

PERANCANGAN DAN REALISASI BANDPASS FILTER INTERDIGITAL PADA FREKUENSI X-BAND UNTUK RADAR PENJEJAK TRAYEKTORI PADA KENDALI KAPAL

DESIGN AND REALIZATION OF INTERDIGITAL BANDPASS FILTER ON X-BAND FREQUENCY FOR TRAJECTORY TRACKING RADAR OF BOAT CONTROL

Muhammad Misbah Arya Lugina¹, Ir. Bambang Sumajudin, M.T.², Ir. Enceng Sulaeman, M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹aryalugina@gmail.com, ²sumajudin@telkomuniversity.ac.id, ³enceng_s@yahoo.com

ABSTRAK

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan wilayah perairan, oleh karena itu dibutuhkan pengamanan untuk sektor tersebut. Pemanfaatan teknologi seperti *Radar Trajectory X-Band* dapat memberikan informasi mengenai target sebagai trayektori kapal pengejar untuk meningkatkan pengawasan di wilayah perairan. *Radar Trajectory* bekerja pada frekuensi *X-Band* (9.25 - 10.75 GHz), agar dapat bekerja dengan baik dibutuhkan perangkat yang berfungsi untuk melewatkan frekuensi kerja tersebut dan meredam frekuensi diluar itu. Perangkat yang memiliki kemampuan tersebut adalah sebuah *Bandpass Filter*.

Dalam Tugas Akhir ini dirancang dan direalisasikan sebuah BPF yang bekerja sesuai spesifikasi *Radar Trajectory X-Band*, dengan *bandwidth* sebesar 1.5 GHz dan frekuensi tengah 10 GHz, dimana digunakan metode Interdigital. Dimensi dari filter yang telah direalisasikan adalah 33 mm x 27 mm. Dari hasil pengukuran realisasi filter didapatkan *bandwidth* sebesar 2.7 GHz, *insertion loss* pada frekuensi tengah (10 GHz) yaitu 7.65 dB, *return loss* sebesar 12.53 dB, dan VSWR sebesar 1.34.

Kata Kunci : *Bandpass Filter, Interdigital, Radar Trajectory, X-Band*

ABSTRACT

Most parts of Indonesia are territorial waters, therefore security is needed for the sector. The use of technology such as the *Radar Trajectory X-Band* can provide information about the target as a chase trajectory to improve surveillance in the territorial waters. *Trajectory radar* works on the *X-band* frequency (9.25 - 10.75 GHz), so that it can work properly requires a device that functions to pass the working frequency and reduce the frequency outside it. Device that have this capability is a *Bandpass Filter*.

In this Final Project, a BPF is designed and realized that works according to the *X-Band Radar Trajectory* specifications, with a *bandwidth* of 1.5 GHz and a 10 GHz center frequency. The dimensions of the filter that have been realized are 33 mm x 27 mm. From the results of the filter realization measurements obtained a *bandwidth* of 2.7 GHz, *insertion loss* at the middle frequency (10 GHz) is 7.65 dB, *return loss* of 12.53 dB, and VSWR of 1.34.

Keywords : *Bandpass Filter, Interdigital, Radar Trajectory, X-Band*

1. Pendahuluan

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan wilayah perairan, oleh karena itu dibutuhkan pengamanan untuk wilayah perairan Indonesia. Pemanfaatan *Radar Trajectory X-Band* mampu mengawasi pergerakan kapal yang memasuki wilayah Indonesia dan memberi informasi mengenai target sebagai trayektori kapal pengejar sehingga dapat mencegah aktifitas kapal yang merugikan Negara Indonesia..

Radar Trajectory X-Band merupakan radar yang menggunakan metode frekuensi untuk memancarkan sinyal pemantauan secara kontinu (*Frequency Modulated Continuous Wave*) dengan *bandwidth* 1.5 GHz dan bekerja pada frekuensi 9.25 - 10.75 GHz.. *Bandpass Filter* merupakan sebuah modul yang mempunyai kemampuan untuk dapat melewatkan sinyal dengan band frekuensi tertentu dan meredam sinyal di luar band tersebut [1].

Berdasarkan kebutuhan tersebut, pada Tugas Akhir ini dirancang dan direalisasikan sebuah BPF yang bekerja pada rentang frekuensi 9.25 - 10.75 GHz dengan frekuensi tengah 10 GHz menggunakan metode Interdigital. Bahan yang digunakan dalam perealisasikan *Bandpass Filter* ini adalah RT Duroid 5880 dengan konstanta dielektrik relatif 2.2, tebal dielektrik 1.575 mm, dan ketebalan konduktor 0.035 mm.

2. Dasar Teori

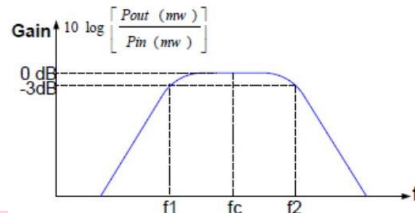
2.1 Radar FMCW

Radar Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) adalah radar *Continuous Wave* (CW) yang menggunakan teknik modulasi frekuensi sebagai *timing mark*, sehingga mampu mendeteksi jarak [2].

Prinsip kerja sebuah radar adalah terdapat suatu antenna pemancar yang memancarkan gelombang radio, yang direfleksikan oleh target dan dideteksi oleh alat berupa antenna penerima yang biasanya berlokasi ditempat yang sama dengan alat pemancar [1]. Sistem radar FMCW ini terbagi atas dua bagian utama yaitu *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (penerima).

2.2 Bandpass Filter

Band pass filter merupakan rangkaian filter yang meloloskan frekuensi diantara frekuensi *cut-off* pertama dan *cut-off* kedua. Frekuensi *cut-off* adalah frekuensi sinyal dimana daya pada frekuensi tersebut turun sebesar 3 dB [3]. *Bandwidth* 3 dB adalah rentang frekuensi antara frekuensi *cut-off* pertama (f_{c1}) dan *cut-off* kedua (f_{c2}) [4].



Gambar 2.1 Bandpass Filter [8]

Frekuensi tengah (f_o) adalah frekuensi diantara frekuensi *cut-off* pertama (f_{c1}) dan frekuensi *cut-off* kedua (f_{c2}). Untuk menentukan nilai frekuensi tengah dapat menggunakan persamaan berikut:

$$f_o = \frac{f_{c1} + f_{c2}}{2} \quad (2.1)$$

Perbandingan antara *bandwidth* 3 dB dengan frekuensi tengah disebut dengan *fractional bandwidth* (f_{bw}) [4]. Untuk menentukan nilai *fractional bandwidth* dapat menggunakan persamaan berikut:

$$f_{bw} = \frac{f_{c2} - f_{c1}}{f_o} \quad (2.2)$$

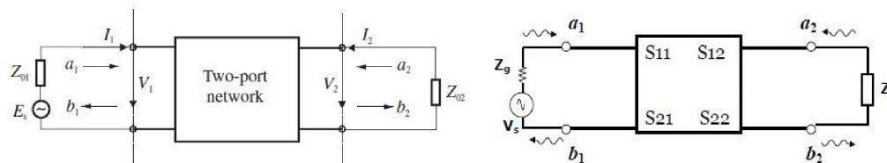
$$\left| \frac{\omega'}{\omega'1} \right| = \frac{2}{f_{bw}} \left(\frac{f_{s2} - f_o}{f_o} \right) \quad (2.3)$$

2.3 Parameter Filter

Ada beberapa parameter penting yang digunakan dalam mengevaluasi kinerja dari suatu filter antara lain adalah *scattering parameter* (parameter S), *insertion loss*, *return loss*, dan *Q factor*.

2.3.1 Parameter S

Parameter rangkaian ini bisa dijelaskan dengan menggunakan jaringan dua *port*/terminal [5], yaitu *input* dan *output*.



Gambar 2.2 Jaringan 2 port dan Parameter S Didalam Jaringan 2 port [5]

Rangkaian diatas merupakan rangkaian 2 (dua) *port* yang menunjukkan gelombang datang/*incident* (a_1 dan a_2) dan gelombang pantul (b_1 dan b_2). Parameter S_{11} dan S_{22} merupakan nilai dari *return loss*, sedangkan S_{12} dan S_{21} merupakan nilai dari *insertion loss*. Persamaan linear yang menyatakan rangkaian dua terminal tersebut adalah [5]:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (2.4)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (2.5)$$

$$\bullet \quad S_{11} = \frac{b_1}{a_1} | a_2 = 0 \quad (2.6)$$

$$\bullet \quad S_{21} = \frac{b_2}{a_1} | a_2 = 0 \quad (2.7)$$

$$\bullet \quad S_{12} = \frac{b_1}{a_2} | a_1 = 0 \quad (2.8)$$

$$\bullet \quad S_{22} = \frac{b_2}{a_2} | a_1 = 0 \quad (2.9)$$

2.3.2 Insertion Loss

Insertion loss merupakan rasio perbandingan antara daya yang dikirimkan ke beban sebelum *insertion loss* (P_T) dengan daya yang diterima beban setelah *insertion loss* (P_R) dalam logaritmik *decibel*. Dengan persamaan sebagai berikut [6]:

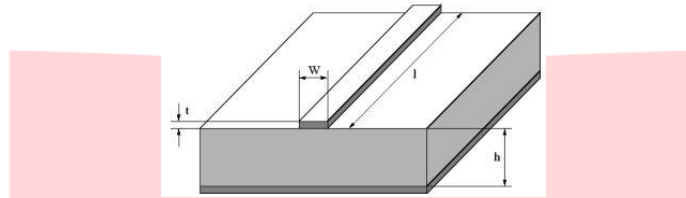
$$IL = 10 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} = -20 \log_{10} |S_{21}| \text{ dB} \tag{2.10}$$

2.3.3 Return Loss

Return loss adalah kehilangan sejumlah daya yang dipantulkan kembali ke sumber yang diakibatkan karena gangguan transmisi atau rangkaian yang tidak *matching* [3]. *Return loss* dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [5]:

$$RL = 10 \log \frac{P_R}{P_T} = 10 \log \left(\frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right)^2 \tag{2.11}$$

2.4 Microstrip Line



Gambar 2.3 Saluran *Microstrip* [5]

Mikrostrip adalah suatu saluran transmisi yang terdiri dari strip konduktor dan *groundplane* yang antara keduanya dipisahkan oleh dielektrik. Keuntungan dari pemakaian mikrostrip sebagai filter adalah lebih mudah dalam fabrikasi dan juga harga *losses* yang ditimbulkan relatif lebih kecil dibandingkan dari rangkaian *lumped* [7].

Hubungan antara lebar dan ketebalan (W/h) dengan nilai karakteristik impedansi (Z_0) dan konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) dapat diperoleh melalui:

- Untuk $W/h < 2$

$$\frac{W}{h} = \frac{8 e^A}{e^{2A} - 2} \tag{2.12}$$

dengan:

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)} \tag{2.13}$$

- Untuk $W/h > 2$

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} (B - 1) - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \tag{2.14}$$

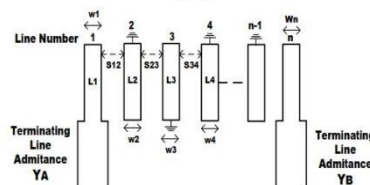
dengan:

$$B = \frac{60 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.15}$$

dengan konstanta dielektrik efektif melalui persamaan:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right) \tag{2.16}$$

2.4.1 Interdigital Bandpass Filter



Gambar 2.4 Konfigurasi Umum dari *Interdigital Bandpass Filter* [8]

Gambar 2.12 menunjukkan tipe dari *Interdigital Bandpass Filter* yang biasanya digunakan untuk diimplementasikan kedalam bentuk mikrostrip. Metode interdigital memiliki panjang resonator yaitu sebuah saluran $\lambda/4$ pada frekuensi tengah, *short circuit* pada salah satu ujung saluran dan *open circuit* pada ujung saluran yang lain. Realisasi *grounding* pada metode interdigital biasanya menggunakan *through hole* [5].

Pada umumnya dimensi fisik dari saluran-saluran tersebut dapat berbeda, yang diindikasikan dengan panjang tiap saluran yaitu l_1, l_2, \dots, l_n dan lebar tiap saluran yaitu W_1, W_2, \dots, W_n . Masing-masing saluran mempunyai jarak antar saluran ($S_i, i+1$) dengan $i = 1$ s/d $n-1$ dan admitansi karakteristik Y_n [5].

Terdapat dua jenis saluran mikrostrip terkopel, yaitu saluran simetris dan saluran tidak simetris. Pengaruh saluran mikrostrip simetris dengan saluran tidak simetris adalah jika saluran tidak simetris, lebar untuk setiap salurannya berbeda. Sedangkan pada saluran simetris, lebar tiap saluran adalah sama dan faktor kualitas akan sama, namun diperlukan persamaan tambahan [5], yaitu:

$$J_{i,i+1} = \frac{Y}{\sqrt{g_i g_{i+1}}}, \quad \text{untuk } i = 1 \text{ s/d } n-1 \quad (2.17)$$

dengan:

$$Y = \frac{Y_1}{\tan \theta} \quad (2.18)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{fbw}{2} \right) \quad (2.19)$$

Dimana fbw adalah *fractional bandwidth* dan g_i menunjukkan nilai elemen dari *prototype lowpass filter*. Sehingga parameter admitansinya adalah sebagai berikut:

$$Y_{i,i+1} = J_{i,i+1} \sin \theta, \quad \text{untuk } i = 1 \text{ s/d } n-1 \quad (2.20)$$

Dalam metode interdigital, nilai k (koefisien kopling) akan digunakan untuk menentukan jarak antar resonator dan impedansi karakteristik mode genap dan mode ganjil yang dihitung untuk masing-masing saluran. Maka persamaannya menjadi:

$$k_{i,i+1} = \frac{Z_{0ei,i+1} - Z_{0oi,i+1}}{Z_{0ei,i+1} + Z_{0oi,i+1}} \quad (2.21)$$

Dimana impedansi *mode genap* dan *mode ganjil* untuk saluran kopling dengan saluran 1 dan n sebagai resonator adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} Z_{0e1,2} &= \frac{1}{Y_1 - Y_{1,2}} & Z_{0o1,2} &= \frac{1}{Y_1 + Y_{1,2}} \\ Z_{0ei,i+1} &= \frac{1}{2Y_1 - 1/Z_{0ei-1,i} - Y_{i,i+1} - Y_{i,i-1}} & \text{, untuk } i &= 2 \text{ s/d } n-2 \\ Z_{0oi,i+1} &= \frac{1}{2Y_{i,i+1} + 1/Z_{0ei,i+1}} & \text{, untuk } i &= 2 \text{ s/d } n-2 \\ Z_{0en-1,n} &= \frac{1}{Y_1 - Y_{n-1,n}} & Z_{0on-1,n} &= \frac{1}{Y_1 + Y_{n-1,n}} \end{aligned} \quad (2.22)$$

Dengan cara ini maka akan menghasilkan semua spasi antar saluran.

Sedangkan panjang saluran interdigital diperoleh dengan persamaan 2.26 [5]. Metode interdigital mempunyai panjang saluran $\lambda/4$.

$$L = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.23)$$

dengan:

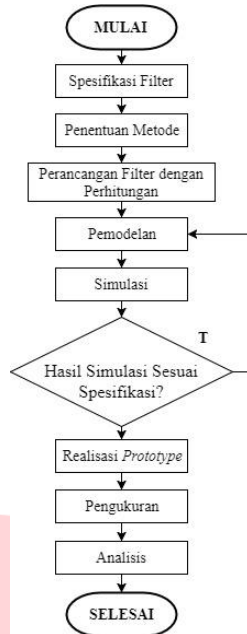
$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{re}}}$$

$$\lambda_o = \frac{C}{f_0}$$

$$C = 3 \times 10^8$$

3. PERANCANGAN DAN REALISASI

Secara umum tahap perancangan dan implementasi sistem Tugas akhir dijelaskan pada diagram alir sistem sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Bandpass Filter

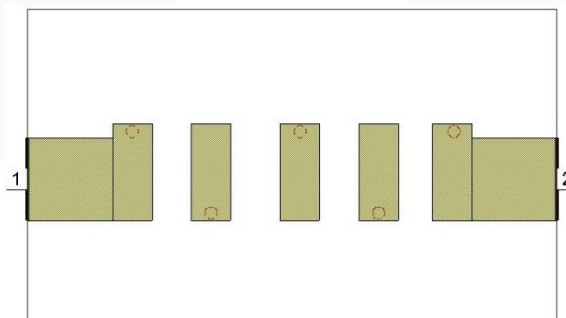
Adapun spesifikasi dalam perancangan *bandpass filter* pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi *Bandpass Filter* Yang Dirancang

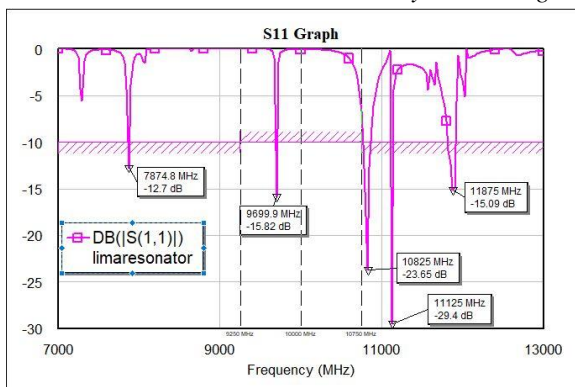
Frekuensi cut-off atas	10.75 GHz
Frekuensi cut-off bawah	9.25 GHz
Frekuensi tengah	10 GHz
Frekuensi stopband atas	12.25 GHz
Frekuensi stopband bawah	7.75 GHz
Bandwidth	1.5 GHz
Z terminal	50 Ω
Insertion loss	≥ 3 dB
Return loss	≤ 10 dB
Respon frekuensi	<i>Chebyshev ripple</i> 0.1 dB

3.1 Simulasi Interdigital Bandpass Filter

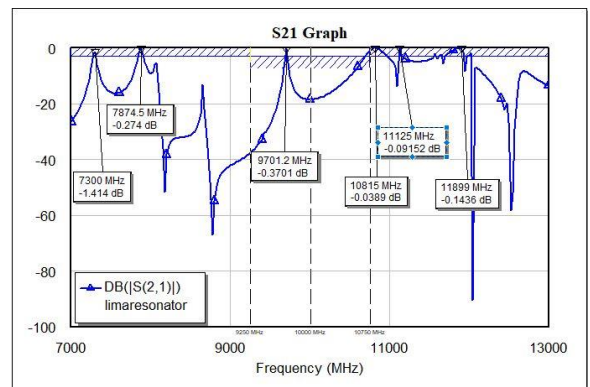
Setelah menghitung semua parameter yang dibutuhkan pada resonator, kemudian dilakukan simulasi hasil perhitungan dengan menggunakan bantuan simulator *AWR Design Environment 2009*. Selanjutnya dilakukan *run* pertama kali pada perancangan untuk melihat respon filter yang dihasilkan.



Gambar 3.2 Layout Interdigital Bandpass Filter Pertama Kali pada AWR



Gambar 3.3 Hasil Simulasi Filter dB (S_{11})



Gambar 3.4 Hasil Simulasi Filter dB (S_{21})

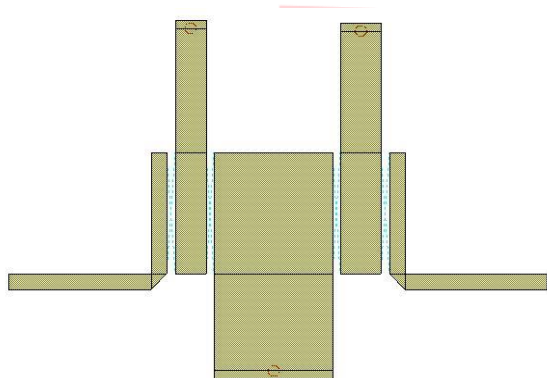
Gambar 3.3 dan 3.4 menunjukkan hasil pengukuran pertama untuk S-Parameter dari desain filter awal dimana hasil yang didapat masih belum menunjukkan hasil yang baik sesuai dengan spesifikasi yaitu pada *range* frekuensi 9.25 – 10.75 GHz. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil yang optimal dan sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan, dilakukan proses optimisasi.

3.2 Optimisasi dan Simulasi Interdigital Bandpass Filter

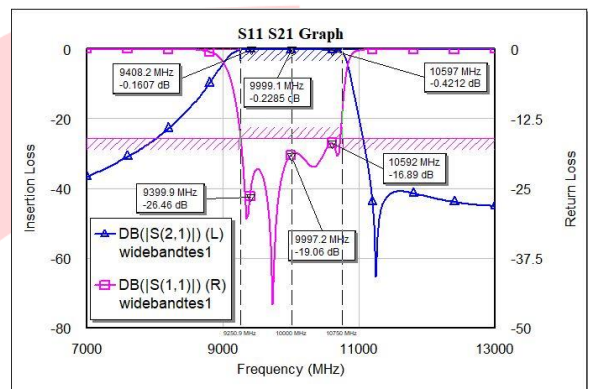
Untuk mendapatkan hasil sesuai spesifikasi maka dilakukan optimisasi. Optimisasi dilakukan dengan mengubah panjang saluran untuk melebar atau menyempitkan *bandwidth* dan mengubah jarak antar saluran untuk menaikkan *insertion loss* dan menurunkan *return loss*. Pada tabel 3.1 merupakan nilai dimensi filter hasil optimisasi. Untuk hasil desain filter sendiri dapat dilihat pada gambar 3.5

Tabel 3.1 Optimisasi Filter

Jarak Antar Saluran (mm)				Panjang Saluran (mm)					Lebar Saluran (mm)					
S_{12}	S_{23}	S_{34}	S_{45}	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	W_{res1}	W_{res2}	W_{res3}	W_{res4}	W_{res5}	W_{feed}
0.50	0.50	0.50	0.50	7.78	16.29	14.54	16.10	7.78	1.00	1.90	7.28	2.48	1.00	1.00



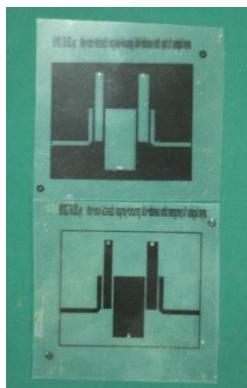
Gambar 3.5 Hasil Desain Filter pada *Software AWR 2009*



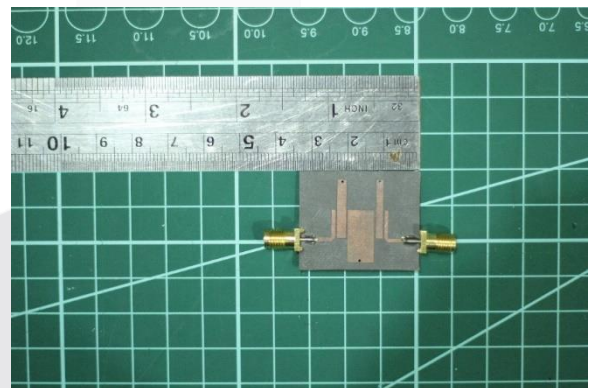
Gambar 3.6 Hasil Simulasi Filter Setelah Optimisasi

Dari hasil optimisasi *Interdigital Bandpass* Filter sudah memenuhi spesifikasi dari perancangan awal S_{11} yang didapat ≤ -10 dB yaitu sebesar -19.06 dB dan $S_{21} \geq -3$ dB yaitu sebesar -0.2285 dB pada frekuensi tengah 10 GHz.

3.3 Tahap Realisasi



Gambar 3.7 Hasil Cetakan Film Negatif

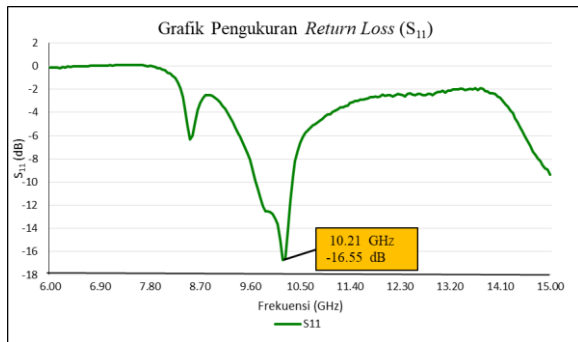
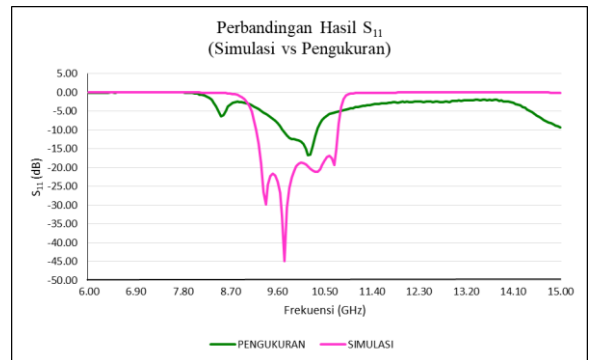


Gambar 3.8 Hasil Realisasi *Interdigital Bandpass Filter*

4. Pengujian dan Analisis

4.1 Return Loss (S_{11})

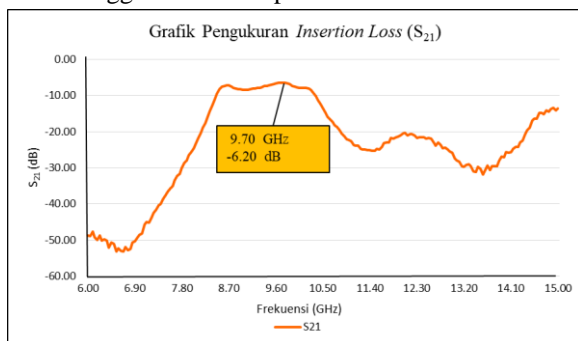
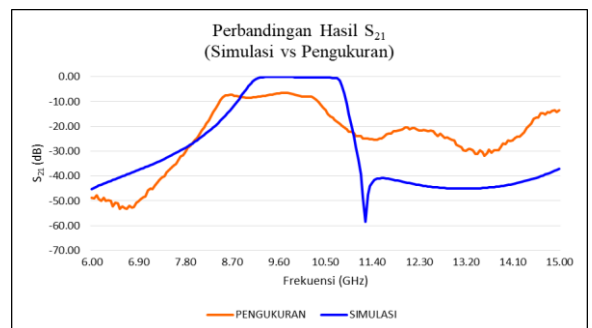
Pengukuran *return loss* (S_{11}) menunjukkan besarnya sinyal yang dipantulkan kembali ke sumber. Semakin kecil nilai *return loss* maka semakin kecil pula daya yang dipantulkan kembali menuju sumber, sehingga terjadi transfer daya maksimum.

Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengukuran S_{11} Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Hasil S_{11} (Simulasi vs Pengukuran)

Dari Gambar 4.1 dan 4.2 didapatkan hasil S_{11} pada saat simulasi memiliki respon frekuensi yang lebih curam, dimana puncak respon frekuensi berada pada 9.73 GHz dengan nilai S_{11} 44.95 dB, dimana terjadi pergeseran frekuensi sebesar 265 MHz dari spesifikasi awal perancangan. Sedangkan hasil pengukuran dari realisasi filter menunjukkan respon frekuensi yang berbeda, dimana nilai puncak berada pada frekuensi 10.21 GHz dengan nilai S_{11} 16.55 dB mengalami pergeseran frekuensi sebesar 478 MHz jika dibandingkan dengan tahap simulasi dan mengalami pergeseran sebesar 213 MHz jika dibandingkan dengan spesifikasi awal perancangan. Hal ini disebabkan karena nilai *return loss* yang dihasilkan mengalami perubahan lebar resonator pada proses fabrikasi dan pemasangan konektor yang kurang presisi, sehingga ada daya yang dipantulkan kembali oleh beban.

4.2 Insertion Loss (S_{21})

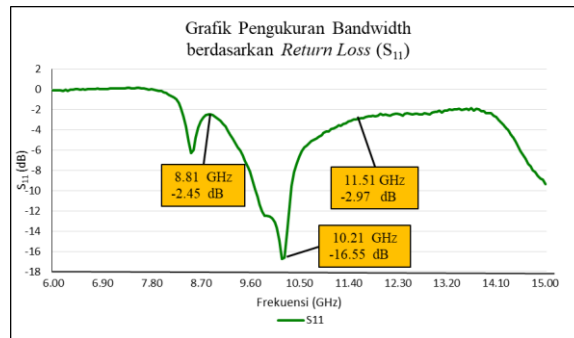
Pengukuran *insertion loss* (S_{21}) menunjukkan karakteristik sinyal yang ditransmisikan dari *port input* ke *port output*. Nilai *insertion loss* yang baik dan ideal berada pada 0 dB. Pada pengukuran ini terdapat banyak rugi-rugi dalam filter sehingga sulit mencapai keadaan ideal.

Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengukuran S_{21} Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Hasil S_{21} (Simulasi vs Pengukuran)

Pada simulasi perancangan filter, didapatkan nilai S_{21} terbaik berada pada frekuensi 9.36 GHz dengan nilai -0.15 dB, dimana parameter S_{21} yang digunakan pada saat simulasi adalah ≥ -0.1 dB. Didapatkan hasil terbaik pada tahap pengukuran realisasi untuk parameter S_{21} berada pada frekuensi 9.72 GHz dengan nilai 6.32 dB. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa terjadi pergeseran frekuensi pada hasil pengukuran realisasi filter jika dibandingkan dengan frekuensi pada simulasi perancangan. Frekuensi tengah pada hasil pengukuran realisasi filter mengalami pergeseran sebesar 360 MHz. Dari Gambar 4.6 dapat dilihat grafik perbandingan hasil S_{21} antara simulasi dan pengukuran realisasi filter. Dari grafik tersebut didapatkan hasil S_{21} pada saat simulasi memiliki respon frekuensi yang lebih curam, sedangkan hasil pengukuran dari realisasi filter menunjukkan respon frekuensi yang berbeda. Pergeseran frekuensi yang terjadi pada hasil pengukuran realisasi filter disebabkan karena redaman pada bahan RT-Duroid 5880, redaman pada konektor, dan redaman yang disebabkan karena ketidak *matching*-an saluran, dimensi filter yang terlalu kecil, sehingga mengakibatkan proses fabrikasi menjadi kurang presisi. Selain itu, kondisi pada saat pengukuran realisasi filter seperti proses pemasangan konektor juga mempengaruhi hasil dari pengukuran tersebut

4.3 Bandwidth

Salah satu parameter penting untuk mengetahui kinerja filter adalah *bandwidth*. Nilai *bandwidth* dalam penelitian ini diambil dari daerah *passband* pada hasil pengukuran terhadap *return loss* (S_{11}) dengan melihat *marker 1* dan *marker 3*.



Gambar 4.5 Grafik *Bandwidth* Dilihat dari Hasil S_{11}

Dapat dilihat dari gambar diatas bahwa frekuensi tengah berada pada frekuensi 10.21 GHz. hasil pengukuran untuk besar *bandwidth* pada *interdigital bandpass filter* ini adalah 2.7 GHz. Pada hasil simulasi perancangan filter diperoleh frekuensi tengah berada pada frekuensi 9.73 GHz, frekuensi *cut-off* bawah berada pada 8.98 GHz, dan frekuensi *cut-off* atas berada pada 10.48 GHz. Berdasarkan spesifikasi frekuensi kerja pada Tugas Akhir ini, dimana lebar *bandwidth* adalah 1.5 GHz, hasil dari tahap simulasi mengalami pergeseran frekuensi tengah sebesar 270 MHz.

Sedangkan dari hasil pengukuran realisasi filter terjadi perubahan lebar *bandwidth* menjadi 2.7 GHz. Perubahan *bandwidth* yang terjadi ini disebabkan karena adanya pergeseran frekuensi dimana frekuensi tengah berada pada frekuensi 10.21 GHz, frekuensi *cut-off* bawah 8.81 GHz, dan frekuensi *cut-off* atas 11.51 GHz. Penentuan frekuensi *cut-off* bawah dan *cut-off* atas pada tahap pengukuran adalah agar *bandwidth* yang dihasilkan merupakan *bandwidth* 3 dB. Maka dapat dilihat hasil dari tahap pengukuran realisasi filter jika dibandingkan dengan tahap simulasi mengalami pelebaran *bandwidth* sebesar 1.2 GHz. Pelebaran *bandwidth* ini dikarenakan adanya faktor kualitas saluran yang menurun akibat adanya rugi-rugi saluran, sedangkan pada tahap simulasi faktor kualitas saluran dianggap ∞ (tak meredam)

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. *Bandpass filter* memiliki frekuensi tengah 10.21 GHz mengalami pergeseran sebesar 210 MHz dari spesifikasi yang telah ditentukan
2. Terjadi perubahan bentuk respon filter antara hasil simulasi perancangan filter dengan hasil pengukuran realisasi filter, pada daerah transisi respon yang dihasilkan tidak terlalu curam/landai.
3. *Insertion Loss* pada frekuensi tengah tidak sesuai dengan spesifikasi perancangan, dimana *insertion loss* terbaik pada tahap simulasi adalah 0.15 dB berada pada frekuensi 9.36 GHz. Sedangkan pada tahap realisasi sebesar 6.32 dB berada pada frekuensi 9.72 GHz. Dimana pada spesifikasi awal parameter *insertion loss* ≥ 2 dB.
4. *Return loss* pada tahap simulasi memiliki nilai 44.95 dB yang berada pada frekuensi 9.73 GHz, dimana terjadi pergeseran frekuensi sebesar 265 MHz dari spesifikasi awal perancangan. Sedangkan hasil dari tahap pengukuran didapatkan nilai *return loss* sebesar 16.55 dB berada pada frekuensi 10.21 GHz, mengalami pergeseran frekuensi sebesar 478 MHz jika dibandingkan dengan tahap simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Barkah, Thamira Ashilla. 2018. Perancangan dan Realisasi Filter Pass Band Comblin pada Frekuensi S-Band (3GHz) untuk Radar Pengawas Pantai. Telkom University.
- [2] Priandana, Karlisa. Dkk. 2015. Radar X-Band FMCW Sebagai Penjejak Trayektori Pada Kendali Kapal. Universitas Indonesia. Indonesia.
- [3] Prasedya, Bima Taufan. 2016. Perancangan dan Realisasi Tunable Bandpass Filter pada Frekuensi L-Band. Telkom University.
- [4] Davis, Alan W. Agarwal, Krishna. 2001. Radio Frequency Circuit Design John Wiley & Sons. Inc. . New York.
- [5] Hong, Jia-Sheng. Lancaster, M.J. 2001. Microstrip Filter For RF/Microwave applications. John Wiley & Sons. Inc. New York.
- [6] Kinayman, Noyan.Aksun, M.I. 2005. Modern Microwave Circuits. Artech House, Inc.
- [7] Fadhil, Muhammad. 2017. Bandpass Filter Hairpin Line dengan Dumbbell Defected Ground Structure pada Receiver eNodeB untuk LTE FDD 1.8 GHz. Telkom University
- [8] Arafat, Panji Natsir. 2009. Desain dan Realisasi Band Pass Filter pada frekuensi (9,3–9,5) GHz berbasis mikrostrip menggunakan metode Interdigital. Institut Teknologi Telkom.