

## ANALISIS RUGI-RUGI *MACROBENDING* PADA CORE SERAT OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE*

Sisca Arisya Harry Andhina<sup>1)</sup>, Waluyo<sup>2)</sup>, Hendro Darmono<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup> Program Studi Jaringan Telekomunikasi Digital, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang  
Email: [arisyasisca@gmail.com](mailto:arisyasisca@gmail.com)

---

### Abstract

*Macrobending* seringkali terjadi pada fiber optik yang tertanam di tanah akibat pergeseran tanah atau batuan di dalam tanah. Dengan terjadinya *macrobending* akan menyebabkan transmisi mengalami gangguan akibat pembengkokan yang dilakukan. Selain karena penggunaan fiber optik, akibat pembengkokan juga akan menghasilkan rugi-rugi. Faktor-faktor tersebut menyebabkan turunnya kualitas kerja fiber optik. Penelitian ini menggunakan *core* serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* karena serat optik berstruktur SMS ini sensitif terhadap pengaruh dari luar.

Pada penelitian ini menggunakan kabel serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* yang terhubung secara manual dan aksial diukur menggunakan alat uji *light source* dan *optical power meter*. Dari kedua jenis kabel yang diukur, menghasilkan rugi-rugi *macrobending* yang akan dibandingkan hasilnya.

Dari hasil pengukuran diperoleh nilai rugi-rugi *macrobending* yang semakin besar dengan semakin kecilnya diameter lilitan, dan semakin banyaknya jumlah lilitan. Nilai rugi-rugi *macrobending* tertinggi pada kabel *multimode* -1,48 dB pada diameter 0,5 cm dengan 5 kali lilitan, nilai rugi-rugi *macrobending* tertinggi pada kabel *singlemode* sebesar -12,73 dB pada diameter 0,5 cm dengan 5 kali lilitan, nilai rugi-rugi *macrobending* terendah pada kabel *multimode* sebesar -0,44 dB pada diameter 5 cm dengan 1 kali lilitan, nilai rugi-rugi *macrobending* terendah pada kabel *singlemode* sebesar -1,69 dB pada diameter 5 cm dengan 1 kali lilitan. Sedangkan nilai rugi-rugi *macrobending* kabel SMS yang terhubung aksial, menunjukkan nilai rugi-rugi *macrobending* tertinggi pada kabel *multimode* sebesar -1,12 dB pada diameter 0,5 cm dengan 5 kali lilitan, nilai rugi-rugi *macrobending* tertinggi pada kabel *singlemode* sebesar -1,18 dB pada diameter 0,5 cm dengan 5 kali lilitan, nilai rugi-rugi *macrobending* terendah pada kabel *multimode* sebesar -0,66 dB pada diameter 5 cm dengan 1 kali lilitan, nilai rugi-rugi *macrobending* terkecil pada kabel *singlemode* sebesar -0,27 dB pada diameter 5 cm dengan 1 kali lilitan. Dari hasil pengukuran juga diperoleh hasil bahwa rugi-rugi *macrobending* kabel SMS yang terhubung manual lebih besar daripada bahwa rugi-rugi *macrobending* kabel SMS yang terhubung aksial

**Keywords:** *rugi-rugi macrobending, singlemode-multimode-singlemode*

---

### 1. PENDAHULUAN

*Bending* merupakan pelemahan yang terjadi akibat perubahan struktur serat optik karena dibengkokkan sehingga terjadi perubahan indeks bias dan sudut sinar datang cahaya yang mengenai *cladding*. *Bending* terdiri atas *microbending* dan *macrobending*. *Macrobending* adalah pembengkokan serat optik dengan radius yang panjang bila dibandingkan dengan radius serat optik. Redaman ini dapat diketahui dengan menganalisis distribusi modal pada serat optik. *Microbending* adalah pembengkokan-pembengkokan kecil yang terjadi pada serat optik akibat ketidakseragaman dalam pembentukan serat atau akibat adanya tekanan yang tidak seragam pada saat pengkabelan. Salah satu cara untuk menguranginya adalah dengan

menggunakan *jacket* yang tahan terhadap tekanan. (Nikles, Thevenaz, Robert, 1996).

*Macrobending* seringkali terjadi pada fiber optik yang tertanam di tanah akibat pergeseran tanah atau batuan di dalam tanah. Dengan terjadinya *macrobending* akan menyebabkan transmisi mengalami gangguan akibat pembengkokan yang dilakukan. Selain karena penggunaan fiber optik, akibat pembengkokan juga akan menghasilkan rugi-rugi. Faktor-faktor tersebut menyebabkan turunnya kualitas kerja fiber optik. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk dapat dijadikan acuan jika terjadi masalah pada serat optik yang dipakai, sehingga usaha perbaikan seperti penyambungan atau penggantian serat optik dapat segera dilakukan.

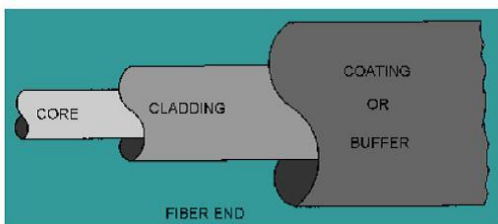
Penelitian ini menggunakan *core* serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* karena serat optik berstruktur SMS ini sensitif

terhadap pengaruh dari luar. Selain itu serat optik berstruktur SMS ini mudah difabrikasi, tidak memerlukan waktu yang lama dalam proses fabrikasi dan biaya fabrikasi yang relatif murah. (Rino 2014). Proses fabrikasi serat optik berstruktur SMS, dapat dilakukan dimana saja tanpa memerlukan ruang khusus, terutama ruangan bebas dari debu dan kotoran. Pada penelitian sebelumnya dengan judul Analisis Pengaruh *Macrobending Losses* Terhadap Performansi Sistem *Time Division Multiplexing* dengan Media Transmisi *Plastic Optical Fiber* dan Analisa Rugi-Rugi *Macrobending* pada Karakteristik Kabel Serat Optik, pada kedua penelitian ini membahas pengaruh *macrobending* terhadap serat optik. Namun penelitian yang telah dilakukan hanya membahas pengaruh *macrobending* terhadap kinerja serat optik jenis *plastic optical fiber* (POF) *singlemode* dan *multimode*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Serat Optik

Serat optik adalah alat optik yang berguna untuk mentransmisikan informasi melalui media cahaya. Teknologi ini melakukan perubahan sinyal listrik kedalam sinyal cahaya yang kemudian disalurkan melalui serat optik dan selanjutnya di konversi kembali menjadi sinyal listrik pada bagian penerima. (Auzaiy, 2008)



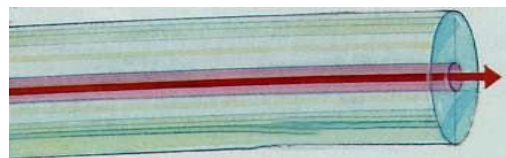
Gambar 1 Struktur Serat Optik (Auzaiy, 2008)

Secara umum struktur serat optik terdiri dari 3 bagian, yaitu :

1. Inti (*core*)
2. Selubung (*cladding*)
3. Jaket (*coating*)

### 2.2 Serat Optik Singlemode

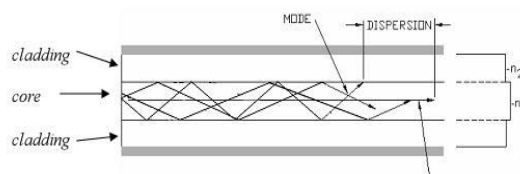
Serat optik jenis ini memiliki diameter inti yang sangat kecil antara 8–10 micron sehingga cahaya hanya dapat merambat melalui satu *mode* saja, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2. Biasanya digunakan untuk transmisi jarak jauh dengan kecepatan tinggi dan memiliki loss yang lebih kecil dari pada *multimode fiber optic*. (Auzaiy, 2008)



Gambar 2 Fiber Optic Singlemode. (Auzaiy, 2008)

### 2.3 Serat Optik Multimode

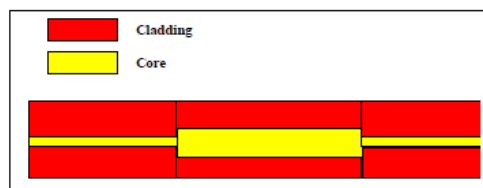
Serat optik jenis ini (lihat Gambar 2.3) memiliki diameter inti 50–80 *micron* sehingga cahaya dapat merambat melalui beragam *mode* (lintasan/ *path*). Pada saat sebuah pulsa cahaya melalui *fiber optic multimode*, daya pulsa didistribusikan hampir ke seluruh *mode* dimana setiap *mode* memiliki kecepatan yang berbeda, sehingga *mode* dengan kecepatan yang lebih tinggi akan sampai terlebih dahulu. Fenomena ini disebut *modal dispersion* dan mengakibatkan pulsa yang dikirim mengalami pelebaran. Serat optik jenis ini biasanya digunakan untuk transmisi jarak pendek dengan kecepatan rendah, karena memiliki *loss* yang besar. (Auzaiy, 2008)



Gambar 3 Fiber Optic Multimode. (Auzaiy, 2008)

### 2.4 Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS)

Serat optik berstruktur SMS merupakan jenis serat optik yang terdiri atas serat optik *singlemode* dan *multimode* yang disambung secara *axial*. Serat optik SMS memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat difabrikasi dengan cara menyambungkan serat optik *singlemode* pada kedua sisi serat optik *multimode*, dengan menggunakan alat penyambung *fusion splicer*. Penyambungan yang diharapkan mesti berada pada posisi yang *alignment* sehingga tidak ada cahaya yang keluar dari hasil *splicing* kedua jenis serat optik tersebut. Hasil penyambungan kedua jenis serat optik *singlemode* dan *multimode* seperti yang tampak pada Gambar 4 yang terkopel pada serat optik *singlemode* akan menjadi lebih sensitif. (Hatta et al, 2010)



Gambar 4 Skema Serat Optik Berstruktur SMS. (Hatta et al, 2010)

### 2.5 Rugi-Rugi Daya pada Serat Optik

Energi atau daya yang dibawa oleh cahaya akan mengalami pelemahan (rugi-rugi/loss) akibat terjadinya kebocoran atau karena kurangnya kejernihan bahan serat optik. Besaran pelemahan energi sinyal informasi dari fiber optik dinyatakan dalam *decibel* (dB) dan disebabkan oleh 3 faktor utama yaitu absorpsi, hamburan (*scattering*) dan *bending losses*. (Mulyana, 2015).

### 2.6 Rugi-rugi Bending

*Bending* merupakan pelemahan yang terjadi akibat perubahan struktur serat optik karena dibengkokkan sehingga terjadi perubahan indeks bias dan sudut sinar datang cahaya yang mengenai *cladding*. *Bending* terdiri atas *microbending* dan *macrobending*. *Macro bending* adalah pembengkokan serat optik dengan radius yang panjang bila dibandingkan dengan radius serat optik. Redaman ini dapat diketahui dengan menganalisis distribusi modal pada serat optik. *Microbending* adalah pembengkokan-pembengkokan kecil yang terjadi pada serat optik akibat ketidakseragaman dalam pembentukan serat atau akibat adanya tekanan yang tidak seragam pada saat pengkabelan. Salah satu cara untuk menguranginya adalah dengan menggunakan *jacket* yang tahan terhadap tekanan. (Nikles, Thevenaz, Robert, 1996). Bengkokan pada radius paling kecil *macro bending* umumnya sebesar jari-jari lingkaran <1mm. (Jhon A Jay, 2011).

### 2.7 Performansi Sistem Komunikasi Serat Optik

Daya optik yang sampai tergantung pada jumlah ditambah serat dan dikurangi kerugian sepanjang perjalanan, *link loss budget* yaitu kerugian masing-masing elemen dalam *link*. Persamaan *link loss budget* dihitung pada persamaan dibawah ini. (Keiser, 2003, hal.267)

$$P_T = P_S - P_R$$

Keterangan :

$P_T$  = Optical power transmit/rugi-rugi total (dB)

$P_S$  = Optical power source (dBm)

$P_R$  = Optical power receiver/ minimum receiver sensitivity (dBm)

Persamaan diatas dapat dijabarkan secara rinci pada persamaan dibawah ini :

$$P_T = (N_s \times \alpha_{splice}) + (\alpha_{long} \times L) + (N_c \times \alpha_{con}) + \text{Other losses} + \text{system margin}$$

Keterangan :

$P_T$  = loss daya total (dB)

L = panjang kabel (m)

$N_s$  = jumlah titik sambungan/*splice*

$N_c$  = jumlah penggunaan konektor

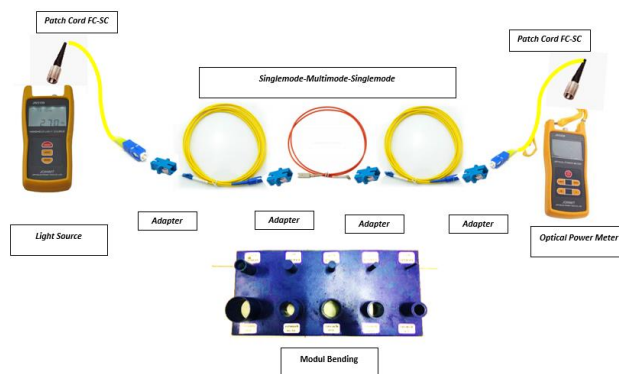
$\alpha_{splice}$  = rugi-rugi sambungan (dB)

$\alpha_{con}$  = rugi-rugi konektor (dB)

$\alpha_{long}$  = rugi-rugi panjang kabel (dB)

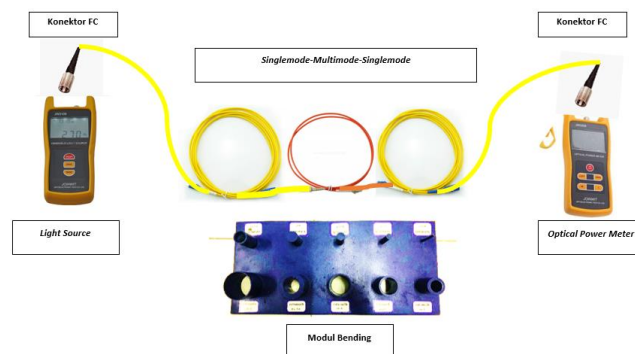
### 3. METODE PENELITIAN

Pengukuran rugi-rugi dilakukan terhadap *singlemode-multimode* yang terhubung secara manual dan *singlemode-multimode* yang terhubung secara aksial



Gambar 5 Rancangan sistem pengukuran kabel SMS dengan metode manual

Gambar 5 menunjukkan bahwa serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlmode* dibentuk dengan cara manual menggunakan konektor dan adapter, dengan ketentuan panjang serat optik masing-masing adalah 25 meter. Sehingga total panjang kabel yang diukur adalah 75 meter. *Light source* dihubungkan ke kabel serat optik menggunakan *patch cord* FC-SC. Serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlmode* diberi perlakuan berupa *macro bending* dengan alat modul *macro bending* sesuai variasi diameter 0,5 cm, 1cm, 1,5cm, 2cm, 2,5 cm, 3cm, 3,5cm, 4cm, 4,5cm, 5cm dan lilitan yang ditentukan 1 sampai 5 lilitan. Perlakuan *macro bending* yang diberikan akan diberlakukan pada bagian *multimode* dan *singlemode* kedua yang diposisikan sebelum OPM.



Gambar 6 Rancangan sistem pengukuran kabel SMS dengan metode aksial

Dalam Gambar 6 menunjukkan bahwa *light source* digunakan sebagai sumber dengan panjang gelombang 1310 nm. Kemudian *light source*

dihubungkan dengan serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* menggunakan konektor FC. Kabel serat optik berstruktur SMS ini dibentuk dengan cara aksial yaitu disambung menggunakan alat *fusion splicer*, dengan ketentuan panjang serat optik masing-masing adalah 25 meter. Sehingga total panjang kabel yang diukur adalah 75 meter. Serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* diberi perlakuan berupa *macrobending* dengan alat modul *macrobending* sesuai variasi diameter 0,5 cm, 1cm, 1,5cm, 2cm, 2,5 cm, 3cm, 3,5cm, 4cm, 4,5cm, 5cm dan jumlah lilitan yang ditentukan 1 sampai 5 lilitan. Perlakuan *macrobending* yang diberikan akan diberlakukan pada bagian *multimode* dan *singlemode* kedua yang diposisikan sebelum OPM.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kabel serat optik *singlemode-multimode-singlemode* yang terhubung secara manual dan secara aksial menggunakan alat uji *light source* dan *optical power meter*, diolah menggunakan rumus

$$P_T = P_S - P_R$$

Keterangan :

$P_T$  = *Optical power transmit*/rugi-rugi total (dB)

$P_S$  = *Optical power source* (dBm)

$P_R$  = *Optical power receiver/ minimum receiver sensitivity* (dBm)

$$Loss (dB) = P_{in} (dBm) - P_{out} (dBm)$$

Dari persamaan tersebut, *loss* merupakan nilai rugi-rugi pada kabel, nilai  $P_{out}$  merupakan daya yang diterima pada *optical power meter* dan  $P_{in}$  merupakan daya pada *optical light source*. Daya pada *optical light source* sebesar -7 dBm yang merupakan spesifikasi dari OLS. Sebagai contoh kabel *multimode* SMS yang terhubung manual pada diameter 5 cm dan 1 lilitan menghasilkan  $P_{out}$  sebesar -13,33 dBm. Maka diperoleh nilai *loss* kabel sebesar -6,33 dB.

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung rugi-rugi *macrobending*. Sebagai contoh untuk perhitungan rugi-rugi *macrobending* pada saat kabel *multimode* SMS yang terhubung manual diberi perlakuan *macrobending* dengan diameter 5 cm dan jumlah lilitan sebanyak 1 kali lilitan. Rugi-rugi yang dihasilkan sebesar -6,33 dB diolah menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_T = Other losses + (\alpha_{long} \times L) + (Nc \times \alpha_{con}) + macrobending losses$$

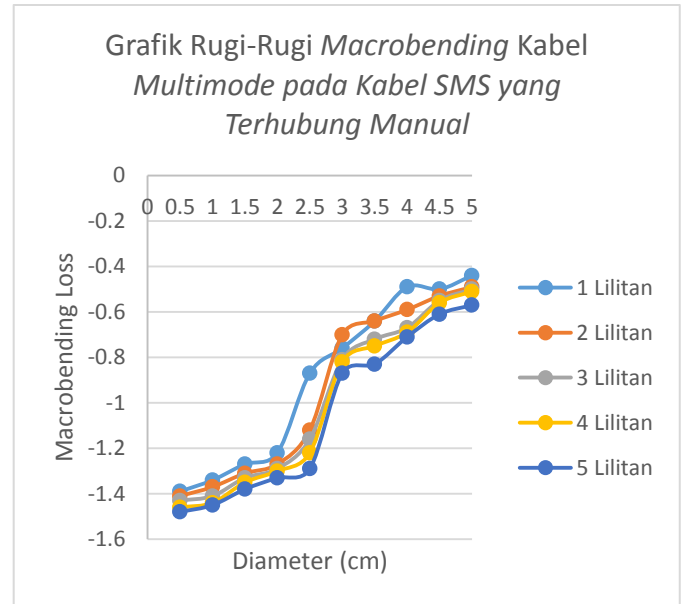
$$6,33 = 2,9025 + (0,0015 \times 25) + (0,001 \times 50) + (2 \times 0,25)$$

$$+ (8 \times 0,20) + (4 \times 0,20) + macrobending losses$$

$$6,33 = (2,9025) + (0,0875) + (2,9) + macrobending losses$$

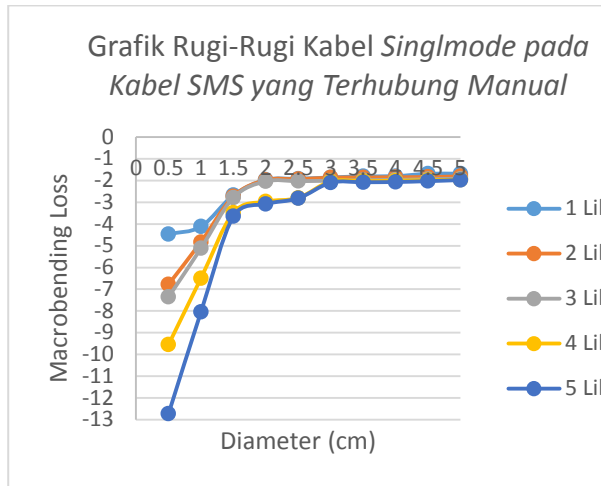
$$macrobending losses = 0,44 dB$$

Hasil perhitungan rugi-rugi *macrobending* kabel serat optik *singlemode-multimode-singlemode* yang terhubung secara manual dan secara aksial ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



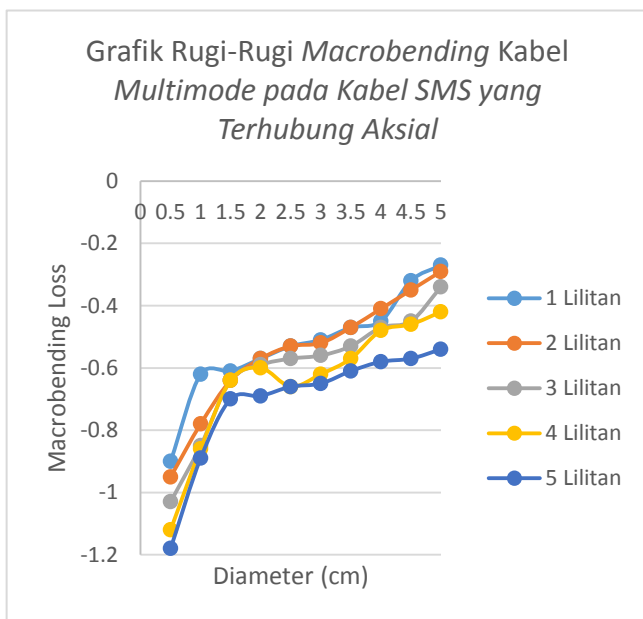
Gambar 7 Grafik Rugi-Rugi Macrobending Kabel Multimode pada Kabel SMS yang Terhubung Manual

Dari Gambar 7 menunjukkan bahwa dari variasi diameter *macrobending* yang diberikan yaitu, semakin kecil diameter lekukan, maka semakin besar rugi-rugi *macrobending* yang dihasilkan. Sedangkan untuk variasi jumlah lilitan, menunjukkan hasil semakin banyak jumlah lilitan maka, nilai rugi-rugi *macrobending* semakin besar. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rugi-rugi *macrobending* kabel SMS yang terhubung manual, nilai *macrobending loss* terbesar pada kabel *multimode* sebesar -1,48 dB pada diameter 0,5 cm dengan 5 kali lilitan, sedangkan nilai *macrobending loss* terkecil pada kabel *multimode* sebesar -0,44 dB pada diameter 5 cm dengan 1 kali lilitan.



Gambar 8 Grafik Rugi-Rugi *Macrobending* Kabel *Singlemode* pada Kabel SMS yang Terhubung Manual

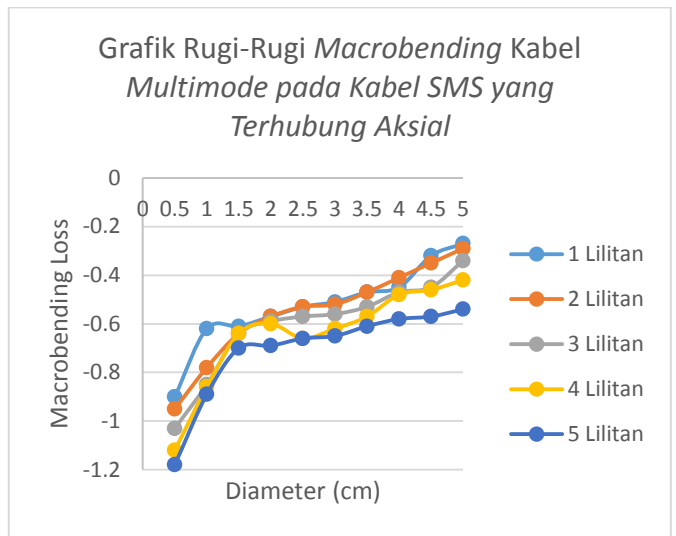
Dari Gambar 8 menunjukkan bahwa dari variasi diameter *macrobending* yang diberikan yaitu, semakin kecil diameter lekukan, maka semakin besar rugi-rugi *macrobending* yang dihasilkan. Sedangkan untuk variasi jumlah lilitan, menunjukkan hasil semakin banyak jumlah lilitan maka, nilai rugi-rugi *macrobending* semakin besar. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rugi-rugi *macrobending* kabel SMS yang terhubung manual, nilai *macrobending loss* terbesar pada kabel *singlemode* sebesar -12,73 dB pada diameter 0,5 cm dengan 5 kali lilitan, sedangkan nilai *macrobending loss* terkecil pada kabel *singlemode* sebesar -1,69 dB pada diameter 5 cm dengan 1 kali lilitan.



Gambar 9 Grafik Rugi-Rugi *Macrobending* Kabel *Multimode* pada Kabel SMS yang Terhubung Aksial

Dari Gambar 9 menunjukkan bahwa dari variasi diameter *macrobending* yang diberikan yaitu, semakin kecil diameter lekukan, maka semakin besar rugi-rugi *macrobending* yang

dihasilkan. Sedangkan untuk variasi jumlah lilitan juga menunjukkan hasil semakin banyak jumlah lilitan, maka nilai rugi-rugi *macrobending* semakin besar. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rugi-rugi *macrobending* kabel SMS yang terhubung aksial, nilai *macrobending loss* terbesar pada kabel *multimode* sebesar -1,12 dB pada diameter 0,5 cm dengan 5 kali lilitan, sedangkan nilai *macrobending loss* terkecil pada kabel *multimode* sebesar -0,66 dB pada diameter 5 cm dengan 1 kali lilitan.



Gambar 10 Grafik Rugi-Rugi *Macrobending* Kabel *Singlemode* pada Kabel SMS yang Terhubung Aksial

Dari Gambar 10 menunjukkan bahwa dari variasi diameter *macrobending* yang diberikan yaitu, semakin kecil diameter lekukan, maka semakin besar rugi-rugi *macrobending* yang dihasilkan. Sedangkan untuk variasi jumlah lilitan juga menunjukkan hasil semakin banyak jumlah lilitan, maka nilai rugi-rugi *macrobending* semakin besar. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rugi-rugi *macrobending* kabel SMS yang terhubung aksial, nilai *macrobending loss* terbesar pada kabel *singlemode* sebesar -1,18 dB pada diameter 0,5 cm dengan 5 kali lilitan, sedangkan nilai *macrobending loss* terkecil pada kabel *multimode* sebesar -0,27 dB pada diameter 5 cm dengan 1 kali lilitan.

## 5. PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan, diperoleh hasil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi diameter *macrobending* yang diberikan menghasilkan kesimpulan bahwa semakin kecil diameter lekukan, maka semakin besar rugi-rugi yang dihasilkan dan untuk variasi jumlah lilitan semakin banyak jumlah lilitan, maka nilai rugi-rugi semakin besar.

2. Rugi-rugi yang dihasilkan serat optik berstruktur SMS yang terhubung secara manual lebih besar dibandingkan dengan serat optik berstruktur SMS yang terhubung secara aksial, yaitu pada kabel SMS yang terhubung manual, nilai rugi-rugi terbesar pada kabel *multimode* sebesar -7,37 dB, nilai rugi-rugi terkecil pada kabel *multimode* sebesar -6,33 dB, nilai rugi-rugi terbesar pada kabel *singlemode* sebesar -18,62 dB, sedangkan nilai rugi-rugi terkecil pada kabel *singlemode* sebesar -7,58 dB, sedangkan nilai *loss* dari kabel SMS yang terhubung aksial nilai rugi-rugi terbesar pada kabel *multimode* sebesar -2,92 dB, sedangkan nilai rugi-rugi terkecil pada kabel *multimode* sebesar -2,46 dB, nilai rugi-rugi terbesar pada kabel *singlemode* sebesar -2,98, nilai rugi-rugi terkecil pada kabel *singlemode* sebesar -2,07 dB.
3. Rugi-rugi sebelum *macrobanding* pada serat optik berstruktur SMS yang terhubung secara manual sebesar -5,89 dB, sedangkan rugi-rugi sebelum *macrobanding* pada serat optik berstruktur SMS yang terhubung secara aksial sebesar -1,8 dB, kedua nilai tersebut dijadikan acuan untuk memperoleh nilai hasil persambungan dan perhitungan *macrobanding* sehingga menghasilkan rugi-rugi *macrobanding* yaitu, kabel SMS yang terhubung manual, nilai *macrobanding loss* terbesar pada kabel *multimode* sebesar -1,48 dB pada diameter 0,5 cm, nilai *macrobanding loss* terbesar pada kabel *singlemode* sebesar -12,73 dB, nilai *macrobanding loss* terkecil pada kabel *multimode* sebesar -0,44 dB, nilai *macrobanding loss* terkecil pada kabel *singlemode* sebesar -1,69 dB, sedangkan nilai rugi-rugi *macrobanding* kabel SMS yang terhubung aksial, *macrobanding loss* terbesar pada kabel *multimode* sebesar -1,12 dB, nilai *macrobanding loss* terbesar pada kabel *singlemode* sebesar -1,18 dB, nilai *macrobanding loss* terkecil pada kabel *multimode* sebesar -0,66 dB, nilai *macrobanding loss* terkecil pada kabel *singlemode* sebesar -0,27 dB.

## 5.2 SARAN

Saran untuk mengembangkan sistem yang sudah dilakukan dalam penelitian ini :

1. Pada penggunaan jenis *multimode*, *singlemode* disarankan untuk tidak mengalami bengkokan kurang dari 1 cm, sedangkan untuk kabel *singlemode-multimode-singlemode* yang terhubung secara manual dan *singlemode-multimode-*

*singlemode* yang terhubung secara aksial disarankan untuk tidak mengalami bengkokan kurang dari 3 cm.

2. Pengembangan penelitian dapat dilakukan dengan mengubah struktur kabel serat optik menjadi *multimode-singlemode-multimode*
3. Pengembangan lain dapat dilakukan dengan menambah variabel uji seperti pengamatan panjang gelombang

## 6. REFERENSI

1. Niklès, M., Thévenaz, L., Robert P. A. (1996). *Simple Distributed Fiber Sensor Based on Brillouin Gain Spectrum Analysis*, Optics Lett. 21(10), pp.758-760
2. Rino, A. (2014). *Kajian Eksperimental Sensor Pergeseran Rentang Panjang Menggunakan Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS)*. Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
3. Auzaiy. (2008). Analisis Power Budget Jaringan Komunikasi Serat Optik PT Telkom di STO Jatinegara. *Jurnal Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia*
4. Hatta, A. M, et al. (2010) *Strain sensor based on a pair of Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber Structures in a Ratiometric Power Measurement Scheme*. Optical Society of America. Applied Optics, vol. 49, No. 3
5. Mulyana, lis. (2015). *Pengembangan sensor ketinggian Fluida Berbasis Polymer Optical Fiber (POF) Berbentuk Non-Bended*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
6. Jay, J. A. (2010). *An Overview of Macrobanding and. Microbanding of Optical Fibers*