

PERANCANGAN DAN SIMULASI FILTER PARALLEL CASCADE MICRORING  
RESONATOR SEBAGAI OPTICAL INTERLEAVER  
DESIGN AND SIMULATION OF PARALLEL CASCADE MICRORING RESONATOR AS  
OPTICAL INTERLEAVER

Ariq Naufal<sup>1</sup>,Erna Sri Sugesti<sup>2</sup>,Dadin Mahmudin<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>3</sup>Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

[riq.naufal@gmail.com](mailto:riq.naufal@gmail.com),[ernasugesti@telkomuniversity.ac.id](mailto:ernasugesti@telkomuniversity.ac.id)

[dradrin@gmail.com](mailto:dradrin@gmail.com)

---

Abstrak

Pertumbuhan transfer data yang semakin tinggi menuntut perkembangan sistem telekomunikasi dengan jaringan yang mempunyai kecepatan transfer data yang tinggi dan dapat menampung banyak traffic. Sistem komunikasi serat optik yang mempunyai dua kemampuan tersebut dapat menjadi solusi untuk itu. Untuk mendukung perkembangan jumlah traffic pada sistem komunikasi serat optik, dibuat suatu sistem yang dapat menggabungkan beberapa sinyal informasi yaitu wavelength division multiplexing (WDM). Salah satu komponen pendukung pada WDM adalah optical interleaver, yang memiliki fungsi sebagai multiplexer demultiplexer. Jurnal ini membahas mengenai simulasi dan analisis microring resonator yang digunakan untuk aplikasi optical interleaver pada frekuensi kerja coarse wavelength division multiplexing (CWDM). Simulasi diawali dengan menentukan dimensi objek simulasi yang terdiri dari ukuran jari-jari, gap, material waveguide, tebal dan lebar waveguide simulasi dilakukan dengan menggunakan software CST microwave studio 2014. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil optimasi, analisis meliputi parameter kinerja yang terdiri dari free spectral range (FSR), bandwidth (FWHM), finesse dan Q factor. Hasil simulasi yang sesuai mampu menghasilkan nilai FSR yang sesuai dengan karakteristik optical interleaver pada jaringan CWDM, bandwidth yang sempit, nilai finesse dan Q factor yang tinggi serta bekerja pada daerah frekuensi kerja.

Kata kunci: Optical interleaver, Microring resonator, CWDM

---

Abstract

The need for higher data transfer requires the development of telecommunication system with network that has a high speed of data transfer and accommodate a lot of traffic. Optical fiber communication system having two such capabilities can solve that's problem . To support the growing amount of traffic in optical fiber communication systems, created a system that can combine multiple information signal that is wavelength division multiplexing (WDM). One componentsupporting the WDM is optical interleaver, which has a function as a multiplexer demultiplexer.This journal discusses about the simulation and analysis of microring resonator used for the application of optical interleaver at coars wavelength division multiplexing (CWDM) the working frequency. Furthermore, the analysis of the optimization results was performed, the analysis included the performance parameters consisting of free spectral range (FSR), bandwidth (FWHM), finesse and Q factor. The optimal result of the simulation is capable of generating the appropriate FSR value, narrow bandwidth, the value of finesse and a high Q factor and also works in the area of working frequency.

Keywords: Optical interleaver, Microring resonator, CWDM

---

## 1. Pendahuluan

Perkembangan transfer data pada internet dan pengguna internet dari tahun 2000-2016 mengalami perkembangan yang sangat pesat yaitu dari 401.263.980 menjadi 3.611.375.813 atau berkembang 9 kali lipat.<sup>[7]</sup> Kemajuan sistem komunikasi serat optik yang telah mencapai pada kelas Tera bits per second menjadikan sistem komunikasi serat optik sebagai salah satu solusi dalam dunia telekomunikasi saat ini.

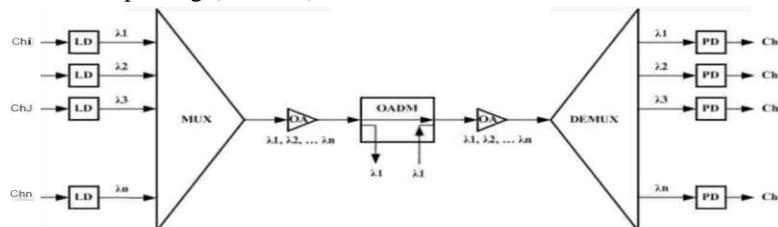
Salah satu cara atau sistem yang mampu mendukung perkembangan sistem komunikasi serat optik dengan menggabungkan beberapa sinyal informasi adalah sistem multiplexing atau pada komunikasi optik biasa disebut wavelength division multiplexing (WDM). WDM dibagi menjadi dua jenis yaitu coarse wavelength division multiplexing (CWDM) dan dense wavelength division multiplexing (DWDM). Salah satu komponen pendukung pada WDM adalah optical interleaver, yang berfungsi sebagai multiplexer demultiplexer.<sup>[1]</sup>

Optical interleaver memiliki suatu komponen optik yang merupakan bagian inti dari perangkat tersebut. Filter optik berfungsi untuk melakukan multiplexing yaitu penggabungan atau penyatuan beberapa panjang gelombang pada suatu waveguide yang sama. Microring resonator (MRR) merupakan komponen yang tepat digunakan sebagai optical interleaver karena MRR memiliki karakteristik yang sesuai untuk optical interleaver yaitu memiliki Free Spectral Range(FSR) yang sempit.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Wavelength-Division Multiplexing

Teknologi wavelength-division multiplexing (WDM) pada dasarnya adalah teknologi transport untuk menyalurkan berbagai jenis traffic secara transparan, dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda dalam suatu filter secara bersama. WDM dibagi menjadi 2 jenis dense dan course WDM.<sup>[15]</sup> Sistem dengan nilai free spectral range (FSR)  $\leq 1.5$  Thz sebagai Dense Wavelength-Division Multiplexing (DWDM), sedangkan untuk sistem yang memiliki nilai FSR 2 Thz diklasifikasikan sebagai coarse wavelength-division multiplexing (CWDM).<sup>[9][10]</sup>



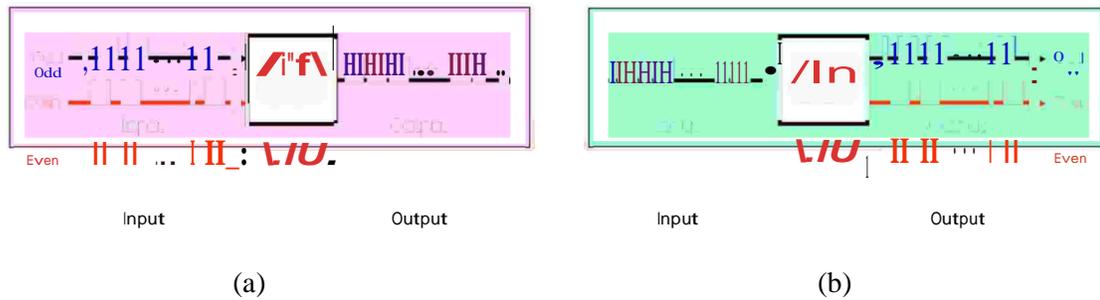
Gambar 1. Komponen pendukung WDM<sup>[4]</sup>

Sistem WDM terdiri dari beberapa perangkat optik yang masing-masing mempunyai fungsi tersendiri, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Komponen tersebut diantaranya ada Wavelength Multiplexer/Demultiplexer (MUX/DEMUX), Optical Cross Connect (OXC), Optical Add/Drop Multiplexer (OADM) dan Optical Amplifier (OA).

### 2.2 Optical Interleaver

Optical Interleaver adalah suatu perangkat yang berguna untuk memperbanyak kanal dengan cara menggabungkan 2 set waveguide CWDM maupun DWDM. Cara kerja tersebut dapat dicontohkan dengan 2 sinyal multiplexing yang memiliki Channel spacing sebesar 100 GHz dapat di interleaver sehingga memiliki keluaran 2 sinyal DWDM dengan line spacing 50 GHz yang terpisah. Optical interleaver dibuat berdasarkan metoda Step-Phase Interferometer.<sup>[3]</sup>

Pada dasarnya optical interleaver dan optical deinterleaver memiliki prinsip kerja yang sama dapat dilihat pada Gambar 2. Pada optical deinterleaver prosesnya berbanding terbalik dengan optical interleaver yaitu inputan yang terdiri dari beberapa panjang gelombang dibagi menjadi dua di waveguide yang berbeda. Proses pada optical deinterleaver menyerupai proses pada demultiplexer.



Gambar 2 (a) optical interleaver (b) optical deinterleaver<sup>[3]</sup>

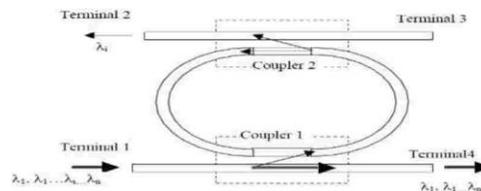
2.3 Filter Optik Pada Jaringan WDM

Salah satu bagian penting dalam jaringan WDM adalah filter optik. Pada jaringan WDM, filter optik merupakan komponen utama pada mux demux. Terdapat beberapa jenis filter optik yang dapat digunakan dalam jaringan WDM diantaranya sebagai berikut <sup>[2]</sup>:

- Prisma
- Fiber Bragg Grating (FBG)
- Fabry-Perot Interferometer (FPI)
- Arrayed Waveguide Grating (AWG)
- Mach-Zender Interferometer (MZI)
- Microring Resonator (MRR)<sup>[2]</sup>

2.4 Microring Ringresonator (MRR)

Microring resonator (MRR) merupakan suatu perangkat terintegrasi optik yang berperan sebagai filter dalam sistem transmisi serat optik. Struktur umum microring resonator terdiri dari dua buah waveguide optik lurus yang dikopling dengan suatu waveguide optik berbentuk lingkaran dengan ukuran jari-jari (r). Struktur umum microring resonator ditunjukkan oleh Gambar 3.<sup>[8]</sup>



Gambar 3 Microring Resonator<sup>[11]</sup>

Prinsip kerja microring resonator adalah gelombang cahaya yang masuk melalui terminal 1 pada waveguide lurus sebagian terkopling oleh coupler 1 sehingga sebagian cahaya tersebut masuk ke waveguide berbentuk ring. Sisa cahaya yang tidak terkopling keluar melalui port terminal 4. Terminal 4 disebut juga dengan port output anti-resonansi. Sebagian gelombang cahaya yang berada pada waveguide berbentuk ring akan terkopling oleh coupler 2 dan berakhir pada waveguide lurus port terminal 2. Terminal 2 disebut juga sebagai port output resonansi. Peristiwa kopling pada microring resonator terjadi ketika dua buah waveguide lurus dipisahkan oleh suatu gap yang kecil. Konstanta kopling untuk microring resonator dapat ditentukan menggunakan persamaan (1).

$$K_c = \frac{\beta_c}{\beta_0} \left( \frac{\beta_c}{\beta_0} \frac{W}{d} \right) \exp \left( -\frac{\beta_c}{\beta_0} \frac{W}{d} \right) \quad (1) \quad [4]$$

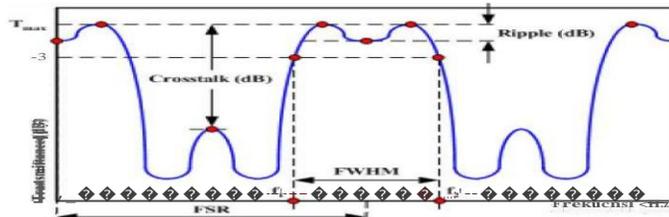
Dengan keterangan:

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| $\lambda$ = Panjang gelombang (nm)    | $n_c$ = Indeks bias material inti (core)      |
| $\beta_0$ = Konstanta propagasi       | $d$ = Jarak antar waveguide ( $\mu\text{m}$ ) |
| $n_0$ = Indeks bias material cladding | $W$ = Lebar waveguide ( $\mu\text{m}$ )       |

2.4.1 Parameter Microring Resonator

Parameter MRR diperlukan untuk mengevaluasi kinerja dari struktur MRR. Parameter tersebut dianalisis dari grafik transmitansi output MRR. Gambar 4 menunjukkan grafik transmitansi dari MRR.

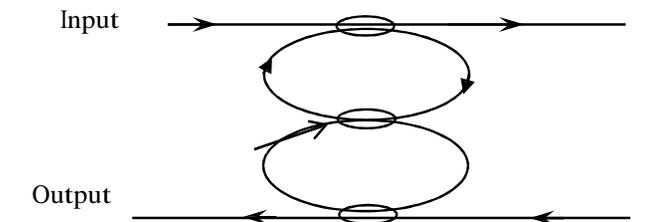
Grafik transmisi menyatakan beberapa parameter utama pada microring resonator. Parameter tersebut meliputi FSR, finesse, bandwidth, crosstalk, Q factor, ripple ratio, dan respon waktu.



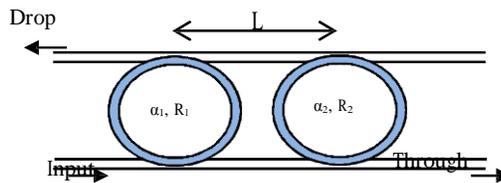
Gambar 4 Grafik transmisi microring resonator [5]

2.5 Jenis microring resonator

Pada dasarnya microring resonator memiliki 3 jenis bentuk yaitu single microring resonator, serial cascade microring resonator dan parallel cascade microring resonator. Single microring resonator terdiri dari satu buah waveguide berbentuk ring dengan ukuran jari-jari (r) tertentu yang dikopling pada dua buah waveguide berbentuk lurus<sup>[2]</sup>. Serial cascaded microring resonator (SCMR) adalah pengembangan dari jenis single microring resonator. SCMR terdiri dari beberapa ring waveguide yang disusun secara seri ke arah vertikal<sup>[4]</sup>. PCMR terdiri dari waveguide berbentuk ring yang disusun secara paralel dengan arah horizontal. Pada struktur PCMR, kedua ring yang saling berdekatan dihubungkan melalui waveguide lurus.



Gambar 5 Struktur serial cascaded microring resonator<sup>[4]</sup>



Gambar 6 Struktur parallel cascaded microring resonator<sup>[14]</sup>

2.6 Bending Loss

Bending loss merupakan suatu rugi-rugi atau redaman yang terjadi ketika suatu waveguide mengalami pembengkokan yang cukup besar. Bending loss dapat dihitung dengan menggunakan persamaan<sup>[2]</sup>:

$$L_{bending} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) \left( \frac{2\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad (2) \quad [4]$$

dengan :

$$L_{bending} = \text{Bending loss (dB/cm)}$$

2.7 Software CST Microwave Studio 2014

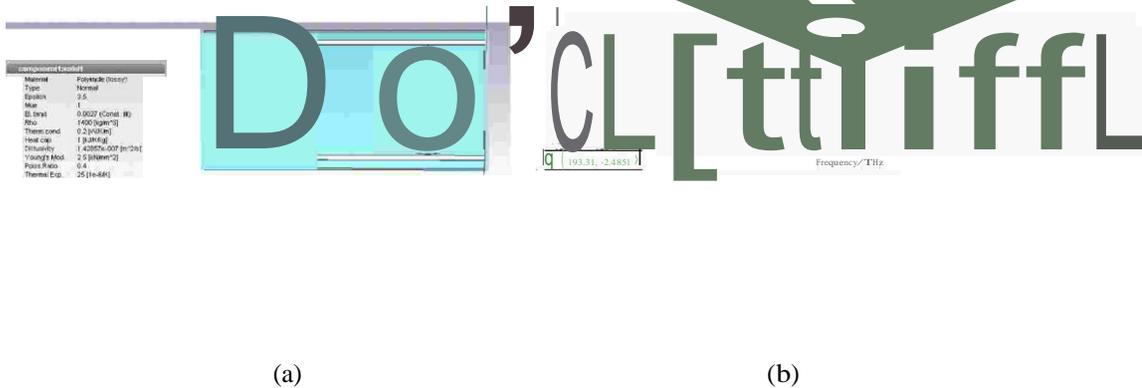
CST microwave studio 2014 atau yang biasa dikenal dengan CST 2014 merupakan suatu software komputer yang diciptakan oleh perusahaan computer simulation technology. CST umumnya digunakan untuk melakukan proses simulasi suatu perangkat elektromagnetik seperti antenna, resonator dan filter optik.<sup>[6]</sup>

3. Perancangan Dan Simulasi

Dimensi awal parallel cascaded microring resonator yang digunakan dicantumkan di Tabel 1 parallel cascaded microring resonator memerlukan dimensi awal sebagai input proses simulasi dan optimasi. Dimensi awal diperoleh berdasarkan teori-teori yang berkaitan dengan proses perancangan. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, dilakukan variasi terhadap beberapa parameter yang mempengaruhi hasil simulasi yakni ukuran jari-jari dan ukuran gap.

Tabel 1 Spesifikasi single microring resonator<sup>[2]</sup>

Parameter	Nilai
Jari-jari microring resonator (R)	$11 \geq (\mu\text{m})$
Tebal waveguide	1 ( $\mu\text{m}$ )
Gap antara 2 waveguide	0,05-0,3 ( $\mu\text{m}$ )
Lebar waveguide	2 ( $\mu\text{m}$ )
Bahan inti	Polymide (Lossy)
Bahan Substrat	SiO <sub>2</sub>
Bahan Selubung	Udara
Frekuensi Kerja	193,289 THz

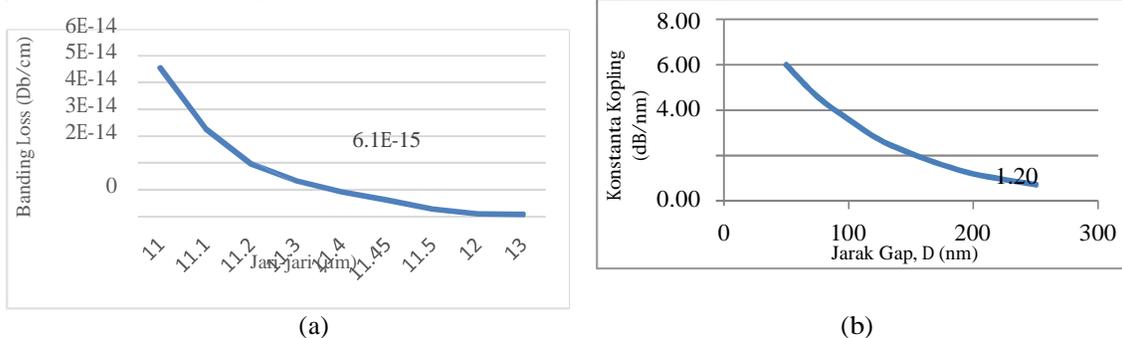


Gambar 8 simulasi parallel cascaded microring resonator dengan R=11.5  $\mu\text{m}$  dan gap = 0.15  $\mu\text{m}$ ; (a) perancangan (b) output.

Gambar 8 (b) menghasilkan respon filter pada output resonansi yang bekerja pada frekuensi kerja 193,28 THz. Namun objek simulasi dengan ukuran gap 0,15 $\mu\text{m}$  akan cukup sulit untuk direalisasikan. Hal ini diakibatkan ukuran gap yang cukup kecil sehingga dibutuhkan suatu alat dengan ketelitian yang cukup tinggi. Selain realisasi, pengukuran hasil pabrikan juga semakin sulit karena keterbatasan tingkat ketelitian alat ukur.

3.1 Perhitungan nilai parameter Parallel Cascade Microring Resonator

Ada beberapa faktor yang dapat menyatakan suatu simulasi optimal, diantaranya nilai redaman (bending loss) yang cukup rendah serta nilai konstanta kopling yang besar.



Gambar 9 Hasil perhitungan nilai dalam bentuk grafik (a) bending loss (b) konstanta kopling

Berdasarkan Gambar 9 (a) nilai bending loss mengalami perubahan yang seiring dengan penambahan ukuran jari-jari sehingga untuk mendapatkan nilai redaman yang cukup rendah perangkat

harus memiliki ukuran jari-jari yang cukup besar. Hal ini disebabkan waveguide mengalami pembengkokan yang tidak begitu besar. Berdasarkan Gambar 9 (b) dapat dianalisis dengan membuat ukuran gap menjadi

lebih kecil, akan membuat nilai konstanta kopling yang dihasilkan semakin besar. Hal ini menandakan ukuran gap yang kecil akan membuat peristiwa kopling yang terjadi semakin kuat

4. Analisis Hasil Simulasi

4.1 Dimensi Parallel Cascade Microring Resonator Hasil Optimasi

Perangkat filter optik parallel cascaded microring resonator yang dinyatakan optimal ketika memiliki spesifikasi yang ditunjukkan oleh Tabel 2. Suatu parallel cascaded microring resonator mencapai titik optimal apabila memiliki nilai rentang FSR yang sesuai, lebar bandwidth yang sempit, nilai finesse dan Q factor yang besar dan menghasilkan nilai redaman yang cukup rendah.

Tabel 2 Spesifikasi parallel cascaded microring resonator hasil optimasi

Parameter	Nilai
Gap (Lebar antara 2 waveguide)	0,02 (µm)
Jari-jari Single Microring Resonator	11.5 (µm)
Tinggi Waveguide	1 (µm)
Tebal Waveguide	1 (µm)
Lebar Waveguide	1 (µm)
Bahan Waveguide	Polymide (Lossy)

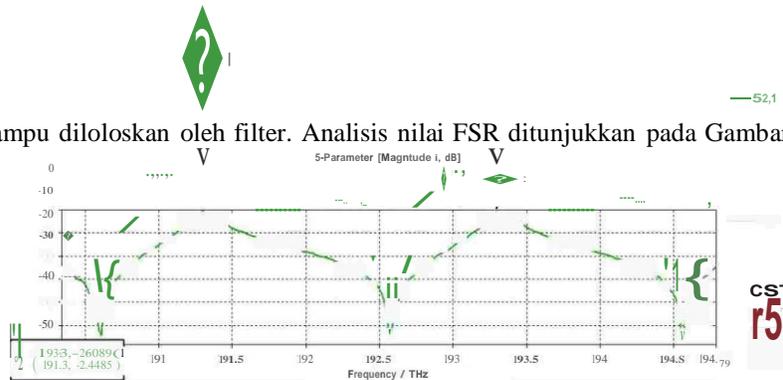
4.2 Skenario Paramter Free Spectral Range (FSR)

Untuk mendapatkan optical interleaver yang sesuai digunakan parallel cascade microring resonator sebagai objek simulasi. Perangkat optical interleaver memerlukan suatu filter optic dengan FSR yang sempit yakni sebesar 2 THz. Untuk mendapatkan FSR yang diinginkan, dilakukan variasi terhadap ukuran jari-jari dan gap objek simulasi. Nilai variasi ditentukan berdasarkan nilai batas kelengkungan minimum yang dimiliki oleh suatu material waveguide. Ukuran jari-jari divariasikan pada rentang 11 µm hingga 12 µm sementara ukuran gap divariasikan pada rentang 0,05-0.5 µm.

4.3 Analisis Free Spectral Range (FSR)

Rentang nilai FSR dianalisis pada output resonansi (S2,1) karena output yang dihasilkan merupakan cahaya yang telah mengalami peristiwa resonansi dan cahaya dengan panjang gelombang

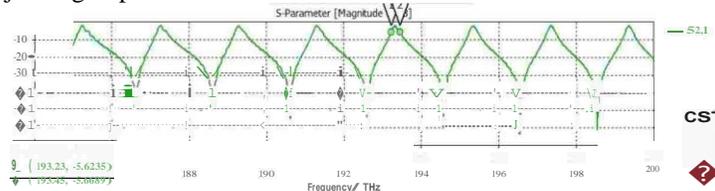
tertentu yang mampu diloloskan oleh filter. Analisis nilai FSR ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Analisis Nilai FSR

4.4 Analisis Bandwidth (FWHM/Full at Half Maximum)

Bandwidth menyatakan lebar atau jarak antara dua buah frekuensi pada output resonansi sebuah single microring resonator. Nilai lebar bandwidth ditunjukkan oleh Gambar 11. Nilai bandwidth diukur pada daerah frekuensi kerja dengan puncak sebesar -3 dB.



Gambar 11 Analisis nilai bandwidth

Hasil simulasi menghasilkan bandwidth sebesar 0,22 THz. Dibandingkan dengan hasil beberapa penelitian sebelumnya, nilai bandwidth yang diperoleh sudah cukup ideal dikarenakan bandwidth ideal berada pada rentang 0,025 hingga 0,3 Thz.

4.5 Analisis Finesse

Finesse menyatakan perbandingan antara nilai free spectral range dengan nilai bandwidth -3 dB. Berdasarkan hasil dua analisis parameter sebelumnya, didapatkan nilai untuk masing- masing parameter yakni sebesar 2,00 THz untuk rentang nilai FSR dan 0,15 THz untuk lebar bandwidth, sehingga dapat

disimpulkan nilai finesse adalah 9,09. Salah satu faktor suatu filter optik dikatakan ideal adalah memiliki nilai finesse yang besar. Semakin besar nilai finesse, menandakan total redaman yang terjadi cukup rendah<sup>[12]</sup>.

4.6 Analisis Q factor

Q factor menyatakan perbandingan antara frekuensi kerja dengan bandwidth 3 dB. Frekuensi kerja yang digunakan pada simulasi adalah sebesar 193,289 THz dan bandwidth yang didapat berdasarkan hasil simulasi sebesar 0,15 THz sehingga nilai Q factor perangkat ini memiliki nilai sebesar 879. Hasil Q factor yang diperoleh sudah sesuai bila dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya yaitu berada di kisaran 850-1050.

4.7 Analisis Pengaruh Jari-Jari Terhadap Parallel Cascade Microring Resonator

Jari-jari memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap parameter FSR. Besar nilai jari-jari berbanding terbalik dengan besar rentang nilai FSR sehingga dapat disimpulkan untuk mendapatkan suatu rentang FSR yang sempit perlu dirancang suatu parallel cascade microring resonator dengan jari-jari besar. Jari-jari PCMR memiliki pengaruh terhadap parameter bandwidth (FWHM). Jari-jari berbanding terbalik dengan nilai rentang FWHM. Bila jari-jari membesar maka rentang FWHM akan mengecil, sementara bila jari-jari mengecil maka rentang nilai FWHM akan membesar.

4.8 Analisis Pengaruh Gap terhadap Parallel Cascade Microring Resonator

Besar kecilnya nilai gap akan mempengaruhi peristiwa kopling yang terjadi. Besar gap akan dipengaruhi secara signifikan oleh nilai coupling loss<sup>[13]</sup>. Besar kecil nilai coupling loss akan berbanding lurus dengan lebar gap sehingga semakin sempit lebar gap akan membuat nilai coupling loss menjadi kecil. Tetapi ketika lebar gap dibuat sesempit mungkin, hal tersebut membuat proses pabrikan semakin sulit karena keterbatasan dan ketelitian alat ukur.

Gap dapat mempengaruhi frekuensi kerja dari parallel cascade microring resonator. Dari Tabel 3 dapat dilihat perubahan gap dapat mengubah frekuensi kerja dengan tidak teratur. Ketidakteraturan tersebut mengakibatkan trend dari perubahan gap terhadap frekuensi kerja sulit untuk dianalisis.

Tabel 3 Variasi gap

NO	Gap (µm)	Frekuensi kerja (THz)
1	0,05	193,32
2	0,1	193,34
3	0,15	192,6
4	0,2	193,3
5	0,3	193,35
6	0,5	193,37

4.9 Analisis Perbandingan Nilai Parameter

Karakteristik yang dihasilkan dari simulasi parallel cascade microring resonator ditunjukkan pada Tabael 4. Hal tersebut sudah sesuai dengan karakteristik yang ditetapkan.

Tabel 4 Perbandingan nilai parameter

Parameter	Ketetapan	Hasil Simulasi
Frekuensi Kerja	193,289 THz	193,3 THz
Free Spectral Range	2 THz	2 THz
FWHM	0,1 - 0,3 THz	0,22 THz
Finesse	≥ 8	9,09
Q Factor	644 - 1932	879

## 5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil proses implementasi, pengujian, dan analisis yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Parallel cascade microring resonator yang dirancang sudah memiliki karakteristik yang sesuai dengan optical interleaver pada jaringan CWDM yaitu memiliki nilai FSR sebesar 2,00 THz, lebar bandwidth sebesar 0,22 THz, nilai finesse sebesar 9,09 dan nilai Q factor sebesar 878. Hasil parameter tersebut sudah memenuhi spesifikasi awal yakni berada pada daerah frekuensi kerja 193,289 THz dan memiliki nilai FSR 2 THz.
2. Ukuran jari-jari suatu parallel cascade microring resonator berbanding terbalik dengan nilai FSR, sehingga ukuran jari-jari mempengaruhi besar nilai FSR yang diperoleh.
3. Ukuran jari-jari suatu parallel cascade microring resonator berbanding terbalik dengan nilai bandwidth (FWHM), sehingga ukuran jari-jari mempengaruhi FWHM yang diperoleh.
4. Semakin kecil jari-jari parallel cascade microring resonator, bending loss yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini disebabkan semakin kecil ukuran jari-jari, waveguide mengalami pembengkokan yang cukup besar.
5. Semakin kecil ukuran gap maka nilai konstanta kopling semakin besar yang menyatakan peristiwa kopling pada daerah kopling semakin kuat.
6. Ukuran gap berpengaruh terhadap frekuensi kerja PCMR. Perubahan tersebut akan menggeser frekuensi kerja secara tidak teratur.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Bob, C., 2009. Planning Fiber Optic Networks. The McGraw-Hill Companies.
- [2] International Telecommunication Union, ITU-T, G.692, Juli 1998
- [3] [http://www.optoplex.com/Optical\\_Interleaver.htm](http://www.optoplex.com/Optical_Interleaver.htm) diakses Juni 2015 pukul 19.34 WIB
- [4] Apriady, Dicky., 2006. Desain Dan Fabrikasi Microring-Resonator Sebagai Filter Optik Untuk Jaringan DWDM. Laporan Tugas Akhir. Institut Teknologi Nasional.
- [5] Benvenuti, L., Farina, L., 2001. The Design of Fiber-Optic Filters. Lightwave Technology, Journal of (Volume:19, Issue:9).
- [6] Muhammadi, Akbar., 2015. Simulasi Filter Optik Single Microring Resonator Sebagai Optical Add Drop Multiplexer. Laporan Tugas Akhir. Telkom University.
- [7] <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>, diakses 20 Juli 2016 pukul 20.24 WIB
- [8] Tan, S.F., 2004. Integrated Optical Filters Based on Microring Resonator.
- [9] International Telecommunication Union, ITU-T, G.694.1, Februari 2012.
- [10] International Telecommunication Union, ITU-T, G.694.2, Desember 2003.
- [11] Mookherjea, S., Melloni, A., 2008. Microring Resonator in Integrated Optic. University of California. USA.
- [12] Maulana, W., 2008. Analisis Ekualisasi Daya ASE Pada Penguat Raman Menggunakan Ring Resonator Analyze of ASE (Amplified Spontaneous Emission). Laporan Tugas Akhir. Institut Teknologi Telkom. [13] Syah, H.S.D., Ajulian, A., 2014. Penarikan Jaringan Baru FTTH ODC-SMT-FQ hingga ODP-SMT-FQ. Laporan Tugas Akhir. Universitas Diponegoro.
- [14] Wahyuni, S, P., 2007. Karakterisasi Fiber Bragg Grating (FBG) Tipe Uniform dengan Modulasi Akustik Menggunakan Metode Transfer Matrik
- [15] International Telecommunication Union, ITU-T, G.622, Juli 2005