

ANALISIS PERHITUNGAN RUGI-RUGI PADA SERAT OPTIK

Oktavianto Utomo Siswanto (L2F303466)
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia
Email : Oqscor@yahoo.com

Abstrak

Serat optik merupakan media transmisi yang banyak digunakan untuk jaringan lokal. Pada serat optik untuk media transmisi terdapat berbagai macam rugi-rugi, diantaranya : Rugi-rugi penyebaran Rayleigh, Rugi-rugi penggantian, rugi-rugi penyambungan, rugi-rugi pembengkokan dan rugi-rugi redaman pada konektor.

Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian tentang rugi-rugi serat optik menggunakan alat OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Adapun yang diamati satu tipe serat optis single mode dan dua sumber cahaya yang panjang gelombang berbeda. Hasil yang diperoleh dari OTDR berupa tampilan grafis nilai rugi-rugi terhadap jarak kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan (berdasarkan teori).

Secara keseluruhan berdasarkan hasil analisis rugi-rugi serat optik baik dari hasil percobaan penyebaran rayleigh, penggantian, pembengkokan dan redaman pada konektor tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan. Hal ini disebabkan adanya factor-faktor yang mempengaruhi rugi-rugi serat optik seperti kondisi kabel yang tidak layak dipakai, perbedaan serat yang disambung, ketidakseimbangan diameter inti dan luas permukaan serat pada pemancar. Analisis rugi-rugi serat optik dapat memperkirakan kemungkinan rugi-rugi yang terjadi pada serat optik.

Kata kunci : OTDR, Rayleigh, serat optik.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin padatnya terowongan-terowongan (*sub duct*) kabel saat ini untuk mengurangi kemacetan membutuhkan kabel-kabel yang lebih kecil yaitu dengan menggunakan fiber optik.

Teknologi fiber optik merupakan suatu jaringan konstruksi media yang menyediakan bandwidth besar yang tidak dipengaruhi interferensi gelombang elektromagnetik, bebas korosi dan rugi-rugi minimal untuk transportasi data.

Pengembangan teknologi tersebut banyak digunakan untuk menyampaikan layanan multimedia, salah satu contohnya pada televisi.

Fiber optik digunakan juga untuk jaringan transmisi yang menghubungkan sentral lokal ke arah terminal pelanggan yang disebut dengan Jaringan Lokal Akses Fiber (JARLOKAF).

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa besarnya rugi-rugi dan dispersi yang terjadi pada saluran serat optik berdasarkan perhitungan dan pengamatan.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam tugas akhir sebagai berikut:

1. Analisa hanya pada sistem penyambungan serat optik pada mode tunggal (*single mode*).
2. Pembahasan lebih menitikberatkan pada perhitungan rugi-rugi dan dispersi yaitu: Rugi-rugi Penyebaran Rayleigh, Penyerapan, Penggantian Ragam (*Mode Coupling Losses*), Pembengkokan (*Bending Loss*), dan Redaman pada konektor.

3. Penelitian dilakukan di PT Telkom Divisi Regional IV Semarang dan PT. Telkom Divisi Riset Teknologi Informasi Bandung.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik

Serat optik memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan media transmisi kawat konvensional. Keunggulan tersebut antara lain adalah:

- Rugi transmisi rendah
- *Bandwidth* lebar
- Ukuran kecil dan ringan
- Tahan gangguan elektromagnetik dan elektrik

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

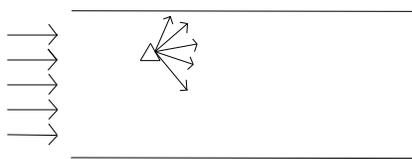
2.2 Rugi-Rugi dan Dispersi di Dalam Fiber

2.2.1 Rugi-Rugi di Dalam Fiber

1. Rugi-Rugi Penyebaran Rayleigh

Penyebaran Rayleigh terjadi sebagai akibat tidak homogenya indeks bias pada core serat optik. Bilamana

pada core serat optik terjadi perubahan indeks bias yang lebih pendek daripada panjang gelombang sinar yang dirambatkan, maka akan terjadi hamburan.



Gambar 1. Penyebaran Rayleigh

Rumus yang digunakan untuk rugi-rugi penyebaran *rayleigh*, sebagai berikut:

$$\propto S = \frac{34.748\pi^3(n^2 - 1)^2 k_B T_f \beta_T}{\lambda^4} \quad \dots (1)$$

dengan: $\propto S$ = Rugi-rugi *Rayleigh* (dB)

β_T = Koefisien kemampatan isothermis bahan
= $7.10^{-11} \text{m}^2/\text{N}$

n = Indeks bias inti = 1.46

k_B = konstanta Boltzman = 1.38×10^{-23}
Joule/ $^{\circ}\text{K}$

T_f = suhu dimana fluktuasi kerapatan melebur dalam glass = 1400K

λ = panjang gelombang (m)

T_f = temperatur ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{K}$)

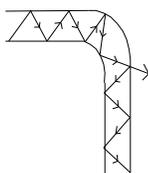
β_T = isothermal compressibility (m^2/N)

2. Rugi-rugi Pembengkokan (*Bending Losses*)

Ada dua jenis pembengkokan yang menyebabkan rugi-rugi dalam fiber, yaitu pembengkokan-mikro (*microbending*) dan pembengkokan-makro (*macrobending*). Keduanya timbul karena alasan yang berbeda, dan menimbulkan rugi-rugi dengan dua macam mekanisme yang berbeda pula.

Pembengkokan mikro adalah suatu pembengkokan mikroskopis dari inti fiber yang disebabkan oleh laju penyusutan (*contraction*) thermal yang sedikit berbeda antara bahan inti dan bahan pelapis. Pembengkokan mikro dapat juga timbul bila fiber berulang kali digulung menjadi suatu kabel fiber majemuk (*multifiber cable*), atau bila digulung pada kelos-kelos untuk memudahkan pengangkutannya. Makin tajam belokan itu dibuat, makin banyak pula ragam-ragam yang terlepas pada belokan. Pembengkokan makro adalah pelengkungan fiber optik. Rugi-rugi pembengkokan sebagai berikut:

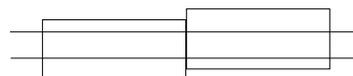
Loss Pembengkokan = Loss pada kabel tidak dibengkokkan – Loss pada kabel dibengkokkan $\dots(2)$



Gambar 2. Pembengkokkan (*Bending*)

3. Rugi-rugi Penggandengan Ragam (*Mode Coupling Losses*)

Daya yang sudah dilepaskan dengan baik ke dalam suatu ragam yang merambat mungkin kemudian digandengkan ke dalam suatu ragam bocor atau ragam radiasi pada sebuah titik yang agak jauh pada fiber. Efek penggandengan ini dapat terjadi karena rugi-rugi ini timbul pada saat serat optik dikopel/disambungkan dengan sumber cahaya atau photo detector. Rugi-rugi coupling dapat diperkecil dengan penambahan lensa di depan sumber cahaya atau pembentukan permukaan tertentu (misalnya *spherical-surface*) pada sumber cahaya atau ujung fiber.



Gambar 3. Penggandengan ragam (*Mode Coupling*)

Rugi-rugi (*Loss*) penggandengan ragam secara umum sebagai berikut:

$$\mu = P_{in} / P_{out} \quad \dots(3)$$

maka

$$L = -10 \log \mu \quad \dots(4)$$

dengan : P_{in} = Daya yang dimasukkan ke dalam serat optik (Watt)

P_{out} = Daya yang dipancarkan oleh sumber cahaya (Watt)

μ = Efisiensi penyambungan

atau

$$L = -10 \log \eta \quad \dots(5)$$

dengan

$$\eta = \frac{2}{\pi} \left[\cos^{-1} \frac{d}{2a} - \frac{d}{2a} \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2a} \right)^2} \right] \quad \dots(6)$$

dengan : L = Rugi-rugi (dB)

d = lebar antara sambungan (μm)

a = lebar kabel fiber (cm)

η = efisiensi

4. Rugi-rugi Penyambungan

Rugi-rugi penyambungan dengan *fusion splice*. Rugi-rugi ini ditimbulkan sebagai akibat tidak sempurnanya kegiatan penyambungan (*splice*) sehingga sinar dari serat optik yang satu tidak dapat dirambatkan seluruhnya ke dalam serat yang lainnya.

Beberapa kesalahan penyambungan yang menimbulkan rugi-rugi:

- Sambungan kedua serat optik membentuk sudut
- Sumbu kedua serat optik tidak sejajar
- Sumbu kedua serat optik berimpit namun masih ada celah diantaranya

- Ada perbedaan ukuran antara kedua serat optik yang disambung

5. Penyerapan Bahan

Tiga mekanisme yang berbeda memberikan sumbangannya pada rugi-rugi penyerapan (*absorption losses*) dalam fiber gelas. Ini adalah berturut-turut penyerapan ultraviolet, penyerapan infra merah, dan penyerapan resonansi ion.

2.2.2 Dispersi

Ada tiga macam dispersi pada fiber, yang disebabkan oleh tiga mekanisme, yaitu:

1. Dispersi Antar Ragam

Timbulnya dispersi antar ragam karena alur total yang ditempuh oleh suatu sinar pada setiap ragam adalah zigzag, dan mempunyai panjang total yang berbeda dari setiap sinar-sinar ragam yang lain.

2. Dispersi Bahan

Sebagai akibat dari dispersi bahan, bila pulsa cahaya yang dipancarkan mengandung komponen-komponen dengan beberapa panjang gelombang yang berbeda yang terpusat pada suatu panjang gelombang tengah.

3. Dispersi Waveguide

Jika fiber dapat dioperasikan sedemikian sehingga dispersi antar-ragam dan bahan keduanya dihilangkan, maka mekanisme dispersi yang ketiga akan menjadi penting, hal ini mencegah tercapainya keadaan tanpa-dispersi total, kecuali untuk kasus cahaya monokromatis yang ideal.

2.3 Atenuasi

Cahaya yang merambat dalam serat optik intensitasnya akan berkurang, pengurangan intensitas ini disebut atenuasi. Atenuasi disebabkan oleh penyerapan cahaya oleh bahan material serat optik serta penghamburan cahaya. Besarnya atenuasi tergantung jarak yang ditempuh dan karakteristik bahan serat optik.

2.5 Sumber Cahaya Untuk Fiber Optik

Sumber cahaya untuk optik fiber adalah LED. LED merupakan alat yang memancarkan cahaya pada frekuensi-frekuensi tertentu, karena dalam operasinya, elektron-elektron yang dipicu (*excited*) yang bebas untuk menghantarkan berkombinasi kembali (*recombine*) dengan lubang-lubang (*holes*) dan masing-masing melepaskan sebuah foton cahaya dalam proses tertentu. Foton cahaya ini adalah hasil dari konversi energi potensial elektron, ketika elektron tersebut terjebak oleh atom yang mengandung lubang.

Spektrum cahaya dinyatakan dalam panjang gelombang dan bukannya frekuensi, tetapi keduanya dihubungkan oleh persamaan

$$f = \frac{c}{\lambda_o} \quad \dots(7)$$

dimana,

- f = Frekuensi (Hz)
- c = Kecepatan Cahaya = 3×10^8 m s⁻¹
- λ = Panjang Gelombang (m)

2.5 Konektor

Konektor fiber digunakan untuk menyambungkan dua ujung fiber optik, yang digunakan pada titik-titik di mana fiber berakhir pada pemancar dan penerima.

Karena sebuah fiber harus selalu berakhir pada sebuah pemancar di salah satu ujungnya dan pada sebuah penerima di ujung yang lain sehingga terdapat rugi pada konektor. Faktor yang mempengaruhi rugi dalam konektor pada suatu panjang kabel, yaitu:

- Ketidaksesuaian ukuran inti
- Kesalahan letak inti melintang
- Pemisahan celah memanjang
- Rugi-rugi celah optis
- Kesalahan letak sudut
- Persiapan ujung fiber yang tidak sempurna
- Kotoran

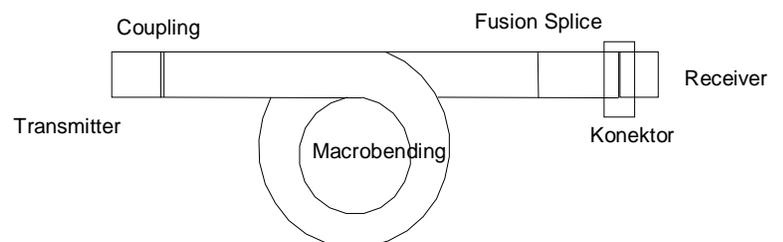
Redaman dari konektor fiber optik didefinisikan sebagai berikut

$$A = -10 \log [P_{out}/P_{in}] \quad \dots(8)$$

- Dimana:
- A = Atenuasi (dB)
 - P_{in} = daya optik sebelum titik koneksi (Watt)
 - P_{out} = daya optik setelah titik koneksi (Watt)

III. Perancangan

Pada saluran transmisi serat optik, setiap serat pada salah satu ujungnya harus berakhir pada pemancar sedangkan satu ujung yang lainnya pada penerima. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka setiap peralatan pemancar atau penerima dapat dilengkapi dengan serat ekor babi (*pig tail*) yang terpasang secara permanen dengan rugi-rugi yang timbul dibuat seminimal mungkin, atau diakhiri dengan konektor-konektor yang dapat dibongkar pasang sehingga pemancar dan penerima dapat dilepas dengan mudah untuk keperluan perawatan.



Gambar 4. Serat optik sebagai media transmisi

3.2. Prinsip Kerja Pengamatan

Pengamatan ini menggunakan berbagai macam metode dan peralatan, antara lain metode penyebaran rayleigh, penggandengan, penyambungan, dan pembengkokan. Sedangkan peralatan yang digunakan antara lain OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*), Fusion Splice, Konektor.

Untuk sumber pemancar menggunakan OTDR dimana alat ini sebagai pengganti LASER. Untuk penggandengan menggunakan konektor, karena sifatnya tidak permanen sehingga dapat dibuka dan ditutup secara berulang kali.

Secara umum dapat dibedakan prosedur kedua teknik penyambungan sebagai berikut:

3.2.1. Mechanical Splicing

Mechanical splicer adalah sebuah perangkat yang secara mekanik menahan dan meluruskan dua buah serat optik yang sudah terkelupas dan menyatukannya kedua serat optik tersebut. Kegunaan teknik splicing secara mekanik adalah untuk perbaikan yang sifatnya darurat dari kabel serat optik yang mengalami kerusakan atau untuk keperluan pengetesan kabel pada proses instalasi.

3.3. OTDR

Pada instalasi kabel serat optik, OTDR dipakai untuk menyakinkan bahwa sambungan maupun konektor mempunyai redaman yang sesuai dengan yang diisyaratkan dalam spesifikasi, memeriksa kondisi kabel serat optik setelah dilaksanakan instalasi sehingga dapat diketahui apakah terdapat keretakan atau pelengkungan serat optik yang jari-jari kelengkungannya di luar persyaratan, dan untuk meyakinkan bahwa redaman serat optik dari pemancar ke penerima tidak melebihi yang diisyaratkan dalam spesifikasi perencanaan atau ketentuan yang ada. Prinsip kerja OTDR berdasarkan atas prinsip hamburan balik dari sinyal yang menjalar dalam serat optik. Hamburan balik ini disebabkan oleh dua hal yang mendominasi yaitu:

3.3.1. Hamburan Rayleigh

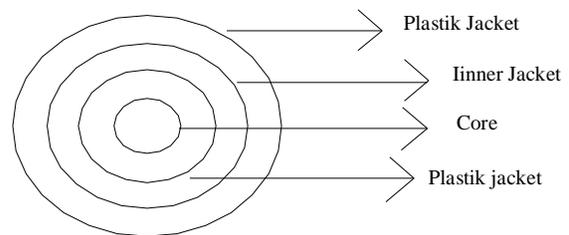
Dalam pembuatan serat optik, sering kali terjadi ketidaksempurnaan pada bahan, seperti tidak homogenya indeks bias, tidak sempurnanya atom pembentuk, dan terbawanya atom-atom lain dalam serat optik. Ketidakhomogenan indeks bias dalam serat optik akan menimbulkan hamburan sinar (berpencarnya sinar) yang dinamakan dengan hamburan Rayleigh. Hal ini menyebabkan adanya sinyal pantulan/balikan yang kontinu dari setiap titik sepanjang fiber ke OTDR.

3.3.2. Pantulan Fresnel

Pantulan Fresnel pada optik terjadi apabila sinar melewati dua media yang mempunyai indeks bias yang berbeda, misalnya antara kaca dan udara. Pada serat optik, perbedaan indeks bias ini sering terjadi akibat ketidaksempurnaan penyambungan, misalnya masih terdapat celah antara dua serat optik yang disambungkan itu. Biasanya di antara kedua celah tersebut berisi udara. Akibatnya terdapat dua media yang mempunyai indeks bias yang berbeda, sehingga apabila ada sinyal yang melewati media ini terjadilah *pantulan fresnel*. Selain terjadi pada penyambungan, pantulan fresnel juga bias terjadi pada ujung fiber yang terbuka ataupun konektor.

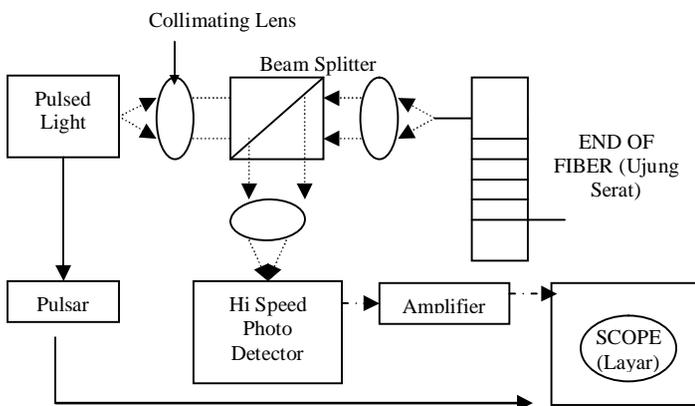
3.4. Struktur Kabel

Struktur serat optik yang digunakan dalam penelitian terdiri dari serat inti serat, pelapis serat (*cladding*), dan lapisan pelindung (*coating*) yang terdiri atas inner jacket dan plastik jacket seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Struktur serat optik

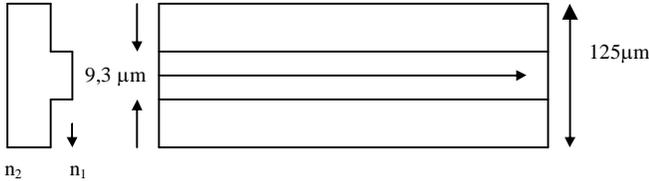
1. Inti serat
 - a. Terbuat dari bahan silica dengan indeks bias $n = 1,48$
 - b. Mempunyai diameter sebesar $9,3 \mu\text{m}$
2. Pelapis serat
 - a. Terbuat dari bahan silica dengan indeks bias $n = 1,46$
 - b. Mempunyai diameter sebesar $125 \mu\text{m}$
3. Lapisan pelindung
 - a. Terdiri dari inner jacket dan plastik jacket
 - b. Terbuat dari bahan plastik/PVC
 - c. Berfungsi untuk melindungi serat optik dari kerusakan



Gambar 5. Konfigurasi dasar pada OTDR

3.4.1. Jenis Kabel

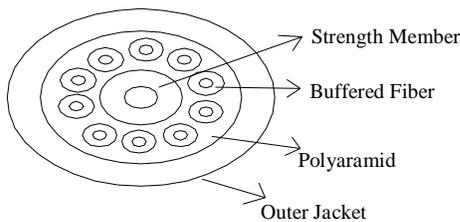
Jenis serat optik yang digunakan untuk saluran transmisi dalam penelitian adalah jenis optik *step index singlemode*. Mempunyai ukuran diameter inti serat sebesar $9,3 \mu\text{m}$ dan diameter pelapis serat sebesar $125 \mu\text{m}$.



Gambar 7. Jenis serat optik

3.4.2. Tipe Kabel

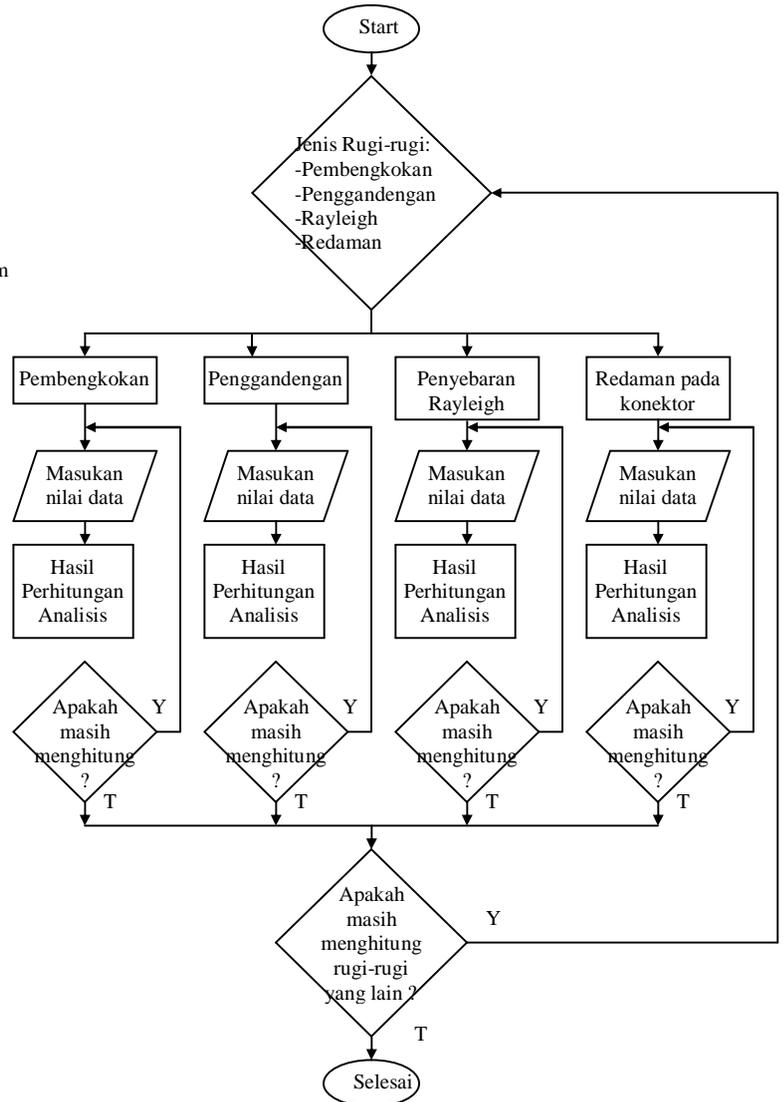
Tipe kabel yang digunakan kabel serat optik *indoor* merupakan kabel serat optik yang ditempatkan didalam ruangan. Tipe kabel ini untuk aplikasi *indoor* umumnya menggunakan konstruksi *tight buffered* yang diperkuat dengan *polyaramid* serta bahan *PVC jacket* yang khusus sehingga menghasilkan kabel dengan ketahanan terhadap benturan dan tarikan sekaligus aman dari bahaya kebakaran.



Gambar 8. Tipe kabel indoor

3.5. Diagram Alir

Alur diagram ini digunakan untuk mengetahui hasil penelitian dan pengamatan dengan parameter yang ada.



Gambar 9. Diagram Alir Analisa Perhitungan Rugi-rugi

3.6. Pengukuran dengan OTDR

Saluran transmisi serat optik umumnya terjadi suatu rugi-rugi yaitu rugi-rugi yang disebabkan oleh sambungan serat, kelengkungan, cacat/retak, konektor, penyusutan serat (*fiber attenuation*), dan gerbang optik pada ujung serat, dimana penunjukan OTDR terhadap rugi-rugi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan, sebagai berikut:

3.6.1. Sambungan Serat (*Fiber Splicing*)

Teknologi penyambungan serat yang dipakai yaitu menggunakan teknologi fusion splicing dan nama alat penyambungannya adalah fusion splicer, dimana dalam proses penyambungannya alat tersebut bekerja secara otomatis.

Penyambungan serat optik pada saat penelitian adalah sebagai berikut:

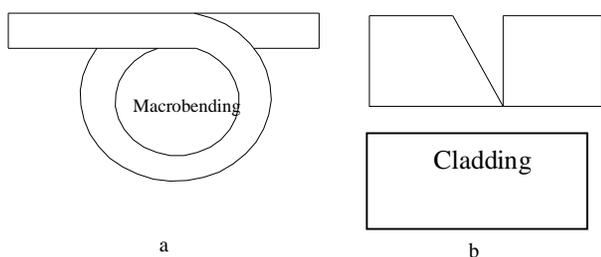
- a. Mengupas Coating

Pengupasan dilakukan dengan menggunakan *fiber stripper*.

- b. Membersihkan serat
Setelah lapisan pelindung terkelupas, maka langkah selanjutnya adalah dengan membersihkan serat.
- c. Memotong serat
Setelah lapisan coating terkelupas dan serat telah dibersihkan, langkah selanjutnya adalah memotong serat optik dengan menggunakan fiber *cleaver*.
- d. Pengecekan hasil pemotongan serat
Setelah serat telah dipotong, kemudian hasil pemotongan tersebut dicek dengan *fusion splicer*, pengecekan juga diperhatikan pada hasil pembersihan. Apabila hasil pemotongan atau pembersihan tidak baik maka serat diambil untuk diulang pengupasan, pembersihan dan pemotongan.
- e. Penyambung serat
Setelah pemotongan baik dan benar-benar bersih, maka langkah selanjutnya adalah melakukan penyambungan dengan *fusion splicer*.

3.6.2. Kelengkungan Serat

Tidak diperbolehkan terjadinya kelengkungan serat radius konstan (macro bending), karena dapat membuat suatu rugi-rugi yang besar sehingga mengakibatkan sinyal informasi tidak sampai ke penerima. Hal ini disebabkan karena serat optik tersebut akan terpantul kembali, ke sumber akibat terjadi patah pada serat optik.



Gambar 10. Bentuk kelengkungan (a) dan kerusakan saat kelengkungan (b)

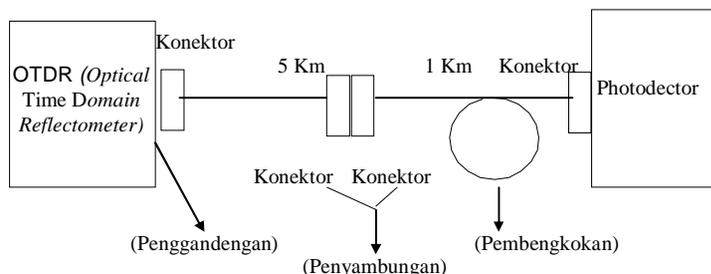
Kelengkungan serat disebabkan oleh kelengkungan mikro saluran transmisi serat optik, kelengkungan serat optik < 3 cm.

3.6.3. Konektor

Untuk menghubungkan antara serat optik dengan pemancar maupun penerima diperlukan suatu alat yang disebut dengan konektor. Konektor diperlukan apabila sewaktu-waktu serat akan dilepas saat diperlukan suatu penggantian pemancar atau penerima maupun untuk melakukan suatu kegiatan perawatan maupun pengukuran. Konektor yang dipakai yaitu dengan menggunakan ST Konektor. Konektor pada saluran transmisi serat optik akan menyebabkan adanya rugi-rugi saluran.

4. HASIL ANALISIS DATA

Analisa perhitungan rugi-rugi fiber optik berdasarkan nilai data yang diperoleh dari hasil penelitian di PT. TELEKOMUNIKASI INDONESIA, DIVISI RISET TEKNOLOGI INFORMASI. Adapun hasil yang diperoleh berupa data pengukuran, referensi data dari pustaka dan perhitungan.

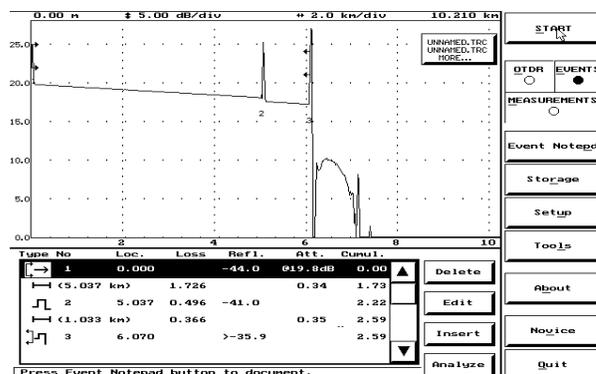


Gambar 11. Model Jaringan Optik

Secara umum, redaman pada fiber optik dapat dibedakan menjadi dua yaitu redaman karena bahan fiber itu sendiri dan redaman sebagai akibat digunakannya fiber optik sebagai media transmisi. Perbandingan daya yang digunakan dalam sistem transmisi serat optik didapat dengan menerapkan fungsi logaritma antara jumlah daya optik yang dikirimkan oleh sumber cahaya dan jumlah daya optik yang diterima oleh detektor.

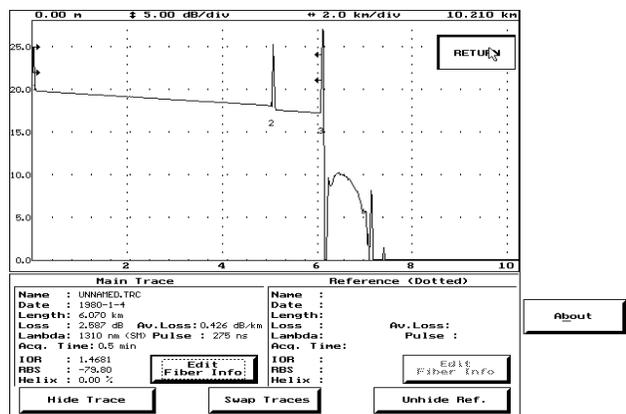
4.1. Hasil Display Tampilan OTDR

Pada OTDR yang harus diperhatikan dalam pembacaan grafis, yaitu panjang gelombang, jarak dan waktu. Dalam hal ini, panjang gelombang yang digunakan sebesar 1310 nm untuk komunikasi optik. Panjang kabel serat optik pada pengukuran yang dipakai adalah 6 Km dan di OTDR jaraknya diset 10 Km sehingga didapatkan hasil data yang lebih teliti dibandingkan jika jaraknya diset lebih dari 10 Km akan menghasilkan data yang kurang teliti. Waktu yang diset pada OTDR selama 30 detik berfungsi untuk membaca hasil pantulan sinar dari awal sampai akhir kabel serat optik, dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Hasil display tampilan OTDR berdasarkan titik rugi-rugi pada saluran transmisi

Pada gambar 12 merupakan hasil display tampilan OTDR yang terdiri dari penyebaran *rayleigh* (tipe gambar ) , panjang kabel serat optik (tipe gambar ) , titik sambungan (tipe gambar ) dan ujung kabel serat (tipe gambar ) . Berdasarkan data yang diperoleh dari penyebaran *rayleigh* (tipe gambar ) yaitu panjang gelombang 1310 nm didapatkan hasil pantulan refleksi sebesar -44dB. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar panjang gelombang maka semakin kecil refleksinya karena terjadi kebocoran dicore. Pada panjang kabel serat optik (tipe gambar ) yang berjarak 5.037 Km terdapat rugi-rugi sebesar 1.726 dB sedangkan pada panjang kabel serat optik (tipe gambar ) yang berjarak 1.033 Km terdapat rugi-rugi sebesar 0.366 maka dapat disimpulkan bahwa semakin panjang kabel serat optik semakin kecil rugi-rugi. Pada kabel serat optik yang berjarak 5.037 Km lebar pulsa terjadi penurunan daya terhadap jarak disebabkan adanya atenuasi sebesar 034 dB dan kabel serat optik berjarak 1.033 Km lebar pulsa terjadi penurunan daya terhadap jarak disebabkan adanya atenuasi sebesar 0.35 dB karena atenuasi tersebut nilai standar dari kulitas kabel tersebut. Untuk titik sambungan (tipe gambar ) berdasarkan data di Telkom nilai rugi-ruginya sebesar 0.5 dB sedangkan di OTDR nilai rugi-ruginya sebesar 0.496 dB ini disebabkan karena sambungan yang dibentuk dengan kurang sempurna, penurunan dayanya disebabkan adanya pantulan *fresnel* dimana daya masukan akan terpantul kembali menimbulkan lonjakan sesaat. Pada ujung kabel serat ptik (tipe gambar ) didapatkn nilai refleksi sebesar >-35.9 dB, karena cahaya telah menjalani 2 kali panjang lintasan yang menyebabkan penurunan daya yang lebih jauh dari seharusnya. Pantulan *fresnel* pada ujung fiber terbuka sehingga menyebabkan terjadinya grafis yang tidak beraturan seperti yang ditunjukkan pada gambar 12. Setelah mendapatkan hasil rugi-rugi dan refleksi dilakukan pengukuran dengan menekan tombol mesurement didapatkan hasil rugi-rugi total sebesar 2.587 dB dan konstanta atenuasi (*Av Loss*) sebesar 0426 dB/Km dengan jarak 6.070 Km dapat dilihat pada gambar 13.



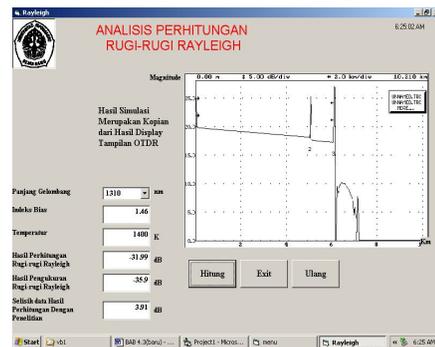
Gambar 13. Hasil display tampilan OTDR dengan bagan info fiber

4.2. Program Simulasi Analisis Rugi-rugi Fiber Optik

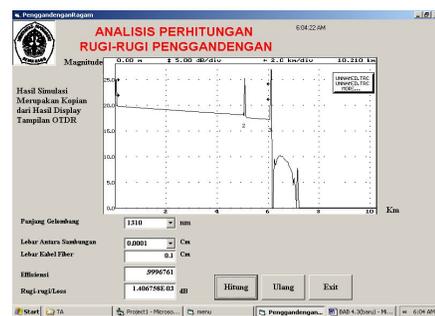
Untuk memperlancar proses perhitungan dalam analisis rugi-rugi fiber optik, dibuat suatu program simulasi sederhana dengan menggunakan *software* pemrograman *Visual Basic versi 6 (VB.6)*. Dalam simulasi ini terdiri dari 5 bentuk (*forms*), yaitu: menu jenis rugi-rugi, menu rugi-rugi rayleigh, menu rugi-rugi penggandengan, menu rugi-rugi pembengkokan dan menu rugi-rugi redaman konektor.



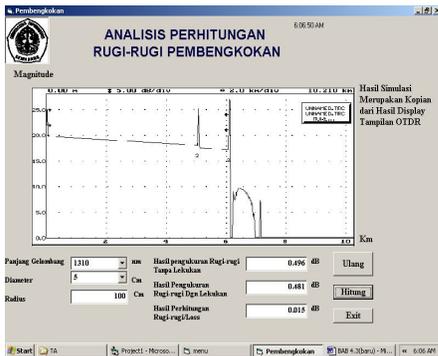
Gambar 14. Tampilan menu analisis rugi-rugi fiber optik



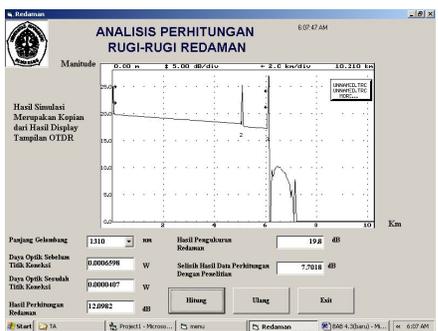
Gambar 15. Hasil analisis rugi-rugi penyebaran rayleigh



Gambar 16. Hasil analisis rugi-rugi penggandengan



Gambar 17. Hasil analisis rugi-rugi pembengkokan



Gambar 18. Hasil analisis rugi-rugi redaman pada konektor

Dari hasil tampilan menu tersebut diatas, didapatkan hasil data berdasarkan hasil penelitian yang dilakukuan di PT. Telkom Divisi Risti Teknologi Informasi.

4.3. Perhitungan Rugi-rugi Penghamburan Rayleigh

Untuk perhitungan rugi-rugi penghamburan *rayleigh* menggunakan rumus yang terdapat pada teori sehingga dapat membandingkan hasil dari perhitungan dan pengukuran rugi-rugi. Dengan menggunakan persamaan (1) perhitungan rugi-rugi penghamburan *rayleigh* dapat dilakukan berdasarkan data dari referensi PT. Telkom, lihat pada tabel 1. sebagai berikut.

Tabel 1. Nilai perhitungan rugi-rugi penyebaran rayleigh

π	λ	n	k_B	T_f	β_1	$\propto S$
3.14	1310 nm	1.4681	1.38×10^{-23}	1400K	$7.10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$	-31.99 dB
3.14	1550 nm	1.4681	1.38×10^{-23}	1400K	$7.10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$	-34.91 dB

Dari hasil perhitungan rugi-rugi penyebaran *rayleigh* diperoleh perbandingan antara data perhitungan dengan data pengukuran rugi-rugi yang dapat dilihat pada tabel 2. sebagai berikut.

Table 2. Hasil perbandingan antara data perhitungan dengan data penelitian pada rugi-rugi penyebaran *rayleigh*

Data hasil perhitungan	Data hasil Pengukuran	Selisih data hasil perhitungan dengan pengukuran
-31.99 dB	-35.9 dB	3.91 dB
-34.91 dB	-37 dB	2.09dB

Pada analisis penyebaran *rayleigh* didapatkan nilai rugi-rugi yang berbeda antara perhitungan berdasarkan teori dengan hasil pengukuran rugi-rugi menggunakan OTDR. Dengan sumber panjang gelombang sebesar 1310 nm nilai hasil perhitungan rugi-rugi berdasarkan teori sebesar -31.8 dB sedangkan hasil pengukuran menggunakan OTDR sebesar -35.9 dB sehingga didapatkan nilai selisih sebesar 4.1 dB. Hal ini disebabkan karena pada waktu penyebaran, banyaknya sinar yang keluar dari kabel fiber optik kondisinya sudah tidak layak dipakai. Selain itu juga perhitungan yang dilakukan pada pengukuran tidak sama dengan teori.

4.4. Perhitungan Rugi-rugi Penggandengan

Dalam hal ini perhitungan rugi-rugi penggandengan berdasarkan teori menggunakan nilai data yang diperoleh dari PT. Telkom. Pada pengukuran rugi-rugi penggandengan menggunakan konektor dan perhitungannya menggunakan persamaan (5) dan (6). Dari persamaan tersebut maka dapat dilihat nilai rugi-rugi pergandengan pada tabel 3 , sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai Rugi-rugi Penggandengan

lebar antara sambungan (d)	lebar kabel fiber (a)	effisiensi (η)	Rugi-rugi Penggandengan (L)
1 μm	0.2 cm	0.999676	0.001406 dB
2 μm	0.2 cm	0.999352	0.002813 dB
3 μm	0.2 cm	0.999028	0.004221 dB
4 μm	0.2 cm	0.998704	0.005629 dB
5 μm	0.2 cm	0.998380	0.007038 dB

Pada analisis hasil rugi-rugi teknik penggandengan berlandaskan teori sedangkan untuk pengukurannya ditetapkan sebesar 0.5 dB/buah. Sehingga dapat dilihat bahwa perbandingan selisih antara perhitungan dengan pengukuran rugi-rugi sangat jauh. Hal ini disebabkan tidak optimalnya konektor yang dipakai, rugi-rugi intrinsik yang timbul dari perbedaan serat yang disambung termasuk dari variasi dalam inti serat dan diameter sebelah luar, serta perbedaan profil yaitu kelonjongan.

4.5. Perhitungan Rugi-rugi Penyambungan

Dalam penelitian di Telkom, nilai dari rugi-rugi penyambungan berdasarkan pengukuran kabel serat optik 4.

Tabel 4. Nilai Rugi-rugi Penyambungan

No. Serat	Panjang Gelombang (λ)	Lokasi (Km)	Redaman sambungan (dB)	
			Fusion Splicer	OTDR
1	1310 nm	6	0.00	0.481
2	1550 nm	6	0.00	0.414

Pada analisis teknik penyambungan yang lama dengan menggunakan *fusion splicer* dan OTDR didapatkan hasil pengukuran rugi-rugi yang berbeda, dimana pada *fusion splicer* rugi-ruginya sebesar 0.000 dB dan pada OTDR antara 0.481 dB dan 0.414dB. Hal ini disebabkan karena pada waktu proses penyambungan pelurusan serat optik dilakukan dengan statistik, yaitu

pelurusan serat optik dengan cara pelurusan inti dan selubung. Dalam pelurusan serat optik disamping kelurusan inti, kelurusan selubung juga diperhitungkan sehingga kelurusan inti serat tidak optimal.

4.6. Perhitungan Rugi-rugi Pembengkokan

Dalam hal ini nilai rugi-rugi pembengkokan berdasarkan teori menggunakan nilai data yang diperoleh di PT. Telkom dimana perhitungan rugi-rugi difokuskan pada lekukan dengan menggunakan persamaan (2) serta panjang gelombang (λ) sebesar 1310 nm yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 5. sebagai berikut

Tabel 5. Nilai Rugi-rugi Pembengkokan dengan panjang gelombang 1310 nm

Panjang Gelombang (λ)	Diameter Lekukan	Rugi-rugi tanpa lekukan	Rugi-rugi dengan lekukan	Rugi-rugi
1310 nm	5 cm	0.496 dB	0.481 dB	0.015 dB
1310 nm	7 cm	0.494 dB	0.481 dB	0.013 dB
1310 nm	10 cm	0.488 dB	0.481 dB	0.007 dB
1310 nm	12 cm	0.491 dB	0.481 dB	0.01 dB
1310 nm	15 cm	0.494 dB	0.481 dB	0.013 dB

Pada analisis teknik pembengkokan, nilai rugi-ruginya dapat dilihat dari data perbandingan hasil pengukuran pada saat penggandengan dan penyambungan kabel sebelum dan sesudah ada lekukan. Salah satu contohnya lekukan sebesar 3 cm dengan sumber panjang gelombang sebesar 1310 nm didapatkan nilai rugi-rugi dititik penyambungan tanpa lekukan sebesar 0.481 dB sedangkan rugi-rugi dititik penyambungan dengan lekukan sebesar 0.496 dB. Hasil penyambungan tanpa lekukan dikurangi hasil penyambungan dengan lekukan sehingga didapatkan nilai sebesar 0.015 dB. Untuk nilai rugi-rugi dititik penyambungan tanpa lekukan dan dengan lekukan dapat dilihat pada lampiran laporan tugas akhir.

Untuk perhitungan rugi-rugi pembengkokan dengan panjang gelombang (λ) = 1550 nm dapat dihitung dengan persamaan (2), maka hasil dapat dilihat pada tabel 6. sebagai berikut:

Tabel 6. Nilai Rugi-rugi Pembengkokan dengan panjang gelombang 1550 nm

Panjang Gelombang (λ)	Diameter Lekukan	Rugi-rugi tanpa lekukan	Rugi-rugi dengan lekukan	Rugi-rugi
1550 nm	5 cm	0.414 dB	0.414 dB	0 dB
1550 nm	7 cm	0.414 dB	0.414 dB	0 dB
1550 nm	10 cm	0.425 dB	0.414 dB	0.011 dB
1550 nm	12 cm	0.427 dB	0.414 dB	0.013 dB
1550 nm	15 cm	0.413 dB	0.414 dB	-0.001 dB

Pada analisis teknik pembengkokan, nilai rugi-ruginya dapat dilihat dari data perbandingan hasil pengukuran pada saat penggandengan dan penyambungan kabel sebelum dan sesudah ada lekukan. Salah satu contohnya lekukan sebesar 3 cm dengan sumber panjang gelombang sebesar 1550 nm didapatkan nilai rugi-rugi dititik penyambungan tanpa lekukan

sebesar 0.414 dB sedangkan rugi-rugi dititik penyambungan dengan lekukan sebesar 0.414 dB. Hasil penyambungan tanpa lekukan dikurangi hasil penyambungan dengan lekukan sehingga didapatkan nilai sebesar 0 dB. Untuk nilai rugi-rugi dititik penyambungan tanpa lekukan dan dengan lekukan dapat dilihat pada lampiran laporan tugas akhir.

4.7. Perhitungan Rugi-rugi redaman pada konektor

Dalam hal ini perhitungan rugi-rugi redaman pada konektor berdasarkan teori menggunakan nilai data yang diperoleh dari PT. Telkom dan menggunakan persamaan (8). Setelah dihitung didapatkan nilai data rugi-rugi redaman pada konektor, lihat pada tabel 7. sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil perhitungan rugi-rugi redaman

Panjang Gelombang (λ)	daya optik sebelum titik koneksi (P_{in})	daya optik sesudah titik koneksi (P_{out})	Atenuasi
1310 nm	$6.598.10^{-4}$ W	$4.07.10^{-5}$ W	12.098 dB
1550 nm	$3.36.10^{-4}$ W	$9.12.10^{-5}$ W	5.66 dB

Dari hasil data perhitungan diatas maka didapat hasil perbandingan antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran yang dapat dilihat pada tabel 8. sebagai berikut

Tabel 8. Hasil perbandingan antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran

Panjang Gelombang	Hasil Data Perhitungan	Hasil Data Pengukuran	Selisih Hasil Data Perhitungan dengan Pengukuran
1310 nm	12.098 dB	19.8 dB	7.702
1550 nm	5.66 dB	18.2 dB	12.54

Analisis rugi-rugi redaman pada konektor menghasilkan nilai rugi-rugi yang berbeda antara perhitungan berdasarkan teori dengan hasil pengukuran rugi-rugi menggunakan OTDR. Hal ini dapat dilihat dari salah satu contoh yaitu sumber panjang gelombang sebesar 1310 nm, daya optik sebelum titik koneksi (P_{in}) yang didapat dari perhitungan sebesar $6.598.10^{-4}$ W, daya optik sesudah koneksi (P_{out}) yang didapat dari perhitungan sebesar $4.07.10^{-5}$ W maka didapat hasil atenuasi sebesar 12.098 dB sedangkan hasil pengukuran dengan OTDR didapat sebesar 19.8 dB sehingga mendapatkan nilai selisih antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran menggunakan OTDR sebesar 7.702 dB. Begitu juga dengan sumber panjang gelombang sebesar 1550 nm, daya optik sebelum titik koneksi (P_0) yang didapat dari perhitungan sebesar $3.36.10^{-4}$ W, daya optik sesudah koneksi (P_1) yang didapat dari perhitungan sebesar $9.12.10^{-5}$ W maka didapat hasil atenuasi sebesar 5.66 dB sedangkan hasil pengukuran dengan OTDR didapat sebesar 18.2 dB sehingga mendapatkan nilai selisih antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran menggunakan OTDR sebesar 12.54 dB. Perbedaan hasil nilai rugi-rugi perhitungan dengan pengukuran menggunakan OTDR disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan diameter inti

dan luas permukaan serat pada pemancar, serta rumus yang tidak sesuai untuk praktek di lapangan.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Adapun dari hasil analisis perhitungan rugi-rugi pada fiber optik, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum rugi-rugi yang terjadi pada fiber optik yaitu rugi-rugi penyebaran *rayleigh*, rugi-rugi penggandengan, rugi-rugi penyambungan dan rugi-rugi pembengkokan sedangkan rugi-rugi redaman pada konektor merupakan rugi-rugi tambahan yang terjadi di serat optik.
2. Untuk simulasi rugi-rugi pada fiber optik ditampilkan pada OTDR. Pada penurunan daya terjadi di sepanjang kabel sebelum pada titik sambungan. Pada kenaikan daya sesaat pada konektor terjadi di titik sambungan antara kabel pertama dengan kedua dan titik ujung kabel. Terjadinya penurunan yang curam disebabkan akhir dari saluran transmisi kabel serat optik.
3. Untuk analisis rugi-rugi pada fiber optik dengan melihat hasil simulasi yang ditampilkan pada alat OTDR. Pada analisis menggunakan 2 sumber panjang gelombang, yaitu: 1310 nm dan 1550 nm.
4. Untuk analisis perhitungan rugi-rugi *Rayleigh*, parameter yang digunakan yaitu: indeks bias bernilai 1.46 dan temperatur sebesar 1400 K dengan sumber panjang gelombang sebesar 1310 nm didapat hasil rugi-rugi sebesar -35.9 dB. Sedangkan untuk sumber panjang gelombang 1550 nm didapat hasil sebesar -37 dB. Hal ini terjadi pada saat penyebaran sinar banyaknya yang keluar dari kabel fiber optik yang kondisinya sudah tidak layak dipakai
5. Pada rugi-rugi penggandengan parameter yang digunakan yaitu lebar antara sambungan 1 μm dan lebar kabel 0.2 cm sehingga didapat hasil bernilai 0.001406 dB, hal ini terjadi saat tidak optimalnya konektor yang dipakai dan rugi-rugi intrinsik yang diambil dari beda serat yang tersambung.
6. Untuk rugi-rugi penyambungan dengan sumber 1310 nm nilai yang didapat 0.481 dB, hal ini terjadi saat proses hasil penyambungan yang tidak rapih.
7. Pada rugi-rugi pembengkokan parameter yang digunakan yaitu diameter lekukan 5 cm maka didapat hasil bernilai 0.015 dB dan untuk diameter lekukan 7 cm didapat hasil bernilai 0.013 dB. Sehingga semakin besar lekukan semakin kecilnya rugi-rugi pembengkokan.
8. Dan rugi-rugi redaman pada konektor disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan dari pemancar pada diameter inti dan luas permukaan serat, dimana parameter yang digunakan yaitu daya optik sebelum koneksi sebesar $6.598 \cdot 10^{-4}$ W dan daya optik sesudah koneksi sebesar $4.07 \cdot 10^{-5}$ W

dengan sumber 1310 nm maka didapat hasil perhitungan 12.098 dB sedangkan hasil pengukuran bernilai 19.8 dB.

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil nilai pengukuran fiber optik yang sesuai maka perlu diadakan pengamatan di lapangan secara kontinyu dan optimasi fiber optik yang berkelanjutan.
2. Perlu dibuat simulator tentang OTDR yang bisa menjelaskan parameter yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Coolen. John and Dennis Roddy, Electronic Communications, Third Edition, Reston Pbl. Com inc, 1984.
2. Freeman. Roger L., Telecommunications Transmission Handbook, Fourth Edition, John Wiley And Sons inc, 1998.
3. Jurnal.unikom.ac.id/vol4/art4.html
4. Kantor Perusahaan PT Telkom, Divisi Riset Teknologi, Telecommunication System Standard Optical Access Network Based On Passive Optical Network Technology, 1997.
5. Kantor Perusahaan PT Telekomunikasi Indonesia, Laboratorium JARLOKAF, Divisi Riset Teknologi Informasi, Jarinagn Lokal Akses Fiber (JARLOKAF).
6. Manolakis. Dimitris G and John G. Proakis, Digital Signal Processing; Principle, Algorithms, and Applications, Third Edition, Prentice Hall inc, 1995
7. Mooney. William J, Optoelectronic devices and Principles, Prentice Hall International inc

BIOGRAFI

Oktavianto Utomo S (L2F303466)
Lahir Jakarta, 28 Oktober 1982, Lulus SMU 2000 dan melanjutkan kuliah di DIII Teknik Negeri Jember Jurusan Teknik Elektro, lulus Oktober 2003. Sekarang sedang menyelesaikan S1 Universitas Diponegoro Jurusan Teknik Elektro Program Studi Elektronika Telekomunikasi.

Semarang, 28 Desember 2005

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Imam S, ST, MT
NIP. 132 162 546

Budi S, ST, MT
NIP. 132 283 184