

# ANALISIS KARAKTERISTIK *RING RESONATOR* TUNGGAL YANG DIINTEGRASIKAN DENGAN *ERBIUM DOPED FIBER* (EDF) UNTUK DIAPLIKASIKAN SEBAGAI FILTER OPTIK

## Characteristic Analysis of Single Ring Resonator Integrated with Erbium Doped Fiber for Optical Filter Application

Anissa Okta Adi Perwita<sup>1</sup>, Akhmad Hambali<sup>2</sup>, Sasono Rahardjo<sup>3</sup>  
<sup>1,2</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
<sup>3</sup>Staf Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

<sup>1</sup>anissaokta0310@yahoo.com, <sup>2</sup>bphbl@gmail.com, <sup>3</sup>sasono@gmail.com

### Abstrak

Salah satu komponen penting yang digunakan dalam dunia transmisi data adalah filter. Selama ini filter optik yang digunakan seperti *Fiber Bragg-Grating* dan *Mach-Zender* memiliki beberapa kekurangan yaitu membutuhkan *facets* dan *gratings*, *passband* yang sempit, karakteristik *cut-off* yang tidak fleksibel, daya yang sampai di penerima sangat kecil, dan fabrikasi yang mahal dan rumit. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah-masalah tersebut adalah dengan menggunakan *Ring Resonator*. *Ring Resonator* tidak membutuhkan *facets* dan *gratings*. *Ring Resonator* juga memiliki *passband* yang lebih lebar dan karakteristik *cut-off* yang bisa disesuaikan. Selain itu, implementasi berbagai macam model yang berkembang saat ini sudah menunjukkan kemajuan-kemajuan dalam performansi resonator, seperti meningkatnya daya transmisi, dan mengecilnya *linewidth*. Penambahan *Erbium Doped Fiber* (EDF) dalam *Ring Resonator* bisa meningkatkan gain dalam filter yang telah berkurang diakibatkan dengan adanya *bending* dan *scattering losses* pada *ring resonator*. Pada jurnal ini diteliti kinerja single *Ring Resonator* dua kopler yang diintegrasikan dengan *Erbium Doped Fiber* (EDF) terutama dalam konfigurasi *Drop Port Double Beam Configuraion* (DDBC). Parameter-parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja filter adalah *Free Spectral Ratio* (FSR), *Full Width at Half Maximum* (FWHM) dan *Finesse*.

**Kata kunci :** *ring resonator*, EDF, FSR, FWHM, *finesse*

### Abstract

One of the most important components used in data transmission is filter. Until recently, optical fiber like Fiber Bragg-Grating and Mach Zender have weaknesses i.e. it needs facets and gratings, has narrow passband, inflexible cut-off characteristics, has low power when it reached receiver, and high-cost and complex fabrication. One of the alternative ways to overcome the problems is with using ring resonator. Ring resonator doesn't need facets and gratings like FBG. Ring resonator also has wider passband and cut-off characteristic and more customizable than Mach-Zender. Besides, the implementation of the varieties of model which been developed nowadays have showed some promising progress in resonator performance such as in transmission power, and narrow linewidth. With the addition of Erbium Doped Fiber, it can enhance the gain in the filter which has been reduced by bending and scattering losses. In this final project, the performance of single ring resonator with double coupler integrated with EDF will be inspected using Matlab R2010b. The parameters which will be measured are Free Spectral Ratio (FSR), Full Width at Half Maximum (FWHM), Finesse.

**Keywords:** *ring resonator*, EDF, FSR, FWHM, *finesse*

## 1. Pendahuluan

*Ring Resonator* terkenal akan kegunaannya yang sangat banyak dalam sistem komunikasi fiber optik yang memiliki performansi tinggi dan pemroses sinyal fotonik. Struktur *ring resonator* tidak membutuhkan *facets* atau *gratings* untuk *optical feedback*. Respon dari *ring resonator* terkopel bisa diatur dengan menggunakan konfigurasi kopling yang berbeda. Dengan begini, respon dari *ring resonator* bisa diatur memiliki puncak yang rata dan lembah yang curam. *Ring resonator* juga bisa digunakan dalam sensor, biosensor, dan *gyroscope*.

Pada pandu gelombang optik, mekanisme pemandu membutuhkan *device* dengan dimensi yang besar. Selain itu, khususnya dalam dunia telekomunikasi, perjalanan sebuah sinyal dari pengirim sampai ke penerima biasanya membuat sinyal melemah dan butuh untuk dikuatkan kembali. *Ring Resonator* dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini.

Fiber optik atau bentuk optik terintegrasi seperti itu akan menyediakan komponen optik dengan performansi yang sangat tinggi. Dan dengan dua kopler, akan membuat nilai *FSR*, *FWHM*, *Finesse*, dan *Quality Factor* lebih tinggi daripada jika dengan satu kopler. Sebagai tambahan, pengaplikasian *Erbium Doped Fiber (EDF)* dalam *Ring Resonator* dapat meningkatkan *gain* optik. Performansi filter terbatas oleh *bending* dan *scattering losses*. Rugi-rugi ini bisa diatasi dengan menggunakan EDF.

2. Dasar Teori

2.1 Filter Optik<sup>[4]</sup>

Idealnya, sebuah filter dianjurkan memiliki respon amplitude yang rektanguler dan dispersi nol. Untuk aplikasi filter *bandpass*, beberapa faktor mempengaruhi lebar *passband* yang diperlukan melebihi limit fundamental yang ditentukan oleh *bit rate*. Lebar *passband* harus mengakomodasi toleransi fabrikasi di tengah-tengah panjang gelombang filter dan laser, sekaligus juga mengakomodasi polarisasi, temperatur, dan karakteristik penuaan filter. Pada sistem jarak jauh dan memiliki *bit rate* yang tinggi, dispersi filter dan pelebaran sinyal akibat ketidaklinieran pada fiber juga bisa menjadi masalah.

2.2 Ring Resonator

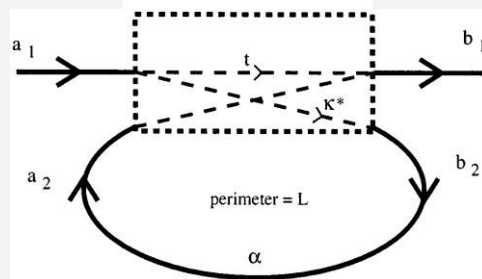
Ring resonator adalah sebuah struktur optik terintegrasi dengan *optical feedback* yang pada pengaplikasiannya, ring resonator dapat menggunakan *single ring*, *double ring*, bahkan lebih.<sup>[2]</sup> Namun yang akan dibahas dalam jurnal ini adalah *single ring resonator* saja.

Karakteristik utama dari ring resonator adalah ukuran dari ring, *loss propagation*, dan perbandingan antara *input* dan *output coupling*. Beberapa macam komponen loss pada ring resonator, yaitu *scattering loss*, *bending radiation loss*, dan *leakage (kebocoran) substrat loss*.

2.3 Prinsip Kerja Ring Resonator<sup>[2][5]</sup>

*Ring resonator* adalah sebuah pandu gelombang dalam sebuah loop tertutup di mana hanya bisa dilewati oleh sinyal dengan panjang gelombang tertentu saja. Ring resonator merupakan *waveguide* melingkar yang dibuat dari bahan *Silica (SiO<sub>2</sub>)*. Cahaya gelombang input di dalam *waveguide* lurus ter-*couple* dengan *waveguide* lingkaran, dan gelombang cahaya di-*couple* berjalan mengelilingi lingkaran. Struktur dari ring resonator adalah dua pasang *waveguide* yang memiliki *input port*, *through port*, *drop port*, dan *k* dan  $\tau$  adalah koefisien *coupling* dan koefisien transmisi antara pandu gelombang lurus, dan pandu gelombang ring.

Prinsip kerja ring resonator bisa ditunjukkan oleh gambar di bawah ini :



Gambar 2.1. Ring Resonator Tunggal<sup>[3]</sup>

Gambar di atas merupakan contoh *ring resonator* yang memiliki satu *coupler*. Berbagai macam panjang gelombang yang masuk pada *a<sub>1</sub>* sebagian akan ter-*coupling* didalam *coupler*, yang dalam gambar di atas, daerah *coupler* ditandai dengan gambar kotak bergaris putus-putus di dalam *coupler* inilah terjadi pertukaran daya. Gelombang optik pada ring kemudian sebagian akan ter-*coupled* ke pandu gelombang lurus dan kemudian keluar ke *b<sub>1</sub>*. Gelombang yang ter-*couple* mengelilingi ring adalah gelombang pada panjang gelombang yang memenuhi kondisi resonansi.

$$n_{eff} \cdot L = m \cdot \lambda \tag{2.1}$$

di mana;  $n_{eff}$  adalah indeks bias *ring resonator*;  $L$  adalah keliling *ring resonator*; dan  $m$  adalah bilangan integer.

Kopling dari gelombang yang memiliki panjang gelombang akan dikuatkan dan gelombang lain akan diperkecil. Sebagai hasilnya hanya yang akan keluar ke *b<sub>1</sub>*. Jika kopling terbatas pada satu gelombang menjalar saja dan tidak ada pantulan, dan jika total daya yang masuk dan keluar kopling sama, maka kopling bisa dideskripsikan dengan menunjukkan konstanta  $\tau$  dan  $k$  dan sebuah satuan matriks penyebaran:

$$|T_{21}| = |T_{12}^* - T_{11}^* T_{22}| \tag{2.2}$$

$$|T_{11}|^2 + |T_{22}|^2 = 1 \tag{2.3}$$

Persamaan b dan c didukung dengan kondisi sirkulasi di dalam ring

$$T_{12} = T_{21} e^{j\theta} \tag{2.4}$$

Di mana  $\alpha$  dan  $\theta$  adalah bilangan real yang menyatakan *loss* (ataupun *gain*) dan *phase shift* per satu sirkulasi. Persamaan di atas dihasilkan untuk mencari faktor transmisi pada input pandu gelombang

$$|T_{12}|^2 = \frac{4|T_{11}|^2 |T_{22}|^2 \cos^2 \theta}{1 + |T_{11}|^2 |T_{22}|^2 - 2|T_{11}|^2 |T_{22}|^2 \cos \theta} \tag{2.5}$$

Pada persamaan di atas digunakan normalisasi daya sehingga  $|T_{12}|^2$ ,  $|T_{21}|^2$  adalah daya gelombang berjalan. Dengan resonansi  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  di mana  $m$  adalah integer dan

$$|T_{12}|^2 = \frac{(\alpha - |T_{11}|)^2}{(1 - \alpha |T_{11}|)^2} \tag{2.6}$$

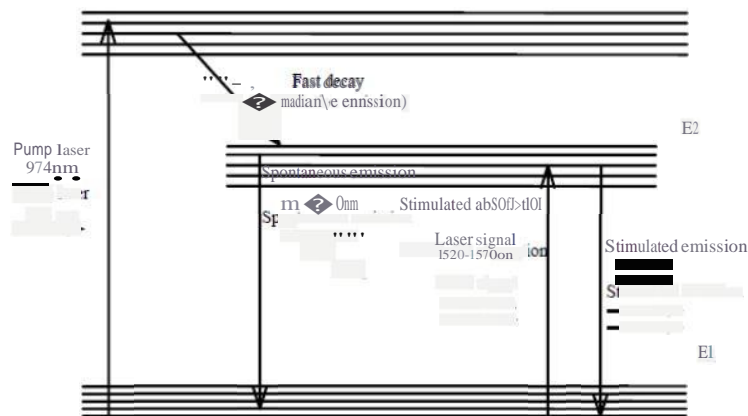
Dari persamaan (2.6) di atas bisa diambil kesimpulan jika daya yang ditransmisikan oleh  $|T_{12}|^2$  adalah nol pada bisa mengontrol daya transmisi.

### 2.4 Erbium Doped-Fiber<sup>[1][3]</sup>

Salah satu faktor penting yang membatasi jarak pada sistem komunikasi fiber optik adalah rugi-rugi daya optik yang diakibatkan oleh mekanisme penyebaran dan adsorpsi dalam fiber optik tersebut. *Repeater* elektrik yang membutuhkan proses konversi sinyal dari optik ke elektrik telah digunakan untuk mengganti daya yang hilang selama sinyal melewati jarak yang panjang. Penggunaan *repeater* dalam sistem komunikasi optik menyebabkan sistem lebih kompleks dan dapat menambah biaya instalasi.

#### 2.4.1 Prinsip Kerja Erbium Doped-Fiber<sup>[3]</sup>

Erbium Doped-Fiber adalah sebuah fiber optik di mana core fiber tersebut disisipi dengan elemen ion erbium  $Er^{3+}$  yang langka. Ilustrasi sederhana mengenai level energi Erbium ditunjukkan di Gambar 2.2. Level energi melebar karena adanya efek dc-Stark, yang menjadi sebuah bandwidth emisi lebar. Ketika sinar laser diode 974 nm dipompa pada sebuah EDF, ion  $Er^{3+}$  akan tereksitasi dari keadaan awal  $E_1$  menuju  $E_3$ . Ion  $Er^{3+}$  yang tereksitasi ke  $E_3$  akan secara cepat turun ke level energi  $E_2$  yang diakibatkan oleh emisi non-radiatif. Ion-ion yang berada di  $E_2$  lama-kelamaan akan turun ke kondisi awal  $E_1$  melalui emisi spontan, yang memproduksi foton pada pita panjang gelombang 1520 – 1570 nm. Emisi spontan akan diampifikasi selama emisi tersebut merambat dalam fiber, terlebih saat daya laser pemompa meningkat.



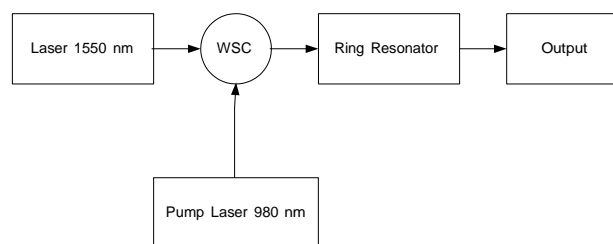
Gambar 2.2 Emisi Erbium<sup>[11]</sup>

Jika sebuah sinyal laser dengan panjang gelombang antara 1520 dan 1570 nm dan sebuah laser pemompa 974 ditembakkan pada EDF secara simultan seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas, ada tiga kemungkinan hasil yang terjadi untuk foton sinyal: i) absorpsi terstimulasi: sinyal foton mengeksitasi sebuah ion erbium dari keadaan E<sub>1</sub> ke level yang lebih tinggi E<sub>2</sub> dan kemudian hilang dalam prosesnya; ii) emisi terstimulasi: sinyal foton menstimulasi ion erbium pada kondisi E<sub>2</sub> untuk menurun ke E<sub>1</sub>, dan kemudian memproduksi foton lain yang identik. Kemudian sinyal akan diampifikasi; iii) sinyal foton bisa merambat tak terpengaruh melalui fiber. Sementara itu, emisi spontan selalu terjadi antara antara level E<sub>2</sub> dan level E<sub>1</sub>. Ketika daya laser pemompa cukup besar sehingga invers populasi tercapai antara level energi E<sub>2</sub> dan E<sub>1</sub> dari erbium doped fiber, input sinyal laser melewati fiber kemudian akan diperbesar.

### 3. Pembahasan

#### 3.1 Diagram Blok Sistem

Simulasi secara analitis digunakan untuk memeriksa interaksi cahaya dalam *ringresonator*. Analisa yang dilakukan difokuskan pada interaksi penjalaran sumber cahaya.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

#### 3.2. Parameter-Parameter Ring Resonator<sup>[4]</sup>

Parameter-parameter yang dianalisa meliputi *free spectral rang* (FSR), *full width at half-maximum* (FWHM), factor kualitas (*Q factor*).

##### a. Free Spectral Range (FSR)

FSR merupakan salah satu parameter yang penting. FSR adalah jarak antara dua puncak resonansi yang saling berdekatan. FSR didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{\eta(2\pi R + 2Lc)} \tag{3.1}$$

- di mana:
- L = kelilingring resonator (m)
  - $\lambda$  = panjang gelombang (m)
  - $\eta_{eff}$  = indeks bias efektif
  - R = jari-jari ring (m)
  - Lc = panjang kopler (m)

b. Full Width at Half Maximun (FWHM)

Parameter lain yang penting adalah Full Width at Half Maximum atau bandwidth 3dB  $2\delta\lambda$  dari resonansi lineship. Pernyataan yang biasa digunakan bisa didapatkan dengan mengasumsikan kopling lemah dan  $\lambda \gg \delta\lambda$  :

$$\delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\kappa L} \tag{3.2}$$

- di mana:
- $\kappa$  = koefisien kopling
  - $\lambda$  = panjang gelombang (m)
  - L = kelilingring resonator (m)
  - $\eta_{eff}$  = indeks bias efektif

c. Finesse (F)

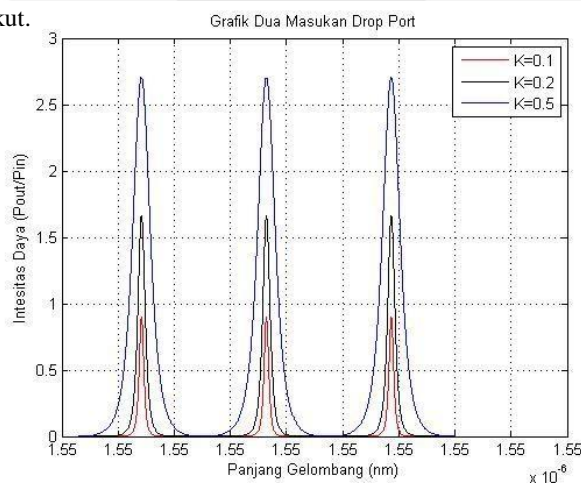
Parameter lain yang sekarang bisa langsung dihitung dari hasil dua parameter sebelumnya adalah finesse dari ring Resonator. Tingkat ketajaman resonansi didefinisikan sebagai besarnya tingkat redaman dan bandwidth (lebar daerah redaman) dari sebuah filter. Finesse didefinisikan dengan membagi FSR dengan FWHM.

$$F = \frac{FSR}{FWHM} \tag{3.3}$$

Tingkat ketajaman resonansi tergantung pada internal loss dan external loss (loss coupling) dari ring resonator. Total loss yang besar akan mengakibatkan nilai tingkat ketajaman resonansi ring resonator yang rendah.

3.3 Hasil Simulasi Drop Port Double Beam Configuration

Dengan melakukan langkah-langkah dan perhitungan seperti yang sudah dijelaskan dalam bab sebelumnya, maka didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 3.1 Grafik DDBC

Dari hasil simulasi didapatkan perbedaan sinyal keluaran dalam ring resonator yang memiliki koefisien kopling yang berbeda-beda dalam konfigurasi DDBC. Daya yang dihasilkan berbeda-beda untuk setiap koplernya. Kopler dengan koefisien 0,5 memiliki daya yang lebih tinggi dibanding dengan kopler dengan koefisien 0,2 dan 0,1. Sementara untuk nilai FWHM yang didapatkan, *ring resonator* dengan koefisien kopling 0.1 mendapatkan nilai FWHM yang mendekati nol. Semakin kecil nilai FWHM, semakin cocok konfigurasi tersebut jika akan digunakan sebagai filter.

Tabel 3.1 Nilai-nilai parameter dan *gain* dari konfigurasi DDBC

Koefisien Kopling	FWHM (MHz)	FSR	Finesse	Gain (dB)
K=0.1	60	138	2.3	0.8997
K=0.2	93	138	1.48	1.663
K=0.3	131	138	1.05	2.148
K=0.4	173	138	0.78	2.818533
K=0.5	225	138	0.613	3.442683
K=0.6	282	138	0.51	4.066833
K=0.7	352	138	0.39	4.690983
K=0.8	439	138	0.31	5.315133
K=0.9	551	138	0.25	5.939283

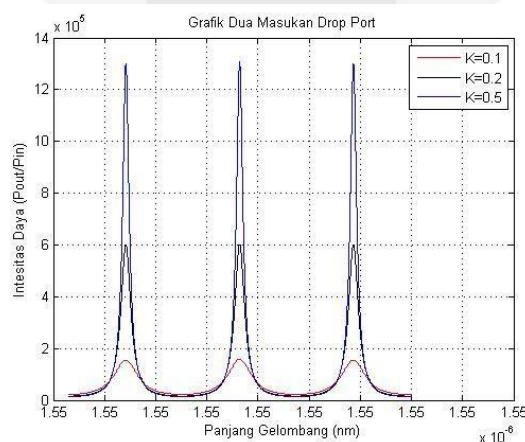
Dari tabel 4.1 di atas, *ring resonator* dengan koefisien kopling 0.1 mendapatkan nilai FWHM yang mendekati nol. Semakin kecil nilai FWHM, semakin cocok konfigurasi tersebut jika akan digunakan sebagai filter.

Nilai FSR yang tidak berubah menandakan tidak ada pengaruh yang berarti dalam FSR meskipun koefisien kopling diubah-ubah.

Nilai *Finesse* tertinggi didapatkan oleh *ring resonator* yang memiliki koefisien 0.1. Hal ini menandakan jika *ring resonator* dengan koefisien kopling 0.1 lebih sensitif dibandingkan dengan *ring resonator* yang lainnya.

Sementara itu, nilai *gain* yang tertinggi didapatkan oleh *ring resonator* yang memiliki nilai koefisien kopling 0.9.

### 3.4 Hasil Simulasi Drop Port Double Beam Configuration dengan EDF



Gambar 4.1 Grafik DDBC dengan EDF

Saat ring resonator diintegrasikan dengan EDF, dapat terlihat jika daya naik. Dengan begini, nilai FWHM juga akan naik. Dengan menggunakan perhitungan seperti sebelumnya, maka akan didapatkan nilai-nilai parameter dan *gain* seperti yang ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 3.2 Nilai-nilai parameter dan *gain* dari konfigurasi DDBC yang diintegrasikan dengan EDF

Koefisien Kopling	FWHM (MHz)	FSR	Finesse	Gain (dB)
K=0.1	68	138	2.02	150
K=0.2	97	138	1.42	154
K=0.3	139	138	0.99	163
K=0.4	176	139	0.79	169
K=0.5	231	138	0.6	176
K=0.6	327	138	0.42	182
K=0.7	398	138	0.35	188
K=0.8	471	138	0.29	195
K=0.9	577	138	0.24	202

Dari hasil yang didapatkan dari tabel 3.2 di atas, nilai-nilai dari FWHM, FSR, dan *Finesse* tidak jauh berbeda. Namun yang bisa dilihat perbedaannya dengan jelas adalah nilai *gain* dari konfigurasi DDBC jika diintegrasikan dengan EDF. *Gain* yang dihasilkan mampu meningkat sampai dengan mega watt.

#### 4. Kesimpulan

1. Output dari *ring resonator* jika diintegrasikan dengan EDF memiliki output yang lebih baik dari filter sebelumnya (SMF). Hal ini dapat dibuktikan dari peningkatan nilai FWHM yang tidak signifikan dan peningkatan *gain* hingga maksimal.
2. Nilai FSR, FWHM, dan *finesse* terbaik dari ketiga konfigurasi yang sudah disimulasikan adalah konfigurasi DDBC dengan koefisien kopling 0.1 yang memiliki nilai FSR = 138, FWHM 68 MHz, dan *finesse* 2.02.
3. Diantara ketiga konfigurasi yang sudah diuji, DDBC menunjukkan kualitas performa yang paling stabil dengan *gain* yang tinggi dan nilai FWHM yang rendah,

**Daftar Pustaka:**

- [1] Becker, P.C. Olsson, N.A. Simpson, J.R. “*Erbium Doped Fiber Amplifier Fundamentals and Technology*”. Academic Press. 1999.
- [2] Ciminelli, Caterina. Campanella, Carlo Edoardo. Armenise, Mario Nicola. “*Design of Passive Ring Resonator to be Used for Sensing Application*”. *Journal of the European Optical Society – Rapid Publication 4 09034 (2009)*.
- [3] Çokrak, A. Cem. Ahmet ALTUNCU. “*Gain and Noise Figure Performance of Erbium Doped Fiber Amplifiers (EDFA)*”. Dumlupinar University.
- [4] Rabus, Dominik.G. 2002.*Realization of Optical Fiber using Ring Resonators with Integrated Semiconductor Optical Amplifiers*.Berlin.
- [5] Yarif, Amnon. “*Critical Coupling and Its Control in Optical Waveguide-Ring Resonator System*”. IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 14, No. 4, April 2002.

