

## PENENTUAN GELOMBANG SOLITON PADA *FIBER BRAGG GRATING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE STEP-SPLIT

Theresa Febrina Siahaan\*, Saktioto, Muhammad Edisar

Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Pekanbaru, 28293, Indonesia  
*\*theresa\_febrina@yahoo.co.id*

### ABSTRACT

The determination of wave solitons in Fiber Bragg Grating by using the Step- Method-Split has been done. This research was conducted by simulating wave using computer software namely MATLAB R2011a. The wave soliton model then used parameters such as the alpha value of 0.75 dB/km, 1 dB/km, betha value of 0.75 ps<sup>2</sup>/km, and gamma value 0.25 W<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup>, 0.5 W<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup>. The results obtained from this parameter changes produced in the form of voltage amplitude to see potential changes in wave soliton. This research also aims to solve Nonlinear Schrodinger Equation by using the Step Method-Split that can be solved by changing the parameters such as the value of the Fourier with a value of 200 and 300 and 15 ps window size, resulting in a 20 ps. The simulation input and output power of a soliton solve with a nonlinear Kerr effect. The effects of dispersion can be compensated so as to obtain a steady pulse.

Keywords: Solitons, nonlinear Kerr effect, Nonlinear Schrodinger Equation, Step Method-Split

### ABSTRAK

Penentuan tentang gelombang soliton pada Fiber Bragg Grating dengan menggunakan Metode Step-Split. Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan gelombang menggunakan software MATLAB R2011a. Untuk memodelkan gelombang soliton maka digunakan parameter seperti alpha dengan nilai 0,75 dB/km dan 1 dB/km, betha dengan nilai 0,75 ps<sup>2</sup>/km dan gamma dengan nilai 0,25 W<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup> dan 0,5 W<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup>. Hasil yang diperoleh dari perubahan parameter ini berupa tegangan terhadap amplitudo sebagai perubahan potensial gelombang soliton. Penelitian ini juga bertujuan untuk penyelesaian Persamaan Schrodinger Nonlinear dengan menggunakan Metode Step-Split yang dapat dilakukan dengan mengubah parameter seperti nilai Fourier dengan nilai 200 dan 300 dan wilayah perioda 15 ps dan 20 ps. Simulasi daya masukan dan keluaran gelombang soliton ini menggunakan efek nonlinear Kerr. Efek dispersi dapat diperoleh sehingga menghasilkan pulsa yang stabil.

Kata Kunci : Soliton, Efek Nonlinear Kerr, Persamaan Schrodinger, Metode Step-Split

## PENDAHULUAN

Soliton adalah gelombang nonlinear (sebuah paket atau pulsa gelombang) yang terdiri dari banyak komponen, mempunyai perbedaan panjang gelombang yang kecil, memiliki energi berhingga, sehingga dapat mempertahankan bentuknya, bervariasi dalam intensitas dan menjalar pada kecepatan konstan (Pikatan, 1993).

Perkembangan pesat tentang ketidakseimbangan gelombang soliton dalam serat kisi Bragg (*Fiber Bragg Grating*, FBG) telah membawa aplikasi dan perangkat yang luas dalam serat optik di bidang komunikasi. Bragg nonlinier dengan reflektivitas yang rendah dapat memungkinkan untuk mendapatkan pulsa yang dikompresikan dengan intensitas lapisan yang sangat rendah (Qian, 2006).

Dalam penentuan awal, penelitian tentang gelombang soliter dilakukan pada gelombang panjang kecil, melalui model bidirectional *Boussinesq* dan *Korteweg-de Vries (KdV)*. Solusi gelombang soliter untuk model ini adalah solusi dari faktor  $sech^2$  (D. Mandelik, dkk., 2004). Pada penelitian ini soliton minimal dapat membawa 5 saluran yang masing-masing membawa informasi dengan laju 5 Gb/s. Kapasitas transmisi yang telah diuji mencapai 35.000 Gb.km/s. Shapira dan Horowitz telah mengembangkan sebuah model untuk mempelajari penjalaran pulsa nonlinear dalam serat Kisi Bragg.

Serat Kisi Bragg dibentuk dengan variasi periodik dari indeks bias dalam inti serat. Distribusi reflektor Bragg yang dibangun dalam waktu singkat pada serat optik dapat mencerminkan panjang gelombang cahaya tertentu dan mengirimkan panjang gelombang cahaya tersebut ke arah yang lain. Serat Kisi Bragg adalah komponen yang sangat penting karena memiliki sifat pasif, linear, dan sederhana. Serat Kisi Bragg memiliki dispersi yang kuat di

kedua refleksi dan transmisi (Natalia, dkk., 1997).

Salah satu kriteria penting dalam komunikasi yang efektif adalah penjalaran cahaya yang tidak terpengaruh oleh pandu gelombang hingga akhir transmisinya (*waveguide*). Gelombang ini memiliki perilaku yang disebut soliton. Gelombang tersebut juga nonlinear karena memiliki dua sifat yaitu:

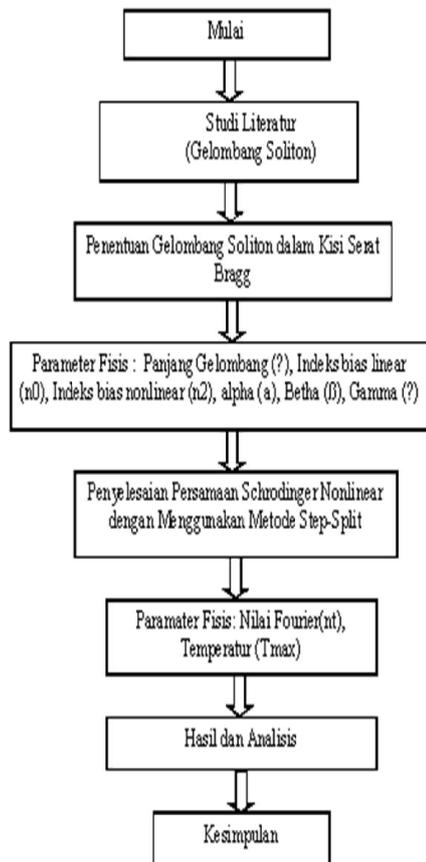
- Gelombang merambat tanpa mengalami perubahan sifat-sifatnya.
- Membatasi gelombang yang stabil terhadap gangguan bersama dan dapat mempertahankan identitas gelombang tersebut.

Gelombang soliton yang terjadi pada serat optik berbentuk paket soliton (*envelope*) yang berguna untuk membawa informasi yang terdiri dari beberapa saluran sekaligus tanpa merubah intensitasnya tersebut. Ini terjadi disebabkan oleh efek nonlinear Kerr dan efek dispersif yang terjadi dalam medium.

Serat kisi Bragg dapat digunakan sebagai filter optik masukan untuk memblokir panjang gelombang tertentu, atau sebagai reflektor gelombang yang spesifik. Kebanyakan serat kisi Bragg digunakan dalam serat mode tunggal, yang mana dalam pemodelan fisiknya sering relatif sederhana. Aplikasi serat kisi Bragg dalam sistem komunikasi optik sering digunakan karena biaya murah dan komponen dapat diaplikasikan dalam bidang komunikasi.

## METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian ini dilakukan dengan pemodelan gelombang soliton pada serat Kisi Bragg. Selanjutnya menentukan parameter-parameter fisis gelombangnya untuk menyelesaikan Persamaan Schrodinger nonlinear. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penentuan gelombang soliton dilakukan dengan menggunakan software MATLAB. Penampilan bentuk gelombang soliton yang dapat dianalisa dengan menggunakan persamaan-persamaan yang dimasukkan pada Persamaan 2 yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$A_0 = \frac{3\alpha}{\sqrt{\beta^2 + 9\alpha\gamma} \cosh(\sqrt{\alpha}z) + 1} \quad 1$$

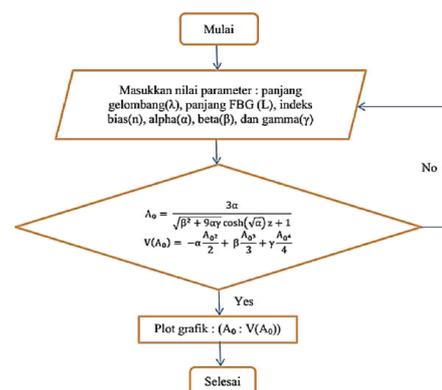
$$V(A_0) = -\alpha \frac{A_0^2}{2} + \beta \frac{A_0^2}{3} + \gamma \frac{A_0^2}{4} \quad 2$$

Untuk memperoleh bentuk rancangan gelombang soliton maka digunakan parameter-parameter yaitu seperti Tabel 1:

Tabel 1. Parameter fisis yang digunakan untuk dasar input penelitian

No	Parameter Fisis	Nilai
1	Panjang gelombang ( $\lambda$ )	1300-1350 nm
2	Indeks bias linear ( $n_0$ )	3.37
3	Indeks bias nonlinear ( $n_2$ )	$2,2 \times 10^{-15} \text{ m}^2 \text{ W}^{-1}$
4	Alpha ( $\alpha$ )	0.75, 1 dB/km
5	Betha ( $\beta$ )	0.5, 0.75 $\text{ps}^2/\text{km}$
6	Gamma ( $\gamma$ )	$0.25, 0.5 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$
7	Panjang FBG	2 cm

Simulasi pembentukan gelombang soliton pada serat Kisi Bragg dimana kecepatan berbanding terbalik dengan amplitudo gelombang dapat dilihat pada flowchart Gambar 2, dimana parameter geometri yang digunakan sebagai input diproses melalui Persamaan 1 dan Persamaan 2 untuk mendapatkan grafik yang akan dianalisis.



Gambar 2. Flowchart Simulasi Perbandingan Potensial Gelombang dengan Amplitudo Gelombang

Penyelesaian Persamaan Schrodinger Nonlinear adalah dengan menggunakan Metode Step-Split. Dalam pembuatan program dan proses perhitungan, metode Step-Split sangat sederhana karena suku dispersi dan nonlinear orde tinggi dalam persamaan Schrodinger Nonlinear dapat dengan mudah dimasukkan dalam perhitungan metode Step-Split dengan mengubah-ubah operator  $\hat{D}$  dan  $\hat{N}$ . Oleh sebab itu persamaan Schrodinger Nonlinear dapat diselesaikan dengan menggunakan Step-Split Fourier yang ditunjukkan pada Persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$\hat{D} = -\text{sgn}(\beta_2) \frac{i}{2} \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \quad 3$$

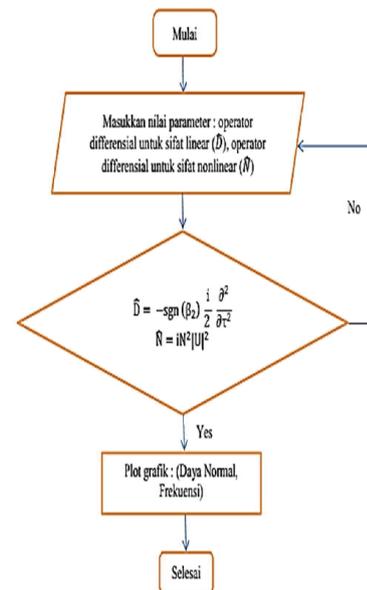
$$\hat{N} = iN^2|U|^2 \quad 4$$

Parameter geometri yang digunakan sebagai input diproses melalui Persamaan 3 dan Persamaan 4 diberikan pada Tabel 2:

Tabel 2. Parameter fisis yang digunakan untuk dasar input penelitian

No	Parameter fisis	Nilai
1	Jarak (r)	100
2	Nilai kisi (N)	1
3	Nilai Fourier (nt)	200,300
4	Wilayah perioda (Tmax)	15,20

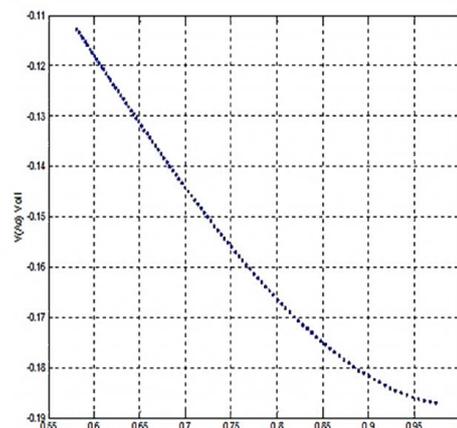
Adapun Flowchart dapat dijelaskan pada Gambar 3.



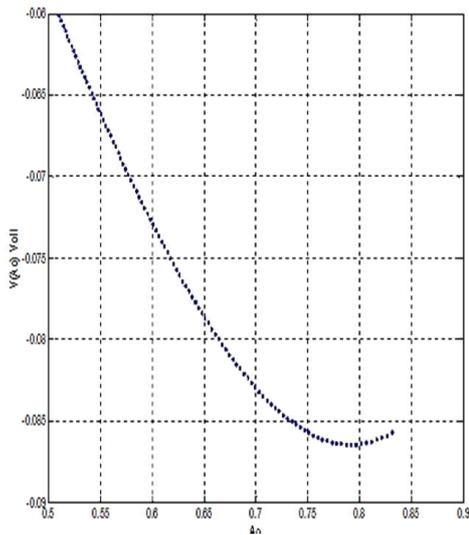
Gambar 3. Flowchart Simulasi Perbandingan Daya Normal dengan Frekuensi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

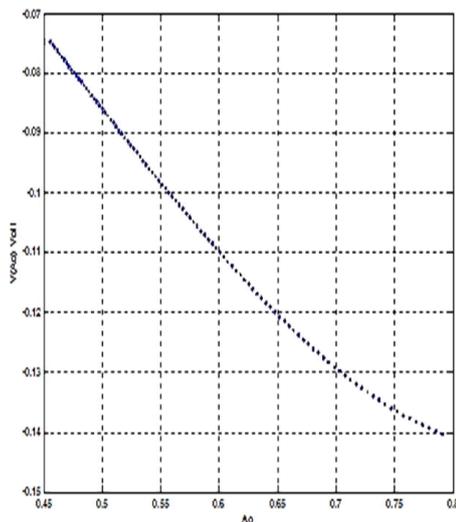
### a. Hasil Simulasi Gelombang Soliton pada Fiber Bragg Grating pengeruh Efek Nonlinear Kerr



Gambar 4. Potensi Gelombang Soliton untuk  $\alpha=1,0$ ,  $\beta=0,75$ ,  $\gamma=0,25$



Gambar 5. Potensi Gelombang Soliton untuk  $\alpha=0,75$ ,  $\beta=0,75$ ,  $\gamma=0,25$



Gambar 6. Potensi Gelombang Soliton untuk  $\alpha=1,0$ ,  $\beta=0,75$ ,  $\gamma=0,5$

Dari ketiga gambar diatas, diperoleh hasil bahwa gerakan foton dalam sumur potensial berubah ketika beberapa parameter nonlinear divariasikan dan diperhitungkan pada Persamaan 1 dan 2. Ketika nilai  $\alpha$  dan  $\gamma$  bernilai besar maka potensial sumur menghasilkan amplitudo ( $A_0$ ) yang

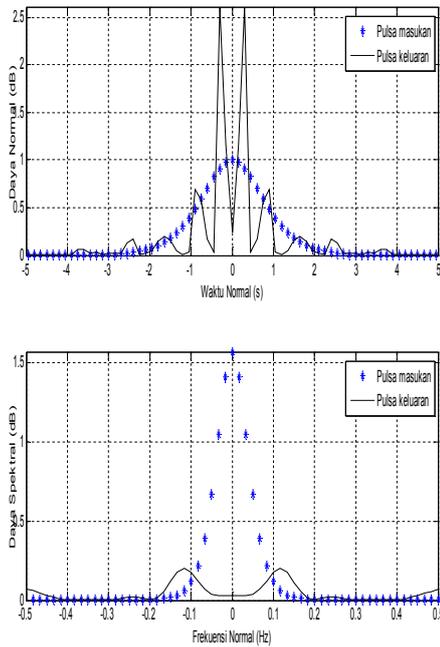
meningkat dan memiliki luas lebih baik dua kali lipat. Dalam fungsi parametrik, dapat dijelaskan bahwa perubahan nilai  $\alpha$  akan mempengaruhi kemiringan potensial sumur yang menjadi potensial tunggal yang baik. Terjadinya perubahan nilai  $\beta$  dalam pergeseran foton mempengaruhi efek bergeser ke wilayah negatif yang berarti amplitudo ( $A_0$ ) < 0. Peningkatan nilai  $\beta$  juga akan mempengaruhi energi potensial sehingga energi potensialnya berkurang. Perubahan nilai  $\gamma$  menunjukkan bahwa lebar potensi akan berkurang jika nilai  $\gamma$  ditingkatkan, sehingga foton dapat diasumsikan sebagai foton yang terperangkap.

#### b. Hasil Penyelesaian Solusi Numerik Persamaan Schrodinger menggunakan Metode Step-Split

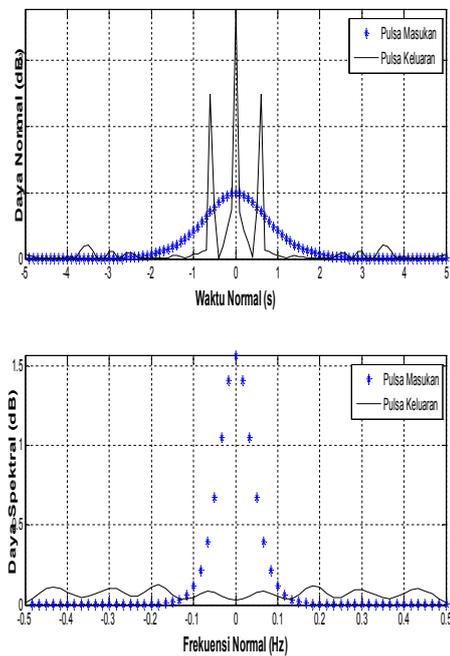
Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan grafik masukan dan keluaran bentuk pulsa dan spektrum. Titik-titik data merupakan pulsa masukan, sementara garis lurus hitam mewakili pulsa keluaran. Grafik diperoleh dengan menggunakan Metoda Step-Split (SSM) ke persamaan Schrodinger nonlinear untuk memperoleh soliton pertama.

Panjang serat yang digunakan untuk simulasi ini adalah 100 dalam satuan panjang dispersi. Untuk urutan soliton adalah terendah, parameter nonlinier  $N$  yang digunakan adalah 1. Fast Fourier Transform (FFT) poin bervariasi dari 200 ke 300. Ukuran wilayah perioda simulasi bervariasi dengan 15 ps dan 20 ps.

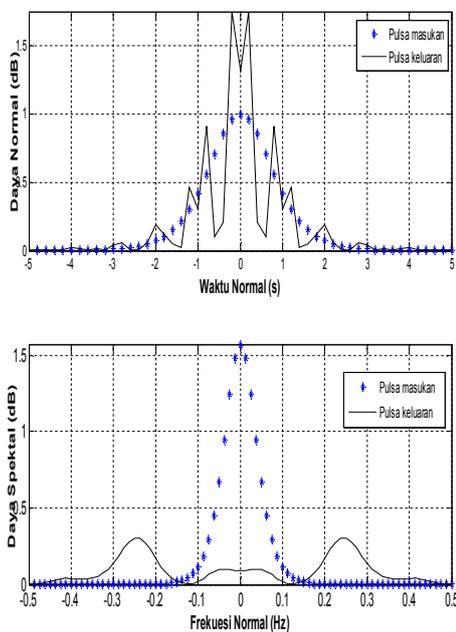
Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 merupakan gelombang propagasi soliton sepanjang serat Kisi Bragg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa propagasi soliton adalah simetri.



Gambar 7. Grafik Masukan dan Keluaran Persamaan untuk  $nt=200$  dan  $T_{max}=15$



Gambar 9. Grafik Masukan dan Keluaran Persamaan untuk  $nt=300$  dan  $T_{max}=15$



Gambar 8. Grafik Masukan dan Keluaran Persamaan untuk  $nt=200$  dan  $T_{max}=20$

Dari ketiga Gambar 7, 8, 9 dapat dinyatakan bahwa superposisi gelombang dari beberapa gelombang soliton memperlihatkan sifat partikel, yaitu ketika soliton ditempatkan terpisah satu sama lain, maka masing masing soliton menjalar dengan bentuk dan kecepatan konstan. Sebagaimana dua atau lebih gelombang soliton yang semakin mendekat pada daya normal. Daya spektral nilai yang diperoleh akan semakin tinggi jika puncak gelombang yang terjadi semakin sedikit, sedangkan jika puncak gelombangnya semakin banyak maka nilai pada daya normal akan semakin rendah.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, soliton terjadi disebabkan oleh efek nonlinear Kerr yang menetralkan efek dispersi yang terjadi selama penjalaran tidak

melebar pada waktu sampai ke detektor. Beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

1. Nilai potensial gelombang yang terjadi pada serat Kisi Bragg akan bertambah besar dan nilai amplitudonya juga semakin besar, sebaliknya jika nilai potensial gelombangnya kecil maka nilai amplitudonya juga akan semakin kecil.
2. Diperoleh solusi numerik persamaan Schrodinger dengan menggunakan metode Step-Split dengan memvariasikan parameter seperti nilai Fourier dan wilayah periodanya: 15 dan 20, sehingga diperoleh pulsa masukan akan lebih kecil dibanding pulsa keluaran pada saat sampai di detektor. Pada daya normal dan daya spektral nilai yang diperoleh akan semakin tinggi jika puncak gelombang yang terjadi semakin sedikit, sedangkan jika puncak gelombangnya semakin banyak maka nilai pada daya normal akan semakin rendah. Hal tersebut dikarenakan adanya Efek Kerr yang mempengaruhi atau yang dapat memperkecil efek dispersi yang terjadi selama penjalaran gelombang terjadi .

Pulse Recompression. *Journal of Lightwave Technology*. Vol. 15, No. 8.

Saktioto, T, Jalil,A. 2010. Non Linear Optic in Fiber Bragg Grating. *Advanced Photonics and Science Institute, Faculty of Science, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor, Malaysia.*

Shahadatul, M.A. 2012. Characteristics Of Solitary Wave In Fiber Bragg Grating, Thesis of Science, Universiti Teknologi Malaysia

## DAFTAR PUSTAKA

Agrawal. G. P.1997. *Fiber-Optic Communication System*. The Institute of Optics, University of Rochester, Rochester, New York.

Pikatan, S. 1993. *Serat Optik*. Kristal No.8.

Natalia. M. L, Benjamin J. Eggleton, and David B. Patterson. 1997. *Fiber Bragg Gratings for Dispersion Compensation in Transmission: Theoretical Model and Design Criteria for Nearly Ideal*