

PERANCANGAN DAN REALISASI BPF PADA FREKUENSI X-BAND MENGGUNAKAN METODE SQUARE OPEN LOOP RESONATOR UNTUK APLIKASI RADAR PENGAWAS PANTAI

Nabela Toresa Anggraini¹, Elisma², Hana Arisesa³

¹Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : nabela.toresa.tkom18@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Indonesia, Bandung 40012
E-mail : elisma@polban.ac.id

³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
E-mail : hana.arisesa.rf@gmail.com

ABSTRAK

Data tahun 2018 menunjukkan bahwa panjang garis pantai Indonesia yaitu 108.000 km, sehingga diperlukan radar pengawasan pantai yang berfungsi untuk mencakup seluruh garis pantai Indonesia. Dalam membangun sistem radar, filter merupakan salah satu komponen penting. *Band Pass filter* digunakan dalam sistem radar pengawasan pantai yang bekerja pada frekuensi X-Band. Perancangan, simulasi dan realisasi *Band Pass Filter* untuk aplikasi radar pengawasan pantai di frekuensi X-Band (9.000-9.500 GHz) digunakan metode *Square Open Loop Resonator* untuk menghasilkan nilai yang mendekati spesifikasi yang diinginkan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *Software Advanced Design System 2011*. Hasil respon simulasi filter didapatkan frekuensi kerja 9,010-9,510 GHz dengan *bandwidth* 500 MHz dan frekuensi tengah 9.260 GHz. Nilai *insertion loss* yang didapat 2.30 dB dan *return loss* yang didapat 20.5 dB. Hasil pengukuran filter tidak bagus karena ukuran dimensi filter 2.7x2 cm sangat kecil sehingga menyulitkan proses fabrikasi. Frekuensi kerja yang didapat 8.634-8.818 GHz, dengan *insertion loss* sebesar 4.802 dB dan *return loss* sebesar 11.252 dB.

Kata Kunci

BandPass Filter, X-Band, Square Open-loop, Radar

1. PENDAHULUAN

Radar *FM-CW (Frequency-Modulated Continuous Wave)* ditinjau dari jenis penggunaan, yaitu sebagai *LPI (Low Probability of Intercept)* dan *ECDIS (Electronic Chart Display & Information System)*, sebagai pengawasan pantai (*Coastal Radar*), dan sebagai radar navigasi. Departemen Koordinasi Maritim bersama Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Pusat Hidrologi dan Oseanografi (Pushidros) TNI AL, melakukan penelitian yang menunjukkan panjang garis pantai Indonesia pada tahun 2018 adalah 108.000 km. [1] Oleh karena itu, dibutuhkan banyak radar pengawasan pantai yang berfungsi sebagai monitoring wilayah pantai.

Dalam membangun sistem radar, filter merupakan salah satu komponen penting. Filter adalah rangkaian yang melewati pita frekuensi tujuan tertentu dan melemahkan pita frekuensi lainnya. [2] Filter *bandpass* (BPF) adalah jenis filter yang hanya dapat melewatkan sinyal pada frekuensi tertentu dan melemahkan sinyal frekuensi tertentu. Atau dengan kata lain, BPF memiliki daerah passband yang berada pada antara frekuensi *cutof1* (f_{c1}) dan frekuensi *cutof2* (f_{c2}).

Pada penelitian ini diimplementasikan rancangan desain BPF berbasis mikrostrip untuk diaplikasikan pada radar pengawasan pantai dengan frekuensi yang bekerja pada X-Band dengan rentang frekuensi 9,000 – 9,500 GHz dengan metode *Square*

Open Loop Resonator. Software Advanced Design System 2011 digunakan untuk simulasi perancangan dan filter direalisasikan menggunakan *PCB Substrat RT/Duroid 6006*.

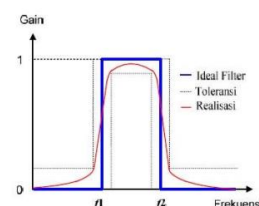
2. DASAR TEORI

2.1 Radar FCMW

Radar FC-MW dapat beroperasi pada pita frekuensi yang berbeda. Misalnya pada pita frekuensi X-Band yang memiliki frekuensi kerja 8-12 GHz. Pada aplikasi radar pengawasan pantai ini digunakan rentang frekuensi kerja di 9.25 GHz.

2.2 Filter

Dalam membangun sistem radar, filter merupakan salah satu komponen penting. Filter memiliki fungsi untuk meloloskan rentang frekuensi tertentu. Filter jenis *band pass* dapat meneruskan frekuensi diantara rentang f_1 sampai f_2 , dan melewati dan meredam hingga frekuensi di bawah atau selain f_1 sampai f_2 . [3]



Gambar 1 band pass filter [10]

2.3 Perancangan Mikrostrip

Nilai $u = W/h$ dalam perancangan diperoleh jika nilai Z_0 dan ϵ_r sudah ditetapkan. Sehingga menurut Hammerstad cara perhitungannya adalah sebagai berikut: [3]

Untuk menemukan $u = w / h < 2$, menggunakan persamaan dibawah ini

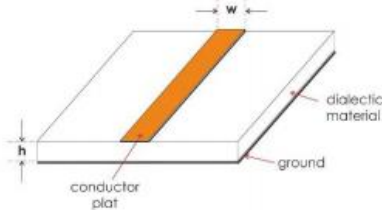
$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (1)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) 0.5 + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2)$$

Untuk menemukan $u = w / h > 2$, menggunakan persamaan dibawah ini

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{2\epsilon_r} \right) \right] \quad (3)$$

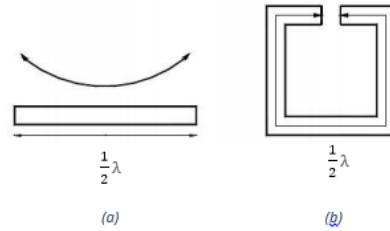
$$B = \frac{60\pi^2}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$



Gambar 2 Jenis Mikrostrip Fisik [3]

2.4 Square Open-Loop Resonator

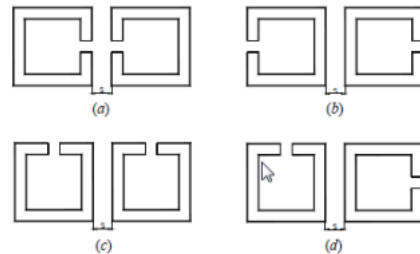
Media mikrostrip merupakan salah satu bahan yang penting dalam membuat filter yang akan menentukan bentuk resonator yang dipakai. Resonator merupakan media penghubung sumber dengan port beban. Prinsip kerjanya adalah prinsip resonansi, dengan kata lain resonator akan bekerja (beresonansi) pada frekuensi tertentu, lalu akan diteruskan karena adanya resonansi gelombang RF. Umumnya, rangkaian resonansi terdiri dari komponen L (induktansi) dan C (kapasitor), dengan besar frekuensi nya adalah $1/\omega \sqrt{LC}$. Dalam merancang menggunakan media mikrostrip, komponen L dan C dibentuk menjadi *square open loop resonator*. Dengan bentuk semula resonator lurus tunggal ditekuk menjadi persegi, seperti di tunjukan pada Gambar 3. Pembentukan tekukan sudut sebesar 90° akan membuat jarak di kedua ujung resonator (gap). Sehingga, di kedua ujung resonatornya terbentuk kapasitor yang akan menyimpan energi kapasitif. Pada saat panjang resonator dibuat menjadi $1/2$ (lamda), akan menghasilkan frekuensi resonansi yang diinginkan. Sehingga, diperlukan perhitungan khusus untuk teknik mikrostrip pada saat membuat desain resonator. Untuk membuat hasil yang maksimal desain resonator harus melalui tahap simulasi dengan EM, untuk mendapatkan hasil yang diinginkan walaupun terkadang tidak sempurna.



Gambar 3 Bentuk Resonator

2.5 Kopling Antar Resonator

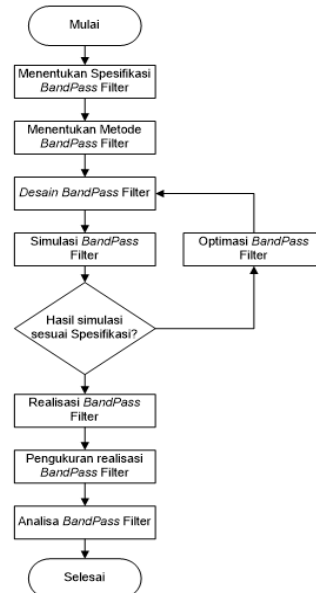
Kopling dua resonator adalah komponen utama dari desain filter *bandpass*. Kopling antara dua resonator pada dasarnya disebabkan oleh medan pinggir. Sifat dan luas pinggir ini menentukan kekuatan dan jenis kopling. Ada tiga jenis kopling dasar, kopling listrik, kopling magnetik dan kopling campuran yang melibatkan kopling listrik dan magnetik.



Gambar 4 Macam - macam tipe kopling resonansi yang digabungkan (a) kopling listrik, (b) kopling magnetik, (c) dan (d) kopling campuran. [3]

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 5 Diagram Alir Desain Band Pass Filter

3.2 Spesifikasi Perancangan

Berikut merupakan spesifikasi filter yang akan dirancang pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Filter

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja (GHz)	9,00-9.50
Frekuensi Tengah (GHz)	9,25
Bandwidth (MHz)	500
Insertion Loss (dB)	≤ 3
Return Loss (dB)	≥ 10

3.3 Pemilihan Bahan Substrat

Material dielektrik yang digunakan pada desain band pass filter ini adalah *R/T Duroid 6006*, dengan karakteristik substrat sebagai berikut :

Tabel 2 Spesifikasi Bahan Substrat

Parameter	Ukuran
Permittivitas dielektrik bahan (ϵ_r)	6.15
Thickness (h)	1.27 mm
dissipation factor ($\tan \delta$)	0.0027
top cladding	35 μ m
bottom cladding	35 μ m

4. PERANCANGAN FILTER

4.1 Perancangan Square Open-Loop Resonator

Proses perancangan dilakukan perhitungan saluran transmisi yaitu :

a. Perhitungan Lebar Saluran Input dan Output

Dari persamaan 12 sampai 15 dapat dihitung untuk mengetahui besar W/d , maka digunakan perhitungan rumus pertama dahulu yaitu untuk $W/d \leq 2$ maka didapat nilai:

$$\frac{w}{h} = 1.472577991$$

Hasil perhitungan W/d dengan rumus pertama didapatkan $W/d < 2$ artinya memenuhi syarat ketentuan. Lebar saluran dapat dihitung dari hasil perkalian antara W/d dengan ketebalan substrat (h) yang digunakan. Ketebalan substrat *duroid 6006* yaitu 1.27 mm. Maka lebar dari saluran dapat dihitung dengan rumus :

$$W = h * 1.472577991$$

$$W = 1.27 \text{ mm} * 1.472577991$$

$$W = 1.8701 \text{ mm}$$

Jadi nilai w input dan w output filter dengan bahan substrat material *R/T Duroid 6006* adalah 1.8701 mm

b. Perhitungan Ukuran Panjang Resonator

Saat merancang ukuran resonator, panjang dari resonator berpengaruh terhadap frekuensi resonansi dari resonator. Untuk mendapatkan frekuensi kerja yang diinginkan resonator harus dirancang dengan $\frac{1}{2}\lambda_g$ (panjang gelombang). Saat merancang filter ini, diinginkan frekuensi resonansi filter sama dengan frekuensi tengah (f_0) dari spesifikasi filter.

$$u = \frac{w}{h} = 1.472577991$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{(1.472577991)^4 + \left(\frac{1.472577991}{52}\right)^2}{(1.472577991)^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + \left(\frac{1.472577991}{18.1}\right)^3 \right]$$

$$a = 0.9983576272$$

$$b = 0.564 \left(\frac{6.15 - 0.9}{6.15 + 3}\right)^{0.053}$$

$$b = 0.5476363019$$

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{6.15 + 1}{2} + \frac{6.15 - 1}{2} \left[1 + \frac{10}{1.472577991} \right]^{-0.5467368789}$$

$$\epsilon_{r,eff} = 4.413139065$$

Karena frekuensi kerja yang diinginkan pada frekuensi tengah yang sebesar 9.25 GHz, maka dapat menghitung panjang gelombang di mikrostrip ini

$$\lambda_g = \frac{300}{9.25 \sqrt{4.413139065}}$$

$$\lambda_g = 15.43 \text{ mm}$$

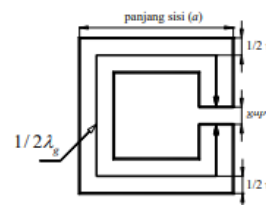
Oleh karena itu panjang resonator dapat dihitung sebagai $\frac{1}{2}\lambda$ dimana

$$\frac{1}{2} \lambda \times 15.44 \text{ mm} = 7.72 \text{ mm}$$

Bentuk resonator yang dirancang yaitu *square open-loop*, yang memiliki panjang sisi berbeda sisi yang berbeda-beda, maka digunakan pendekatan dalam menghitung ukuran resonator *square open-loop* seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dengan persamaan sebagai berikut.

$$a = \frac{\frac{1}{2}\lambda_g + gap}{4} + w$$

dimana a merupakan panjang dari sisi resonator, w merupakan lebar dari resonator, dan gap merupakan jarak antara kedua ujung resonator.



Gambar 6 Ilustrasi bentuk resonator

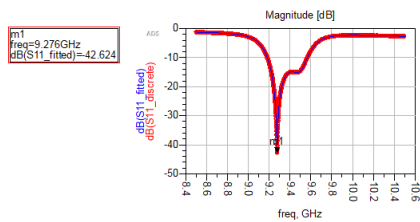
Sehingga dapat mengetahui cara mendekati ukuran resonator.

$$a = \frac{7,72 \text{ mm} + 0.3 \text{ mm}}{4} + 0.5 \text{ mm} = 2.505 \text{ mm}$$

5. SIMULASI

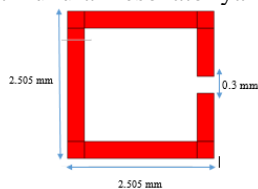
5.1 Simulasi Perancangan Panjang Resonator $\lambda_g/2$

Untuk menunjukkan bahwa perhitungan dari ukuran resonator sudah tepat dan sesuai dengan spesifikasi filter, maka harus diuji dengan mensimulasikan dari ukuran resonator. Dalam penelitian ini, sebuah koping elektrik digunakan sebagai percobaan, yang respon simulasi diperlihatkan pada gambar 7.



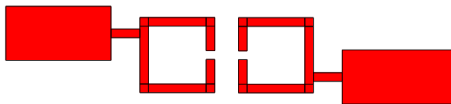
Gambar 7 Hasil simulasi resonator dengan $a = 2.505$ mm

Dari hasil simulasi, maka panjang sisi resonator 2.505 mm didapatkan resonansi pada frekuensi 9,276 GHz. Artinya sudah mendekati frekuensi tengah spesifikasi filter yang dirancang. Namun ukuran resonator dapat dirubah untuk mendapatkan frekuensi tengah tepat pada frekuensi 9,250 GHz. Untuk mendapatkan frekuensi yang bergeser ke bawah dilakukan dengan cara menambah panjang sisi resonator dan untuk mendapatkan frekuensi yang bergeser ke atas dilakukan dengan cara mengurangi panjang sisi resonator, sehingga nilai frekuensi resonansi yang akan diperoleh dari resonator mendekati nilai spesifikasi filter. Berikut merupakan desain ukuran resonator yang disimulasikan.

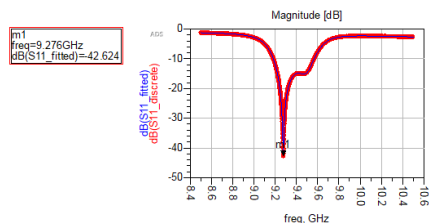


Gambar 8 Gambar resonator dengan $a=2.505$ mm

Simulasi pertama dirancang dengan menggunakan 2 resonator seperti pada gambar 9

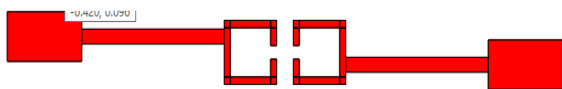


Gambar 9 Desain Filter 2 Resonator

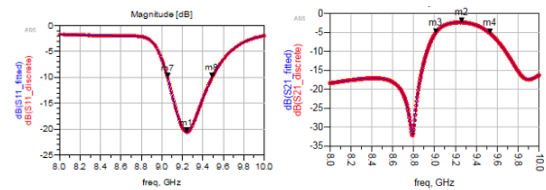


Gambar 10 Hasil Respon Filter 2 resonator

Dari hasil respon filter 2 resonator frekuensi tengah berada pada 9,276 GHz. Namun tidak sesuai dengan spesifikasi filter yang diinginkan. Optimasi dilakukan dengan memvariasikan jarak antara ujung resonator dan panjang *feeder*. Maka desain akhir filter seperti gambar 11 berikut.



Gambar 11 Optimasi Desain Filter

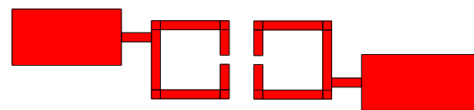


Gambar 12 Hasil Respon Simulasi

Pada gambar 12 diperoleh grafik respon filter dengan 2 resonator dengan frekuensi tengah berada pada 9,260 GHz. Terdapat pergeseran frekuensi tengah sebesar 10 MHz seharusnya frekuensi tengah berada pada 9.250 GHz. Nilai *return loss* yang diperoleh sebesar 20.586 dB. Pada gambar 12 diperoleh respon simulasi parameter *insertion loss* sebesar 2.303 dB pada frekuensi tengah 9.260 GHz dengan *bandwidth* 500 MHz. Frekuensi kerja pada 9.010 -9 510 GHz.

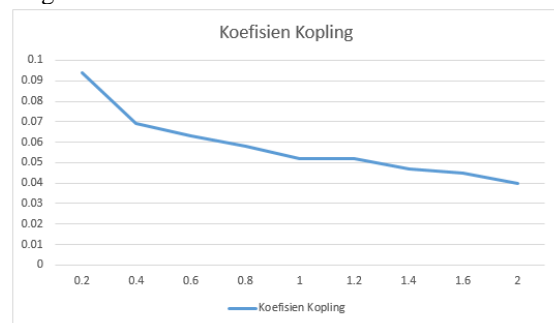
5.2 Simulasi Koefisien Kopleng

Dalam menghitung nilai koefisien kopleng resonator digunakan stuktur masing-masing kopleng resonator dan memberikan variasi jarak pemisah untuk kedua resonator, maka akan didapatkan koefisien kopleng terhadap jarak resonator. Pada simulasi ini model kopleng ditentukan dengan menggunakan kopleng elektrik. Kopleng elektrik dapat dicari dengan melakukan simulasi pada dua buah resonator yang saling didekatkan dimana pada sisi bagian yang terdapat gap (ujung terbuka) dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13 Bentuk filter dengan kopleng elektrik

Grafik Koefisien kopleng elektrik didapat dengan cara merubah jarak antar resonator seperti di perlihatkan pada gambar



Gambar 14 Koefisien kopleng terhadap jarak

Dari gambar 14. nilai yang didapatkan dengan melihat grafik S_{21} yang ditampilkan sebagai hasil simulasi, terlihat graik fasa turun secara perlahan-lahan mendekati daerah frekuensi resonansi kedua.

Setelah nilai koefisien kopleng antar resonator diperoleh, maka jarak antar resonator dapat diketahui dengan melihat hasil grafik S_{21} yang paling mendekati dengan spesifikasi, maka dengan jarak 0.8 mm dimana

hasil koefisien kopling didapat 0,058 diantara variasi jarak yang sudah disimulasikan paling sesuai.

5.3 Simulasi Ukuran Feeder

Dalam pembuatan band pass filter, ukuran feeder akan mempengaruhi hasil respon filter. Pada tabel dapat dilihat bagaimana pengaruh ukuran feeder dari hasil respon yang telah disimulasikan.

Tabel 3 Hasil Respon terhadap Lebar Feeder

Ukuran (mm)	Frekuensi Kerja (GHz)
0.3	8,995-9,505
0.4	9,000-9,505
0.5	9,005-9,515
0.6	9,010-9,530

Pada tabel 3 terdapat hasil respon dari lebar feeder dimulai dari ukuran 0.3 mm sampai dengan 0.6 mm, semakin besar *feeder* maka *bandwidth* semakin besar.

Tabel 4 Hasil Respon Terhadap Panjang Feeder

Ukuran (mm)	Frekuensi Kerja (GHz)
1 mm	9,125-9,515
3 mm	9,100-9,555
5 mm	9,075-9,515
7 mm	9,010-9,510

Pada tabel 4 terdapat hasil respon terhadap panjang *feeder* diawali dengan ukuran 1 mm sampai dengan 7 mm, semakin lebar ukuran feeder maka *bandwidth* semakin besar pula.

6. REALISASI

Setelah optimasi filter dari simulasi selesai, langkah selanjutnya adalah proses realisasi *bandpass* filter dengan mencetak hasil desain resonator pada PCB. Dengan mempersiapkan alat-alat yang dibutuhkan seperti substrat yang digunakan adalah R/T *Duroid* 6006 dan konektor dengan karakteristik impedansi 50 ohm.

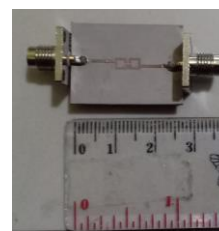


a) Top layer



b) Bottom layer

Gambar 15 Realisasi band pass filter



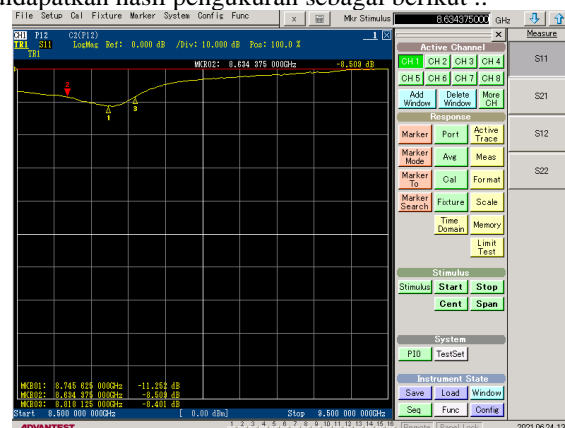
Gambar 16 Band pass filter diukur dengan penggaris

Pada gambar 14 menunjukkan ukuran dimensi filter yaitu dengan panjang 2.7 mm dan lebar 2 mm.

7. HASIL DAN PEMBAHASAN

7.1 Data-data Pengukuran

Dari pengukuran *band-pass* filter yang dilakukan didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut :



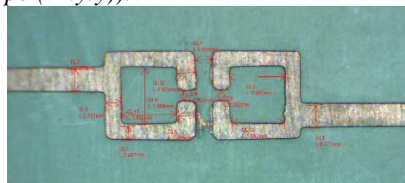
Gambar 17 Pengukuran Pengukuran Return Loss (S11)



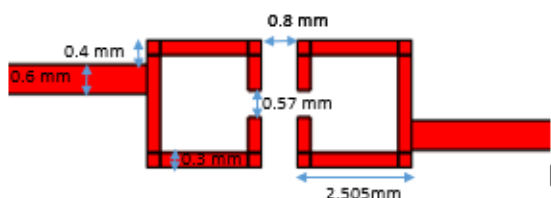
Gambar 18 Pengukuran Parameter Insertion Loss (S21)

Dari hasil pengukuran filter yang telah direalisasikan berukuran 2,7x2 cm pada Gambar 15 dan Gambar 16 jika diamati, terdapat parameter *insertion loss* dan *return loss* yang sangat berbeda dengan hasil simulasi. Ketika dilakukan pengukuran dapat dilihat pada gambar 15 diperoleh *return loss* sebesar 11,252 dB dan pada gambar 16, diperoleh *insertion loss* sebesar 4.802 dB dengan frekuensi tengah sebesar 8.745 GHz. *Bandwidth* yang diperoleh tidak bisa dihitung dengan frekuensi tengah berada pada 8.745 dari range frekuensi 8.634-8.818 GHz. Pergeseran setiap parameter disebabkan dikarenakan proses fabrikasi yang buruk. Untuk memperjelas bentuk desain setelah fabrikasi filter

dengan menggunakan mikroskop. Berikut hasil pengukuran menggunakan mikroskop (*Digital Portable Microscope (Anyty)*).



Gambar 19 Pengukuran Band pass filter dengan Digital Portable Microscope (Anyty)



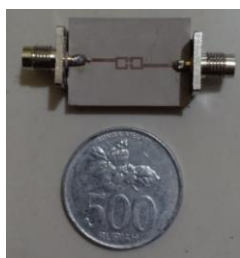
Gambar 20 Ukuran Desain Band Pass Filter

Dari gambar 19 terlihat jelas terdapat perbedaan ukuran desain filter diantaranya parameter lebar saluran input dan output yang tidak sama, a (panjang dari resonator), gap (jarak dari ujung kedua resonator), dan g1 (jarak antar resonator). Diantara g1 masih terdapat sisa tembaga dipermukaan yang belum dikikis. Dari proses pengikisan tembaga yang buruk mempengaruhi bentuk desain rancangan filter. Untuk memperjelas perbedaan ukuran desain simulasi dengan ukuran desain yang sudah difabrikasi diperlihatkan dalam tabel berikut.

Tabel 5. Perbandingan Ukuran Simulasi dengan Realisasi

	a (mm)	G1 (mm)	Gap (mm)	w (mm)	Lebar feeder (mm)
Simulasi	2.505	0.8	0.57	0.3	0.6
Realisasi	3.054	0.632	0.355	-	0.777

Selain itu ukuran filter 2.7x 2 cm yang hampir seukuran dengan koin 500 rupiah yang dapat dilihat pada gambar 21 yang terlalu kecil menjadi salah satu penyebab lain dalam kegagalan dan menyulitkan dalam proses fabrikasi.



Gambar 21 Perbandingan Band Pass Filter dengan koin 500 rupiah

Tabel 6 Perbandingan Perancangan, Simulasi, dan Realisasi Filter

No	Parameter	Spesifikasi	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
1.	Frekuensi Kerja (GHz)	9,000-9,500	9,010-9,510	8.634-8.818
2.	Frekuensi Tengah (GHz)	9,25	9,26	8.745
3.	Insertion Loss (dB)	≤ 3	2.30	4.802
4.	Bandwidth IL (MHz)	500	500	-
5.	Return Loss (dB)	≥ 10	20.5	11.252
6.	Bandwidth RL (MHz)	500	450	-

Dari hasil analisa pada tabel 6 secara garis besar hasil pengukuran yang telah dilakukan memiliki hasil yang kurang baik dan sangat berbeda dengan hasil simulasi. Pada hasil simulasi parameter dari frekuensi kerja, frekuensi tengah, *bandwidth*, *insertion loss*, dan *return loss* memiliki hasil yang sudah mendekati spesifikasi radar pengawas pantai. Meskipun terjadi pergeseran frekuensi kerja pada perancangan 9.000-9.500 GHz menjadi 9.010-9.510 GHz dan frekuensi tengah berada pada 9.250 GHz menjadi 9.260 GHz.

8. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan proses perancangan, simulasi, dan realisasi *band pass filter* yang di implementasikan pada radar pengawas panti telah dikerjakan. Perancangan desain filter dan hasil simulasi filter mendekati nilai parameter spesifikasi yang dirancang bekerja pada frekuensi tengah 9.26 GHz. Namun ketidaktepatan hasil fabrikasi berpengaruh atau belum dapat digunakan sebagai salah satu komponen pada sistem radar pengawas pantai, terdapat beberapa faktor diantaranya:

1. Proses fabrikasi yang kurang baik menentukan tingkat keberhasilan hasil pengukuran yang sesuai dengan spesifikasi perancangan filter yang dibuat.
2. Desain ukuran resonator mempengaruhi respon simulasi filter diantaranya jarak antar ujung resonator berpengaruh terhadap *bandwidth*, sementara jarak antar resonator berpengaruh terhadap frekuensi tengah.
3. Frekuensi kerja yang didapatkan dari simulasi mendekati perancangan yaitu 9.010 -9.510 GHz. Terjadi pergeseran filter yang sangat berbeda dari hasil pengukuran yaitu 8.634-8.818 GHz dengan spesifikasi.
4. Frekuensi tengah yang dirancang seharusnya berada pada frekuensi 9.250 GHz mengalami pergeseran pada hasil simulasi yaitu 10 MHz pada 9.260 GHz. Tetapi hasil pengukuran yang didapat sangat berbeda yaitu pada frekuensi 8.745 GHz.
5. *Bandwidth* yang didapatkan dari hasil simulasi yaitu 500 MHz sudah sesuai dengan spesifikasi perancangan. Namun hasil pengukuran menunjukkan sebaliknya tidak bisa dihitung

karena tidak balance antara *range* f0-f1 yaitu 111 MHz dengan *range* f0-f2 yaitu 73 MHz.

6. *Insertion loss* hasil simulasi yaitu 2.30 dB sudah sesuai spesifikasi yang diinginkan yaitu ≤ 3 . Namun nilai *insertion loss* dari hasil pengukuran yaitu 4.802 dB belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan.
7. Nilai *return loss* dari hasil simulasi dengan hasil pengukuran memenuhi spesifikasi desain yaitu ≥ 10 . Hasil simulasi didapatkan 20.5 dB sementara hasil pengukuran menunjukkan 11.252 dB.

Adapun saran dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Ukuran dimensi filter harus diperhatikan agar tidak menyulitkan dalam proses fabrikasi. Batas ukuran dimensi filter minimal lebih dari 2x2 cm.
2. Fabrikasi filter ukuran yang kecil perlu diperhatikan teknik yang berkualitas yang mendukung pencetakan jalur yang lebih kecil.
3. Menghindari *corner effect*, apabila desain yang dibuat kotak, maka jalur pada sudut-sudutnya akan terdistorsi karena fabrikasi yang tidak mendukung.
4. Metode yang tepat dalam perancangan dan pembuatan filter sangat berpengaruh terhadap respon hasil filter yang diinginkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada

1. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung yang telah memfasilitasi penelitian ini.
2. Penyelenggara IRWNS 2021 yaitu Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) POLBAN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Ridwansah, "Garis Pantai Indonesia Terpanjang Ke-2 Di Dunia," Jawa Pos, 20 Desember 2018. [Online]. Available: <https://www.jawapos.com/photo/garis-pantai-indonesia-terpanjang-ke-2-di-dunia/>.
- [2] R. FITRIANTO, U. S. ROHMAH dan E. M. SAPUTRA, "Rancang Bangun Band Pass Filter Frekuensi 1.27 GHz untuk Teknologi Synthetic Aperture Radar," *ELKOMIKA*, vol. 5, no. 2, pp. 149-168, 2017.
- [3] R. Y. Aditya, "Perancangan Microstrip Band Pass Filter Pada Frekuensi 3,3 Ghz Dengan Menggunakan Defected Ground Structure," Jakarta, 2016.
- [4] E. Sulaeman, "Filter Gelombang Mikro," dalam *Teknik Frekuensi Tinggi dan Gelombang Mikro*, Politeknik Negeri Bandung.
- [5] W. Prasetyo, "PERANCANGAN DAN REALISASI BANDPASSFILTER MENGGUNAKAN METODE SQUARE OPEN LOOP RESONATOR DENGAN VIA GROUND HOLE," 2016.
- [6] M. Wahab, . D. Ruhayat, S. Hermana dan H. Arisesa, "Aplikasi Radar FM-CW Untuk Pengawasan Obyek Terbang Pada Kawasan Wilayah Pantai," *InSINas*, 2012.
- [7] B. Adli, "Rancang bangun Bandpass Filter Mikrostrip Hairpin untuk Radar Navigasi pada Frekuensi X Band," *Diploma thesis, UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 2017.
- [8] R. M. Putra, B. Setia dan Y. Wahyu, "Perancangan Dan Realisasi Bandpass Filter Mikrostrip Ring Square Resonator Pada Frekuensi X-Band (9.4 Ghz) Untuk Radar FM-CW Pengawas Pantai," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 344-353, 2016.
- [9] M. M. A. Lugina, I. B. Sumajudin, M.T dan I. E. Sulaeman, M.T., "Perancangan Dan Realisasi Bandpass Filter Interdigital Pada Frekuensi X-Band Untuk Radar Penjejak Trayektori Pada Kendali Kapal," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 5344-5351, 2018.
- [10] A. R. Hartawan, T. Yunita dan L. O. Nu, "Band Pass Filter Dengan Metode Hairpin Resonator Pada Frekuensi X-Band," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika (TEKTRIKA)*, vol. 2, no. 2, pp. 33-38, 2017.