

# SIMULASI BEBERAPA PARAMETER PADA *CHIRPED FIBER BRAGG GRATING* UNTUK MENDAPATKAN LUARAN BERBENTUK SPEKTRUM *RIGHT-ANGLED* *TRIANGULAR*

## PARAMETERS SIMULATION OF *CHIRPED FIBER BRAGG GRATING* TO GET *RIGHT ANGLED TRIANGULAR SPECTRUM OUTPUT*

Andhika pratama<sup>1</sup>, M.Ramdlan Kirom<sup>2</sup>, Ismudiati Puri Handayani<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[dickapratama15@gmail.com](mailto:dickapratama15@gmail.com), <sup>2</sup>[mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id](mailto:mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[iphandayani@telkomuniversity.ac.id](mailto:iphandayani@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

Gelombang berbentuk *right-angled triangular spectrum* (RTS) telah berhasil dimodelkan pada *Chirped Fiber Bragg Grating* (CFBG). Parameter-parameter seperti posisi puncak spektrum, panjang *fiber bragg grating* ( $L$ ), *chirped coefficient* ( $C_p$ ), panjang segmen ( $L_s$ ), dan indeks bias efektif ( $n_{eff}$ ) terlihat mempengaruhi pola luaran yang dihasilkan. Pada simulasi ini didefinisikan suatu bilangan riil positif  $z_1$  yang akan menentukan posisi puncak gelombang ( $\lambda_{max}$ ). Untuk *Fiber Bragg Grating* (FBG) dengan  $L = 2$  cm, spektrum berbentuk RTS terjadi saat nilai  $\lambda_{max}$  diatur dengan  $z_1 = L/5$ . Variasi nilai  $L$  dan  $C_p$  berpengaruh terhadap bentuk dan lebar spektrum. Semakin besar nilai  $L$  dan  $C_p$  maka lebar spektrum semakin besar. Perubahan lebar spektrum ini yang menyebabkan bentuk pulsa berubah. Variasi nilai  $L_s$  menyebabkan perubahan bentuk pulsa namun posisi  $\lambda_{max}$  dan lebar pulsa tetap. Bentuk RTS terjadi saat nilai  $L_s = 1$  mm karena pada nilai tersebut *noise* pada reflektivitas kecil dan lebih stabil. Variasi nilai  $n_{eff}$  berdampak pada pergeseran posisi spektrum. Semakin besar nilai  $n_{eff}$  maka posisi spektrum akan bergeser menuju panjang gelombang yang lebih besar.

**Kata kunci :** *Fiber Bragg Grating, Chirped Fiber Bragg Grating, right-angled triangular spectrum.*

### Abstract

*Right-angled triangular spectrum* (RTS) has been modeled on *chirped fiber Bragg grating* (CFBG). Parameters such as spectral peak position ( $\lambda_{max}$ ), length of FBG ( $L$ ), *chirped coefficient* ( $C_p$ ), each segment length ( $L_s$ ), and the effective refractive index ( $n_{eff}$ ) are observed to affect the output spectrum. The simulation defined a positive real number  $z_1$  which determine the position of  $\lambda_{max}$ . In case of  $L = 2$  cm, the *right-angled triangular* (RTS) output occurs when  $\lambda_{max}$  is set at  $z_1 = L/5$ . The variation of  $L$  and  $C_p$  influence the shape and spectral width; larger value of  $L$  and  $C_p$  caused wider spectral width. The change of this spectral width causes the change of pulse shape. Variation of  $L_s$  changes the pulse shape. However, the positions of  $\lambda_{max}$  and spectral width do not change. RTS is formed for  $L_s = 1$  mm. Furthermore, the signal noise is found to be low. The variation of  $n_{eff}$  shifts the  $\lambda_{max}$  to the larger value.

**Keywords:** *Fiber Bragg Grating, Chirped Fiber Bragg Grating, right-angled triangular spectrum.*

### I. Pendahuluan

Serat optik dapat dibuat sebagai FBG dan dimanfaatkan sebagai sensor optik. FBG bekerja berdasarkan pada prinsip refleksi bragg. Dalam inti (*core*) suatu *fiber optik* dibuat kisi-kisi yang mempunyai jarak antar kisi tertentu. Kisi-kisi ini, oleh cahaya, dipandang sebagai reflector. Ketika cahaya melalui daerah yang secara periodik berubah-ubah dari indeks bias tinggi dan rendah, maka sebagian cahaya akan direfleksikan untuk setiap panjang gelombang yang memenuhi kondisi *Bragg*, sedangkan wilayah yang lainnya akan ditransmisikan. Kelebihan penggunaan FBG sebagai sensor adalah ukurannya yang kecil, tidak terpengaruh gangguan lingkungan sekitar karena memiliki *cladding* sebagai pelindung, dan kemampuan untuk mengirimkan sinyal secara cepat [1]. Selain itu FBG digunakan untuk mendeteksi variasi perubahan seperti tegangan dan temperatur. Hal ini disebabkan indeks bias pada serat dan dimensi fisiknya berubah sesuai perubahan suhu maupun tekanan yang akan mempengaruhi panjang gelombang *Bragg*.

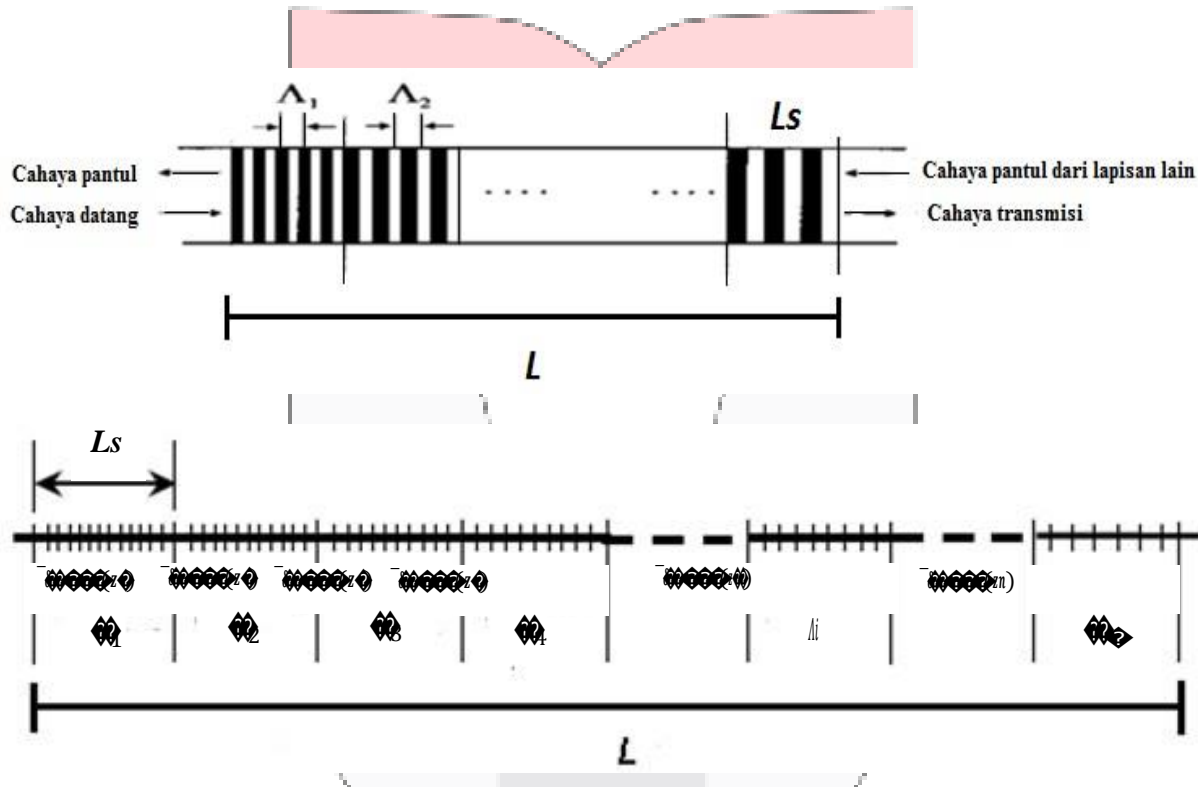
Salah satu luaran FBG adalah *right-angled triangular spectrum* (RTS). Kelebihan dari RTS adalah bentuk yang linier dan puncak spektrum yang tajam, sehingga memudahkan pembacaan pergeseran panjang gelombang pada sistem sensor [2]. Dibandingkan dengan spektrum *Gaussian*, RTS memiliki potensi untuk mendapatkan *bandwidth* efektif yang lebih besar agar rentang deteksi pada sensor lebih lebar sehingga tidak membutuhkan sistem pembacaan panjang gelombang dengan intensitas tinggi [3].

Pada penelitian ini disimulasikan variasi parameter pada FBG untuk memperoleh luaran *right-angled triangular spectrum* (RTS). Proses yang dilakukan agar menghasilkan spektrum RTS adalah dengan menggunakan FBG tipe *Chirped Grating* atau biasa disebut *Chirped Fiber Bragg Grating* (CFBG). Kelebihan dari CFBG adalah memiliki periode indeks bias yang tersusun secara linier, kuadrat, atau acak sehingga memudahkan dalam perancangan pola spektrum [4]. Simulasi CFBG menggunakan MATLAB untuk menentukan parameter yang mempengaruhi bentuk keluaran FBG. Diharapkan penelitian ini dapat memperoleh luaran berupa spektrum gelombang RTS dengan melakukan variasi pada parameter-parameter pembentuk FBG.

2. Landasan Teori

2.1 Chirped Fiber Bragg Grating (CFBG)

Kisi-kisi dengan jumlah periode indeks bias tidak seragam sepanjang FBG disebut dengan *chirped grating*. *Chirp* tersebut dapat memiliki periode modulasi linier, kuadrat, atau acak. Sebuah kisi memungkinkan memiliki variasi periode indeks bias sepanjang lebar FBG [5]. Dengan kelebihan CFBG tersebut dilakukan variasi parameter sehingga mampu untuk membentuk pola RTS. Sebuah CFBG yang mempunyai panjang total ( $L$ ) dapat dibagi menjadi beberapa segmen *uniform grating* yang memiliki panjang  $L_s$  seperti gambar 1.



Gambar 1 : Struktur CFBG [5]

Setiap segmen memiliki nilai indeks bias modulasi ( $n_{eff}(z)$ ) periode masing-masing segmen ( $\Lambda_0$ ) dan panjang segmen ( $L_s$ ). Hubungan antara nilai *chirped coefficient* ( $C_p$ ) dengan  $\Lambda_0$  dan  $L_s$  dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (1).

$$n_{eff}(z) = n_0 + C_p (z - z_0), \quad 0 \leq z \leq L_s \tag{1}$$

$\Lambda_0$  : periode pusat  
 $C_p$  : koefisien *chirped*

Dari persamaan (1) dapat ditentukan nilai panjang gelombang dengan intensitas maksimum ( $\lambda_{max}$ ) yang dipantulkan pada saat posisi  $z$  dengan rumus pada persamaan (2) [5],

$$\lambda_{max} = 2[n_{eff}(z) + n_{eff}(z_0)](\Lambda_0 + C_p z - C_p z_0/2) \tag{2}$$

$$\Lambda_{\text{eff}} = \left( 1 + \frac{\Delta n_{\text{eff}}^2}{n_{\text{eff}}^2} \right) \Lambda \quad (3)$$

$\Lambda$  : Panjang gelombang Bragg.

$\Delta n_{\text{eff}}(\Lambda)$ : indeks bias modulasi pada posisi  $\Lambda$ .

Setelah mendapat nilai  $\Lambda_{\text{eff}}$  maka nilai kopling ( $\kappa$ ) dapat ditentukan dengan rumus pada persamaan (4) [5],

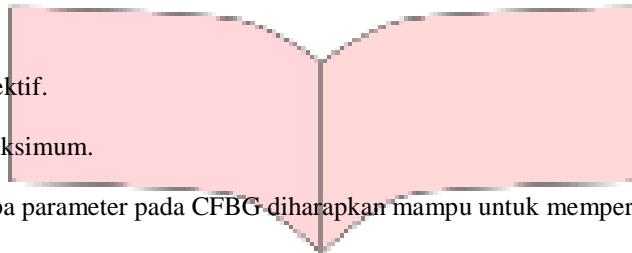
$$\kappa = \frac{\pi}{\Lambda_{\text{eff}}} \Delta n_{\text{eff}}(\Lambda) \quad (4)$$

Dengan menggunakan prinsip T-Matriks [1], koefisien refleksi dari panjang gelombang maksimum dapat ditentukan dengan persamaan (5) [5],

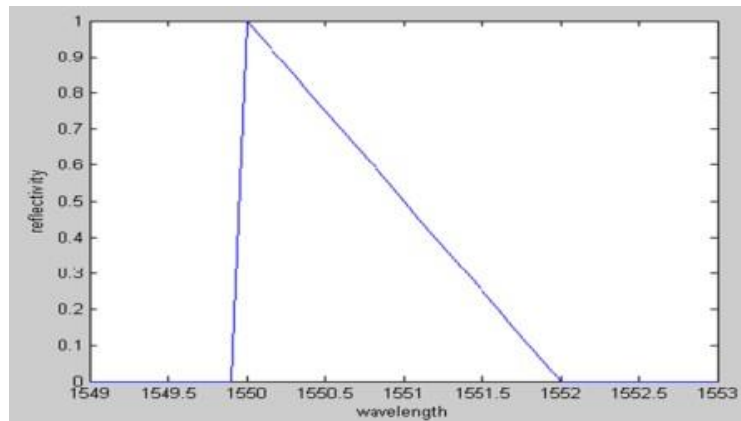
$$R_{\text{max}} = \kappa^2 L \quad (5)$$

$n_{\text{eff}}$  : indeks bias efektif.

$R_{\text{max}}$  : reflektivitas maksimum.



Simulasi beberapa parameter pada CFBG diharapkan mampu untuk memperoleh luaran berbentuk RTS seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 : Spektrum RTS-FBG

## 2. Metode Penelitian

Prinsip simulasi CFBG adalah dengan membagi tiap segmen sebagai uniform grating terpisah yang memiliki *centre wavelength*, periode, dan reflektivitas maksimum secara individual. Untuk memperoleh respon spektrum *triangular*, didefinisikan dengan fungsi linier (persamaan (6)) sehingga tiap segmen memiliki bentuk luaran segitiga [5] :

$$\begin{aligned} \kappa^2 L &= a + b \lambda & \lambda_0 \leq \lambda \leq \lambda_1 \\ \kappa^2 L &= c + d \lambda & \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Dengan nilai a, b, c, dan d merupakan konstanta yang ditentukan untuk mendapatkan bentuk segitiga dan reflektivitas maksimum. Hubungan  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$ , dan  $\lambda_2$  dengan variable-variabel pada CFBG didefinisikan sebagai berikut :

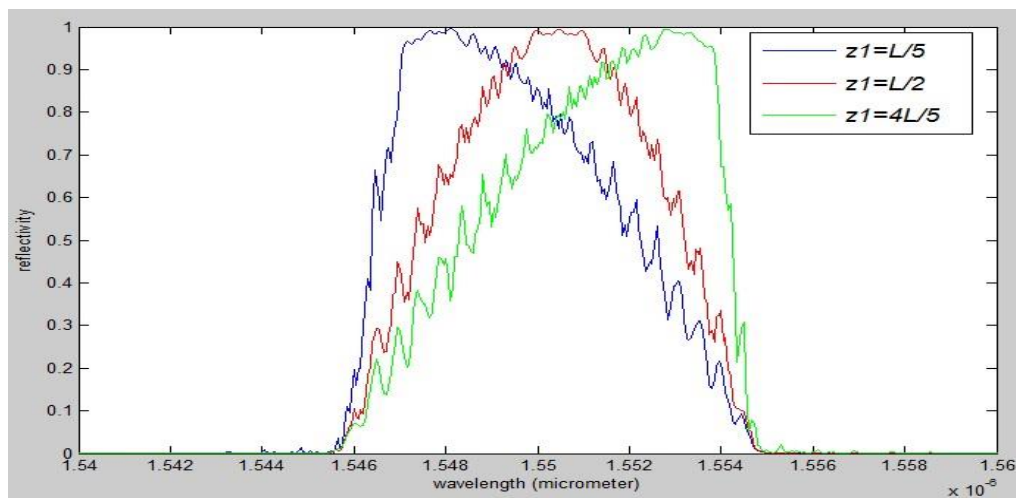
$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 2z_0(n_0 - n_1/2) \\ \lambda_1 &= \Lambda_{\text{eff}} = 2z_0(n_0 - n_1 - n_2/2) \\ \lambda_2 &= 2z_0(n_0 + n_2/2) \end{aligned} \quad (7)$$

Nilai  $z_0$  pada persamaan (7) ditentukan dengan cara membagi panjang segmen dengan bilangan *real* positif. Hal ini akan mempengaruhi posisi  $\lambda_1$  yang dalam kasus ini sama dengan  $\Lambda_{\text{eff}}$  (panjang gelombang puncak spektrum). Setelah nilai a, b, c, dan d ditemukan nilai indeks bias modulasi dapat dicari dengan persamaan (4).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi pulsa keluaran FBG yang membentuk spektrum RTS akan ditampilkan pada bagian ini dengan variasi parameter  $z_1$ , panjang FBG, nilai *chirp coefficient*, dan jumlah segmen sehingga diperoleh luaran FBG berbentuk RTS. Standar keberhasilan ditandai dengan bentuk spektrum yang membentuk target dan koefisien reflektivitas mendekati satu.

Simulasi pertama dilakukan dengan cara variasi nilai  $z_1$ . Proses ini dilakukan untuk mengetahui bentuk luaran CFBG seperti pada Gambar 2. Proses ini dilakukan dengan memvariasi  $z_1 = L/x$  dengan  $x$  adalah bilangan bulat positif untuk menentukan  $\lambda_{max}$  dan periode yang diinginkan sesuai dengan persamaan (7). Perubahan pola indeks bias modulasi dan bentuk spektrum luaran CFBG terhadap perubahan nilai  $z_1$  ditunjukkan oleh Gambar 3. Pada proses ini digunakan panjang tiap segmen ( $L_s$ ) = 1 mm, *chirped coefficient* ( $C_p$ ) =  $1,57 \times 10^{-7}$ ,  $L = 2$  cm dan  $n_{eff} = 1,55$ .



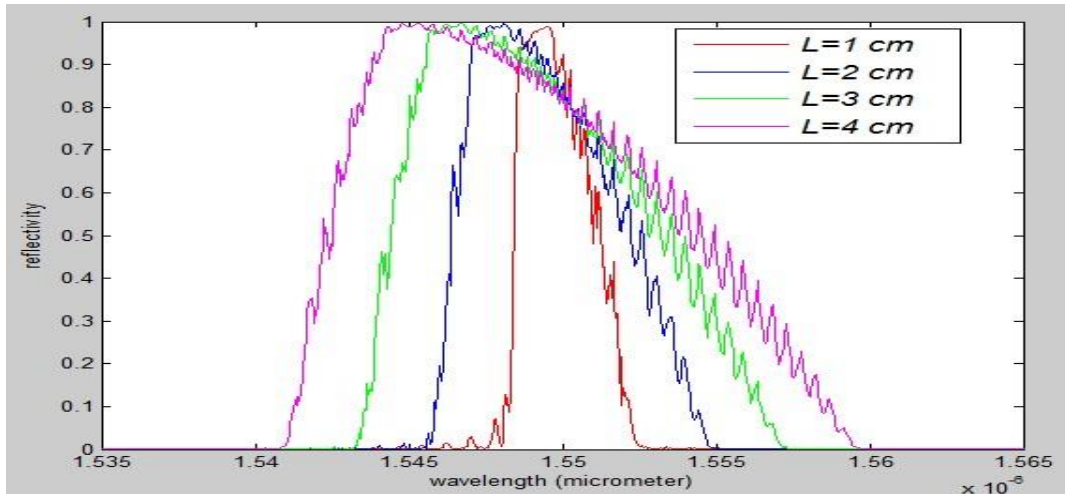
Gambar 3 : Spektrum variasi parameter  $z_1$  pada reflektivitas pada FBG

Tabel 1 : Data hasil variasi nilai  $z_1$

$z_1$	$L/5$	$L/2$	$4L/5$
Lebar pulsa	9.42 nm	9.42 nm	9.42 nm
$\lambda_{max}$	1547.174 nm	1550 nm	1552.826 nm

Gambar 3 menunjukkan perubahan nilai pembagi  $L$  pada  $z_1$  akan menyebabkan pergeseran nilai  $\lambda_{max}$ . Pergeseran nilai  $\lambda_{max}$  diatur agar reflektivitas semakin mendekati bentuk spektrum RTS. Pada saat  $z_1 = L/5$  nilai  $\lambda_{max}$  berada pada posisi 1547.174 nm. Pada posisi ini memiliki bentuk paling mendekati spektrum RTS dibandingkan saat  $z_1 = L/2$  dan  $z_1 = 4L/5$  dengan nilai  $\lambda_{max}$  masing-masing 1550 nm dan 1552.826 nm. Data tersebut menunjukkan semakin besar nilai pembagi  $L$  pada  $z_1$  maka posisi  $\lambda_{max}$  akan bergeser ke kiri demikian juga sebaliknya. Hal ini terjadi sesuai dengan persamaan (7) yang menyatakan  $\lambda_{max}$  dipengaruhi perubahan variasi  $z_1$ .

Tahap kedua adalah menentukan variasi nilai  $L$  yang dapat menghasilkan pulsa FBG dengan standar keberhasilan terbaik. Pada proses ini digunakan panjang tiap segmen ( $L_s$ ) = 1 mm,  $C_p = 1,57 \times 10^{-7}$ ,  $n_{eff} = 1,55$ , dan  $z_1 = L/5$ . Nilai  $L$  mempengaruhi lebar pulsa RTS seperti pada Gambar 4. Spektrum RTS mulai didapat saat nilai  $L = 2$  cm. Saat  $L = 3$  cm dan  $L = 4$  cm juga memiliki pola RTS namun dengan lebar pulsa lebih besar. Tabel 2 menyajikan lebar pulsa posisi  $\lambda_{max}$  untuk berbagai variasi nilai  $L$ . Dapat diambil kesimpulan bahwa jika nilai  $L$  semakin besar maka lebar pulsa akan semakin lebar sesuai dengan persamaan (7). Variasi nilai  $L$  pada percobaan diatas diikuti dengan perubahan nilai  $\lambda_{max}$  pada reflektivitas. Pada persamaan (7) dapat dilihat bahwa  $L$  memiliki peran dalam pengaturan posisi  $\lambda_{max}$  karena terkait dengan  $z_1 = L/L_s$ .

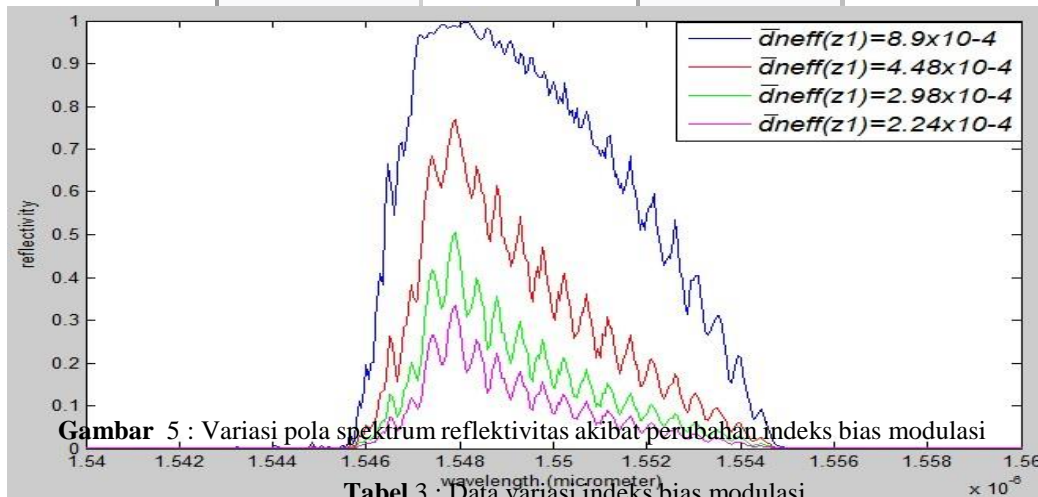


Gambar 4 : Reflektivitas pada FBG dengan variasi  $L$

Tabel 2 : Data hasil variasi  $L$

$L$	1	2	3	4
lebar pulsa	4.71 nm	9.42 nm	14.12nm	18.84 nm
$\lambda_c$	1548.6 nm	1547.174 nm	1545.761 nm	1544.348 nm

Tahap ketiga, melakukan variasi indeks bias modulasi ( $\bar{d}_{eff}(z_1)$ ) dan melihat pengaruhnya terhadap spektrum. Pada proses ini menggunakan  $L = 2$  cm,  $L_s = 1$  mm,  $C_1 = 1,37 \times 10^{-4}$  dan  $z_1 = L/3$ . Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin kecil nilai indeks bias modulasi maka nilai reflektivitas pun semakin menurun. Variasi nilai indeks bias modulasi tidak mempengaruhi  $\lambda_c$ . Hasil variasi ( $\bar{d}_{eff}(z_1)$ ) terhadap reflektivitas lebar pulsa ditampilkan pada Tabel 3. Terlihat bahwa lebar pulsa dan  $\lambda_c$  tidak terpengaruh oleh variasi ( $\bar{d}_{eff}(z_1)$ ).

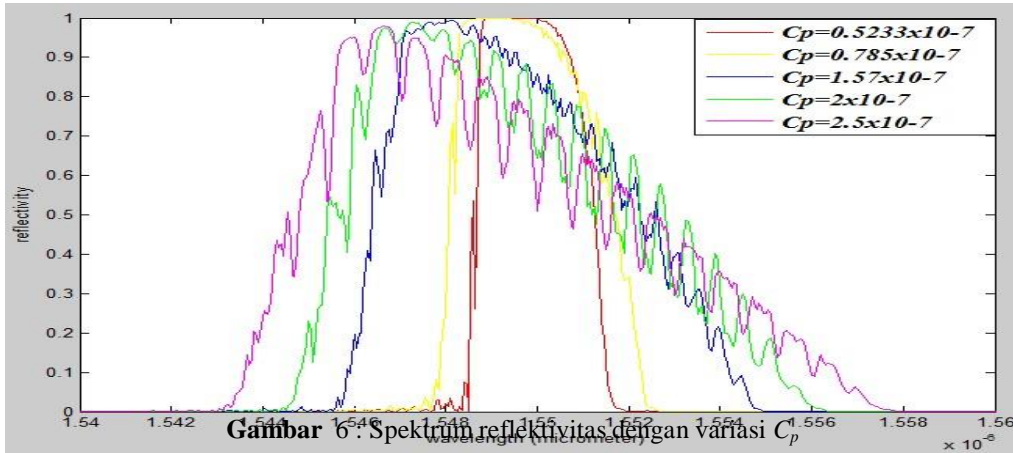


Gambar 5 : Variasi pola spektrum reflektivitas akibat perubahan indeks bias modulasi

Tabel 3 : Data variasi indeks bias modulasi

$\bar{d}_{eff}(z_1)$	$8.9 \times 10^{-4}$	$4.48 \times 10^{-4}$	$2.98 \times 10^{-4}$	$2.24 \times 10^{-4}$
lebar pulsa	9.42 nm	9.42 nm	9.42 nm	9.42 nm
$R$	0.98	0.77	0.52	0.36
$\lambda_c$	1547.174 nm	1547.174 nm	1547.174 nm	1547.174 nm

Tahap keempat adalah melakukan variasi  $C_p$  dengan menetapkan parameter-parameter  $L = 2$  cm,  $L_s = 1$  mm, dan  $z_1 = L/5$ . Tahap ini diharapkan dapat membentuk spektrum RTS dengan lebar pulsa yang sesuai. Dari Gambar 6 terlihat bahwa kenaikan nilai  $C_p$  akan memperbesar lebar pulsa. Hal ini akibat dari semakin besarnya periode akibat perubahan nilai  $C_p$  sesuai dengan persamaan (7). Rentang periode yang semakin besar menyebabkan lebar pulsa semakin lebar. FBG dengan nilai  $C_p = 0,57 \times 10^{-7}$  memiliki lebar pulsa yang lebih sempit dibandingkan dengan FBG yang memiliki nilai  $C_p = 9,14 \times 10^{-7}$  mm/cm. Dapat diambil kesimpulan jika semakin besar nilai  $C_p$  maka lebar pulsa FBG akan semakin besar sesuai dengan Tabel 4. Posisi  $\lambda_{max}$  juga berubah seiring perubahan periode di setiap variasi nilai  $C_p$ .

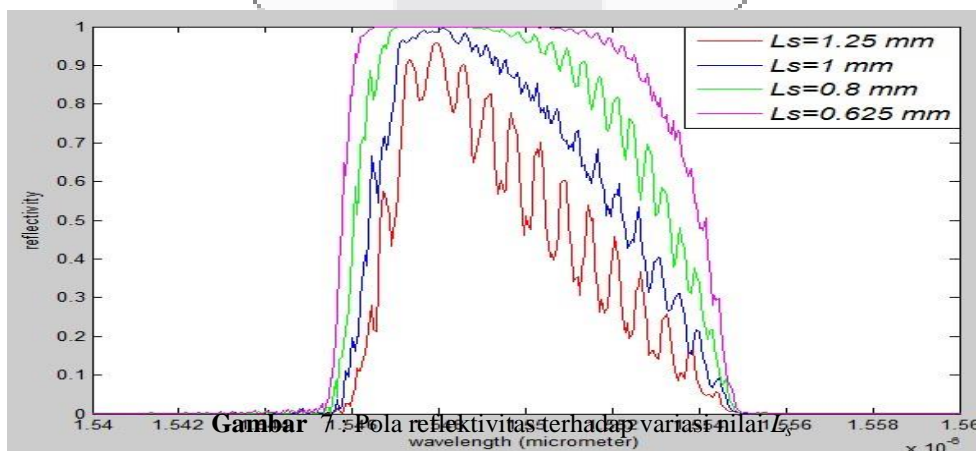


Gambar 6 : Spektrum reflektivitas dengan variasi  $C_p$

Tabel 4 : Data variasi  $C_p$

$C_p$	$0.5233 \times 10^{-7}$	$0.785 \times 10^{-7}$	$1.57 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	$2.5 \times 10^{-7}$
lebar pulsa	3.14 nm	4.71 nm	9.42 nm	12 nm	15 nm
$\lambda_{max}$	1549.06 nm	1548.6 nm	1547.18 nm	1546.4 nm	1545.5 nm

Tahap kelima variasi nilai  $L_s$  dengan parameter-parameter lain dibuat konstant dengan nilai  $L = 2$  cm,  $C_p = 1,57 \times 10^{-7}$ , dan  $z_1 = L/5$ . Pengaruh nilai  $L_s$  ini terhadap spektrum RTS dan reflektivitas terlihat pada Gambar 7. Pada variasi nilai  $L_s$  ini, jumlah segmen menjadi bervariasi karena nilai  $L$  dipertahankan konstan. Data pengaruh  $L_s$  terhadap lebar pulsa, reflektivitas, dan  $\lambda_{max}$  ditampilkan pada Tabel 4. Semakin lebar segmen (yang juga berarti semakin sedikit jumlah segmen) bentuk RTS tidak terjadi meskipun *noise* pada spektrum semakin berkurang. Terlihat bahwa nilai  $L_s = 1$  mm menghasilkan bentuk RTS terbaik dan *noise* yang rendah. Terlihat bahwa lebar pulsa dan  $\lambda_{max}$  tidak terpengaruh nilai  $L_s$ .

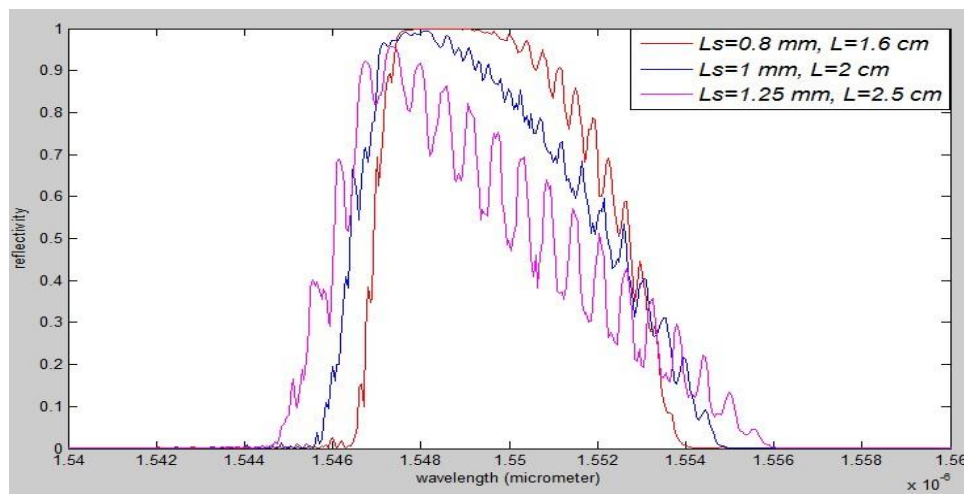


Gambar 7 : Pola reflektivitas terhadap variasi nilai  $L_s$

**Tabel 5** : Data variasi nilai  $L_s$

$L_s$	0.625 mm	0.8 mm	1 mm	1.25 mm
lebar pulsa	9.42 nm	9.42 nm	9.42 nm	9.42 nm
$\lambda_{max}$	1547.174 nm	1547.174 nm	1547.174 nm	1547.174 nm

Tahap keenam melakukan variasi nilai  $L_s$  dengan menetapkan jumlah segmen sebanyak 20 buah,  $z_1 = L/5$ , dan  $C_p = 1,57 \times 10^{-7}$ . Akibat variasi  $L_s$  dengan jumlah segmen tetap, nilai  $L$  akan berubah. Gambar 8 menunjukkan percobaan variasi  $L_s$  dengan jumlah segmen tetap terlihat bahwa saat  $L_s = 1$  mm dan  $L = 2$  cm, spektrum memiliki pola RTS yang lebih sempurna dengan *noise* lebih kecil. Pola refleksi dengan  $L_s = 1,25$  mm dan  $L = 2,5$  cm memiliki bentuk RTS namun dengan *noise* yang besar. Nilai  $\lambda_{max}$  mengalami perubahan akibat adanya perubahan nilai  $L$ .

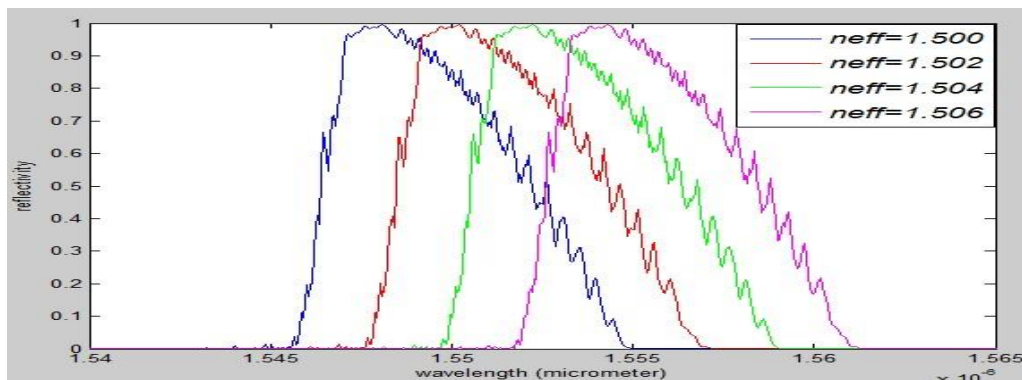


**Gambar 8** : Grafik reflektivitas variasi nilai  $L_s$  dengan jumlah segmen tetap

**Tabel 6** : Data hasil variasi  $L_s$  dengan jumlah segmen tetap


$L_s$	0.8 mm	1 mm	1.25 mm
lebar pulsa	7.536 nm	9.42 nm	11.77 nm
$\lambda_{max}$	1547.7392 nm	1547.174 nm	1546.4675 nm

Tahap akhir dilakukan variasi indeks bias efektif ( $n_{eff}$ ) dengan menetapkan  $L = 2$  cm,  $L_s = 1$  mm,  $z_1 = L/5$ , dan  $C_p = 1,57 \times 10^{-7}$ . Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $n_{eff}$  maka terjadi pergeseran pada posisi dan puncak spektrum menuju panjang gelombang yang lebih besar namun lebar pulsa tetap. Pengaruh variasi  $n_{eff}$  terhadap lebar pulsa dan  $\lambda_{max}$  ditunjukkan Tabel 7. Terlihat bahwa  $\lambda_{max}$  mengalami pergeseran ke nilai yang lebih besar pada saat nilai  $n_{eff}$  bertambah. Lebar pulsa, bentuk spektrum RTS, dan reflektivitas tidak terpengaruh oleh variasi  $n_{eff}$ .



**Gambar 9** : Spektrum reflektivitas terhadap variasi  $n_{eff}$

**Tabel 7** : Data variasi  $n_{eff}$ 

$n_{eff}$	1.5	1.502	1.504	1.506
lebar pulsa	9.42 nm	9.42 nm	9.42 nm	9.42 nm
	1547.174 nm	1549.2368 nm	1551.299 nm	1553.3626 nm

#### 4. Kesimpulan

Nilai  $z_j$  mempengaruhi posisi  $\lambda_{max}$  sehingga dapat dibentuk spektrum RTS. Indeks bias modulasi memiliki fungsi untuk menentukan besar dan posisi reflektivitas FBG, semakin besar nilai indeks bias modulasi maka reflektivitas semakin besar. Jumlah segmen juga mempengaruhi keluaran FBG, semakin banyak jumlah segmen panjang gelombang pada spektrum semakin besar. Semakin besar nilai  $C_p$  maka bandwidth pada spektrum FBG semakin besar. Nilai  $L_s$  berpengaruh terhadap jumlah segmen pada panjang FBG ( $L$ ). Semakin besar nilai  $L_s$  maka jumlah segmen semakin sedikit. Pada rentang panjang gelombang 1-4 cm terlihat bahwa semakin besar panjang FBG maka lebar pulsa pada spektrum semakin besar. Variasi nilai  $n_{eff}$  menyebabkan pergeseran posisi spektrum FBG.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Andreas, Othonos. (1997) *Fiber Bragg gratings. Department of Natural Sciences; Physics, University of Cyprus, Nicosia, Cyprus.*
- [2] Yu, Xuelian. Yao, Yong. Tian, Jiajuan. Liu, Chao. (2012). *A hybrid Method for designing fiber Bragg gratings with right-angled triangular spectrum in sensor applications.*
- [3] Yu Xue-Lian, YAO Yong, XIAO Jun-Jun, and TIAN Jia-Jun. *A Practical Approach to Synthesize Multi-channel Fiber Bragg Grating with Right-Angled Triangular Spectrum.* (2012).
- [4] Khare, Anubhuti and Gandhi Rajeev, "Design and Study of Chirped Fiber Bragg Grating for Sensing of Hazardous Gases".
- [5] Qiang Wu, Gerald Farrell and Yuliya Semenova, "Simple design technique for a triangular FBG filter based on a linearly chirped grating", *Optics Communications* 283, pp. 985-992, 2010
- [6] <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/17724/4/Chapter%20II.pdf>
- [7] Kenneth O. Hill and Gerald Meltz, *Member, IEEE.* (1997). *Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview.*
- [8] Alan D, Kersey. Michael A, Davis. Heather J, Patrick. Michel LeBlanc, K. P, Koo. *Member, IEEE, C. G. Askins. M. A. Putnam, and E, Joseph Friebele.* (1997). *Fiber Grating Sensors.*
- [9] Turan, Erdogan. *Member, IEEE.* (1997). *Fiber Grating Spectra.*
- [10] L.S. Li, X.Q. Feng, *Synthesis of fiber Bragg grating with right-angled triangular spectrum*, *Chin. Phys. Lett.* 27 (2010) 054210.
- [11] Gong, Yongkang. Liu, Xueming. Wang, leirang. (2011). *Optimized synthesis of fiber Bragg gratings with triangular spectrum for wavelength-interrogation application.*
- [12] R Huang, Y Zhou, H Cai, R Qu, and Z Fang. *A fiber Bragg grating with triangular spectrum as wavelength readout in sensor system.* (2003).