



Detection of Light Interference Patterns on Fiber  
Multimode Graded Index Optical Using Otdr  
(Optical Time Domain Reflectometer)

---

Aslam Chitami Priawan Siregar

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

January 21, 2023

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/292137195>

# PENDETEKSIAN POLA INTERFERENSI CAHAYA PADA SERAT OPTIK MULTIMODE GRADED INDEX MENGGUNAKAN OTDR (OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER)

Conference Paper · October 2015

CITATIONS

0

READS

1,326

1 author:



[Aslam Chitami Priawan Siregar](#)

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

19 PUBLICATIONS 16 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



PENGARUH SUHU PADA PENGUKURAN STRAIN BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK BERSTRUKTUR SMS (SINGLEMODE- MULTIMODE-SINGLEMODE) DAN OTDR (OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER) [View project](#)



A Study of Silicon Effect as a Switch on Folded Dipole Antenna [View project](#)

# PENDETEKSIAN POLA INTERFERENSI CAHAYA PADA SERAT OPTIK *MULTIMODE GRADED INDEX* MENGGUNAKAN OTDR (*OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER*)

Aslam Chitami Priawan Siregar

Jurusan Teknik Informatika  
Fakultas Teknologi Informasi  
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya  
Email : [aslam\\_chitami@yahoo.com](mailto:aslam_chitami@yahoo.com)

## Abstrak

Serat optik adalah saluran transmisi atau sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dari sehelai rambut, dan dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya yang membawa informasi dari suatu tempat ke tempat lain. Dalam penelitian ini, dibuat sebuah sensor serat optik yang berstruktur SMS (*singlemode-multimode-singlemode*) dan dihubungkan dengan OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*) yang dapat digunakan untuk mendeteksi pola interferensi cahaya pada serat optik *multimode graded index* dengan cara mengamati perubahan rugi daya pada OTDR saat dilakukan pengujian *strain* pada sensor serat optik yang berstruktur SMS tersebut. Karakteristik dari setiap sensor serat optik berstruktur SMS yang telah dibuat menggunakan serat optik multimode dengan panjang 5,5 cm, 6 cm, 6,5 cm, dan 7 cm serta dengan penggunaan panjang gelombang operasinya, yaitu 1310 nm. Pengujian *strain* dilakukan dengan memberikan pergeseran dari 0 - 1000  $\mu\text{m}$  pada serat optik berstruktur SMS dengan variasi kenaikan setiap 100  $\mu\text{m}$ . Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa Panjang multimode 5,5 cm dan 6 cm terjadi grafik kenaikan. Semakin bertambahnya *strain*, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin besar. Sedangkan panjang multimode 6,5 cm dan 7 cm menunjukkan bahwa terjadi grafik penurunan. Perbedaan grafik seperti ini, dikarenakan adanya titik *re-imaging* pada panjang multimode 6,89 cm. Dimana pada titik ini terjadi interferensi minimum terhadap banyaknya moda yang dilewatkan pada serat optik multimode tersebut, sehingga dapat menyebabkan penurunan pada rugi daya serat optik. Sedangkan pada panjang serat optik multimode 5,5 cm sampai 7 cm mempunyai kelinearitasan dan rugi daya yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan intensitas pada rentang daerah tersebut masih masih tinggi. Selain itu, pada panjang serat optik multimode 5,5 cm sampai 7 cm dapat juga digunakan sebagai sensor *strain* karena memiliki kelinearitasan yang tinggi.

Kata kunci: Serat optik SMS, OTDR, Strain, Intensitas

## 1. Pendahuluan

Serat optik adalah saluran transmisi atau sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dari sehelai rambut, dan dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya yang membawa informasi dari suatu tempat ke tempat lain. Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah laser atau LED (Agrawal, 2002). Serat optik digunakan karena memiliki berbagai keunggulan yaitu karena ukurannya yang kecil, dapat melewatkan cahaya, tahan terhadap interferensi elektromagnetik (EMI), pasif secara kimiawi, bandwidth yang lebar, sensitivitas yang tinggi, tidak terkontaminasi lingkungan, dan kemampuannya sebagai sensor terdistribusi maupun multipoint (Gholamzadeh, 2008).

Berdasarkan mode yang dirambatkan, serat optik terbagi menjadi dua macam yaitu serat optik *singlemode* (mode tunggal) dan *multimode* (mode jamak). Dikarenakan serat optik *multimode* dapat merambatkan mode lebih dari satu, sehingga dapat memungkinkan untuk mengirim informasi lebih banyak dalam satu kabel.

Salah satu sifat gelombang adalah dapat mengalami interferensi. Cahaya merupakan gelombang yang dapat mengalami interferensi, baik berupa interferensi maksimum (penguatan sinyal cahaya) maupun berupa interferensi minimum (pelemahan sinyal cahaya). Banyaknya mode yang merambat pada serat optik *multimode* dapat menimbulkan terjadinya pola interferensi cahaya pada serat optik *multimode* tersebut.

Akhir-akhir ini, serat optik berstruktur SMS (*singlemode-multimode-singlemode*) telah banyak dikembangkan untuk berbagai aplikasi karena biayanya yang murah dan kemudahan fabrikasinya. Beberapa aplikasi penggunaan serat optik SMS telah banyak dilakukan, seperti sensor suhu, *strain*, refraktometer, *edge filter* untuk pengukuran panjang gelombang, dan sebagai *band pass filter* (Wang dkk, 2008). Serat optik SMS dibuat dengan cara penyambungan bagian serat optik *multimode* pada kedua ujungnya dengan dua buah serat optik *singlemode* menggunakan *fusion splicer*. Dengan pemilihan jenis serat optik *singlemode* dan *multimode* (*numerical aperture*, jejari *core*) serta panjang bagian *multimode*, maka dapat diperoleh karakteristik yang berbeda untuk berbagai aplikasi (Kumar dkk, 2003).

Dalam penelitian ini, dibuat sebuah sensor serat optik yang berstruktur SMS dan dihubungkan dengan OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*) yang dapat digunakan untuk mendeteksi pola interferensi cahaya pada serat optik *multimode graded index* dengan cara mengamati perubahan rugi daya pada OTDR saat dilakukan pengujian *strain* pada sensor serat optik yang berstruktur SMS tersebut. Serat optik *multimode graded index* dipilih karena memiliki pola interferensi yang lebih teratur dari serat optik *multimode step index*.

Dengan adanya metode pengukuran ini, diharapkan dapat digunakan untuk mengetahui letak titik penguatan dan pelemahan sinyal cahaya yang merambat pada serat optik, sehingga dapat mempunyai nilai pemanfaatan yang lebih tinggi dalam mengirimkan informasi dari satu tempat ke tempat yang lain.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Serat Optik Berstruktur SMS

Secara garis besar serat optik terdiri dari 2 bagian utama, yaitu *cladding* dan *core* (Marcatili, 1979). *Cladding* adalah selubung dari inti (*core*). *Cladding* mempunyai indeks bias lebih rendah dari pada *core* akan memantulkan kembali cahaya yang mengarah keluar dari *core* kembali kedalam *core* lagi.

Dalam aplikasinya serat optik biasanya diselubungi oleh lapisan resin yang disebut dengan *jacket*, biasanya berbahan plastik. Lapisan ini dapat menambah kekuatan untuk kabel serat optik, walaupun tidak memberikan peningkatan terhadap sifat gelombang pandu optik pada kabel tersebut. Namun lapisan resin ini dapat menyerap cahaya dan mencegah kemungkinan terjadinya kebocoran cahaya yang keluar dari selubung inti.

Pembagian serat optik dapat dilihat dari 2 macam perbedaan :

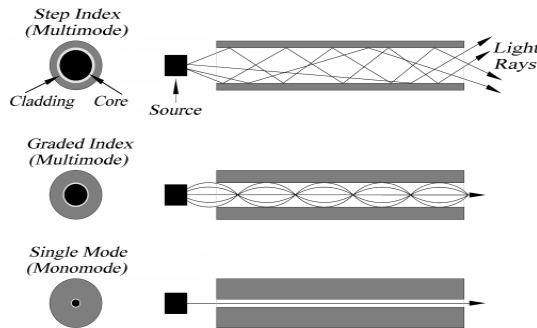
1. Berdasarkan mode yang dirambatkan :

- *Singlemode* : serat optik dengan inti (*core*) yang sangat kecil (biasanya sekitar 8,3 mikron), diameter intinya sangat sempit mendekati panjang gelombang sehingga cahaya yang masuk ke dalamnya tidak terpantul-pantul ke dinding *cladding*. Bagian inti serat optik single-mode terbuat dari bahan kaca silika ( $\text{SiO}_2$ ) dengan sejumlah kecil kaca Germania ( $\text{GeO}_2$ ) untuk meningkatkan indeks biasnya. Untuk mendapatkan performa yang baik pada kabel ini, biasanya untuk ukuran *cladding*nya adalah sekitar 15 kali dari ukuran inti (sekitar 125 mikron). Kabel untuk jenis ini paling mahal, tetapi memiliki pelemahan (kurang dari 0.35dB per kilometer), sehingga memungkinkan kecepatan yang sangat tinggi dari jarak yang sangat jauh. Standar terbaru untuk kabel ini adalah ITU-T G.652D, dan G.657 (Oliviero et al, 2009).
- *Multimode* : serat optik dengan diameter *core* yang agak besar yang membuat laser di dalamnya akan terpantul-pantul di dinding *cladding* yang dapat menyebabkan berkurangnya bandwidth dari serat optik jenis ini.

2. Berdasarkan indeks bias *core* (Keiser, 2000) :

- *Step indeks* : pada serat optik step indeks, *core* memiliki indeks bias yang homogen.
- *Graded indeks* : indeks bias *core* semakin mendekat ke arah *cladding* semakin kecil. Jadi pada graded indeks, pusat *core* memiliki nilai indeks bias yang paling besar. Serat graded indeks memungkinkan untuk membawa bandwidth yang lebih besar, karena pelebaran pulsa yang terjadi dapat diminimalkan.

Dalam penelitian ini, serat optik *multimode* yang digunakan adalah jenis *graded indeks*, karena memiliki pola interferensi yang lebih teratur dibanding jenis *step indeks* seperti ditunjukkan Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Perbedaan pola interferensi cahaya pada serat optik *singlemode*, *multimode graded indeks*, dan *multimode step indeks* ( Ibnu alvian kumar, 2014)

Serat optik SMS merupakan suatu struktur yang terdiri dari serat optik *singlemode* yang identik yang secara aksial disambung di kedua ujung serat optik *multimode* seperti ditunjukkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Serat optik berstruktur SMS (*Single mode–Multimode–Single mode*)

Pada serat optik berstruktur SMS hanya *fundamental mode* yang *ter-couple* masuk pada input dan *ter-couple* keluar pada ujung serat optik multimode. Kondisi tersebut dapat terjadi ketika *spot size* dari *fundamental mode* dari serat optik *singlemode* dan multimode benar-benar cocok dan juga tidak ada *misalignment* aksial pada *splice* (sambungan). Jika kondisi tersebut tidak dapat dipenuhi, *high order mode* dari serat optik multimode akan tereksitasi atau *ter-coupling* keluar pada input/output ujung serat optik multimode. Sedangkan kinerja atau performansi dari serat optik berstruktur SMS sangatlah tergantung pada panjang gelombang operasi dan juga panjang dari serat optik multimode (Arun Kumar, et al. 2003).

## 2.2. OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

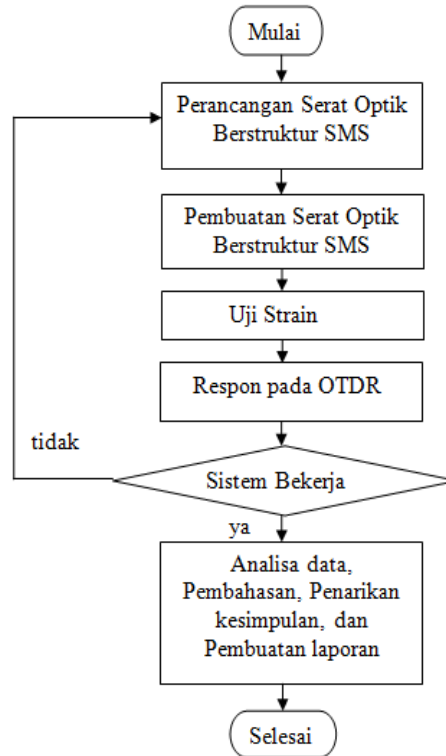
OTDR merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu serat optik pada domain waktu. OTDR dapat menganalisis setiap jarak dari *insertion loss*, *reflection*, dan *loss* yang muncul pada setiap titik, serta dapat menampilkan informasi pada layar tampilan berupa respon logaritmik. Selain itu, OTDR dapat mengukur redaman sebelum dan setelah instalasi sehingga dapat memeriksa adanya ketidaknormalan seperti bengkokan (*bend*) atau beban yang tidak diinginkan (Olaf Ziemann, et al. 2008).

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah Serat optik *singlemode step index* (ITU-T Recommendation G652), multimode *graded index* (ITU-T Recommendation G651), dan lem alteco. Sedangkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah *Fusion Splicer* Fujikura FSM-505), *Microdisplacement*, HP E6000A Mini –OTDR, *Fiber Cleaver* FITEC Nc S324, *Fiber Stripper* Cromwell ct USA, termometer digital, dan jangka sorong digital.

### 3.2 Langkah-langkah Penelitian

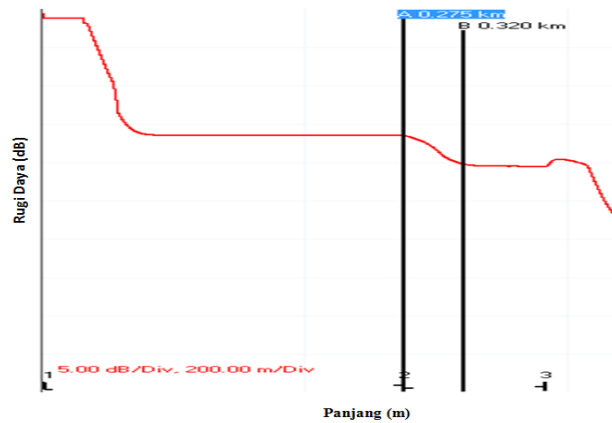


Gambar 3.1. Flowchart Penelitian

Pembuatan serat optik berstruktur SMS dilakukan dengan cara menyambungkan kedua ujung serat optik multimode dengan serat optik singlemode. Pada ujung serat optik yang akan disambung, dilakukan pengkupasan dengan menggunakan *Fiber Stripper Cromwell ct USA* pada lapisan *cladding*. Kemudian lapisan serat optik yang telah terkupas dibersihkan dengan menggunakan larutan alkohol, agar sisa hasil pengkupasan tidak mengganggu saat proses penyambungan. Lapisan serat optik yang telah dibersihkan, akan dilakukan pemotongan dengan menggunakan *Fiber Cleaver FITEC Nc S324*, agar ujung serat optik menjadi rapi dan tidak terjadi *misalignment* aksial saat penyambungan serat optik singlemode dan multimode. Setelah itu, antara dua ujung serat optik (baik Singlemode maupun Multimode) akan dilakukan penyambungan dengan menggunakan *Fusion Splicer Fujikura FSM-505*. Kedua ujung serat optik akan terlihat pada layar yang ditampilkan oleh *Fusion Splicer Fujikura FSM-505* dalam skala mikroskopis. Apabila ujung serat optik rapi dan sesuai dengan batas *range* yang telah ditentukan, maka penyambungan dapat dilakukan dengan baik dan akan diperoleh hasil yang lebih baik.

Setelah itu, dilakukan pengujian *strain* pada serat optik yang berstruktur SMS. Uji *strain* dilakukan dengan memberikan *strain* pada daerah serat optik yang berstruktur SMS yang kedua ujungnya direkatkan pada *microdisplacement* dan *statif* dengan menggunakan lem *altec* dengan pengujian *range* pergeseran sebesar 0-1000  $\mu\text{m}$ . Pada setiap kenaikan pergeseran sebesar 100  $\mu\text{m}$  (spesifikasi dari setiap *grade* pada *microdisplacement*). Kemudian dilakukan pengambilan data respon dan rugi daya yang terbaca pada OTDR. Rugi daya yang dianalisa pada penelitian ini adalah rugi daya dari serat optik berstruktur SMS. Sedangkan parameter-parameter pengukuran OTDR yang digunakan dalam pengukuran ini dipilih sebagai berikut :

OTDR Type : Agilent Mini OTDR  
 E6000C  
 Wavelength : 1314 nm  
 Pulsewidth : 300 ns  
 Range : 0-2 km  
 Marking : A = 275,0 m  
 B= 320,8 km  
 B-A = 45.8 m  
 Optimize : Dynamic  
 Averaging Time : 10 s  
 Sampling Distance : 15,90 cm  
 index of refraction : 1,47180



Gambar 3.2. Bentuk Tampilan pada OTDR

### 3.3 Metode Analisa Data

Data hasil penelitian berupa rugi daya yang ditimbulkan akibat adanya *strain* yang terjadi pada serat optik yang terbaca pada OTDR.

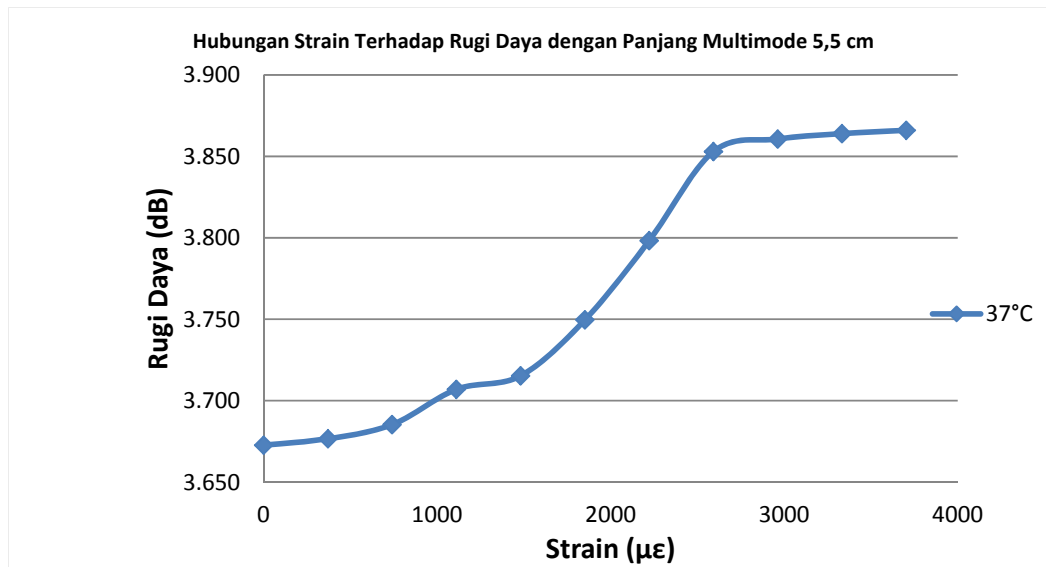
Untuk menghitung besarnya besarnya tingkat kelinearitas nilai *strain* terhadap rugi daya yang terbaca pada OTDR, maka dapat digunakan persamaan :

$$\Delta O = m \Delta S + c \quad (3.1)$$

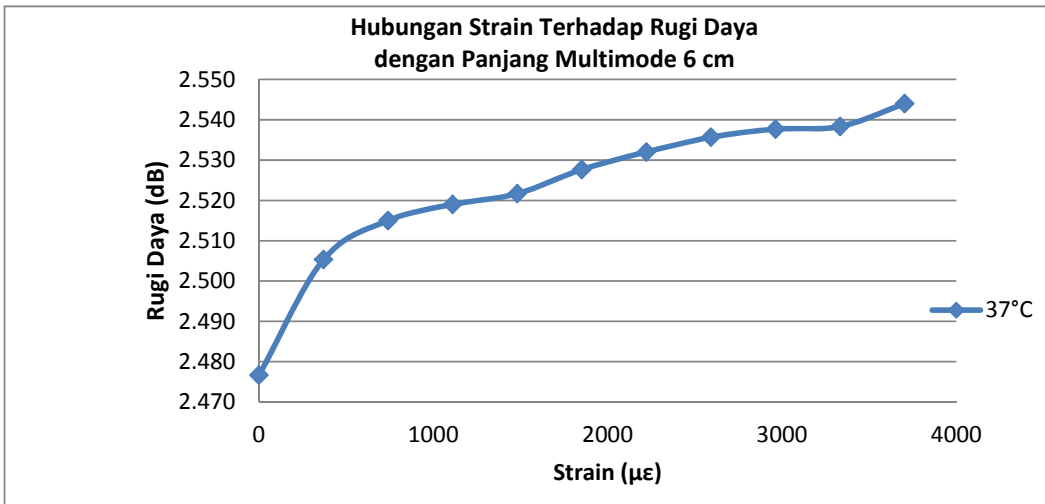
Dimana O merupakan rugi daya yang di timbulkan pada serat optik SMS, m merupakan rata-rata slope *strain* pada sensor serat optik SMS, dan c merupakan nilai konstanta.

### 4. Hasil dan Pembahasan

Hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS dengan panjang serat optik multimode 5,5 cm dan 6 cm pada panjang gelombang 1310 nm diperlihatkan pada Gambar 4.1.



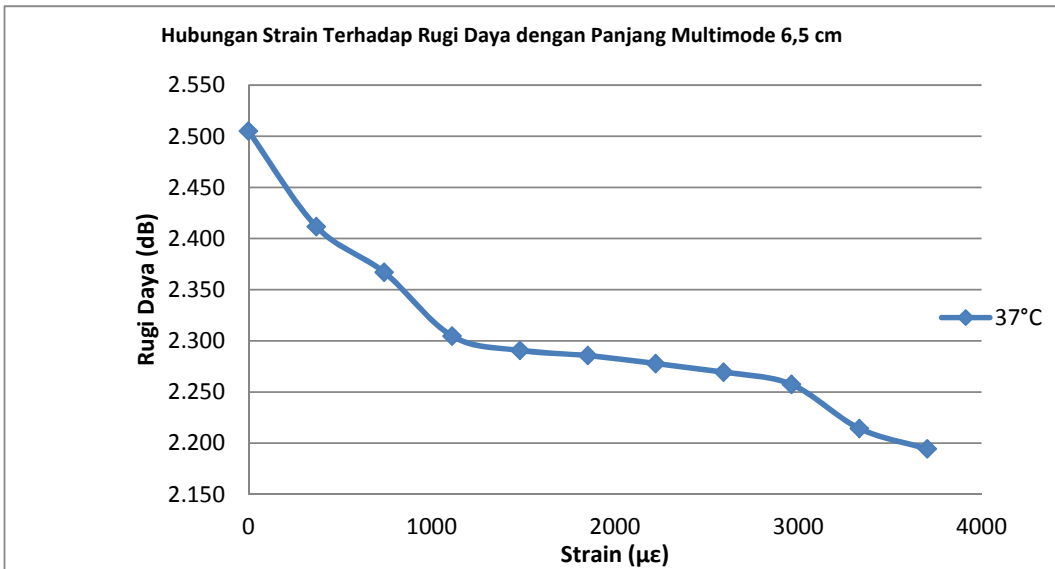
(a)



(b)

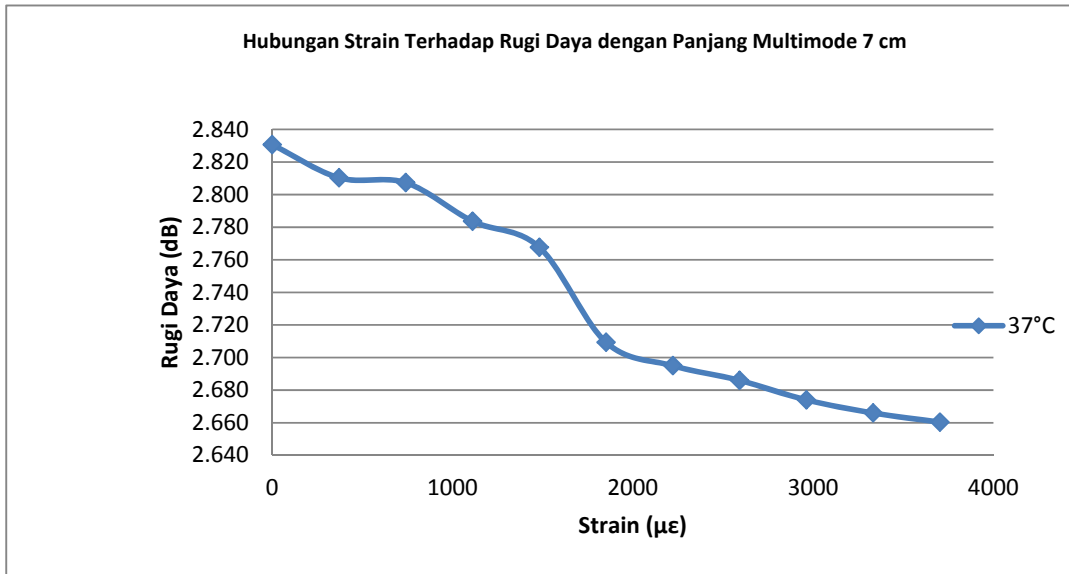
Gambar 4.1. Grafik hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor *strain* dengan suhu 37<sup>0</sup> pada panjang gelombang 1310 nm pada panjang serat optik multimode (a) 5,5 cm dan (b) 6 cm.

Sedangkan Hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor *strain* dengan panjang serat optik multimode 6,5 cm dan 7 cm serta variasi suhu pada panjang gelombang 1310 nm diperlihatkan pada Gambar 4.2



(a)





(b)

Gambar 4.2. Grafik hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor *strain* dengan suhu 37<sup>0</sup> pada panjang gelombang 1310 nm pada panjang serat optik multimode (a) 6,5 cm dan (b) 7 cm

Untuk menentukan besaran *strain* dapat dilakukan dengan cara membagi besaran pergeseran dari hasil pengukuran dengan panjang mula-mula dari serat optik berstruktur SMS yaitu sebesar 27 cm, yang ditentukan dari jarak antara dua ujung serat optik berstruktur SMS yang direkatkan dengan lem alteco.

Berdasarkan Gambar 4.1, menunjukkan bahwa pada panjang multimode 5,5 cm dan 6 cm terjadi grafik kenaikan. Semakin bertambahnya *strain*, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin besar. Sedangkan pada Gambar 4.2, panjang multimode 6,5 cm dan 7 cm menunjukkan bahwa terjadi grafik penurunan. Semakin bertambahnya *strain*, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin mengecil. Perbedaan grafik seperti ini, dikarenakan adanya titik *re-imaging* pada panjang multimode tertentu. Besarnya titik *re-imaging* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Qian Wang et al, 2008) :

$$\bar{L}_z = 16n_{co}a^2 / \lambda \quad (4.1)$$

Dimana  $\bar{L}_z$  merupakan ukuran panjang multimode yang mengalami titik *re-imaging*,  $n_{co}$  merupakan besarnya nilai indeks bias pada lapisan *core* dari serat optik yang berstruktur multimode dalam hal ini besarnya adalah 1.445,  $a$  merupakan besarnya jari-jari pada lapisan *core* dari serat optik multimode 62,5 µm, dan  $\lambda$  merupakan panjang gelombang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebesar 1310 nm, nilai panjang gelombang tersebut digunakan karena memiliki rugi daya yang kecil untuk jenis bahan silica yang merupakan bahan dari serat optik. Berdasarkan nilai-nilai di atas, didapatkan bahwa besarnya titik *re-imaging* pada jenis serat optik multimode yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6,89 cm. Dimana pada titik ini terjadi interferensi minimum terhadap banyaknya moda yang dilewatkan pada serat optik multimode tersebut, sehingga dapat menyebabkan penurunan pada rugi daya serat optik.

Perbedaan antara grafik pada panjang multimode 5,5 cm dan 6 cm terletak pada pengaruh suhu dan besarnya rugi daya yang ditimbulkannya. Pada panjang multimode 5,5 cm mempunyai rugi daya yang lebih besar daripada panjang multimode 6 cm. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan intensitas pada panjang multimode 6 cm sampai menuju titik *re-imaging* pada panjang 6,89 cm.

Persamaan regresi linear hubungan *strain* terhadap rugi daya yang terbaca pada OTDR untuk *multimode* dengan panjang 5,5 cm adalah :

$$\Delta O = 6,424 \times 10^{-5} \Delta S + 3,649 \quad (4.2)$$

Dengan tingkat kelinearitasan sebesar 93,42 %. Persamaan regresi linear hubungan *strain* terhadap rugi daya yang terbaca pada OTDR untuk *multimode* dengan panjang 6 cm adalah :

$$\Delta O = 1,424 \times 10^{-5} \Delta S + 2,497 \quad (4.3)$$

Dengan tingkat kelinearitasan sebesar 82,85 %. Persamaan regresi linear hubungan *strain* terhadap rugi daya yang terbaca pada OTDR untuk *multimode* dengan panjang 6,5 cm adalah :

$$\Delta O = -6,763 \times 10^{-5} \Delta S + 2,432 \quad (4.4)$$

Dengan tingkat kelinearitasan sebesar 85,72 %. Persamaan regresi linear hubungan *strain* terhadap rugi daya yang terbaca pada OTDR untuk *multimode* dengan panjang 7 cm adalah :

$$\Delta O = -5,147 \times 10^{-5} \Delta S + 2,831 \quad (4.5)$$

Dengan tingkat kelinearitasan sebesar 94,71 %. Berdasarkan hasil regresi linear dari setiap panjang *multimode* yang berbeda-beda, didapatkan bahwa pada panjang *multimode* 5,5 cm dan 7 cm mempunyai kelinearitasan dan rugi daya yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan intensitas pada rentang daerah tersebut masih masih tinggi. Selain itu, pada panjang serat optik multimode 5,5 cm sampai 7 cm dapat juga digunakan sebagai sensor *strain* karena memiliki kelinearitasan yang tinggi.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian, pengamatan, serta hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Panjang multimode 5,5 cm dan 6 cm terjadi grafik kenaikan. Semakin bertambahnya *strain*, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin besar. Sedangkan panjang multimode 6,5 cm dan 7 cm menunjukkan bahwa terjadi grafik penurunan. Perbedaan grafik seperti ini, dikarenakan adanya titik *re-imaging* pada panjang multimode 6,89 cm. Dimana pada titik ini terjadi interferensi minimum terhadap banyaknya moda yang dilewatkan pada serat optik multimode tersebut, sehingga dapat menyebabkan penurunan pada rugi daya serat optik.
2. Berdasarkan hasil regresi linear dari setiap panjang *multimode* yang berbeda-beda, didapatkan bahwa pada panjang *multimode* 5,5 cm dan 7 cm mempunyai kelinearitasan dan rugi daya yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan intensitas pada rentang daerah tersebut masih masih tinggi. Selain itu, pada panjang serat optik multimode 5,5 cm sampai 7 cm dapat juga digunakan sebagai sensor *strain* karena memiliki kelinearitasan yang tinggi.

## 6. Pustaka

- Agrawal, G.P., 2002, *Fiber-optic communication systems*, Ed. 3, New-York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gholamzadeh, Bahareh and Nabovati, Hooman. 2008. *Fiber Optic Sensors*. World Academy of Science, Engineer. and Technol. 42.
- Hatta, Agus M. et al. 2010 . *Strain sensor based on a pair of singlemode-multimode-singlemode fiber structures in a ratiometric power measurement scheme*. Appl. Opt. Vol. 49. No. 3, 536 – 541.
- Keiser, Gerard, (2000), *Optical Fiber Communication, 3rd ed., McGraw-Hill, Singapore, ISBN 0-07-116468-5*.
- Kumar, Arun et al. 2003. *Transmission characteristics of SMS fiber optic sensor structures*. Opt. Communicat. 219, 215 – 219.
- Kumar, Ibnu Alvian. 2014. *Kabel Jaringan Komputer*.
- Li, Enbang. 2007. *Temperature compensation of multimode interference-based fiber devices*. Opt. Lett. Vol. 32, No. 14, 2064 – 2066.
- Oliviero, Andrew, and Woodward, Bill, (2009), *Cabling: the complete guide to copper and fiber-optic networking*, Indianapolis:Wiley Publishing, Inc., ISBN 978-0-470-47707-6.
- Wang, Qian, Farrell, Gerald and Yan, Wei .2008. *Investigation on Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber Structure*. J. Lightwave Technol. Vol.. 26, No. 5. 512-518.
- Ziemann, Olaf et al. 2008 . *POF Handbook-Optical Short Range Transmission Systems*. Springer : Berlin.