

# ANALISIS REDAMAN LENGKUNGAN DAN SUDUT KRITIS SERAT OPTIK *SINGLE MODE G-65X* TERHADAP JARI-JARI LENGKUNGAN PADA JARINGAN *FIBER TO THE HOME (FTTH)*

Dodi Setiabudi<sup>\*)</sup> dan Wahyu Muldayani

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember  
Jalan Kalimantan No. 37 Jember, Jawa Timur 68121

<sup>\*)</sup>E-mail : [dodi@unej.ac.id](mailto:dodi@unej.ac.id)

## Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan analisis rugi-rugi redaman yang dipengaruhi oleh lengkungan dengan beberapa variasi jari-jari lengkungan pada sistem komunikasi serat optik di jaringan Fiber to the Home (FTTH). Terdapat tiga titik kabel serat optik yang diukur dengan jenis Single Mode Step Index pada panjang gelombang 1310 nm. Alat bantu yang digunakan adalah Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) tipe ANRITSU. Data dari pengukuran dibandingkan dengan data dari analisis perhitungan guna mencari nilai daya terima. Metode yang digunakan adalah power link budget dan power loss fiber. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa saat jari-jari sebesar 0,3 cm dihasilkan nilai rugi-rugi sebesar 13,6921 dB, sehingga daya transmisi sebesar 60 dB berkurang menjadi 46,3079 dB. Besar jari-jari lengkungan berbanding terbalik dengan rugi-rugi redaman, namun berbanding lurus dengan daya terima. Adanya variasi jari-jari lengkungan dengan sudut lengkungan rata-rata 75,73<sup>0</sup> yang masih layak terhadap sudut kritis 45,28<sup>0</sup> dan panjang serat optik dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai rugi-rugi yang akan dihasilkan serta daya terima pada sistem dengan rata-rata presentase error tidak melebihi 1%.

**Kata kunci:** *Power Link Budget, Power Loss Fiber, Rugi-rugi Lengkungan, Serat Optik.*

## Abstract

This research have analyzed the losses affected by bending with some variation of bend radius in Fiber to the Home (FTTH) communication systems. There are three-point fiber optic cable to be measured on the network with type of Single Mode Step Index on wavelength ( $\lambda$ ) 1310 nm. Tools used are optical time-domain reflectometer (OTDR) ANRITSU. Data obtained from measurements were compared with data from the calculation of bending losses and calculated value of the received power. The method used was power link budget and power loss fiber. The results show that radius of 0,3 cm results in attenuation value of 13,6921 dB, therefore value of transmission power of 60 dB was reduced to 46,3079 dB. The radius of curvature is inversely proportional to the value of damping, but proportional to the value of received power. The variation of bend radius with average angle 75,73<sup>0</sup> are still worthy of critical angle 45,28<sup>0</sup> and optical fiber lengths can affect attenuation value and received power on the system, with average error less than 1%.

**Keywords:** *Power Link Budget, Power Loss Fiber, Bending Losses, Fiber Optics.*

## 1. Pendahuluan

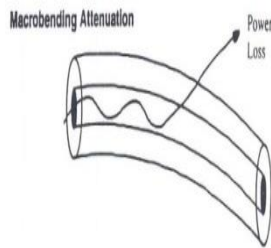
Pertambahan kapasitas yang besar atas kegunaan serat optik dan ditekannya biaya fabrikasi pada system komunikasi optik menuntut adanya jenis serat optik yang padat dan fleksibel. Kelemahan Serat optic *single mode* adalah dibutuhkannya ruang yang besar untuk instalasi, hal ini dikarenakan batas jari-jari lengkungan yang diijinkan adalah 30 mm. Realisasi serat optik yang digunakan saat ini adalah serat optik yang beroperasi pada radius lengkungan yang kecil [1].

Serat optik *single mode* adalah sebuah sistem transmisi data berwujud cahaya yang di dalamnya hanya terdapat

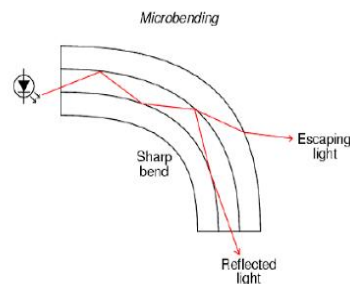
satu buah indeks sinar tanpa ada yang merambat sepanjang media. Sinar yang dapat dilewatkan hanyalah sinar dengan panjang gelombang 1300 atau 1550 nanometer.

Serat optik *single mode* dapat membawa data dengan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan serat optik *multi mode*, tetapi teknologi ini membutuhkan sumber cahaya dengan lebar spektral yang sangat kecil pula dan ini berarti sebuah sistem yang mahal [2]. Serat optik *single mode* dapat membawa data dengan lebih cepat dan 50 kali lebih jauh dibandingkan dengan *multi mode*. Inilah yang menyebabkan serat optik *single mode* menjadi lebih *reliabel*, stabil, cepat, dan jauh jangkauannya [3].

Lengkungan yaitu pembengkokan serat optik yang menyebabkan cahaya yang merambat pada serat optik berbelok dari arah transmisi dan hilang. Rugi-rugi akibat lengkungan serat optik dibedakan menjadi dua macam yaitu *macrobending* dan *microbending* [4].



Gambar 1. Pembengkokan jenis *Macrobending*.



Gambar 2. Pembengkokan jenis *Microbending*.

Cahaya yang merambat di dalam kabel serat optik dapat keluar dari serat ketika pada kabel tersebut terdapat lengkungan meskipun dengan jari-jari lengkungan cukup kecil. Hal ini dinamakan *macrobending* [5]. Jika lekukan sangat tinggi maka lebih banyak pula cahaya yang keluar [6], akibatnya daya transmisi yang keluar dari ujung serat (*transmitter*) dan diterima oleh detektor (*receiver*) cahaya akan berkurang akibat adanya rugi – rugi (*loss*) tersebut. Kejadian seperti ini dinamakan *macrobending loss* [5]. Pembengkokan makro terjadi karena selama proses pemasangan kabel fiber optik yang dibengkokkan mengikuti jalur yang harus dilewati. Rugi-rugi pembengkokan makro dapat dihilangkan dengan cara pemasangan fiber optik tidak melebihi jari-jari kritis kelengkungan yang diperbolehkan.

Permasalahan seperti ini juga mempunyai hubungan dengan perencanaan sistem instalasi komunikasi kabel serat optik ketika sistem tersebut mengalami gangguan disepanjang kabel serat optic [7][8]. Rugi daya yang ditimbulkan dengan melengkungkan serat optik kemungkinan akan lebih besar dari rugi daya total yang timbul pada seluruh kabel serat optik di sepanjang jalur [9]. Lengkungan tersebut harus dihindarkan guna memperoleh kinerja serat optik yang optimal.

Dari beberapa permasalahan tersebut, dilakukan penelitian untuk menganalisa kinerja sistem komunikasi

serat optik yang diakibatkan oleh lengkungan, sudut kritis dan daya yang bekerja di sepanjang kabel serat optik. Data yang dihasilkan dari pengukuran akan dibandingkan dengan data perhitungan agar diketahui kinerja sistem komunikasi serat optik. *Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)* digunakan untuk mengukur rugi-rugi daya. OTDR adalah alat ukur yang ideal untuk mendeteksi lengkungan pada serat optic [10]. OTDR dapat menganalisis setiap jarak dari *insertion loss*, *reflection*, dan *loss* yang muncul pada setiap titik, serta dapat menampilkan informasi pada layar tampilan. Titik lengkung yang diberikan disesuaikan dengan variasi jari-jari dan besar sudut lengkungan. Ada tiga titik kabel serat optik yang akan diukur pada jaringan *FTTH* dengan jenis *Single Mode Step Index* tipe G.652 dan G.657A1 dengan panjang masing-masing 1,625 m, 2 m dan 19,63 m serta panjang gelombang ( $\lambda$ ) 1310 nm.

## 2. Metode

Pada penelitian ini akan dianalisis bagaimana pengaruh rugi-rugi akibat lengkungan terhadap daya transmisi serat optik single-mode menggunakan perbandingan data dari hasil pengukuran dan kemudian dengan hasil analisis Rugi-rugi lengkungan serta sudut kritis pantulan cahaya. Setelah Rugi-rugi lengkungan diketahui, digunakan analisis power loss fiber dan power link budget untuk mencari nilai daya terima. Table 1 merupakan konfigurasi serat optik yang digunakan pada sistem.

Tabel 1 Konfigurasi Serat Optik

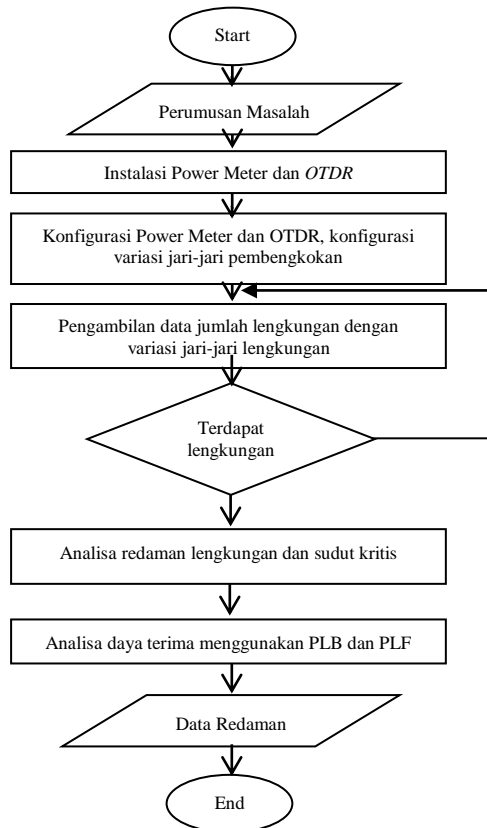
Parameter	Konfigurasi		
	1	2	3
Serat Optik	<i>Single Mode</i>	<i>Single Mode</i>	<i>Single Mode</i>
Panjang Gelombang	1310 nm	1310 nm	1310 nm
Tipe	G.657A1	G.657A1	G.652 D
Indeks bias Core	1,48	1,48	1,48
Indeks bias Cladding	1,46	1,46	1,46
Receiver Sensitivity	-40 dBm	-40 dBm	-40 dBm
Margin Loss	15,75 dB	15,75 dB	15,75 dB
Panjang Serat Optik	2 m	1,652 m	19,13 m

### A. Flowchart Penelitian

Tahap pertama merumuskan masalah yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian pada tugas akhir ini. Adanya pengaruh lengkungan pada serat optik di sepanjang jalur jaringan Fiber To The Home (FTTH) merupakan studi kasus yang akan dijadikan sebagai objek penelitian. Langkah berikutnya adalah mengkonfigurasi alat ukur OTDR dan dilanjutkan mengambil data Rugi-rugi akibat lengkungan dengan beberapa variasi lengkungan yang ada. Apabila pada serat tidak terdapat lengkungan, maka akan kembali ke tahap mencari lengkungan. Jika terdapat lengkungan, akan dilanjutkan ke proses pengambilan data rugi-rugi menggunakan alat ukur.

Dari data yang sudah didapatkan dari pengukuran, akan dilakukan analisis perhitungan secara teori menggunakan

Analisis Rugi-rugi lengkungan serta mencari nilai sudut kritis guna mencari nilai pembanding untuk daya terima, sehingga dapat diketahui kelayakan dan seberapa besar pengaruh rugi-rugi lengkungan terhadap kinerja serat optik pada sistem komunikasi. Analisis perhitungan yang digunakan sebagai pembanding kelayakan adalah Analisis Rugi-rugi Lengkungan dan sudut kritis serta untuk mencari nilai daya terima digunakan Analisis *Power Loss Fiber (PLF)* dan *Power Link Budget (PLB)*.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

B. Pengambilan Data

Data pada penelitian ini adalah data Rugi-rugi yang diakibatkan oleh lengkungan pada serat optik. Pengukuran dilakukan pada STO. Pengukuran data Rugi-rugi terlebih dahulu menggunakan OTDR dengan beberapa variasi jari-jari lengkungan yang sudah ada. Panjang serat yang digunakan yaitu 1.652 m, 2 m dan 19.13 m.

Dari pengukuran data rugi-rugi lengkungan yang sudah didapatkan, akan dilanjutkan untuk analisis perhitungan serta mencari nilai sudut kritis guna mencari nilai pembanding untuk daya terima, sehingga dapat diketahui kelayakan dan seberapa besar pengaruh rugi-rugi lengkungan terhadap kinerja serat optik pada sistem komunikasi. Analisis perhitungan yang digunakan sebagai pembanding kelayakan adalah Analisis Rugi-rugi Lengkungan dan sudut kritis serta untuk mencari nilai

daya terima digunakan Analisis *Power Loss Fiber (PLF)* dan *Power Link Budget (PLB)*.

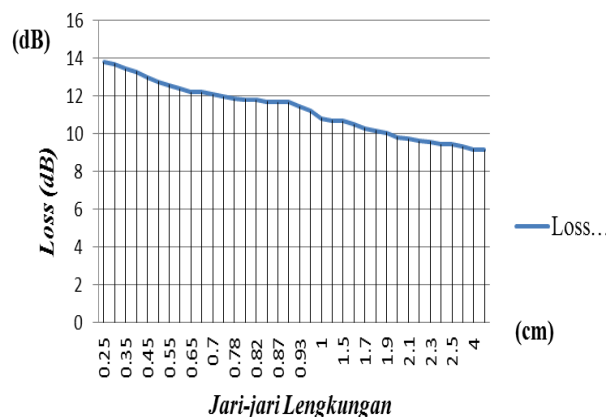
3. Hasil dan Analisis

Pengukuran pertama akan dilakukan pada serat optik dengan panjang 2 m. data Rugi-rugi lengkungan yang didapatkan seperti pada gambar 2. Pada grafik, untuk pengukuran menggunakan OTDR diketahui nilai Rugi-rugi terbesar adalah 4.673 dB yaitu saat jari-jari lengkungan 0.25 cm. sedangkan Rugi-rugi terkecil adalah 0.2551 dB pada saat jari-jari lengkungan 5 cm.

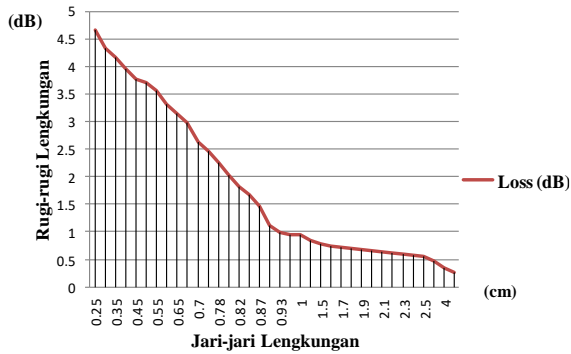
Pengukuran kedua akan dilakukan pada serat optik dengan panjang 1.652 m. data Rugi-rugi lengkungan yang didapatkan seperti pada gambar 3. Pada grafik, untuk pengukuran menggunakan OTDR diketahui nilai Rugi-rugi terbesar adalah 3.67 dB yaitu saat jari-jari lengkungan 0.25 cm. sedangkan Rugi-rugi terkecil adalah 0.256 dB pada saat jari-jari lengkungan 5 cm.

Pengukuran ketiga akan dilakukan pada serat optik dengan panjang 2 m. data Rugi-rugi lengkungan yang didapatkan seperti pada gambar 4. Pada grafik, untuk pengukuran menggunakan OTDR diketahui nilai Rugi-rugi terbesar adalah 13.778 dB yaitu saat jari-jari lengkungan 0.25 cm. sedangkan Rugi-rugi terkecil adalah 9.14 dB pada saat jari-jari lengkungan 5 cm.

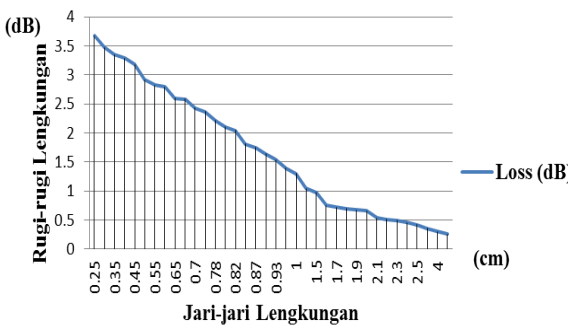
Dari semua data yang didapatkan, semua nilai Rugi-rugi terbesar dihasilkan saat jari-jari lengkungan 0.25 cm, dan nilai Rugi-rugi terkecil saat jari-jari lengkungan 5 cm. Jadi, semakin kecil jari-jari lengkungan, maka Rugi-rugi yang dihasilkan semakin besar. Sebaliknya jika jari-jari lengkungan besar, maka Rugi-rugi yang dihasilkan kecil.



Gambar 4. Grafik Rugi-rugi Menggunakan OTDR Serat-1



Gambar 5. Grafik Rugi-rugi Menggunakan OTDR Serat-2



Gambar 6. Grafik Rugi-rugi Menggunakan OTDR Serat-3

C. Analisis Rugi-rugi Lengkungan

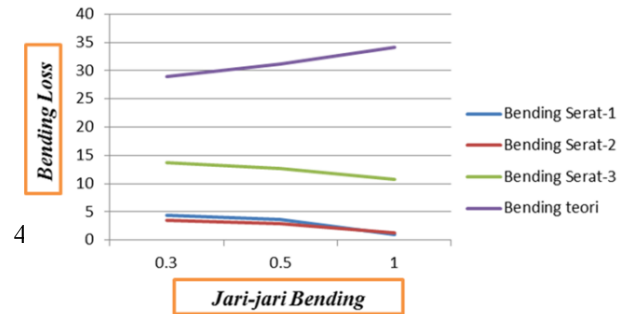
Dari data pengukuran yang sudah didapatkan, selanjutnya akan dilakukan analisis perhitungan Rugi-rugi *lengkungan* guna untuk perbandingan serta mendapatkan nilai daya terima pada proses analisis Power Loss Fiber dan Power Link Budget. Persamaan yang digunakan pada analisis Rugi-rugi Lengkungan seperti persamaan (1). [5]

$$I_{bend} = 10 \log \frac{\alpha + 2}{(2\alpha) \left(\frac{a}{R\Delta}\right)} \quad (1)$$

Parameter  $\alpha$  adalah diameter core (inti) serat optik,  $\alpha$  beda indeks bias core (inti) dengan cladding (selubung) serat optik, R merupakan jari-jari lengkungan dan  $\Delta$  step indeks profile jenis serat optik.

Pada perhitungan didapatkan data seperti pada Gambar 7. Pada grafik, diketahui bahwa perbandingan data teori dengan OTDR, nilai Rugi-rugi memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Pada sampling Rugi-rugi terbesar adalah 34.137 dB dan terkecil 28.9 dB. Hal ini dikarenakan pada analisis perhitungan Rugi-rugi lengkungan tidak dipengaruhi dengan faktor panjang serat. Tetapi dapat diketahui pada data pengukuran, nilai Rugi-rugi dipengaruhi oleh panjang serat. Semakin panjang serat, maka Rugi-rugi yang dihasilkan semakin

besar. Sebaliknya jika semakin pendek serat, maka Rugi-rugi yang dihasilkan semakin kecil.



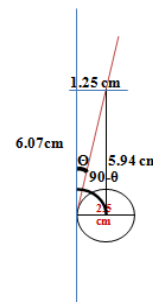
Gambar 7. Grafik Perbandingan Rugi-rugi Teori Dengan Menggunakan OTDR

D. Analisis Sudut Kritis ( $\theta_{ik}$ )

Setelah dilakukan analisis redaman lengkungan, selanjutnya akan dianalisis sudut kritis lengkungan. Nilai sudut kritis berdasarkan Hukum Snellius yang diperoleh yaitu :

$$\sin \theta_{ik} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

Dengan sudut kritis yang didapatkan sebesar  $45.28^\circ$ , maka artinya untuk setiap sudut-sudut yang diperbolehkan adalah lebih besar dibandingkan dengan sudut kritis tersebut. Nilai-nilai sudut yang diperoleh selengkapnya yaitu pada tabel 2 dan seperti pada gambar 8. Pada tabel dapat diketahui bahwa semakin besar nilai jari-jari lengkungan maka sudut lengkungan yang dihasilkan semakin besar. Sedangkan semakin kecil nilai jari-jari lengkungan, maka nilai sudut lengkungan semakin kecil pula sehingga nilai jari-jari lengkungan berbanding lurus dengan nilai sudut lengkungannya. Dari sudut lengkungan yang dihasilkan memiliki rata-rata sebesar  $75.73^\circ$  dan lebih besar dibandingkan dengan sudut kritis, redaman lengkungan yang dihasilkan diperbolehkan dan masih layak digunakan pada kinerja sistem serat optik. Hubungan ini dapat dianalisis secara matematis antara sudut datang dan sudut bias pada cahaya atau gelombang lainnya yang melalui batas antara dua medium isotropik berbeda.



Gambar 8. Nilai Sudut Pada Lengkungan

Tabel 2 Nilai Sudut pada Lengkungan

No	Jari-jari Lengkungan (cm)	Sudut Kritis (θ)	Sudut per Lengkungan
1	1	45.28°	65.5°
2	2.5	45.28°	77.96°
3	5	45.28°	83.72°
Rata-rata			75.73°

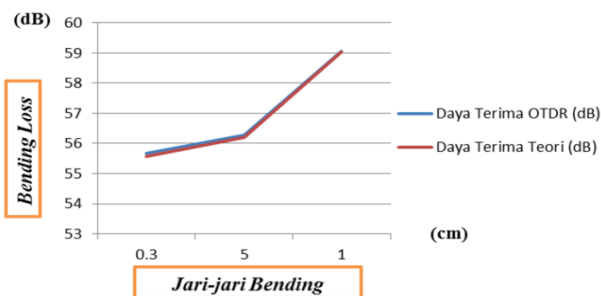
E. Analisis Power Loss Fiber (PLF)

Analisis ini digunakan untuk mencari nilai daya terima pada sistem. Beberapa faktor yang terdapat pada analisis ini adalah besar rugi-rugi serat per panjang (A), besar daya transmitter (Pt), panjang serat (L) serta rugi-rugi pada serat (Loss) dalam hal ini adalah rugi-rugi akibat lengkungan (lengkungan). Faktor-faktor tersebut dituliskan secara matematis seperti pada Persamaan (3) dan (4).

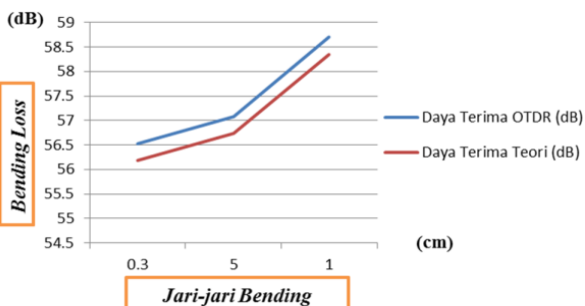
$$A_{(dB)} = 10 \log ( P_{out} / P_{in} ) \quad (3)$$

$$P = P_t \times 10^{-AL/10} - Loss \quad (4)$$

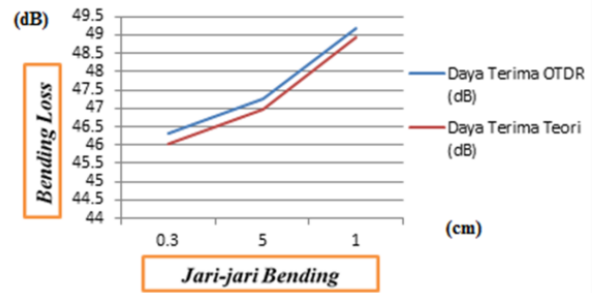
Dari hasil *sampling* perhitungan, untuk serat-1, serat-2 dan serat-3 didapatkan data seperti pada Gambar 9. Pada grafik yang dihasilkan, perbandingan nilai daya terima hasil pengukuran dengan teori memiliki selisih yang sangat sedikit tidak melebihi dari 1 %.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Daya Terima Teori Menggunakan PLF Dengan Serat-1



Gambar 10. Grafik Perbandingan Daya Terima Teori Menggunakan PLF Dengan Serat-2



Gambar 11. Grafik Perbandingan Daya Terima Teori Menggunakan PLF Dengan Serat-3

Misal pada Gambar 10 dan 11 untuk serat-3 saat jari-jari 0.25 cm, daya terima hasil perhitungan sebesar 46.009 dB dan hasil pengukuran 46.3079 dB. Dengan kata lain, Rugi-rugi lengkungan yang dihasilkan tidak mempengaruhi kinerja serat optik pada sistem komunikasi dan Rugi-rugi Lengkungan yang dihasilkan masih bisa diabaikan oleh sistem.

F. Analisis Power Link Budget (PLB)

Sama halnya analisis Power Loss Fiber, analisis ini juga digunakan untuk mencari nilai daya terima pada sistem komunikasi serat optik. Analisis ini dilakukan sebagai pembandingan dari analisis Power Loss Fiber. Analisis ini dituliskan secara matematis seperti pada Persamaan (5).

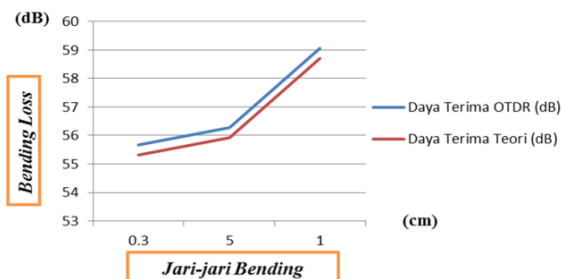
$$P_{rx} = P_{tx} - ( \Sigma Loss + Margin ) \quad (5)$$

Pada Persamaan (5), fungsi Ptx merupakan besar daya yang ditransmisikan dalam serat, Σ Loss adalah jumlah rugi-rugi yang terjadi pada serat dan Margin merupakan besaran nilai yang digunakan untuk mengkompensasi Rugi-rugi yang terjadi pada kabel serat optik yaitu 0.35 dB. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan data *sampling* perbandingan daya terima teori dengan pengukuran.

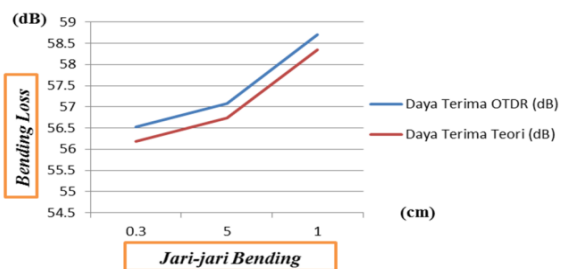
Gambar 12,13 dan 14 adalah grafik hasil perbandingan daya terima pengukuran serat-1, serat-2 dan serat-3 dengan teori. Pada grafik, didapatkan selisih nilai daya terima yang sangat kecil antara teori dengan pengukuran. Misal pada serat-3 saat jari-jari 0.25 cm, daya terima hasil perhitungan sebesar 46.3079 dB dan hasil pengukuran 45.9579 dB.

Dari *sampling* perbandingan didapatkan nilai-nilai error persen, nilai error persen terbesar adalah pada daya terima serat-3 dengan jari-jari lengkungan 0.3 cm sebesar 0.76 %. Sedangkan nilai error persen terkecil pada daya terima serat-1 dengan jari-jari lengkungan 1 cm yaitu sebesar 0.59 %. Rata-rata nilai error persen yang didapatkan tidak ada yang melebihi 1%. Faktor-faktor yang mempengaruhi intensitas cahaya yang ditransmisikan antara lain, besar diameter inti (core) serat

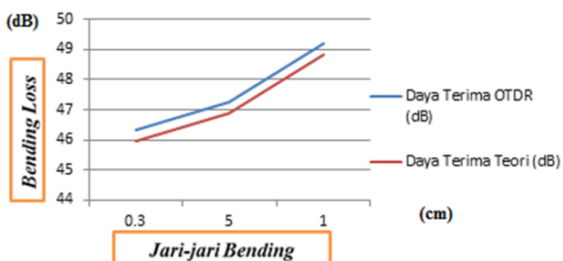
optik, jari-jari lengkungan pada optik, indeks bias antara inti (core) dan selubung (cladding) serat optik serta Step Index Profile untuk jenis serat optik yang digunakan. Sehingga apabila jari-jari lengkungan semakin kecil, maka akan menyebabkan pantulan cahaya yang di transmisikan pada serat akan menembus keluar dari inti (core) dan mengakibatkan pengurangan intensitas cahaya pada titik terima (receiver). Apabila redaman lengkungan yang dihasilkan semakin besar, maka akan sangat mempengaruhi kinerja serat optik pada sistem. Sebaliknya jika jari-jari lengkungan semakin besar, maka pantulan yang disebabkan semakin kecil atau tidak menjauhi inti (core) serat. Sehingga cahaya yang ditransmisikan pada serat masih stabil sampai ke titik terima (receiver) sistem. Dari semua nilai error persen yang didapatkan, nilai tidak ada yang melebihi margin loss yang diperbolehkan yaitu tidak lebih besar dari 15.75 dB. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa redaman yang dihasilkan dari adanya lengkungan sangat kecil dan tidak mempengaruhi kinerja serat optik pada sistem dan nilai redaman bisa diabaikan.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Daya Terima Teori Menggunakan PLB Dengan Serat-1



Gambar 13. Grafik Perbandingan Daya Terima Teori Menggunakan PLB Dengan Serat-2



Gambar 14. Grafik Perbandingan Daya Terima Teori Menggunakan PLB Dengan Serat-3

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengambilan dan analisis data, dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan. Lengkungan pada serat optik dapat mempengaruhi nilai daya yang ditransmisikan. Saat jari-jari sebesar 0.3 cm dihasilkan nilai redaman sebesar 13.6921 dB, sehingga nilai daya transmisi sebesar 60 dB berkurang menjadi 46.3079 dB. Besar nilai jari-jari lengkungan berbanding terbalik dengan nilai redaman. Namun berbanding lurus dengan nilai daya terima. Saat jari-jari lengkungan 0.3 cm menghasilkan redaman 13.6921 dB dengan daya terima 46.3079 dB dan pada perhitungan 46.009 dB. Adanya variasi jari-jari lengkungan dengan sudut lengkungan rata-rata  $75.73^0$  yang masih layak terhadap sudut kritis  $45.280$  dan panjang serat optik dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai redaman yang akan dihasilkan serta daya terima pada sistem dengan rata-rata presentase error persen tidak melebihi 1%.

## Referensi

- [1]. Yukihiro Tsuchida, Kunimasa Saitoh dan Masanori Koshiba. "Design and characterization of single-mode holey fibers with low bending losses," *Optical Society of America, OPTICS EXPRESS* 477913, Vol. 13, No. 12, June 2005.
- [2]. Bushra R Mhdi, Gaillan H. Abdullah, Nahla A. Aljabar, Basher R. Mhdi "Study Pulse Parameters versus Cavity Length for Both Dispersion Regimes in FM Mode Locked", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI)*, vol. 3, No. 1, 2015, pp. 30-33
- [3]. Schermer, R. T. dan J. H. Cole, "Improved Bend Loss Formula Verified for Optical Fiber by Simulation and Experiment", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 43, issue 10, pp. 899 – 909, 2007.
- [4]. Wadhana dan Setijono. 2012. *Analisa Redaman Serat Optik Terhadap Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik Menggunakan Metode Optical Link Power Budget*. Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Surabaya.
- [5]. Waluyo, Tomi B., Bayuwati D., Widiyatmoko B. "Karakterisasi Rugi Lengkungan Serat Optik Dengan Optical Time Domain reflectometer Untuk Penggunaannya Sebagai Sensor Pergeseran Tanah", *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, vol 9 no 2, hal. 34-42. 2009,
- [6]. Jay, John A. "An Overview of Macrobending and Microbending of Optical Fiber". *Corning White Paper WP1212*, 2010.
- [7]. Brilian Dermawan, Imam Santoso, Teguh Prakoso, "Analisis Jaringan FTTH (Fiber To The Home) Berteknologi Gpon (Gigabit Passive Optical Network)", *TRANSMISI* Vol 18, No 1, hal. 30-37, 2016
- [8]. Venkata R. Miriampally, "2D Optical Fiber Wave Guide Design for Multi Haul Applications", *International Journal of Informatics and Communication Technology (IJICT)*, vol. 5 no. 3, hal. 94-105, 2016
- [9]. Aninda Maharani., Kusumawardhani. "Pengukuran Pengaruh Kelengkungan Serat Optik terhadap Rugi Daya Menggunakan Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)". *Laboratorium Rekayasa Fotonika – Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November*, 2010.
- [10]. M. F. M. Salleh., Z. Zakaria. "Optical Fiber Bending Detection on Long Distance OPGW using OTDR". *TELKOMNIKA*, Vol.13, No.3, September 2015, hal. 889-893,