

PENGARUH ALOKASI KANAL DAN KARAKTERISTIK SERAT OPTIS TERHADAP BESARNYA EFEK *FOUR WAVE MIXING* (FWM) DALAM KOMUNIKASI OPTIS

Dwi Widya Ardelina*
L2F096582

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

ABSTRAK

Four Wave Mixing (FWM) adalah efek tidak linear yang paling merugikan dalam sistem *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*. Sinyal FWM dapat menyebabkan cakup-silang akibat banyaknya kanal yang disalurkan. Efek FWM adalah munculnya sinyal-sinyal optis baru karena pencampuran sinyal-sinyal optis kuat dengan frekuensi yang berdekatan. Dalam komunikasi optis, besar daya sinyal FWM dipengaruhi oleh pengaturan lokasi dan daya kanal serta karakteristik serat optis yang digunakan.

Telah dibuktikan dengan simulasi dalam penelitian ini, bahwa pengaturan jarak antar kanal yang tidak seragam dapat mengurangi terjadinya cakup-silang kanal asli dengan sinyal FWM. Sementara itu penggunaan serat optis dengan nilai mutlak dispersi yang tinggi serta luas efektif inti serat yang cukup besar dapat mengurangi daya FWM yang dibangkitkan.

Indeks Istilah – *Four Wave Mixing*, Teknik alokasi kanal tidak sama, DWDM, atenuasi, dispersi, luas efektif inti serat, DSF, NZDSF.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* dalam komunikasi optis sangat diandalkan karena dapat memanfaatkan serat optis secara efektif dengan lebar-bidang yang cukup besar. Teknik DWDM menggunakan banyak sumber cahaya laser, dengan panjang-gelombang berbeda-beda yang digunakan untuk memancarkan sinyal cahaya kanal-kanal informasi. Berkas-berkas laser tersebut disatukan oleh multiplexer dan disalurkan secara bersama-sama dalam satu jalur serat optis. Di ujung serat optis telah disiapkan demultiplexer untuk memisahkan kembali kanal-kanal tersebut menurut panjang-gelombangnya, sehingga dapat dibaca oleh detektor-detektor optis yang bersesuaian.

DWDM memungkinkan pengiriman banyak kanal informasi dalam satu jalur serat optis, sehingga serat optis itu memiliki kapasitas pengiriman informasi yang besar. Salah satu penggunaan teknologi DWDM di Indonesia adalah Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) yang merupakan tulang-punggung sistem komunikasi internasional di Indonesia.

Penggunaan DWDM mampu meningkatkan kapasitas transmisi menjadi lebih besar, tetapi di lain pihak dapat membesar efek ketidakefektifan serat optis yang menyebabkan terjadinya cakup-silang sehingga menurunkan kinerja sistem. Efek ketidakefektifan serat optis berbanding lurus dengan intensitas cahaya yang melaluinya. Teknik DWDM, yang menyalurkan berkas-berkas cahaya secara bersama-sama dalam satu jalur serat optis, akan meningkatkan intensitas cahaya dalam serat optis tersebut, sehingga indeks ketidakefektifannya akan ikut meningkat.

Salah satu efek ketidakefektifan yang paling penting adalah *Four Wave Mixing (FWM)*. FWM adalah suatu sinyal-sinyal baru yang dibangkitkan karena adanya pencampuran sinyal-sinyal optis kuat yang berdekatan. Besarnya daya sinyal-sinyal FWM berbanding lurus dengan rapatnya jarak antar kanal dan tingkat daya kanal masukan. Efek FWM menyebabkan terjadinya cakup-silang pada kanal masukan, sehingga besarnya daya yang dipancarkan dan banyaknya kanal yang disalurkan menjadi terbatas.

Suatu sistem DWDM harus dirancang sebaik-baiknya, sehingga turunnya kinerja sistem karena efek ketidakefektifannya, terutama FWM, dapat dibuat sekecil mungkin. Cakup-silang karena efek FWM ini dapat dikurangi dengan pengaturan alokasi kanal yang tidak seragam dan pemilihan spesifikasi serat optis yang tepat.

Penelitian ini dibuat untuk menunjukkan bagaimana pengaturan alokasi kanal dan pemilihan karakteristik serat optis dapat mengurangi terjadinya cakup-silang dan menurunkan daya sinyal FWM yang dibangkitkan.

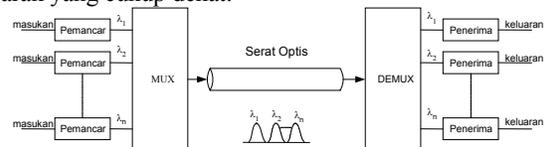
Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi hanya pada hal-hal yang mempengaruhi besarnya cakup-silang karena efek tidak linear FWM terhadap kinerja sistem DWDM dan besarnya daya FWM yang dibangkitkan. Efek tidak linear lain tidak diperhitungkan. Serat optis yang digunakan adalah jenis mode tunggal *Dispersion Shifted Fiber (DSF)* dan *Non Zero Dispersion Shifted Fiber (NZDSF)*.

II. METODE DWDM DALAM SISTEM KOMUNIKASI OPTIS

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan sistem komunikasi yang andal dengan kapasitas transmisi yang besar maka sistem komunikasi serat optis DWDM menjadi pilihan yang pantas dipertimbangkan. Kemampuan DWDM dalam menghemat jalur serat optis yang ada merupakan keunggulan utama. Gambar 2.1 menunjukkan diagram sistem DWDM.

DWDM adalah salah satu teknik transmisi data dalam serat optis. DWDM melibatkan proses multiplexing beberapa sinyal dengan panjang-gelombang berbeda-beda dan disalurkan ke dalam suatu serat optis tunggal. Dengan demikian setiap serat memiliki satu himpunan kanal-kanal optis yang disalurkan paralel, masing-masing kanal menggunakan panjang-gelombang cahaya yang berbeda-beda dengan jarak yang cukup dekat.



Gambar 2.1 Diagram blok DWDM

Beberapa keunggulan teknik DWDM dibanding teknik konvensional adalah pemakaian serat optis yang lebih optimal, efisiensi dalam pemasangan, pemeliharaan dan pengembangan, penggunaan penguat optis lebih optimal, transparan terhadap laju bit dan format data.

Sistem DWDM terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu: pengirim atau sumber optis, multiplexer, serat optis, perangkat pengulang, penguat optis, demultiplexer, dan penerima atau detektor optis.

Komponen DWDM

Sumber Optis

Fungsi utama sumber optis adalah untuk mengubah sinyal informasi elektronis menjadi sinyal optis pada sisi pengirim sehingga dapat disalurkan ke dalam serat optis. Karakteristik penting yang dibutuhkan dari sumber optis ini adalah kemampuannya untuk menghasilkan berkas cahaya laser yang stabil pada panjang-gelombang tertentu. Selain itu harus memiliki spektral cahaya yang sempit dan waktu tanggap yang cepat dan dapat memancarkan cahaya dengan daya yang cukup kuat pada panjang-gelombang optis 1300 nm – 1550 nm.

Multiplexer

Multiplexer optis berfungsi untuk menggabungkan sinyal-sinyal masukan transmisi dengan panjang-gelombang yang berbeda ke dalam satu serat optis. Beberapa kanal gelombang masukan ke multiplexer optis akan disalurkan secara bersama-sama dalam serat optis dan merambat secara bersama-sama juga.

Serat Optis

Serat optis merupakan komponen paling utama pada SKKL serat optis. Komponen serat optis berfungsi untuk menyalurkan informasi dalam bentuk sinyal optis dari sisi pengirim untuk disampaikan ke sisi penerima.

Perangkat Pengulang

Perangkat pengulang berfungsi untuk mengkompensasi sinyal optis yang mengalami redaman sepanjang saluran transmisi pada jarak tertentu. Jarak pemasangan pengulang dilakukan dengan mempertimbangkan redaman pada serat optis yang dipakai, kemampuan penguatan yang dapat dilakukan oleh perangkat pengulang, dan margin sistem yang diberikan.

Penguat Optis

Penguat optis berfungsi untuk menguatkan sinyal tanpa mengubah lebih dahulu ke dalam bentuk elektrik. Hal ini diperlukan karena perubahan dari bentuk optis ke bentuk elektrik dan sebaliknya akan menyebabkan penurunan lebar-bidang dan kualitas. Komponen detektor optis yang dipergunakan pada SKKL serat optis pada umumnya adalah detektor optis *Avalanche Photodiode Detector* (APD).

Detektor Optis

Fungsi utama komponen detektor optis adalah sebagai pengubah kembali sinyal optis yang berasal dari saluran transmisi serat optis menjadi sinyal elektrik pada ujung rangkaian penerima. Komponen detektor optis harus memiliki kepekaan (*sensitivitas*), tanggapan

(*response*) yang tinggi, dan memiliki angka penguatan yang cukup besar.

Jenis-Jenis Serat Optis

Serat optis menurut mode perambatan gelombangnya dikelompokkan dalam dua jenis, yaitu *multimode* dan *singlemode*. Disebut *multimode* karena cahaya dalam serat dapat merambat dalam beragam mode, sedangkan *singlemode* berarti cahaya hanya dapat merambat melalui satu mode saja, yaitu mode sejajar inti yang terpendek. Serat optis yang banyak digunakan dewasa ini adalah dari jenis *singlemode* karena dapat menghindari terjadinya tunda rambatan.

Parameter penting serat optis yang perlu dipertimbangkan adalah indeks bias, atenuasi, dispersi dan luas efektif inti serat. Atenuasi adalah perbandingan daya keluaran dan daya masukan ke serat dinyatakan dalam dB. Dispersi adalah fenomena kecepatan rambat cahaya yang berbeda jika panjang-gelombangnya berbeda. Jenis-jenis serat optis *singlemode* meliputi *Single Mode Fiber* (SMF), *Dispersion Shifted Fiber* (DSF) dan *Non Zero Dispersion Shifted Fiber* (NZDSF)

Single Mode Fiber (SMF)

SMF distandarisasi oleh ITU-T melalui rekomendasi G.652. SMF dirancang untuk beroperasi pada 1310 nm karena pada daerah itu dispersinya nol. Nilai atenuasi SMF terendah adalah 0,3-0,4 dB/km pada 1310.

Dispersion Shifted Fiber (DSF)

DSF distandarisasi oleh ITU-T melalui rekomendasi G.653. DSF dirancang untuk beroperasi pada 1550 nm karena pada daerah itu dispersinya nol. Nilai atenuasi DSF terendah dicapai pada daerah 1550 nm sebesar 0,19-0,25 dB/km.

Non Zero Dispersion Shifted Fiber (NZDSF)

NZDSF distandarisasikan oleh ITU-T melalui rekomendasi G.655. NZDSF dirancang memiliki dispersi tidak nol dalam panjang-gelombang operasinya pada 1530 nm - 1565 nm. Atenuasi pada daerah operasinya sebesar 0,35 dB/km.

Ketidaklinearan Serat Optis

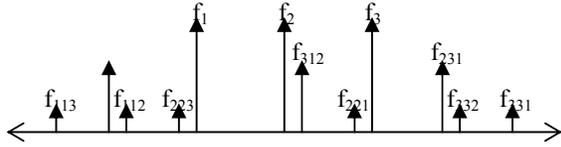
Ketidaklinearan pada serat optis berarti terjadinya perubahan warna cahaya setelah dilewatkan pada zat serat optis. Cahaya berwarna tunggal masuk pada suatu sisi zat transparan tetapi warna berbeda yang muncul pada sisi lainnya.

Jenis ketidaklinearan serat optis yang penting adalah *Stimulated Raman Scattering* (SRS), *Stimulated Brillouin Scattering* (SBS) dan *Four Wave Mixing* (FWM). Penelitian ini menekankan pada fenomena FWM karena paling sering terjadi pada sistem DWDM.

Four Wave Mixing (FWM)

FWM timbul akibat pengaruh ketergantungan indeks bias serat optis dengan intensitas gelombang optis yang merambat sepanjang serat. Interaksi ini menyebabkan munculnya gelombang optis lain dengan frekuensi f_g yang terjadi melalui pencampuran (*mixing*) tiga gelombang dengan frekuensi f_i , f_j , dan f_k menurut persamaan

$f_g = f_i + f_j - f_k$. Gambar 2.2 menunjukkan gelombang FWM yang muncul untuk tiga gelombang asli.



Gambar 2.2 Gelombang-gelombang yang muncul akibat FWM

Setiap N kanal asli akan membangkitkan gelombang FWM sebanyak $N^2(N-1)/2$. Besar daya sinyal FWM ditentukan dengan persamaan:

$$P_{ijk} = \eta_{ijk} \frac{1024\pi^6 \chi_{1111}^2 d^2}{n^4 \lambda^2 c^2} \left(\frac{L_{eff}}{A_{eff}} \right)^2 P_i \cdot P_j \cdot P_k \cdot \exp(-\alpha L)$$

dengan :

P_{ijk} = Daya FWM yang dibangkitkan (W)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

d = faktor degenerasi

L = jarak antar penguat (m)

L_{eff} = panjang efektif serat optis (m)

A_{eff} = luas efektif serat optis (m^2)

P = daya puncak sinyal kanal (W)

η_{ijk} = efisiensi FWM

χ_{1111} = *susceptibility nonlinear* serat orde ketiga (V^3/m^3)

n = indeks refraktif serat optis

λ = panjang-gelombang operasional (m)

α = atenuasi (dB/km)

Efisiensi FWM adalah perbandingan daya yang dibangkitkan tanpa kesamaan fase dengan daya yang dibangkitkan dengan kesamaan fase gelombang. Efisiensi ditentukan dengan persamaan:

$$\eta = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \left(1 + \frac{4e^{-\alpha L} \sin^2(\Delta\beta/2)}{(1 - e^{-\alpha L})^2} \right)$$

$\Delta\beta$ adalah selisih konstanta perambatan sinyal-sinyal kanal masukan, ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta\beta = \beta_g + \beta_k - \beta_j - \beta_i = \frac{2\pi\lambda^2}{c} \Delta f^2 \left(D + \Delta f \frac{\lambda^2}{c} \frac{dD}{d\lambda} \right)$$

dengan :

β = konstanta propagasi gelombang (m^{-1})

D = Dispersi kromatik (ps/km.nm)

$dD/d\lambda$ = laju perubahan dispersi (ps/km.nm²)

Pengaturan Alokasi Kanal Masukan Teknik USCA

Terdapat dua alternatif manajemen kanal dalam DWDM, yaitu teknik *Equally Spaced Channel* (ECS) atau alokasi kanal dengan jarak sama dan *Unequally Spaced Channel Allocation* (USCA) atau alokasi kanal dengan jarak tidak sama. Teknik USCA ini diterapkan terutama untuk mengurangi cakup-silang karena FWM. Teknik USCA yang optimal dapat memastikan bahwa tidak akan ada sinyal FWM yang dibangkitkan pada frekuensi yang sama dengan frekuensi kanal manapun,

jika jarak frekuensi dari dua kanal adalah berbeda dengan jarak frekuensi pada pasangan frekuensi kanal yang lain. Salah satu metode untuk mendapatkan susunan kanal USCA adalah dengan menggunakan segitiga beda-frekuensi atau *Frequency Difference Triangle* (FDT). Kerugian dari teknik USCA adalah kebutuhan lebar-bidang yang lebih lebar dibandingkan ECS.

III. PERANCANGAN PROGRAM SIMULASI

Program simulasi ini secara keseluruhan dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu:

- 1) pengaruh alokasi kanal terhadap daya FWM yang dibangkitkan, dan
- 2) pengaruh karakteristik serat optis terhadap daya FWM yang dibangkitkan.

Program untuk menentukan pengaruh alokasi kanal terhadap daya FWM yang dibangkitkan dirancang dengan cara menentukan alokasi kanal-kanal masukan kemudian menghitung daya sinyal FWM. Penentuan alokasi kanal masukan dapat dipilih antara jarak antar kanal yang sama atau jarak antar setiap kanal berbeda. Hasilnya adalah suatu grafik batang spektrum frekuensi yang menunjukkan lokasi kanal-kanal serta sinyal FWM yang dibangkitkan pada ujung saluran dan besar masing-masing sinyal tersebut. Hasil berupa *file* dokumen juga dapat diperoleh jika diperlukan.

Program simulasi ini juga dapat menunjukkan spektrum frekuensi gelombang FWM untuk beberapa jenis serat optis. Pengguna hanya diminta untuk memberikan masukan berupa spesifikasi serat optis yang akan diuji. Di samping itu ditunjukkan juga dalam simulasi ini pengaruh perubahan parameter serat optis dan sistem komunikasi optis terhadap besarnya daya sinyal FWM yang dibangkitkan. Data-data serat optis yang diperlukan, yaitu: faktor atenuasi (α), luas efektif serat (A_{eff}), indeks refraktif serat (n), jarak antar penguat (L_{amp}), dispersi (D), laju perubahan dispersi ($\delta D/\delta \lambda$) dan jumlah pengulang optis yang digunakan.

IV. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

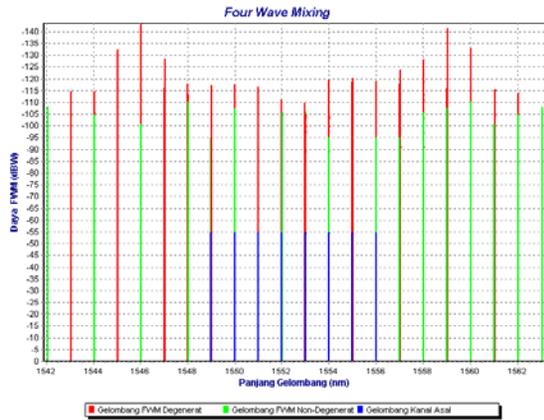
Simulasi Pengaruh Alokasi Kanal Masukan

Simulasi untuk alokasi kanal sama dan tidak sama menggunakan serat optis LEAF *Corning*, diperlihatkan pada Tabe 4.1.

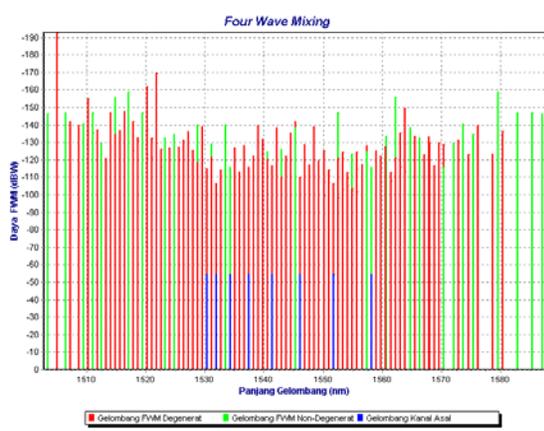
Tabel 4.1 Spesifikasi serat optis untuk simulasi alokasi kanal

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Jenis Serat Optis LEAF [®] <i>Corning</i> [®]			
Faktor atenuasi	Alfa	0.25	dB/km
Luas efektif serat	A_{eff}	72	μm^2
Indeks refraktif serat	N	1.469	
Jarak antar penguat optis	L_{amp}	100	km
Dispersi	D	6	ps/km.nm
Laju dispersi	$dD/d\lambda$	0.05	ps/km.nm ²
Jumlah pengulang		5	

Hasil simulasi untuk alokasi kanal sama dan alokasi kanal tidak sama diberikan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Hasil simulasi untuk jarak antar kanal sama



Gambar 4.2 Hasil simulasi untuk jarak antar kanal tidak sama

Hasil simulasi untuk jarak antar kanal sama diperoleh rata-rata daya FWM yang dibangkitkan adalah -104,772 dBW, sementara jika jarak antar kanal disusun tidak sama rata-rata daya FWM adalah -123,014 atau lebih kecil.

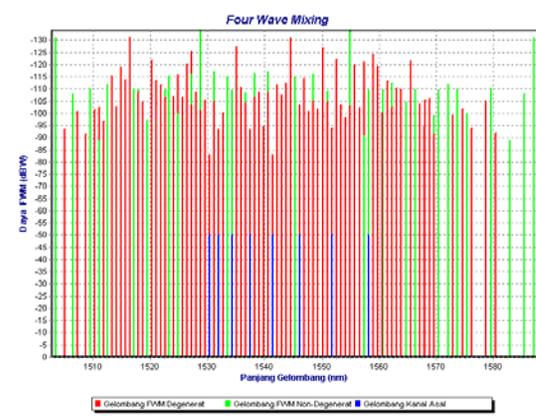
Terbukti juga cakup-silang sinyal FWM dengan sinyal kanal asli dapat dihindari dengan teknik alokasi jarak antar kanal tidak sama. Gelombang FWM yang dibangkitkan dapat dijaga cukup jauh dari lokasi kanal masukan. Di lain pihak, jarak kanal sama akan membuat sinyal FWM yang dibangkitkan berada dekat atau berhimpit pada panjang-gelombang kanal asli dan menghasilkan cakup-silang.

Simulasi terhadap Jenis-jenis Serat Optis Berbeda

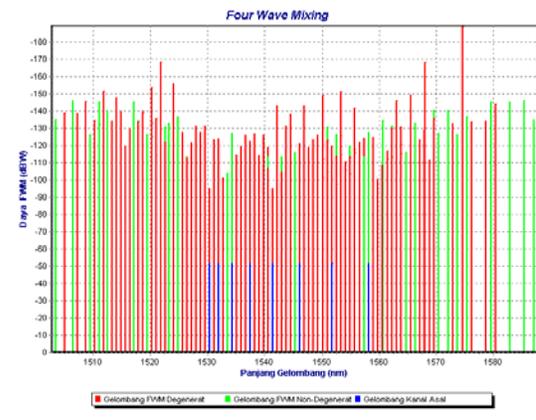
Simulasi ini dilaksanakan terhadap jenis-jenis serat optis yang berbeda-beda. Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.3. Hasil simulasi untuk masing-masing jenis serat optis diberikan pada Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

Perbandingan Parameter Serat Optis						
Parameter	Satuan	DSF	NZDSF	LEAF Coning	ColorLock	SMF-28 Coning
Faktor silang	dB/km	1762	0.22	0.25	0.25	0.3
Luas efektif serat	um ²	54.13	55	72	60.79	52.7034
Indeks refraktif serat		1.47	1.47	1.468	1.4645	1.4682
Jarak antar pengkut optis	km	100	100	100	100	100
Dispersi	ps/km.nm	3.5	10	6	17	17.461
Laju depresi	ps/km.nm ²	0.07	0.055	0.05	0.066	0.052
Jumlah pengulang		5	5	5	5	5

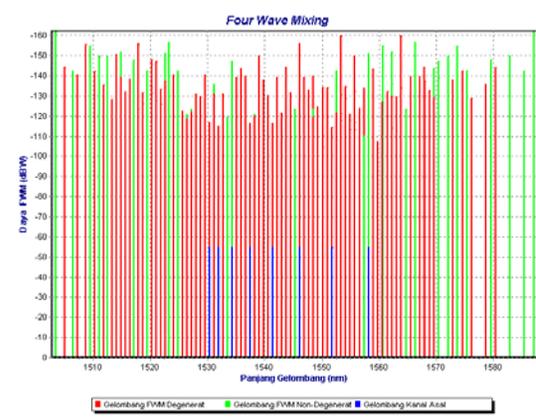
Gambar 4.3 Spesifikasi Serat Optis



Gambar 4.4 Hasil Simulasi DSF



Gambar 4.5 Hasil Simulasi NZDSF



Gambar 4.6 Hasil Simulasi ColorLock

Perhatikan bahwa hasil simulasi untuk serat optis LEAF *Corning* dapat dilihat pada Gambar 4.2. Perbandingan rata-rata daya untuk setiap jenis serat optis yang disimulasikan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Ringkasan rerata daya FWM

	DSF	NZDSF	LEAF	ColorLock
Rerata (dBW)	-103,530	-121,524	-123,014	-128,800

Pada serat optis DSF, gelombang FWM yang dibangkitkan dalam simulasi ini cukup besar. Hal ini karena serat optis jenis DSF mempunyai luas efektif inti yang kecil dan nilai dispersi yang mendekati nol pada panjang-gelombang operasi 1550 nm. Luas efektif yang kecil akan meningkatkan intensitas cahaya, sehingga meningkatkan ketidak-linearitas serat optis, dalam hal ini adalah FWM. Tidak adanya dispersi pada DSF dapat menyebabkan faktor kecocokan fase (*phase matching factor*, $\Delta\beta$) menjadi kecil, artinya dispersi yang kecil membuat kanal-kanal masukan akan mempunyai konstanta propagasi yang hampir sama. $\Delta\beta$ yang kecil ini dapat membuat efisiensi FWM menjadi besar sehingga gelombang FWM yang dibangkitkan menjadi besar.

Pada Gambar 4.4, gelombang FWM yang dibangkitkan dalam serat optis jenis NZDSF ini lebih kecil daripada pada serat optis jenis DSF. Sesuai dengan rekomendasi ITU-T G.655, serat optis jenis NZDSF ini memang dirancang untuk memenuhi kebutuhan serat optis yang dapat mengurangi efek FWM. Perbaikan parameter serat optis yang dilakukan pada NZDSF paling utama adalah pada nilai dispersi yang tidak mendekati nol pada panjang-gelombang operasi 1550 nm. Luas efektif serat yang cukup besar menjadikan intensitas cahaya dalam kanal dapat dijaga pada kisaran yang tidak terlalu besar.

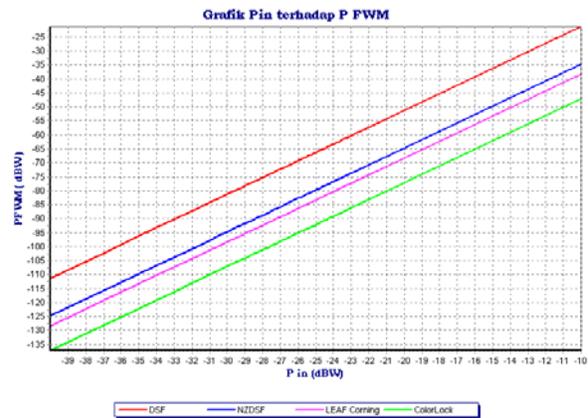
Adapun LEAF *Corning* adalah serat optis dari jenis NZDSF tetapi dengan luas efektif inti yang lebih besar. Daya FWM yang dihasilkan cukup kecil dibandingkan serat optis NZDSF umumnya. Hasil yang cukup bagus ini diperoleh karena serat optis LEAF *Corning* ini memiliki spesifikasi yang dapat menekan timbulnya efek FWM. Parameter yang paling berpengaruh adalah faktor pelemahan yang cukup besar, luas efektif inti serat yang besar dan juga adanya dispersi pada panjang-gelombang gelombang operasional 1550 nm sebesar 6 ps/km.nm.

Serat optis *ColorLock* juga menunjukkan kinerja yang memuaskan dalam menekan daya FWM. Secara umum spesifikasi serat optis ini hampir sama dengan LEAF *Corning*. Perbedaannya, *ColorLock Alcatel* memiliki dispersi minimum pada panjang-gelombang 1310 nm, namun karena dalam simulasi ini panjang-gelombang operasi yang digunakan adalah pada 1550 nm, maka nilai dispersi yang diperhitungkan adalah 17 ps/km.nm. Hal ini mengakibatkan daya FWM yang dibangkitkan lebih kecil daripada LEAF *Corning*, di mana nilai dispersinya adalah 6 ps/km.nm. Terbukti dengan simulasi ini bahwa nilai dispersi yang besar dapat menurunkan efek FWM.

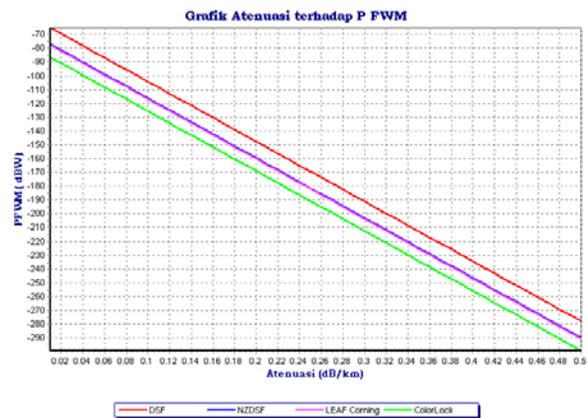
Pengaruh Perubahan Parameter Serat Optis terhadap Daya FWM

Setiap parameter dalam serat optis dapat mempengaruhi besarnya sinyal daya FWM dengan kecenderungan yang berbeda-beda. Simulasi telah dilaksanakan terhadap lima jenis serat optis untuk mengetahui kecenderungan tersebut dengan spesifikasi seperti pada Gambar 4.3. Parameter yang disimulasikan adalah daya kanal masukan, atenuasi, jarak antar penguat, luas efektif inti serat dan dispersi.

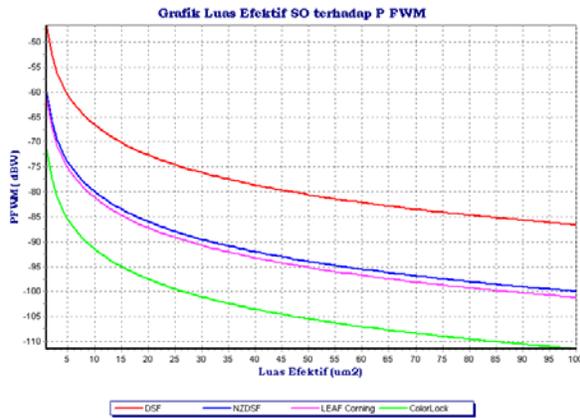
Dalam hal ini alokasi kanal yang disimulasikan adalah alokasi kanal dengan jarak antar kanal sama. Hasil simulasinya dapat dilihat pada Gambar 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, dan 4.11.



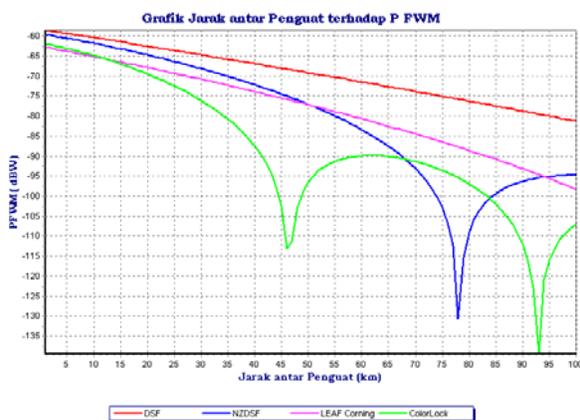
Gambar 4.7 Grafik daya masukan terhadap daya FWM



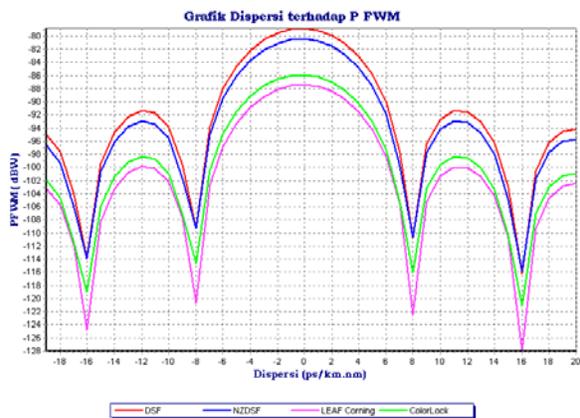
Gambar 4.8 Grafik atenuasi terhadap daya FWM



Gambar 4.9 Grafik luas efektif terhadap daya FWM



Gambar 4.10 Grafik jarak antar penguat terhadap daya FWM



Gambar 4.11 Grafik dispersi terhadap daya FWM

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tingkat daya FWM yang dibangkitkan berbanding lurus dengan tingkat daya masukan. Hal ini jelas karena FWM adalah efek tidak-linear serat yang besarnya sebanding dengan intensitas atau daya optis dalam serat. Sementara itu, atenuasi pada serat optis dapat menyerap daya optis

dalam serat sehingga besarnya daya FWM akan berbanding terbalik dengan atenuasi.

Serat optis dengan luas inti yang cukup besar menjadikan daya optis di dalamnya tersebar merata sehingga intensitas cahaya secara keseluruhan menjadi berkurang. Hal ini menjadikan efek tidak-linear berkurang. Sehingga daya FWM cenderung berkurang dengan makin besarnya luas efektif serat.

Jarak penguat yang makin jauh membuat penguatan optis makin kecil sehingga intensitas daya optis menurun. Di samping itu penguat optis akan menguatkan semua panjang-gelombang termasuk FWM, sehingga dibuat jarak antar penguat yang makin jauh agar daya FWM menjadi kecil. Grafik pada Gambar 4.10 tidak linear karena adanya pengaruh dispersi.

Dispersi nol pada serat optis menyebabkan daya FWM meningkat, karena pada dispersi nol ini tidak terjadi pelebaran pulsa. Dispersi yang mendekati nol membuat selisih konstanta propagasi kanal-kanal yang ada menjadi kecil atau faktor kecocokan fase $\Delta\beta$ menjadi mendekati nol. Dengan demikian $\Delta\beta$ yang kecil ini tidak dapat menaikkan efisiensi η dibangkitkannya gelombang FWM sehingga daya FWM akan ikut meningkat.

V. PENUTUP

Kesimpulan

1. Alokasi kanal yang tidak sama dapat mengurangi cakap-silang sinyal FWM dengan kanal masukan.
2. Tingkat daya FWM yang dibangkitkan berbanding lurus dengan tingkat daya kanal masukan dan berbanding terbalik dengan atenuasi serat optis.
3. Efek FWM dapat dikurangi dengan menggunakan serat optis dengan luas efektif yang cukup besar dan memiliki nilai mutlak dispersi yang tidak mendekati nol.

Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memperhitungkan faktor tidak-linear lain, misalnya *Stimulated Raman Scattering* (SRS), *Stimulated Brillouin Scattering* (SBS) dan ketidak-linearitan pada penguat dan pengulang optis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cantrell, C. D., *Non Linear Optics Lectures Spring 2001*, University Texas at Dallas, www.utdallas.edu, download pada 9 September 2002.
2. Forghieri, Fabrizio, Tkach, R. W., Chraplyvy, A. R., Gnauck, A. H., Derosier, R. M., *Four-Photon Mixing and High Speed WDM Systems*, *Journal of Lightwave Technology* Vol 13 No. 5, May 1995.
3. Hwang, Bohyeon and Tonguz, Ozan K., *A Generalized Suboptimum Unequally Spaced Channel Allocation Technique – Part I: in IM/DD WDM Systems*, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 46, No. 8, August 1998.

4. Prabudi, Mersagita, *Studi Penerapan Metoda WDM 2 Kanal pada Sistem Komunikasi Kabel Laut Berpenguatan Optis EDFA JASUR AUS*, Depok, 1998.
 5. Wahyudi, Damar Lukito, *Analisis Serat Optis untuk Implementasi DWDM*, Jurusan Elektro FTUI, Depok, 2001.
-

* Penulis adalah mahasiswa tugas akhir pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang. Penulis memiliki peminatan utama pada topik serat optis dan sistem telekomunikasi secara umum. Lahir di Bengkulu pada 31 Januari 1979.

Makalah ini disetujui oleh pembimbing untuk diseminarkan,

Pembimbing I

Prof. Adhi Susanto, M. Sc., Ph. D.

NIP. 131 601 939

Pembimbing II

Wahyudi, S. T., M. T.

NIP. 132 086 662