

# Komputasi Efisiensi Dan Linearitas Daya Optik Pada Pemisahan Longitudinal Serat Optik Indeks Undak Multiragam Dengan Metode Simpson

Warsono

Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efisiensi ( $\eta$ ) dan linearitas daya optik pada pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam. Pemisahan longitudinal serat optik adalah peletakan dua ujung serat dengan sumbu-sumbunya segaris sehingga diantara kedua ujung serat terdapat celah. Nilai linearitas daya optik dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan jangkauan ukur pada sensor pergeseran berbasis serat optik.

Pada penelitian ini, nilai efisiensi daya optik sebagai fungsi jarak pisah serat dihitung dengan metode Simpson. Nilai hasil perhitungan dinyatakan dalam bentuk angka dan grafik. Variasi hubungan antara efisiensi dan pelemahan daya optik dengan jarak pisah serat ditentukan oleh parameter  $NA$ . Nilai  $NA$  yang dipilih dalam penelitian ini ada 5 macam yaitu : 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5. Linearitas daya optik dihitung dengan menggunakan metode regresi linear. Komputasi nilai efisiensi dan linearitas daya optik dilakukan dengan program MATLAB versi 5.3 yang dikembangkan oleh The Mathworks, Inc.

Hasil komputasi menunjukkan bahwa efisiensi daya optik ( $\eta$ ) makin kecil dengan makin besarnya jarak pisah serat ( $z$ ). Pada daerah  $z$  kecil nilai  $\eta$  turun tajam dan pada daerah  $z$  besar nilai  $\eta$  turun perlahan. Pola hubungan antara efisiensi daya optik dengan jarak pisah serat pada daerah dengan jarak pisah kecil bersifat linear dan pada daerah dengan jarak pisah besar tidak linear. Nilai linearitas daya optik yang diperoleh dari  $r = 0,9995$  untuk  $NA$  sebesar 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 masing-masing adalah  $(0 - 16.5)a$ ,  $(0 - 8.0)a$ ,  $(0 - 5.5)a$ ,  $(0 - 4.0)a$ , dan  $(0 - 3.0)a$ , dengan  $a$  adalah jejari inti serat optik. Hal ini menunjukkan bahwa makin besar  $NA$  makin kecil linearitasnya. Jika pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam digunakan sebagai bahan sensor pergeseran, maka serat optik dengan tingkap numerik lebih kecil akan mempunyai jangkauan ukur lebih lebar.

Kata-kata kunci : serat optik, efisiensi daya optik, linearitas, metode Simpson

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Pemisahan longitudinal serat optik adalah peletakan dua ujung serat dengan sumbu-sumbunya segaris sehingga diantara kedua ujung terdapat celah. Jika pada serat dilewatkan berkas cahaya, misalnya cahaya LED, maka daya optis yang diterima oleh ujung serat penerima bergantung pada lebar celah (jarak pisah serat). Makin besar jarak pisah serat menyebabkan daya optik yang diterima oleh

ujung serat penerima makin kecil. Efisiensi daya optik yang merupakan perbandingan antara daya optik yang diterima ujung serat penerima dengan daya optik yang dipancarkan ujung serat pemancar untuk jenis serat optik indeks undak multiragam melibatkan integrasi fungsi yang rumit sehingga penyelesaian secara analitik sangat sulit dilakukan. Salah satu alternatif penyelesaian yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan metode integrasi numerik. Pada penelitian ini metode integrasi numerik yang akan digunakan adalah metode Simpson.

Pada pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam, perubahan kecil jarak pisah serat (dalam orde mikrometer) akan mempengaruhi daya optik yang diterima serat penerima. Gejala ini dapat digunakan sebagai sensor dalam sistem pengukuran berbasis serat optik. Pada sistem pengukuran, linearitas hubungan antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi (Trisnaningsih, 1994). Hasil penelitian (eksperimen) yang dilakukan oleh Anbo Wang (1996 :2595) tentang penggunaan serat optik sebagai alat ukur pergeseran berorde mikrometer menyebutkan bahwa serat optik indeks undak multiragam dengan diameter inti 100  $\mu\text{m}$  dan tingkap numerik ( $NA$ ) 0,284 menghasilkan linearitas pada jarak pisah antara (0 – 254)  $\mu\text{m}$ . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa parameter  $NA$  menentukan linearitas alat ukur. Oleh karena itu penentuan linearitas hubungan antara daya optis dengan jarak pisah perlu dilakukan. Penggunaan metode numerik memungkinkan penentuan linearitas hubungan antara daya optik dengan jarak pisah serat dilakukan untuk berbagai macam nilai  $NA$  dalam waktu bersamaan (cepat), satu hal yang tidak dapat dilakukan secara ekperimen, sehingga nilai linearitas jangkauan dapat digunakan sebagai pemandu dalam kegiatan eksperimen.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah, permasalahan penelitian diungkapkan sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan antara efisiensi daya optik dengan jarak pisah serat pada pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam untuk nilai  $NA$  tertentu yang dihitung menggunakan metode Simpson?

2. Berapa nilai linearitas daya optik pada pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam untuk nilai  $NA$  tertentu?

### **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. mengetahui pola hubungan antara efisiensi daya optik dengan jarak pisah serat pada pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam untuk nilai  $NA$  tertentu yang dihitung menggunakan metode Simpson.
2. mengetahui nilai linearitas daya optik pada pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam untuk nilai  $NA$  tertentu.

### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1. sebagai bahan kajian bagi para pemerhati fisika komputasi terutama dalam hal penentuan metode numerik lain yang mungkin dapat dilakukan.
2. sebagai acuan bagi para peneliti yang berminat mengembangkan sensor pergeseran berorde mikrometer dalam hal penentuan linearitas alat ukur dengan parameter  $NA$ .

## **METODE PENELITIAN**

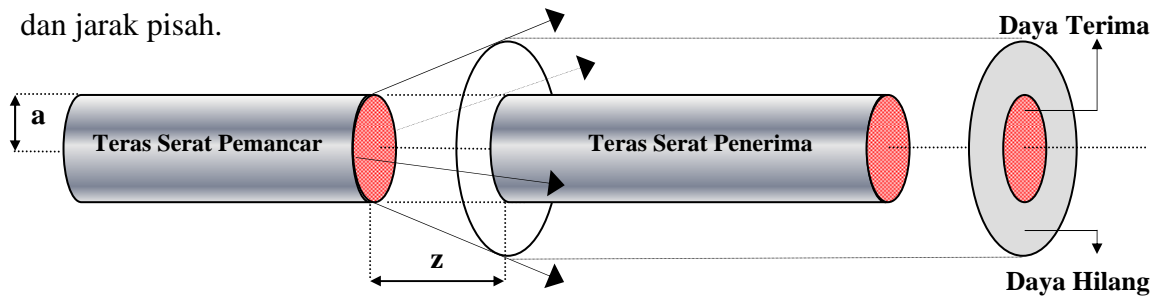
Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan penelitian meliputi tiga langkah yaitu : perencanaan, pembuatan program komputer dan analisa hasil keluaran program. Perencanaan meliputi : pemodelan matematis, pemodelan numerik, pembuatan diagram alir dan penyiapan perangkat komputer baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Pembuatan program komputer dilakukan dengan membuat program komputer yang perintah-perintahnya mengacu pada digram alir yang telah dilakukan pada tahap perencanaan. Analisa hasil keluaran program dilakukan dengan mencermati data

angka dan grafik yang diperoleh dari eksekusi program dikaitkan dengan permasalahan yang akan diselesaikan.

## 1. Perencanaan

### *Pemodelan Matematik*

Pemisahan longitudinal serat optik adalah peletakan dua ujung serat dengan sumbu-sumbunya segaris sehingga diantara kedua ujung terdapat celah. Ujung pertama berfungsi sebagai pemancar dan ujung kedua berfungsi sebagai penerima cahaya. Gambar 1 menunjukkan pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam. Variabel  $a$  dan  $z$  masing-masing adalah jari-jari serat dan jarak pisah.



Gambar 1. Pemisahan Longitudinal Serat Optik Indeks Undak Multiragam

Perubahan lebar celah antara dua serat menyebabkan perubahan daya optik yang diterima oleh ujung serat penerima. Makin besar panjang celah makin kecil daya optik yang diterima ujung serat penerima. Gejala ini sering digunakan sebagai dasar dalam pembuatan sensor pergeseran.

Daya optik yang dipancarkan oleh ujung serat pemancar ( $P_1$ ) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (van Etten dan van der Plaats, 1991: 229) :

$$P_1 = \pi^2 L a^2 (NA)^2 \quad (1)$$

dengan  $L$  radiansi ( $\text{Wm}^{-2}\text{st}^{-1}$ ),  $a$  jari-jari teras serat optik (m) dan  $NA$  tingkap numerik (*numerical appature*) serat optik. Daya optik yang diterima oleh ujung serat penerima dinyatakan dalam bentuk integral seperti berikut (van Etten dan van der Plaats, 1991: 228):

$$P_2 = 4\pi L a^2 \int_0^w \left[ \arccos\left(\frac{wz}{2a}\right) - \frac{wz}{2a} \sqrt{1 - \left(\frac{wz}{2a}\right)^2} \right] \frac{w}{(1+w^2)^2} dw \quad (2)$$

dengan  $z$  jarak pisah antara dua serat dan  $w$  dinyatakan dengan persamaan :

$$w = \frac{NA}{\sqrt{1-(NA)^2}} \quad (3)$$

Efisiensi daya optik ( $\eta$ ) pada pemisahan longitudinal serat optik adalah perbandingan antara daya optik yang diterima oleh teras serat penerima dengan daya optik yang dipancarkan oleh teras serat pemancar. Efisiensi daya optik dinyatakan dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{4}{\pi(NA)^2} \int_0^w \left[ \arccos\left(\frac{wz}{2a}\right) - \frac{wz}{2a} \sqrt{1-\left(\frac{wz}{2a}\right)^2} \right] \frac{w}{(1+w^2)^2} dw \quad (4)$$

**Pemodelan Numerik**

Pemodelan numerik untuk efisiensi daya optik dilakukan dengan mengubah bentuk persamaan (4) ke dalam bentuk integrasi numerik. Metode integrasi yang digunakan adalah metode Simpson 1/3 yang mempunyai bentuk (Chapra dan Canale, 1991: 503; Koonin, 1986: 7) :

$$I = \frac{h}{3} \left[ f(x_0) + 4 \sum_{\substack{i=1 \\ i=\text{ganjil}}}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{\substack{i=2 \\ i=\text{genap}}}^{n-2} f(x_i) + f(x_n) \right] \quad (5)$$

Substitusi persamaan (5) ke persamaan (4) diperoleh persamaan model numerik untuk efisiensi daya optik :

$$\eta = \left( \frac{4}{\pi(NA)^2} \right) \left( \frac{h}{3} \right) \left[ \sum_{j=0}^{j=x \max} f(0,0.5x_j) + 4 \sum_{\substack{i=1 \\ i=\text{ganjil}}}^{n-1} \sum_{j=0}^{j=x \max} f(w_i,0.5x_j) \dots \right. \\ \left. + 2 \sum_{\substack{i=2 \\ i=\text{genap}}}^{n-2} \sum_{j=0}^{j=x \max} f(w_i,0.5x_j) + \sum_{j=0}^{j=x \max} f(w,0.5x_j) \right] \quad (6)$$

dengan  $x = \frac{z}{a}$ . Model ini digunakan untuk menghitung nilai efisiensi daya optik pada  $x = 0$  sampai  $x = x_{max}$  untuk berbagai variasi  $w$  ( mengandung parameter  $NA$ ).

Model numerik untuk menentukan linearitas daya optik digunakan metode regresi linear. Bentuk persamaan regresi linear dinyatakan sebagai berikut (Chapra dan Canale, 1991: 365):

$$y = a_0 + a_1x \tag{7.a}$$

$$a_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2} \tag{7.b}$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \tag{7.c}$$

Pada kasus ini variabel  $y$  diganti dengan  $\eta$  dan variabel  $x = \frac{z}{a}$ . Nilai koefisien kolrelasi dinyatakan dengan rumus :

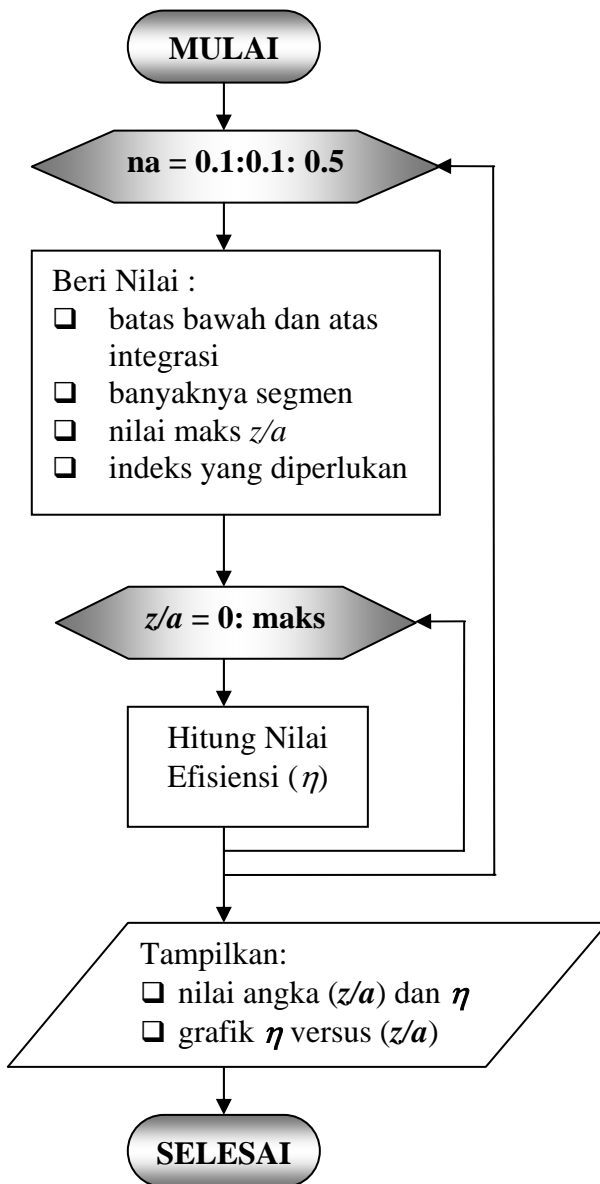
$$r = \sqrt{\frac{St - Sr}{St}} \tag{8.a}$$

$$St = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \tag{8.b}$$

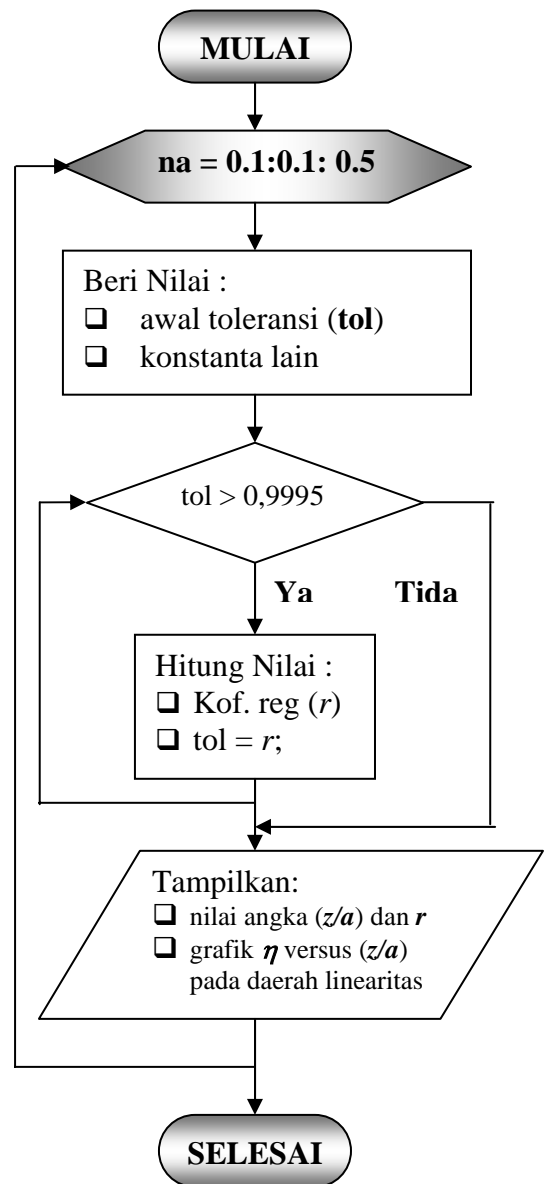
$$Sr = \sum_{i=1}^N (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \tag{8.c}$$

**Diagram Alir**

Diagram alir tentang perhitungan nilai efisiensi daya optik untuk berbagai nilai parameter  $NA$  dan jarak pisah dengan program komputer ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 3 menunjukkan diagram alir untuk menentukan linearitas daya optik dengan rumus pada persamaan (7.a) sampai persamaan (7.c).



Gambar 2. Diagram Alir Penentuan Efisiensi Daya Optik



Gambar 3. Diagram Alir Penentuan Linearitas Daya Optik

### Perangkat Komputer

- a. Perangkat keras
  - Pentium III 668 MHz
  - SDRAM 128 MB
  - Monitor SAMSUNG SyncMaster 550v
- b. Perangkat Lunak

- Microsoft Windows XP versi 2002
- MATLAB versi 5.3

## 2. Pembuatan Program

Program dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB versi 5.3. Bahasa pemrograman ini mempunyai keunggulan dalam hal kemudahan membuat grafik dibanding bahasa pemrograman lain. Pembuatan program mengacu diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut, program dibuat untuk menghitung nilai efisiensi dan linearitas daya optis dari sistem pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam. Keluaran program berupa data angka dan grafik.

## 3. Analisa Hasil Keluaran Program

Analisa hasil keluaran program dilakukan dengan mencermati pola hubungan antara efisiensi daya optik dengan jarak pisah serat berdasarkan data angka dan grafik hasil eksekusi program. Linearitas daya optik dapat diketahui dari data jarak pisah maksimum yang dicapai untuk nilai  $r$  tertentu.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### A. Hubungan Efisiensi Daya Optik ( $\eta$ ) dengan Jarak Pisah Serat ( $z$ )

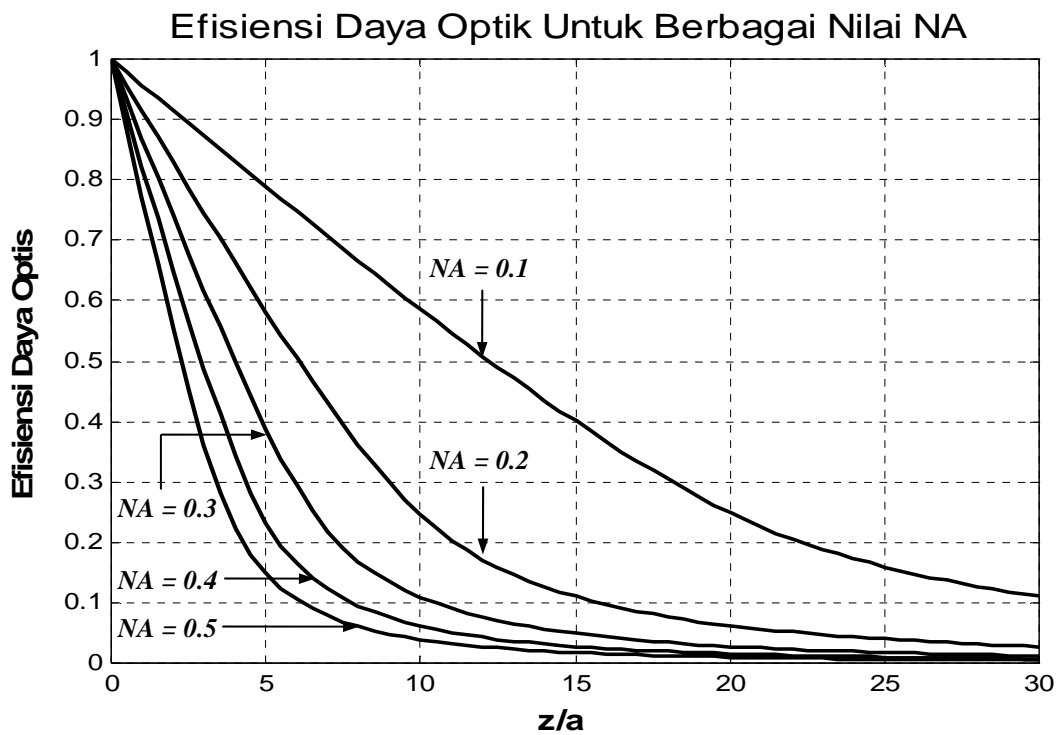
Hasil eksekusi program untuk nilai efisiensi daya optik dalam bentuk data angka dicantumkan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut hanya ditampilkan 15 baris data dari 61 baris data hasil keluaran program agar tidak memakan banyak tempat. Grafik hasil keluaran program ditampilkan pada Gambar 4.

Tabel 1. Nilai Efisiensi Daya Optik untuk Berbagai Variasi NA dan  $\frac{z}{a}$

No	$\frac{z}{a}$	Efisiensi Daya Optik ( $\eta$ ) untuk nilai				
		NA = 0,1	NA = 0,2	NA = 0,3	NA = 0,4	NA = 0,5
1	0	1.0000000000	1.0000000000	1.0000000001	1.0000000004	1.0000000009
2	0.5	0.9787166764	0.9570492678	0.9345707259	0.9107550548	0.8848870824
3	1.0	0.9574413994	0.9141651288	0.8693797955	0.8221266147	0.7711351983
4	1.5	0.9361822267	0.8714145493	0.8046687377	0.7347472013	



						0.6601682950
5	2.0	0.9149472367	0.8288652527	0.7406856914	0.6492837931	0.5535541399
6	2.5	0.8937445428	0.7865861286	0.6776893565	0.5664621196	0.4531366847
7	3.0	0.8725823012	0.7446476789	0.6159538692	0.4871031002	0.3613191744
8	3.5	0.8514687249	0.7031225210	0.5557752206	0.4121857603	0.2820969189
...	.....	.....	.....	.....	.....	.....
55	27. 0	0.1367995573	0.0342013931	0.0151995886	0.0085462094	0.0054718463
56	27. 5	0.1318841343	0.0329709405	0.0146493344	0.0082452053	0.0052791950
57	28. 0	0.1272244192	0.0318040445	0.0141378941	0.0079548412	0.0050931753
58	28. 5	0.1228132323	0.0307051062	0.0136481362	0.0076770217	0.0049147918
59	29. 0	0.1186253991	0.0296569455	0.0131816641	0.0074156706	0.0047469412
60	29. 5	0.1146454413	0.0286585193	0.0127381790	0.0071647718	0.0045877593
61	30. 0	0.1108661511	0.0277178843	0.0123142086	0.0069247185	0.0044340995



Gambar 4. Grafik Efisiensi Daya Optis ( $\eta$ ) sebagai fungsi  $\frac{z}{a}$  untuk berbagai nilai NA

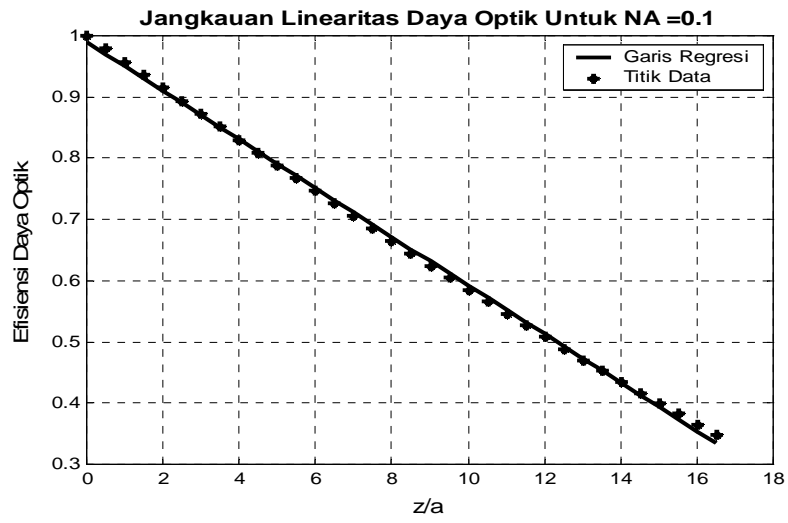
Berdasarkan data pada Tabel 1 dan grafik pada Gambar 4, nilai efisiensi daya optik makin kecil dengan makin besarnya jarak pisah. Hal ini berarti pelemahan daya optiknya makin besar. Jika ujung serat penerima dihubungkan dengan detektor, maka nilai yang terbaca pada detektor akan semakin berkurang. Berkurangnya nilai efisiensi daya optik di daerah jarak pisah yang kecil lebih tajam daripada di daerah jarak pisah yang besar. Hal ini dimungkinkan oleh cahaya yang keluar dari ujung serat pemancar bersifat menyebar dengan pola lambertian, suatu pola yang dipancarkan oleh sumber cahaya LED. Berdasarkan gambar tersebut juga dapat diketahui bahwa hubungan antara efisiensi daya optik dengan jarak pisah cenderung linear di daerah jarak pisah yang kecil. Pola hubungan di daerah ini memungkinkan sistem pemisahan longitudinal serat optik indeks undak multiragam dijadikan sebagai sensor dalam sistem pengukuran. Selain itu nilai yang mempengaruhi linearitas hubungan adalah parameter  $NA$ , makin kecil nilai  $NA$ , makin besar linearitasnya.

## **B. Linearitas Daya Optik**

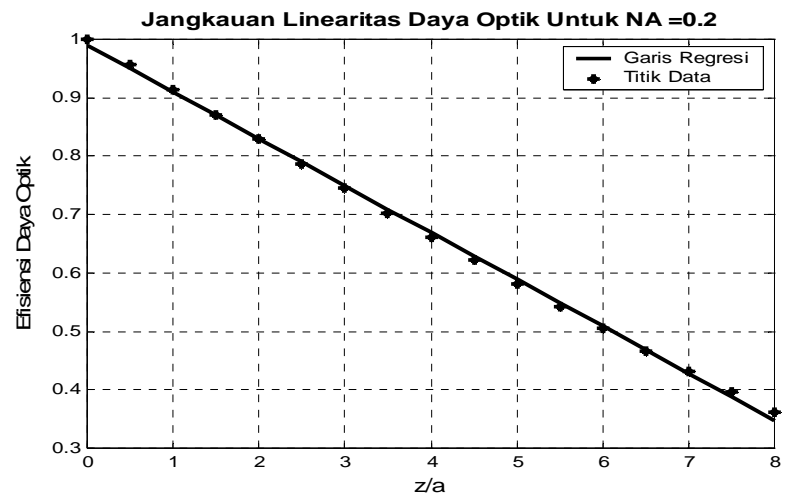
Berdasarkan pasangan data  $(\eta, \frac{z}{a})$  yang dihitung dengan metode Simpson, data ini kemudian diseleksi dengan metode regresi linear dengan parameter koefisien korelasi  $r$  tertentu untuk menentukan jangkauan linearitas daya optik. Hasil eksekusi program untuk nilai lima variasi  $NA$  dan  $r = 0,9995$  dirangkum pada Tabel 2 dan ditunjukkan pada Gambar 5 sampai Gambar 9.

Tabel 2. Linearitas Daya Optik untuk berbagai nilai  $NA$  pada  $r = 0,9995$

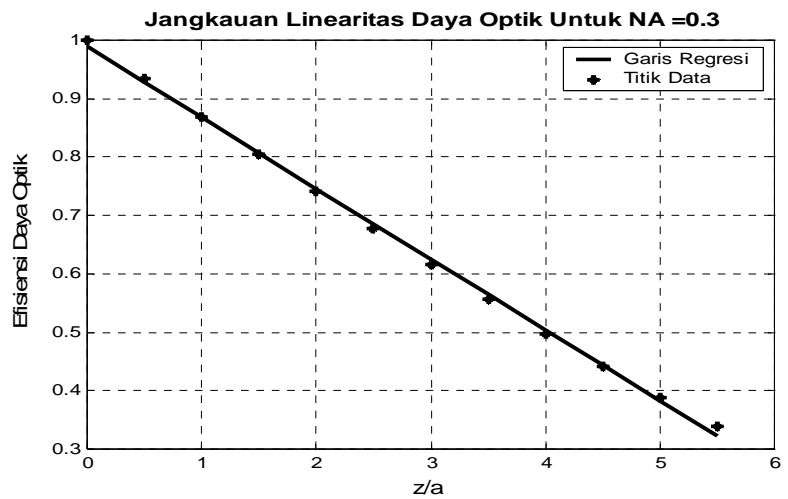
No	Nilai $NA$	Linearitas daya optik (dalam $a$ ; $a =$ jejari inti serat )
1	0,1	0 - 16.5
2	0,2	0 - 8.0
3	0,3	0 - 5.5
4	0,4	0 - 4.0
5	0,5	0 - 3.0



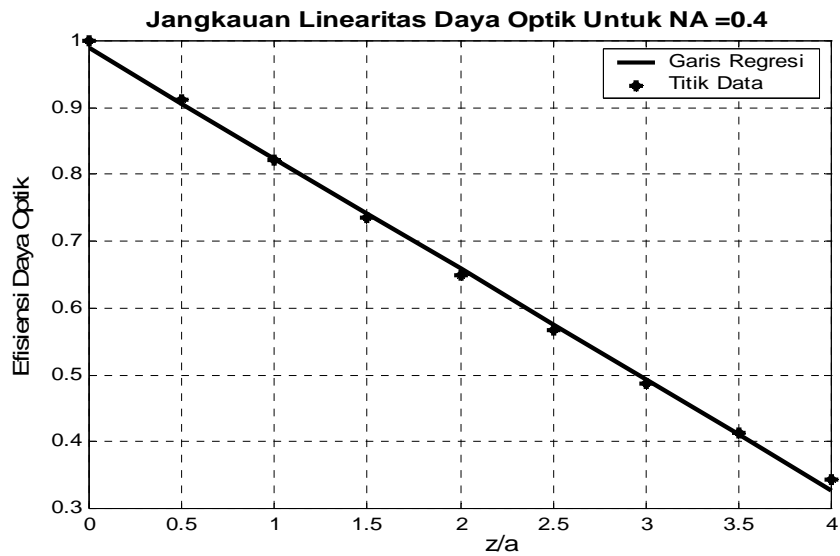
Gambar 5. Grafik Linearitas Daya Optik Untuk NA = 0,1



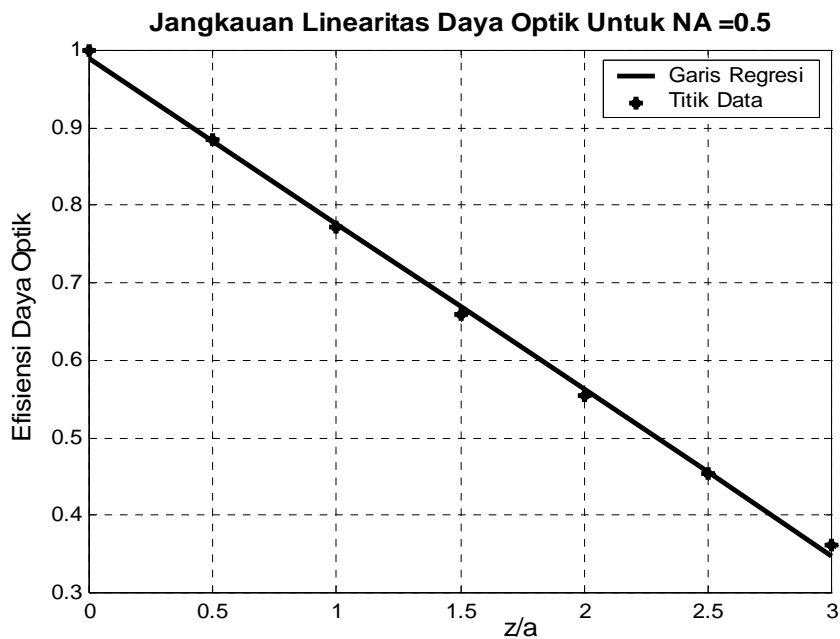
Gambar 6. Grafik Linearitas Daya Optik Untuk NA = 0,2



Gambar 7. Grafik Linearitas Daya Optik Untuk NA = 0,3



Gambar 8. Grafik Linearitas daya Optik Untuk NA = 0,4

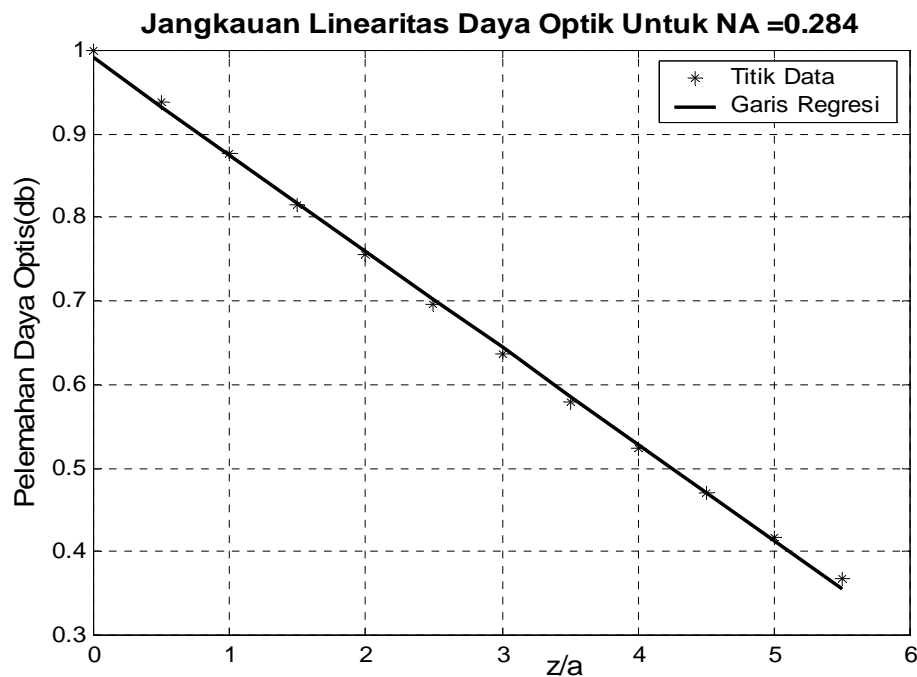


Gambar 9. Grafik Linearitas Daya Optik Untuk NA = 0,5

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 5 sampai Gambar 9, tampak bahwa nilai linearitas daya optik paling tinggi dimiliki oleh serat dengan  $NA = 0,1$  dan paling rendah dimiliki oleh serat dengan  $NA = 0,5$ . Hal ini sesuai dengan kecenderungan yang ditunjukkan pada Gambar 4, makin kecil nilai  $NA$ , makin besar linearitasnya. Namun demikian tidak berarti bahwa pemilihan nilai  $NA$  dapat sekecil-kecilnya untuk mendapatkan jangkauan alat ukur sebesar-besarnya, karena makin kecil  $NA$

makin kecil pula ukuran seratnya sehingga akan mengalami kesulitan dalam teknik perakitanya. Oleh karena itu dalam penggunaan serat optik sebagai alat ukur perlu dipertimbangkan nilai  $NA$  dan tingkat kemudahan dalam teknik perakitanya.

Pada penelitian ini program yang dibuat juga dicobakan untuk mencari nilai linearitas daya optik pada  $NA = 0,284$ . Linearitas diperoleh pada jarak pisah  $(0 - 5,5)a$ , seperti tampak pada Gambar 10. Jika  $a$  dipilih  $50 \mu\text{m}$  (nilai yang digunakan oleh Anbo Wang dalam eksperimennya), maka linearitas diperoleh pada jarak pisah  $(0 - 275) \mu\text{m}$ . Nilai ini sedikit di atas hasil eksperimen, yaitu sebesar  $(0 - 254) \mu\text{m}$ . Ini berarti bahwa jangkauan ukur dari alat ukur yang digunakan untuk mengukur pergeseran berorde mikrometer masih dalam batas yang diperkenankan.



Gambar 10. Linearitas Daya Optik untuk  $NA = 0,284$

## SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

1. Nilai efisiensi daya optik makin kecil dengan makin besarnya jarak pisah serat. Pola hubungan antara efisiensi daya optik dengan jarak pisah serat pada daerah dengan jarak pisah kecil bersifat linear dan pada daerah dengan jarak pisah besar tidak linear.
2. Nilai linearitas daya optik untuk  $NA = 0,1$ ,  $NA = 0,2$ ,  $NA = 0,3$ ,  $NA = 0,4$ , dan  $NA = 0,5$  pada  $r = 0,9995$  masing-masing adalah  $(0 - 16.5)a$ ,  $(0 - 8.0)a$ ,  $(0 - 5.5)a$ ,  $(0 - 4.0)a$ , dan  $(0 - 3.0)a$ , dengan  $a$  adalah jejari inti serat optik.

#### **B. Saran**

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut melalui metode pencocokan kurva untuk menentukan persamaan matematis mengenai efisiensi daya optik sebagai fungsi jarak pisah dari data perhitungan metode integrasi numerik.
2. Perlu dilakukan uji linearitas jangkauan ukur sebelum alat ukur pergeseran berbasis serat optik digunakan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Anbo Wang. 1996. *Split-Spectrum Intensity-Based Optical Fiber Sensor for Measurement of Microdisplacement, Strain, and Pressure*, Applied Optics, Vol. 35 hal. 2595-2601.
- Chapra, S.C., dan Canale, R.P.1991. *Metode Numerik Untuk Teknik (Terjemahan S.Sardy dan Lamyarni I.S.)*. Penerbit Universitas Indonesia : Jakarta.
- Hanselman, D. dan Littlefield, B. 1997. *MATLAB Bahasa Komputasi Teknis*. Penerbit ANDI : Yogyakarta.
- Koonin, S.E. 1986. *Computational Physics*. Addison-Wesley Pubh. Comp, Inc. : California
- Palm III, W.J. 2001. *Introduction To MATLAB 6 For Engineers*. McGraw-Hill Int.Ed. : Singapore.
- Thomas Wahyu DH dan Y. Wahyu AP. 2004. *Analisis dan Disain Sistem Kontrol dengan MATLAB*. Penerbit ANDI : Yogyakarta.