

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK BERBASIS SOLITON YANG DIDASARKAN PADA BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, INTERAKSI SOLITON, DAN TIMING JITTER (ANALYSIS OF SOLITON-BASED COMMUNICATION SYSTEM LIMITED BY BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, SOLITON INTERACT

Yaye Hantian Pebrianti^{1, -2}

¹Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Dalam sistem komunikasi, kebutuhan akan bit rate yang tinggi akan sangat diperlukan. Kebutuhan ini dapat dipenuhi melalui sistem komunikasi serat optik berbasis soliton. Soliton adalah pulsa optik yang mempertahankan bentuknya selama propagasi, dengan cara mengkompensasi efek dispersif dengan efek non linier fiber, dimana untuk propagasi gelombang sepanjang serat optik single mode diberikan oleh persamaan Non Linier Schrödinger (NLS). Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas mengenai beberapa parameter yang membatasi kinerja sistem soliton. Parameter-parameter tersebut adalah loss, sistem amplifier, noise, interaksi pulsa soliton, serta timing jitter. Untuk analisis dilakukan perhitungan secara matematis sedangkan untuk memvisualisasikannya digunakan software Matlab 7. Dari analisis tersebut akan diketahui bagaimana pengaruh parameter-parameter tersebut terhadap BL product, dimana bit rate dibandingkan terhadap jarak yang ditempuh selama propagasi. Faktor tersebut sangat berpengaruh pada saat kita mendesign sebuah link soliton.

Kata Kunci :

Abstract

In optical communication system, high bit rate is an important factor. This necessity can be fulfilled by soliton-based communication system. Soliton pulses could maintain their shapes through the propagation process without effected dispersion factor. Dispersion factor is an influenced factor that limiting bandwidth in optical communication system. Soliton pulse represents well balanced condition from factor of Group Velocity Dispersion (GVD) and Self Phase Modulation (SPM) in anomalous dispersion region, through the propagation in a single-mode fiber optic given by Non Linear Schrödinger Equation. This final project studied some parameters which can influence pulse propagation in optical fiber. Those are fiber loss, amplifier spacing, two soliton interaction, and timing jitter. To visualizing them and all of analysis hence be used software MATLAB and calculation mathematically. From the analysis will be known the influences of those parameters to BL Product, where bit rate compared with the total transmission distance. It will be necessary when we design an optical soliton link.

Keywords :

BAB II SOLITON DALAM SERAT OPTIK

Perkembangan kinerja sistem komunikasi serat optik hingga kini telah mencapai lima generasi dimana pada generasi yang terakhir diperkenalkan konsep soliton. Pada sistem komunikasi serat optik, soliton merupakan pulsa *non-dispersive* yang berdasarkan pada ketidaklinieran indeks bias serat optik. Oleh karena itu soliton dapat membawa kapasitas informasi yang besar (± 10 Gb/s) pada jarak yang jauh.

Beberapa faktor yang menentukan kinerja sistem komunikasi serat optik adalah rugi-rugi transmisi dan lebar pita transmisi. Rugi-rugi transmisi disebabkan oleh banyak faktor antara lain: rugi-rugi kopling, absorpsi, hamburan, lengkungan dan sambungan. Dengan adanya *Erbium Dopped Fiber Amplifier* (EDFA) dan filter maka redaman dan *noise* dapat ditangani. Sedangkan keterbatasan lebar pita disebabkan oleh dispersi serat optik. Jadi dispersi merupakan pembatas kapasitas informasi sistem transmisi serat optik dan untuk meniadakan atau meminimalisasikan dispersi sangatlah sulit.

Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan efek non linier yaitu ketergantungan indeks bias pada intensitas gelombang cahaya. Efek non linier tersebut dapat menyebabkan perubahan spektral pulsa optik. Bila dilakukan kombinasi yang seimbang dengan dispersi pada daerah negatif, maka akan dihasilkan soliton.

2.1. Indeks Bias Non Linier

Pada level daya rendah, vektor polarisasi dari material dielektrik mempunyai relasi dengan vektor kuat medan listrik dan suseptibilitas secara linier, yaitu^[5]:

$$P = \epsilon_0 \chi \cdot E \tag{2.1}$$

- dengan: P = vektor polarisasi
- E = vektor medan listrik
- ϵ_0 = permitivitas ruang hampa
- χ = suseptibilitas bahan

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK BERBASIS SOLITON YANG DIDASARKAN PADA BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, INTERAKSI SOLITON, DAN TIMING JITTER

Sedang pada level daya tinggi, medan elektrik dapat menyebabkan gerakan harmonik pada ikatan elektron yang menghasilkan hubungan non linier antara vektor polarisasi dan medan tersebut. Adapun hubungannya adalah^[5]:

$$P = \varepsilon_0 (\chi \cdot E + \chi^{(2)} \cdot EE + \chi^{(3)} \cdot EEE + \dots) \quad (2.2)$$

dimana $\chi^{(j)}$ [$j = 1, 2, 3, \dots$] adalah orde ke- j suseptibilitas.

Suseptibilitas orde kedua $\chi^{(2)}$ memungkinkan terjadinya efek non linier, yang mengakibatkan timbulnya harmonik kedua dan penjumlahan frekuensi. Tetapi besaran tersebut bernilai nol hanya untuk molekul yang mempunyai inversi simetris. Karena serat optik terbuat dari silika yang merupakan molekul simetri, maka $\chi^{(2)}$ akan bernilai nol. Sedang dalam suku ketiga $\chi^{(3)}$ tidak bernilai nol untuk silika, sehingga memungkinkan timbulnya efek seperti ketergantungan indeks bias pada intensitas.

Pengaruh non linier orde terendah pada serat optik dimulai dari suseptibilitas orde ketiga $\chi^{(3)}$ yang memungkinkan untuk membangkitkan harmonik ketiga, pencampuran empat gelombang dan indeks bias non linier. Kebanyakan pengaruh non linier berasal dari indeks bias non linier yaitu sebuah fenomena yang dikenal sebagai ketergantungan indeks bias pada intensitas. Indeks bias non linier dapat dinyatakan^[5]:

$$n = n_0 + n_2 \cdot I \quad (2.3)$$

dengan n_0 adalah komponen indeks bias yang konstan, I atau $|E|^2$ adalah intensitas optik dan n_2 adalah koefisien indeks bias non linier (untuk silika $n_2 = 3,2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$).

2.2 Persamaan Nonlinier Schrödinger

Soliton merupakan perpaduan keseimbangan antara *Group Velocity Dispersion (GVD)* dan *Self Phase Modulation (SPM)*. Secara matematik, soliton membutuhkan persamaan gelombang dalam medium dispersif tak linier. Pendekatan

secara sederhana adalah dengan menggunakan persamaan propagasi^[5]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \beta_1 \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{i}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} - \frac{1}{6} \beta_3 \frac{\partial^3 A}{\partial t^3} = 0 \quad (2.4)$$

dimana:

- i = $\sqrt{-1}$
- A = amplitude medan elektrik kompleks (watt)
- t = kerangka waktu yang bergerak pada kecepatan group(s)
- z = jarak perambatan gelombang(m)
- β_1 = parameter kecepatan group pulsa optik($v_g = \beta_1'$)
- β_2 = parameter *GVD* orde pertama (s^2/m)
- β_3 = parameter *GVD* orde kedua (s^3/m)

Pengaruh *SPM* dapat dimasukkan dengan penambahan sebuah bentuk tidak linier pada sisi kanan persamaan diatas sehingga menjadi^[5]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \beta_1 \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{i}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} - \frac{1}{6} \beta_3 \frac{\partial^3 A}{\partial t^3} = i\gamma |A|^2 A \quad (2.5)$$

dimana:

- γ = koefisien ketidaklinieran = $2\pi n_2$
- n_2 = koefisien indeks bias tak linier (cm^2/W)

Parameter yang menentukan pengaruh *GVD* dan *SPM* adalah β_2 dan γ . Untuk menyederhanakan persamaan (2.5) adalah dengan membuat nilai β_3 menjadi nol sepanjang pengoperasian mendekati *zero dispersion wavelength*.

Persamaan yang akan didapatkan^[5] :

$$T = t - \frac{z}{v_g} = t - \beta_1 z \quad (2.6)$$

$$\tau = \frac{t - \beta_1 z}{T_0} = \frac{T}{T_0} \quad (2.7)$$

$$\xi = \frac{z}{L_D} \quad (2.8)$$

$$U = \frac{A}{\sqrt{P_0}} \tag{2.9}$$

dimana:

T = waktu pemancaran (ps)

T_0 = lebar pulsa (ps)

P_0 = daya puncak (mW)

L_D = panjang dispersi (km) = $\frac{T_0^2}{|\beta_2|}$

τ = waktu ternormalisasi

ξ = jarak ternormalisasi

U = amplitud ternormalisasi

Sehingga akan diperoleh bentuk persamaan^[5]:

$$i \frac{\partial U}{\partial \xi} - \text{sgn}(\beta_2) \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} + N^2 |U|^2 U = 0 \tag{2.10}$$

dimana $\text{sgn}(\beta_2)$ merupakan kombinasi nilai +1 dan -1. Jika berharga positif maka disebut normal *GVD* dan jika berharga negatif disebut *anomalous GVD*. Persamaan (2.10) dikenal sebagai *Nonlinear Schrödinger Equation* (NLSE) dengan N didefinisikan sebagai^[5]:

$$N^2 = \gamma P_0 L_D = \frac{\gamma P_0 T_0^2}{|\beta_2|} \tag{2.11}$$

untuk N didefinisikan bernilai 1 maka disebut soliton fundamental.

Pada NLSE, dapat dideskripsikan jika propagasi pulsanya *lossless*, dispersif dan pada medium yang nonlinier, maka inputnya adalah^[5]:

$$U(0, \tau) = \text{sech}(\tau) \tag{2.12}$$

2.3 Perbedaan Daerah Propagasi

Panjang dispersi L_D , panjang nonlinier L_{NL} dan panjang serat optik (L) dapat memberikan perubahan evolusi pulsa yang dapat dikategorikan dalam empat daerah perbedaan propagasi. Untuk lebih jelasnya, pembahasan diawali dengan normalisasi skala waktu pada lebar pulsa awal T_0 yaitu^[5]:

$$\tau = \frac{t - \frac{Z}{v_g}}{T_0} \quad (2.13)$$

dan normalisasi amplitudo U yang didefinisikan sebagai^[5]:

$$A(Z, \tau) = \sqrt{P_0} \exp\left(\frac{-\alpha Z}{2}\right) U(Z, \tau) \quad (2.14)$$

dengan P_0 daya puncak pulsa datang.

Faktor eksponensial menyatakan rugi-rugi serat optik. Dengan menggunakan (2.14) dan normalisasi amplitudo $U(Z, \tau)$, persamaan propagasi pulsa optik menjadi^[5]:

$$i \frac{dU}{dZ} = \frac{(\pm)\beta_2}{2L_D} \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} - \frac{\exp(-\alpha Z)}{L_{NL}} |U|^2 U \quad (2.15)$$

Dengan tanda \pm tergantung dari tanda parameter GVD β_2 , dan $L_D = \frac{T_0^2}{|\beta_2|}$,

$L_{NL} = \frac{1}{\gamma P_0}$. Panjang dispersi, L_D dan panjang nonlinier, L_{NL} ini memberikan pengaruh

penting pada evolusi pulsa sepanjang serat optik.

Jika efek nonlinier pada serat optik diperhatikan maka ada dua ukuran panjang yang perlu diketahui yaitu panjang dispersi, L_D dan panjang nonlinier, L_{NL} . L_D adalah periode dispersi, yaitu jarak yang harus ditempuh pulsa sehingga pelebaran pulsa sudah sebesar lebar pulsa awal, sedangkan L_{NL} adalah jarak yang harus ditempuh pulsa sehingga terjadi pergeseran fasa sebesar 1 rad selanjutnya akan dibahas pada saat membahas SPM.

Karakteristik propagasi dapat digolongkan dalam 4 kategori :

1. Jika panjang serat optik (L) jauh lebih kecil dibandingkan panjang dispersi (L_D) maupun panjang nonlinier (L_{NL}) yakni $L \ll L_{NL}$ dan $L \ll L_D$, maka baik efek dispersi maupun efek nonlinier tidak mempunyai pengaruh yang berarti, dengan kata lain pengaruh dispersi dan nonlinier pada persamaan (2.4) dapat diabaikan.
2. Jika $L \ll L_{NL}$ dan $L \geq L_D$, maka suku nonlinier dapat diabaikan sehingga perubahan pulsa hanya dipengaruhi oleh GVD. Adapun parameter pulsa adalah :

$$\frac{L_D}{L_{NL}} = \frac{\gamma P_0 \cdot T_0^2}{|\beta_2|} \ll 1$$

3. Jika $L \ll L_D$, tetapi $L \geq L_{NL}$, maka suku dispersi dapat diabaikan sehingga perubahan lebar pulsa di serat optik didominasi oleh pengaruh nonlinier. Dalam hal ini perubahan di serat optik dipengaruhi oleh SPM yang menimbulkan perubahan pada spektrum pulsa. Daerah dominasi nonlinier adalah :

$$\frac{L_D}{L_{NL}} = \frac{\gamma P_0 \cdot T_0^2}{|\beta_2|} \gg 1$$

4. Jika $L \gg L_D$ dan $L \gg L_{NL}$, maka efek dispersi dan pengaruh nonlinier akan bekerja bersama-sama dalam mempengaruhi perambatan pulsa. Kombinasi antara GVD dan SPM pada daerah anomali $\beta_2 < 0$, di serat dapat menghasilkan *soliton* yang akan dibahas lebih lanjut.

2.4 Group Velocity Dispersion (GVD)

Persamaan (2.4) dapat digunakan untuk menjelaskan pengaruh fenomena *GVD* pada evolusi pulsa dalam serat optik dengan menetapkan nilai $\gamma = 0$, $\alpha = 0$ dan $\beta_3 = 0$.

Bila amplitudo ternormalisasi $U(z, T)$ didefinisikan oleh^[5]:

$$A(z, T) = \sqrt{P_0} \exp(-\alpha z/2) U(z, T) \tag{2.16}$$

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK BERBASIS SOLITON YANG DIDASARKAN PADA BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, INTERAKSI SOLITON, DAN TIMING JITTER

dimana:

- P_0 = daya puncak pulsa yang ditransmisikan
- U = amplitudo ternormalisasi
- z = jarak propagasi

Maka $U(z,T)$ memenuhi persamaan diferensial parsial linier yang dinyatakan sebagai^[5]:

$$i \frac{\partial U}{\partial z} = \frac{1}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 U}{\partial T^2} \tag{2.17}$$

Persamaan (2.17) dapat diselesaikan dengan menggunakan metode transformasi Fourier. Bila $\tilde{U}(z,\omega)$ adalah transformasi Fourier dari $U(z,T)$ yang dinyatakan sebagai^[5]:

$$U(z,T) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{U}(z,\omega) \exp(-i\omega T) d\omega \tag{2.18}$$

Maka persamaan (2.17) dapat dinyatakan oleh^[5]:

$$i \frac{\partial \tilde{U}}{\partial z} = -\frac{1}{2} \beta_2 \omega^2 \tilde{U} \tag{2.19}$$

Yang penyelesaiannya adalah^[5]:

$$\tilde{U}(z,\omega) = \tilde{U}(0,\omega) \exp\left(\frac{i}{2} \beta_2 \omega^2 z\right) \tag{2.20}$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.20) ke dalam persamaan (2.18), maka penyelesaian umum dari persamaan (2.17) adalah^[5]:

$$U(z,T) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{U}(0,\omega) \exp\left(\frac{i}{2} \beta_2 \omega^2 z - i\omega T\right) d\omega \tag{2.21}$$

dimana

$\tilde{U}(0,\omega)$ = transformasi Fourier medan optik pada $z = 0$

Bentuk pulsa yang digunakan adalah *Gaussian*, yang dinyatakan sebagai^[5]:

$$U(0,T) = \exp\left(-\frac{T^2}{2T_0^2}\right) \tag{2.22}$$

dimana T_0 = FWHM pada titik intensitas $1/e$ pulsa.

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.22) ke persamaan (2.21), maka amplitudo pada setiap jarak propagasi sepanjang serat optik dapat dinyatakan sebagai^[5]:

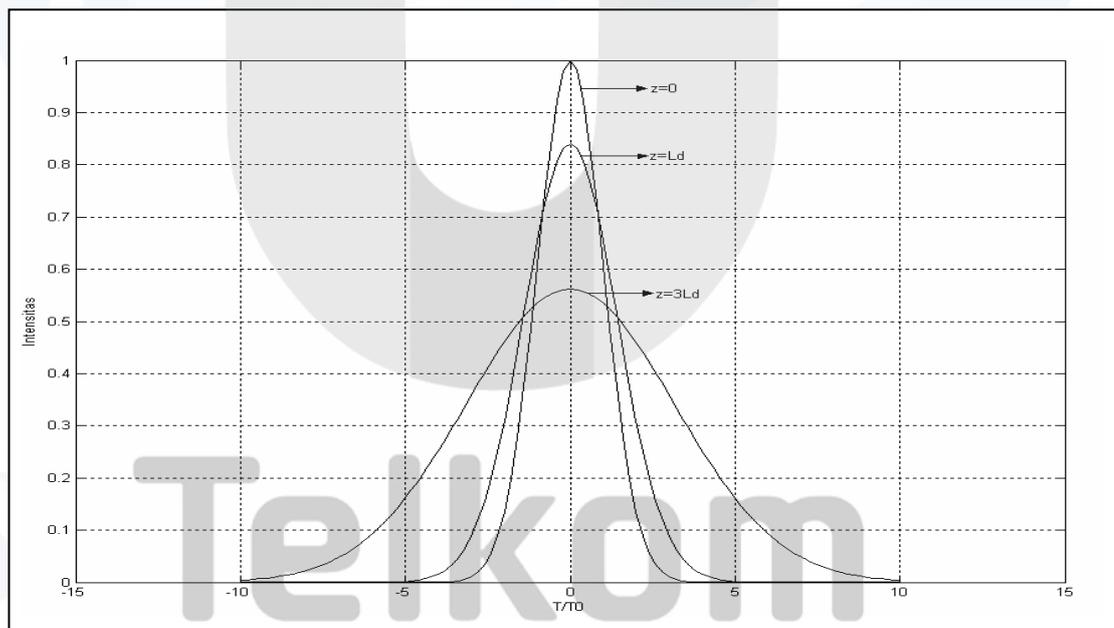
$$U(z,T) = \frac{T_0}{(T_0^2 - i\beta_2 z)^{1/2}} \exp\left(-\frac{T^2}{2(T_0^2 - i\beta_2 z)}\right) \tag{2.23}$$

Bentuk pulsa *Gaussian* mengalami pelebaran yang besarnya dinyatakan sebagai^[5]:

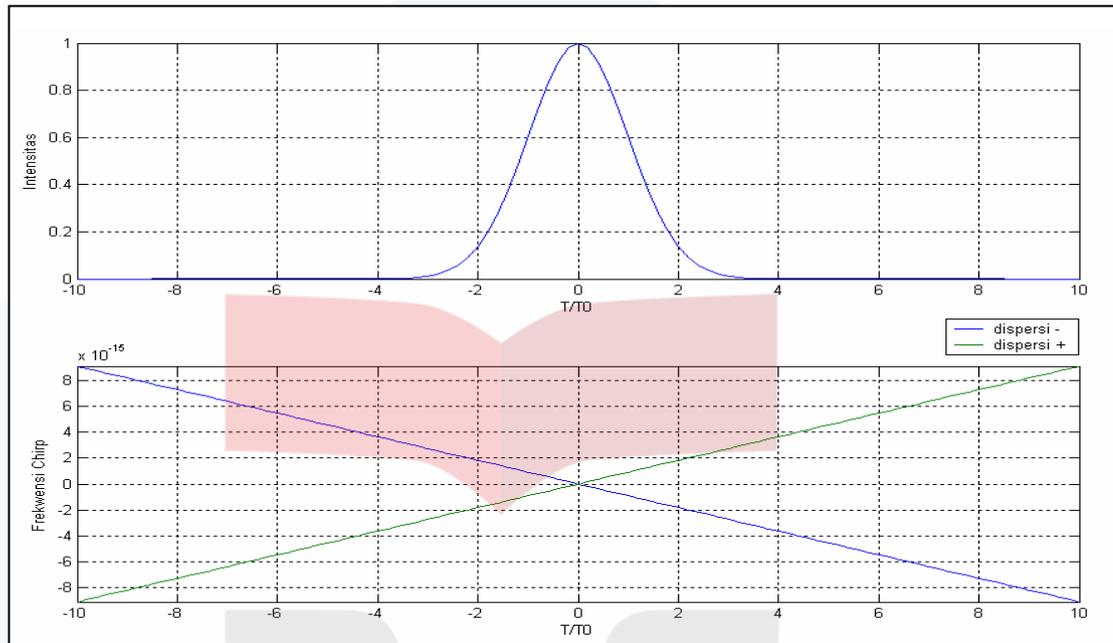
$$T_1 = T_0 \left[1 + (z/L_D)^2\right]^{1/2} \tag{2.24}$$

dimana

$$L_D = \frac{T_0^2}{\beta_2} \tag{2.25}$$



Gambar 2.1 Pengaruh *GVD* terhadap pelebaran pulsa *Gaussian* di serat optik pada jarak $z=0$; $z = L_D$; $z = 3L_D$.



Gambar 2.2 Perubahan frekuensi *chirp* akibat *GVD* pada $\beta_2 < 0$

Pada persamaan (2.21) dan (2.22) menunjukkan bahwa selama propagasi pulsa yang ditransmisikan mengalami *chirp*, yaitu keadaan dimana adanya komponen frekuensi yang berbeda terhadap frekuensi pusat sepanjang pulsa. *Chirp* tersebut diakibatkan oleh fenomena *GVD*, yang dinyatakan dalam bentuk^[5]:

$$U(z, T) = |U(z, T)| \exp[i\phi(z, T)] \tag{2.26}$$

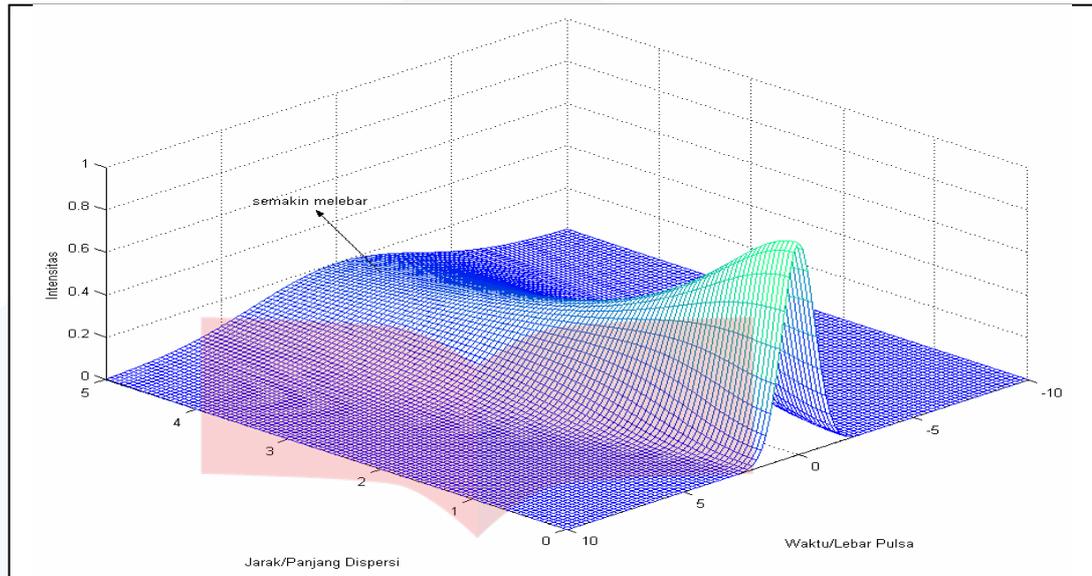
Dimana^[5]:

$$\phi(z, T) = -\frac{\text{sgn}(\beta_2)(z/L_D) T^2}{1 + (z/L_D)^2 T_0^2} + \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{z}{L_D}\right) \tag{2.27}$$

Sehingga diperoleh harga frekuensi *chirp* akibat fenomena *GVD* yang dinyatakan sebagai^[5]:

$$\delta\omega = -\frac{\partial\phi}{\partial T} = \frac{2 \text{sgn}(\beta_2)(z/L_D) T}{1 + (z/L_D)^2 T_0^2} \tag{2.28}$$

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK BERBASIS SOLITON YANG DIDASARKAN PADA BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, INTERAKSI SOLITON, DAN TIMING JITTER



Gambar 2.3 0Evolusi pulsa dalam serat optik akibat pengaruh GVD.

2.5 Self Phase Modulation (SPM)

Self Phase Modulation merupakan gejala ketidaklinieran yang terjadi pada serat optik yang tidak linier yaitu akibat adanya pembiasan atau adanya pengaruh respon intensitas medan elektromagnetik terhadap cahaya dengan tingkat daya tinggi.

Pergeseran Fasa Nonlinier

Dalam bentuk amplitudo ternormalisasi $U(z,T)$ yang didefinisikan oleh persamaan (2.16), maka persamaan (2.4) dapat dinyatakan sebagai^[5]:

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{i}{L_{NL}} \exp(-\alpha z)(U)^2 U \tag{2.29}$$

Dimana^[5]:

$$L_{NL} = \frac{1}{\gamma P_0} \tag{2.30}$$

Penyelesaian persamaan (2.26) adalah sebagai berikut^[5]:

$$U(z,T) = U(0,T) \exp[i\phi_{NL}(z,T)] \tag{2.31}$$

Dimana^[5]:

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK BERBASIS SOLITON YANG DIDASARKAN PADA BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, INTERAKSI SOLITON, DAN TIMING JITTER

$$\phi_{NL}(z, T) = |U(0, T)|^2 (z_{eff} / L_{NL}) \tag{2.32}$$

dengan

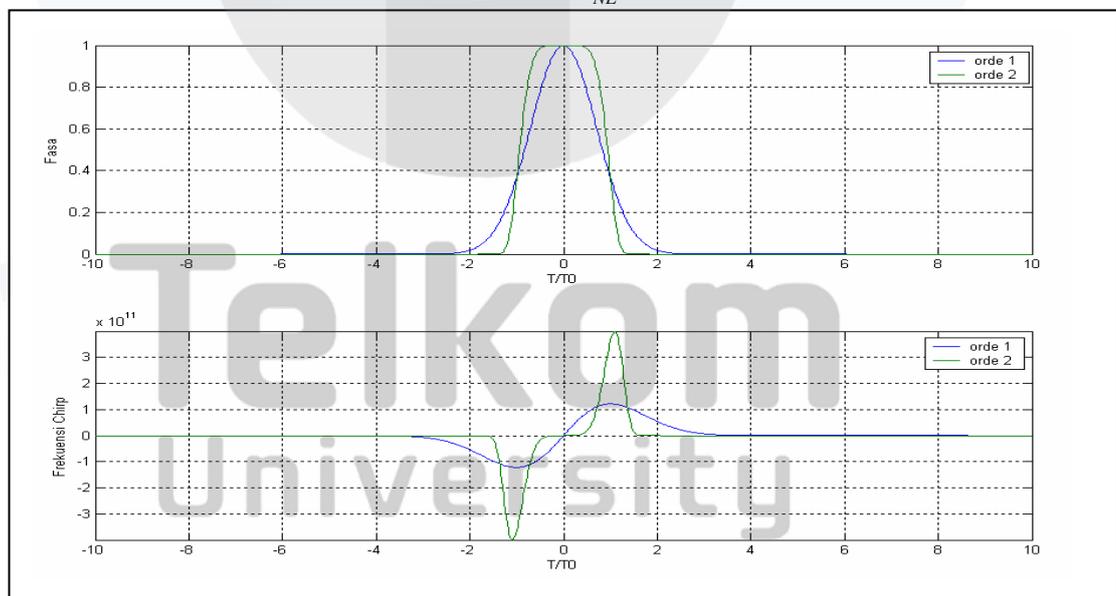
$$z_{eff} = (1 - \exp(-\alpha z)) / \alpha \tag{2.33}$$

Persamaan (2.31) menunjukkan bahwa fenomena *SPM* menimbulkan pergeseran fasa yang tergantung pada intensitas sinyal pulsa optik. Pergeseran fasa nonlinier ϕ_{NL} yang dinyatakan oleh persamaan (2.32) bertambah terhadap jarak propagasi z . Pergeseran fasa maksimum ϕ_{maks} terjadi pada titik pusat pulsa ($T = 0$), yang dinyatakan sebagai^[5]:

$$\phi_{maks} = z_{eff} / L_{NL} = \gamma P_0 z_{eff} \tag{2.34}$$

Pelebaran spektral akibat fenomena *SPM* adalah konsekuensi ketergantungan pergeseran fasa nonlinier $\phi_{NL}(z, T)$ terhadap waktu. Hal ini dapat dimengerti dengan mencatat bahwa variasi fasa secara langsung menunjukkan frekuensi optik yang berbeda dari frekuensi pusat yang terdapat pada sepanjang pulsa. Perbedaan frekuensi yang terjadi tersebut ($\delta\omega$) dinyatakan dengan^[5]:

$$\delta\omega(T) = -\frac{\partial \phi_{NL}}{\partial T} = -\frac{\partial}{\partial T} (|U(0, T)|^2) \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \tag{2.35}$$



Gambar 2.4 Pergeseran fasa dan frekuensi *chirp* yang disebabkan oleh *SPM* untuk pulsa *Gaussian*.

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK BERBASIS SOLITON YANG DIDASARKAN PADA BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, INTERAKSI SOLITON, DAN TIMING JITTER

Ketergantungan $\delta\omega$ terhadap waktu menyatakan frekuensi *chirp*. *Chirp* tersebut diakibatkan oleh fenomena *SPM* yang besarnya bertambah terhadap jarak propagasi. Dengan kata lain, komponen frekuensi baru dibangkitkan terus menerus selama pulsa merambat dalam serat optik. Komponen frekuensi yang dibangkitkan akibat fenomena *SPM* tersebut akan memperlebar spektrum pulsa. *Chirp* akibat fenomena *SPM* dapat dinyatakan sebagai^[5]:

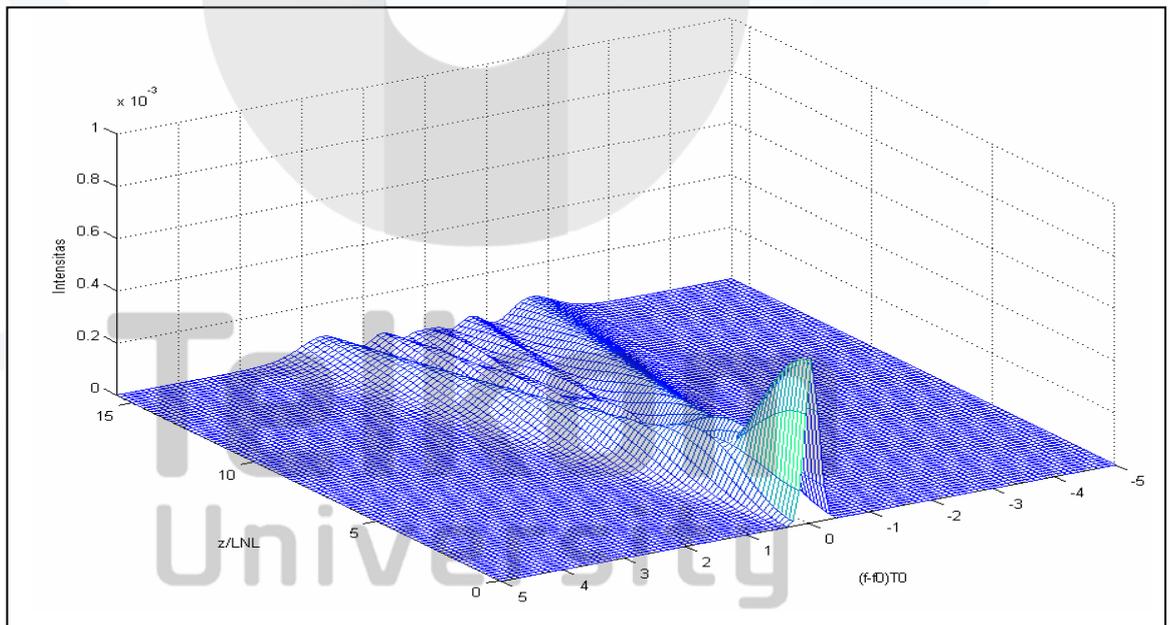
$$\delta\omega(T) = \frac{2}{T_0} \frac{z_{\text{eff}}}{L_{\text{NL}}} \left(\frac{T}{T_0} \right) \exp\left(-\frac{T^2}{T_0^2} \right) \quad (2.36)$$

Pelebaran spektral akibat fenomena *SPM* disertai dengan adanya struktur osilasi sepanjang interval frekuensi. Sehingga pada jarak tertentu, spektral akan memiliki beberapa puncak. Jumlah puncak tergantung pada ϕ_{maks} dan bertambah secara linier terhadap ϕ_{maks} ^[5]:

$$\phi_{\text{maks}} = \left(M - \frac{1}{2} \right) \pi \quad (2.37)$$

Dimana

M = jumlah puncak spektral



Gambar 2.5 Evolusi spektral pulsa dalam serat optik akibat pengaruh *SPM*.

2.6 Pengaruh Kombinasi GVD dan SPM Dalam Serat Optik

Pengaruh kombinasi fenomena *GVD* dan *SPM* pada evolusi pulsa sepanjang serat optik mempunyai karakteristik yang berbeda dengan pengaruh masing-masing fenomena tersebut. Propagasi pulsa dalam serat optik yang dipengaruhi oleh fenomena *GVD* dan *SPM* dapat dimodelkan oleh persamaan (2.4), yang dinormalisasikan menjadi^[5]:

$$i \frac{\partial U}{\partial \xi} = (\pm) \beta_2 \left(\frac{1}{2} \right) \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} - N^2 \exp(-\alpha z) |U|^2 U \quad (2.38)$$

Dimana:

$$\xi = \frac{Z}{L_D} = \text{jarak ternormalisasi} \quad (2.39)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \text{variabel waktu ternormalisasi} \quad (2.40)$$

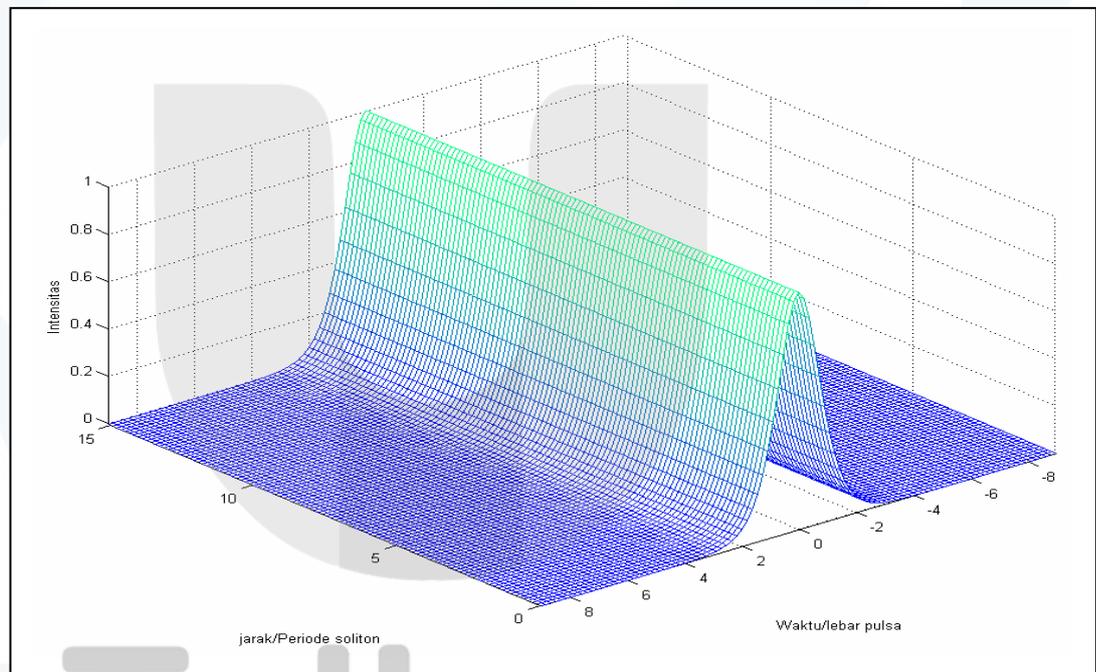
$$N^2 = \frac{L_D}{L_{NL}} = \frac{\gamma P_0 T_0^2}{|\beta_2|} \quad (2.41)$$

Dari persamaan (2.38), diketahui bahwa parameter N menentukan besarnya pengaruh kombinasi fenomena *SPM* dan *GVD* pada evolusi pulsa sepanjang serat optik. Pengaruh fenomena *GVD* akan mendominasi untuk $N \ll 1$, sementara fenomena *SPM* mendominasi untuk $N \gg 1$. Untuk nilai $N \approx 1$, kombinasi fenomena *SPM* dan *GVD* mempunyai pengaruh yang sama.

Pada propagasi pulsa yang dipengaruhi oleh fenomena *GVD* dan *SPM*, pulsa melebar lebih cepat dibandingkan dengan kasus $N = 0$ (fenomena *SPM* diabaikan). Hal ini terjadi karena fenomena *SPM* membangkitkan komponen frekuensi baru yaitu frekuensi rendah dekat ujung depan dan frekuensi tinggi dekat ujung belakang pulsa. Karena komponen frekuensi rendah berjalan lebih cepat daripada komponen frekuensi tinggi bila $\beta_2 > 0$, maka fenomena *SPM* menimbulkan peningkatan laju pelebaran pulsa dibandingkan dengan yang terjadi bila evolusi pulsa hanya dipengaruhi oleh fenomena *GVD*. Untuk harga $\beta_2 < 0$, pulsa melebar mula-mula pada laju yang lebih rendah dibandingkan dengan kasus $N = 0$ dan kemudian

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK BERBASIS SOLITON YANG DIDASARKAN PADA BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, INTERAKSI SOLITON, DAN TIMING JITTER

mencapai keadaan stabil pada jarak tertentu. Pada saat yang sama spektrum akan menyempit dan tidak menunjukkan pelebaran yang biasanya terjadi akibat pengaruh fenomena *SPM* bila fenomena *GVD* tidak ada. Hal ini terjadi karena *chirp* akibat fenomena *SPM* positif bila *chirp* akibat fenomena *GVD* adalah negatif untuk $\beta_2 < 0$. Pengaruh kedua *chirp* tersebut hampir saling menghilangkan sepanjang bagian tengah pulsa bila $L_D = L_{NL}$ ($N = 1$). Bentuk pulsa seolah-olah mengatur dirinya sendiri selama propagasi untuk membuat penghilangan pengaruh antara *chirp*. Dengan demikian fenomena *GVD* dan *SPM* saling bekerja sama untuk menjaga pulsa bebas *chirp*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Evolusi pulsa soliton pada serat optik.

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK BERBASIS SOLITON YANG DIDASARKAN PADA BIT RATE, AMPLIFIER SPACING, INTERAKSI SOLITON, DAN TIMING JITTER

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Adanya faktor redaman tidak menyebabkan perioda pulsa melebar saat proses transmisi meskipun terdapat redaman fisik dari serat optik tersebut, karena *envelope* dari pulsa soliton tidak mengandung parameter yang dapat melebarkan pulsa. Yang mengalami peluruhan adalah intensitas dari pulsa. Faktor penurunan kestabilan intensitas soliton adalah redaman dengan pola penurunan intensitas secara eksponensial.
2. Pulsa soliton dapat berpropagasi secara stabil hingga *receiver* setelah adanya *amplifier* dengan *gain* yang tepat pada jarak tertentu. Besarnya *amplifier spacing* tergantung pada redaman serat optik. Semakin besar redaman serat optik, maka *amplifier spacing* yang dibutuhkan semakin kecil.
3. Semakin jauh jarak propagasi yang digunakan maka harga pulsa pemisahan awal harus semakin besar pula agar jarak antar pulsa soliton tetap stabil.
4. Dengan digunakannya EDFA pada *link* transmisi akan mengakibatkan terjadinya *timing jitter* yang disebabkan karena *clock* yang tidak sinkron pada masing-masing *amplifier* tersebut. *Timing jitter* tersebut disebabkan oleh adanya noise ASE (*Amplified Spontaneous Emission*) yang dihasilkan oleh EDFA.
5. *Bit-rate-distance product* (*BL product*) sangat berpengaruh pada saat kita *men-design* sebuah *link* soliton. Besarnya BL Product yang terjadi dipengaruhi empat parameter yaitu *soliton spacing*, *amplifier spacing*, *timing jitter*, dan *multichannel soliton links*.

5.2 Saran

Pada Tugas Akhir ini serat optik yang digunakan adalah serat optik *single-mode*. Untuk penelitian lebih lanjut sebaiknya dianalisis penggunaan serat optik *multi-mode*, serta untuk mereduksi *timing jitter* sebaiknya digunakan *Distributed Raman Amplifier*^[5]. Pada Tugas Akhir ini digunakan EDFA karena EDFA akan bekerja optimal pada panjang gelombang yang sama dengan soliton yaitu 1550 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. Selvarajan, S. Kar, and T. Srinivas, "*Optical Fiber Communication: Principles and Systems*", Mc Graw Hill Inc, New York, 2002.
- [2]. D. Breuer, F. Kuppers, dan A. Mattheus, "*Symmetrical Dispersion Compensation for standard Monomode-Fiber-Based Communication Systems with large Amplifier Spacing*", *Optics Letters* / Vol. 22, no. 13 / July 1, 1997
- [3]. Daniel Erpriandy M., "*Tugas Akhir: Analisis Kinerja Sinyal Bright Soliton pada Transmisi Serat Optik*", STTTelkom, 2003.
- [4]. Rustam Siregar, "*Dasar-Dasar Komunikasi Serat Optik*", STTTelkom, Bandung, 1998
- [5]. G.P. Agrawal, "*Nonlinear Fiber Optics: Second Edition*", Academic Press, San Diego, 1995.
- [6]. Gerd Keiser, "*Optical Fiber Communication: Third Edition*", Mc Graw Hill Inc., New York, 2000.
- [7]. J.R. Taylor, "*Optics Solitons Theory and Experiment*", Cambridge University Press, 1992.
- [8]. John Powers, "*An Introduction to Fiber Optic Systems: Second Edition*", Irwin Inc., Chicago, 1997.
- [9]. Mamat Rokhmat, "*Transmisi Sinyal Soliton melalui Fiber Optik Mode Tunggal*", Bandung, 2000.
- [10]. Nolasco Pinto, Govind P. Agrawal, dan J. Ferreira da Rocha, "*Effect of Soliton Interaction on Timing Jitter in Communication Systems*", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 16, No. 4, April 1998.