

ANALISIS KARAKTERISTIK RING RESONATOR TUNGGAL DENGAN MENGGUNAKAN PMF (POLARIZATION MAINTAINING FIBER) UNTUK DIAPLIKASIKAN SEBAGAI FILTER OPTIK

CHARACTERISTIC ANALYSIS OF SINGLE RING RESONATOR USING PMF (POLARIZATION MAINTAINING FIBER) FOR OPTICAL FILTER APPLICATION

Yennisa Yesiana¹, Akhmad Hambali², Sasono Rahardjo³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Staf Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

yennisayesiana@gmail.com, bphbl@gmail.com, sasono@gmail.com

Abstrak

Salah satu permasalahan yang muncul dalam penggunaan *ring resonator* adalah jenis kabel serat optik yang digunakan dan polarisasi yang apabila penggunaannya tidak tepat dapat menurunkan kualitas filter *single ring resonator*. Solusi yang ditawarkan pada tugas akhir ini adalah dengan menggunakan jenis kabel serat optik *Polarization Maintaining Fiber* (PMF). PMF adalah salah satu jenis kabel serat optik yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan polarisasi cahaya. Pada tugas akhir ini akan diteliti karakteristik *ring resonator* dengan menggunakan PMF sebagai *ring waveguide* dengan menggunakan teori moda terkopel dan metoda transfer matriks. Analisa dilakukan dengan menggunakan dua masukan, dua keluaran, satu *ring*, dan dua kopler pada konfigurasi *single ring resonator*. Parameter yang akan ditinjau adalah perubahan panjang gelombang (λ), panjang keliling *ring* (L), dan koefisien kopler (κ) dengan memperhatikan parameter PMF yaitu indeks bias (n), konstanta propagasi (β) dan rugi-rugi (α). Simulasi dan analisa dilakukan pada *software* Matlab R2010b.

Kata kunci : *single ring resonator*, PMF (*Polarization Maintaining Fiber*), filter optik

Abstract

One problem arises in using *ring resonator*, is that when optical fiber is installed and the polarization of the optical fiber's alignment doesn't match that will degrade the filter of *single ring resonator*'s quality. The solution this final project offered is by using PM (*Polarization Maintaining*) fiber. PMF is one of optical fiber type that has ability to maintain light's polarization. By using coupled mode theory in combination with transfer matrix method, the characteristic of *ring resonator* using PMF as the *ring waveguide* will be analyzed in this final project. The configuration of *ring resonator* that is analyzed is using two inputs, two outputs, one *ring*, and two couplers. The inspected parameters are the changes of wavelength (λ), *ring*'s circumference (L), and power coupling coefficient (κ), considering PMF's parameters such as refractive index (n), propagation constant (β) and fiber loss (α). Simulation and analysis will be done by using Matlab R2010b.

Keywords : *single ring resonator*, PMF (*Polarization Maintaining Fiber*), optical filter

1. Pendahuluan

Desain optimum filter optik adalah sebuah kebutuhan saat ini. Sebuah filter optik yang telah muncul beberapa tahun terakhir ini di dalam komponen optik terpadu adalah filter optik *ring resonator*. *Ring resonator* adalah sebuah struktur komponen optik terpadu yang terdiri dari serat optik utama (*bus waveguide*) dan sebuah *waveguide* serat optik berbentuk lingkaran (*ring waveguide*). Bagian dimana *bus* dan *ring* berdekatan dapat dianggap sebagai sebuah kopler.

Penelitian ini akan membandingkan respon filter dengan menggunakan 1 buah masukan dengan respon filter yang menggunakan 2 buah masukan paralel searah dan seri berlawanan arah. Namun, membedakan konfigurasi saja tidak cukup untuk mengoptimalkan kinerja *ring resonator* serat optik. Masih ada permasalahan yang dijumpai pada kabel serat optik, yaitu polarisasi cahaya dan bias ganda. Mengatasi polarisasi adalah sebuah isu penting dalam pengembangan sirkuit fotonik terintegrasi khususnya dalam bidang sistem telekomunikasi. Sebuah filter *ring resonator* yang kebal terhadap polarisasi adalah hal yang didambakan karena jika tidak, perambatan gelombang cahaya yang memiliki polarisasi yang bervariasi dapat menyebabkan pergeseran spektrum filter yang tidak diinginkan dan menurunkan kualitas dari filter optik tersebut.

Salah satu solusi untuk pemecahan ini adalah dengan menggunakan kabel serat optik yang kebal terhadap perubahan polarisasi dan bias ganda, yaitu *Polarization Maintaining Fiber* (PMF). PMF adalah salah satu jenis kabel serat optik *single mode* yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan polarisasi cahaya. Kemampuannya ini didapatkan dari penambahan *stress rod* yang pada kedua sisi *core*. *Stress rod* ini berbahan selain bahan yang digunakan pada *core*, misal pada *core* menggunakan bahan silica berarti pada *stress rod* tidak menggunakan bahan silica pada pembuatannya.

Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi dan analisis karakteristik *ring resonator* dengan menggunakan PMF dengan beberapa parameter yang dijadikan masukan dan konfigurasi *ring resonator*. Parameter yang diamati perubahannya adalah panjang keliling *ring* (L), dan koefisien kopler (κ). Dari kedua parameter tersebut akan diperoleh suatu rekomendasi parameter panjang keliling *ring* dan koefisien kopler terbaik pada penggunaan filter *single ring resonator* dengan menggunakan PMF pada *ring* dan koplernya.

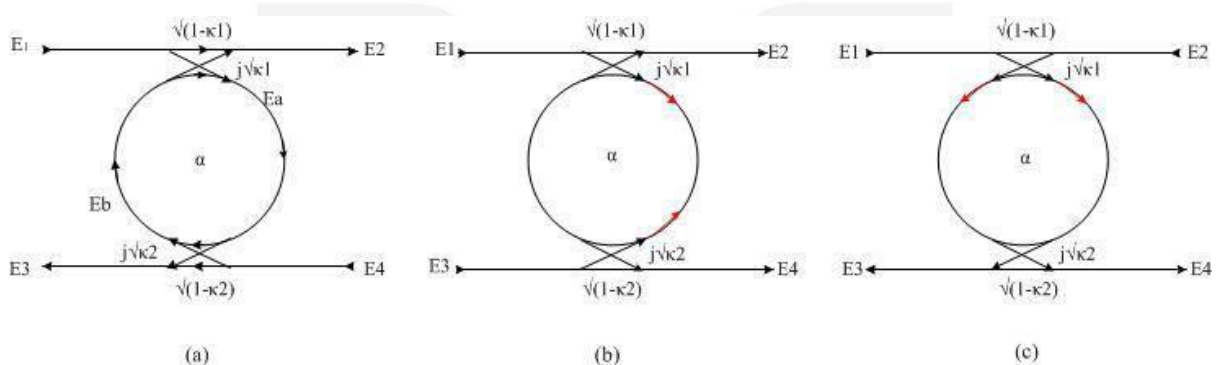
2. Dasar teori

2.1. Ring resonator

Ring resonator adalah sebuah struktur optik yang berbentuk lingkaran yang memanfaatkan sifat kopel pada hubungan dua serat optik yang berdekatan. *Ring resonator* dapat diaplikasikan di dalam jaringan serat optik sebagai *optical switching*, filter optik, sensor optik, penunda waktu kedatangan paket, dan pembangkit *laser*. Dapat juga diaplikasikan di luar jaringan serat optik yaitu sebagai biosensor.

Ring resonator tersusun atas *waveguide* melingkar berbahan serat optik dan serat optik utama (*bus waveguide*) yang dihubungkan melalui *directional coupler*. Dua *bus waveguide* dapat menyatukan beberapa sinyal cahaya ke dalam dan ke luar *ring resonator* dimana di dalam *ring resonator* terdapat proses resonansi yang hanya terjadi pada panjang gelombang tertentu^[3]. Kondisi resonansi untuk sebuah panjang gelombang dapat ditunjukkan pada persamaan resonansi sebagai berikut^[3]:

$$e^{j\alpha} = 1 \tag{2.1}$$



Gambar 2.1 Konfigurasi *ring resonator* dengan dua masukan (a) paralel berlawanan arah (b) paralel searah (c) seri berlawanan arah

2.1.1. Konfigurasi *Ring Resonator* Dua Masukan Paralel Berlawanan Arah

Konfigurasi *ring resonator* dua masukan paralel berlawanan arah terdiri atas dua buah masukan cahaya berlawanan arah paralel, dua buah keluaran, dua buah kopler, dan 1 satu buah *ring* seperti terlihat pada gambar 2.1.a. Penjalaran gelombang cahaya pada konfigurasi ini dirumuskan sebagai berikut^[4]:

$$E' = ET\sqrt{T-\kappa}T\sqrt{T-\gamma}T + Eb e^{-\frac{\alpha L}{2}} e^{-\frac{j\alpha L}{2}} \sqrt{\kappa}T\sqrt{T-\gamma}T \tag{2.2}$$

$$E_2 = E1\sqrt{T-\kappa'}\sqrt{T-\gamma'} + Ea e^{-\frac{\alpha L}{2}} e^{-\frac{j\alpha L}{2}} \sqrt{\kappa'}\sqrt{T-\gamma'} \tag{2.3}$$

$$Ea = ETj\sqrt{\kappa}T\sqrt{T-\gamma}T + Eb e^{-\frac{\alpha L}{2}} e^{-\frac{j\alpha L}{2}} \sqrt{T-\kappa}T\sqrt{T-\gamma}T \tag{2.4}$$

$$Eb = E1j\sqrt{\kappa'}\sqrt{T-\gamma'} + Ea e^{-\frac{\alpha L}{2}} e^{-\frac{j\alpha L}{2}} \sqrt{T-\kappa'}\sqrt{T-\gamma'} \tag{2.5}$$

Persamaan (2.4) dan (2.5) dapat diubah bentuk melalui eliminasi menjadi :

$$Ea = \frac{E1j\sqrt{\kappa}1\sqrt{T-\gamma}T + E4j\sqrt{\kappa}\beta\sqrt{T-\kappa}T\sqrt{T-\gamma}T e^{-\frac{\alpha L}{2}} e^{-\frac{j\alpha L}{2}}}{1 - \sqrt{T-\kappa}T\sqrt{T-\kappa}\beta\sqrt{T-\gamma}T\sqrt{T-\gamma}T e^{-\alpha L} e^{-j\alpha L}} \tag{2.6}$$

$$Eb = \frac{E4j\sqrt{\kappa}\beta\sqrt{1-\gamma}\beta + E1j\sqrt{\kappa}1\sqrt{1-\kappa}\beta\sqrt{1-\gamma}\beta e^{-\alpha L} e^{-j\alpha L}}{1 - \sqrt{1-\kappa}1\sqrt{1-\kappa}\beta\sqrt{1-\gamma}\beta e^{-\alpha L} e^{-j\alpha L}} \tag{2.7}$$

Substitusi persamaan (2.6) ke persamaan (2.3) maka diperoleh

$$E\gamma = E4\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta} - \frac{E1\sqrt{\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\frac{\alpha L}{\beta}} + E4\kappa\beta(1-\hat{U}\beta)\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}}{1-\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} \quad (2.8)$$

Substitusi persamaan (2.7) ke persamaan (2.2) maka diperoleh

$$E\beta = E1\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta} - \frac{E4\sqrt{\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\frac{\alpha L}{\beta}} + E1\kappa(1-\hat{U}\beta)\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}}{1-\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} \quad (2.9)$$

2.1.2. Konfigurasi Ring Resonator Dua Masukan Paralel Searah

Intensitas yang akan dipantau berada di keluaran E2. Dengan mengikuti alur penjalaran cahaya dari E1 dan E3, maka penjalaran cahaya di E2 dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E\beta = E1\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta} + \frac{E\gamma\sqrt{\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\frac{\alpha L}{\beta}} + j\sqrt{\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta}}{1-\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} + \frac{E\beta\sqrt{\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta}}{2\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} + \frac{E\beta\sqrt{\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta}}{2\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} \quad (2.10)$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi berikut :

$$E\beta = E1\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta} - \frac{E1\sqrt{\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\frac{\alpha L}{\beta}} + E1\kappa(1-\hat{U}\beta)\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}}{1-\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} - \frac{E1\kappa(1-\hat{U}\beta)\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}}{1-\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} \quad (2.11)$$

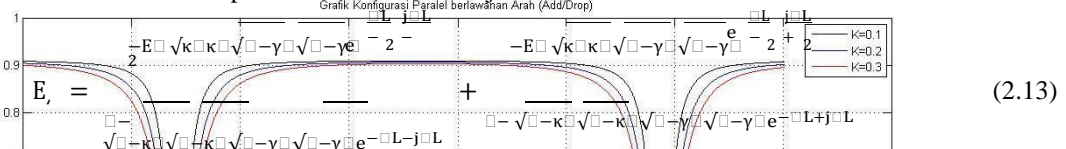
2.1.3. Konfigurasi Ring Resonator Dua Masukan Seri Berlawanan Arah

Dengan mengikuti prosedur yang sama dengan konfigurasi untuk dua masukan paralel searah, maka persamaan analitikal untuk konfigurasi ini bisa didapat.

Persamaan untuk keluaran E3 diberikan sebagai berikut :

$$E\gamma = \frac{E1j\sqrt{\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\frac{\alpha L}{\beta}} + j\sqrt{\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}}{1-\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} + \frac{E\beta j\sqrt{\kappa}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\frac{\alpha L}{\beta}} + j\sqrt{\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}}{1-\sqrt{1-\kappa}\sqrt{1-\kappa\beta}\sqrt{1-\hat{U}\beta}e^{-\alpha L-j\beta L}} \quad (2.12)$$

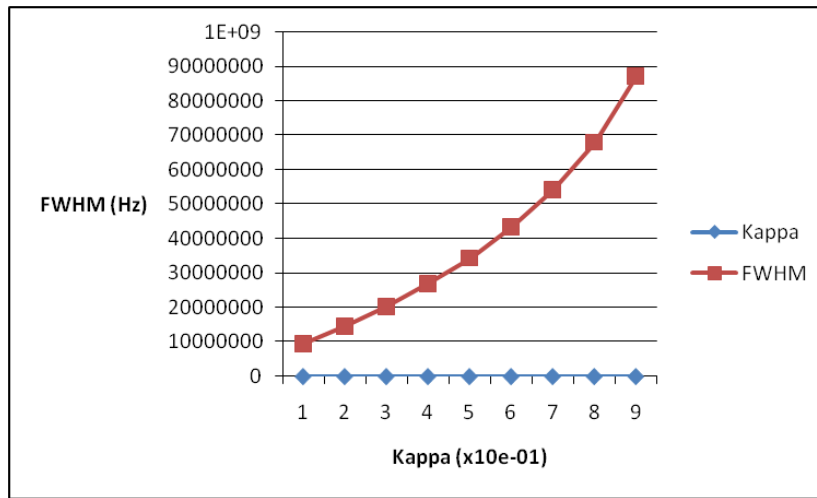
Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi berikut :



3. Pembahasan

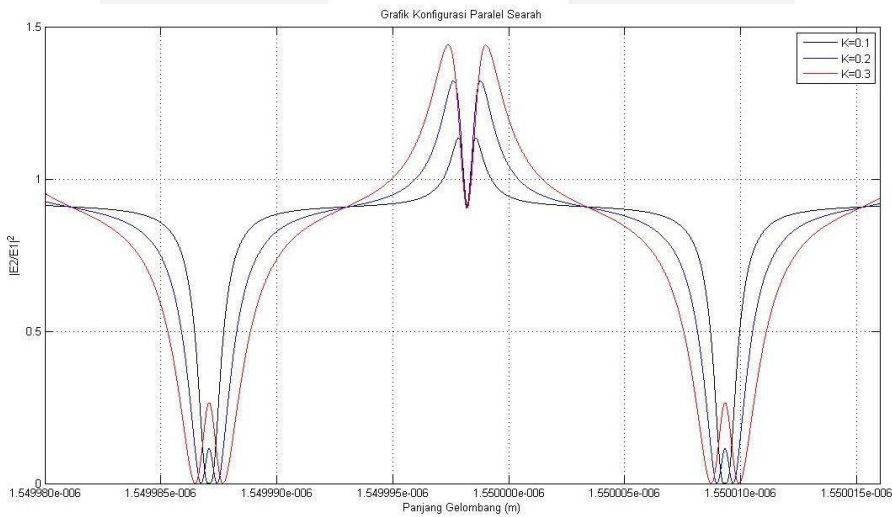
Nilai respon dari masing-masing konfigurasi dibahas pada bab ini. Berdasarkan fungsi intensitas terdapat faktor fase pada semua jenis konfigurasi. Nilai fase dipengaruhi oleh \hat{U} , faktor fase mempengaruhi resonan gelombang cahaya, maka resonansi dapat terjadi pada panjang gelombang tertentu. Berdasarkan kondisi tersebut maka diperoleh fungsi intensitas oleh grafik I menggunakan software Matlab.

Gambar 3.1 Respon *ring resonator* paralel berlawanan arah saat kondisi resonansi dengan $L = 14.4 \text{ cm}$, $\alpha = 0.1 \text{ dB/cm}$, dan *coupler insertion loss* $0. \beta \text{ dB}$ ($\hat{U} = 0.0879$)

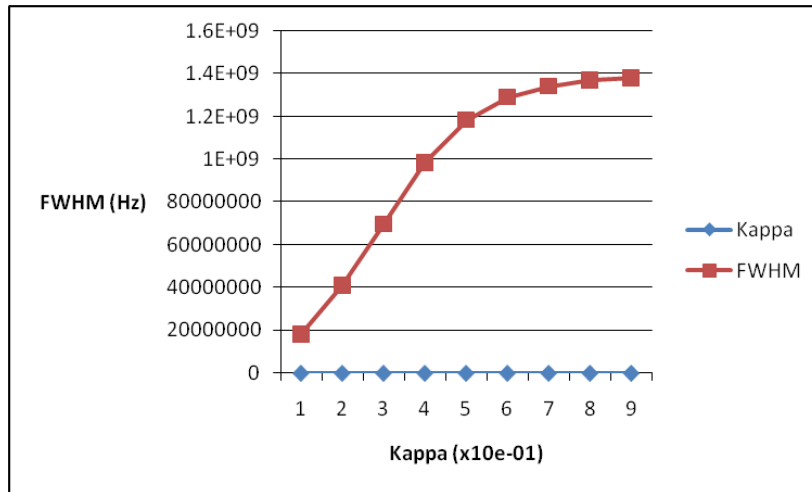


Gambar 4.2 Grafik nilai FWHM terhadap κ pada konfigurasi paralel berlawanan arah

Medan elektrik yang menjalar di dalam *ring* direpresentasikan oleh E_a dan E_b seperti terlihat pada gambar 3.4. E_a dan E_b akan saling bertubrukan setelah mengalami perubahan fasa sebesar π/β , tetapi dengan kondisi berlawanan arah. Ini berarti bahwa total pergeseran fasa yang terjadi pada konfigurasi ini adalah π . Sehingga, resonansi gelombang berdiri akan terjadi pada $(\pi+m\pi)$, untuk m apabila bilangan ganjil akan menghasilkan interferensi saling membangun sedangkan untuk m apabila bernilai genap akan menghasilkan interferensi saling menghilangkan^[1-2].

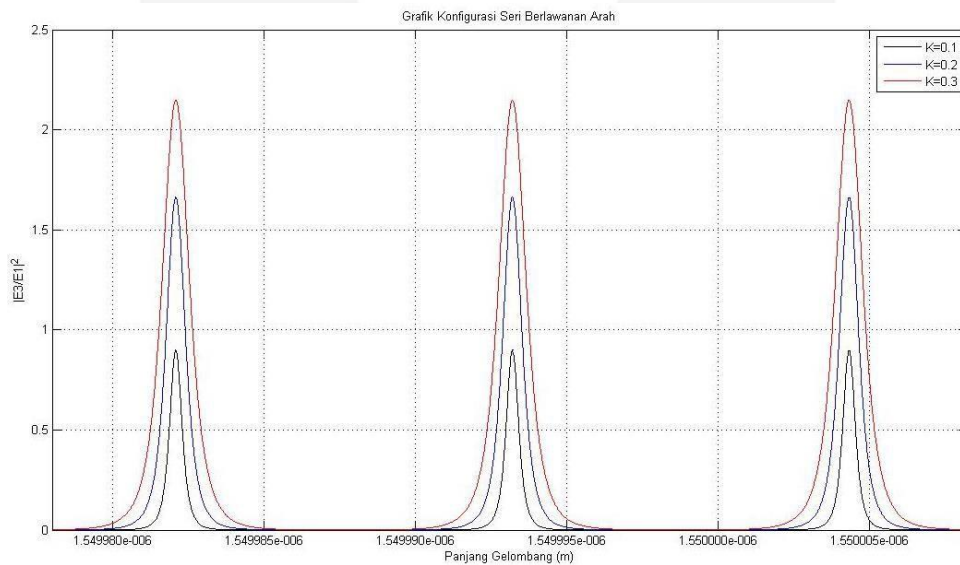


Gambar 4.3 Respon *ring resonator* paralel searah saat kondisi resonansi dengan $L = 14.4 \text{ cm}$, $\alpha = 0.1 \text{ dB/cm}$, dan *coupler insertion loss* $0. \beta \text{ dB}$ ($\hat{U} = 0.0879$)

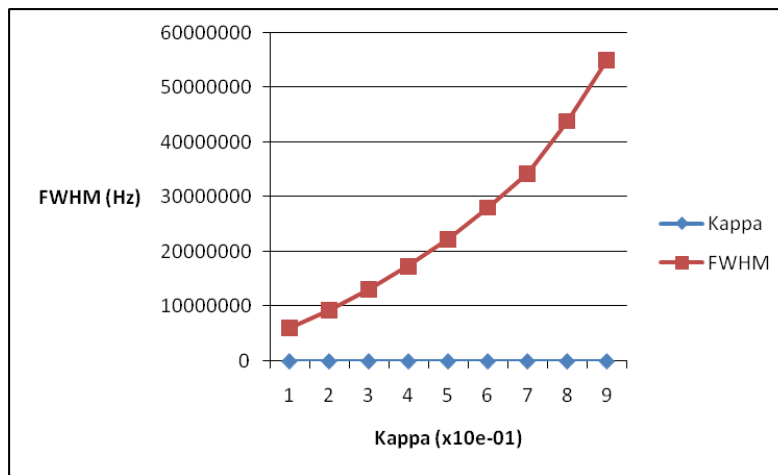


Gambar 4.4 Grafik nilai FWHM terhadap κ pada konfigurasi paralel searah

Energi dalam *ring* dalam konfigurasi ini terdiri dari dua gelombang datang yang saling bertubrukan yang direpresentasikan oleh amplitudo E_a dan E_b . E_a dan E_b muncul beriringan di dalam *ring* setelah E_1 dan E_2 masing-masing melewati kopler 1 (K1) dan mulai saling bertubrukan pada kopler dua (K2), menghasilkan resonansi gelombang berdiri setelah mengalami pergeseran fasa sebesar π dengan masing-masing berlawanan arah. Ini berarti bahwa total pergeseran fasa diantara dua gelombang saling bertubrukan ini adalah $\beta\pi$. Sehingga, resonansi gelombang berdiri akan mendapatkan nilai amplitudo maksimum ketika pergeseran fasa adalah $(\beta\pi + m\pi)$ dan interferensi saling membangun akan terjadi untuk setiap nilai m , m adalah bilangan integer^[1-2].



Gambar 4.5 Respon *ring resonator* seri berlawanan arah saat kondisi resonansi dengan $L = 14.4$ cm, $\alpha = 0.1$ dB/cm, dan *coupler insertion loss* 0.3 dB ($\hat{U} = 0.0879$)



Gambar 4.6 Grafik nilai FWHM terhadap κ pada konfigurasi seri berlawanan arah

Gambar 4.7 menunjukkan grafik FWHM terhadap nilai κ . Terlihat dengan jelas bahwa semakin meningkat nilai κ maka nilai FWHM pun semakin meningkat. Nilai FWHM untuk masing-masing nilai κ berbeda. Seiring dengan bertambahnya nilai κ , nilai FWHM semakin meningkat. Nilai FWHM untuk $\kappa = 0.1$ adalah 9 MHz, untuk $\kappa = 0.5$ adalah 145 MHz, dan untuk $\kappa = 0.5$ adalah 140 MHz. seperti terlihat pada tabel 4.1. Sedangkan nilai FSR untuk masing-masing nilai κ sama.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah pengaruh perubahan nilai panjang keliling ring (L) berdampak pada nilai FSR *ring resonator*. Semakin panjang keliling semakin kecil nilai FSR (berbanding terbalik). Pengaruh perubahan nilai koefisien kopler (κ) berdampak pada nilai FWHM *ring resonator*. Semakin besar nilai koefisien kopler semakin besar nilai FWHM yang dihasilkan. Semakin besar nilai FWHM maka semakin banyak panjang gelombang yang diredam oleh *ring resonator*, begitu juga sebaliknya. Pengaruh konfigurasi letak dua masukan berdampak pada nilai respon *ring resonator*.

Daftar Pustaka :

- [1] Ciminelli, C., Campanella, C. E., & Armenise, M. N.. β 009. "Design of Passive Ring Resonator to be Used for Sensing Applications". *Journal of the European Optical Society Rapid Publication*. 4.
- [2] Ciminelli, C., Campanella, C. E., & Armenise, M. N.. β 009. "Optimize Design of Integrated Optical Angular Velocity Sensors Based on a Passive Ring Resonator". *Journal of Lightwave Technology*. 27(14), 2658-2666.
- [3] Rabus, D. G.. 2007. *Integrated Ring Resonators: The Compendium*. Springer. Michigan.
- [4] Rabus, Dominik G.. 2002. *Realization of Optical Filters Using Ring Resonator with Integrated Semiconductor Optical Amplifiers in GaInAsP/InP*. Heinrich-Hertz-Intitut für Nachrichtentechnik. Berlin.