

ANALISIS KARAKTERISTIK *GAIN HYBRID OPTICAL AMPLIFIER* (FRA-EDFA) PADA SISTEM DWDM

Tiara Fadila ¹⁾, Akhmad Hambali ²⁾, Brian Pamukti ³⁾

^{1),2),3)} Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro, Telkom University
Jl. Telekomunikasi No. 01, Terusan Buah Batu, Bandung
Email : tiarafadhilaa@gmail.com

Abstrak. Sistem komunikasi optik berkembang dengan pesat pada masa sekarang ini, sehingga kebutuhan bandwidth aplikasi broadband meningkat. Sistem DWDM digunakan untuk memanfaatkan bandwidth secara efisien. Hybrid Optical Amplifier (HOA) FRA-EDFA dengan konfigurasi parallel in-line, diusulkan untuk mengoptimalkan penerapan sistem DWDM dalam memenuhi kebutuhan gain bandwidth yang lebar serta gain flatness, sehingga mampu menangani jaringan dengan beban yang besar pada jarak yang jauh. Simulasi terhadap perancangan HOA FRA-EDFA pada sistem DWDM menggunakan Optisystem untuk menganalisis gain dari konfigurasi yang digunakan. Dari hasil simulasi HOA FRA-EDFA dengan konfigurasi parallel in-line pada sistem DWDM, dapat memberikan nilai gain yang cukup besar yaitu 30 – 36 dB pada rentang panjang gelombang 1530 – 1610 nm. Konfigurasi sistem tersebut ditambahkan suatu Gain Flattening Filter (GFFr) untuk mendapatkan nilai gain yang rata. Dari hasil simulasi menggunakan GFFr, didapatkan bandwidth sebesar 96 nm pada rentang 1528 – 1624 nm dengan nilai gain yang rata untuk seluruh panjang gelombang pada rentang tersebut, yaitu sebesar 29.78 dB.

Kata kunci : DWDM, EDFA, FRA, Gain, Optical Amplifier.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi serat optik merupakan salah satu sistem komunikasi yang berkembang dengan pesat pada masa sekarang ini. Bersamaan dengan perkembangan tersebut, jumlah pengguna sistem komunikasi meningkat dan daerah jaringan yang bertambah luas, sehingga kebutuhan aplikasi broadband semakin meningkat. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem komunikasi dengan *gain bandwidth* yang lebar dan performansi yang baik untuk menangani beban jaringan yang cukup besar pada jarak yang jauh. Sistem *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dapat digunakan untuk memanfaatkan bandwidth secara efisien dengan mentransmisikan secara paralel beberapa saluran optik yang memiliki frekuensi berbeda-beda pada satu fiber. Untuk mengoptimalkan sistem DWDM dalam mengatasi degradasi sinyal pada jarak jauh, dibutuhkan suatu penguat optik yang dapat bekerja secara efisien dengan melakukan penguatan secara langsung pada domain optik.

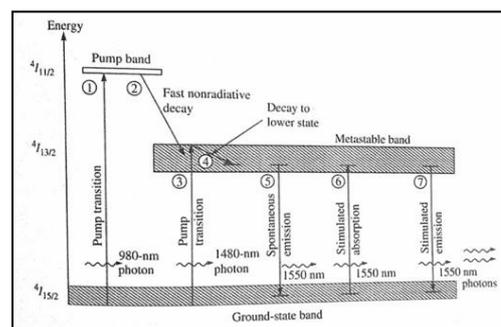
Suatu teknologi penguat optik yang menjanjikan dan banyak digunakan untuk aplikasi broadband berkecepatan tinggi, serta dapat meningkatkan kerja sistem tanpa teknik yang mahal adalah *Hybrid Optical Amplifier* (HOA). HOA merupakan penguat yang mampu menangani jaringan dengan beban besar dan dapat langsung digunakan tanpa konversi ke elektrik terlebih dahulu. Tujuan penggunaan HOA adalah untuk (1) meningkatkan *gain bandwidth* sistem WDM dengan variasi nilai *gain* yang sedikit, (2) mengurangi kerugian karena efek non linearitas yang diinduksi, (3) menghindari kendala *high-cost gain flattening filter* dan *multipumps* untuk *gain-flatness* yang besar [1]. Penguat *hybrid* merupakan teknologi yang menjanjikan dan memberikan kinerja yang lebih baik karena bisa menangani jaringan dengan trafik yang tinggi. Penguat *hybrid* digunakan untuk mengoptimalkan bandwidth dari sistem berbasis WDM [2].

Berbagai konfigurasi HOA untuk sistem DWDM dilakukan pada penelitian [3] dengan menggunakan bit rate yang tinggi dan mengurangi spasi kanal. Dari penelitian tersebut, didapatkan hasil bahwa konfigurasi Raman-EDFA adalah kombinasi terbaik dibandingkan konfigurasi HOA lainnya untuk mencapai hasil yang lebih baik. Pada penelitian [4] yang menggunakan *Fiber Raman Amplifier* (FRA) - *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) dengan konfigurasi penguat yang disusun secara seri, mengungkapkan bahwa terjadi penurunan spektrum gain pada EDFA karena sinyal optik yang

melewati FRA cukup besar untuk mensaturasi media *gain* dari EDFA. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut, dapat dilakukan dengan meningkatkan daya pompa EDFA. Pada penelitian ini dilakukan analisis *gain* terhadap HOA FRA - EDFA dengan konfigurasi *parallel in-line* untuk mengatasi saturasi *gain* EDFA terhadap FRA, mendapatkan *gain bandwidth* yang besar dan kerataan nilai *gain* untuk setiap panjang gelombang yang digunakan. Perancangan konfigurasi penguat *hybrid* pada sistem DWDM menggunakan 80 kanal pada panjang gelombang 1510 nm dengan spasi kanal 1.5 nm yang disimulasikan menggunakan *software Optisystem*.

1.2 Erbium Doped Fiber Amplifier

Penguat optik yang paling umum digunakan untuk aplikasi telekomunikasi *long haul* adalah serat silika yang di doping dengan atom erbium, yaitu EDFA. *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) merupakan serat *single mode* optik yang intinya (*core*) dikotori oleh atom erbium sehingga dapat memberikan penguatan terhadap sinyal yang melewatinya. Atom erbium pada silika yaitu Er^{3+} adalah atom yang erbium yang kehilangan tiga elektron terluarnya. Dalam menggambarkan transisi elektron terluar pada ion untuk keadaan energi yang lebih tinggi, biasanya proses ini disebut sebagai "*raising the ions to higher energy levels*" atau menaikkan ion ke tingkat energi yang lebih tinggi.

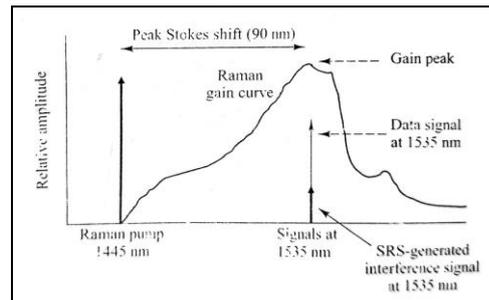


Gambar 1. Diagram level energi ion erbium di silika [5].

Gambar 1 menunjukkan diagram level energi dan transisi level energi dari ion Er^{3+} pada silika. Pada operasi normal, pemompa laser mengemisi 980 nm *photon* untuk mengeksitasi ion dari *ground state* menuju *pump level*. Ion yang tereksitasi mengalami *decay* (*relax*) dengan sangat cepat sekitar 1 μ s dari *pump band* menuju *metastable band*. Selama proses *decay* ini, energi yang berlebih dilepaskan sebagai *phonon* atau pada persamaannya sebagai *mechanical vibrations* pada *fiber* [5].

1.3 Fiber Raman Amplifier

Penguat optik Raman didasarkan pada efek nonlinier yang disebut *Stimulated Raman Scattering* (SRS), yang terjadi pada serat dengan daya optik yang tinggi. Efek SRS disebabkan oleh interaksi antara medan energi optik dan mode getaran struktur kisi dalam material. Pada interaksi tersebut, yang terjadi adalah atom pertama-tama menyerap foton pada energi tertentu dan kemudian melepaskan foton lain pada energi yang lebih rendah, yaitu pada panjang gelombang yang lebih panjang dari pada foton yang diserap. Perbedaan energi antara foton yang diserap dan yang dilepaskan, diubah menjadi fonon yang merupakan mode getaran dari material [5].



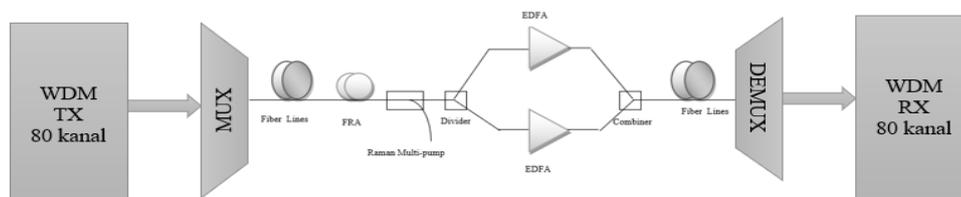
Gambar 2. Spektrum gain Raman [5]

Gambar 2 menunjukkan spektrum *gain* Raman untuk laser pompa yang beroperasi pada 1445 nm dan menggambarkan transfer daya yang diinduksi SRS ke sinyal pada 1535 nm, yang berjarak 90 nm dari panjang gelombang pompa. Dengan mengandalkan *link architecture*, sinyal SRS yang dihasilkan dapat berfungsi sebagai amplifikasi yang disengaja dari data panjang gelombang tertentu atau sinyal interferensi yang tidak diinginkan pada panjang gelombang tersebut [5].

2. Pembahasan

2.1. Model Sistem DWDM

Teknologi DWDM merupakan suatu pengembangan dari jaringan sebelumnya yaitu *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Sistem DWDM pada penelitian ini digunakan untuk mengirimkan 80 kanal dengan panjang gelombang berbeda melalui suatu serat tunggal. Pada sistem DWDM digunakan penguat *hybrid FRA-EDFA* dengan konfigurasi *parallel in-line* seperti pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram blok sistem DWDM

Pada sistem ini terbagi menjadi beberapa bagian yaitu bagian pengirim, media transmisi, dan penerima. Bagian pengirim terdiri dari WDM *transmitter* dan multiplexer yang menggabungkan beberapa panjang gelombang menjadi satu. Bagian media transmisi terdiri dari *fiber* dan konfigurasi penguat dengan menggunakan satu FRA dan dua EDFA yang disusun secara paralel. Bagian penerima terdiri dari demultiplexer dan WDM *receiver*. Sistem ini disimulasikan menggunakan *software Optisystem* untuk memudahkan proses analisis. Parameter sistem yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Sistem DWDM

Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah kanal	80	kanal
Referensi frekuensi	1510	nm
Spasi frekuensi	1.5	nm
Daya pengirim	-15	dBm
Jenis modulasi	NRZ	Tipe
<i>Bandwidth</i>	20	GHz
Insertion loss	0.7	dB

Pada penelitian ini ditentukan juga parameter penguat yang digunakan. Parameter yang digunakan berbeda untuk masing-masing penguat optik. Parameter yang digunakan untuk penguat FRA

ditunjukkan oleh Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan parameter EDFA yang digunakan pada simulasi ini.

Tabel 2. Parameter FRA

<i>Parameter</i>	Nilai	Satuan
<i>Fiber length</i>	22	km
<i>Attenuation</i>	0.2	dB/km
<i>Pump power</i>	130 dan 400	mW
<i>Pump wavelength</i>	1380,1395,1480,1497,1510	nm
<i>Reference wavelength</i>	1550	nm
<i>Upper pump reference</i>	1510	nm
Jumlah penguat	1	-

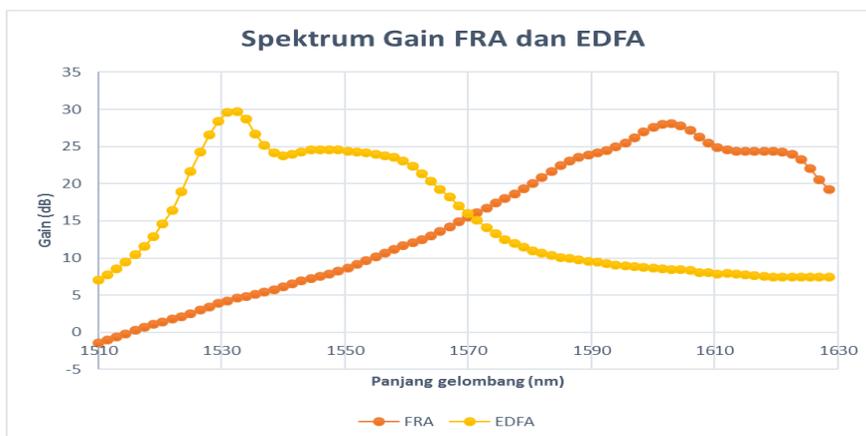
Tabel 3. Parameter EDFA

<i>Parameter</i>	Nilai	Satuan
<i>Core radius</i>	2.2	μm
<i>Er doping radius</i>	2.2	μm
<i>Loss at 1550</i>	0.1	dB/km
<i>Loss at 980</i>	0.15	dB/km
<i>Length</i>	4	m
<i>Forward pump power</i>	0.5	W
<i>Backward pump power</i>	1	W
Jumlah penguat	2	-

Dari parameter yang terdapat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, maka sistem tersebut disimulasikan untuk kemudian diketahui nilai *gain* yang didapatkan.

2.2. Analisis *Gain* Masing-Masing Penguat

Sebelum penguat FRA dan EDFA dikonfigurasi menjadi suatu HOA, terlebih dahulu dilakukan analisis karakteristik *gain* dari masing-masing penguat yang diujikan. Spektrum *gain* dari FRA dan EDFA yang berada pada panjang gelombang pengamatan yang sama yaitu 1510 – 1630 nm dapat dilihat pada Gambar 4.



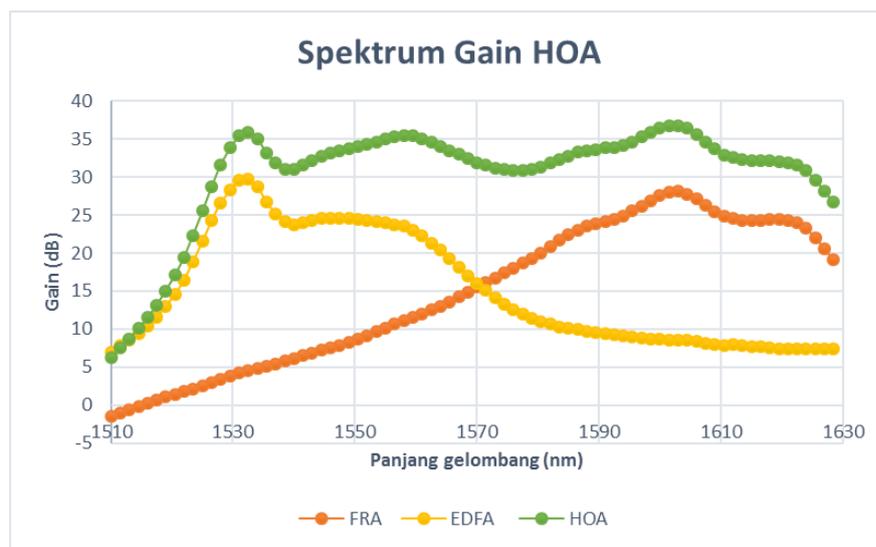
Gambar 4. Spektrum *gain* FRA dan EDFA

Pada gambar 4 terlihat spektrum *gain* EDFA yang berbeda dengan spektrum *gain* FRA. EDFA memiliki *gain* yang meningkat mulai dari 1510 nm sampai dengan puncak *gain* pada 1530 nm dengan

nilai *gain* tertinggi sebesar 29.73 dB, lalu mengalami penurunan hingga 1630 nm dengan nilai *gain* terendah sebesar 8.13 dB. Berbeda dengan spektrum *gain* EDFA, FRA memiliki spektrum *gain* yang terus meningkat pada panjang gelombang 1510 nm sampai dengan panjang gelombang 1603 nm dengan *gain* tertinggi sebesar 28.10 dB dan *gain* terendah pada 1510 nm sebesar -1.46 dB. Berdasarkan hasil ini dapat dilihat bahwa EDFA memiliki karakteristik nilai *gain* yang tinggi pada panjang gelombang *C-Band* (1530 – 1565 nm), dan FRA memiliki nilai penguatan yang baik pada panjang gelombang *L-Band* (1565-1625).

2.3 Analisis Gain Hybrid Optical Amplifier

Berdasarkan analisis pada poin 2.2 maka dengan menggabungkan penguat EDFA dan FRA, dapat dimanfaatkan penguatan EDFA pada daerah *C-Band* dan penguatan FRA pada daerah *L-band*, sehingga penguatan dapat berada pada daerah *C* sampai *L band*. Dari hasil simulasi, didapatkan spektrum *gain* HOA seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.

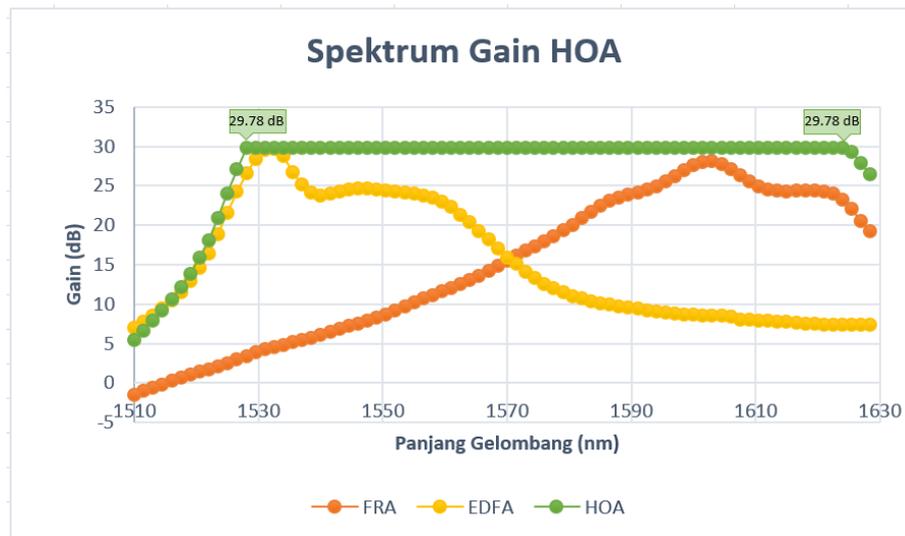


Gambar 5. Spektrum gain HOA

Dapat dilihat pada gambar 5, dengan grafik HOA yang ditunjukkan dengan warna hijau, spektrum *gain* HOA menjadi lebih lebar jika dibandingkan dengan spektrum *gain* dari masing-masing penguat. Sehingga panjang gelombang dengan *band* yang lebar dapat dikuatkan bersamaan. Dengan nilai *gain* yang cukup tinggi pada panjang gelombang 1530 – 1610 nm, yaitu lebih kurang 30 – 36 dB. Hasil ini dapat menunjukkan bahwa konfigurasi HOA dapat menjadi solusi untuk mengatasi *gain bandwidth* yang terbatas.

2.4 Analisis Gain Hybrid Optical Amplifier menggunakan Gain Flattening Filter

Konfigurasi HOA mampu memberikan nilai *gain* yang cukup besar pada rentang panjang gelombang 1530 – 1610 nm. Namun, konfigurasi ini belum mampu memberikan *gain flatness* atau nilai kerataan *gain* yang sama untuk setiap panjang gelombang, sehingga dibutuhkan suatu filter yang mampu membuat spektrum *gain* HOA berada pada nilai penguatan yang sama. *Gain Flattening Filter* (GFFr) dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut. Pada sistem dan konfigurasi HOA yang sama, digunakan GFFr untuk memberikan *gain flatness* pada spektrum *gain* HOA tersebut. Gambar 6 menunjukkan spektrum *gain* HOA yang telah menggunakan GFFr.



Gambar 6. Spektrum gain HOA menggunakan GFF

Dengan menggunakan GFFr, spektrum *gain* HOA menjadi rata pada rentang *bandwidth* 1528 – 1624 nm atau sebesar 96 nm. Selain itu, nilai *gain* yang sama juga didapatkan untuk seluruh panjang gelombang yang berada pada rentang 96 nm tersebut, yaitu sebesar 29.78 dB. Berdasarkan hasil tersebut, konfigurasi HOA FRA-EDFA yang disusun secara *parallel in-line* pada sistem DWDM ini, mampu memberikan *wideband gain bandwidth* sebesar 96 nm dan *gain flatness* sebesar 29.78 dB untuk panjang gelombang tersebut.

3. Simpulan

Dengan demikian penelitian yang memanfaatkan keunggulan karakteristik dari *Erbium Doped Fiber Amplifier* dan keunggulan karakteristik *Fiber Raman Amplifier* pada *band* masing-masing, dapat digabungkan menjadi *Hybrid Optical Amplifier* dengan konfigurasi *parallel in-line* pada sistem DWDM. Sistem ini menghasilkan suatu konfigurasi penguat *hybrid* yang mampu mengatasi permasalahan keterbatasan *bandwidth* dan nilai *gain* yang tidak rata untuk *band* panjang gelombang tertentu. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan konfigurasi HOA ini mampu memberikan nilai *gain* yang cukup besar, yaitu sekitar 30 – 36 dB pada rentang 1530 – 1610 nm. Konfigurasi sistem tersebut ditambahkan suatu *Gain Flattening Filter* (GFFr) untuk mendapatkan nilai *gain* yang rata. Dari hasil simulasi menggunakan GFFr, didapatkan *bandwidth* sebesar 96 nm pada rentang panjang gelombang 1528 – 1624 nm dengan nilai *gain* yang rata untuk seluruh panjang gelombang pada rentang tersebut, yaitu sebesar 29.78 dB.

Daftar Pustaka

- [1]. Simranjit-Singh., & Rajindr. Singh-Kaler, "Review on recent developments in hybrid optical amplifier for dense wavelength division multiplexed system", *Opt. Eng.* 54(10), 100901, Oct 06, 2015.
- [2]. A. Hambali and B. Pamukti, "Performance analysis of hybrid optical amplifier in long-haul ultra-dense wavelength division multiplexing system," in *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCREC)*, Yogyakarta, Indonesia, pp. 80-83, 2017.
- [3]. S. Singh and R. S. Kaler, "Investigation of hybrid optical amplifiers for dense wavelength division multiplexed system with reduced spacings at higher bit rates," *Int. J. Fiber Integr. Opt.*, vol. 31, no. 3, pp. 208–220, 2012.
- [4]. P. Athma Praja, 2017. *Analisis Performansi Hybrid Optical Amplifier Pada Sistem Long Haul Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing*. Bandung, Indonesia: Telkom University.
- [5]. G. Keiser, 2014. *Optical Fiber Communication* (Fifth Edition). McGraw-Hill Higher Education.