

STUDI PERANCANGAN FILTER OPTIK MENGGUNAKAN FBG PADA DEMUX DWDM STUDY OF OPTICAL FILTER DESIGN USING FBG IN DWDM DEMUX

Rr Yuliana Eka Prabandari¹, Erna Sri Sugesti², Suwandi³

¹Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Serat optik merupakan media transmisi yang memiliki bandwidth lebar. Pemanfaatan bandwidth pada serat optik dapat dioptimalkan menggunakan teknik multiplexing salah satunya DWDM. Sesuai ITU-T Recommendation G.692 DWDM menggunakan spasi kanal 100 GHz atau 0,8 nm pada rentang panjang gelombang 1528,77 nm sampai 1560,61 nm. Kunci dari sistem DWDM adalah proses pemisahan panjang gelombang di demux. Pada demux DWDM terdapat suatu filter optik untuk memisahkan panjang gelombang yang dilewatkan.

Salah satu filter yang dapat digunakan untuk memisahkan panjang gelombang adalah FBG. Dasar dari perancangan filter optik FBG adalah mengetahui karakteristik spektrum FBG. Analisis propagasi gelombang dengan teori coupled mode dan metode transfer matrix digunakan untuk mendapatkan spektrum FBG. Filter FBG bekerja pada mode transmisi sehingga dalam pemodelan filter diperlukan beberapa FBG dalam sebuah filter untuk merefleksikan kanal yang tidak akan dipisahkan. Untuk mendapatkan hasil pemisahan kanal yang optimal dilakukan pengaturan parameter filter meliputi modulasi indeks bias, periode, jumlah periode grating, dan fasa antar FBG dalam filter. Dalam perancangan filter selain dilakukan penurunan rumus juga dilakukan simulasi menggunakan software Matlab R2007a.

Kata Kunci : Demux, DWDM, FBG

Abstract

Fiber optics is a transmission medium that has a wide bandwidth. Utilization of bandwidth in optical fiber can be optimized using multiplexing techniques such as DWDM. According to ITU-T Recommendation G.692, DWDM uses 100 GHz channel spacing or 0,8 nm in the wavelength range 1528,77 nm to 1560,61 nm. The keys of DWDM is the separation process in the wavelength demultiplexer (demux). In DWDM demux there is an optical filter that serves to separate the wavelength that is passed by.

One of the filters which can be used to separate the wavelength is FBG. Basic step in FBG optical filter design is understanding the spectrum characteristic of FBG. Wavelength propagation analysis with the coupled mode theory and matrix transfer mode is used to get FBG spectrum. FBG filter works in transmission mode so in filter modeling will need some FBG in a filter to reflect unseparated channel. To get the optimal result, filter parameter setting is done including the parameter of modulating the refractive index, period, grating period amount, and phase between FBG in a filter. In the filter design, besides it is done by analyzing formula which utilizes the coupled mode theory and method of transfer matrix, also done by simulating uses the Matlab software R2007a.

Keywords : Demux, DWDM, FBG

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin beragamnya layanan informasi berakibat pada meningkatnya tuntutan sistem transmisi yang memiliki kapasitas *bandwidth* besar dan kualitas yang tinggi. Hal ini diantisipasi dengan meningkatkan kualitas media transmisi yang digunakan yaitu melalui serat optik. Serat optik dipilih karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya *bandwidth* besar, redaman transmisi kecil, ukuran kecil, dan tidak terpengaruh gelombang elektromagnetis. Ternyata *bandwidth* serat optik yang lebar masih dapat dioptimalkan pemanfaatannya menggunakan teknologi multiplexing.

Teknologi DWDM merupakan teknologi multiplexing mutakhir yang mampu membawa lebih banyak kanal dibanding teknologi sebelumnya yaitu WDM. Sesuai ITU-T *Recommendation G.692* DWDM menggunakan spasi kanal 100 GHz atau 0,8 nm pada rentang panjang gelombang 1528,77 nm sampai 1560,61 nm. Spasi kanal yang lebih sempit membuat DWDM mampu membawa panjang gelombang lebih banyak dibanding WDM.

Kunci dari sistem DWDM terletak pada proses pemisahan panjang gelombang hasil multiplexing yang dilakukan di demultiplexer (demux). Pada demux DWDM terdapat suatu filter optik yang berfungsi memisahkan panjang gelombang yang dilewatkan. Filter optik pada demux DWDM harus mampu memisahkan panjang gelombang dengan spasi yang sempit. Maka dari itu diperlukan filter yang tepat untuk demux DWDM.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan perancangan filter optik pada demux DWDM menggunakan FBG. Selain itu dalam Tugas Akhir ini juga dianalisis hasil dari perancangan filter berdasarkan parameter filter yang digunakan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah

1. Mengetahui parameter filter optik FBG yang paling optimal untuk memisahkan kanal-kanal pada demux DWDM.

1.3 Rumusan Masalah

Salah satu filter optik yang dapat digunakan untuk memisahkan panjang gelombang pada demux DWDM adalah FBG. FBG memiliki spektrum yang fleksibel sehingga mudah diatur untuk memfilter panjang gelombang tertentu. Spektrum FBG meliputi spektrum reflektansi dan transmitansi dapat diperoleh melalui penurunan rumus menggunakan teori *coupled mode* dan metode transfer matrix. Perubahan terhadap parameter FBG meliputi modulasi indeks bias, periode, dan jumlah periode grating membuat spektrum FBG berubah pula. Pengaruh perubahan parameter FBG terhadap spektrum FBG menjadi dasar dalam perancangan filter optik FBG pada demux DWDM.

Filter optik yang bekerja pada mode transmisi akan memisahkan kanal dengan cara mentransmisikan kanal tersebut dan merefleksikan kanal-kanal lainnya. Sehingga untuk memisahkan kanal lebih dari dua diperlukan beberapa FBG dalam satu filter optik. Maka dari itu dalam perancangan filter optik menggunakan FBG untuk mode transmisi diperlukan pengaturan parameter setiap FBG dan fasa antar FBG.

Pada perancangan filter FBG selain dilakukan penurunan rumus juga dilakukan simulasi menggunakan *software* Matlab R2007a. Simulasi bertujuan untuk mengetahui hasil perancangan filter optik dengan parameter filter yang diubah-ubah.

1.4 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini akan dibahas tentang perancangan filter optik menggunakan FBG pada demux DWDM. Adapun pembatasan masalah dalam Tugas Akhir ini mencakup hal-hal sebagai berikut.

1. Dalam Tugas Akhir ini serat optik yang digunakan adalah serat optik *single mode*.
2. Redaman pada serat optik yang digunakan diasumsikan sangat kecil sehingga redaman dapat diabaikan. Selain itu efek non linier dan polarisasi yang terjadi pada serat optik tidak diperhitungkan.
3. Pada Tugas Akhir ini hanya membahas filter optik FBG yang bekerja pada mode transmisi.
4. Input filter dimodelkan dengan empat buah pulsa Gaussian dengan panjang gelombang sentral 1550,92 nm; 1551,72 nm; 1552,52 nm; dan 1553,33 nm serta lebar spektral pulsa masing-masing 0,08 nm dan daya maksimum 4 mw setiap pulsa.

5. Filter menggunakan FBG dengan tipe *uniform*.
6. Parameter yang diatur dalam merancang filter adalah parameter setiap FBG dan fasa antar FBG. Parameter FBG meliputi modulasi indeks bias, periode, dan jumlah periode grating.
7. Perancangan filter tidak sampai pada proses fabrikasi filter.
8. Diasumsikan tidak terjadi perubahan suhu dan temperatur yang dapat mempengaruhi karakteristik FBG.
9. Pemasangan filter FBG pada demux DWDM dianggap tidak menimbulkan redaman.

1.5 Metode Penyelesaian Masalah

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah

1. Tahap studi literatur
Pada tahap ini dilakukan pemahaman dan pendalaman materi mengenai hal-hal yang berkaitan dengan DWDM dan FBG sebagai filter optik.
2. Tahap penurunan rumus
Pada tahap ini dilakukan penurunan rumus dari teori *coupled mode* dan metode transfer matrix untuk mendapatkan koefisien refleksi dan transmisi FBG. Melalui koefisien refleksi dan transmisi akan diperoleh spektrum reflektansi dan transmitansi FBG.
3. Tahap pemodelan dan simulasi
Pada tahap ini dilakukan pemodelan filter optik menggunakan FBG pada demux DWDM dan disimulasikan menggunakan *software* Matlab R2007a.
4. Analisis
Pada tahap ini dilakukan analisis berdasarkan hasil simulasi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut.

Bab I

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, metode penyelesaian masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II

Pada bab ini dijelaskan tentang dasar teori mengenai konsep DWDM pada sistem komunikasi serat optik meliputi definisi, prinsip kerja, dan komponennya. Selain itu pada bab ini juga dibahas mengenai konsep FBG meliputi definisi, prinsip kerja, fabrikasi, dan pemodelan matematisnya.

Bab III

Pada bab ini dijelaskan mengenai pemodelan FBG sebagai filter optik pada demux DWDM meliputi gambar model sistem dan diagram alur perancangan filter. Selain itu pada bab ini dibahas pula pemodelan kanal input demux DWDM, propagasi gelombang baik pada sebuah FBG maupun pada filter, serta hal-hal yang diamati dari hasil filter.

Bab IV

Pada bab ini dianalisis tentang hasil perancangan filter optik menggunakan FBG pada demux DWDM. Selain itu pada bab ini juga dibahas spektrum FBG, pengaruh perubahan parameter filter, dan hasil pemisahan kanal menggunakan filter FBG.

Bab V

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan akhir dan saran pengembangan Tugas Akhir berikutnya.

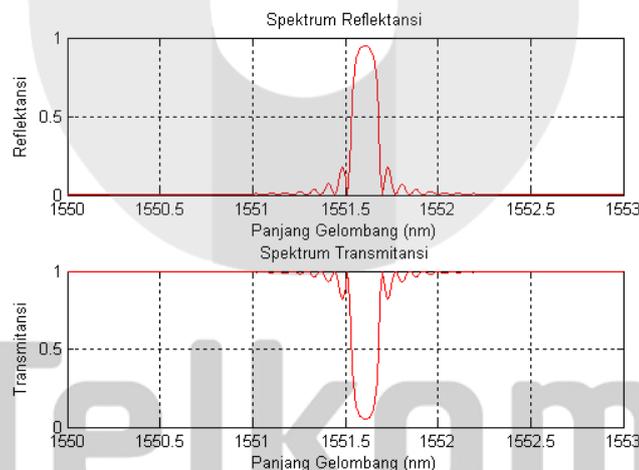
BAB IV

ANALISIS HASIL PERANCANGAN FILTER OPTIK MENGGUNAKAN FBG PADA DEMUX DWDM

Perancangan filter optik FBG bertujuan agar filter mampu memisahkan kanal- kanal DWDM dengan spasi antar kanal yang sempit. Sebagai dasar dalam perancangan filter akan dianalisis karakteristik spektrum FBG dan pengaruh perubahan parameter filter seperti modulasi indeks bias, periode, jumlah periode grating, dan fasa antar FBG. Pada bab ini akan ditampilkan hasil dari perancangan filter optik FBG serta analisis dari hasil perancangan tersebut.

4.1 Karakteristik Spektrum FBG

Berdasarkan persamaan (3.15), (3.16), dan (3.12) pada bab III maka dapat diperoleh spektrum reflektansi dan transmitansi dari FBG. Gambar 4.1 berikut merupakan plot spektrum reflektansi dan transmitansi FBG dengan parameter $n_{eff} = 1,45$, $\Delta n = 0,0001$, $\Lambda = 535 \text{ nm}$, $N = 20000$.



Gambar 4.1 Spektrum reflektansi FBG (atas) dan transmitansi FBG (bawah)

Dari gambar tersebut tampak bahwa spektrum reflektansi dan transmitansi FBG adalah simetris. Dapat dilihat ketika nilai reflektansinya maksimum maka nilai transmitansinya akan minimum dan berlaku juga sebaliknya. Nilai maksimum dari reflektansi atau transmitansi adalah satu. Artinya ketika reflektansinya satu maka gelombang yang datang seluruhnya akan direfleksikan. Salah satu kelebihan FBG adalah spektrumnya fleksibel sehingga nilai reflektansi dan transmitansinya dapat diatur.

Pada spektrum reflektansi FBG terdapat *mainlobe* dengan nilai reflektansi maksimum di puncak *mainlobe*. *Mainlobe* dapat difungsikan untuk memfilter panjang gelombang tertentu dengan cara merefleksikan panjang gelombang tersebut. Pada Gambar 4.1 puncak *mainlobe* memiliki reflektansi 0,9486 dengan panjang gelombang 1551,61 nm. Artinya daya yang datang dengan panjang gelombang 1551,61 nm akan direfleksikan sebesar 94,86% dari daya semula.

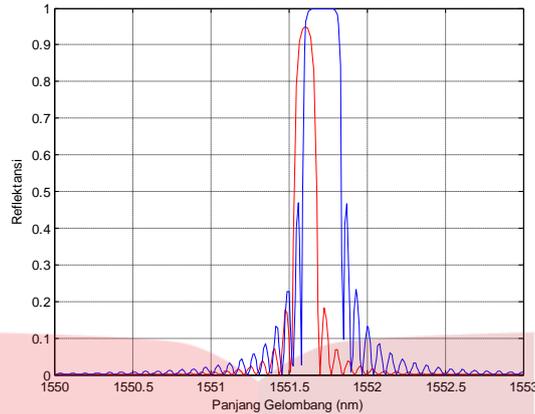
Bandwidth pada *mainlobe* dapat diukur pada jarak nol pertama di kedua sisi *mainlobe*. Untuk FBG dengan *strong grating* nilai *bandwidth mainlobe* mendekati nilai FWHMnya. FBG yang digunakan sebagai filter kebanyakan adalah FBG dengan *strong grating* karena nilai reflektansi untuk *strong grating* dapat mencapai satu. Dengan menggunakan persamaan (3.11) maka *bandwidth mainlobe* pada Gambar 4.1 dapat diketahui yaitu sebesar 0,188 nm.

Penggunaan FBG sebagai filter pada dasarnya adalah mengatur *mainlobe* pada spektrum reflektansi agar mampu merefleksikan panjang gelombang tertentu. Karena spektrum FBG fleksibel maka *mainlobe* dapat dengan mudah diatur melalui parameter-parameter FBG. Dalam Tugas Akhir ini parameter FBG yang akan digunakan untuk merancang filter adalah modulasi indeks bias (Δn), periode (Λ), dan jumlah periode grating (N). Perubahan dari ketiga parameter ini akan mempengaruhi karakteristik spektrum reflektansi maupun transmitansi FBG.

4.1.1 Pengaruh Perubahan Modulasi Indeks Bias Terhadap Spektrum Reflektansi FBG

Spektrum FBG yang akan diamati perubahannya adalah spektrum reflektansinya. Sementara untuk spektrum transmitansi perubahannya akan mengikuti spektrum reflektansi karena kedua spektrum ini simetris. Sehingga cukup dianalisis perubahan parameter FBG pada spektrum reflektansinya.

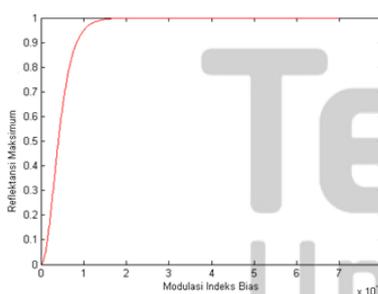
Berikut adalah plot spektrum reflektansi FBG menggunakan persamaan (3.15) dan (3.12) dengan parameter yang berubah adalah modulasi indeks biasnya. Sementara parameter lain dibuat tetap yaitu $\Lambda = 535 \text{ nm}$, dan $N = 20000$.



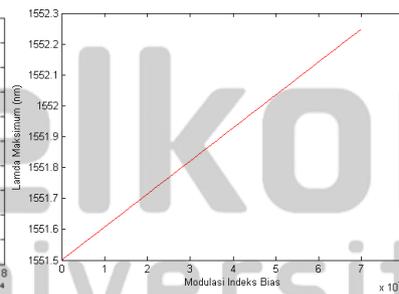
Gambar 4.2 Spektrum reflektansi FBG dengan $\Delta n = 0,0001$ (merah) dan $\Delta n = 0,0002$ (biru)

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Matlab diperoleh data pada modulasi indeks bias sebesar 0,0001 menghasilkan nilai reflektansi maksimum 0,9487, panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 1551,61 nm, dan *bandwidth mainlobe* 0,1885 nm. Sementara pada modulasi indeks bias sebesar 0,0002 menghasilkan nilai reflektansi maksimum 0,9993, panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 1551,71 nm, dan *bandwidth mainlobe* 0,2644 nm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan modulasi indeks bias sebesar 0,0001 pada parameter ini akan menghasilkan perubahan reflektansi maksimum 0,0506, pergeseran panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 0,1 nm, dan perubahan *bandwidth mainlobe* sebesar 0,0759 nm.

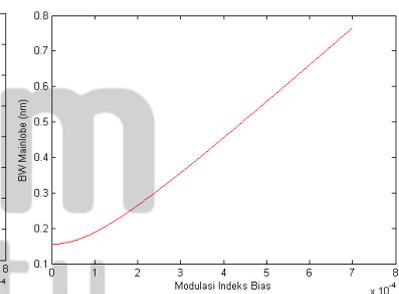
Perubahan nilai reflektansi maksimum, panjang gelombang yang direfleksikan maksimum, dan *bandwidth mainlobe* akibat perubahan modulasi indeks bias dapat dilihat pada grafik Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 berikut.



Gambar 4.3 Grafik perubahan modulasi indeks bias terhadap reflektansi maksimum



Gambar 4.4 Grafik perubahan modulasi indeks bias terhadap panjang gelombang dengan reflektansi maksimum



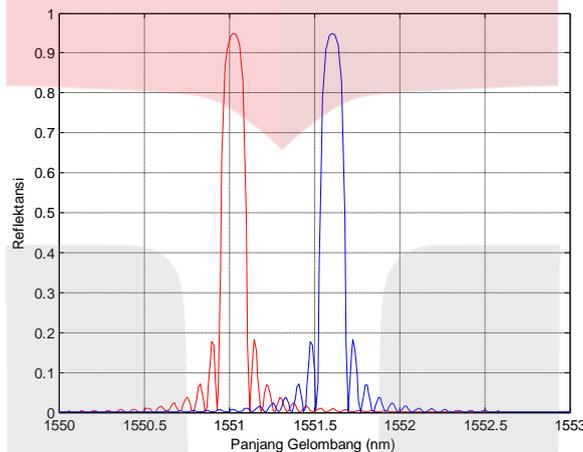
Gambar 4.5 Grafik perubahan modulasi indeks bias terhadap *bandwidth mainlobe*

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi modulasi indeks bias FBG maka nilai reflektansi semakin naik dilihat dari pencapaian reflektansi maksimumnya yang semakin tinggi. Sedangkan semakin bertambah modulasi indeks bias

maka semakin bergeser naik panjang gelombang yang direfleksikan maksimum. Sementara *bandwidth mainlobe* juga akan naik seiring pertambahan modulasi indeks biasanya.

4.1.2 Pengaruh Perubahan Periode Terhadap Spektrum Reflektansi FBG

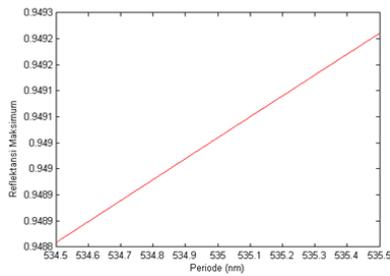
Berikut adalah plot spektrum reflektansi FBG menggunakan persamaan (3.15) dan (3.12) dengan parameter yang berubah adalah periode. Sementara parameter lain dibuat tetap yaitu $\Delta n = 0,0001$ dan $N = 20000$.



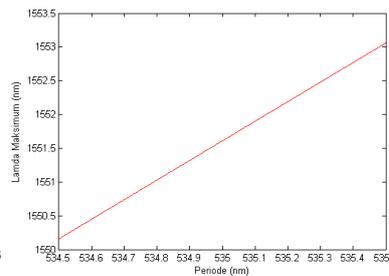
Gambar 4.6 Spektrum reflektansi FBG dengan $\Lambda = 534,8 \text{ nm}$ (merah) dan $\Lambda = 535 \text{ nm}$ (biru)

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Matlab diperoleh data pada periode 534,8 nm menghasilkan nilai reflektansi maksimum 0,9486, panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 1551,03 nm, dan *bandwidth mainlobe* 0,1884 nm. Sementara pada periode sebesar 535 nm menghasilkan nilai reflektansi maksimum 0,9487, panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 1551,61 nm, dan *bandwidth mainlobe* 0,1885 nm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan periode sebesar 0,2 nm pada parameter ini mengakibatkan perubahan reflektansi maksimum 0,0001, pergeseran panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 0,58 nm, dan perubahan *bandwidth mainlobe* 0,0001 nm.

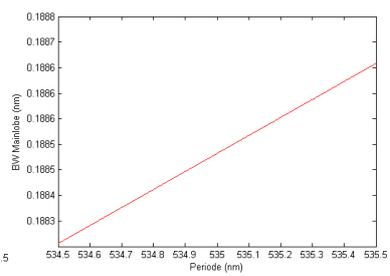
Perubahan nilai reflektansi maksimum, panjang gelombang yang direfleksikan maksimum, dan *bandwidth mainlobe* akibat perubahan periode dapat dilihat pada grafik Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 berikut.



Gambar 4.7 Grafik perubahan periode terhadap reflektansi maksimum



Gambar 4.8 Grafik perubahan periode terhadap panjang gelombang dengan reflektansi maksimum

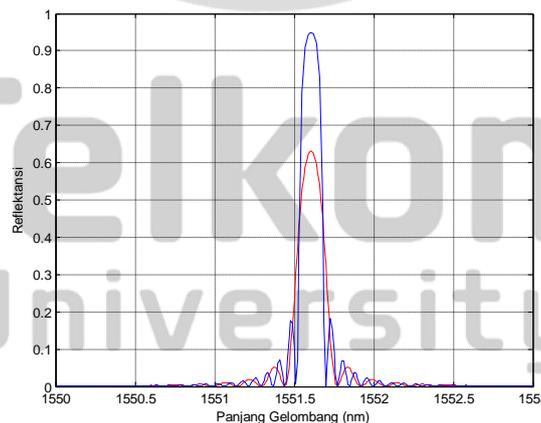


Gambar 4.9 Grafik perubahan periode terhadap *bandwidth mainlobe*

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi periode FBG maka semakin tinggi pula nilai reflektansinya. Namun perubahan nilai reflektansi yang terjadi sangatlah kecil sehingga pengaruhnya dapat diabaikan. Semakin bertambah periode maka semakin bergeser naik panjang gelombang yang direfleksikan maksimum. Sementara *bandwidth mainlobe* juga akan naik seiring pertambahan periode walaupun perubahannya sangat kecil. Oleh karena itu pengaruhnya pun dapat diabaikan.

4.1.3 Pengaruh Perubahan Jumlah Periode Grating Terhadap Spektrum Reflektansi FBG

Berikut adalah plot spektrum reflektansi FBG menggunakan persamaan (3.15) dan (3.12) dengan parameter yang berubah adalah jumlah periode grating. Sementara parameter lain dibuat tetap yaitu $\Delta n = 0,0001$, dan $\Lambda = 535 \text{ nm}$.

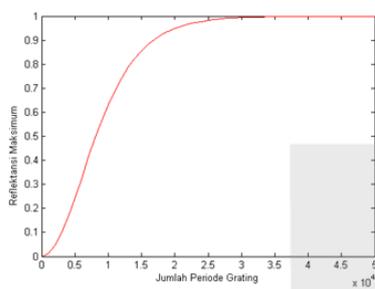


Gambar 4.10 Spektrum reflektansi FBG dengan $N = 10000$ (merah) dan $N = 20000$ (biru)

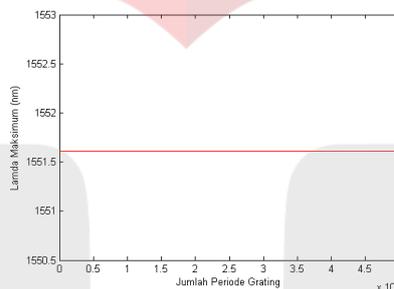
Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Matlab diperoleh data pada jumlah periode grating sebesar 10000 menghasilkan nilai reflektansi maksimum 0,6308, panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 1551,61 nm, dan *bandwidth mainlobe* 0,3283

nm. Sementara pada jumlah periode grating sebesar 20000 menghasilkan nilai reflektansi maksimum 0,9487, panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 1551,61 nm, dan *bandwidth mainlobe* 0,1885 nm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan jumlah periode grating sebesar 10000 pada parameter ini mengakibatkan perubahan reflektansi maksimum 0,3179, pergeseran panjang gelombang dengan reflektansi maksimum 0 nm atau tidak ada pergeseran, dan perubahan *bandwidth mainlobe* 0,1398 nm.

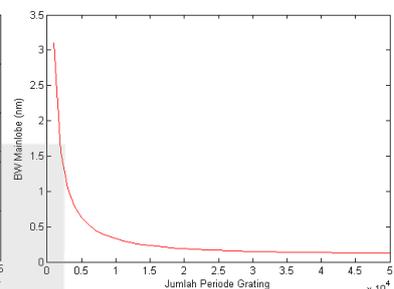
Perubahan nilai reflektansi maksimum, panjang gelombang yang direfleksikan maksimum, dan *bandwidth mainlobe* akibat perubahan jumlah periode grating dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4.11 Grafik perubahan jumlah periode grating terhadap reflektansi maksimum



Gambar 4.12 Grafik perubahan jumlah periode grating terhadap panjang gelombang dengan reflektansi maksimum



Gambar 4.13 Grafik perubahan jumlah periode grating terhadap *bandwidth mainlobe*

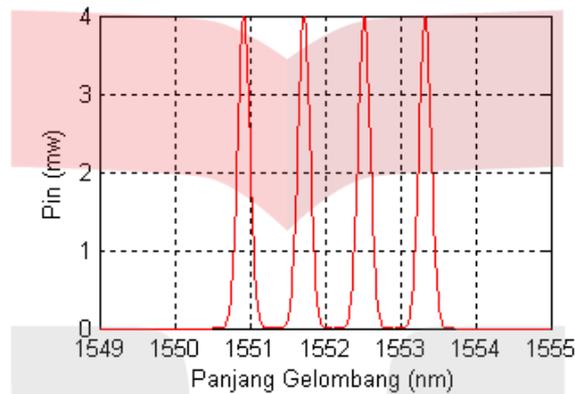
Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin bertambah jumlah periode grating maka semakin tinggi pula nilai reflektansinya dilihat dari pencapaian reflektansi maksimumnya yang semakin tinggi dan semakin sempit *bandwidth mainlobenya*. Sementara penambahan jumlah periode grating tidak akan mengakibatkan perubahan terhadap panjang gelombang yang direfleksikan maksimum.

4.2 Refleksi dan Transmisi Sebuah FBG sebagai Filter Optik pada Demux DWDM

Setiap filter optik pada demux DWDM terdiri dari beberapa FBG yang berfungsi merefleksikan kanal-kanal yang tidak akan dipisahkan. Karakteristik setiap FBG bergantung dari parameter yang digunakan yaitu modulasi indeks bias, periode, dan jumlah periode grating. Pengaruh perubahan modulasi indeks bias, periode, dan jumlah periode grating terhadap spektrum reflektansi maupun transmitansi FBG merupakan dasar untuk mengatur sebuah FBG dalam merefleksikan kanal-kanal tertentu. Karakteristik kanal-kanal input yang dilewatkan pada sebuah FBG juga dapat mempengaruhi pengaturan parameter FBG.

4.2.1 Kanal-Kanal Input Demux DWDM

Dalam Tugas Akhir ini kanal-kanal input pada demux DWDM dimodelkan berupa pulsa Gaussian dengan panjang gelombang sentral setiap kanal sesuai dengan ITU-T *Recommendation G.692*. Gambar 4.14 berikut merupakan kanal-kanal yang masuk pada demux DWDM setelah dilakukan multiplexing. Setiap kanal pada Gambar 4.14 diperoleh berdasarkan persamaan (3.1).

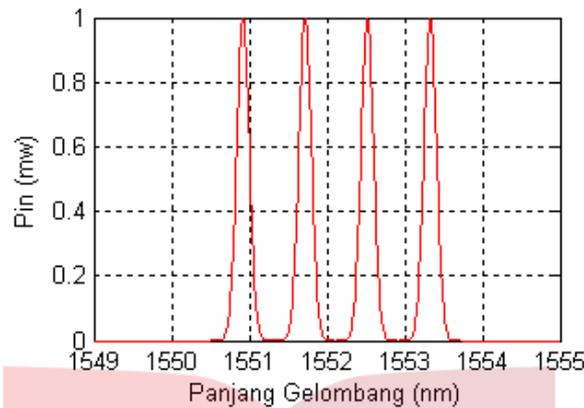


Gambar 4.14 Kanal-kanal input demux DWDM

Kanal-kanal input demux seperti pada Gambar 4.14 memiliki lebar spektral yang sama yaitu 0,08 nm dan daya maksimum 4 mw setiap kanal. Penggunaan lebar spektral 0,08 nm bertujuan untuk mencegah *crosstalk* antar kanal yang berdekatan. Sementara itu untuk DWDM dengan spasi kanal 0,8 nm, daya maksimum 4 mw atau sekitar 6 dBm setiap kanal dapat digunakan hingga jarak transmisi mencapai 10.000 km^[2].

Pada kanal pertama panjang gelombang sentralnya adalah 1550,92 nm, kanal kedua 1551,72 nm, kanal ketiga 1552,52 nm, dan kanal keempat 1553,33 nm. Kanal pertama beroperasi pada rentang panjang gelombang 1550,52 nm sampai 1551,32 nm dengan daya rata-rata 0,248 mw. Sementara kanal kedua berada pada rentang panjang gelombang 1551,33 nm sampai 1552,11 nm dengan daya rata-rata 0,254 mw. Sedangkan kanal ketiga dan keempat pada rentang panjang gelombang 1552,12 nm sampai 1552,92 nm dan 1552,93 nm sampai 1553,73 nm dengan daya rata-rata masing-masing 0,248 nm.

Kanal-kanal input demux sebelum sampai ke filter akan melewati splitter. Setelah melewati splitter daya setiap kanal akan terbagi sebab splitter berfungsi sebagai pembagi daya. Pada splitter yang ideal maka daya yang terbagi untuk setiap kanal akan sama. Gambar 4.15 berikut merupakan kanal-kanal input demux DWDM setelah melewati splitter ideal.

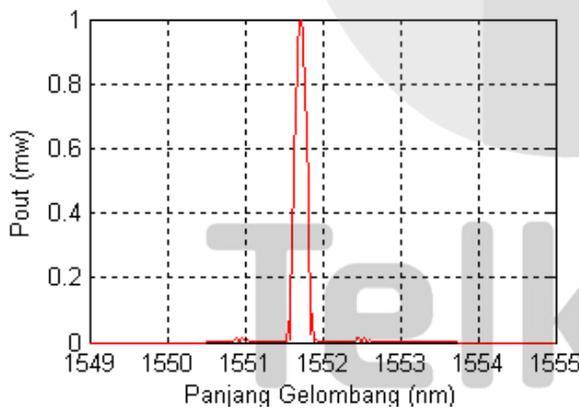


Gambar 4.15 Kanal-kanal input demux DWDM setelah melewati splitter

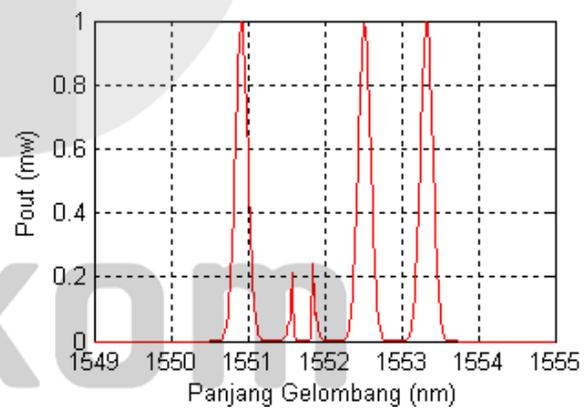
Dengan menggunakan splitter 1x4 maka daya yang akan memasuki filter menjadi seperempat kali dari daya input demux. Sehingga daya maksimum yang masuk ke filter menjadi 1 mW. Walaupun daya sinyal terbagi namun lebar spektral sinyal tetap. Dengan demikian FWHM sinyal pun tetap yaitu sebesar 0,1884 nm.

4.2.2 Hasil Refleksi dan Transmisi Setelah Melewati Sebuah FBG

Hasil refleksi dan transmisi setelah melewati FBG dapat diperoleh dari persamaan (3.13) dan (3.14). Dengan menggunakan sebuah FBG yang memiliki parameter $\Delta n = 0,0002$, $\Lambda = 535$ nm, $N = 20000$ maka input yang direfleksikan dan ditransmisikan setelah melewati FBG adalah sebagai berikut.



Gambar 4.16 Hasil refleksi dari sebuah FBG



Gambar 4.17 Hasil transmisi dari sebuah FBG

Tampak pada gambar bahwa kanal kedua dengan panjang gelombang sentral kanal 1551,72 nm direfleksikan oleh FBG dengan parameter modulasi indeks bias 0,0002, periode 535 nm, dan jumlah periode grating sebesar 20000. Namun, masih terdapat sebagian dari kanal yang direfleksikan ikut ditransmisikan. Dalam perancangan filter hal ini harus diminimalisir karena filter optik bekerja memisahkan kanal pada mode transmisi.

Sisa kanal yang tidak direfleksikan dapat mengganggu kanal yang dipisahkan pada penerima. Maka dari itu diperlukan pengaturan parameter ulang untuk mendapatkan hasil yang optimal.

4.3 Perancangan Filter Optik Menggunakan FBG pada Demux DWDM

Perancangan filter optik meliputi dua hal yaitu pengaturan parameter setiap FBG dan pengaturan fasa antar FBG dalam satu filter. Pengaturan parameter setiap FBG yang meliputi modulasi indeks bias, periode, dan jumlah periode grating bertujuan untuk mendapatkan parameter yang sesuai sehingga dapat meminimalisir bagian dari kanal yang ikut ditransmisikan dan meningkatkan kualitas hasil filter. Bagian dari kanal yang harusnya direfleksikan namun ikut ditransmisikan dapat mengganggu kanal yang dipisahkan ketika telah sampai di penerima. Sementara pengaturan fasa antar FBG dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas hasil filter karena pergeseran fasa berpengaruh terhadap spektrum reflektansi dan transmitansi filter.

4.3.1 Pengaturan Parameter Setiap FBG

Pengaturan parameter FBG dilakukan dengan cara mengubah-ubah nilai modulasi indeks bias, periode, dan jumlah periode grating. Dalam mengubah-ubah nilai modulasi indeks bias, periode, dan jumlah periode grating harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut.

1. Menentukan kanal yang akan direfleksikan dan panjang gelombang sentral kanal tersebut.

Panjang gelombang sentral kanal merupakan panjang gelombang yang dijadikan acuan dalam mengatur panjang gelombang dengan reflektansi maksimum. Parameter yang paling signifikan dalam menggeser panjang gelombang dengan reflektansi maksimum adalah modulasi indeks bias dan periode. Maka dari itu sangat penting untuk mengetahui panjang gelombang sentral dari kanal yang akan direfleksikan karena mempengaruhi nilai modulasi indeks bias dan periode FBG yang akan digunakan. Berdasarkan persamaan (3.10) dapat dilakukan pengaturan nilai modulasi indeks bias dan periode FBG.

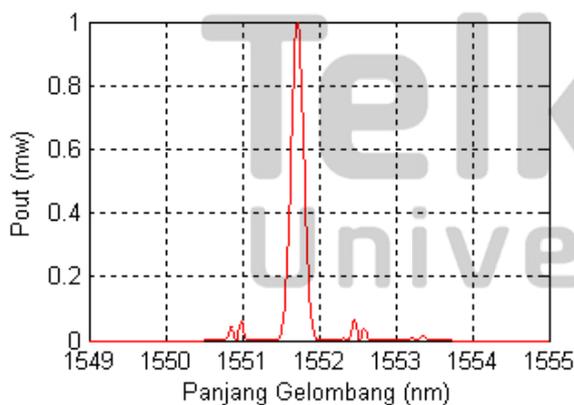
2. Mengetahui FWHM dari kanal yang akan direfleksikan sebagai pertimbangan *bandwidth mainlobe* spektrum reflektansi yang diperlukan.

Bandwidth mainlobe spektrum reflektansi FBG harus lebih besar dari FWHM kanal yang akan direfleksikan agar meminimalisir bagian dari kanal yang direfleksikan ikut ditransmisikan. Parameter yang sangat signifikan dalam memperbesar *bandwidth mainlobe* adalah modulasi indeks bias dan jumlah periode grating. Menaikkan nilai modulasi indeks bias membuat *bandwidth mainlobe* makin besar dan reflektansinya semakin tinggi. Akan tetapi panjang gelombang yang direfleksikan maksimum juga akan bergeser. Sementara dengan memperkecil jumlah periode grating akan memperbesar *bandwidth mainlobe* dan menurunkan nilai reflektansi. Namun panjang gelombang yang direfleksikan maksimum tidak akan bergeser.

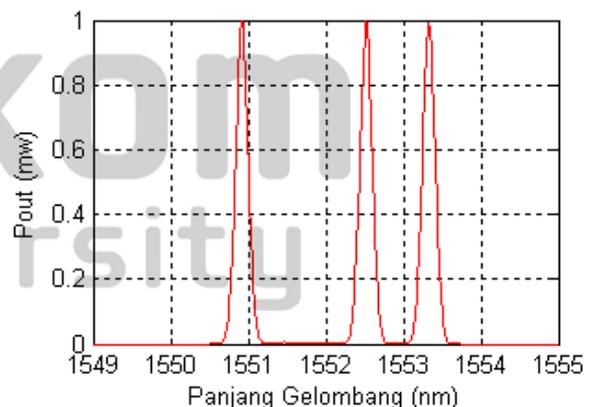
3. Melakukan kombinasi perubahan parameter

Kombinasi perubahan parameter adalah mengubah lebih dari satu parameter FBG. Artinya untuk mendapatkan hasil filter yang lebih baik dari parameter yang digunakan sebelumnya tidak hanya dilakukan perubahan nilai pada salah satu parameter saja. Misalnya ketika menaikkan modulasi indeks bias untuk meningkatkan reflektansi filter maka efek lain yang muncul adalah pergeseran panjang gelombang dengan reflektansi maksimum. Maka agar panjang gelombang tersebut tidak bergeser perlu dilakukan perubahan juga terhadap periodenya.

Dengan menggunakan cara pengaturan parameter FBG seperti di atas maka mengubah parameter FBG menjadi $\Delta n = 0,0004$, $\Lambda = 534,93 \text{ nm}$, $N = 10000$ akan menghasilkan output sebagai berikut.



Gambar 4.18 Hasil refleksi dari sebuah FBG dengan parameter $\Delta n = 0,0004$, $\Lambda = 534,93 \text{ nm}$, dan $N = 10000$



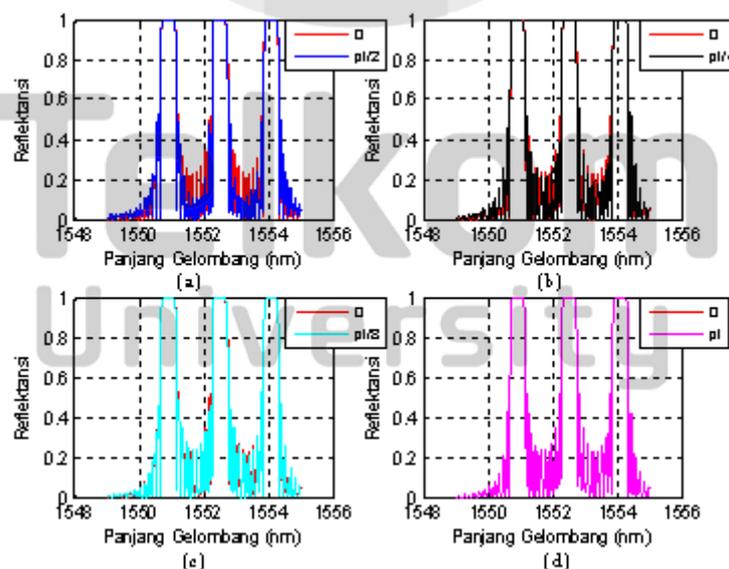
Gambar 4.19 Hasil transmisi dari sebuah FBG dengan parameter $\Delta n = 0,0004$, $\Lambda = 534,93 \text{ nm}$, dan $N = 10000$

Tampak pada gambar bahwa sisa kanal yang harusnya direfleksikan telah diminimalisir dari hasil transmisi FBG dibandingkan dengan Gambar 4.16 dan 4.17. Walaupun terdapat sedikit kanal yang ditransmisikan ikut direfleksikan namun dengan perubahan parameter ini membuat kanal yang ditransmisikan tidak terganggu oleh sebagian kanal yang harusnya direfleksikan ketika di penerima.

4.3.2 Pengaturan Fasa antar FBG dalam Sebuah Filter Optik

Pengaturan fasa antar FBG mempengaruhi spektrum reflektansi dan transmitansi dari filter karena kedua spektrum ini simetris. Pada gambar 4.20 berikut dapat dilihat spektrum reflektansi dari filter optik dan pengaruh perubahan fasa terhadap spektrum tersebut dengan tiga buah FBG dengan parameter $\Delta n = 0,0004$, $\Lambda_1 = 534,65$ nm, $\Lambda_2 = 535,2$ nm, $\Lambda_3 = 535,75$ nm, $N = 10000$ menggunakan persamaan (3.25) dan (3.26).

Pada gambar 4.20a dapat dilihat ketika fasa antar FBG $\varphi = 0$ maka reflektansi *sidelobe* yang terletak diantara *mainlobe* lebih tinggi dari pada saat fasanya $\varphi = \pi/2$. Namun pada *sidelobe* yang tidak terletak diantara *mainlobe* reflektansinya lebih rendah. Saat fasa $\varphi = \pi/4$ dapat dilihat pada Gambar 4.20b bahwa spektrum reflektansi mendekati saat fasa antar FBG $\varphi = 0$. Sementara dengan fasa $\varphi = \pi/8$ seperti pada Gambar 4.20c maka spektrum reflektansi semakin mendekati saat fasa antar FBG $\varphi = 0$. Sedangkan saat fasa antar FBG sebesar $\varphi = \pi$ spektrum reflektansinya akan sama dengan spektrum reflektansi saat fasanya $\varphi = 0$ seperti terlihat pada Gambar 4.20d.



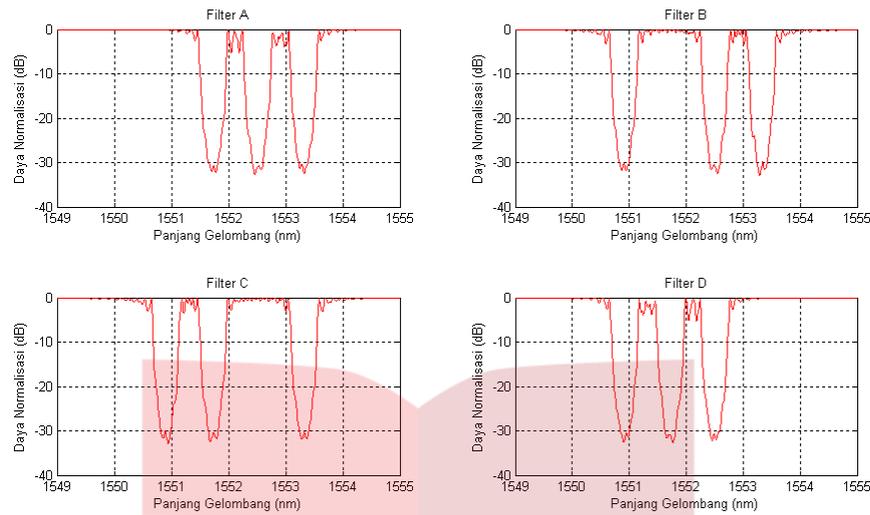
Gambar 4.20 Pengaruh fasa antar FBG terhadap spektrum reflektansi filter

Berdasarkan Gambar 4.20 secara umum dapat dikatakan bahwa semakin kecil nilai fasa pada $0 \leq \varphi \leq \pi/2$ dan semakin besar nilai fasa pada $\pi/2 < \varphi \leq \pi$ maka nilai reflektansi *sidelobe* yang terdapat diantara dua *mainlobe* FBG berdekatan akan semakin tinggi. Namun, reflektansi *sidelobe* yang tidak terletak diantara dua *mainlobe* berdekatan menjadi semakin kecil. Sehingga untuk memisahkan kanal yang memiliki panjang gelombang sentral minimum dan maksimum digunakan fasa $\varphi = 0$. Sementara untuk memisahkan kanal-kanal yang lain dapat digunakan fasa $\varphi = \pi/2$. Fasa-fasa lain seperti $\varphi = \pi$ atau $\varphi = 3\pi/2$ yang menghasilkan spektrum filter sama dengan $\varphi = 0$ atau $\varphi = \pi/2$ kurang tepat digunakan karena akan membutuhkan jarak antar FBG lebih lebar.

4.4 Karakteristik Filter FBG

Perancangan filter FBG yang dilakukan dengan mengatur parameter filter meliputi modulasi indeks bias, periode, jumlah periode grating, dan fasa antar FBG akan menghasilkan karakteristik filter FBG yang mampu memisahkan kanal tertentu. Berdasarkan pengaturan parameter yang telah dilakukan sebelumnya (sub 4.3) maka dapat diperoleh karakteristik filter seperti pada Gambar 4.21. Karakteristik setiap filter akan bergantung pada parameter filter yang digunakan.

Karakteristik filter pada Gambar 4.21 diperoleh dengan parameter setiap FBG pada semua filter menggunakan $\Delta n = 0,0004$ dan $N = 10000$. Sementara nilai periode dan fasa antar FBG yang digunakan setiap filter berbeda dikarenakan setiap filter berfungsi memisahkan kanal yang berbeda-beda pula. Filter A menggunakan periode $\Lambda_1 = 534,93 \text{ nm}$, $\Lambda_2 = 535,2 \text{ nm}$, $\Lambda_3 = 535,48 \text{ nm}$ dan fasa antar FBG $\varphi = 0$. Filter B menggunakan periode $\Lambda_1 = 534,65 \text{ nm}$, $\Lambda_2 = 535,2 \text{ nm}$, $\Lambda_3 = 535,48 \text{ nm}$ dan fasa antar FBG $\varphi = \pi/2$. Filter C menggunakan periode $\Lambda_1 = 534,65 \text{ nm}$, $\Lambda_2 = 534,93 \text{ nm}$, $\Lambda_3 = 535,48 \text{ nm}$ dan fasa antar FBG $\varphi = \pi/2$. Sementara filter D menggunakan periode $\Lambda_1 = 534,65 \text{ nm}$, $\Lambda_2 = 534,93 \text{ nm}$, $\Lambda_3 = 535,2 \text{ nm}$, dan fasa antar FBG $\varphi = 0$.



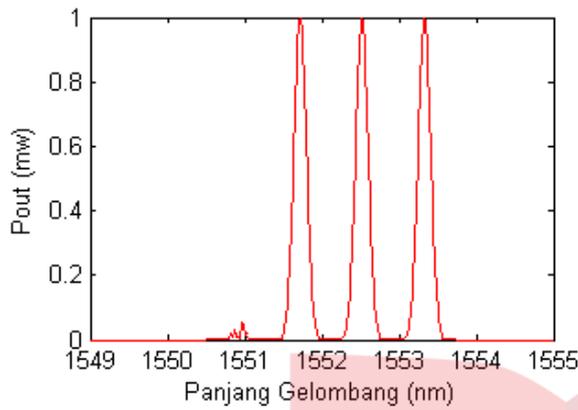
Gambar 4.21 Karakteristik filter optik FBG

Berdasarkan Gambar 4.21 secara umum dapat dilihat bahwa filter FBG berfungsi sebagai *band stop filter*. *Mainlobe* yang terdapat pada setiap filter pada Gambar 4.21 difungsikan untuk *mereject* kanal-kanal yang tidak akan dipisahkan atau dengan kata lain kanal-kanal tersebut akan distop sehingga hanya kanal yang akan dipisahkan saja yang dapat melewatinya. *Mainlobe* pada karakteristik setiap filter harus memiliki *bandwidth-3dB* yang sempit agar tidak mengganggu kanal lain. Pada Gambar 4.21 setiap filter memiliki *mainlobe* dengan *bandwidth-3dB* nya sekitar 0,4 nm.

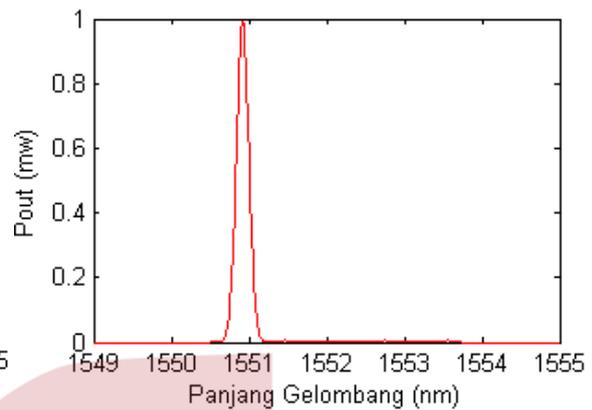
4.5 Hasil Pemisahan Kanal Menggunakan Filter FBG pada Demux DWDM

Dalam Tugas Akhir ini akan disimulasikan pemisahan empat kanal hasil multiplexing DWDM menggunakan empat buah filter yang terdapat pada demux DWDM yaitu filter A, B, C, dan D. Kanal-kanal yang masuk ke filter dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Filter A didesain untuk memisahkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1550,92 nm. Menggunakan tiga buah FBG dengan parameter $\Delta n_1 = \Delta n_2 = \Delta n_3 = 0,0004$, $\Lambda_1 = 534,93 \text{ nm}$, $\Lambda_2 = 535,2 \text{ nm}$, $\Lambda_3 = 535,48 \text{ nm}$, $N_1 = N_2 = N_3 = 10000$, dan fasa antar FBG berdekatan $\varphi = 0$ maka hasil keluaran filter A sebagai berikut.



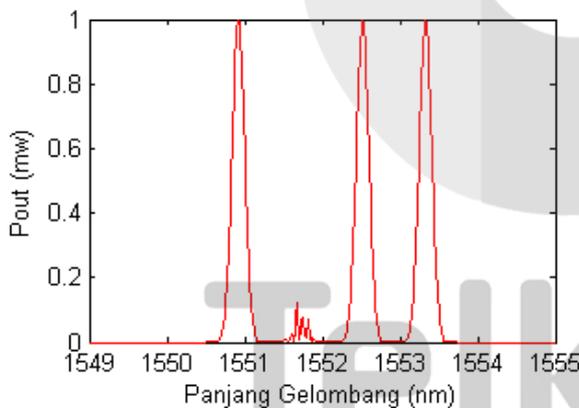
Gambar 4.22 Hasil refleksi filter A



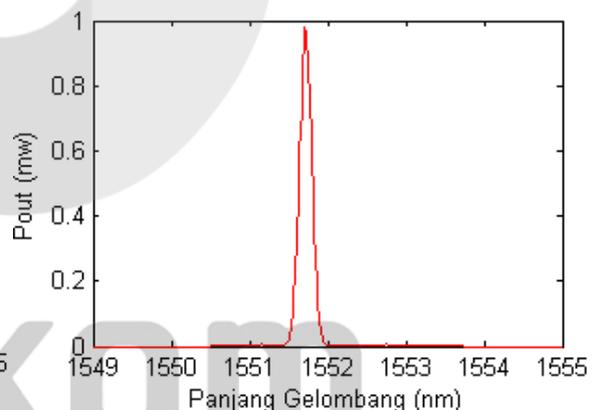
Gambar 4.23 Hasil transmisi filter A

Hasil transmisi filter A telah berhasil memisahkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1550,92 nm. Setelah dipisahkan kanal ini memiliki daya output maksimum 0,9916 mw pada panjang gelombang 1550,92 nm dan FWHM sebesar 0,18 nm.

Filter B didesain untuk memisahkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1551,72 nm. Menggunakan tiga buah FBG dengan parameter $\Delta n_1 = \Delta n_2 = \Delta n_3 = 0,0004$, $\Lambda_1 = 534,65 \text{ nm}$, $\Lambda_2 = 535,2 \text{ nm}$, $\Lambda_3 = 535,48 \text{ nm}$, $N_1 = N_2 = N_3 = 10000$, dan fasa antar FBG berdekatan $\varphi = \pi/2$ maka diperoleh hasil keluaran filter B sebagai berikut.



Gambar 4.24 Hasil refleksi filter B

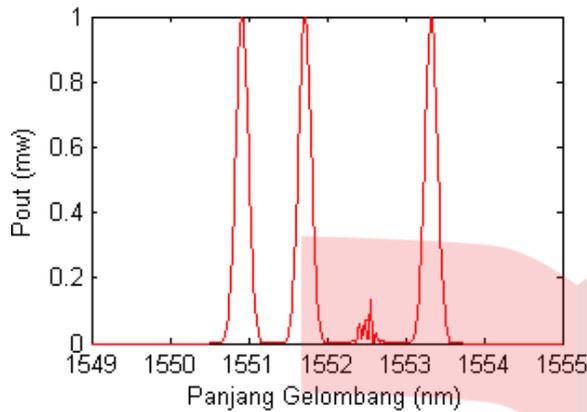


Gambar 4.25 Hasil transmisi filter B

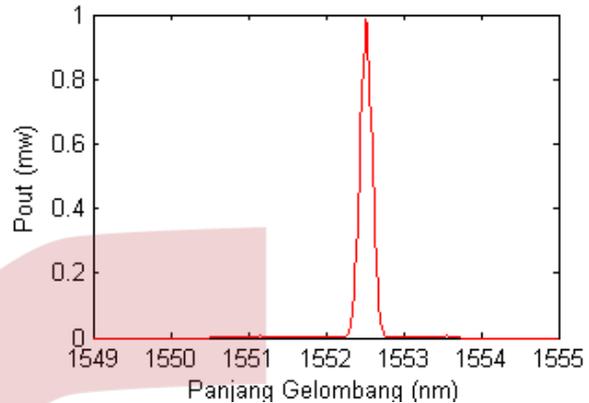
Hasil transmisi filter B telah berhasil memisahkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1551,72 nm. Setelah dipisahkan kanal ini memiliki daya output maksimum 0,9820 mw pada panjang gelombang 1551,71 nm dan FWHM sebesar 0,18 nm.

Filter C didesain untuk memisahkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1552,52 nm. Menggunakan tiga buah FBG dengan parameter $\Delta n_1 = \Delta n_2 = \Delta n_3 = 0,0004$, $\Lambda_1 = 534,65 \text{ nm}$, $\Lambda_2 = 534,93 \text{ nm}$, $\Lambda_3 = 535,48 \text{ nm}$, $N_1 = N_2 = N_3 = 10000$,

dan fasa antar FBG berdekatan $\varphi = \pi/2$ maka diperoleh hasil keluaran filter C sebagai berikut.



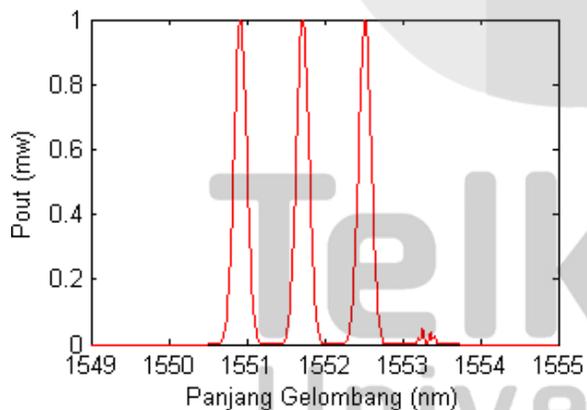
Gambar 4.26 Hasil refleksi filter C



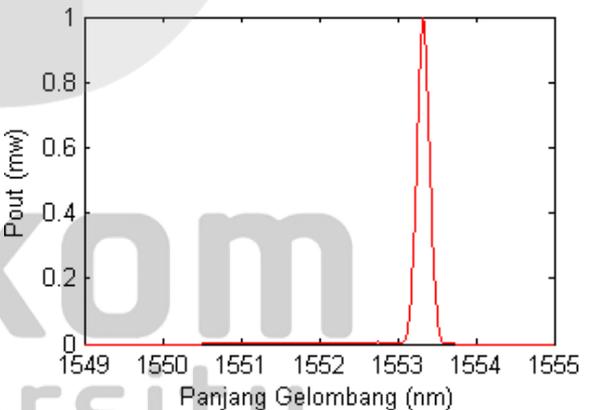
Gambar 4.27 Hasil transmisi filter C

Hasil transmisi filter C telah berhasil memisahkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1552,52 nm. Setelah dipisahkan kanal ini memiliki daya output maksimum 0,9850 mw pada panjang gelombang 1552,52 nm dan FWHM sebesar 0,18 nm.

Filter D didesain untuk memisahkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1552,52 nm. Menggunakan tiga buah FBG dengan parameter $\Delta n_1 = \Delta n_2 = \Delta n_3 = 0,0004$, $\Lambda_1 = 534,65 \text{ nm}$, $\Lambda_2 = 534,93 \text{ nm}$, $\Lambda_3 = 535,2 \text{ nm}$, $N_1 = N_2 = N_3 = 10000$, dan fasa antar FBG berdekatan $\varphi = 0$ maka diperoleh hasil keluaran filter D sebagai berikut.



Gambar 4.28 Hasil refleksi filter D

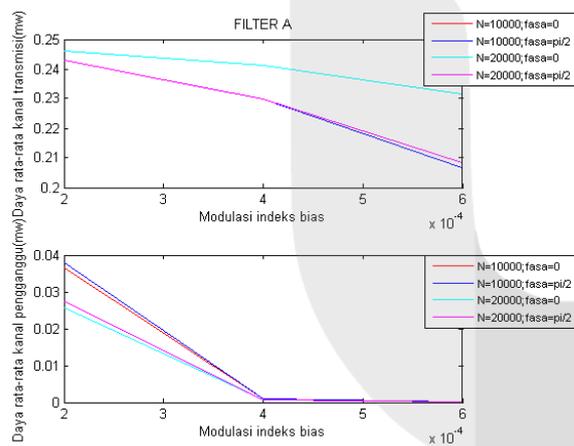


Gambar 4.29 Hasil transmisi filter D

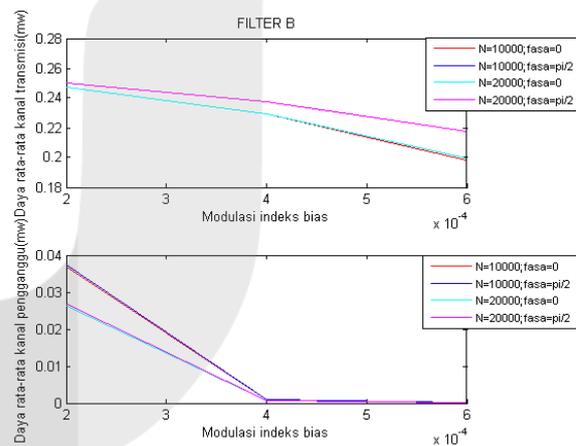
Hasil transmisi filter D telah berhasil memisahkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1553,33 nm. Setelah dipisahkan kanal ini memiliki daya output maksimum 0,9947 mw pada panjang gelombang 1553,33 nm dan FWHM sebesar 0,18 nm.

Keempat filter dengan spesifikasi parameter filter yang berbeda telah berhasil memisahkan keempat kanal hasil multiplexing DWDM. Perubahan parameter pada setiap filter akan mempengaruhi hasil refleksi dan transmisi filter. Maka dari itu akan disimulasikan pemisahan kanal menggunakan parameter filter yang berbeda-beda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil refleksi dan transmisi filter. Sehingga dapat diketahui parameter yang paling sesuai untuk memisahkan kanal-kanal DWDM.

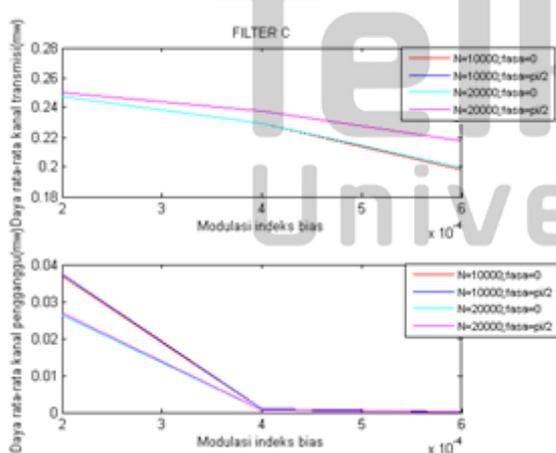
Pada Tabel di Lampiran C dapat dilihat hasil dari pemisahan kanal menggunakan parameter filter yang berbeda. Sementara untuk gambar hasil refleksi dan transmisi filter dapat dilihat pada Lampiran B. Pada Gambar 4.30 dapat dilihat pengaruh perubahan parameter filter terhadap daya rata-rata kanal yang ditransmisikan atau dipisahkan dan daya rata-rata kanal pengganggu atau kanal yang seharusnya direfleksikan namun ikut ditransmisikan berdasarkan Tabel di Lampiran C.



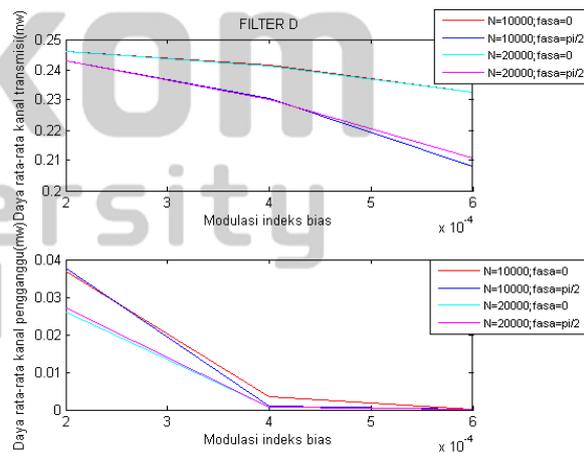
Gambar 4.30a Grafik pengaruh perubahan parameter filter A terhadap daya rata-rata kanal



Gambar 4.30b Grafik pengaruh perubahan parameter filter B terhadap daya rata-rata kanal



Gambar 4.30c Grafik pengaruh perubahan parameter filter C terhadap daya rata-rata kanal



Gambar 4.30d Grafik pengaruh perubahan parameter filter D terhadap daya rata-rata kanal

Pada Gambar 4.30a tampak bahwa filter A mampu memisahkan kanal dengan daya rata-rata paling tinggi pada saat fasa $\varphi = 0$ dan modulasi indeks bias 0,0002. Sementara dengan jumlah periode grating 10000 dan 20000 untuk fasa $\varphi = 0$ daya rata-rata kanal yang ditransmisikan perbedaannya sangat kecil sekali sehingga dapat dianggap sama. Namun saat modulasi indeks biasnya 0,0002 daya rata-rata kanal pengganggu paling tinggi yaitu mencapai 0,0379 mw pada fasa $\varphi = \pi/2$ dan jumlah periode grating sebesar 10000.

Sementara Pada Gambar 4.30b tampak bahwa filter B mampu memisahkan kanal dengan daya rata-rata paling tinggi pada saat fasa $\varphi = \pi/2$ dan modulasi indeks bias 0,0002. Pada jumlah periode grating sebesar 10000 dan 20000 untuk modulasi indeks bias 0,0002 dan fasa $\varphi = \pi/2$ daya rata-rata kanal yang dipisahkan sama. Akan tetapi ketika modulasi indeks bias 0,0002 dan fasa $\varphi = \pi/2$ serta jumlah periode grating sebesar 10000 daya rata-rata kanal pengganggunya paling tinggi yaitu mencapai 0,0373 mw.

Pada Gambar 4.30c tampak bahwa filter C mampu memisahkan kanal dengan daya rata-rata paling tinggi pada saat fasa $\varphi = \pi/2$ dan modulasi indeks bias 0,0002. Sementara dengan jumlah periode grating 10000 dan 20000 untuk fasa $\varphi = \pi/2$ daya rata-rata kanal yang ditransmisikan perbedaannya sangat kecil sekali sehingga dapat dianggap sama. Namun saat modulasi indeks biasnya 0,0002 daya rata-rata kanal pengganggu paling tinggi yaitu mencapai 0,0375 mw pada fasa $\varphi = \pi/2$ dan jumlah periode grating sebesar 10000.

Pada Gambar 4.30d tampak bahwa filter D mampu memisahkan kanal dengan daya rata-rata paling tinggi pada saat fasa $\varphi = 0$ dan modulasi indeks bias 0,0002. Sementara dengan jumlah periode grating 10000 dan 20000 untuk fasa $\varphi = 0$ daya rata-rata kanal yang ditransmisikan perbedaannya sangat kecil sekali sehingga dapat dianggap sama. Namun saat modulasi indeks biasnya 0,0002 daya rata-rata kanal pengganggu paling tinggi yaitu mencapai 0,0376 mw pada fasa $\varphi = \pi/2$ dan jumlah periode grating sebesar 10000.

4.6 Analisis Hasil Pemisahan Kanal Menggunakan Filter FBG

4.6.1 Analisis Pengaruh Perubahan Modulasi Indeks Bias

Peningkatan modulasi indeks bias membuat reflektansi FBG semakin tinggi. Peningkatan reflektansi FBG dapat meminimalisir daya dari kanal pengganggu. Kanal pengganggu merupakan kanal yang seharusnya direfleksikan namun ikut ditransmisikan bersama kanal yang dipisahkan. Efek lain yang muncul dari peningkatan modulasi indeks bias adalah penurunan daya pada kanal yang dipisahkan. Hal ini terjadi karena ketika

reflektansi *mainlobe* meningkat maka reflektansi *sidelobe* nya juga akan meningkat sehingga dapat mengurangi daya kanal yang ditransmisikan.

Daya yang berkurang pada kanal pengganggu lebih besar dari daya yang berkurang pada kanal yang dipisahkan seperti terlihat pada Gambar 4.30. Sehingga menaikkan modulasi indeks bias dapat menjadi pilihan untuk mengoptimalkan pemisahan kanal. Namun semakin tinggi nilai modulasi indeks bias yang digunakan dapat mengakibatkan penurunan daya yang semakin besar pada kanal yang telah dipisahkan. Maka dari itu sebagai pertimbangan dapat dilihat dari perbandingan antara daya kanal pengganggu dan daya kanal yang dipisahkan. Apabila perbandingan tersebut sangat kecil artinya daya kanal pengganggu jauh lebih kecil dibanding kanal yang dipisahkan maka tidak perlu lagi menaikkan modulasi indeks bias untuk mengurangi daya kanal pengganggu.

Sementara itu perubahan pada reflektansi *sidelobe* akibat peningkatan pada modulasi indeks bias menyebabkan perubahan pada bentuk pulsa kanal yang dipisahkan. Hal ini dapat dilihat dari daya maksimum kanal yang dipisah, panjang gelombang pada daya maksimum, dan FWHM kanal yang datanya dapat dilihat pada Tabel di Lampiran C. Secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi modulasi indeks bias maka bentuk pulsa kanal yang dipisahkan akan semakin berbeda dengan kanal sebelum dipisah.

Dari Tabel di Lampiran C dan Gambar 4.30 untuk memisahkan kanal-kanal DWDM dengan spasi kanal 100 GHz modulasi indeks bias sebesar 0,0004 sudah cukup untuk mendapatkan hasil pemisahan kanal yang tidak jauh berbeda dengan kanal sebelum dipisahkan. Pada modulasi indeks bias sebesar 0,0004 perbandingan antara daya kanal pengganggu dan daya kanal yang dipisahkan sudah sangat kecil. Sehingga tidak perlu menaikkan modulasi indeks bias FBG untuk meminimalisir kanal pengganggu.

4.6.2 Analisis Pengaruh Perubahan Periode

Perubahan pada periode hanya berperan untuk mengatur kanal yang akan direfleksikan dari filter FBG. Dari Tabel di Lampiran C dapat dilihat pada filter A, B, C, dan D untuk modulasi indeks bias yang sama periode yang digunakan pada setiap FBG dapat berbeda. Hal ini dikarenakan setiap filter memiliki fungsi memisahkan kanal yang berbeda-beda. Sehingga periode dari setiap FBG juga harus disesuaikan dengan kanal yang akan dipantulkan. Dengan modulasi indeks bias 0,0004 kanal pada panjang gelombang 1550,92 nm dapat dipantulkan ketika periode FBG sebesar 534,65 nm. Sehingga pada filter A untuk modulasi indeks bias 0,0004 periode setiap FBG tidak ada yang bernilai 534,65

nm karena filter ini tidak digunakan untuk memantulkan kanal dengan panjang gelombang 1550,92 nm. Namun justru kanal ini yang akan ditransmisikan untuk dipisahkan.

Penentuan periode FBG untuk memantulkan kanal tertentu bergantung dari nilai modulasi indeks bias yang digunakan. Ketika modulasi indeks bias 0,0004 untuk memantulkan kanal dengan panjang gelombang sentral 1550,52 nm digunakan periode 534,65 nm. Sehingga untuk memantulkan kanal yang sama semakin tinggi nilai modulasi indeks bias yang digunakan maka semakin rendah nilai periode dari FBG. Sementara itu perubahan pada periode FBG yang tidak diikuti oleh perubahan pada modulasi indeks bias akan menggeser reflektansi maksimum spektrum filter sehingga akan terjadi perubahan bentuk pulsa yang direfleksikan dan ditransmisikan filter. Dengan perubahan periode sekitar 0,28 nm pada modulasi indeks bias yang sama kanal yang dipantulkan akan bergeser dengan perbedaan panjang gelombang sentral dari kanal semula sebesar 0,8 nm.

4.6.3 Analisis Pengaruh Perubahan Jumlah Periode Grating

Meningkatkan jumlah periode grating di dalam filter akan memberikan pengaruh yang hampir sama terhadap hasil filter ketika dilakukan peningkatan pada modulasi indeks bias. Reflektansi pada filter akan meningkat dengan jumlah periode grating pada setiap FBG yang meningkat pula. Bedanya menaikkan reflektansi filter dengan cara menambah jumlah periode grating tidak perlu mengubah periode grating agar kanal yang dipantulkan tidak bergeser.

Ketika jumlah periode grating dinaikkan maka daya kanal pengganggu juga dapat diminimalisir seperti terlihat pada Gambar 4.30. Saat daya kanal pengganggu berkurang sebenarnya daya kanal yang dipisahkan juga ikut berkurang walaupun pengurangannya tidak sebesar pengurangan daya pada kanal pengganggu. Dari Gambar 4.30 dapat dilihat ketika jumlah periode grating sebesar 10000 dinaikkan menjadi 20000 ternyata penurunan daya kanal yang dipisahkan sangat kecil bahkan dapat dikatakan tidak terjadi penurunan daya. Sedangkan daya kanal pengganggu tetap berkurang dengan kenaikan jumlah periode grating sebesar 10000 menjadi 20000.

Perubahan jumlah periode grating dari 10000 sampai 20000 tidak memberikan pengaruh cukup besar terhadap perubahan bentuk pulsa. Dengan melihat gambar pada Lampiran B dan Tabel 4.1 pada data daya maksimum kanal yang dipisah, panjang gelombang pada daya maksimum, dan FWHMnya untuk filter dengan jumlah periode grating 10000 dan 20000 bentuk pulsa yang dihasilkan setelah dipisahkan tidak jauh

berbeda. Maka dari itu akan lebih baik jika digunakan jumlah periode grating yang lebih pendek karena dengan jumlah periode grating yang lebih panjang pun yaitu 20000 bentuk pulsa dari kanal yang dipisahkan hampir sama.

Berdasarkan Tabel 4.1 pada jumlah periode grating sebesar 10000 sebenarnya perbandingan daya kanal pengganggu dan daya kanal yang dipisahkan sudah kecil terutama untuk modulasi indeks bias sebesar 0,0004 dan 0,0006. Pertimbangannya ketika menggunakan jumlah periode grating yang terlalu besar maka akan mengalami kesulitan saat fabrikasi FBG sebab sangat sulit untuk membuat grating yang terlalu panjang. Untuk sebuah FBG dengan periode sekitar 535 nm dan jumlah periode grating 10000 panjang total FBG tersebut kurang lebih mencapai 0,5 cm. Dengan 20000 jumlah periode grating maka FBG akan semakin panjang. Sehingga untuk memisahkan kanal DWDM dengan spasi kanal sebesar 100 GHz atau 0,8 nm cukup digunakan jumlah periode grating sebesar 10000.

4.6.4 Analisis Pengaruh Perubahan Fasa

Pemilihan fasa antar FBG dapat mempengaruhi hasil filter. Fasa berperan dalam menekan reflektansi *sidelobe* namun tidak mempengaruhi reflektansi *mainlobe* filter. Reflektansi *sidelobe* yang mengecil akan mengoptimalkan kanal hasil pemfilteran. Dengan fasa $\varphi = 0$ akan meminimalkan reflektansi *sidelobe* yang tidak terletak diantara *mainlobe* filter. Sementara fasa $\varphi = \pi/2$ meminimalkan *sidelobe* yang terletak diantara dua *mainlobe*.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.30 dan Tabel di Lampiran C untuk filter A dan D hasil kanal yang dipisahkan lebih optimal menggunakan fasa antar FBG $\varphi = 0$. Sementara untuk filter C dan D hasil pemisahan kanal lebih optimal menggunakan fasa antar FBG $\varphi = \pi/2$. Dengan demikian untuk memisahkan kanal pada panjang gelombang sentral maksimum dan minimum dapat digunakan fasa $\varphi = 0$. Sedangkan untuk memisahkan kanal pada panjang gelombang sentral selain maksimum dan minimum dapat menggunakan fasa antar FBG $\varphi = \pi/2$.

4.6.5 Analisis Secara Umum

Berdasarkan pengaruh perubahan parameter filter terhadap hasil pemisahan kanal maka filter FBG dapat digunakan sebagai filter optik pada demux DWDM karena memiliki kinerja yang baik dalam memisahkan kanal dengan spasi antar kanal sebesar 100 GHz atau

0,8 nm. Walaupun FBG memiliki *sidelobe* yang dapat mengganggu proses pemfilteran namun dengan pengaturan parameter yang tepat maka dapat diperoleh hasil kanal yang dipisahkan oleh filter mendekati kanal tersebut sebelum dipisahkan.

Pada kanal input demux DWDM dengan lebar spektral 0,08 nm dapat diperoleh hasil filter yang optimal menggunakan modulasi indeks bias 0,0004 dan jumlah periode grating sebesar 10000 untuk setiap filter. Sementara nilai periode yang digunakan setiap FBG disesuaikan dengan kanal yang akan dipantulkan. Dengan modulasi indeks bias 0,0004 untuk memantulkan kanal pertama diperlukan periode sebesar 534,65 nm, kanal kedua dengan periode 534,93 nm, kanal ketiga dengan periode 535,2 nm, dan kanal keempat dengan periode 535,48 nm. Sehingga pada filter A, B, C, dan D periode yang dapat memantulkan kanal yang akan ditransmisikan tidak akan digunakan pada FBG di dalam filter tersebut.

Sementara pengaturan fasa untuk memperoleh hasil kanal yang optimal disesuaikan dengan panjang gelombang sentral kanal. Dalam memisahkan kanal-kanal dengan panjang gelombang sentral maksimum dan minimum akan lebih optimal apabila fasa antar FBG dalam filter $\varphi = 0$. Sementara kanal-kanal di luar itu harus menggunakan fasa $\varphi = \pi/2$ untuk mendapatkan hasil pemisahan kanal yang optimal.