

PERANCANGAN DAN REALISASI BANDPASS FILTER MIKROSTRIP RING SQUARE RESONATOR PADA FREKUENSI X-BAND (9.4 GHZ) UNTUK RADAR FM-CW PENGAWAS PANTAI

(Design And Realization Bandpass Filter Ring Square Resonator Based On Microstrip At X-Band Frequency (9.4 GHz) For Coastal Surveillance FM-CW Radar)

Rizky Maulana Putra¹, Bambang Setia², Yuyu Wahyu³

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

³PPET-LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

¹maulana.putrarizky@gmail.com, ² bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id, ³yuyu@ppte.lipi.go.id

Abstrak

Dewasa ini perkembangan teknologi di Indonesia, khususnya dalam bidang telekomunikasi berkembang semakin pesat. Hal tersebut juga tidak terlepas dari perangkat-perangkat yang mendukung terjalannya komunikasi dengan baik dan lancar. Filter merupakan suatu perangkat transmisi yang memiliki fungsi untuk melewatkan frekuensi tertentu dengan meloloskan frekuensi yang diinginkan (*passband*) dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan (*stopband*). Pada tugas akhir ini akan dirancang dan direalisasikan sebuah *Bandpass filter* menggunakan metode *ring square resonator* berbasis mikrostrip untuk radar FM-CW pengawas pantai. Radar ini menggunakan sebuah *Bandpass filter* yang bekerja pada frekuensi X-band, dimana frekuensi X-band itu sendiri berada pada rentang 8GHz – 12 GHz. Filter yang digunakan berbasis mikrostrip mengingat frekuensinya yang tinggi.

Untuk mendapatkan hasil tersebut, filter ini harus memiliki tingkat akurasi *slope* yang tajam dan memiliki *bandwidth* 60 MHz. Pada perancangan *bandpass filter* menggunakan metode *ring square resonator* dan simulasinya Ansoft HFSS 15.0. Filter yang dirancang menggunakan *Substrat Rogers Duroid 5880*.

Pada tugas akhir ini telah dibuat sebuah *Bandpass filter* memiliki frekuensi kerja 9.367 GHz – 9.43 GHz, dan frekuensi tengah pada *Bandpass filter* ini yaitu sebesar 9.4 GHz dengan *bandwidth* 63 MHz. Nilai *return loss* sebesar -10.977 dB, nilai *insertion loss* sebesar -3.917 dB.

Kata kunci: Filter, *Bandpass Filter*, frekuensi X-Band, Radar FM-CW, pengawas pantai, *ring square resonator*.

Abstract

Nowadays, the development of technology in Indonesia, especially in the telecommunications field growing more rapidly. It also can not be separated from devices that support the establishment of communication with the well and smoothly. Filter is a transmission device that has a function to skip certain frequencies to pass the desired frequency (*passband*) and dampen unwanted frequencies (the *stopband*). In this final project will be designed and realized a *Bandpass filter* using square ring resonator based microstrip for FM-CW radar coastal surveillance. Radar uses a *Bandpass filter* that works at a frequency X-band, X-band frequencies which itself is at 8GHz range - 12 GHz. Based filter used microstrip given the high operating frequency.

To obtain these results, this filter should have a level of accuracy that the sharp slope and has a *bandwidth* of 60 MHz. In designing *bandpass filters* using square ring resonator and simulation Ansoft HFSS 15.0. Material used in this filter is *Duroid RT 5880*.

In this final project has been created *Bandpass filter* that work at frequency 9.37-9.43 GHz and 9.4 GHz center frequency. *Bandwidth* of this filter is 63 MHz. *Return loss* value is -10.977 dB and *insertion loss* value is -3.917 dB.

Keywords: Filter, *Bandpass Filter*, frekuensi X-Band, Radar FM-CW, pengawas pantai, *ring square resonator*.

1. Pendahuluan

Dewasa ini perkembangan teknologi di Indonesia, khususnya dalam bidang telekomunikasi berkembang semakin pesat. Hal tersebut juga tidak terlepas dari perangkat-perangkat yang mendukung terjalannya komunikasi dengan baik dan lancar. Filter merupakan suatu perangkat transmisi yang memiliki fungsi untuk melewatkan frekuensi tertentu dengan meloloskan frekuensi yang diinginkan (*passband*) dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan (*stopband*).

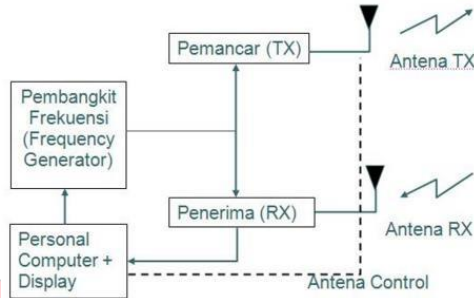
Pada tugas akhir ini akan dirancang dan direalisasikan BPF yang bekerja pada frekuensi X-Band (9.4 Ghz) untuk radar Frequency Modulated-Continuous Wave (FM-CW) pada radar pengawas pantai yang digunakan pada prototip radar PPET-LIPI. BPF yang akan dirancang menggunakan respon frekuensi Chebyshev (equal ripple).

Berdasarkan kebutuhan tersebut, maka akan dirancang dan direalisasikan filter *bandpass* yang akan bekerja pada rentang frekuensi 9.37 GHz – 9.43 GHz, dengan frekuensi tengah 9.4 GHz, lebar *bandwidth* 60 MHz menggunakan metode *ring square resonator* dan mikrostrip sebagai penyepadannya.

2. Dasar Teori

2.1 Radar Pengawas Pantai PPET-LIPI

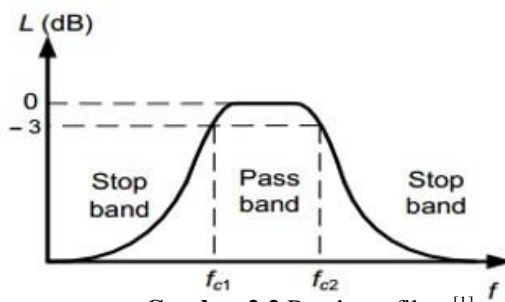
Radar merupakan peralatan yang sangat strategis sehingga dengan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang Radar akan sangat membantu pemerintah dalam mengawasi wilayah NKRI. Keberhasilan pembuatan satu Radar untuk aplikasi tertentu akan membuka pintu untuk aplikasi-aplikasi lain seperti untuk pemantauan wilayah udara dengan melakukan modifikasi pada Radar pengawas pantai yang telah dibuat. Litbang Radar memiliki kompleksitas yang tinggi sehingga menuntut keseriusan dari pelaksanaannya dalam menguasai ilmu dibidang Radar dan jumlah personel yang cukup banyak untuk merealisasikannya. Gambar 2.1 memperlihatkan blok diagram Radar FM-CW yang digunakan oleh PPET-LIPI untuk Radar pengawas pantainya.^[8]



Gambar 2.1 Blok diagram Radar FM-CW yang dikembangkan oleh PPET-LIPI^[8]

2.2 BPF (Bandpass Filter)

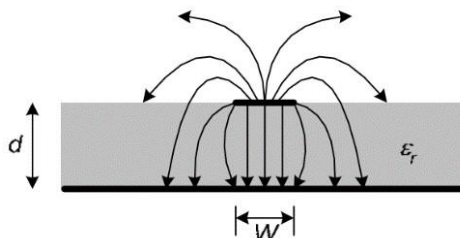
Filter ini meloloskan frekuensi diantara frekuensi *cut-off* bawah dan frekuensi *cut-off* atas dan meredam semua frekuensi diluarnya, dengan bentuk respon magnitub seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bandpass filter ^[1]

2.3 Saluran Transmisi Mikrostrip [2]


Mikrostrip merupakan media transmisi yang digunakan di dalam rangkaian *microwave*. Mikrostrip terdiri dari saluran strip (konduktor) dan sebuah konduktor *ground plane* yang dipisahkan oleh medium dielektrik dengan konstanta dielektrik (ϵ_r). Sebagian medan elektromagnetik yang berada di udara ($\epsilon_r = 1$), akan meradiasi rangkaian apabila tidak ada *shielding* diatas medium dielektrik. Jadi, saluran mikrostrip merupakan sebuah saluran dengan dielektrik *homogen* yang lebih besar dari satu, tapi lebih kecil dari konstanta dielektrik bahan (ϵ_r). Konstanta dielektrik ini disebut konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff}).



Gambar 2.3 Saluran Mikrostrip ^[2]

Dalam menganalisis karakteristik suatu saluran, adalah dengan awalnya menganggap medium yang memisahkan kedua konduktor adalah udara. Dalam hal ini, bidang tanah sebagai cermin, sehingga saluran strip dicerminkan kembali dengan jarak $2d$ satu sama lain. Kapasitansi kedua saluran tersebut adalah C_0 . Konstanta dielektrik efektif adalah perbandingan antara kapasitansi terdistribusi saluran dengan dielektrik terhadap C_0 . Konstanta dielektrik efektif dapat ditentukan dengan persamaan 2.1^[6]

$$1 < \epsilon_{eff} = \frac{C}{C_0} < \epsilon_r \tag{2.1}$$

Pada saat frekuensi rendah, kapasitansi terdistribusi  dapat menggunakan persamaan 2.2^[6]

$$\frac{2\pi \epsilon_0}{\ln\left(\frac{8}{\epsilon_r + \frac{W}{h}}\right)} \quad \frac{W}{h} \leq 1$$

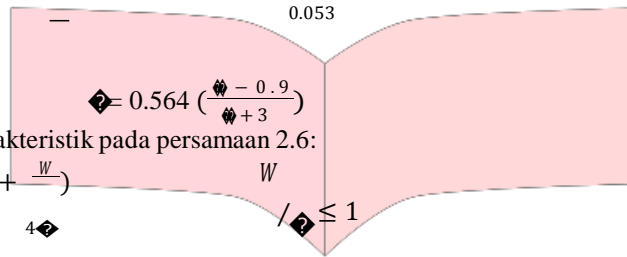
$$\epsilon_{eff} = \left\{ \begin{array}{l} \epsilon_r \frac{W}{W+4h} \\ \epsilon_r \frac{W}{W+4h} \end{array} \right. \quad (2.2)$$

Konstanta dielektrik efektif ditentukan dengan persamaan 2.3^{[2][6]}

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10}{\frac{W}{h}} \right]^{-0.67} \quad \frac{W}{h} > 1 \quad (2.3)$$

dengan persamaan 2.4 dan 2.5:

$$\epsilon_{eff} = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{\epsilon_r^4 + \left(\frac{W}{h}\right)^2}{\left(\frac{W}{h}\right)^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + \left(\frac{W}{h}\right)^3 \right] \quad (2.4)$$



dan impedansi karakteristik pada persamaan 2.6:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8}{\epsilon_r + \frac{W}{h}} \right) \quad \frac{W}{h} \leq 1 \quad (2.6)$$

$$Z_0 = \frac{120 \pi \sqrt{\epsilon_{eff}}}{\epsilon_r + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{8}{\epsilon_r + 1.444} \right)} \quad \frac{W}{h} > 1$$

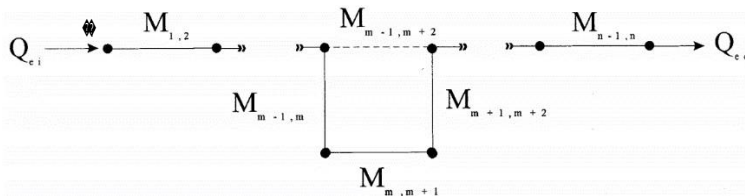
Dalam perancangan, bila terdapat impedansi karakteristik Z_0 dan konstanta dielektrik ϵ_{eff} lebar strip dapat dihitung dengan persamaan 2.7^{[3][6]}

$$W = \left\{ \begin{array}{l} \frac{8}{\epsilon_{eff} - 2} \\ \frac{2}{\pi} \left[\epsilon_{eff} - 1 - \ln \left((2 * \frac{W}{h}) - 1 \right) + \frac{\epsilon_{eff} - 1}{2} \left(\ln(\epsilon_{eff} - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_{eff}} \right) \right] \end{array} \right. \quad \frac{W}{h} > 2 \quad (2.7)$$

dengan persamaan 2.8 dan 2.9 berikut:

$$A = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \sqrt{\epsilon_{eff} + 1} + \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_{eff}} \right) \quad (2.8)$$

$$B = \frac{377 \pi}{2 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.9)$$



2.4 Kopling

Dalam merealisasikan filter jenis ini, digunakan sebuah saluran transmisi, yaitu mikrostrip. Respon filter dapat dilihat dari susunan mikrostrip yang jumlahnya kelipatan bilangan genap (2,4,6, atau 8) atau yang biasa disebut dengan *microstrip open loop resonator*.^[2]

Pada gambar 2.4 menunjukkan sebuah struktur dari kopling *bandpass filter* dengan adanya garis tegas yang menyatakan jalur dari kopling dan garis terputus-putus menyatakan *cross kopling*. *Cross kopling* $\epsilon_{1,2}$ adalah kopling elektrik karena pada frekuensi resonansi medan listrik dapat lebih kuat jika berdekapan dengan bagian *gap* dari resonator $m-1$ dan $m+2$. $\epsilon_{m-1,m}$ adalah kopling magnetik karena medan magnet lebih kuat jika pada bagian resonator yang berlawanan dengan *gap* resonator m dan $m+1$. $\epsilon_{1,2}$ dengan $\epsilon_{m-1,m}$ memiliki beda fasa sebesar 180 derajat yang menyatakan tanda yang berlawanan.^[2]

Gambar 2.4 Struktur umum kopling *bandpass filter* dengan sepasang *pole* atenuasi pada frekuensi *stop*^[5]

Untuk mendesain parameter dari *bandpass filter*, seperti pada koefisien kopling dan faktor kualitas lainnya dapat ditentukan dengan rangkaian dari komponen dari *lowpass filter* prototipe. Hubungan diantara parameter *bandpass filter* dengan *lowpass* prototipe dapat dihubungkan dengan persamaan berikut:^[5]

$$Q_{m,n} = Q_{lp,n} \frac{W}{\omega_0} \tag{2.10}$$

$$M_{m,n-1} = M_{lp,n-1} = \frac{1}{\sqrt{1 - \epsilon^2}}, \text{ untuk } n = 1 \text{ to } \frac{N}{2} \tag{2.11}$$

$$M_{m,n-1} = \frac{1}{\sqrt{1 - \epsilon^2}}, \text{ untuk } m = \frac{N}{2} \tag{2.12}$$

$$M_{m,n-1, n-2} = \frac{1}{\sqrt{1 - \epsilon^2}}, \text{ untuk } m = \frac{N}{2} \tag{2.13}$$

$$FBW = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} = \text{Fractional Bandwidth} \tag{2.14}$$

Dimana: ω_1, ω_2 = frekuensi *cut off* atas dan bawah
 N = banyak orde

2.5 Kopling Elektrik [4]

Kopling elektrik merupakan kopling dengan ujung terbuka dari dua buah resonator yang posisinya saling berdekatan dengan medan listrik dan lebih kuat jika mendekati ujung terbuka. Kopling elektrik dapat dihitung dengan persamaan 2.15 berikut:

$$k = \frac{\pi}{16} \exp(-\alpha) \exp(-\beta) \exp(-\gamma) \quad (2.15)$$

dimana:

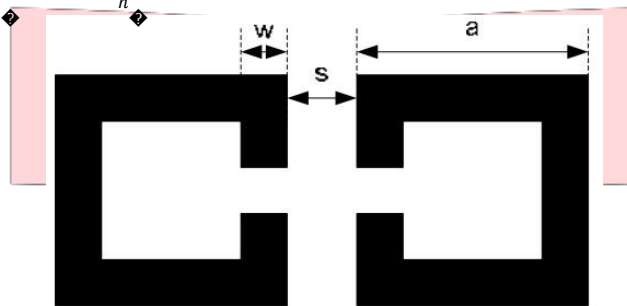
$$\alpha = 0.2559 - 0.01571 \left(\frac{w}{h}\right) + 0.1 \sqrt{\left(\frac{w}{h}\right) + 1} \cdot \frac{w}{h}$$

$$\beta = \left[1.0678 + 0.266 \ln\left(\frac{w+1}{2}\right) \right] \cdot \left(\frac{w}{h}\right)^4$$

$$\gamma = 1.0886 + 0.031746 \left(\frac{w}{h}\right)$$

$$\delta = \left[0.1608 - 0.06945 \sqrt{\frac{w}{h}} \right] \cdot \left(\frac{w}{h}\right)^{-1}$$

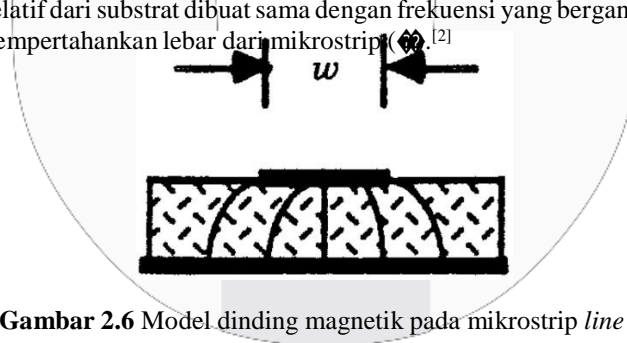
$$\epsilon = \left[-0.9605 + 1.4087 \sqrt{\frac{w}{h}} - 0.2143 \left(\frac{w}{h}\right)^{1.15} \right]$$



Gambar 2.5 Kopling Elektrik [4]

2.6 Squared Ring Resonator

Mikrostrip *ring resonator* banyak digunakan karena bentuknya yang kecil dan mudah dalam pencetakannya. Mikrostrip *ring resonator* ditentukan dengan bahan dielektrik yaitu substrat yang mengukur konstanta dielektrik efektif. Pada tahun 1971 Wolff dan Knoppik memperkenalkan teori ini dengan menggunakan model dinding magnetik yang mempengaruhi kelengkungan pada frekuensi resonansi dari suatu *ring resonator*. Dalam hal ini permitivitas relatif dari substrat dibuat sama dengan frekuensi yang bergantung pada efektif permitivitas relatif (ϵ_{eff}) tetapi tetap mempertahankan lebar dari mikrostrip (w). [2]



Gambar 2.6 Model dinding magnetik pada mikrostrip line [2]

Seorang ahli lain bernama Owens berpendapat bahwa sistem tersebut masih banyak kekurangan dan mengusulkan menggunakan model *waveguide planar* pada mikrostrip. Model ini mirip dengan model dinding magnetik. Dalam model ini lebar konduksi paralel (w) sebagai pemisah antar pelat yang fungsinya sama dengan jarak antar *patch* dalam mikrostrip dan dinding magnetik tetap memperhatikan substrat dengan permitivitas relatif (ϵ_{eff}). [5]

3. Perancangan

3.1 Penentuan Spesifikasi

Adapun spesifikasi *bandpass filter* yang dirancang pada tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Frekuensi : 9.37 GHz – 9.43 GHz
2. *Bandwidth* : 60 MHz
3. Frekuensi tengah : 9.4 GHz
4. *Return loss* : ≤ -10 dB
5. Respon Frekuensi : *Chebyshev* dengan *ripple* 0.1 dB

- 6. Insertion loss : ≥ -3 dB
- 7. Metode : Ring square resonator
- 8.VSWR : ≤ 2

3.2 Karakteristik Bahan Substrat

Bahan dielektrik yang digunakan pada perancangan *bandpass filter* ini adalah Rogers Duroid 5880, dengan karakteristik substrat sebagai berikut :

- 1.Permitivitas dielektrik bahan (ϵ_r) : 2.2
- 2.thickness = 1.57 mm
- 3.top cladding = 35 μ m,bottom cladding = 35 μ m
- 4.width (CMD) = 457.2 mm
- 5.length (Grain) = 304.8 mm

3.3 Tahap Perancangan

Proses perancangan ring square resonator menggunakan orde 2. Selanjutnya mencari lebar saluran mikrostrip dengan impedansi saluran perangkat sebesar 80 Ohm dan impedansi konektor sebesar 50 Ohm. Dimensi saluran yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan (2.1)-(2.15). Setelah proses penghitungan, perlu diadakan sebuah optimasi, dikarenakan pada saat simulasi menggunakan hasil penghitungan awal respon frekuensi filter belum terbentuk. Berikut merupakan ukuran filter setelah optimasi

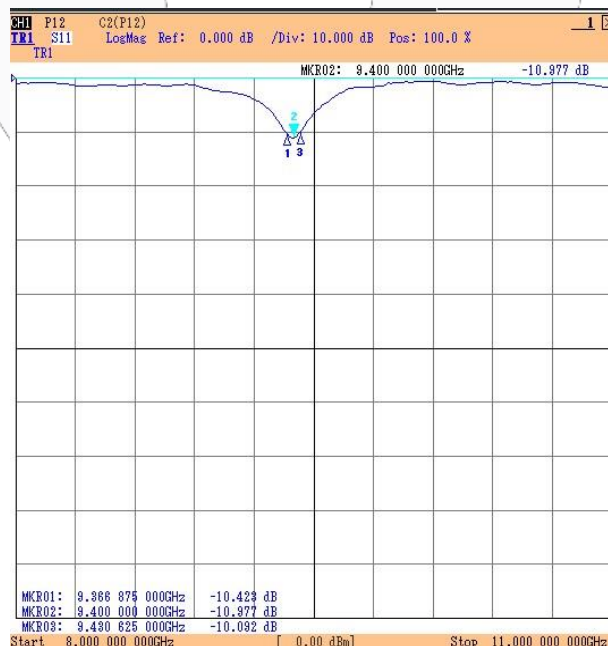
Tabel 3.1 Ukuran Filter

Parameter	Ukuran (mm)
Panjang Resonator	4
Lebar Resonator	0.3
Panjang Catuan	4
Lebar Catuan	0.3
Jarak Resonator	1
gap	0.5

4. Hasil pengukuran

4.1 Return Loss (S11)

Pengukuran *Return loss* (S11) menunjukkan besarnya sinyal yang dipantulkan ke sumber, semakin kecil nilai *Return loss* maka semakin bagus karena semakin kecil pula daya yang dipantulkan kembali menuju sumber, sehingga terjadi transfer daya maksimum. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.1.

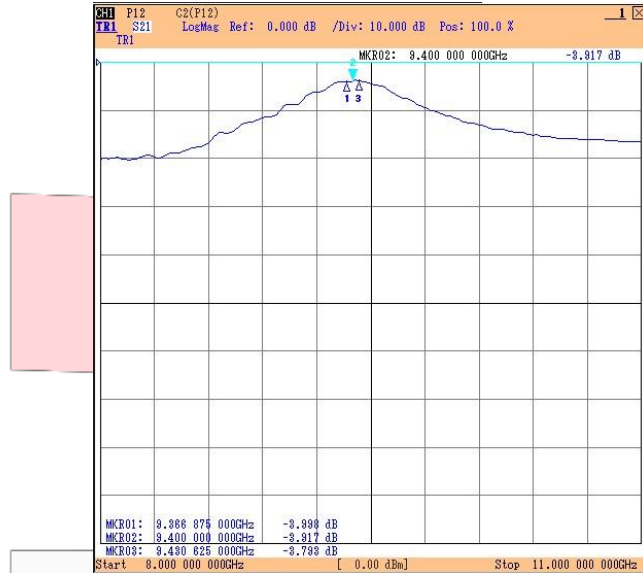


Gambar 4.1 Hasil pengukuran *Return loss* (S11)

Pada gambar di atas dapat dilihat hasil pengukuran berada pada frekuensi tengah 9.4 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -10.977 dB yang ditandai dengan marker 2. Marker 1 yang menunjukkan frekuensi cut off bawah berada pada frekuensi 9.367 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -10.423 dB. Marker 3 yang menunjukkan frekuensi cut off atas berada pada frekuensi 9.430 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -10.092 dB.

4.2 Insertion loss (S21)

Pengukuran *Insertion loss* (S21) menunjukkan karakteristik sinyal yang ditransmisikan dari *port input* ke *port output*. Nilai *Insertion loss* yang baik dan ideal berada pada 0 dB. Pada pengukuran ini terdapat banyak rugi-rugi dalam *filter* sehingga sulit mencapai keadaan ideal. Hasil pengukuran *Insertion loss* dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil pengukuran *Insertion loss* (S21)

Pada gambar di atas dapat dilihat hasil pengukuran berada pada frekuensi tengah 9.4 GHz dengan nilai *insertion loss* sebesar -3.917 dB yang ditandai dengan marker 2. Marker 1 yang menunjukkan frekuensi cut off bawah berada pada frekuensi 9.367 GHz dengan nilai *insertion loss* sebesar -3.998 dB. Marker 3 yang menunjukkan frekuensi cut off atas berada pada frekuensi 9.430 GHz dengan nilai *insertion loss* sebesar -3.793 dB.

4.3 VSWR

VSWR menunjukkan besar dari gelombang datang yang ditransmisikan dibandingkan dengan gelombang pantul yang dipantulkan kembali ke sumber. Semakin kecil nilai dari VSWR maka semakin besar sinyal yang ditransmisikan *filter*. Hasil dari pengukuran VSWR dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Hasil pengukuran VSWR

Pada gambar di atas didapatkan nilai VSWR filter pada frekuensi tengah 9.4 GHz yaitu sebesar 1.791. VSWR yang dihasilkan sudah mendekati VSWR yang ideal karena lebih kecil dari 2. Syarat VSWR yang ideal itu yaitu nilai VSWR nya mendekati 1.

4.4 Analisa Kerja Sistem

Analisa kerja sistem terakhir menunjukkan bahwa proses perancangan *filter* dengan hasil simulasi perancangan dan membandingkan hasil pengukuran spesifikasi awal yang ditetapkan. Berikut perbandingan spesifikasi awal, tahap simulasi dan hasil pengukuran *filter* yang terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan spesifikasi, simulasi dan hasil pengukuran

Parameter	Daerah <i>Passband</i>		
	Spesifikasi	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi Tengah	9.4 GHz	9.4 GHz	9.4 GHz
Rentang Frekuensi	9.37-9.43 GHz	9.37-9.43 GHz	9.367-9.43 GHz
<i>Bandwidth</i>	60 MHz	60 MHz	63 MHz
<i>Return loss</i>	≤ -10 dB	-19.0042 dB	-10.977 dB
<i>Insertion loss</i>	≥ -3 dB	-0.3038 dB	-3.917 dB

Dari tabel diatas menunjukkan hasil perbandingan dari spesifikasi awal, simulasi dan hasil pengukuran. Pada hasil simulasi menunjukkan nilai yang sesuai terhadap spesifikasi awal sedangkan pada hasil pengukuran terdapat beberapa perbedaan dari spesifikasi awal. Perbedaan tersebut terdapat pada *bandwidth filter*, pada hasil pengukuran memiliki rentang yang lebih besar dibandingkan dengan spesifikasi awal yang ditetapkan yaitu pada simulasi *bandwidth* sebesar 60 MHz sedangkan hasil pengukuran menunjukkan *bandwidth* sebesar 63 MHz. Nilai *insertion loss* pada pengukuran mengalami penurunan dibandingkan dengan simulasi, yaitu pada pengukuran nilainya sebesar -3.917 yang seharusnya berada pada nilai ideal yaitu 0 dB.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir ini telah dirancang bandpass filter ring square resonator menggunakan substrat Rogers Duroid 5880. Dari proses perancangan, simulasi, dan realisasi pengukuran filter dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses perancangan dan realisasi bandpass filter dengan metode ring square resonator menggunakan Rogers Duroid 5880 dapat dilakukan.
2. Bandwidth dari filter ini sebesar 63 MHz.
3. Insertion loss (s_{21}) setelah hasil pengukuran sebesar -3.917 dB, nilai ini masih terdapat spesifikasi awal tetapi masih kurang pada saat ideal 0 dB.
4. Return loss (s_{11}) setelah hasil pengukuran sebesar -10.977 dB, nilai ini mencapai spesifikasi awal yang ditetapkan yaitu ≤ -10 dB.
5. VSWR setelah hasil pengukuran sebesar 1.781, nilai ini mencapai spesifikasi awal yang ditetapkan yaitu ≤ 2 .
6. Hasil perancangan pada saat simulasi dan realisasi mengalami perbedaan karena terdapat beberapa faktor yang menyebabkan perubahan tersebut, yaitu *loss* dielektrik dan *loss* pabrikan berupa proses *etching*, pensolderan dan konektor.

5.2 Saran

Agar mendapatkan hasil respon frekuensi *filter* yang lebih baik pada penelitian berikutnya, terdapat beberapa hal yang bias dijadikan saran dan sebagai bahan pertimbangan, antara lain:

1. Proses perancangan filter dapat dilakukan dengan menerapkan suatu metode lain, yaitu dengan *Stepped Impedance Resonator* (SIR) digabungkan dengan *ring squared* resonator. Dengan penggabungan metode ini menghasilkan respon yang sangat selektif.
2. Tingkat ketelitian dimensi pada proses perancangan harus disesuaikan dengan tingkat ketelitian pada proses *etching* jalur saluran mikrostrip agar tidak terjadi perubahan dari respon frekuensi dari *filter*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowick, Chris. *RF Circuit Design*, second edition, Newnes, 2007.
- [2] Fazriyani, Yuli. “*Filter for WiMAX at Band Frequency of 2.3 – 2.4 GHz using Microstrip Squared Ring Resonator Method*”. Thesis Telkom University 2008.
- [3] Ir. Enceng Sulaeman, MT., “*Diktat Kuliah*”. Program Studi Teknik Telekomunikasi. Politeknik Negeri Bandung. 2005.
- [4] Jia-Sheng Hong and Michael J. Lancaster. “*Couplings of Microstrip Square Open-Loop Resonators for Cross-Coupled Planar Microwaves Filter*”. IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 44, NO. 12. 1996.
- [5] Jia-Sheng Hong, and Michael J. Lancaster. “*Design of Highly Selective Microstrip Bandpass Filters with a Single Pair of Attenuation Poles at Finite Frequencies*”. IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 48, NO. 7. 2000.
- [6] Jia-Sheng Hong and Michael J. Lancaster. “*Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*”. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. 2001.
- [7] M. Mabrouk, L. Bousbia. “*Study and Enhanced Design of RF Dual Bandpass Filter Validation and Confirmation of Experimental Measurement*”. University of Carthage. 2011.
- [8] Mashuri Wahab dan Tim Radar ISRA. “*Buku Teknis Referensi Untuk FM-CW ISRA Radar*”, Bandung November 2014

