CC} - 2.0$	---	V_{CC}	V
Transmitter Enable Voltage	V_{EN}	V_{EE}	---	$V_{EE} + 0.8$	V
Laser Bias Voltage ⁶	V_{LB}	0.01	---	0.45	V
Laser Facet Voltage ⁷	V_{BF}	0.01	---	0.20	V

Tabel 3.5. Karakteristik Optik Pemancar Optik [11]

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Average Power Output ¹	P_0	+1	+2	+3	dBm
Operating Wavelength Range	λ	$\lambda_c - 5.5$	λ_c	$\lambda_c + 7.5$	nm
20 dB Spectral Width (SLM Laser)	$\Delta\lambda_{20}$	--	---	1	nm
Side-mode Suppression Ratio (SLM Laser)	SSR_{min}	30	---	---	dB
Extinction Ratio ²	E_r	10	---	---	dB
Optical Rise & Fall Times ³	t_r, t_f	--	---	0.6	ns
Jitter Generation, rms ⁴	G_j	--	---	0.005	UI
Output Waveform ⁵	SONET SDH Compliant				

3. Penerima optik

Tabel 3.6. Karakteristik Optik Penerima Optik [11]

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Input Wavelength	λ	1260	---	1580	nm
Measured Average Sensitivity ¹	P_{RL}	-28	-30	---	dBm
Maximum Input Power	P_{RH}	-3	0	---	dBm
Signal Detect Threshold:					
Decreasing Light Input	SDT_D	-45	-35	-32	dBm
Increasing Light Input	SDT_I	-52	-33	-32	dBm
Hysteresis	SDT_H	---	3	---	dBm
Photodiode Responsivity ²	PD_k	0.8	---	1.0	A/W

Tabel 3.7. Karakteristik Elektrik Penerima Optik [11]

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
dc Power Supply Voltage	V_{CC}	4.75	5.0	5.25	V
dc Power Supply Current	I_{CC}	50	---	300	mA
Output Voltage:¹					
Low	V_{OL}	-2.2	-2.0	-1.7	V
High	V_{OH}	-1.2	-1.0	-0.7	V
Output Transition Time ²	t_t	---	---	0.5	ns
Output Signal Detect Voltage:					
Low	V_{SDL}	---	0.2	0.4	V
High	V_{SDH}	4.0	4.7	---	V
Clock/Data Alignment ³	T_{DCA}	-0.2	---	0.2	ns
Clock Duty Cycle		45	---	55	%
Output Clock Random Jitter	J_c	---	1.2	3.6	° RMS
Output Clock Jitter Peaking	J_p	0.04	0.05	0.06	dB
Signal Detect Response Time⁴					
Decreasing Light Input ⁴	$SDRT_D$	10	---	100	μ s
Increasing Light Input ⁵	$SDRT_I$	10	---	100	μ s

4. Laser dioda

Pada pengembangan JUITA ini digunakan laser dioda jenis OLD 3365-C1-SC yang merupakan InGaAs DFB laser dioda.

Fitur-fitur yang dimiliki:

- Daya keluaran 1,5 mW
- Kecepatan data 1,25 Gbps

- c. DFB laser dioda 1550 nm
- d. Singlemode dengan konektor SC/PC
- e. Suhu operasi $0 - 70^{\circ}\text{C}$

Tabel 3.8. Karakteristik Elektrik dan Optik LD [11]

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Threshold Current	I_{th}	CW	-	10	15	mA
Operating Voltage	V_{op}	CW, Pop, $T_c=0-70^{\circ}\text{C}$	-	-	1.5	V
Fiber Output Power	P_f	CW, $I_f=I_{th}+20\text{mA}$	1.5	-	-	mW
Peak Wavelength	λ_p	CW, Pop	1530	-	1570	nm
Side-mode Suppression Ratio	SMSR	CW, Pop, $T_c=0-70^{\circ}\text{C}$	30	-	-	dB
Rise Time	T_r	$I_b=I_{th}$, 20%-80%	-	-	0.3	ns
Fall Time	T_f	$I_b=I_{th}$, 20%-80%	-	-	0.3	ns
Tracking Error	-	APC, 0 to $+70^{\circ}\text{C}$	-	-	± 1.0	dB

Tabel 3.9. Parameter Photodiode LD [11]

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Monitor Current	I_m	Pop, $V_{rp}=5\text{V}$	100	-	1500	μA
Monitor Dark Current	I_d	$V_{rp}=5\text{V}$	-	-	100	nA
Monitor Capacitance	C	$V_{rp}=5\text{V}$, $f=1\text{MHz}$	-	8	15	pF

5. Patch cord

FO patch cable. Panjang 10 feet. Terminasi: ST - to - SC, Core : $0.9\ \mu\text{m}$.

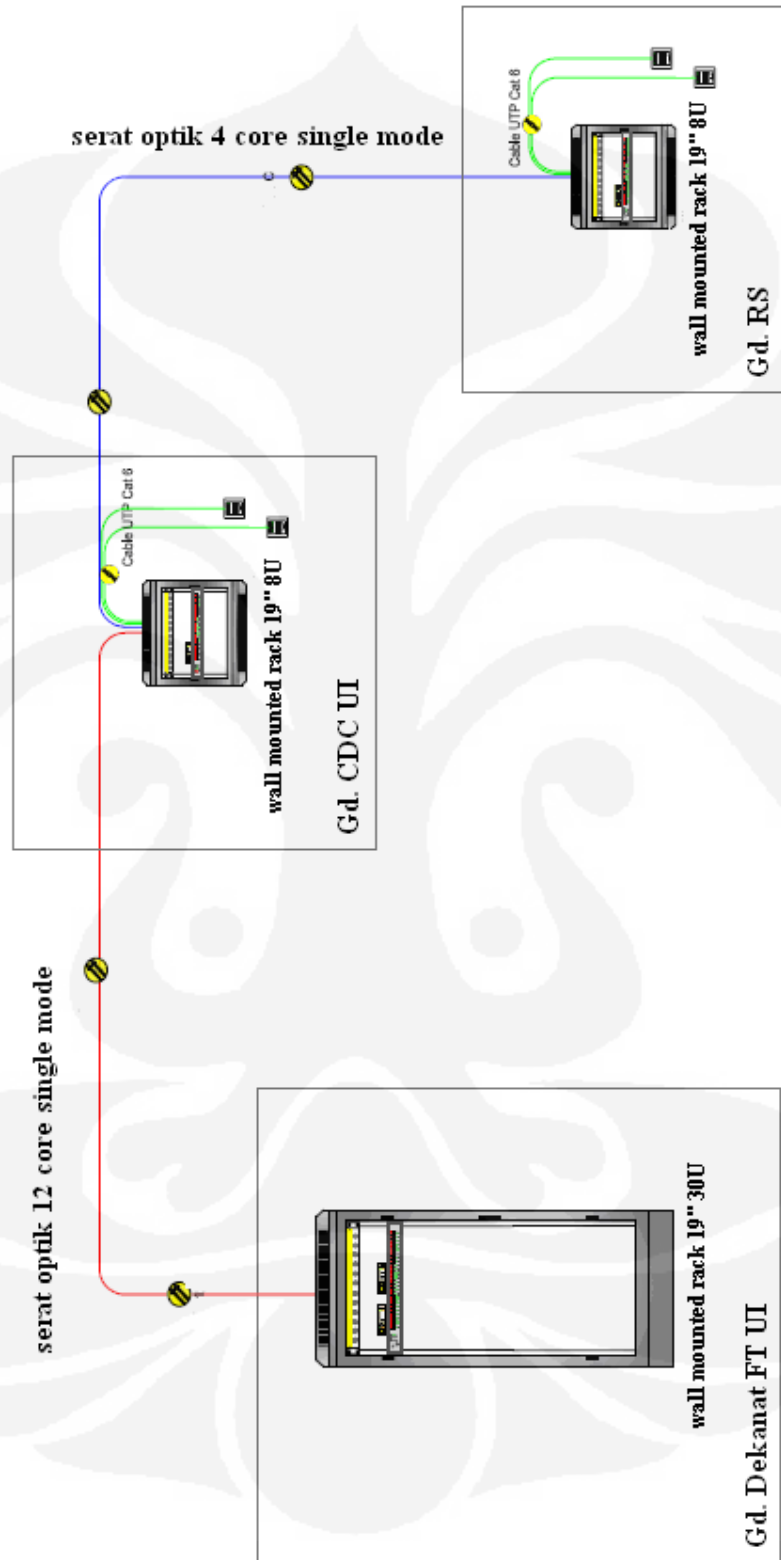
Tabel 3.10. Karakteristik konektor ST/SC [12]

Type	Singlemode (typical)	Singlemode (maximum)	Multimode (maximum)
Insertion Loss	$\leq 0.15\text{dB}$	$\leq 0.3\text{dB}$	$\leq 0.3\text{dB}$
Return Loss	$\geq 55\text{dB}$	$\geq 50\text{dB}$	$\geq 25\text{dB}$
Operating Temperature	-40°C to $+80^{\circ}\text{C}$	-40°C to $+80^{\circ}\text{C}$	-40°C to $+80^{\circ}\text{C}$

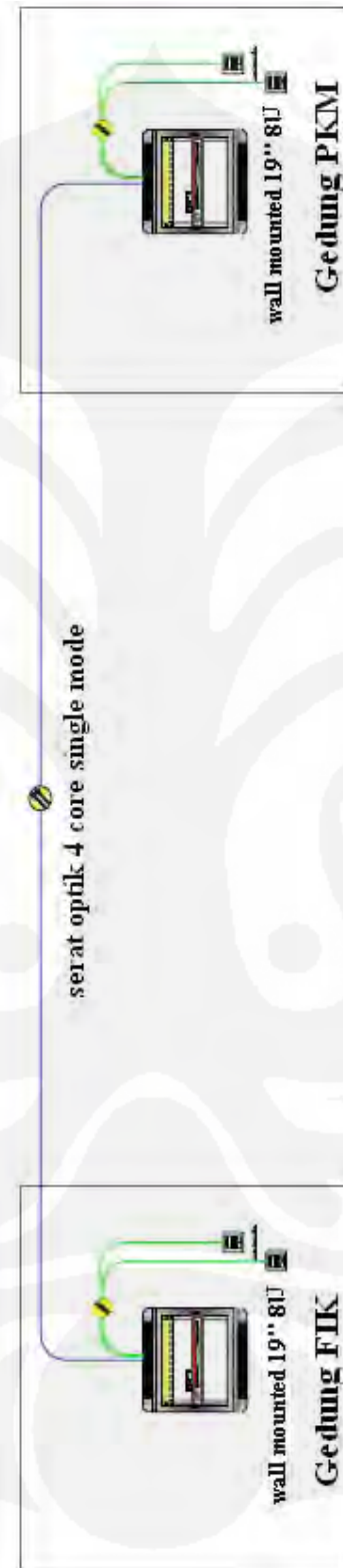


Gambar 3.5. Konektor ST [12]

3.3. Diagram *Single Line*



Gambar 3.6. *Single Line* diagram FT ke CDC UI

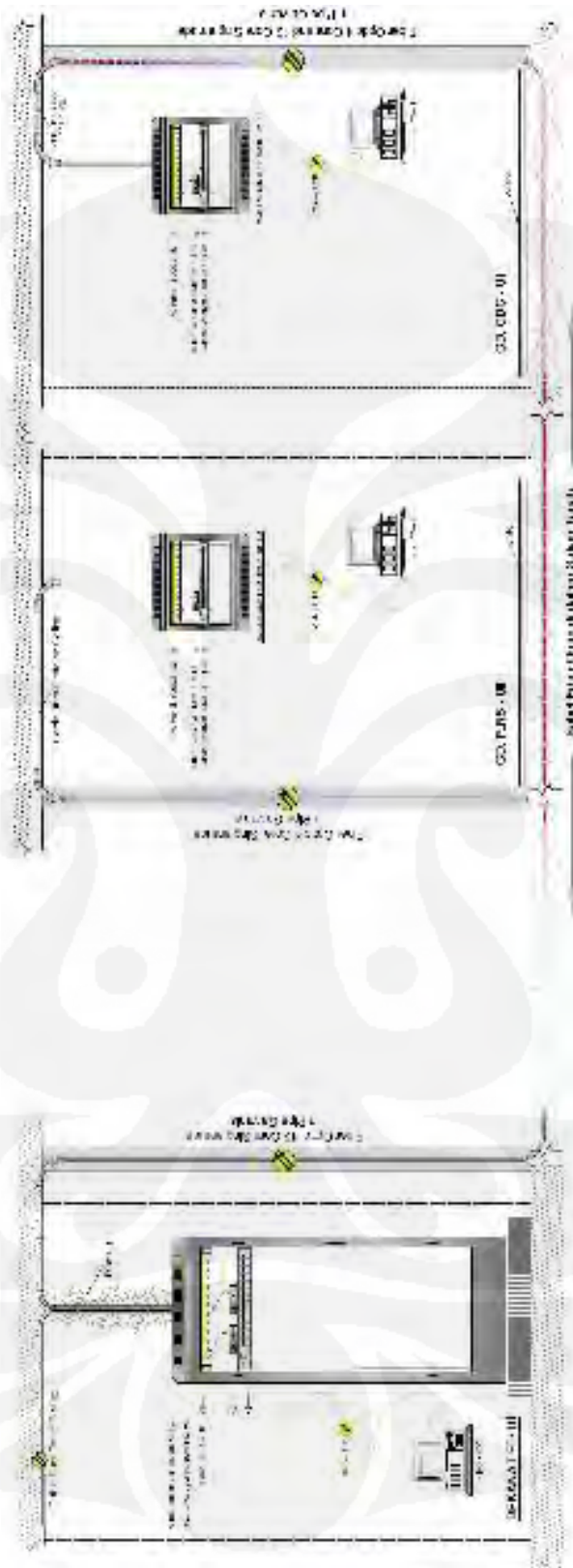


Gambar 3.7. *Single Line* diagram FIK ke PKM

3.4. Instalasi dan Terminasi Serat Optik

Berikut ini instalasi dan determinasi kabel serat optik yang digunakan dalam pengembangan JUITA :

1. Instalasi kabel serat optik
 - a. Ditanam sedalam minimum 60 cm didalam tanah.
 - b. Menggunakan pipa *galvanize* bila melintasi jalan dan kabel diteroboskan di bawah jalan yang sudah ada (tidak membongkar jalan).
 - c. Bila naik menyusur tembok, untuk menghindarkan *vandalisme* maka harus dilindungi pipa *galvanize* setinggi minimum 3m.
 - d. Sepanjang lintasan harus diberi tanda setiap jarak +/- 25 m bertuliskan: "FO (pahatan/lekuk kedalam)". Tanda dibuat dari beton atau semen cor berdiameter 15 cm panjang minimum 30 cm berwarna kuning.
 - e. Bila melintasi selokan, harus ditanam dibawah dasar selokan (tidak merusak selokan).
 - f. Salah satu dari dua ujung kabel serat optik harus di-*ground*-kan.
2. Terminasi kabel serat optik
 - a. Semua *core* kedua ujung kabel serat optik dilakukan terminasi.
 - b. Sesuai dengan spesifikasi LIU, terminasi dengan ST *connector*.



Gambar 3.8. Sistem Struktur Kabel Serat Optik dari FT ke CDC UI dan RS

3.5. Parameter Performansi Serat Optik

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*.

3.5.1. Power Link Budget

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

Tabel 3.12. Karakteristik Jalur Transmisi Serat Optik

No	Karakteristik	Nilai
1	Serat optik	<i>Wavelength</i> 1550 nm
2	<i>Loss</i> Serat Optik	0,22 dB/km
3	<i>Loss Splice</i>	0,05 dB
4	<i>Loss</i> konektor	0,15 dB
5	Sensitivitas penerima	-30 dBm
6	Margin sistem	9 dB

Berikut ini perhitungan *power link budget* untuk setiap jalur transmisi:

a. Langkah 1: Menghitung *Bandwidth*

Pada pengembangan JUITA ini digunakan transmisi digital NRZ, sehingga besarnya *bandwidth* adalah sebagai berikut:

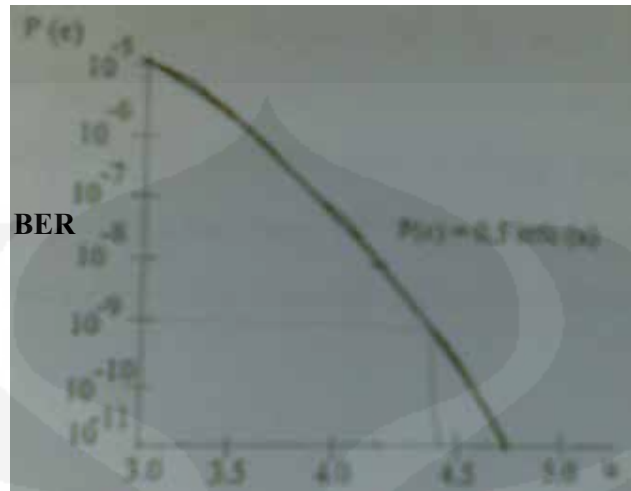
$$B = \frac{B_T}{2}$$

$$B = \frac{100 \times 10^6}{2}$$

$$B = 50 \text{ MHz}$$

b. Langkah 2: Menghitung SNR

Pada gambar grafik 0.5 erfc dibawah dengan BER 10^{-10} diketahui nilainya mendekati 4.55, sehingga dapat dihitung berapa nilai SNR nya.



Gambar 3.9. Grafik 0,5 erfc

$$BER = 0,5 \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}$$

$$10^{-10} = 0,5 \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}$$

$$4,55 = \frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}$$

$$SNR = 165,63$$

- c. Langkah 3: Faktor penguatan

Faktor penguatan untuk penerima optik jenis PIN adalah 1.

- d. Langkah 4: Menghitung sensitifitas penerima optik

Dari perhitungan *bandwidth*, SNR dan faktor penguatan PIN dapat dihitung besar sensitifitas penerima optik.

$$P_d = \frac{2exBxF(M)xSNR}{R}$$

$$P_d = \frac{(2 \times 1,6 \times 10^{-19}) \times (50 \times 10^6) \times 1 \times 165,62}{1}$$

$$P_d = 2,65 \times 10^{-12} \text{ mW}$$

$$P_d (\text{dBm}) = 10 \log(2,65 \times 10^{-12})$$

$$P_d (\text{dBm}) = -115,76 \text{ dBm}$$

e. Langkah 5: Menghitung *power launching*

Power launching dapat dihitung dengan menggunakan data sumber optik yang digunakan, yaitu laser dioda. Daya keluaran dari laser ke serat optik sebesar 1,5 mW.

$$P_s = 10 \log P_f$$

$$P_s = 10 \log(1,5mW)$$

$$P_s = 1,76dBm$$

f. Langkah 6 : Menghitung panjang maksimum

Dari hasil perhitungan daya pemancar, daya penerima, dan rugi-rugi (loss) yang ada maka dapat dihitung panjang maksimum serat optik tanpa memerlukan penguat optik.

$$l = \frac{P_s - P_d - (n_c \cdot L_c) - (n_s \cdot L_s) - P_M}{L_f}$$

$$l = \frac{1,76 - (-115,76) - (2 \times 0,15) - 0 - 9}{0,22}$$

$$l = 491,9km$$

Dari hasil perhitungan *power link budget* didapatkan jarak jangkauan maksimum sebesar 491.9 km sebelum menggunakan penguat optik. Hal ini berarti jarak tersebut lebih besar dari jarak jalur transmisi yang direncanakan yaitu sebesar 1 km. Sehingga berarti jalur transmisi serat optik dari FT ke CDC UI, FT ke gedung proyek rumah sakit dan juga dari gedung FIK A ke gedung PKM tidak membutuhkan penguat optik.

3.5.2. Rise Time Budget

Perhitungan *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.

Tabel 3.13. Karakteristik *Rise Time Budget*

No	Karakteristik	Deskripsi
1	Serat Optik	Single mode (1550 nm)
2	<i>Rise Time</i> pemancar optik (T_{tx})	0,6 ns
3	<i>Rise Time</i> penerima optik (T_{rx})	0,5 ns
4	Lebar Spektrum ($\Delta(\delta)$)	1 nm
5	Dispersi Kromatis ($M(\delta)$)	18 ps/nm km

Berikut ini perhitungan *rise time budget* untuk setiap jalur transmisi:

a. FIK – PKM

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = Mx\sigma_\lambda xL$$

$$t_s = \left(18 \frac{ps}{nm.km}\right) x 1nm x 0,22km$$

$$t_s = 0,00396ns$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6x10^{-9})^2 + (0,00396x10^{-9})^2 + (0,5x10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{0,6113x10^{-18}}$$

$$t_{sis} = 0,781035ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,781035x10^{-9}}$$

$$B = 448,1233MHz$$

Langkah 4: Menghitung kecepatan data maksimum

$$B_T = 2xB$$

$$B_T = 2x448,1233x10^6$$

$$B_T = 896.2466Mbps$$

b. FT-Gedung Proyek Rumah Sakit

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = Mx\sigma_\lambda xL$$

$$t_s = \left(18 \frac{ps}{nm.km}\right) x 1nm x 0,31km$$

$$t_s = 0,00558ns$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6x10^{-9})^2 + (0,00558x10^{-9})^2 + (0,5x10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{0,6129x10^{-18}}$$

$$t_{sis} = 0,781044ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* system yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,781044x10^{-9}}$$

$$B = 448,1176MHz$$

Langkah 4: Menghitung kecepatan data maksimum

$$B_T = 2xB$$

$$B_T = 2x448,1176x10^6$$

$$B_T = 896,2352Mbps$$

c. FT- CDC UI

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = Mx\sigma_\lambda xL$$

$$t_s = \left(18 \frac{ps}{nm.km}\right) x 1nm x 1km$$

$$t_s = 0,018ns$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,018 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{0,6424 \times 10^{-18}}$$

$$t_{sis} = 0,781 ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* system yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,8 \times 10^{-9}}$$

$$B = 448 MHz$$

Langkah 4: Menghitung kecepatan data

$$B_T = 2 \times B$$

$$B_T = 2 \times 437,5 \times 10^6$$

$$B_T = 896 Mbps$$

Dari hasil perhitungan *rise time* budget didapat kecepatan data maksimum setiap jalur transmisi serat optik FT-CDC UI, FT-RS dan FIK-PKM yaitu 896 Mbps, 896.2352 Mbps dan 896.2466 Mbps. Kecepatan tersebut lebih besar dari kecepatan data yang disyaratkan oleh Universitas Indonesia pada pengembangan JUITA yaitu 100 Mbps, sehingga sistem perencanaan ini dapat diaplikasikan pada JUITA. Selain itu diharapkan juga, jika pada waktu yang akan datang Universitas Indonesia hendak meningkatkan kecepatan data pada JUITA, maka sistem komunikasi serat optik ini masih dapat digunakan.

BAB 4
ANALISIS PENGEMBANGAN JARINGAN UNIVERSITAS INDONESIA
TERPADU

4.1. Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik

Dalam suatu sistem transmisi serat optik harus memungkinkan interkoneksi serat optik yang membawa cahaya untuk mengatasi jarak yang lebih jauh. Teknik koneksi yang digunakan harus dalam tingkat ketelitian tinggi. Tujuan menghubungkan dua buah serat optik adalah untuk menggabungkan cahaya yang dibawa dalam salah satu serat optik kedalam inti dari serat optik lainnya yang sesuai dengan rugi-rugi yang sekecil mungkin.

Permukaan akhir serat optik yang dihubungkan harus halus dan bersih. Hal ini dicapai dengan memutuskan serat optik atau dengan memotong serat optik kemudian menggosok permukaan akhirnya. Didalam kedua kasus tersebut penting bahwa permukaan akhir serat optik tegak lurus terhadap poros atau sumbu serat optik, sehingga permukaan dapat dibuat berpasangan tanpa ada satupun celah udara yang tidak diinginkan. Hubungan dengan rugi-rugi kecil juga didapat dengan penyesuaian ketepatan dari inti dua buah serat optik. Jenis rugi-rugi pada penyambungan antar serat optik antara lain sebagai berikut:

- a. *Lateral missalignment* (kesalahan secara lateral dimana titik pusat serat optik 1 dan serat optik 2 bergeser sejauh jarak tertentu).
- b. *Angular missalignment* (kesalahan yang terjadi akibat terbentuknya sudut antara serat optik 1 dan serat optik 2).
- c. *Separation missalignment* (kesalahan yang terjadi akibat terbentuknya celah antara serat optik 1 dan serat optik 2).
- d. *Diameter missalignment* (kesalahan yang terjadi akibat diameter yang berbeda antara serat optik 1 dan serat optik 2).

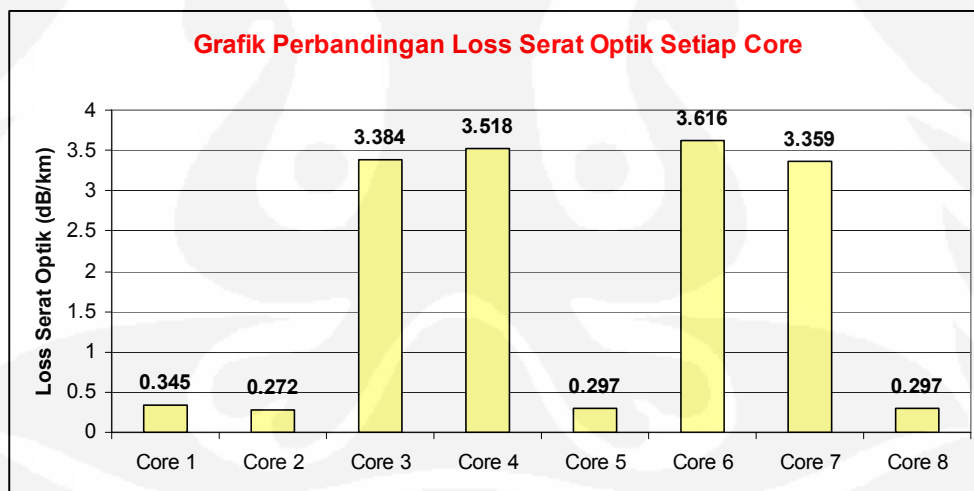
Hal-hal yang dijelaskan diatas akan menurunkan daya pada titik sambungan secara drastis, dan pada grafik OTDR akan terlihat seperti garis patah. Pada konektor akan terjadi *directivity*, dimana daya masukan akan terpantul

kembali, sehingga pada titik konektor akan terjadi penguatan daya dan pada grafik OTDR akan terlihat seperti lonjakan daya sesaat.

Berikut ini rincian hasil pengukuran loss pada saluran transmisi.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran OTDR FT-CDC UI

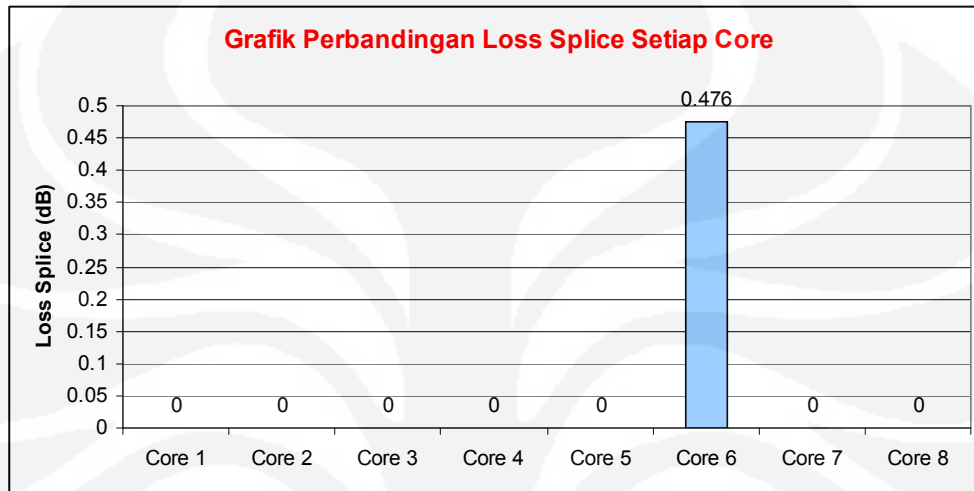
<i>Core</i>	<i>Loss Serat (Lf)</i> dB/km	<i>Loss Splice (Ls)</i> dB	<i>Loss Connector (Lc)</i> dB
<i>Core 1</i>	0.345	0	3.013
<i>Core 2</i>	0.272	0	0.247
<i>Core 3</i>	3.384	0	4.234
<i>Core 4</i>	3.518	0	4.401
<i>Core 5</i>	0.297	0	0.269
<i>Core 6</i>	3.616	0.476	4.524
<i>Core 7</i>	3.359	0	4.203
<i>Core 8</i>	0.297	0	0.269



Gambar 4.1. Grafik *Loss Serat Optik* Pada Jalur Transmisi FT - CDC UI

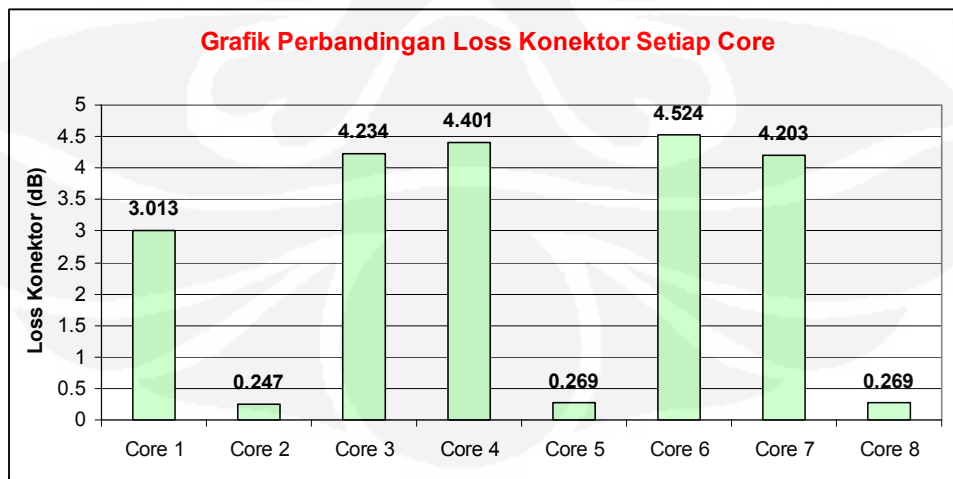
Dari gambar 4.1. terlihat bahwa terdapat empat *core* yang mempunyai *loss* serat optik yang terendah. Dalam aplikasi dilapangan ada empat *core* yang digunakan sebagai aktif *core* (*core* 1, 2, 5 dan 8) dikarenakan *core-core* tersebut mempunyai nilai *loss* serat optik yang rendah. Dengan nilai *loss* serat optik yang

rendah diharapkan kualitas jalur transmisi pun akan semakin baik. Sedangkan empat *core* yang lainnya digunakan sebagai *core* cadangan. *Core-core* tersebut dimaksudkan untuk mengantisipasi kerusakan *core-core* aktif. Sehingga jika hal tersebut terjadi, maka dapat dialihkan ke *core* cadangan dan informasi tetap dapat ditransmisikan menggunakan kabel serat optik tersebut.



Gambar 4.2. Grafik *Loss Splice* Pada Jalur Transmisi FT - CDC UI

Pada Gambar 4.2 Terlihat bahwa dari delapan *core* pada saluran transmisi FT-CDC UI hanya *core* 6 yang mempunyai nilai *loss splice* yang berarti bahwa pada saluran transmisi *core* 6 dilakukan penyambungan serat optik dengan teknik *splice*. *Splice* merupakan teknik penyambungan serat optik secara permanen. Teknik penyambungan ini akan menghasilkan *loss* yang disebut *loss splice*.

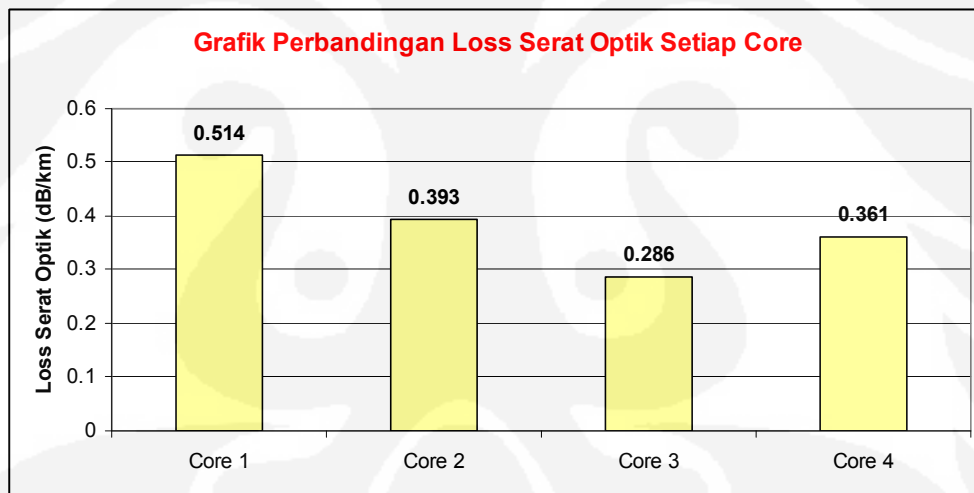


Gambar 4.3. Grafik *Loss Konektor* Pada Jalur Transmisi FT – CDC UI

Sama seperti halnya dengan *loss* serat optik, pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa *core* aktif (*core* 1, 2, 5 dan 8) mempunyai nilai *loss* konektor yang terendah. Sehingga diharapkan dengan nilai *loss* konektor yang rendah jarak tersebut akan didapatkan kualitas saluran transmisi yang lebih baik.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran OTDR FT-RS

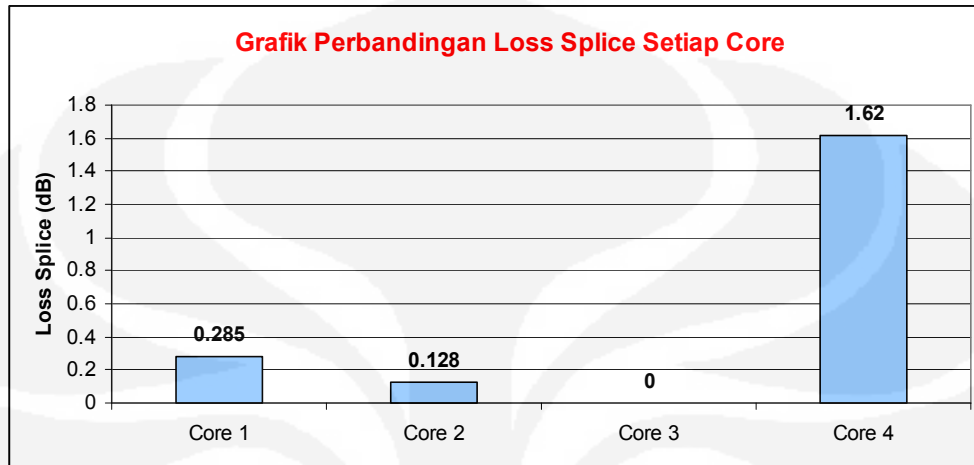
<i>Core</i>	<i>Loss Serat (Lf)</i> dB/km	<i>Loss Splice (Ls)</i> dB	<i>Loss Connector (Lc)</i> dB
<i>Core</i> 1	0.514	0.285	0.617
<i>Core</i> 2	0.393	0.128	0.472
<i>Core</i> 3	0.286	0	0.344
<i>Core</i> 4	0.361	1.62	0.434



Gambar 4.4. Grafik *Loss* Serat Optik Pada Jalur Transmisi FT - RS

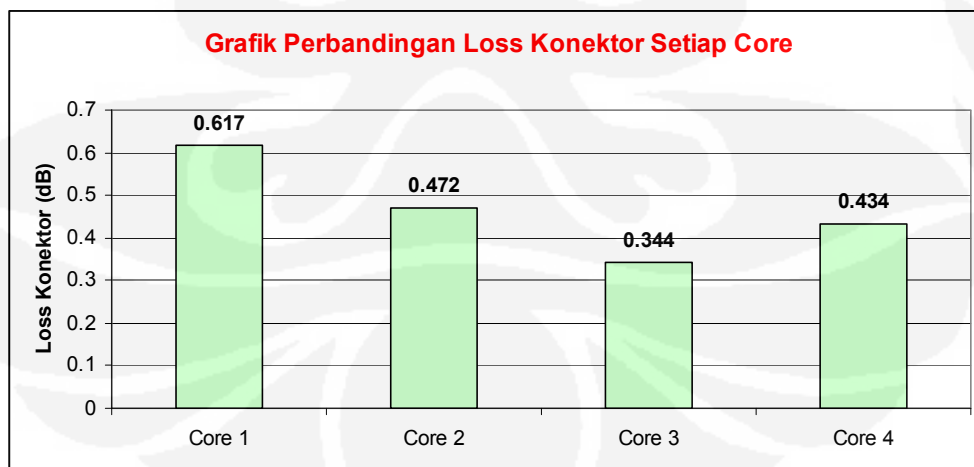
Dari gambar 4.4. terlihat bahwa terdapat dua *core* yang mempunyai *loss* serat optik yang terendah. Dalam aplikasi dilapangan ada dua *core* yang digunakan sebagai aktif *core* (*core* 3 dan 4) dikarenakan *core-core* tersebut mempunyai nilai *loss* serat optik yang rendah. Dengan nilai *loss* serat optik yang rendah diharapkan kualitas jalur transmisi pun akan semakin baik. Sedangkan dua *core* yang lainnya digunakan sebagai *core* cadangan. *Core-core* tersebut

dimaksudkan untuk mengantisipasi kerusakan *core-core* aktif. Sehingga jika hal tersebut terjadi, maka dapat dialihkan ke *core* cadangan dan informasi tetap dapat ditransmisikan menggunakan kabel serat optik tersebut.



Gambar 4.5. Grafik *Loss Splice* Pada Jalur Transmisi FT - RS

Pada Gambar 4.2 Terlihat bahwa dari empat *core* pada saluran transmisi FT-RS terdapat tiga *core* (*core* 1, 2 dan 4) mempunyai nilai *loss splice* yang berarti bahwa pada saluran transmisi tersebut dilakukan penyambungan serat optik dengan teknik *splice*. *Splice* merupakan teknik penyambungan serat optik secara permanen. Teknik penyambungan ini akan menghasilkan *loss* yang disebut *loss splice*.

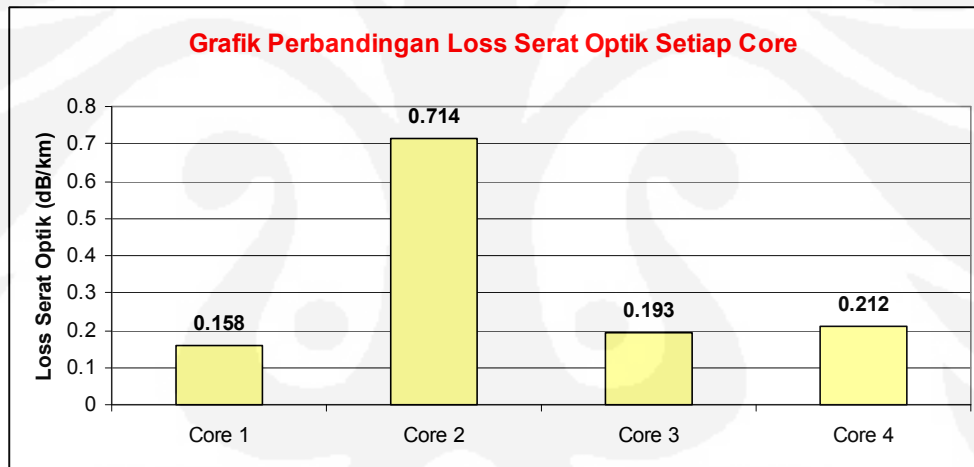


Gambar 4.6. Grafik *Loss Konektor* Pada Jalur Transmisi FT – RS

Sama seperti halnya dengan *loss* serat optik, pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa *core* aktif (*core* 3 dan 4) mempunyai nilai *loss* konektor yang terendah. Sehingga diharapkan dengan nilai *loss* konektor yang rendah jarak tersebut akan didapatkan kualitas saluran transmisi yang lebih baik.

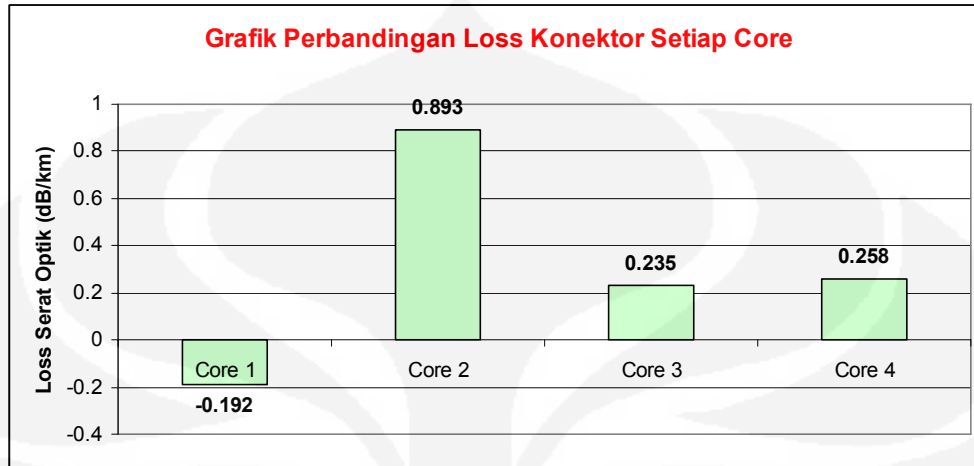
Tabel 4.3. Hasil Pengukuran FIK-PKM

<i>Core</i>	<i>Loss Serat (Lf)</i> dB/km	<i>Loss Splice (Ls)</i> dB	<i>Loss Connector (Lc)</i> dB
<i>Core</i> 1	0.158	0	-0.192
<i>Core</i> 2	0.714	0	0.893
<i>Core</i> 3	0.193	0	0.235
<i>Core</i> 4	0.212	0	0.258

Gambar 4.7. Grafik *Loss* Serat Optik Pada Jalur Transmisi FIK-PKM

Dari gambar 4.7. terlihat bahwa terdapat dua *core* yang mempunyai *loss* serat optik yang terendah. Dalam aplikasi dilapangan ada dua *core* yang digunakan sebagai aktif *core* (*core* 1 dan 3) dikarenakan *core-core* tersebut mempunyai nilai *loss* serat optik yang rendah. Dengan nilai *loss* serat optik yang rendah diharapkan kualitas jalur transmisi pun akan semakin baik. Sedangkan dua *core* yang lainnya digunakan sebagai *core* cadangan. *Core-core* tersebut dimaksudkan untuk mengantisipasi kerusakan *core-core* aktif. Sehingga jika hal

tersebut terjadi, maka dapat dialihkan ke *core* cadangan dan informasi tetap dapat ditransmisikan menggunakan kabel serat optik tersebut.



Gambar 4.8. Grafik *Loss* Konektor Pada Jalur Transmisi FIK - PKM

Sama seperti halnya dengan *loss* serat optik, pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa *core* aktif (*core* 1 dan 3) mempunyai nilai *loss* konektor yang terendah. Sehingga diharapkan dengan nilai *loss* konektor yang rendah jarak tersebut akan didapatkan kualitas saluran transmisi yang lebih baik.

4.2. Analisis Jarak Maksimum Setiap Core

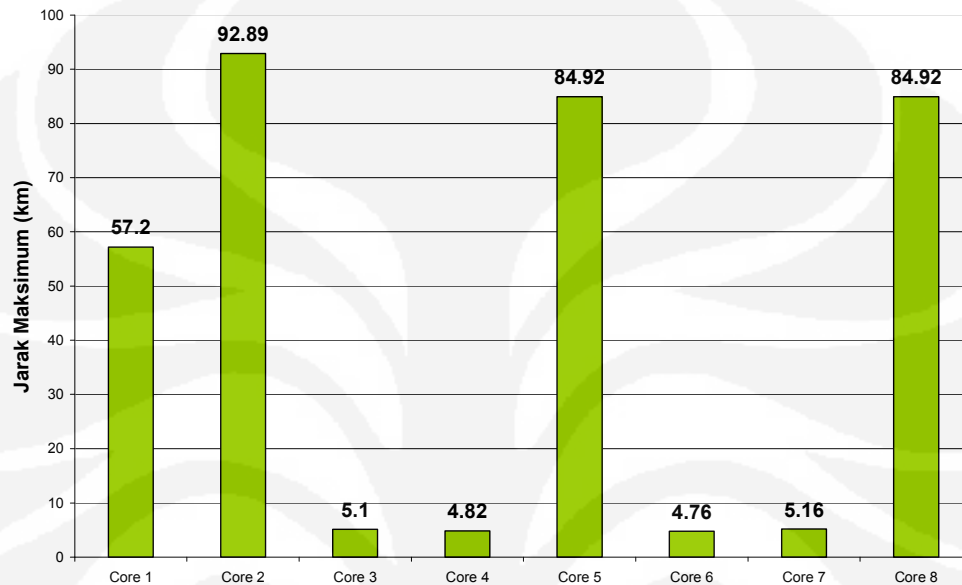
Dari hasil pengukuran rugi-rugi saluran transmisi pada tabel 4.1, dapat dihitung jarak maksimum yang dapat dicapai oleh setiap *core*. Berikut ini hasil perhitungannya.

Tabel 4.4. Analisa Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT-CDC UI

No	Core	Jarak maksimum (km)
1	Core 1	57,20
2	Core 2	92,89
3	Core 3	5,10
4	Core 4	4,82
5	Core 5	84,92
6	Core 6	4,76

7	Core 7	5,16
8	Core 8	84,92

Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Setiap Core



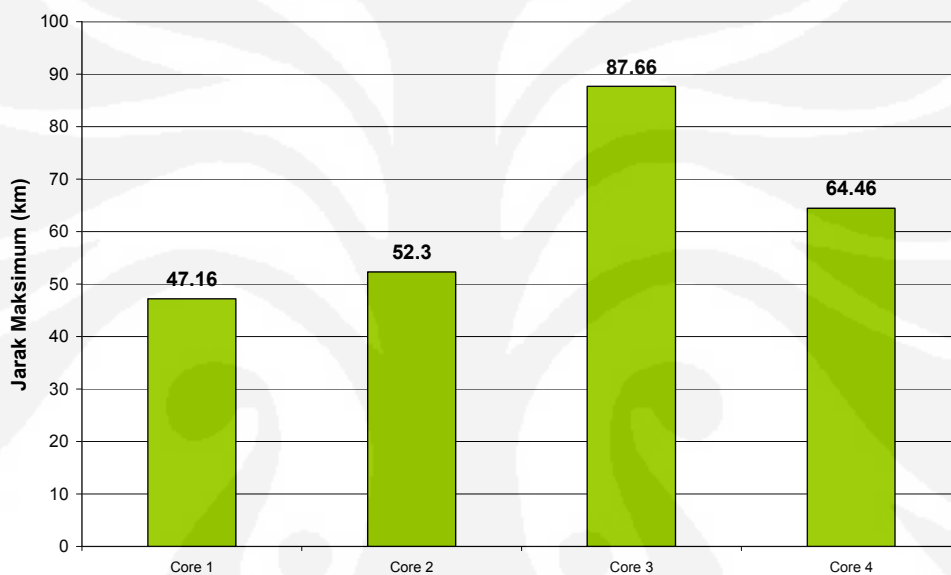
Gambar 4.9. Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT – CDC UI

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa *core* yang aktif (*core* 1, 2, 5 dan 8) mempunyai jarak jangkauan maksimum sebelum menggunakan penguat lebih jauh jika dibandingkan dengan *core* cadangan. Hal itu dikarenakan *loss* serat optik dan *loss* konektor pada *core-core* tersebut merupakan nilai terendah dari keseluruhan nilai *loss* pada semua *core*. Sehingga dengan menggunakan nilai *loss* tersebut didapatkanlah nilai jarak maksimum yang dapat dicapai sebelum menggunakan penguat. Jarak maksimum dari *core* aktif tersebut lebih kecil dari nilai jarak maksimum yang didapat pada perencanaan, sehingga dapat dipastikan bahwa saluran transmisi serat optik dari FT ke CDC UI memenuhi syarat.

Tabel 4.5. Analisa Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT-RS

No	Core	Jarak maksimum (km)
1	Core 1	47.16
2	Core 2	52.30
3	Core 3	87.66
4	Core 4	64.46

Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Setiap Core



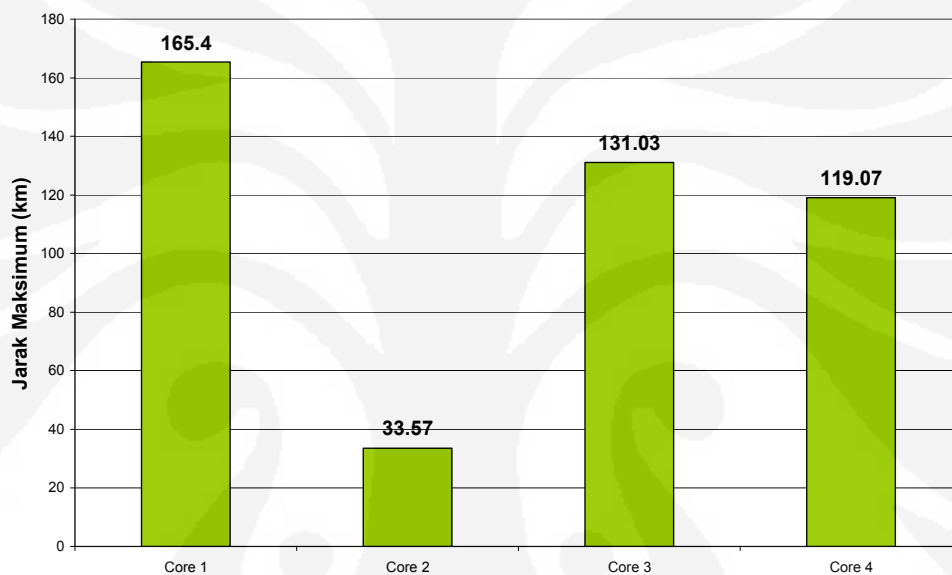
Gambar 4.10. Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT – RS

Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa *core* yang aktif (*core* 3 dan 4) mempunyai jarak jangkauan maksimum sebelum menggunakan penguat lebih jauh jika dibandingkan dengan *core* cadangan. Hal itu dikarenakan *loss* serat optik dan *loss* konektor pada *core-core* tersebut merupakan nilai terendah dari keseluruhan nilai *loss* pada semua *core*. Sehingga dengan menggunakan nilai *loss* tersebut didapatkanlah nilai jarak maksimum yang dapat dicapai sebelum menggunakan penguat. Jarak maksimum dari *core* aktif tersebut lebih kecil dari nilai jarak maksimum yang didapat pada perencanaan, sehingga dapat dipastikan bahwa saluran transmisi serat optik dari FT ke RS memenuhi syarat.

Tabel 4.6. Analisa Jarak Maksimum Jalur Transmisi FT-CDC UI

No	Core	Jarak maksimum (km)
1	Core 1	165.4
2	Core 2	33.57
3	Core 3	131.03
4	Core 4	119.07

Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Setiap Core



Gambar 4.11. Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Jalur Transmisi FIK - PKM

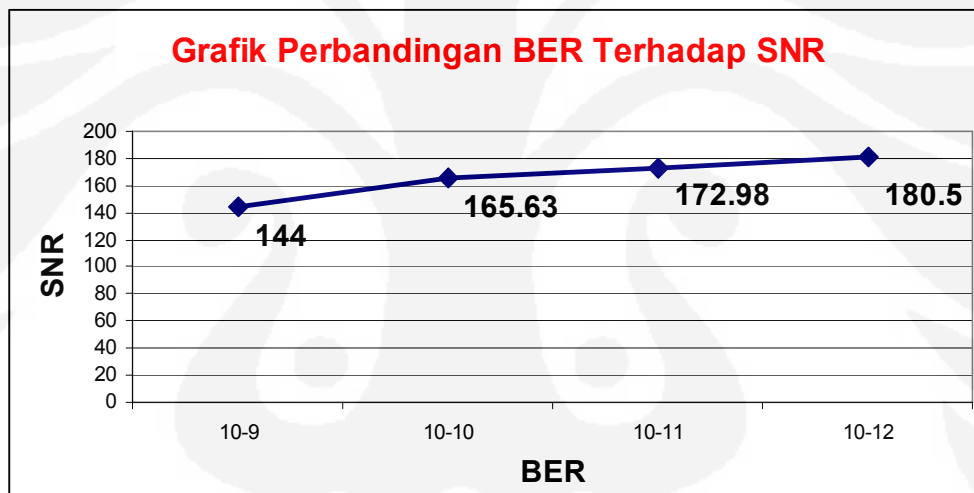
Pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa *core* yang aktif (*core* 1 dan 3) mempunyai jarak jangkauan maksimum sebelum menggunakan penguat lebih jauh jika dibandingkan dengan *core* cadangan. Hal itu dikarenakan *loss* serat optik dan *loss* konektor pada *core-core* tersebut merupakan nilai terendah dari keseluruhan nilai *loss* pada semua *core*. Sehingga dengan menggunakan nilai *loss* tersebut didapatkanlah nilai jarak maksimum yang dapat dicapai sebelum menggunakan penguat. Jarak maksimum dari *core* aktif tersebut lebih kecil dari nilai jarak maksimum yang didapat pada perencanaan, sehingga dapat dipastikan bahwa saluran transmisi serat optik dari FIK ke PKM memenuhi syarat.

4.3. Analisis *Power Link Budget*

Berikut ini tabel rincian hubungan antara BER terhadap SNR, Daya keluaran pemancar dan jarak maksimum yang dapat dicapai tanpa menggunakan penguat optik.

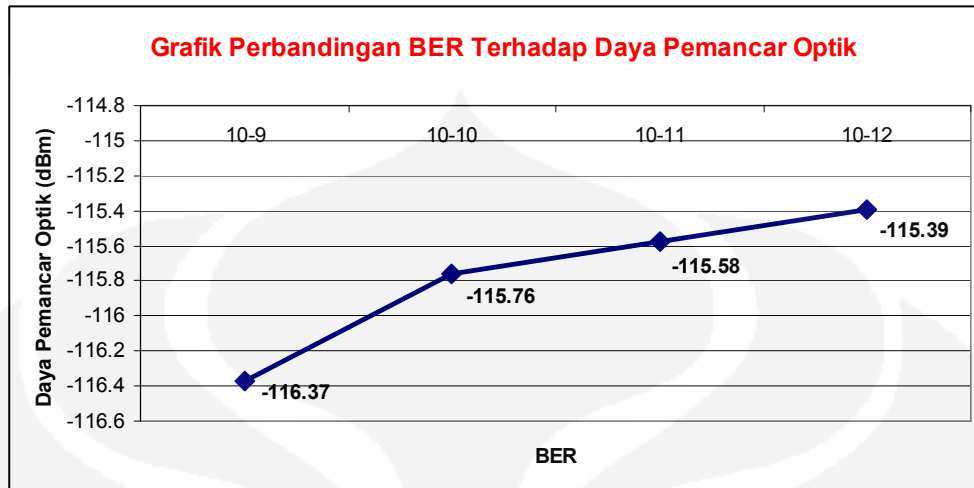
Tabel 4.7. Perbandingan BER Terhadap SNR, P_d dan Jarak

BER	SNR	P_d (dBm)	Jarak (km)
10^{-9}	144.00	-116.37	494,68
10^{-10}	165.63	-115.76	491.90
10^{-11}	172.98	-115.58	491.09
10^{-12}	180.50	-115.39	490.23



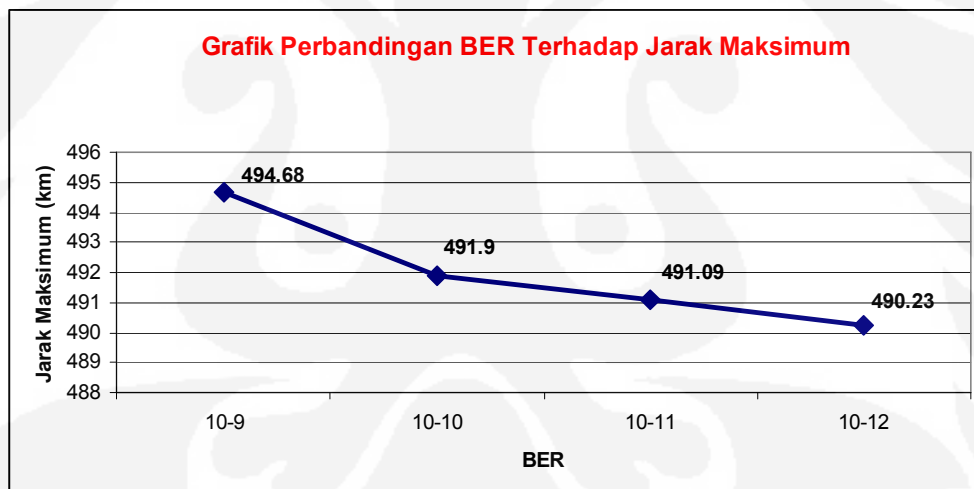
Gambar 4.12. Grafik Perbandingan BER Terhadap SNR

Dari gambar 4.12 dapat dilihat perbandingan antara nilai SNR dengan nilai BER yang berbeda-beda. BER yang akan dibandingkan adalah $10^{-9} - 10^{-12}$. Range tersebut dipilih karena peralatan yang digunakan pada perencanaan pengembangan JUITA mempunyai kisaran range dari $10^{-9} - 10^{-12}$. BER yang digunakan pada perencanaan adalah 10^{-10} yang didapat langsung dari hasil wawancara dengan kepala jaringan Universitas Indonesia, Bapak Adhi Yuniarto. Dari grafik dapat dilihat bahwa selisih nilai SNR untuk BER 10^{-10} dengan 10^{-12} tidak jauh berbeda yaitu 7.52.



Gambar 4.13. Grafik Perbandingan BER terhadap Daya Pemancar Optik

Demikian juga halnya dengan nilai daya pemancar optik yang dibutuhkan jika menggunakan BER 10^{-10} terdapat selisih yang sangat kecil jika menggunakan BER 10^{-12} yaitu 0.37 dBm.



Gambar 4.14. Grafik Perbandingan BER terhadap Jarak Maksimum

Demikian pula halnya dengan jarak maksimum yang dapat dicapai sebelum menggunakan penguat optik hanya terdapat selisih 1,67 km antara BER 10^{-10} dengan BER 10^{-12} . Dari ketiga grafik diatas, dapat dipastikan bahwa dengan menggunakan BER 10^{-10} seperti yang disyaratkan pada Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA) kualitas jaringan sudah memenuhi kebutuhan jaringan di Universitas Indonesia. Hal ini dikarenakan kebutuhan Universitas Indonesia

hanya sebatas penggunaan internal dan bukan sebagai *backbone* jaringan nasional. Akan tetapi jika memang Universitas Indonesia hendak meningkatkan nilai BER pada JUITA, masih tetap dapat diterapkan pada saluran transmisi serat optik FT-CDC UI, FT-RS dan FIK-PKM, karena peralatan yang digunakan pada perencanaan ini mempunyai range BER dari $10^{-10} - 10^{-12}$.

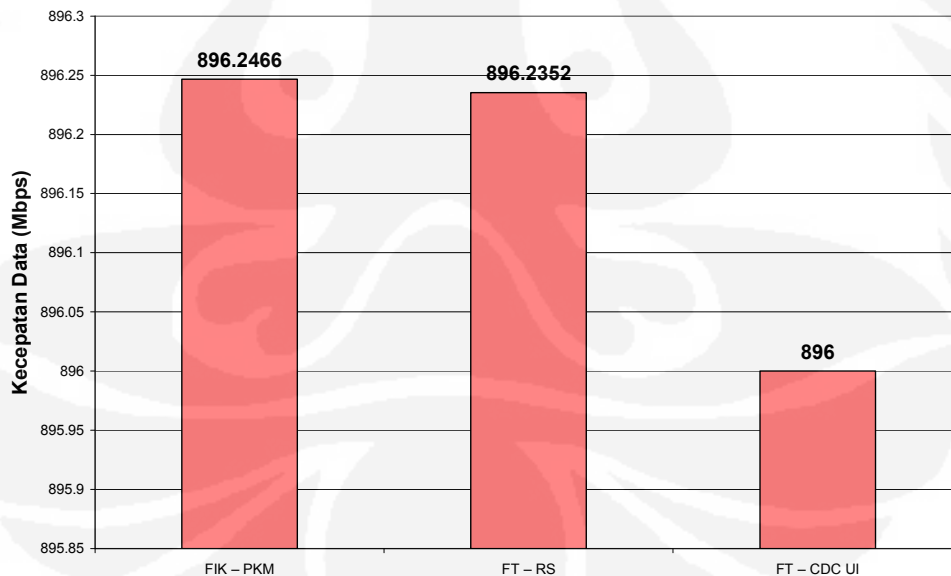
4.4. Analisis Rise Time Budget

Dari hasil perencanaan *rise time budget* pada bab 3, berikut ini rincian kecepatan data pada setiap saluran transmisi.

Tabel 4.8. Perbandingan Rise Time Budget Pada Setiap Jalur Transmisi

No	Jalur Transmisi	Jarak (km)	Kecepatan Data (Mbps)
1	FIK – PKM	220	896.2466
2	FT – RS	310	896.2352
3	FT – CDC UI	1000	896

Grafik Perbandingan Kecepatan Data Setiap Jalur Transmisi



Gambar 4.15. Grafik Perbandingan Kecepatan Data Setiap Jalur Transmisi

Gambar 4.15 menunjukkan kecepatan data untuk jalur transmisi FT-CDC UI, FT-RS dan FIK-PKM. Dari grafik dapat diketahui kecepatan data terendah adalah kecepatan data saluran transmisi FT-CDC UI yaitu 896 Mbps dan yang tertinggi adalah kecepatan data saluran transmisi FIK-PKM yaitu 896,2466 Mbps. Hal itu dikarenakan kecepatan data dipengaruhi oleh jarak transmisi. Semakin jauh jarak transmisi maka kecepatan data akan semakin kecil demikian juga sebaliknya, semakin kecil jarak transmisi maka kecepatan data akan semakin besar.

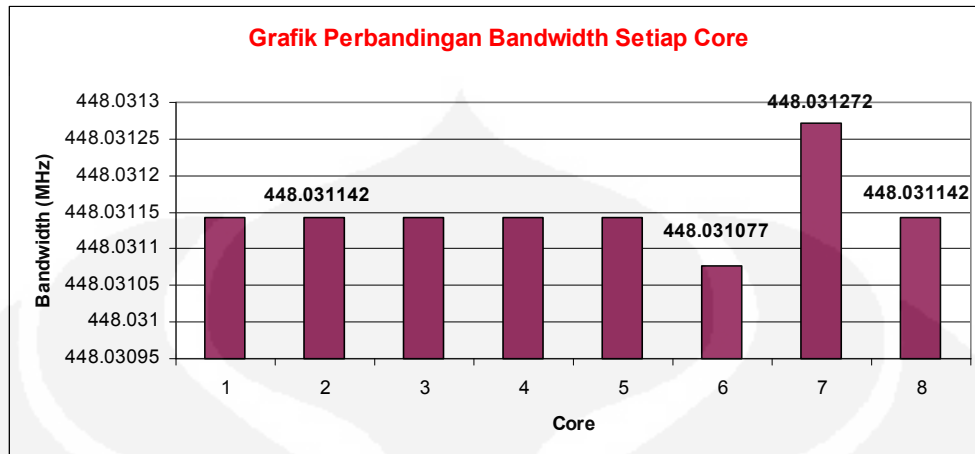
4.5. Analisis Kecepatan Data Setiap Core

Berikut ini rincian kecepatan data pada setiap core pada masing-masing saluran transmisi, yaitu:

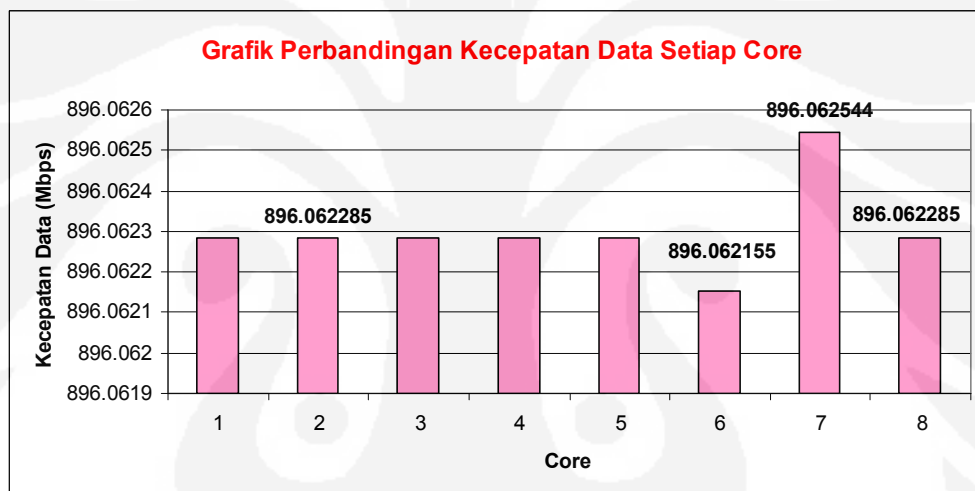
- **FT-CDC UI**

Tabel 4.9. Perbandingan *Bandwidth* dan Kecepatan Data Setiap Core (FT-CDC UI)

Core	Jarak (km)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	Kecepatan Data (Mbps)
1	0.9073	448.031142	896.062285
2	0.9073	448.031142	896.062285
3	0.9073	448.031142	896.062285
4	0.9073	448.031142	896.062285
5	0.9073	448.031142	896.062285
6	0.9076	448.031077	896.062155
7	0.9067	448.031272	896.062544
8	0.9073	448.031142	896.062285



Gambar 4.16. Grafik Perbandingan *Bandwidth* Pada Jalur Transmisi FT – CDC UI



Gambar 4.17. Grafik Perbandingan Kecepatan Data Pada Jalur Transmisi FT – CDC UI

Sebagaimana telah dijelaskan pada analisa *rise time budget* sebelumnya bahwa semakin kecil jarak transmisi maka kecepatan data akan semakin besar. Kecepatan data dipengaruhi juga oleh *bandwidth*, sehingga semakin besar *bandwidth* saluran transmisi maka kecepatan data juga akan semakin besar.

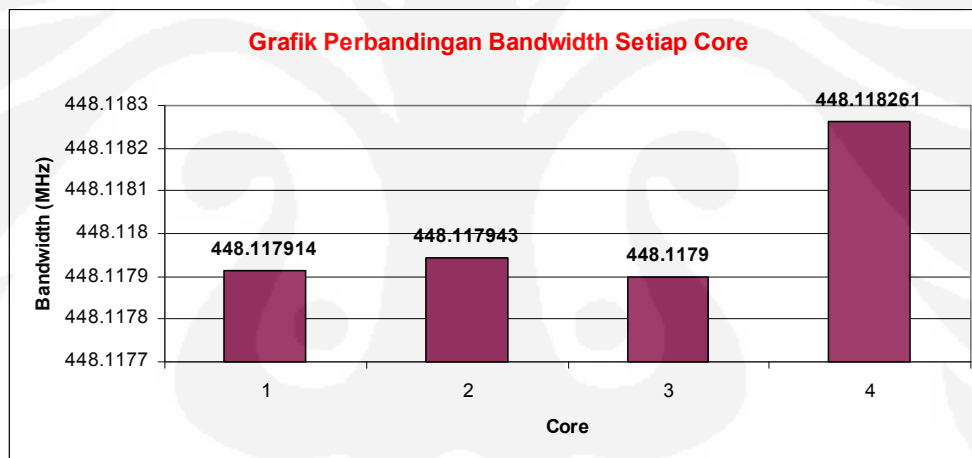
Pada gambar 4.16 dan 4.17 dapat dilihat jarak transmisi terkecil adalah pada *core* 7 yaitu 0.9067 km, sehingga *bandwidth* dan kecepatan data terbesar ada pada *core* 7 yaitu 448.031272 MHz dan 896.062544 Mbps. Jika dibandingkan dengan kecepatan data pada perencanaan dengan jarak transmisi 1 km yaitu 896 Mbps, maka kecepatan data pada saluran transmisi serat optik FT-CDC UI lebih

besar dari perencanaan. Hal itu dikarenakan jarak jangkauan perencanaan lebih besar dari jarak jangkauan dari hasil pengukuran, sehingga kecepatan data perencanaannya pun menjadi lebih kecil.

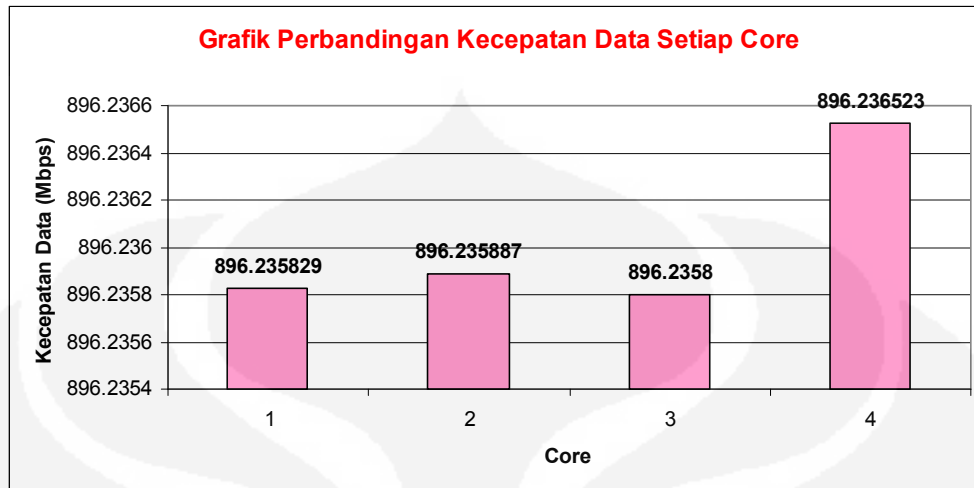
- **FT-RS**

Tabel 4.10. Perbandingan *Bandwidth* dan Kecepatan Data Setiap Core (FT-RS)

Core	Jarak (km)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	Kecepatan Data (Mbps)
1	0.3063	448.117914	896.235829
2	0.3059	448.117943	896.235887
3	0.3065	448.117900	896.235800
4	0.3015	448.118261	896.236523



Gambar 4.18. Grafik Perbandingan *Bandwidth* Pada Jalur Transmisi FT – RS



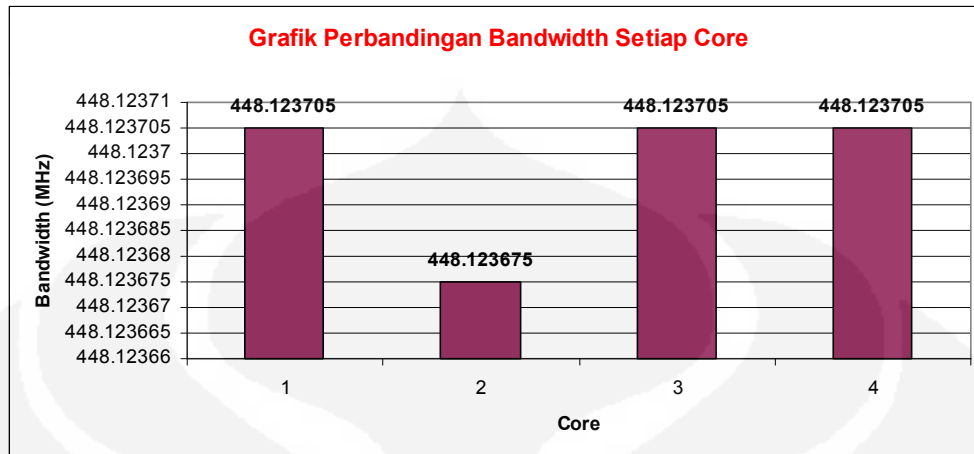
Gambar 4.19. Grafik Perbandingan Kecepatan Data Pada Jalur Transmisi FT – RS

Lain halnya dengan saluran transmisi serat optik FT-RS, kecepatan data tiap *core* lebih kecil dari kecepatan data pada perencanaan yaitu 896,2352 Mbps. Hal itu dikarenakan jarak transmisi lebih besar, sehingga kecepatan datanya menjadi lebih kecil.

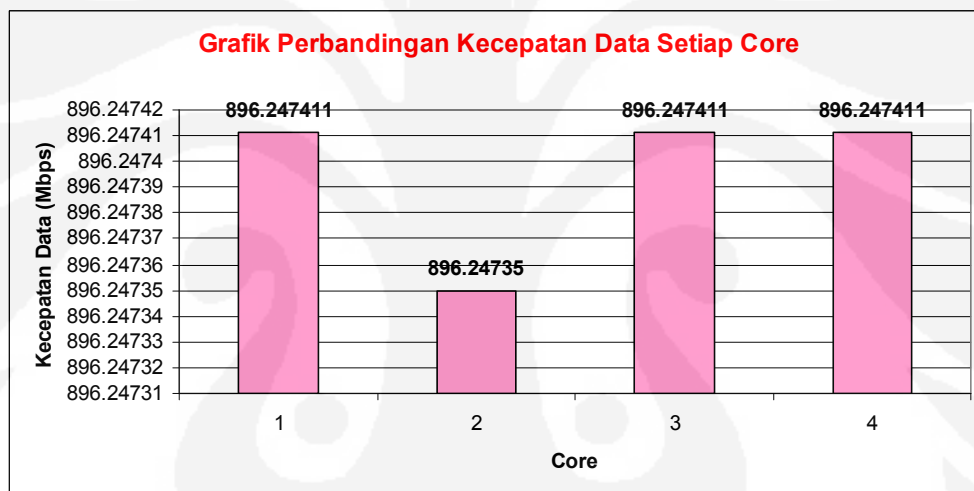
- **FIK-PKM**

Tabel 4.11. Perbandingan *Bandwidth* dan Kecepatan Data Setiap Core (FIK-PKM)

Core	Jarak (km)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	Kecepatan Data (Mbps)
1	0.2125	448.123705	896.247411
2	0.2131	448.123675	896.24735
3	0.2125	448.123705	896.247411
4	0.2125	448.123705	896.247411



Gambar 4.20. Grafik Perbandingan *Bandwidth* Pada Jalur Transmisi FIK - PKM



Gambar 4.21. Grafik Perbandingan Kecepatan Data Pada Jalur Transmisi FIK - PKM

Demikian juga dengan kecepatan data saluran transmisi FIK-PKM, jarak transmisi dari hasil pengukuran lebih besar dari jarak transmisi pada perencanaan, sehingga kecepatan data lebih kecil daripada kecepatan data pada perencanaan yaitu 896,2466 Mbps.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Rochmah, *Diktat Perencanaan Sistem Transmisi*, (Depok 2008/2009), Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [2] Keiser, Gerard, “*Optical Fiber Communication 2rd Edition*”, Mc.Graw-Hill Inc., 1991.
- [3] Killen, B Harold, “*Fibre Optic Communication*”, Prentice Hall International Editions, New Jersey, 1991.
- [4] Bass, Michael, and Eric W. Van Stryland. (2002). *Fiber optics handbook: Fiber, device and system for optical communication*. New York: McGraw-Hill companies Inc.
- [5] C. Pallais, Joseph. (1994). *Fiber optic communication* (4th ed). London: Prentice Hall International Inc.
- [6] Keiser, Gerard. (1991). *Optical fiber communication* (2nd ed). New York: McGraw-Hill Inc.
- [7] Keiser, Gerard. (2000). *Optical fiber communication* (3rd ed). New York: McGraw-Hill Inc.
- [8] “Encyclopedia of Laser Physics and Technology.” 25 Jan 2009. <http://www.rp-photonics.com/fiber_amplifiers.html>
- [9] Joseph C, “*Fiber Optic Communications*”, Maret 2008. <<http://howstuffworks.com>>
- [10] “Commscope Product”. 1 Juni 2009. <www.commscope.com/systimax/>
- [11] “Optocom Product”. 1 Juni 2009. <<http://www.optocom.com/optical.htm>>
- [12] “Optron Communication”. 2 Juni 2009 <<http://www.optroncomm.com/prolist.asp?parentid=215&id=852>>

BAB 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan pada bab-bab sebelumnya, berikut ini hasil beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari tugas akhir ini:

1. Jarak maksimum setiap transmisi serat optik adalah sebagai berikut:
 - a. FT - CDC UI adalah 92,89 km.
 - b. FT – gedung proyek Rumah Sakit adalah 87.66 km.
 - c. FIK – PKM adalah 119.07 km.

Dengan menggunakan perangkat-perangkat optik yang sama didapat bahwa semakin kecil jarak transmisi serat optik maka jarak maksimum tanpa penguat akan semakin jauh.

2. Kecepatan data setiap jalur transmisi serat optik adalah sebagai berikut:
 - a. FT - CDC UI adalah 896 Mbps.
 - b. FT – gedung proyek Rumah Sakit adalah 896.2352 Mbps.
 - c. FIK – PKM adalah 896.2466 Mbps

Bandwidth dan kecepatan data sistem komunikasi serat optik dipengaruhi oleh jarak transmisi. Semakin kecil jarak transmisi maka *bandwidth* dan kecepatan data akan semakin besar.

3. BER mempengaruhi SNR dan jarak maksimum yang dapat dicapai tanpa menggunakan penguat. Jarak maksimum tanpa penguat untuk BER 10^{-10} adalah 491.90 km, sedangkan untuk BER 10^{-12} adalah 490.23 km. Semakin besar BER maka SNR semakin besar, akan tetapi jarak transmisi akan semakin pendek.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Rochmah, *Diktat Perencanaan Sistem Transmisi*, (Depok 2008/2009), Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [2] Keiser, Gerard, “*Optical Fiber Communication 2rd Edition*”, Mc.Graw-Hill Inc., 1991.
- [3] Killen, B Harold, “*Fibre Optic Communication*”, Prentice Hall International Editions, New Jersey, 1991.
- [4] Bass, Michael, and Eric W. Van Stryland. (2002). *Fiber optics handbook: Fiber, device and system for optical communication*. New York: McGraw-Hill companies Inc.
- [5] C. Pallais, Joseph. (1994). *Fiber optic communication* (4th ed). London: Prentice Hall International Inc.
- [6] Keiser, Gerard. (1991). *Optical fiber communication* (2nd ed). New York: McGraw-Hill Inc.
- [7] Keiser, Gerard. (2000). *Optical fiber communication* (3rd ed). New York: McGraw-Hill Inc.
- [8] “Encyclopedia of Laser Physics and Technology.” 25 Jan 2009. <http://www.rp-photonics.com/fiber_amplifiers.html>
- [9] Joseph C, “*Fiber Optic Communications*”, Maret 2008. <<http://howstuffworks.com>>
- [10] “Commscope Product”. 1 Juni 2009. <www.commscope.com/systimax/>
- [11] “Optocom Product”. 1 Juni 2009. <<http://www.optocom.com/optical.htm>>
- [12] “Optron Communication”. 2 Juni 2009 <<http://www.optroncomm.com/prolist.asp?parentid=215&id=852>>

OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*) merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu serat optik pada domain waktu. OTDR dapat menganalisis setiap dari jarak akan *insertion loss*, *reflection*, dan *loss* yang muncul pada setiap titik. Umumnya mekanisme kerja OTDR adalah sebagai berikut :

- e. Sinyal-sinyal cahaya dimasukkan ke dalam serat optik.
- f. Sebagian sinyal dipantulkan kembali dan diterima oleh penerima.
- g. Sinyal balik yang diterima akan dinyatakan sebagai *loss*.
- h. Waktu tempuh sinyal digunakan untuk menghitung jarak.

Berdasarkan mekanisme kerja di atas dapat ditentukan beberapa parameter yang dapat diukur pada OTDR yaitu :

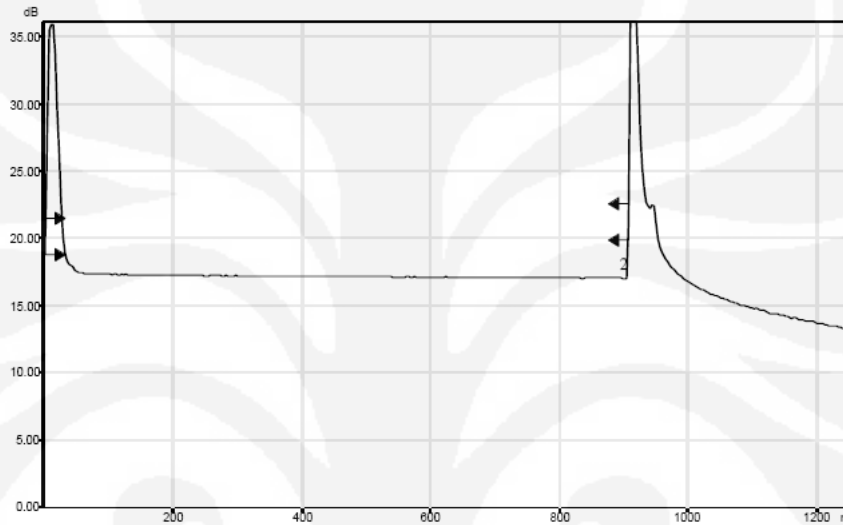
- Jarak, dalam hal ini titik lokasi dalam suatu *link*, ujung *link* atau patahan.
- *Loss* untuk masing-masing *splice* atau total *loss* dari ujung ke ujung dalam suatu *link*.
- Atenuasi dari serat optik dalam suatu *link*.
- Besar refleksi (return loss) dari suatu event.

Adapun beberapa istilah yang perlu diketahui dalam pengukuran yaitu :

- *Dead Zone*
Daerah pada serat optik di mana perubahan daya terjadi tidak secara linier, dan hal ini tidak dapat dianalisis. Panjang dead zone ini biasanya untuk serat optik yang ada dipasaran adalah 25 m. Pada OTDR grafiknya akan terlihat seperti lonjakan daya sesaat pada awal serat optic
- *Dynamic Range*
Panjang (jangkauan) maksimum yang dapat ditampilkan oleh OTDR pada sumbu horizontal.

- *Even zone*
Daerah di mana dua kejadian akan terdeteksi sebagai satu kejadian
- *End of fiber*
Merupakan ujung dari fiber optic

▪ **Jalur Fiber Optik Fakultas Teknik ke CDC UI**

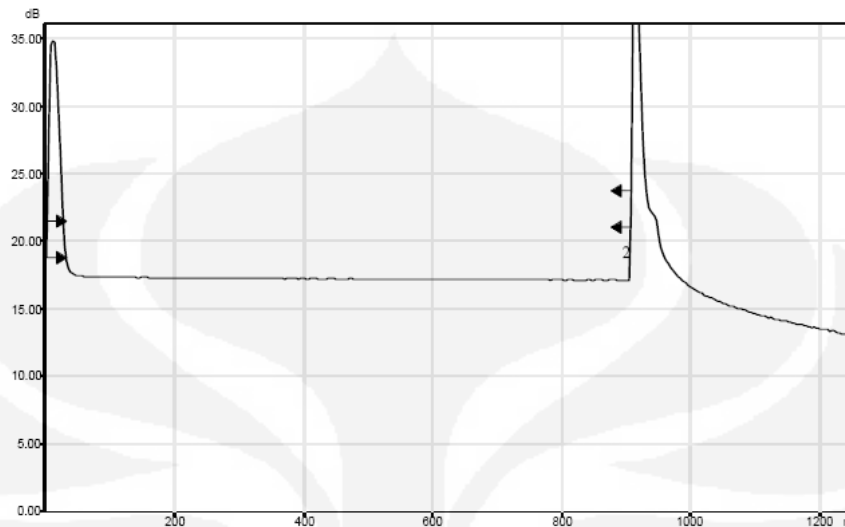


Gambar Laporan OTDR FT-CDC UI core 1

Tabel Pengukuran Jalur FT-CDC UI core 1

Span loss	0.313 dB	Avg. splice loss	-
Span length	0.9073 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.345 dB/km	Span ORL	<19.45 dB

No	Loc (km)	Event Type	Loss (dB)	Refl (dB)	Att (dB/km)	Cumul (dB)
1	0.0000	Launch level		-24.6		0
		Fiber Section (0.9073 km)	0.313		0.345	0.313
2	0.9073	Reflective fault		>-20.9		0.313

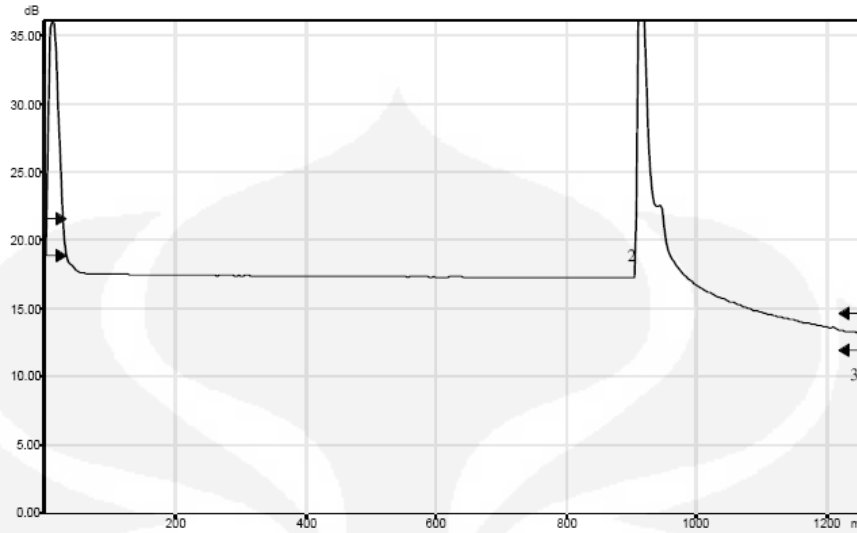


Gambar Laporan OTDR FT-CDC UI core 2

Tabel Pengukuran Jalur FT-CDC UI core 2

Span loss	0.247 dB	Avg. splice loss	-
Span length	0.9073 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.272 dB/km	Span ORL	<20.08 dB

No	Loc (km)	Event Type	Loss (dB)	Refl (dB)	Att (dB/km)	Cumul (dB)
1	0.0000	Launch level		-26.8		0
		Fiber Section (0.9073 km)	0.249		0.272	0.247
2	0.9073	Reflective fault		>-21.0		0.247

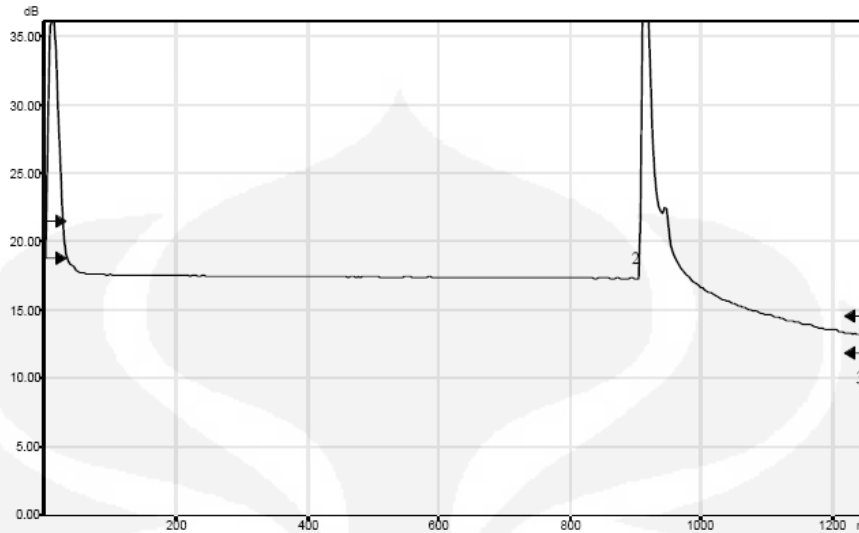


Gambar Laporan OTDR FT-CDC UI core 3

Tabel. Pengukuran Jalur FT-CDC UI core 3

Span loss	4.234 dB	Avg. splice loss	-
Span length	1.2512 km	Max. splice loss	-
Average loss	3.384 dB/km	Span ORL	-

No	Loc (km)	Event Type	Loss (dB)	Refl (dB)	Att (dB/km)	Cumul (dB)
1	0.0000	Launch level		-24.8		0
		Fiber Section (0.9073 km)	0.290		0.320	0.290
2	0.9073	Reflective fault	3.695	>-21.3		3.985
		Fiber section (0.3439 km)	0.249		0.725	4.234
3	1.2512	Countinuous fiber				4.234

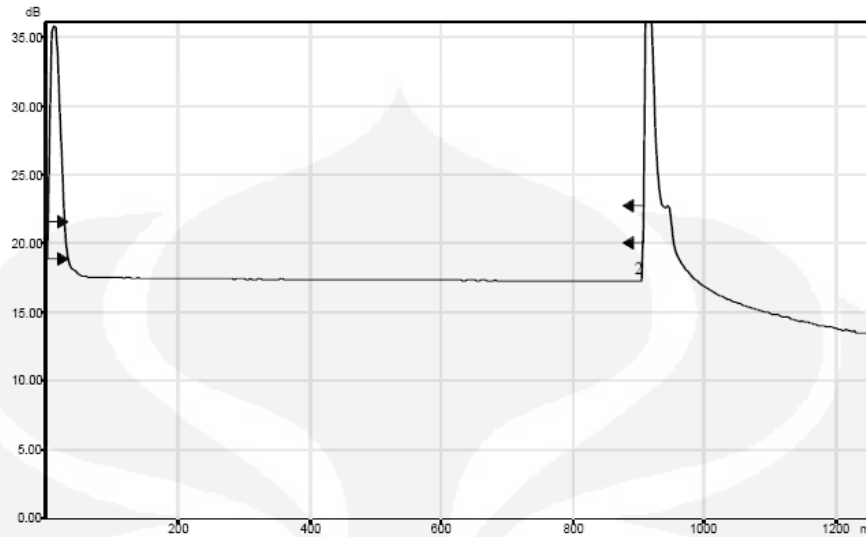


Gambar Laporan OTDR FT-CDC UI core 4

Tabel Pengukuran Jalur FT-CDC UI core 4

Span loss	4.401 dB	Avg. splice loss	-
Span length	1.2512 km	Max. splice loss	-
Average loss	3.518 dB/km	Span ORL	-

No	Loc (km)	Event Type	Loss (dB)	Refl (dB)	Att (dB/km)	Cumul (dB)
1	0.0000	Launch level		-24.6		0
		Fiber Section (0.9073 km)	0.285		0.314	0.285
2	0.9073	Reflective fault	3.524	>-21.4		3.809
		Fiber section (0.3439 km)	0.592		1.722	4.401
3	1.2512	Countinous fiber				4.401

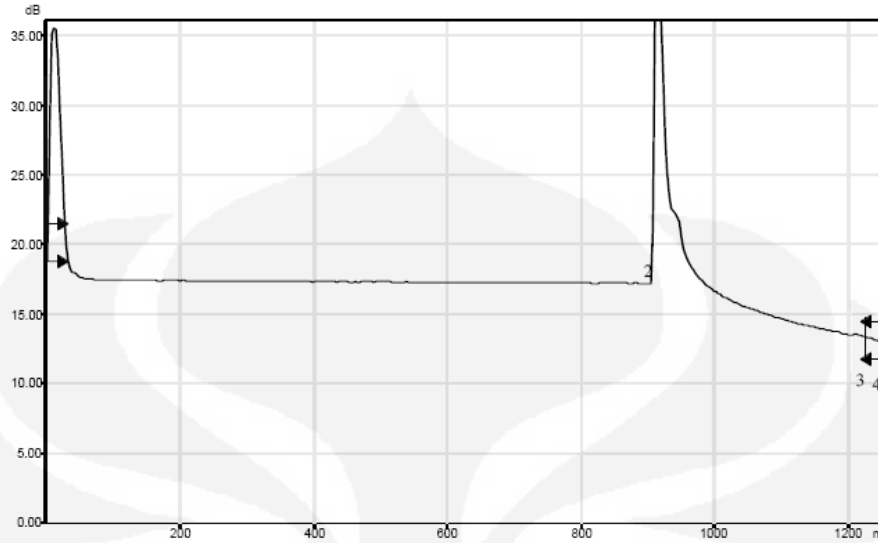


Gambar Laporan OTDR FT-CDC UI core 5

Tabel Pengukuran Jalur FT-CDC UI core 5

Span loss	0.269 dB	Avg. splice loss	-
Span length	0.9073 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.297 dB/km	Span ORL	<19.98 dB

No	Loc (km)	Event Type	Loss (dB)	Refl (dB)	Att (dB/km)	Cumul (dB)
1	0.0000	Launch level		-25.1		0
		Fiber Section (0.9073 km)	0.269		0.297	0.269
2	0.9073	Reflective fault		>-21.3		0.269

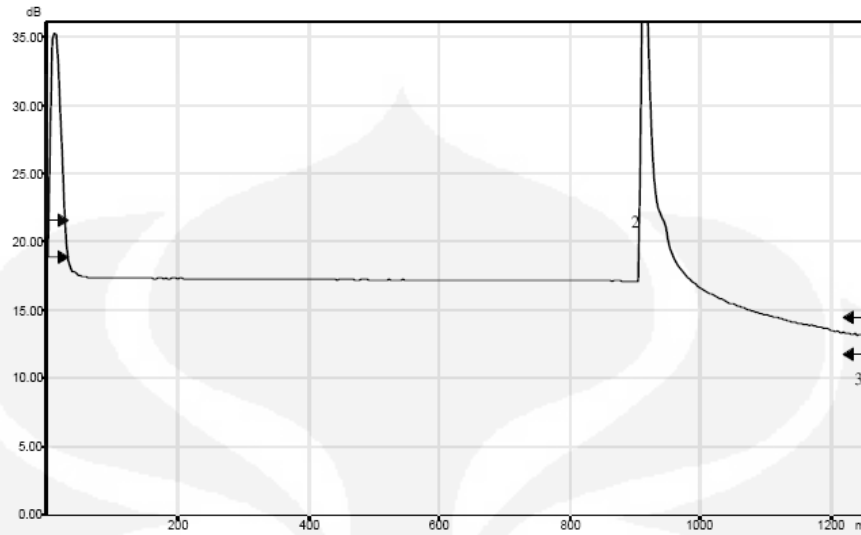


Gambar Laporan OTDR FT-CDC UI core 6

Tabel Pengukuran Jalur FT-CDC UI core 6

Span loss	4.524 dB	Avg. splice loss	0.476
Span length	1.2512 km	Max. splice loss	0.476
Average loss	3.616 dB/km	Span ORL	-

No	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level		25.0		0.000
2	0.0076	Fiber Section (0.5076 km)	0.271		0.250	0.271
		Reflective Fault	3.438	-21.2		3.709
		Fiber Section (0.5160 km)	0.250		0.810	4.028
3	1.2200	Non Reflective Fault	0.476			4.504
		Fiber Section (0.0240 km)	0.020		0.006	4.524
4	1.2512	Continuous Fiber	---			4.524

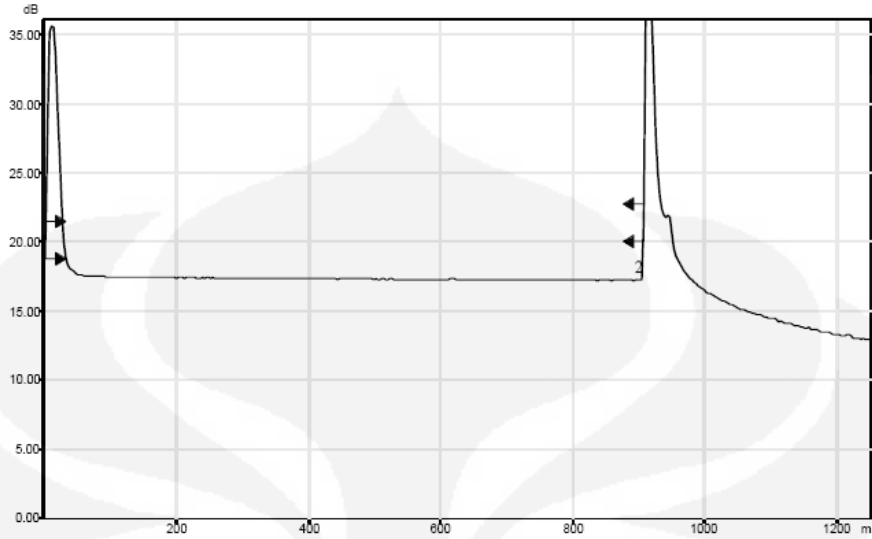


Gambar Laporan OTDR FT-CDC UI core 7

Tabel Pengukuran Jalur FT-CDC UI core 7

Span loss	4.203 dB	Avg. splice loss	-
Span length	1.2512 km	Max. splice loss	-
Average loss	3.359 dB/km	Span ORL	-

No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	All. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Loss	---	-25.0		0.000
		Fiber Section (0.5067 km)	0.253		0.279	0.253
2	0.5067	Reflective Fault	3.552	> 21.1		3.805
		Fiber Section (0.3445 km)	0.399		1.155	4.203
3	1.2512	Continuous Fiber	---			4.203



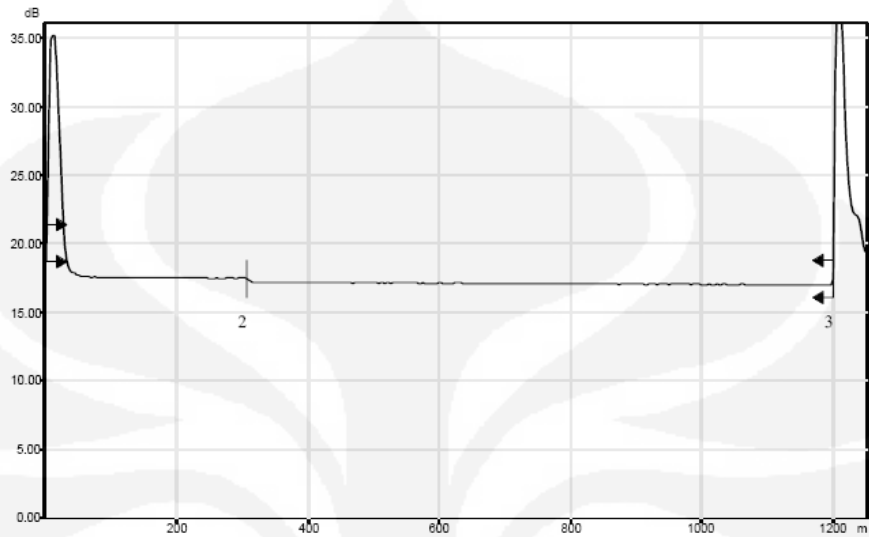
Gambar Laporan OTDR FT-CDC UI core 8

Tabel Pengukuran Jalur FT-CDC UI core 8

Span loss	0.269 dB	Avg. splice loss	-
Span length	0.9073 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.297 dB/km	Span ORL	9.97 dB

No	Loc (km)	Event Type	Loss (dB)	Refl (dB)	Att (dB/km)	Cumul (dB)
1	0.0000	Launch level		-25.4		0
		Fiber Section (0.9073 km)	0.269		0.297	0.269
2	0.9073	Reflective fault		>-21.3		0.269

- **Jalur Fiber Optik Fakultas Teknik ke Rumah Sakit (RS)**

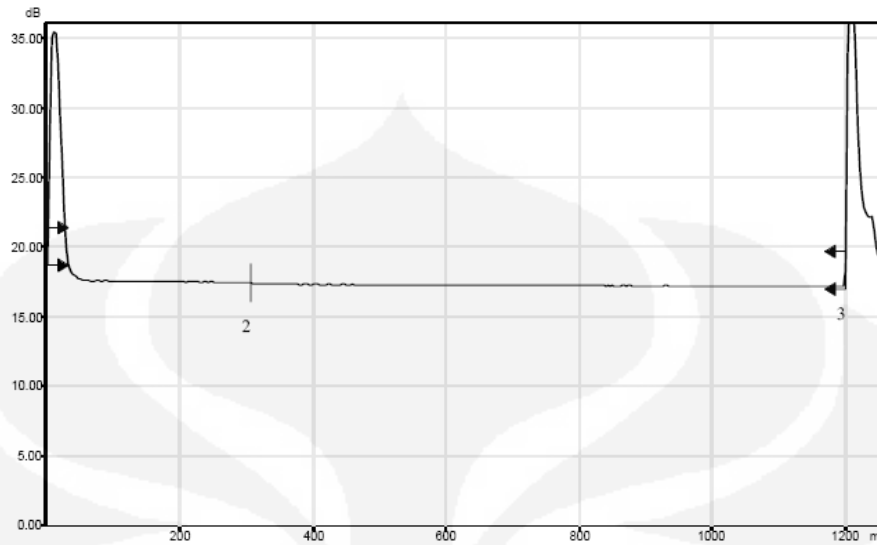


Gambar Laporan OTDR FT-RS core 1

Tabel Pengukuran Jalur FT-RS core 1

Span loss	0.617 dB	Avg. splice loss	0.285
Span length	1.2014 km	Max. splice loss	0.285
Average loss	0.514 dB/km	Span ORL	<20.42 dB

No	Loc (km)	Event type	Loss (dB)	Ref (dB)	Att (dB/km)	Cumul (dB)
1	0.0000	Launch Level		26.6		0.000
		Fiber Section (0.0053 km)	0.146		0.474	0.146
2	0.3053	Non-Reflective Fault	0.285			0.430
		Fiber Section (0.8952 km)	0.187		0.200	0.617
3	1.2014	Reflective Fault		> 20.0		

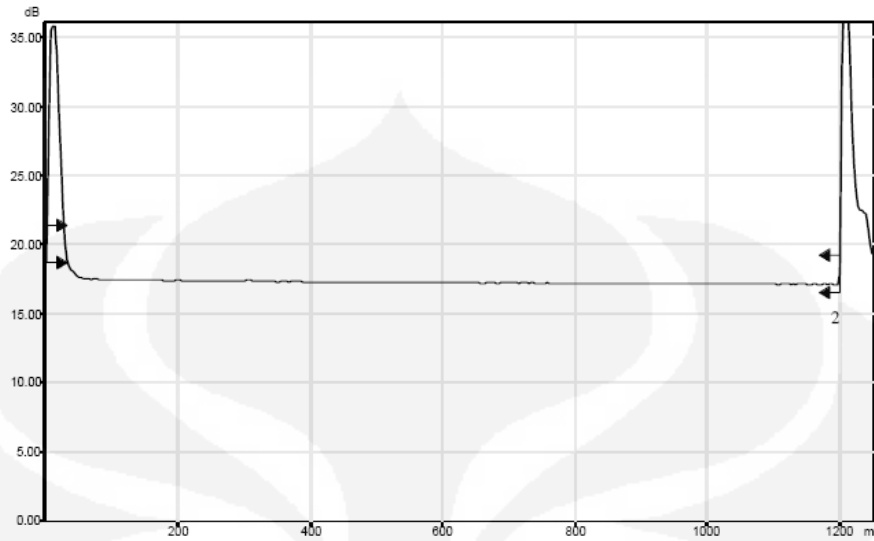


Gambar Laporan OTDR FT-RS core 2

Tabel Pengukuran Jalur FT-RS core 2

Span loss	0.472 dB	Avg. splice loss	0.128
Span length	1.2011 km	Max. splice loss	0.128
Average loss	0.393 dB/km	Span ORL	<20.30 dB

No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Retl. (dB)	Att. (dB/km)	Connu. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-25.1		0.000
		Fiber Section (0.0000 km)	0.150		0.019	0.150
2	0.0009	Non Reflective Fault	0.128			0.206
		Fiber Section (0.0002 km)	0.106		0.200	0.472
3	1.2011	Reflective Fault	---	>21.1		0.472

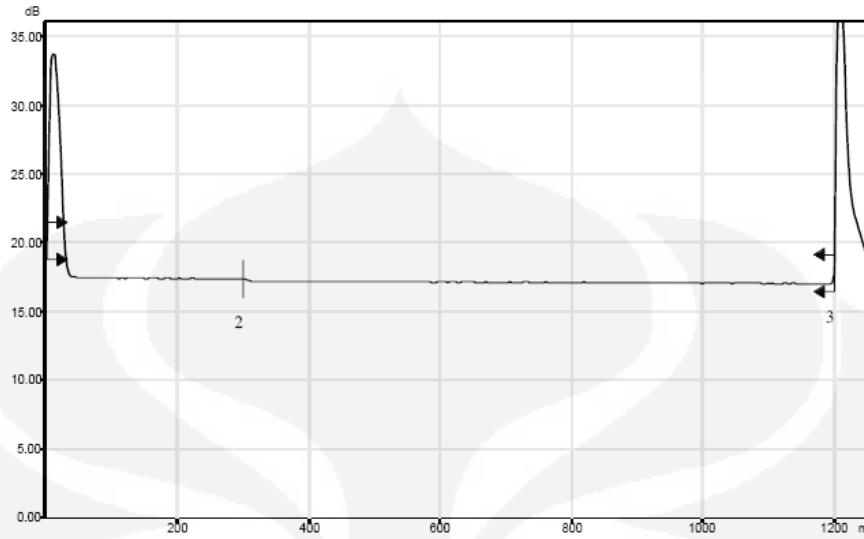


Gambar Laporan OTDR FT-RS core 3

Tabel Pengukuran Jalur FT-RS core 3

Span loss	0.344dB	Avg. splice loss	-
Span length	1.2014 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.286 dB/km	Span ORL	<19.78 dB

No	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level Fiber Section (1.2014 km)	0.344	24.9	0.286	0.000
2	1.2014	Reflective Fault	---	-21.0		0.344



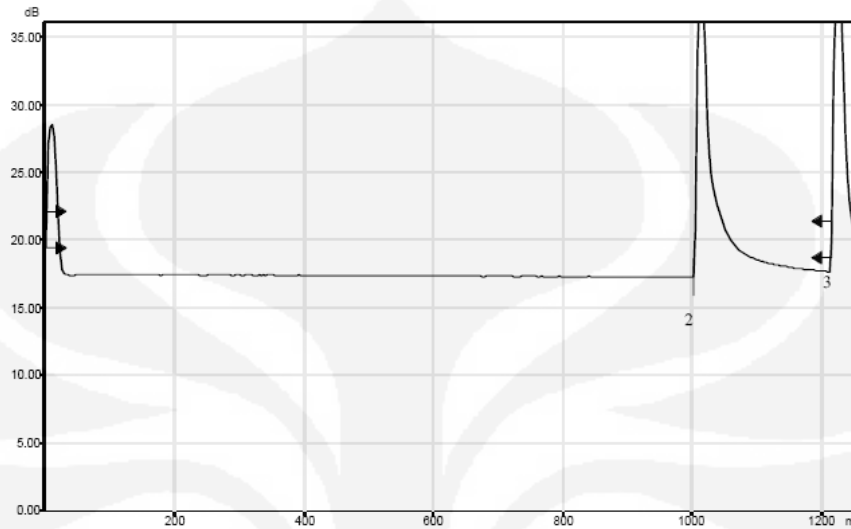
Gambar Laporan OTDR FT-RS core 4

Tabel Pengukuran Jalur FT-RS core 4

Span loss	0.434 dB	Avg. splice loss	0.162
Span length	1.2014 km	Max. splice loss	0.162
Average loss	0.361 dB/km	Span ORL	<20.73 dB

No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Retl. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-26.9		0.000
		Fiber Section (0.8015 km)	0.088		0.274	0.088
2	0.3015	Non-Reflective Fault	0.162			0.244
		Fiber Section (0.9000 km)	0.190		0.211	0.434
3	1.2014	Reflective Fault	---	>-20.9		0.434

- **Jalur Fiber Optik Fakultas Ilmu Kesehatan ke PKM**

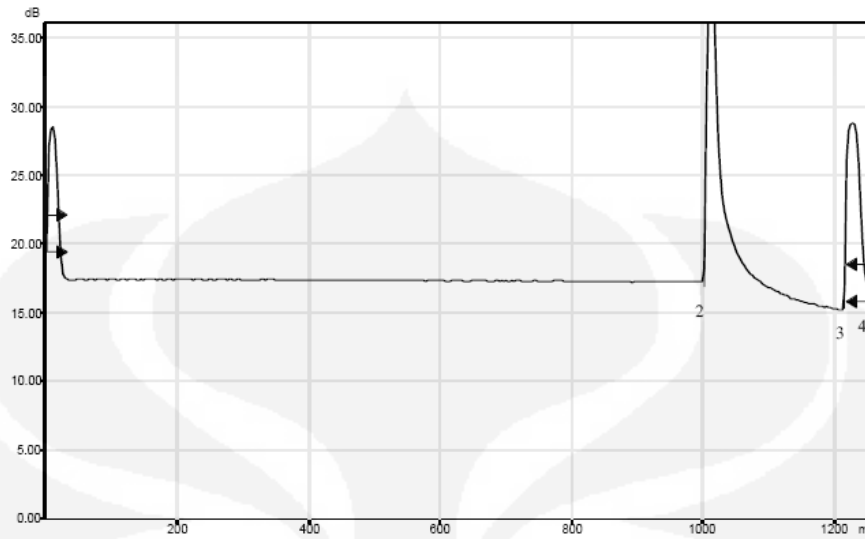


Gambar Laporan OTDR FIK-PKM core 1

Tabel Pengukuran Jalur FIK – PKM core 1

Span loss	-0.192 dB	Avg. splice loss	-
Span length	1.2158 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.158 dB/km	Span ORL	<18.14 dB

No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Retl. (dB)	Att. (dB/km)	Contri. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-39.7		0.000
		Fiber Section (1.0000 km)	0.185		0.184	0.185
2	1.0000	Reflective Fault	0.500	> 21.0		0.346
		Fiber Section (0.2126 km)	0.154		0.720	0.152
3	1.2158	Reflective Fault	---	> 22.4		-0.169

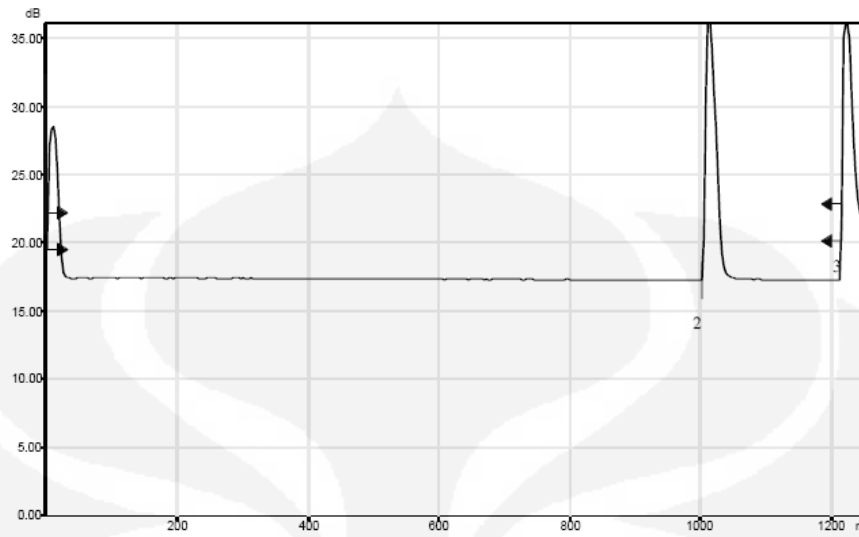


Gambar Laporan OTDR FIK-PKM core 2

Tabel Pengukuran Jalur FIK – PKM core 2

Span loss	0.893 dB	Avg. splice loss	-
Span length	1.2512 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.714 dB/km	Span ORL	-

No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	RefL (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-56.7		0.000
		Fiber Section (1.0030 km)	0.186		0.186	0.186
2	1.0030	Reflective Fault	1.021	> 21.2		2.011
		Fiber Section (0.2101 km)	0.326		1.527	2.336
3	1.2151	Reflective Fault	-0.575	-56.0		-0.037
		Fiber Section (0.0361 km)	0.680		26.512	0.680
4	1.2512	Continuous fiber				0.980

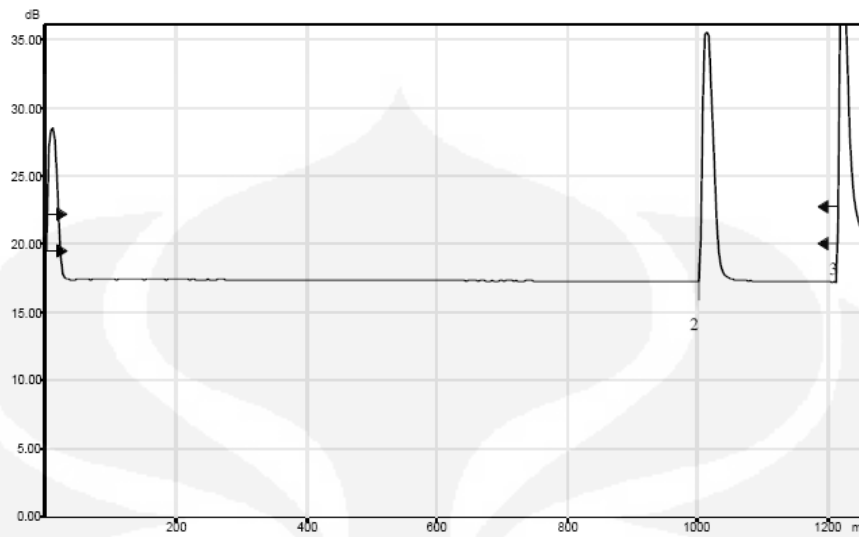


Gambar Laporan OTDR FIK-PKM core 3

Tabel Pengukuran Jalur FIK – PKM core 3

Span loss	0.235 dB	Avg. splice loss	-
Span length	1.2158 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.193 dB/km	Span ORL	21.27 dB

No	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level		39.7		0.000
		Fiber Section (1.0000 km)	0.191		0.191	0.191
2	1.0088	Reflective Fault	-0.091	-23.2		0.090
		Fiber Section (0.2100 km)	0.145		0.681	0.235
3	1.2188	Reflective Fault		24.3		0.235



Gambar Laporan OTDR FIK-PKM core 4

Tabel Pengukuran Jalur FIK – PKM core 4

Span loss	0.258 dB	Avg. splice loss	-
Span length	1.2158 km	Max. splice loss	-
Average loss	0.212 dB/km	Span ORL	<19.86 dB

No.	LOC (km)	Event type	Loss (dB)	Retl. (dB)	All. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-39.7		0.000
		Fiber Section (1.0088 km)	0.182		0.181	0.182
2	1.0033	Reflective Fault	0.101	25.1		0.000
		Fiber Section (0.2125 km)	0.179		0.026	0.258
3	1.2158	Reflective Fault	---	-21.2		0.258

Lampiran 2: Dokumentasi Tugas Akhir

UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS HUKUM
DEPARTEMEN HUKUM PERDATA

FORMULIR PERSETUJUAN
SIDANG : SEMINAR^(S2) / SKRIPSI / TESIS*

Revisi: 1 2 3

* Digunakan untuk:
Membahas bahan dan hasil bimbingan bimbingan:

NAMA : Siti Zahara Wati
NPM : 0906120024

ISI dan judul sidang bimbingan bimbingan bimbingan:
Analisis Perkembangan Hukum Surat Cipta di
Universitas Indonesia

Jawab dan dibenarkan oleh penguji/pengantar penguji/pengantar** tahun 2009/2009 pada pertemuan ke:
pertemuan ke-1 sebagai berikut:

1. Dr. Ir. Arman Djohan
2. Bapak Rumania Sidi, Dr
3. Dr. Dadang Sunarya, Prof
4. Bapak Budi Setiawan, Ir

Dr. Ir. Siti Zahara Wati
Dosen Pembimbing

Siti Zahara Wati

K. S. Rahmawati M. S. Sidiqin M. S.
NIP. 1960-03-06-1960

* Untuk sidang bimbingan bimbingan bimbingan bimbingan bimbingan
** Dosen yang ditunjuk sebagai penguji/pengantar bimbingan bimbingan bimbingan bimbingan bimbingan

iv

LEMBAR PENGESAHAN

Tersedia di perpustakaan

**ANALISIS PERLUASAN JARINGAN SERAT OPTIK DI
UNIVERSITAS INDONESIA**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada
Program Studi Elektro, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas
Indonesia dan diajukan untuk diajukan dalam presentasi tugas akhir.

Depok, 17 Juni 2009

Taspen Pembimbing



Ir. Ny. Machuliz N. Sakandi M.Sc.

NIP 136516627



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN ELEKTRO

789

FORMULIR EVALUASI Bimbingan TUGAS SKRIPSI/TUGAS AKHIR

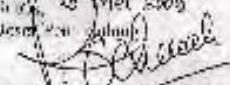
Daftar File
✓

Nama: Siti Zahara Wati
 NPM: 0706190924
 Tahun Akademik: 2008/2009
 Semester: VIII (delapan)
 Jenis Tugas Akhir: Analisis Jernihan Serat Optik di Universitas Indonesia

Kriteria	Kemajuan Lembar Kerja				Ketercapaian
	25%	50%	75%	100%	
Mengisi Tugas yang akan dikerjakan oleh Laboran				✓	
Membuat alat eksperimen				✓	X
Membuat media					X
Pengantar Laporan				✓	
Pembuatan Buku Skripsi/TA			✓		
Total Ketuntasan			✓		

Uraian permasalahan yang dihadapi

catatan: "Berilah tanggapan dan saran yang dapat meningkatkan kualitas hasil karya"
 Di antara paragraf, beri tanda alinea (paragraf baru) bila perlu.

Di: 25 Mei 2009
 Desy (Dosen Pembimbing)

 Ir. Nd. Rochmah H. Sutawati, MSc
 NIP. 190-036-665



**FORMULIR LAPORAN PROSES
BIMBINGAN ~~KEHIMPUNAN~~ TUGAS AKHIR**

Kes. 157 ✓

Nama: Siti Zahara Wati
 NIM: 092 001 24
 Jurusan: 092 2002 - Sistem 2007
 Kelas: Rekomendasi
 Dosen Pembimbing: Dr. Anwar Tanjung, Ewon Ophelia
 dan Ulin Widiastuti, Indonesia

No. Urut	Judul Bab	Tanggal	Tempat
1	Introduksi	21 Januari 2009	Rekomendasi
2	Bab I dan Bab II	4 Februari 2009	Rekomendasi
3	Bab III	18 Mei 2009	Rekomendasi
4	Bab IV	20 Mei 2009	Rekomendasi
5	Bab V	26 Mei 2009	Rekomendasi
6	Bab VI	4 Juni 2009	Rekomendasi
7	Bab VII	12 Juni 2009	Rekomendasi
8	Bab VIII	11 Juli 2009	Rekomendasi
9	Bab IX	15 Juli 2009	Rekomendasi
10	Bab X	16 Juli 2009	Rekomendasi

Tgl. 20 Mei 2009
 Nama: Siti Zahara Wati
 NIM: 092 001 24

The screenshot shows the SIANG NG web application. The browser address bar displays 'http://siang-ng.ftui.ac.id:8080/...'. The page title is 'SIANG NG'. The main content area contains a table with the following data:

No.	Kode P.E.	Kode	Nilai	Suku	Yr	Sum	200/00	4.00	4.00	Final
1	00000	00000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	00000	00000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	00000	00000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



ANALISIS PERLUASAN JARINGAN SERAT OPTIK DI UNIVERSITAS INDONESIA

SITI ZAHARA WATI
0706199924

DEPOK, 30 JUNI 2009

Latar Belakang

- Sistem komunikasi yang mempunyai kapasitas transmisi yang besar.
- Sistem komunikasi yang mempunyai kecepatan transmisi yang tinggi.
- Peningkatan kebutuhan sistem informasi di Universitas Indonesia

Perluasan JUITA

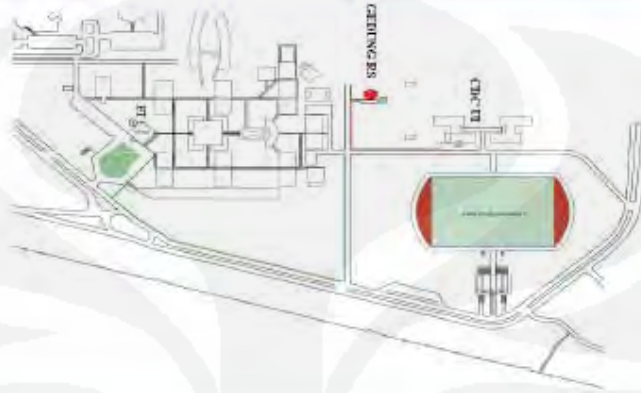
Perluasan Jaringan Universitas Indonesia Terpadu (JUITA) meliputi:

- Dekanat Fakultas Teknik \leftrightarrow CDC Universitas Indonesia
- Dekanat Fakultas Teknik \leftrightarrow Gedung Proyek Rumah Sakit UI
- Fakultas Ilmu Keperawatan (FIK) \leftrightarrow Gedung Pusat Kesehatan Mahasiswa (PKM).

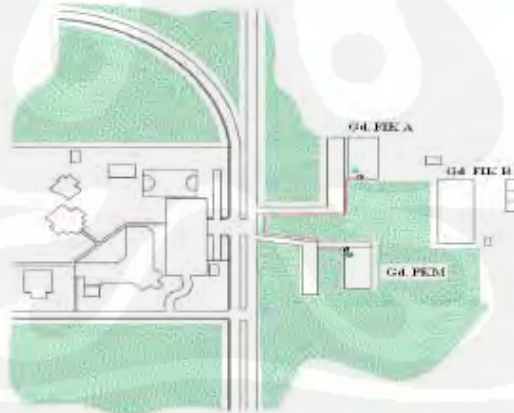
Spesifikasi Perluasan JUITA

No	Spesifikasi	Nilai
1	Kecepatan data	100 Mbps
2	Jenis transmisi	Digital (NRZ)
3	Panjang gelombang	1550 nm
4	Jarak transmisi <ul style="list-style-type: none">- FT ke CDC UI- FT ke Proyek Gd. RS- Gd. FIK A ke Gd. PKM	1000 m 310 m 220 m
5	<i>Bit Error Rate</i> (BER)	10^{-10}

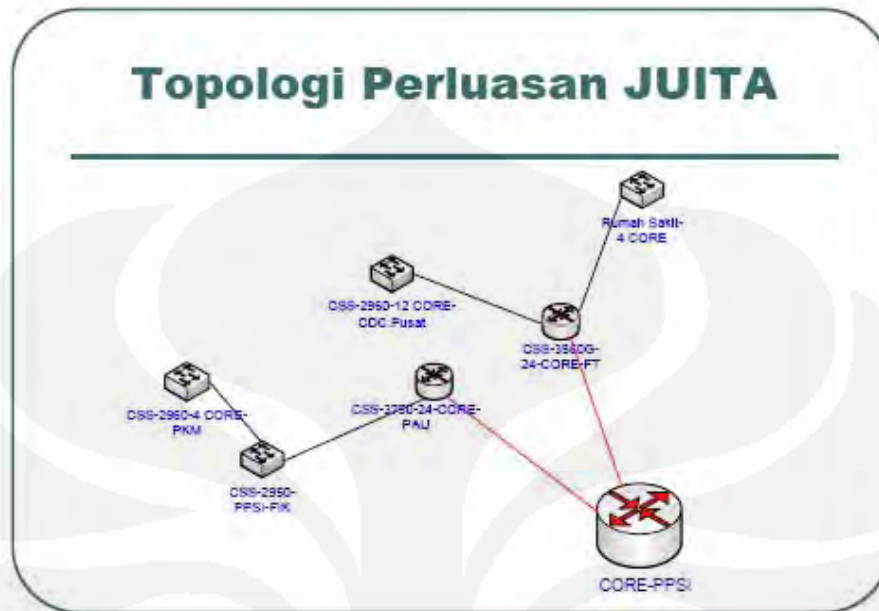
Pemetaan Jalur Serat Optik



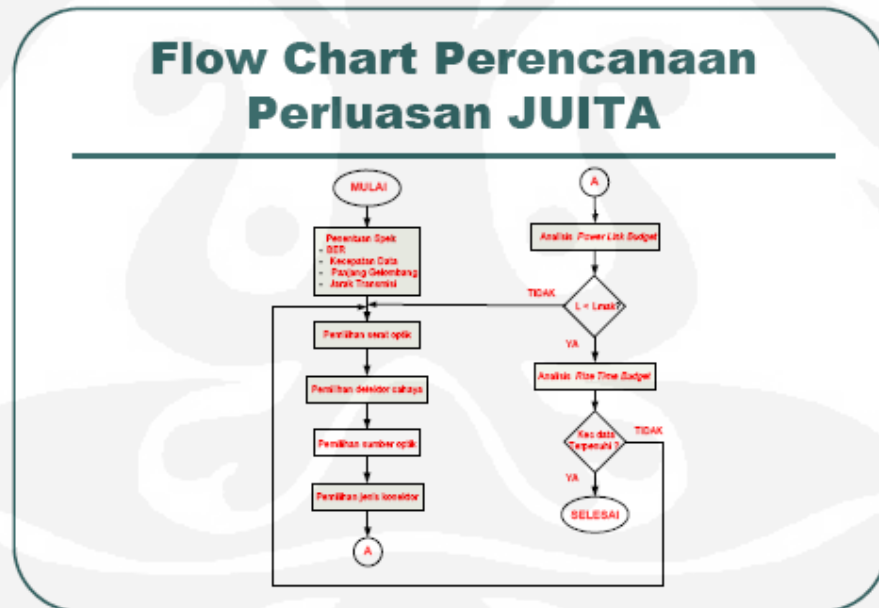
Pemetaan Jalur Serat Optik



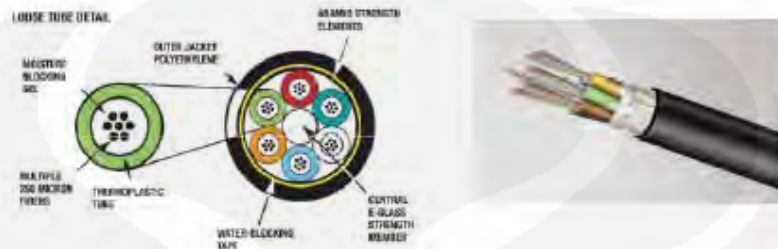
Topologi Perluasan JUITA



Flow Chart Perencanaan Perluasan JUITA



Komponen-Komponen Optik Serat Optik



- Serat optik *single mode* tipe *loose tube*.
- Digunakan untuk kabel udara dan tanah

Komponen-Komponen Optik Penerima Optik

- Detektor optik tipe InGaAs PIN photodiode digunakan untuk sistem komunikasi data dan sistem telekomunikasi dengan menggunakan serat optik *single mode*.
- PIN tidak mempunyai penguat internal.
- InGaAs PIN photodiode dapat digunakan pada sistem dengan kapasitas transmisi yang besar.

Komponen-Komponen Optik Sumber Optik

- Sumber optik yang digunakan laser *Distribution Feedback Laser* (DFB).
- DFB dapat digunakan pada sistem yang menggunakan serat optik *single mode* dengan panjang gelombang (*wavelength*) 1550 nm.
- DFB dapat mendukung sistem dengan kapasitas transmisi yang besar (Gbps).

Komponen-Komponen Optik Konektor Optik



- Konektor optik yang digunakan adalah konektor jenis ST.
- Konektor ST umumnya digunakan untuk *high performance*.

Instalasi Dan Terminasi Serat Optik

• Instalasi kabel serat optik

- Ditanam sedalam minimum 60 cm didalam tanah.
- Menggunakan pipa *galvanize* bila melintasi jalan dan kabel diteroboskan di bawah jalan yang sudah ada (tidak membongkar jalan).
- Bila naik menyusur tembok, untuk menghindarkan *vandalisme* maka harus dilindungi pipa *galvanize* setinggi minimum 3m.
- Sepanjang lintasan harus diberi tanda setiap jarak +/- 25 m bertuliskan: "FO (pahatan/lekuk kedalam)". Tanda dibuat dari beton atau semen cor berdiameter 15 cm panjang minimum 30 cm berwarna kuning.
- Bila melintasi selokan, harus ditanam dibawah dasar selokan (tidak merusak selokan).
- Salah satu dari dua ujung kabel serat optik harus di-*ground*-kan.

• Terminasi kabel serat optik

- Semua *core* kedua ujung kabel serat optik dilakukan terminasi.
- Sesuai dengan spesifikasi LIU, terminasi dengan *ST connector*.

Power Link Budget

• Langkah 1: Menghitung Bandwidth

$$B = \frac{B_c}{2}$$
$$B = \frac{100 \times 10^6}{2}$$
$$B = 50 \text{ MHz}$$

• Langkah 2: Menghitung SNR

Pada gambar grafik 0.5 erfc dapat dilihat BER 10^{-10} diketahui nilainya mendekati 4.55, sehingga dapat dihitung berapa nilai SNR nya.

$$BER = 0.5 \text{erfc} \frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}$$
$$10^{-10} = 0.5 \text{erfc} \frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}$$
$$4.55 = \frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}$$
$$SNR = 165.63$$

• Langkah 3: Faktor penguatan

Faktor penguatan untuk penerima optik jenis PIN adalah 1.

Power Link Budget

- Langkah 4: Menghitung sensitifitas detektor**

$$P_d = \frac{2 \alpha \beta R F(M) \alpha \text{SNR}}{R}$$

$$P_d = \frac{(2 \times 1,6 \times 10^{-16}) \times (30 \times 10^6) \times 1 \times 1,65,62}{1}$$

$$P_d = 2,65 \times 10^{-12} \text{ mW}$$

$$P_d (\text{dBm}) = 10 \log(2,65 \times 10^{-12})$$

$$P_d (\text{dBm}) = -115,76 \text{ dBm}$$

Dari perhitungan bandwidth, SNR dan faktor penguatan PIN dapat dihitung besar sensitifitas detektor cahaya menjadi:
- Langkah 5: Menghitung power launching**

$$P_s = 10 \log(P_f)$$

$$P_s = 10 \log(1,5 \text{ mW})$$

$$P_s = 1,76 \text{ dBm}$$

Power launching dapat dihitung dengan menggunakan data sumber optik yang digunakan, yaitu laser dioda. Daya keluaran dari laser ke serat optik sebesar 1,5 mW.
- Langkah 6 : Menghitung panjang maksimum**

$$l = \frac{P_s - P_d - (\alpha_s L_s) - (\alpha_r L_r) - P_w}{L_f}$$

$$l = \frac{1,76 - (-115,76) - (2 \times 0,15) - 0 - 9}{0,22}$$

$$l = 491,9 \text{ km}$$

Rise Time Budget FIK – PKM

- Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik**

$$t_s = M \alpha \sigma_p \alpha L$$

$$t_s = \left(18 \frac{\text{ps}}{\text{mm.km}} \right) \times 1 \text{ mm} \times 0,22 \text{ km}$$

$$t_s = 0,00396 \text{ ns}$$
- Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik**

$$t_{\text{tot}} = \sqrt{t_s^2 + t_r^2 + t_d^2}$$

$$t_{\text{tot}} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,00396 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{\text{tot}} = \sqrt{0,6113 \times 10^{-18}}$$

$$t_{\text{tot}} = 0,781035 \text{ ns}$$
- Langkah 3: Menghitung bandwidth sistem yang dapat dicapai**

$$B = \frac{0,35}{t_{\text{tot}}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,781035 \times 10^{-9}}$$

$$B = 448,1233 \text{ MHz}$$
- Langkah 4: Menghitung kecepatan data maksimum**

$$B_p = 2 \times B$$

$$B_p = 2 \times 448,1233 \times 10^6$$

$$B_p = 896,2466 \text{ Mbps}$$

Rise Time Budget FT – Gedung Proyek Rumah Sakit

- **Langkah 1:** Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = \Delta n \sigma_p \cdot L$$

$$t_s = \left(18 \frac{ps}{mm \cdot km}\right) \cdot 2mm \cdot 0,31km$$

$$t_s = 0,00558ns$$
- **Langkah 2:** Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{su} = \sqrt{t_{sc}^2 + t_p^2 + t_s^2}$$

$$t_{su} = \sqrt{(0,6 \cdot 10^{-9})^2 + (0,00558 \cdot 10^{-9})^2 + (0,5 \cdot 10^{-9})^2}$$

$$t_{su} = \sqrt{0,6129 \cdot 10^{-18}}$$

$$t_{su} = 0,781044ns$$
- **Langkah 3:** Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{su}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,781044 \cdot 10^{-9}}$$

$$B = 448,1176MHz$$
- **Langkah 4:** Menghitung kecepatan data maksimum

$$B_p = 2 \cdot B$$

$$B_p = 2 \cdot 448,1176 \cdot 10^6$$

$$B_p = 896,2352Gbps$$

Rise Time Budget FT – CDC UI

- **Langkah 1:** Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = \Delta n \sigma_p \cdot L$$

$$t_s = \left(18 \frac{ps}{mm \cdot km}\right) \cdot 2mm \cdot 1km$$

$$t_s = 0,018ns$$
- **Langkah 2:** Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{su} = \sqrt{t_{sc}^2 + t_p^2 + t_s^2}$$

$$t_{su} = \sqrt{(0,6 \cdot 10^{-9})^2 + (0,018 \cdot 10^{-9})^2 + (0,5 \cdot 10^{-9})^2}$$

$$t_{su} = \sqrt{0,6424 \cdot 10^{-18}}$$

$$t_{su} = 0,781ns$$
- **Langkah 3:** Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{su}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,8 \cdot 10^{-9}}$$

$$B = 448MHz$$
- **Langkah 4:** Menghitung kecepatan data maksimum

$$B_p = 2 \cdot B$$

$$B_p = 2 \cdot 437,5 \cdot 10^6$$

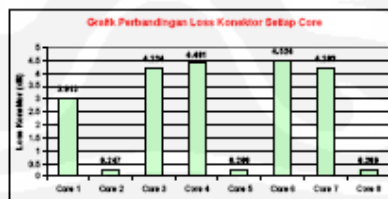
$$B_p = 896Gbps$$

Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik FT – CDC UI

Tabel Hasil Pengukuran OTDR

Core	Loss Serat (L _f) dB/km	Loss Splice (L _s) dB	Loss Connector (L _c) dB
Core 1	0.345	0	3.013
Core 2	0.272	0	0.247
Core 3	3.384	0	4.234
Core 4	3.518	0	4.401
Core 5	0.297	0	0.269
Core 6	3.616	0.476	4.524
Core 7	3.359	0	4.203
Core 8	0.297	0	0.269

Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik FT – CDC UI

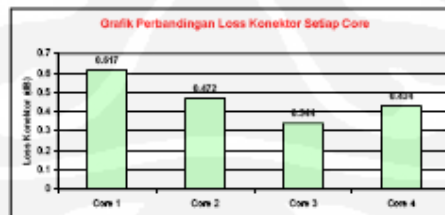
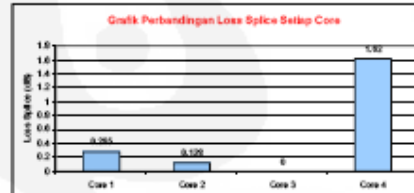


Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik FT – Gedung Proyek Rumah Sakit

Tabel Hasil Pengukuran OTDR

Core	Loss Serat (L _f) dB/km	Loss Splice (L _s) dB	Loss Connector (L _c) dB
Core 1	0.514	0.285	0.617
Core 2	0.393	0.128	0.472
Core 3	0.286	0	0.344
Core 4	0.361	1.62	0.434

Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik FT – Gedung Proyek Rumah Sakit

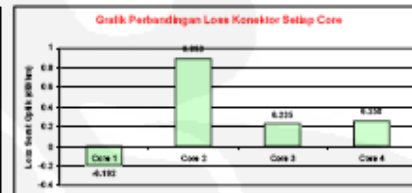


Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik FIK – PKM

Tabel Hasil Pengukuran OTDR

Core	Loss Serat (Lf) dB/km	Loss Splice (Ls) dB	Loss Connector (Lc) dB
Core 1	0.158	0	-0.192
Core 2	0.714	0	0.893
Core 3	0.193	0	0.235
Core 4	0.212	0	0.258

Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik FIK – PKM

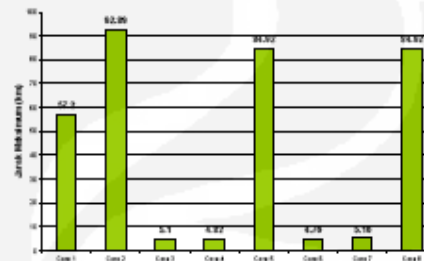


Analisis Jarak Maksimum FT – CDC UI

Tabel Jarak Maksimum Jalur Transmisi

No	Core	Jarak maksimum (km)
1	Core 1	57,20
2	Core 2	92,89
3	Core 3	5,10
4	Core 4	4,82
5	Core 5	84,92
6	Core 6	4,76
7	Core 7	5,16
8	Core 8	84,92

Grifik Perbandingan Jarak Maksimum Setiap Core

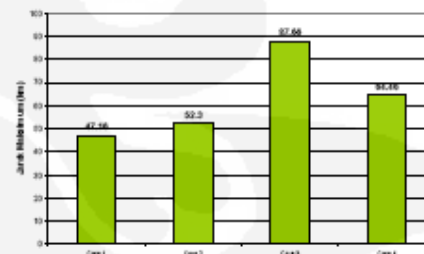


Analisis Jarak Maksimum FT – Gedung Proyek Rumah Sakit

Tabel Jarak Maksimum Jalur Transmisi

No	Core	Jarak maksimum (km)
1	Core 1	47,16
2	Core 2	52,30
3	Core 3	87,66
4	Core 4	64,46

Grifik Perbandingan Jarak Maksimum Setiap Core

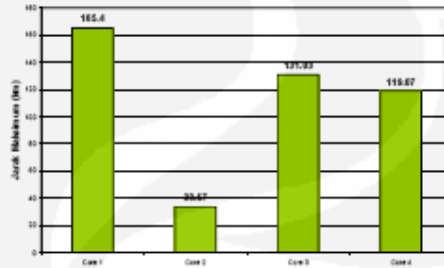


Analisis Jarak Maksimum FIK – PKM

Tabel Jarak Maksimum Jalur Transmisi

No	Core	Jarak maksimum (km)
1	Core 1	165.4
2	Core 2	33.57
3	Core 3	131.03
4	Core 4	119.07

Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Setiap Core

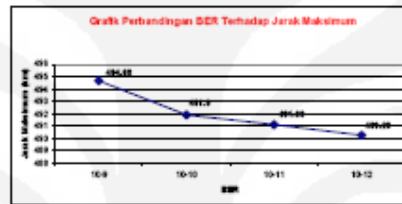
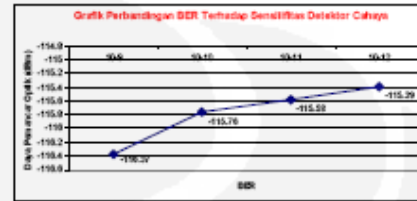


Analisis Power Link Budget

Tabel Perbandingan BER Terhadap SNR, Pd dan Jarak

BER	SNR	P_d (dBm)	Jarak (km)
10^{-9}	144.00	-116.37	484.68
10^{-10}	165.63	-115.76	491.90
10^{-11}	172.98	-115.58	491.09
10^{-12}	180.50	-115.39	490.23

Analisis Power Link Budget



Analisis Rise Time Budget

Tabel Perbandingan Rise Time Budget Pada Setiap Jalur Transmisi

No	Jalur Transmisi	Jarak (km)	Kecepatan Data (Mbps)
1	FKM - PKM	220	896.2466
2	FT - RS	310	896.2352
3	FT - CDC UI	1000	896

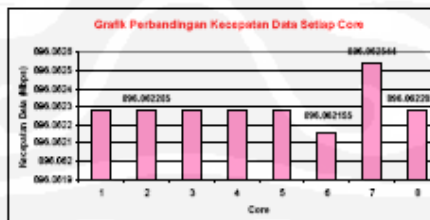
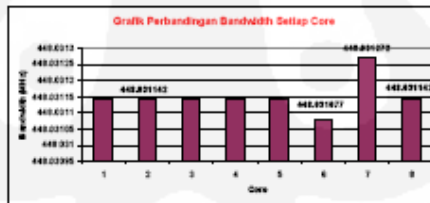


Analisis Kecepatan Data FT – CDC UI

Tabel Perbandingan *Bandwidth* dan Kecepatan Data Setiap Core

Core	Jarak (km)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	Kecepatan Data (Mbps)
1	0.9073	448.031142	896.062285
2	0.9073	448.031142	896.062285
3	0.9073	448.031142	896.062285
4	0.9073	448.031142	896.062285
5	0.9073	448.031142	896.062285
6	0.9076	448.031077	896.062155
7	0.9067	448.031272	896.062544
8	0.9073	448.031142	896.062285

Analisis Kecepatan Data FT – CDC UI

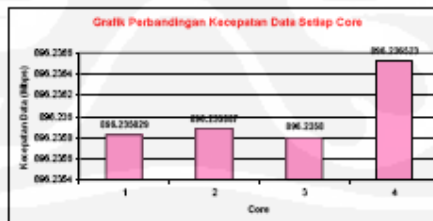
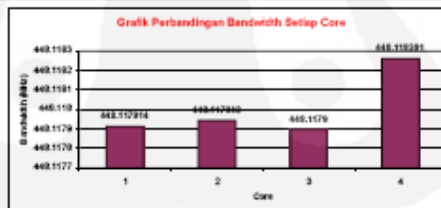


Analisis Kecepatan Data FT – Gedung Proyek Rumah Sakit

Tabel Perbandingan *Bandwidth* dan Kecepatan Data Setiap Core

Core	Jarak (cm)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	Kecepatan Data (Mbps)
1	0.3063	448.117914	896.235829
2	0.3059	448.117943	896.235887
3	0.3065	448.117900	896.235800
4	0.3015	448.118261	896.236523

Analisis Kecepatan Data FT – Gedung Proyek Rumah Sakit

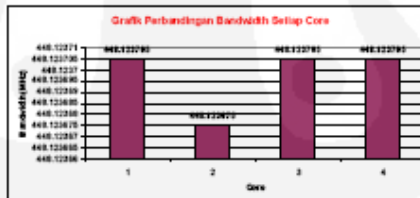


Analisis Kecepatan Data FIK – PKM

Tabel Perbandingan Bandwidth dan Kecepatan Data Setiap Core

Core	Jarak (km)	Bandwidth (MHz)	Kecepatan Data (Mbps)
1	0.2125	448.123705	896.247411
2	0.2131	448.123675	896.24735
3	0.2125	448.123705	896.247411
4	0.2125	448.123705	896.247411

Analisis Kecepatan Data FIK – PKM



Kesimpulan

- Jarak maksimum setiap transmisi serat optik adalah sebagai berikut:
 - FT - CDC UI adalah 92,89 km.
 - FT – gedung proyek Rumah Sakit adalah 87.66 km.
 - FIK – PKM adalah 119.07 km.

Dengan menggunakan perangkat-perangkat optik yang sama didapat bahwa semakin kecil jarak transmisi serat optik maka jarak maksimum tanpa penguat akan semakin jauh.

- Kecepatan data setiap jalur transmisi serat optik adalah sebagai berikut:
 - FT - CDC UI adalah 896 Mbps.
 - FT – gedung proyek Rumah Sakit adalah 896.2352 Mbps.
 - FIK – PKM adalah 896.2466 Mbps

Bandwidth dan kecepatan data sistem komunikasi serat optik dipengaruhi oleh jarak transmisi. Semakin kecil jarak transmisi maka bandwidth dan kecepatan data akan semakin besar.

- BER mempengaruhi SNR dan jarak maksimum yang dapat dicapai tanpa menggunakan penguat. Jarak maksimum tanpa penguat untuk BER 10-10 adalah 491.90 km, sedangkan untuk BER 10-12 adalah 490.23 km. Semakin besar BER maka SNR semakin besar, akan tetapi jarak transmisi akan semakin pendek.

TERIMA KASIH