

Design Band Stop Filter Untuk Jaringan WiMAX 3.5 GHz

Fauzi Hidayat*, Linna Oktaviana S**, Ery Safrianti**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: fauzi.riau@yahoo.com

ABSTRACT

Along with the development of technology-based Broadband Wireless Access (BWA), it is not just a connection is needed, but also the speed of the internet access and large capacity. One of the technology in BWA currently used is IEEE 802.16d WiMAX standard. IEEE 802.16d WiMAX standard using a frequency of 3.5 GHz. Indonesian satellite using the same frequency with the frequency of WiMAX. In order to avoid any interference between WiMAX and satellite it is necessary to filter on the WiMAX receiver. Therefore bandstop filter is used to reject the frequency of satellite based WiMAX standard has been set. In this thesis report discusses the design of bandstop filter circuit consisting of components - namely passive components, inductors and capacitors. Responses were used in this design is the Chebyshev response for Chebyshev response can result in a high degree of steepness of the passband to stopband. Software used in the design of band-stop filter is the Advanced Design System (ADS) 2011.

Keywords : FM Modulator, Modulated Signal, Phase Locked Loop, Carrier Signal, Information Signal.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *wireless* saat ini sangat pesat terutama teknologi berbasis Broadband Wireless Access (BWA). Salah satu teknologi Broadband Wireless Access adalah WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). WiMAX merupakan standar internasional tentang BWA yang mengacu pada standar IEEE 802.16 dengan kemampuan untuk menyalurkan data kecepatan tinggi pada jarak yang jauh dan dapat untuk kondisi non LOS (Wibisono.2006). WiMAX menurut forum WiMAX dibagi menjadi dua yaitu mobile WiMAX dengan frekuensi kerja 2.3 GHz dan Fixed WiMAX yang bekerja pada frekuensi 3.5 GHz (Bercoci.2006). Dengan kecepatan data yang besar (sampai 70 MBps), WiMAX layak diaplikasikan untuk "last mile" broadband connections, backhaul, dan *high speed enterprise* (Helfin.2007).

Pita frekuensi 3.5 GHz memiliki *range* frekuensi 3400 – 3600 MHz. Di

Indonesia, pita ini digunakan terutama untuk dinas tetap satelit (*Fixed Satellite Services/FSS*). Pita ini diidentifikasi oleh ITU sebagai salah satu kandidat pita IMT2000 *advanced* yang masih dalam tahap pembahasan dalam sidang-sidang *Study Group ITU* maupun sidang Regional negara-negara Asia Pasifik, Amerika dan Eropa. Selain itu, pita 3.5 GHz juga merupakan pita pilihan industri yang mengembangkan teknologi WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

Sesuai Kepdirjen No. 119/DIRJEN/2000 pita frekuensi 3.5 GHz digunakan bersama (*sharing*) antara layanan BWA dan dinas tetap satelit (FSS). Layanan yang diberikan oleh penyelenggara satelit *existing* adalah layanan VSAT dan satelit siaran berbayar teknologi DTH (*Direct To Home*). PT. Telkom memanfaatkan 3 (tiga) transponder dari total 12 transponder untuk memberikan layanan DTH, sedangkan PT. PSN

memanfaatkan seluruh transpondernya untuk layanan VSAT. Perencanaan kanal BWA semula disediakan 25 kanal, namun dalam operasionalnya ditemukan banyak keluhan gangguan interferensi yang diterima oleh *receiver* stasiun bumi dinas satelit. Maka melalui forum antara penyelenggara BWA 3.5 dan penyelenggara satelit sepakat bahwa untuk dinas BWA tetap berstatus sekunder dan hanya dapat menggunakan 5 kanal untuk menghindari gangguan terhadap dinas satelit. Pembagian kanal tersebut ternyata belum dapat mengatasi gangguan atau *interferensi* yang dialami oleh dinas satelit.

Pada saat ini laboratorium Telekomunikasi telah memiliki perangkat *Bridging* WiMAX difrekuensi 3,5 GHz hibah dari Lintasarta. Perangkat tersebut akan dimanfaatkan untuk pelaksanaan praktikum di Laboratorium Telekomunikasi. Uji coba pada perangkat tersebut harus dilakukan pada kondisi khusus di dalam ruangan dengan transmisi daya harus di seting pada posisi paling minimal karena berpotensi mengganggu komunikasi satelit yang bekerja pada frekuensi yang sama. Disisi lain komunikasi satelit pun dapat mengganggu sinyal yang diterima *remote station* WiMAX.

Pada saat ini Indonesia telah memiliki beberapa satelit diantaranya seperti TELKOM-2, PALAPA-C2, GARUDA-1 dan lain sebagainya. Satelit tersebut ada yang berada pada *extended-C Band* yang rentang frekuensinya antara 3400 MHz – 3600 MHz (Prihanto,2010). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 1.1 Alokasi Pembagian Frekuensi Satelit

Servis	Band (MHz)	Bandwidth (kHz)
DAB Satellite –	1467 –	N / A
L Band	1492	
DVB Satellite –	2520 –	5 transponder

S Band	2670	@ 24 000 kHz
TVRO ext-C Band (DVB)	3440 – 3640	36000
TVRO C-Band (DVB)	3700 – 4200	36000
Direct Broadcasting Satellite BSS	11700 - 12200	27000
Plan App.30		

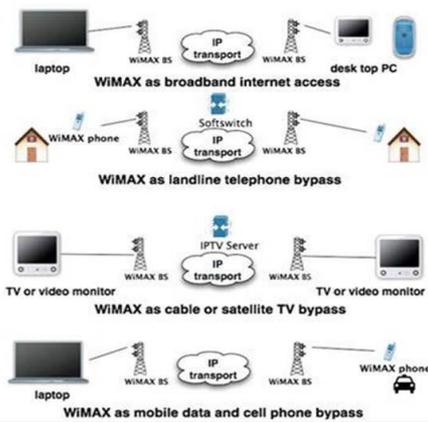
Sumber : Denny Setiawan, 2007

Untuk itu perlu digunakan filter dengan dB yang sesuai agar tidak terjadi Interferensi antara satelit dan WiMAX.

Band stop filter (BSF), *band elimination filter*, *band reject filter* dan sering juga disebut dengan *notch filter* atau *filter* tolak jalur memiliki pengertian yang sama sebagai *filter* yang memiliki karakteristik akan menahan sinyal dengan frekuensi sesuai frekuensi cutoff rangkaian dan akan melewatkan sinyal dengan frekuensi di luar frekuensi cutoff rangkaian *filter* tersebut baik dibawah atau diatas frekuensi cutoff rangkaian *filter*.

Pengertian WiMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) yang menggunakan standar IEEE 802.16 merupakan sebuah teknologi pengembangan dari WiFi. Tidak seperti WiFi yang dirancang untuk lingkungan *indoor*, teknologi WiMAX dirancang untuk diaplikasikan pada lingkungan *outdoor*. Dan untuk dapat diaplikasikan pada lingkungan *outdoor* tersebut, WiMAX memiliki spesifikasi yang lebih baik, antara lain pada WiMAX generasi awal dengan standar IEEE 802.16a memiliki *bandwidth* 70 Mbps dan dapat menjangkau luas wilayah sampai 30 *Miles* atau setara dengan 50 km (Jindal, 2013).



Gambar 1. Aplikasi WiMAX

Standar WiMAX

Standar yang digunakan WiMAX mengacu pada standar IEEE 802.16. Tipe dari standar 802.16 ini ialah : 802.16, 802.16a, 802.16d dan 802.16e. Tipe standar 802.16 yang diadopsi WiMAX untuk penggunaan komunikasi tetap atau *Fixed Wireless Access (FWA)* adalah 802.16d atau 802.16-2004 yang telah direvisi pada tahun 2004. Selanjutnya, varian yang digunakan untuk komunikasi bergerak (*mobile*) ialah 802.16e. Pada tabel 1 berikut tampak perbandingan standar WiMAX. (Nuaymi, 2007)

Tabel 2. Perbandingan Standar IEEE WiMAX

	802.16	802.16a Rev d	802.16e
<i>Completed</i>	December 2001	Estimate mid '04	Estimate mid '05
<i>Spectrum</i>	10-66 Hz	2-11 GHz	<6 GHz
<i>Channel Conditions</i>	Line of sight only	Non-line of sight	Non-line of sight
<i>Bit Rate</i>	32-134Mbps in 28 MHz	up to 75 Mbps in 20 MHz	up to 15 Mbps in 5 MHz
<i>Modulation</i>	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256 subcarrier, QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256 subcarrier, QPSK, 16QAM, 64QAM
<i>Mobility</i>	Fixed	Fixed, Portable	Nomadic portability
<i>Channel Bandwidth</i>	20,25,28 MHz	Scalable 1.5 to 20 MHz	Same as 802.16 with uplink subchannels
<i>Typical Cell Radius</i>	2-5 km	7-10 km max range 50 km	2-5 km

Prinsip Kerja WiMAX

WiMAX dapat bekerja dengan memberikan 2 format layanan *wireless* : (Khmosiati:2009)

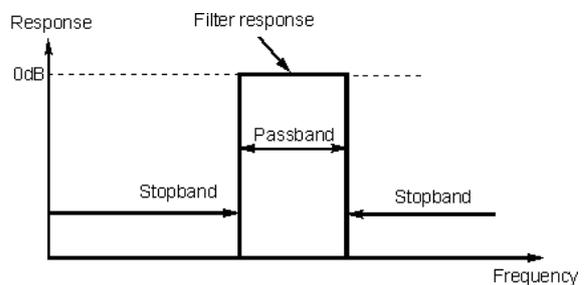
- a. *Non Line Of Sight*, dimana sebuah antenna kecil dipasang pada

komputer dihubungkan dengan menara pemancar

- b. *Line Of Sight*, dimana sebuah antenna tetap dipasang pada menara WiMAX.

Filter

Filter atau penapis adalah sebuah perangkat atau suatu proses yang melewatkan sinyal pada frekuensi tertentu dan membuang sinyal pada frekuensi yang lain dengan kata lain melewatkan sinyal frekuensi yang diinginkan dan menghambat frekuensi yang tidak diinginkan.



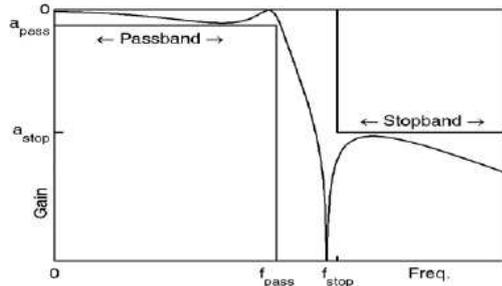
Gambar 2. Bentuk Filter Sempurna

Gambar 3 memperlihatkan bagaimana *filter* ideal yang diinginkan, tapi dalam kenyataannya tidak mungkin terjadi seperti itu, karena beberapa faktor seperti karakter fisik dari komponen – komponen yang menyusunnya. Tidak ada komponen yang sempurna, dan arena itulah tidak akan ada filter yang sempurna.

Teknik – teknik menyeleksi frekuensi dilakukan sesuai dengan kondisi dan tujuan dari system yang akan dibangun. Berdasarkan kondisi dan tujuan sistem filter dikelompokkan menjadi *Low Pass Filter (LPF)*, *High Pass Filter (HPF)*, *Band Pass filter (BPF)* dan *Band Stop Filter (BSF)*. Dari tiap – tiap kelompok *filter* yang dibuat, akan diacu parameter *filter* yaitu frekuensi kerja, *impedansi input/output*, frekuensi *cut off*, kecuraman, lebar pita dan *ripple*. (YYePG. 2004)

LPF (Low Pass Filter)

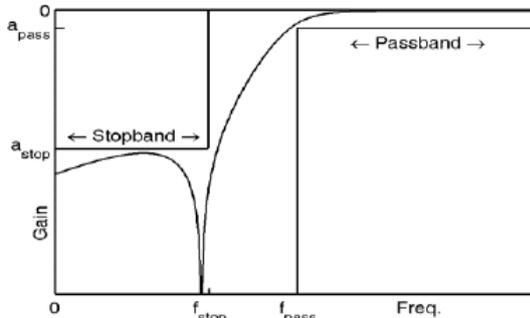
Low pass filter digunakan untuk melewati frekuensi rendah.



Gambar 3. Low Pass Filter

HPF (High Pass Filter)

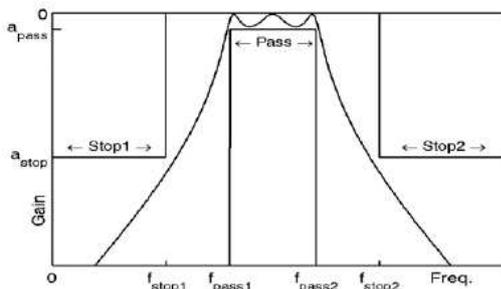
High pass filter digunakan untuk melewati frekuensi tinggi.



Gambar 4. High Pass Filter

BPF (Band Pass Filter)

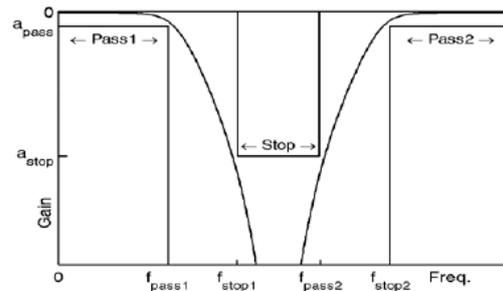
Band pass filter digunakan untuk melewati frekuensi pada daerah tertentu dan meredam frekuensi di luar daerah tersebut.



Gambar 6. Band Pass Filter

BSF (Band Stop Filter)

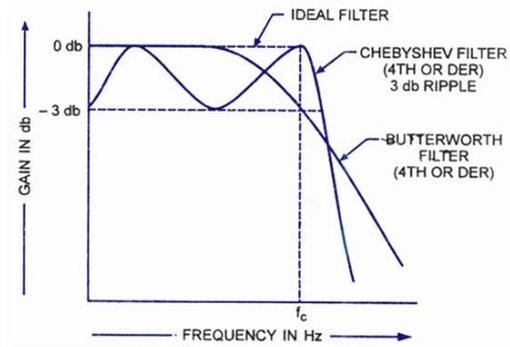
Band stop filter bekerja dengan cara meredam frekuensi tertentu dan melewati frekuensi diluar frekuensi yang diredam.



Gambar 6. Band Stop Filter

Respon Chebyshev

Filter chebyshev biasanya digunakan ketika filter yang akan dirancang membutuhkan tingkat kecuraman yang tinggi dari pass band ke stop band.



Chebyshev and Butterworth Filter

Gambar 7. Respon Chebyshev dan Butterworth

Komponen Pasif Pada Frekuensi radio

COMPONENT	LF BEHAVIOR	HF BEHAVIOR	TRUE RF RESPONSE
WIRE			
CAPACITOR			
INDUCTOR			
RESISTOR			

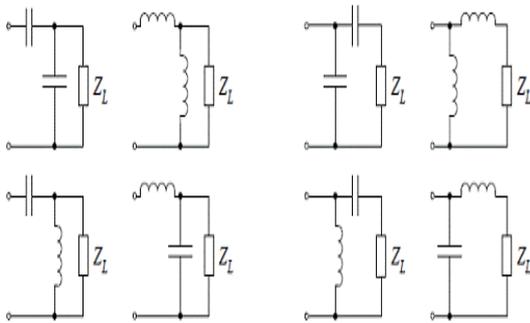
Gambar 8. Sifat komponen pada frekuensi tinggi

Komponen pasif dasar dari suatu rangkaian elektronika terdiri dari resistor, kapasitor dan induktor. Pada gambar 2.9 terlihat ketiga komponen ini pada frekuensi yang lebih tinggi mempunyai resistansi,

kapasitansi dan induktansi parasitik yang tidak diinginkan dimana hal ini sudah menjadi sifat alami yang harus diperhitungkan saat melakukan desain, simulasi dan layout pada suatu rangkaian *wireless*.

Impedance matching

Walaupun perancangan rangkaian matching memiliki banyak tipe, L section seperti terlihat pada gambar tidak hanya sederhana, tetapi juga cukup baik untuk diaplikasikan ke dalam suatu rangkaian matching. Rangkaian matching harus memiliki karakteristik lossless agar tidak menghilangkan daya sinyal.



Gambar 9. Rangkaian Matching

Gambar 10 merupakan gambar yang menunjukkan berbagai macam rangkaian matching. Dari gambar tersebut terlihat bahwa rangkaian matching bisa berupa induktor dan kapasitor, induktor – induktor, maupun kapasitor – kapasitor. Hal ini disesuaikan dengan kebutuhan.

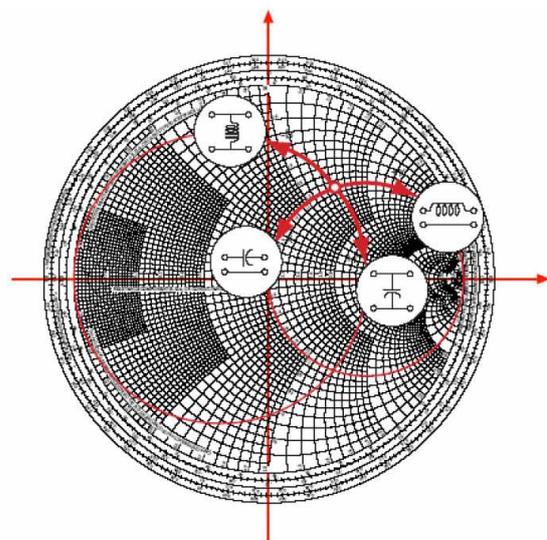
Untuk melakukan suatu perancangan rangkain matching dapat dilakukan dengan menggunakan matematis ataupun pendekatan dengan menggunakan smith chart. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat beberapa aturannya sebagai berikut :

1. Penambahan induktor seri atau kapasitor seri menggerakkan titik impedansi resistansi konstan. Induktor seri menambah induktansi sedangkan penambahan kapasitor seri mengurangi kapasitansi.
2. Penambahan induktor atau kapasitor paralel menggerakkan impedansi di

sepanjang lingkaran konduktansi konstan. Penambahan kapasitor paralel menaikkan kapasitansi sedangkan induktor paralel mengurangi induktansi.

Perubahan dalam impedansi akibat penambahan elemen resistor, induktor atau kapasitor pada beban adalah sebagai berikut :

1. Penambahan elemen bisa dilihat sebagai suatu pergerakan dalam smith chart
2. Induktor seri : reaktansi positif, bergerak searah jarum jam dalam lingkaran resistansi konstan
3. Kapasitor seri : reaktansi negatif, bergerak berlawanan arah jarum jam dalam lingkaran resistansi konstan
4. Induktor paralel : suseptansi negatif, bergerak berlawanan arah jarum jam dalam lingkaran konduktansi konstan
5. Kapasitor paralel : suseptansi positif, bergerak searah jarum jam dalam lingkaran konduktansi konstan
6. Secara umum, reaktansi/suseptansi positif bergerak searah jarum jam



Gambar 10. Matching menggunakan smith chart

II. Metodologi Penelitian

Desain *band stop filter* akan dilakukan dalam beberapa tahap, yakni studi pustaka, menentukan parameter, perhitungan nilai komponen secara manual dan kemudian hasil dari perhitungan tersebut disimulasikan dengan simulator *Advanced Digital System* (ADS) 2011.

Perlengkapan yang digunakan

Pada tugas akhir ini penelitiannya masih dalam tahap simulasi menggunakan *software* saja karena beberapa alasan. Perangkat lunak yang digunakan dalam desain band stop filter antara lain :

- Advanced Digital System* (ADS) 2011
- Microsoft Visio* 2007
- Microsoft Excel*

Pemilihan Perangkat Lunak

Pemilihan perangkat lunak (*software*) diperlukan untuk menggambarkan hasil design simulasi dengan yang sebenarnya.

Advanced Design System (ADS)

Pada skripsi ini digunakan *Advanced Digital System* (ADS) 2011 untuk melakukan simulasi *band stop filter* dan analisa *band stop filter*. ADS digunakan untuk menampilkan hasil S-Parameter S(1,1), S(2,1), *Smith Chart* dan VSWR serta respon frekuensi yang dihasilkan dari rancangan rangkaian.

Perancangan Band Stop Filter

Dalam perancangan *band stop filter* kali ini digunakan *software Advanced Design System* (ADS) 2011. Dalam merancang *Band Stop Filter* untuk jaringan WiMAX 3.5 GHz yang perlu dilakukan adalah studi literature tentang band stop filter dan WiMAX. Kemudian dilanjutkan dengan menentukan spesifikasi *filter*. Dimana yang ditentukan adalah frekuensi *center*, *bandwidth*, *impedansi output* dan *input*, *return loss*/ VSWR dan *insertion loss*. Kemudian adalah penentuan

nilai komponen *Lumped* yang terdiri kapasitor dan induktor.

$$C_{Series} = x = \frac{1}{2\pi[Fu-Fl]RG} \quad (1)$$

$$L_{Series} = \frac{[Fu-Fl]RG}{2\pi Fu.Fl} \quad (2)$$

Persamaan di atas digunakan jika induktor dan kapasitor di rangkai seri.

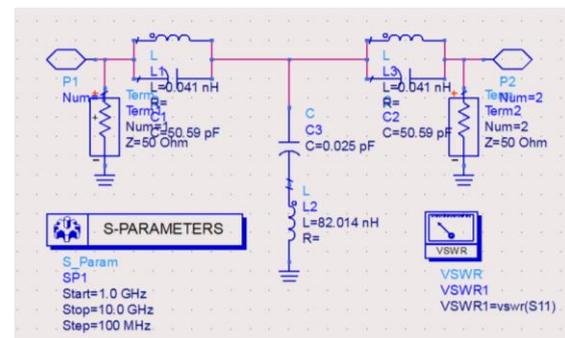
$$C_{Paralel} = \frac{[Fu-Fl]G}{2\pi Fu.FlR} \quad (3)$$

$$L_{Paralel} = \frac{R}{2\pi[Fu-Fl]G} \quad (4)$$

Persamaan di atas digunakan jika induktor dan kapasitor di rangkai paralel. Nilai dari G ditentukan dari table nilai elemen untuk *chebyshev filter*. Nilai dari induktor dan kapasitor yang didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan diatas.

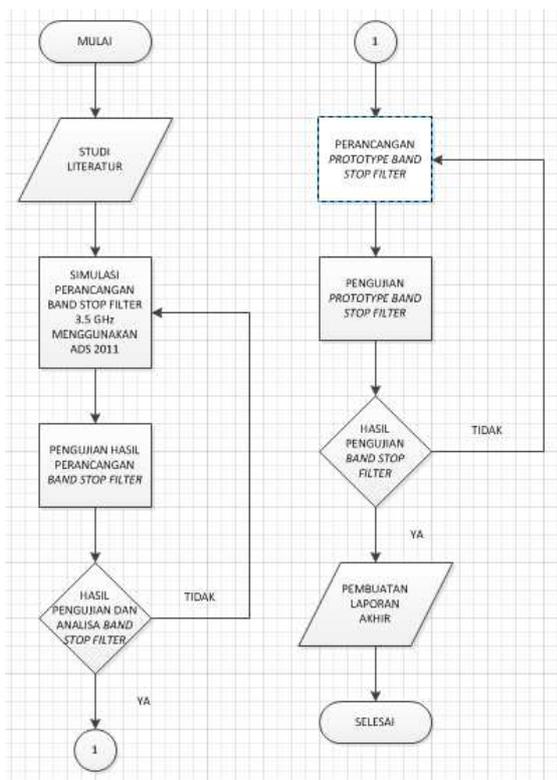
- Induktor paralel
L1 = 0.041 nH
L3 = 0.041 nH
- Induktor seri
L2 = 82.014 nH
- Kapasitor paralel
C1 = 50.59 pF
C3 = 50.59 pF
- Kapasitor seri
C2 = 0.025 pF

Setelah mendapatkan nilai untuk komponen lumped, maka dapat dilakukan perancangan menggunakan *Advanced Design Sistem* (ADS) 2011.



Gambar 11. *Band Stop Filter* dalam ADS

Dalam perancangan *band stop filter* dapat dilihat diagram alir pada gambar berikut. Di mulai dari studi literatur mengenai *band stop filter* dan WiMAX, kemudian menentukan spesifikasi *filter*, setelah menentukan spesifikasi *filter* kemudian mencari perhitungan nilai untuk komponen. Setelah mendapatkan nilai untuk komponen, perancangan dilakukan dengan menggunakan *Advanced Design System (ADS) 2011*. Kemudian dilakukan pengujian terhadap rangkaian dengan nilai yang sudah didapatkan.

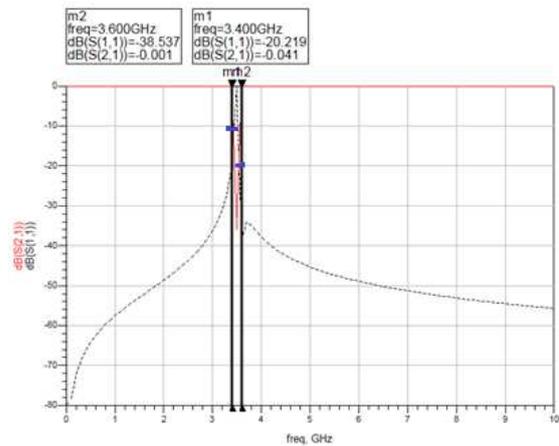


Gambar 12. Diagram Alir Desain Band Stop Filter

III. Hasil dan Pembahasan

Pada skripsi ini akan dianalisa hasil pengujian dari desain *band stop filter* untuk jaringan WiMAX 3.5 GHz menggunakan *Advanced Design System (ADS) 2011* yang secara tidak langsung dapat dilihat sifat *band stop filter*.

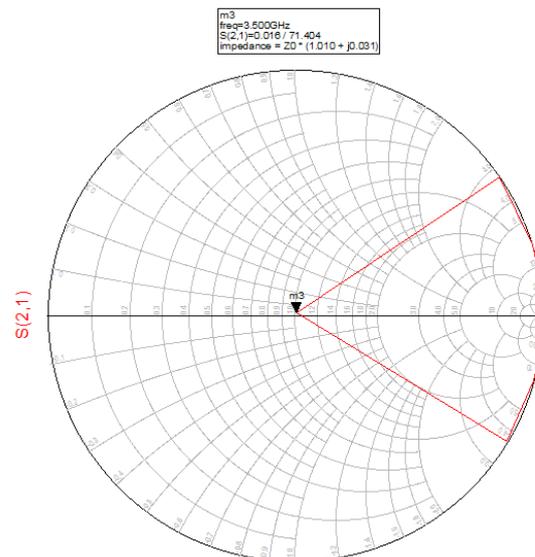
Hasil dan Analisa berdasarkan S-Parameter



Gambar 13. Hasil simulasi *Band Stop Filter* berdasarkan S-parameter

Dari gambar dapat diketahui bahwa nilai dB yang dihasilkan dari rangkaian *band stop filter chebyshev* orde yaitu dB $S(2,1) = -47.516$ dB, ini menunjukkan bahwa dB tersebut dapat menolak frekuensi satelit pada frekuensi 3.5 GHz pada rentang 30-50 dB

Hasil dan Analisa Rangkaian *Band Stop Filter* dengan Smith Chart

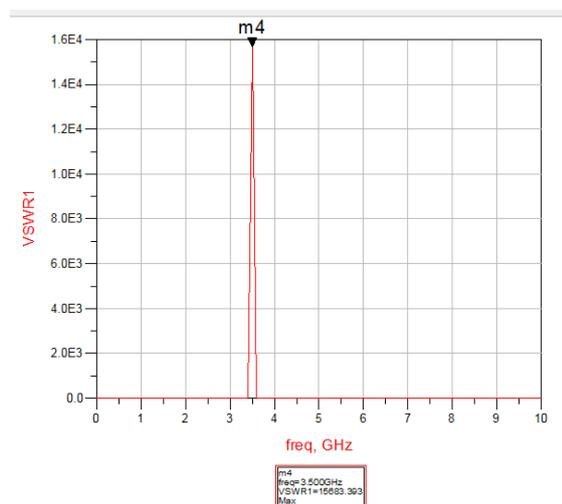


Gambar 14. Hasil Smith Chart dari rangkaian *Band Stop Filter*

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa impedansi keluaran (Z_{out}) pada frekuensi *band stop* yang diinginkan 3.5 GHz mempunyai nilai sekitar 50 ohm hampir sama dengan impedansi masukan (Z_{in})

dan sesuai dengan nilai impedansi karakteristik yang digunakan dalam perancangan ini. Titik m2 menunjukkan dimana letak frekuensi bekerja untuk menolak frekuensi dari satelit dengan impedansi output bernilai 50 ohm.

Hasil dan Analisa berdasarkan Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)



Gambar 15. Hasil Simulasi VSWR

Dalam teori idealnya VSWR pada frekuensi yang dilewatkan bernilai 1-2 tetapi dalam kenyataannya pada hasil simulasi didapatkan nilai VSWR adalah 225765.588 pada frekuensi 3.5 GHz. Tetapi diluar frekuensi yang di tolak nilai VSWR yang dihasilkan berkisar antara 1-2. Hal ini menunjukkan dari karakteristik *band stop filter* yang berfungsi untuk menolak frekuensi yang diinginkan. Berbeda dengan *band pass filter* yang memiliki fungsi keterbalikan dari *band stop filter* sehingga harus didapatkan VSWR 1-2.

Return Loss dan Insertion Loss

Pada rangkaian band stop filter nilai return loss yang di dapatkan sangat kecil mendekati 0, sedangkan nilai *insertion loss*nya menjauhi nilai 0. Ini berkebalikan dari rangkaian *band pass filter*. Hal ini sesuai dengan yang terlihat pada gambar 4.3 dan 4.6 di atas. Nilai return loss dapat dilihat pada kurva S(1,1), sedangkan nilai dari *insertion loss* dapat

dilihat pada kurva S(2,1) pada gambar 4.3. Pada frekuensi 3.5 GHz, nilai *return loss* adalah $-7,7695 \times 10^{-5}$ dB. Sedangkan nilai *insertion loss* adalah -47.516 dB.

Perhitungan manual untuk *return loss* adalah sebagai berikut :

$$RL = 10 \log \left(\frac{v_{SWR}-1}{v_{SWR}+1} \right)^2 \quad (5)$$

$$RL = -7,7695 \times 10^{-5} \text{ dB}$$

IV. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Hasil simulasi dari desain *band stop filter* untuk jaringan WiMAX 3.5 GHz mampu bekerja menolak frekuensi 3.5 GHz dengan -47.516 dB yang mana frekuensi tersebut untuk satelit dengan *bandwidth* 200 MHz. Rangkaian *band stop filter* ini memiliki VSWR 225765.588.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan variasi dari *orde respon filter* yang digunakan sehingga didapatkan hasil yang lebih lebih baik lagi dan melakukan fabrikasi yang telah dilakukan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ibu Linna Oktaviana Sari, ST., MT dan ibu Ery Safrianti, ST., MT selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian ini. Terima kasih kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepada rekan – rekan Teknik Elektro Angkatan 2008 dan 2009 yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Safia. A. O. H, Omar. A. A, & Scardelleti. M. C. 2011. *Design Of Dual-Band Bandstop Coplanar Waveguide Filter Using Uniplanar Series-Connected Resonator. Journal Progress In Electromagnetics*

- Research (JPIER)*, Vol.27, 93-99,2011.
- Borcoci, E. 2008. *WiMAX Tutorial*.
- Bowick, C. 2006. *RF Circuit Design*. Nomnes.
- Helfin. 2007. Mengenal lebih jauh tentang WiMAX.
- Jindal. G dan Grover, V. 2013. *Voice and Video Over the WiMAX. International Journal for Computer Application and Research (IJCAR)*, Vol 1, 18-25.
- Khomsiati, K. 2009 Perancangan *Band Pass Filter* Untuk *Mobile WiMAX* Pada Frekuensi 2.3 GHz. Jakarta
- Kim. J. -Y, Choi. J. H & Jung. C. W. 2012. *Broad Band-Stop Filter Using Frequency Selective Surfaces In Uniplanar Microwave Transmission Line. Journal Progress In Electromagnetics Research (JPIER)*, Vol, 31 45-53, 2012.
- Ning. H, Wang. J, Xiong. Q & Mao. L. 2011. *Design Of Planar Dual and Triple Narrow-Band Bandstop Filters With Independently Controlled Stopbands And Improved Spuri-Ous Response. Journal Progress In Electromagnetics Research (JPIER)*, Vol. 131, 259-274, 2012.
- Nuaymi, L. 2007. *WiMAX Technology for Broadband Wireless Access*.
- Pareek, D. 2006. *The Business of WiMAX*. John Wiley & Son
- Prihanto, GI. 2010. Kajian Pemanfaatan Satelit Dalam Mendukung Penerapan Teknologi Informasi Dan Komunikasi Untuk TELE-EDUCATION. Jakarta
- Sayre. CW. 2008. *Complete Wireless Design*. New York
- Setiawan, D. 2007. Perencanaan Dan Kebijakan Spektrum Frekuensi Radio Indonesia. Jakarta
- Simanjuntak, D. 2012. Perancangan *Concurrent Quadband Bandpass Filter* dengan menggunakan komponen *lumped* pada frekuensi 950 MHz, 1.85 GHz, 2.35 GHz, dan 2.65 GHz. Jakarta
- Team YYePG. 2004. *Practical Analog and Digital Filter Design*. Artech house.inc
- White Paper. 2006. Peluang Usaha di Bidang Penyelenggaraan Telekomunikasi. Ditjen Postel, Direktorat Telekomunikasi. Desember
- White Paper. 2006. Penataan Spektrum Frekuensi Radio Layanan Akses Pita Lebar Berbasis Nirkabel (*Broadband Wireless Access/ BWA*)”, Ditjen Postel, Depkominfo Jakarta, Nopember
- Wibisono, G. 2005. Dilema Alokasi Frekuensi BWA berbasis Wimax Indonesia. Jakarta
- Wibisono, G. 2006. *WiMAX Teknologi Broadband Wireless Access (BWA) Kini dan Masa Depan Informatika*. Jakarta
- Winder, S. 2002. *Analog and Digital Filter Design*. United States of Amerika
- Yeo. K. S. K & Vijaykumar. P. 2013. *Quasi-Elliptic Microstrip Bandstop Filter Using Tap Coupled Open-Loop Resonators. Journal Progress In Electromagnetics Research (JPIER)*, Vol. 35, 1-11, 2013.