

# SERAT OPTIK RAGAM TUNGGAL DAN RAGAM JAMAK SEBAGAI SENSOR

Ana Silfiani Rahmawati

Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Flores

Corresponding Author, Email: [anarahmawati734@gmail.com](mailto:anarahmawati734@gmail.com)

---

## ABSTRACT

---

### **Keywords:**

*arch loss, single-variety optical fiber, plural fiber optics, sensors.*

This article discusses the use of curvature loss properties in both single and multiple variant optical fibers as sensors. Physical description and light propagation properties for both types of fibers are discussed along with their curvature loss formulations. The measurement of curvature loss for single variant fibers and the plural variability is done by passing light on curved fibers at various diameters of curvature and their output light measured using a power meter. For single-variant fibers used diode laser light sources and variations in arch diameter from 18 to 6 mm; while for multiple variants, LED light sources are used with variations in curvature diameters from 50 to 5 mm

©2018 JDS. Flores University

---

## ABSTRAK

---

### **Kata kunci:**

*rugi lengkungan, serat optik ragam tunggal, serat optik ragam jamak, sensor*

Artikel ini membahas pemanfaatan sifat rugi lengkungan pada serat optik ragam tunggal maupun ragam jamak sebagai sensor. Deskripsi fisik dan sifat penjalaran cahaya untuk kedua jenis serat tersebut dibahas beserta formulasi rugi lengkungannya. Pengukuran rugi lengkungan untuk serat ragam tunggal dan ragam jamak dilakukan dengan cara melewatkan cahaya pada serat yang dilengkungkan pada bermacam diameter lengkungan dan cahaya luarannya diukur menggunakan power meter. Untuk serat ragam tunggal digunakan sumber cahaya laser diode dan variasi diameter lengkungan dari 18 hingga 6 mm; sedangkan untuk serat ragam jamak digunakan sumber cahaya LED dengan variasi diameter lengkungan dari 50 hingga 5 mm

©2018 JDS. Flores University

---

## PENDAHULUAN

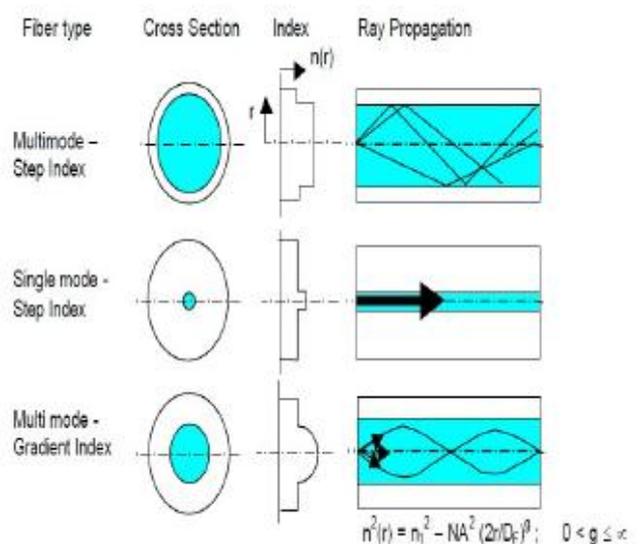
Serat optik dalam penggunaannya untuk sistem komunikasi, mensyaratkan rugi-rugi transmisi yang seminimum mungkin agar transmisi dan penerimaan data tidak terganggu. Fenomena rugi-rugi transmisi yang menyebabkan kebocoran cahaya keluar dari serat dapat dimanfaatkan dan diperbesar efek gangguannya sehingga perubahan sinyal optik

yang dihasilkan dapat menjadi suatu ukuran untuk gangguan luar. Rugi transmisi akibat dilakukannya pelengkungan serat (*bending loss*), misalnya dapat dimanfaatkan sebagai sensor bermacam besaran fisis seperti pergeseran, tekanan, level air dan indeks bias cairan. Serat optik jenis ragam tunggal (*single-mode*) dan ragam jamak (*multi-mode*) dapat digunakan sebagai sensor berbasis fenomena rugi lengkungan ini. Serat optik ragam tunggal

mempunyai diameter inti (*core*) antara 8 - 10  $\mu\text{m}$  dan selubung (*cladding*) 125  $\mu\text{m}$ . Mode cahaya tunggal menjalar pada serat dengan arah paralel terhadap panjang serat dan dapat dipertahankan sampai jarak yang jauh lebih panjang daripada serat jenis ragam jamak sehingga dapat digunakan untuk sensor jarak jauh hingga 5-10 km. Kelemahannya, karena ukuran inti serat yang kecil maka harus menggunakan sumber cahaya laser yang cukup mahal harganya dan cukup susah pengoperasiannya (memerlukan rangkaian untuk stabilisasi, dll.).

Serat optik jenis ragam jamak dengan diameter inti sekitar 50 - 62.5  $\mu\text{m}$  umum digunakan untuk berbagai aplikasi jarak pendek (hingga 1 - 2 km), misalnya untuk sistem komunikasi LAN (*local area network*). Kelebihan, karena ukuran intinya yang lebih besar maka lebih mudah penanganannya dan bisa menggunakan sumber cahaya yang lebih murah seperti LED (*Light Emitting Diode*). Secara intuitif, semakin kecil diameter lengkungan serat akan semakin besar rugi lengkungannya sehingga akan semakin kecil daya cahaya yang ditransmisikannya. Namun pada prakteknya tidak selalu demikian, dikenal adanya efek *whispering gallery*. Akibatnya, pada suatu keadaan tertentu, ketika diameter lengkungan mengecil, cahaya yang keluar dari inti serat optik dipantulkan masuk kembali oleh lapisan-lapisan pelindungnya hingga daya optis yang keluar dari serat optik justru membesar. Hal ini harus diperhatikan dan harus dibuat faktor koreksinya agar tidak mengganggu sistem pembacaan sensor. Pada artikel ini akan dibahas pemanfaatan sifat rugi lengkungan serat optik ragam tunggal dan ragam jamak sebagai sensor pergeseran. Telaah dilakukan dengan pengamatan rugi lengkungan pada masing-masing serat untuk mendapatkan daerah kerja serta sensitivitas sistem sensor. Sebagai contoh kasus, akan disajikan sistem pergeseran tanah menggunakan serat optik ragam tunggal yang telah diuji coba di UPT Balai Informasi dan Konservasi Kebumihan-LIPI di Karang Sambung, Jawa Tengah.

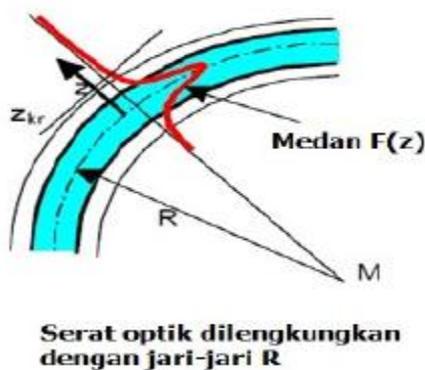
Serat optik pada dasarnya terdiri atas inti (*core*) dan pelindung (*cladding*) serta dalam fungsinya sebagai pemandu cahaya serat bekerja berdasarkan prinsip pantulan dalam total (*total internal reflection*). Secara umum serat optik sebagai pemandu gelombang diklasifikasikan berdasarkan profil indeks bias  $n(r)$  dari bahan inti serta ragam perambatan cahayanya sehingga dikenal jenis serat optik ragam tunggal *step index*, dan ragam jamak *step index* maupun *gradient index* (lihat Gambar 1). Dalam perkembangannya profil indeks bias dapat didesain sedemikian rupa bergantung aplikasi yang diperlukan sehingga secara umum sering diklasifikasikan hanya sebagai serat optik ragam tunggal dan ragam jamak.



**Gambar 1.** Penampang lintang, profil indeks bias dan penjalaran cahaya didalam serat optik jenis ragam tunggal dan ragam jamak

Dalam penjalaran cahaya didalam serat optik terdapat bermacam faktor yang dapat menimbulkan rugi cahaya (*loss*) antara lain absorpsi bahan, hamburan material, hamburan pemandu gelombang karena ketidakhomogen bentuk, serta rugi-rugi karena lengkungan. Rugi lengkungan ini yang hendak dibahas karena merupakan faktor penting dalam aplikasi serat optik sebagai sensor. Terjadinya

rugi/penurunan daya pada serat optik yang dilengkungkan dengan jari-jari  $R$  (lihat Gambar 2) dapat dijelaskan sebagai berikut berikut: gelombang cahaya  $F(z)$  terkonsentrasi pada inti serat dan merambat dengan kecepatan sesuai indeks bias mediumnya. Pada penampang melintang serat, di daerah radial yang jauh dari pusat lengkungan  $M$ , cahaya harus merambat lebih cepat daripada yang merambat pada intinya untuk mempertahankan kecepatan rambatnya. Namun pada daerah kritis  $z_{kr}$ , kecepatannya tak dapat melebihi kecepatan maksimumnya (sekitar  $3 \times 10^8$  m/s, yakni kecepatan cahaya di udara) akibatnya sebagian cahaya akan ditransmisikan keluar dari inti serat, yang umumnya disebut sebagai rugi pada bagian serat yang dilengkungkan tersebut.



**Gambar 2.** Fenomena penjalaran cahaya pada serat optik yang dilengkungkan dengan jari-jari  $R$

Semakin kecil jari-jari lengkungan  $R$  maka nilainya semakin mendekati nilai indeks bias selubung/*cladding* sehingga makin banyak cahaya yang keluar dari inti serat, atau semakin besar ruginya. Profil indeks bias serat saat dilengkungkan akan berbeda dengan saat serat dalam keadaan lurus dan nilainya dapat dinyatakan oleh persamaan berikut ini :

$$n_{\text{material}} = n \left[ 1 - \frac{n^2 x}{2r} (p_{12} - v(p_{11} + p_{12})) \right]$$

dengan:

- $R$  = jari-jari lengkungan
- $x$  = posisi pada arah lengkungan

- $n$  = indeks bias serat pada saat lurus
- $v$  = nilai perbandingan Poisson bahan serat
- $p_{11}$  dan  $p_{12}$  = koefisien elastis serat

Bila  $P(0)$  adalah daya optis sebelum serat dilengkungkan maka besarnya daya yang keluar dari serat optik yang dilengkungkan sepanjang  $L$  adalah :

$$P(L) = P(0)e^{\gamma L}$$

Dengan:  $\gamma$  menyatakan koefisien rugi untuk serat optik ragam tunggal jenis step index. Nilai  $\gamma$  dapat didekati oleh persamaan berikut:

$$\gamma = \frac{\sqrt{\pi}}{2p} \sqrt{\frac{\rho}{Rc}} \frac{U^2}{V^2 W^2 K_1(W)^2} \exp\left\{-\frac{4 Rc W^3 \Delta}{3 \rho V^2}\right\}$$

Dengan:

- $\rho$  = jari-jari inti serat
- $R_c$  = jari-jari lengkungan serat
- $\Delta$  = parameter beda indeks bias inti dan selubung serat
- $K_1 W$  = fungsi Bessel orde pertama untuk nilai  $W$
- $U, V$  dan  $W$  = merupakan parameter serat optik ragam tunggal

Dari persamaan di atas yang merupakan persamaan pendekatan dengan model struktur serat optik yang sederhana; hanya terdiri atas inti dan selubung berjari-jari tak berhingga, nilai rugi lengkungan akan membesar secara eksponensial bila diameter lengkungan mengecil. Namun pada prakteknya tidak selalu demikian, pada suatu keadaan tertentu (ketika diameter lengkungan mengecil), cahaya yang keluar dari inti serat optik dipantulkan masuk kembali oleh lapisan selubungnya hingga daya optis yang keluar dari serat optik justru membesar. Efek ini seperti telah disinggung sebelumnya, lazim disebut sebagai *whispering gallery*.

## METODE PENELITIAN

Eksperimen yang akan dilakukan adalah pengukuran rugi lengkungan, masing-masing untuk serat optik ragam tunggal dan ragam jamak dengan set up pengukuran seperti pada Gambar 3.

Untuk eksperimen pertama digunakan serat optik ragam tunggal (dari Thorlabs, Inc)

dengan diameter inti 8 – 10  $\mu\text{m}$ , diameter selubung 125  $\mu\text{m}$  dan lapisan pelindung plastik berdiameter 0.9 mm. Sebagai sumber cahaya digunakan *fiber pigtailed* laser dioda (Thorlabs, Inc) pada panjang gelombang 1310 nm dengan daya maksimum 2.5 mW. Untuk eksperimen kedua digunakan serat optik ragam jamak jenis OM2 buatan Tyco Electronics. Cahaya dengan panjang gelombang 13100 nm dari *Stabilized LED Source* jenis Anritsu MG9001A dimasukkan kedalam serat optik tersebut. Daya cahaya luaran untuk pengukuran rugi lengkungan kedua jenis serat optik diukur dengan menggunakan *Power Meter* jenis Anritsu ML9002A.

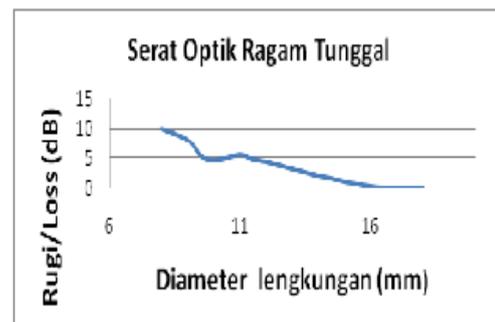


**Gambar 3.** Set up pengukuran rugi lengkungan serat optik

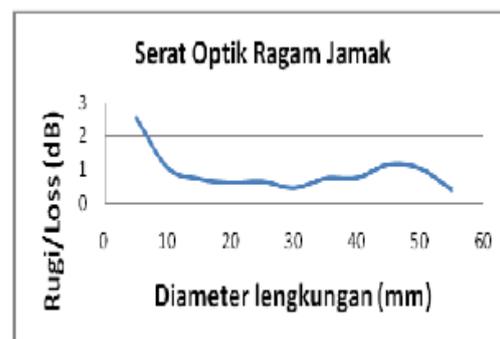
Tahapan eksperimen yang dilakukan adalah sebagai berikut: pertama-tama dilakukan pengukuran daya keluaran cahaya lewat serat optik ketika dalam keadaan lurus (misalnya  $P_1$  dBm). Suatu bagian dari serat kemudian dilengkungkan (dililitkan satu kali lilitan pada silinder dengan diameter tertentu) lalu diukur daya luarannya (misalnya  $P_2$  dBm). Besarnya rugi lengkungan (*bending loss*,  $BL$ ) pada diameter lengkungan tersebut adalah  $BL = P_2 - P_1$  dB. Untuk keperluan percobaan ini telah dibuat struktur mekanik dari bahan *acrylic* berupa silinder dengan diameter bervariasi dari 5.5 cm hingga 0.5 cm (lihat Gambar 3).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 diperlihatkan grafik rugi lengkungan ( $y$ ) sebagai fungsi diameter lengkungan ( $x$ ), masing-masing untuk serat optik ragam tunggal (Gambar 4) dan serat optik ragam jamak (Gambar 5). Satu hal yang harus diperhatikan pada pengukuran rugi lengkungan serat optik ini adalah munculnya gejala *whispering gallery*, yakni gejala kenaikan daya ketika diameter serat optik mengecil karena pada kondisi ini cahaya yang keluar dari inti serat dipantulkan kembali kedalam inti oleh selubung dan lapisan-lapisan pelindung serat.



**Gambar 4.** Grafik rugi lengkungan sebagai fungsi diameter lengkungan untuk serat optik ragam tunggal



**Gambar 5.** Grafik rugi lengkungan sebagai fungsi diameter lengkungan untuk serat optik ragam jamak

Dari kedua grafik hasil pengamatan terlihat bahwa kurva berbentuk eksponensial dengan diselengi efek *whispering gallery* pada keduanya. Daerah sepanjang kurva menunjukkan daerah kerja (*working range*) sensor serat optik; untuk ragam tunggal nilainya sekitar 10 mm (Gambar 4) sedangkan untuk

ragam jamak sekitar 50 mm (Gambar 5). Hal lain yang bisa dicatat adalah untuk serat jenis ragam tunggal karena ukuran inti yang kecil maka dalam penggunaannya umum menggunakan sumber cahaya laser; sedangkan untuk serat optik ragam jamak dengan ukuran intinya yang lebih besar dapat menggunakan sumber cahaya yang lebih murah harganya yaitu LED dan daerah kerjanya bisa mencapai 50 mm (Gambar 5). Pada kedua jenis serat muncul efek *whispering gallery* (untuk serat ragam tunggal pada daerah diameter lengkungan 10 – 11 mm; sedangkan untuk serat ragam jamak pada daerah diameter 25, 35 dan 45 mm) dan dalam aplikasi dilapangan nanti perlu dibuatkan faktor koreksinya agar didapatkan hasil pembacaan yang benar. Beberapa faktor yang perlu dipelajari lebih lanjut tentang pemanfaatan rugi lengkungan serat optik sebagai sensor selanjutnya antara lain adalah faktor panjang serat dan sensitivitas sensor.

## KESIMPULAN

Telah diuraikan pemanfaatan sifat rugi lengkungan serat optik jenis ragam tunggal dan ragam jamak sebagai sensor. Profil dan sifat penjalaran cahaya untuk kedua jenis serat dibahas beserta formulasi rugi lengkungannya. Pengukuran rugi lengkungan untuk serat ragam tunggal dan ragam jamak telah dilakukan dan diperoleh grafik diameter sebagai fungsi intensitas cahaya yang menghasilkan spesifikasi daerah kerja sensor yaitu 10 mm untuk serat ragam tunggal serta 50 mm untuk serat ragam jamak.

## REFERENSI

Bahareh Gholamzadeh, and Hooman Nabovati, (2008). *Fiber Optic Sensors*, World Academy of Science, Engineering and Technology. 297-307.

Clifford R. Pollock. (1995). *Fundamentals of Optoelectronics*. Chicago: Irwin Inc

Frank F. Ruhl. (1990). *Lecture Notes on Single-Mode Fibre Theory*. Sydney: University of New South Wales

Reinhard Jenny, M.S. (2000). *Physics, Fundamentals of Fiber Optics: An Introduction for Beginner*, Volpi Manufacturing Inc., 8-10.

Zendehnam, A. (2010). Investigation of Bending Loss in A Single Mode Optical Fibre, *Pramana-Journal of Physics, Indian Academy of Sciences*. 74(4), 591- 603