

Desain Band Pass Filter pada Frekuensi X-Band Menggunakan Metode Square Resonator untuk Aplikasi Radar Navigasi

Trisa Mira Rahmawati¹, Sutrisno¹, dan Hanny Madiawati¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia

trisa.mira.tkom19@polban.ac.id, sutrisno@polban.ac.id, hannymadiawati@polban.ac.id

Abstrak

Bandpass filter merupakan sebuah komponen yang dapat melewatkan sinyal dalam *range* frekuensi tertentu, *bandpass filter* akan meloloskan frekuensi yang berada di dalam *range* frekuensi *cut off* dan meredam frekuensi yang berada di luar *range* frekuensi *cut off*. Dalam aplikasinya sebuah *bandpass filter* dapat digunakan sebagai salah satu komponen dalam sistem radar navigasi. Radar navigasi bekerja pada frekuensi X-band sehingga diperlukan sebuah *bandpass filter* yang dapat bekerja pada frekuensi X-band, dimana selain untuk meloloskan frekuensi yang diinginkan dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan, *bandpass filter* juga dapat mencegah interferensi yang dapat terjadi dalam proses modulasi pada sistem radar. Maka pada penelitian ini akan dirancang sebuah *filter* jenis *bandpass filter* yang bekerja pada frekuensi X-band dengan frekuensi tengah 9,1 GHz, dimana *filter* ini akan dirancang menggunakan metode *square resonator*, keunggulan dari metode ini selain dimensi dan rangkaiannya yang sederhana, *resonator* dengan bentuk *square* akan memiliki respon *bandpass filter* yang baik. *Filter* hasil optimasi akhir yang telah dilakukan menghasilkan parameter diantaranya yaitu frekuensi tengah yang berada pada 9,1 GHz, *bandwidth* 1,5 Ghz, S1.1 sebesar 2,6 dB, dan S2.1 didapat sebesar 14,4 dB.

Kata kunci: *bandpass filter*, X-band, *square resonator*, radar navigasi.

Abstract

A bandpass filter is a component that can pass signals within a certain frequency range, bandpass filter will pass frequencies that are within the cut-off frequency range and reduce frequencies that are outside the cut-off frequency range. A bandpass filter can be used as a component in a navigation radar system in its application. The navigation radar works on X-band frequency, so we need a bandpass filter that can work at the X-band frequency, where in addition to passing the desired frequency and dampening unwanted frequencies, the bandpass filter can also prevent interference that can occur in the modulation process on the radar system. So in this study, a bandpass filter type filter that works at the X-band frequency with a center frequency of 9,1 GHz will be designed, where this filter will be created using the *square resonator* method, the advantages of this method in addition to its dimensions and simple circuit, the resonator with the shape square will have a suitable bandpass filter response. The final optimization filter that has been carried out produces parameters including the center frequency which is at 9,1 GHz, the bandwidth is 1.5 Ghz, S1.1 is 2,6 dB, and S2.1 is 14.4 dB.

Keywords: bandpass filter, X-band, square resonator, navigation radar

1. Pendahuluan

Perangkat telekomunikasi khususnya radar navigasi dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian penerima (*receiver*) dan pemancar (*transmitter*). Sistem penerima pada radar navigasi berfungsi untuk menerima gelombang elektromagnetik, hal tersebut dilakukan agar sinyal objek yang berada di daerah radar dapat dikenali. dalam hal ini maka ini, agar radar navigasi mendapatkan hasil penginderaan yang baik, maka frekuensi lain yang tertumpang atau tidak diinginkan dan interferensi pada proses modulasi dalam perangkat seharusnya perlu dihilangkan (Intan Nuraeni Agfah, 2017).

Maka diperlukan sebuah komponen untuk mengatasi masalah yang terjadi pada sistem radar navigasi tersebut, salah satu jenis filter yang dapat digunakan adalah *bandpass filter*. Filter dapat dibangun dengan banyak teknik dan bahan, sesuai dengan aplikasinya. Salah satu yang paling banyak digunakan dalam komunikasi radio frekuensi adalah filter dengan menggunakan teknik mikrostrip (Aldef Hardzi Fadzlullah, 2017).

Nabela Toresa Anggraini, Elisma, dan Hana Arisesa, membuat perancangan dan realisasi *bandpass filter* pada X-band frekuensi dengan menggunakan metode *Square open loop* resonator yang akan diaplikasikan pada radar pengawas pantai simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat ADS. Hasil respon simulasi filter yang bekerja

Info Makalah:

Dikirim : 05-18-22;
Revisi 1 : 08-24-22;
Revisi 2 : 10-26-22;
Diterima : 10-26-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : -
e-mail : trisa.mira.tkom19@polban.ac.id

frekuensi kerja 9,010 sampai 9,510 GHz, *bandwidth* sebesar 500 Mhz dengan frekuensi tengah 9,260 GHz. Hasil *insertion loss* pada simulasi yaitu 2,30 dB, *return loss* 20,5 dB sedangkan pada hasil realisasi nilai *insertion* bernilai 4,802 dB dan *return loss* bernilai 11.252 dB dengan frekuensi 8,634-8,818 GHz (Nabela Toresa Anggraini, 2021)

Reza Dipayana, Yuyun Siti Rohmah, S.T., M.T, Dwi Andi Nurmantris, S.T., M.T. merancang *bandpass filter* dengan metode *square open loop*

resonator dan simulasi *bandpass filter* menggunakan software ADS. Dari simulasi dihasilkan frekuensi tengah yang bekerja pada frekuensi 666 MHz dan nilai *insertion loss* sebesar 26,2 dB, nilai *insertion loss* sebesar 4,71 dB, besar VSWR yaitu 1,090, *bandwidth* yang dihasilkan yaitu 40 MHz dan *fractional bandwidth* yaitu 5,9%. pada hasil pengukuran hasil realisasi didapatkan nilai *return loss* 25,9 dB, nilai *insertion loss* 5,9 dB, nilai VSWR 1,1067, *bandwidth* bernilai 32 MHz dan *fractional bandwidth* yaitu 4,8% (Reza Dipayana, 2019).

Aldef Hardzi Fadzlullah, Dharu Arseno, Yuyu Wahyu. Merancang dan merealisasikan. *Bandpass filter* dirancang dengan menggunakan metode *square loop resonator* dan dirancang dengan bahan FR4 epoxy. Metode *square resonator* dipilih karena memiliki kelebihan dalam segi perancangannya yang mudah. Perancangan yang dibuat menghasilkan frekuensi kerja pada range 1710-1785 MHz. sedangkan berdasarkan pengukuran hasil realisasi dihasilkan parameter yaitu frekuensi tengah 90,2 MHz, *return loss* sebesar 17,734 dB dan juga *insertion loss* sebesar 5,773 dB. (Aldef Hardzi Fadzlullah, 2017).

Edwar, D. Arseno, dan M. R. Yurson merancang dan merealisasikan mikrostrip *bandpass filter* pada frekuensi x-band dengan menggunakan metode *Square Loop Resonator* dan *defected ground structure*. Menghasilkan simulasi *bandpass filter* telah melalui hasil optimasi dan menghasilkan frekuensi tengah 9,63 GHz dengan *bandwidth* 1,313 GHz. Nilai *insertion loss* dan *return loss* yang didapat sebesar 1,03 dB dan 28,39 dB. (Yurson, 2020).

Muhammad Purwa Manggala, Heroe Wijanto, Budi Syihabuddin, membuat penelitian tentang *filter* metode *Square Loop Resonator* yang bekerja pada frekuensi 2350. *Filter* yang dirancang mempunyai dimensi 40mm × 40mm × 1,67mm yang dirancang dengan dielektrik FR4. Menghasilkan parameter *bandwidth* 41,7 MHz, *insertion loss* 4,3 dB, impedansi sebesar 48,4 Ohm, serta VSWR 1,01, dan pada realisasi hasil pengukuran menunjukkan *bandwidth* 50 MHz, *return loss* -44 dB, *insertion loss* 6 dB. Sangat berbeda jauh dengan hasil perancangan pada simulasi. (M. Purwa Manggala, 2015).

Intan Nuraeni Agfah, Heroe Wijanto, dan Budi Syihabuddin merancang dan merealisasikan *bandpass filter* untuk aplikasi radar cuaca yang dirancang dengan metode *square loop ring resonator* yang bisa bekerja pada x-band frekuensi dengan *bandwidth* sebesar 50 MHz dan dengan frekuensi tengah 9,475 GHz, bahan substrat yang digunakan yaitu duroid 5880 dengan nilai konstanta dielektrik yaitu 2,2. Hasil pengukuran menunjukkan frekuensi tengah dengan nilai 9,475 GHz, *return loss* bernilai 20,551 dB dan *insertion loss* bernilai 3,234 dB, *bandwidth* yang dihasilkan menyempit dari 50 MHz menjadi 46 MHz. (Intan Nuraeni Agfah, 2017).

Lukman Medriavin Silalahi, Setiyo Budiyanto, Imelda Uli Vistalina Simanjuntak, Freddy Artadima Silaban, Nofal Gusti Sulisetyo, Agus Dendi Rochendi, merancang dan merealisasikan *bandpass filter Square Loop Resonator* yang bekerja pada frekuensi 3 GHz untuk aplikasi radar, dengan *bandwidth* 60 MHz pada simulasi parameter yang dihasilkan diantaranya *return loss* atau S1.1 sebesar -29,6 dB dan *insertion loss* atau S2.1 bernilai 0,8 dB. Namun pada hasil simulasi parameter yang dihasilkan diantaranya *return loss* atau S1.1 menjadi 22,3 dB dan *insertion loss* atau S2 berkurang menjadi 3,05 dB. (Lukman Medriavin Silalahi, 2020).

M. Purwa Manggala, Heroe Wijanto, Budi Syihabuddin merancang dan merealisasikan *bandpass filter* yang bekerja di band frekuensi 2350 Mhz yang digunakan untuk aplikasi satelit Nano. Material yang digunakan yaitu substrat FR4 dan material *stripline Cooper*. Hasil pengukuran *filter* menunjukkan performa yang bekerja di band frekuensi 2350 MHz dengan *bandwidth* 50 MHz dan *return loss* bernilai -44 dB, menunjukkan bahwa hasil tersebut telah lebih baik dari spesifikasi yang diharapkan yaitu 15 dB. *Insertion loss* yang dihasilkan yaitu 6,3 dB dan impedansi yang dihasilkan telah mendekati 50 Ohm yaitu sebesar 49 Ohm. (M. Purwa Manggala, 2015).

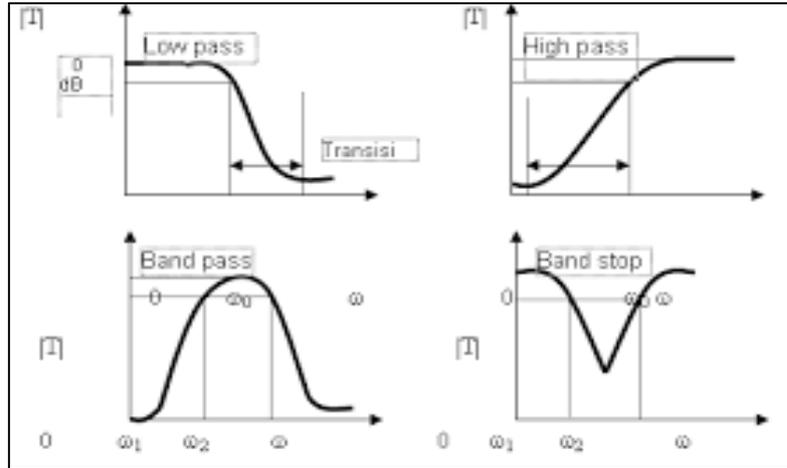
2. Metode

2.1. Radar Navigasi

Radar navigasi dapat beroperasi pada pita frekuensi x-band. Dimana pita frekuensi X-Band memiliki frekuensi kerja 8-12 GHz. Pada aplikasi radar navigasi ini digunakan rentang frekuensi kerja di 9,1 GHz.

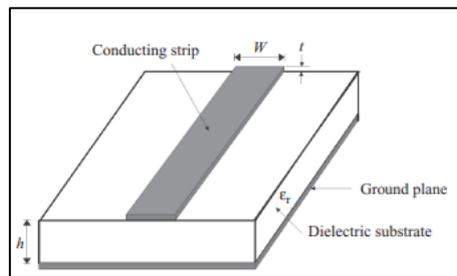
2.2. Filter

Filter berfungsi untuk menyaring sinyal-sinyal yang tidak diinginkan sehingga proses pengiriman informasi dapat diterima dengan baik.(A. Havis, 2018). Filter dapat meloloskan sinyal dengan frekuensi tertentu dan meredam frekuensi yang lain. Berdasarkan daerah frekuensi yang diloloskan dan diredamnya filter dibagi menjadi beberapa macam yaitu, *Low Pass Filter*, *High Pass Filter* *Bandpass filter*, dan *Bandstop Filter*.



Gambar 1. Jenis - Jenis Filter.

2.3. Perancangan Mikrostrip



Gambar 2. Struktur Mikrostrip.

Pada perancangan mikrostrip nilai $u = W/h$ diperoleh dari nilai Z_0 dan ϵ_r yang sudah ditetapkan. Menurut Hammerstad W/h dapat dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) (Nabela Toresa Anggraini, 2021). Perhitungan ini dilakukan dengan kondisi W/h kurang dari atau sama dengan 2.

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

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

Sedangkan, jika kondisi W/h lebih dari atau sama dengan 2 maka menggunakan persamaan (3) dan (4)

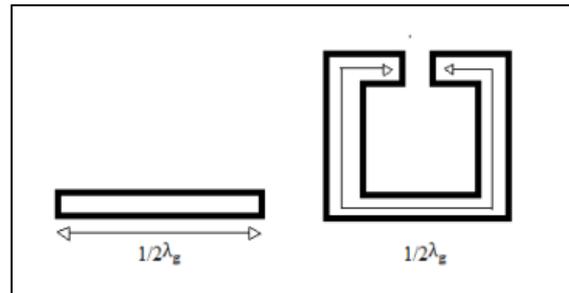
$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left[(B-1) - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B-1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right] \quad (3)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

2.4. Square Open-Loop Resonator

Filter dengan metode resonator berbentuk *ring*, baik kotak ataupun bulat, memiliki bentuk dan rangkaian yang sederhana. Dimensi dari *filter* ini bernilai sama dengan kelipatan dari jari-jari resonator *ring*, baik kotak ataupun lingkaran.

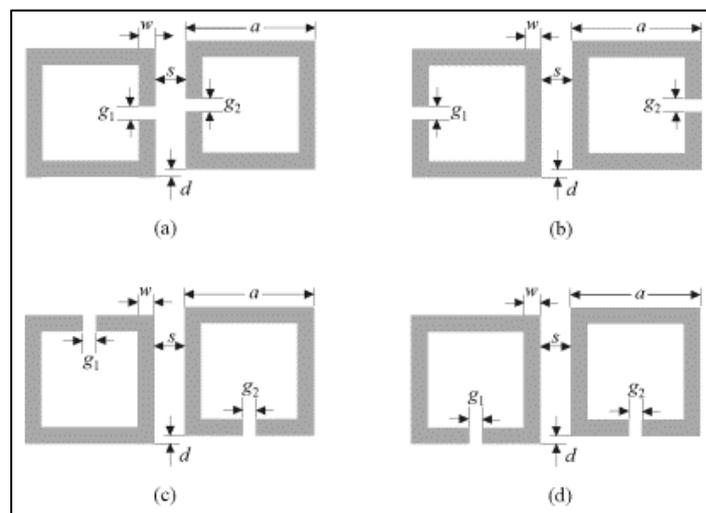
Square resonator adalah resonator panjang yang dibentuk dengan cara ditekuk 90 derajat sehingga membentuk gap antara kedua ujung resonator. Secara teori *resonator* dapat bekerja sesuai dengan frekuensi yang diinginkan, maka panjang dari sebuah resonator harus dirancang dengan panjang $1/2\lambda_g$.



Gambar 3. Square Open-Loop Resonator.

2.5. Kopling Antar Resonator

Pada umumnya tipikal mikrostrip yang dipasang berpasangan seperti resonator yang ditunjukkan pada gambar 4, (D.W.Astuti, 2016) masing-masing dari resonator tersebut pada dasarnya adalah resonator setengah lamda yang ditebuk menjadi beberapa bagian. Struktur dari masing-masing resonator menghasilkan medan elektromagnetik yang berbeda yang dipisahkan oleh jarak s . maka setiap kopling pada struktur tersebut adalah kopling dengan jarak yang berdekatan. Jarak kopling antar resonator memiliki kekuatan yang berbeda (Muhammadin, 2020).



Gambar 4. Kopling antar Resonator (a), Kopling Elektrik (b), Kopling Magnetik (c), dan Kopling Mixed (d)

Jenis kopling elektrik dapat ditunjukkan pada gambar (a). dimana terdapat dua buah resonator yang berdekatan dengan gap yang saling berhadapan. Kopling elektrik dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

$$K_e = \frac{\pi}{16} \cdot F_e \cdot \exp(-Ae) \cdot \exp(-Be) \cdot \exp(-De) \quad (5)$$

2.6. Perancangan Bandpass filter

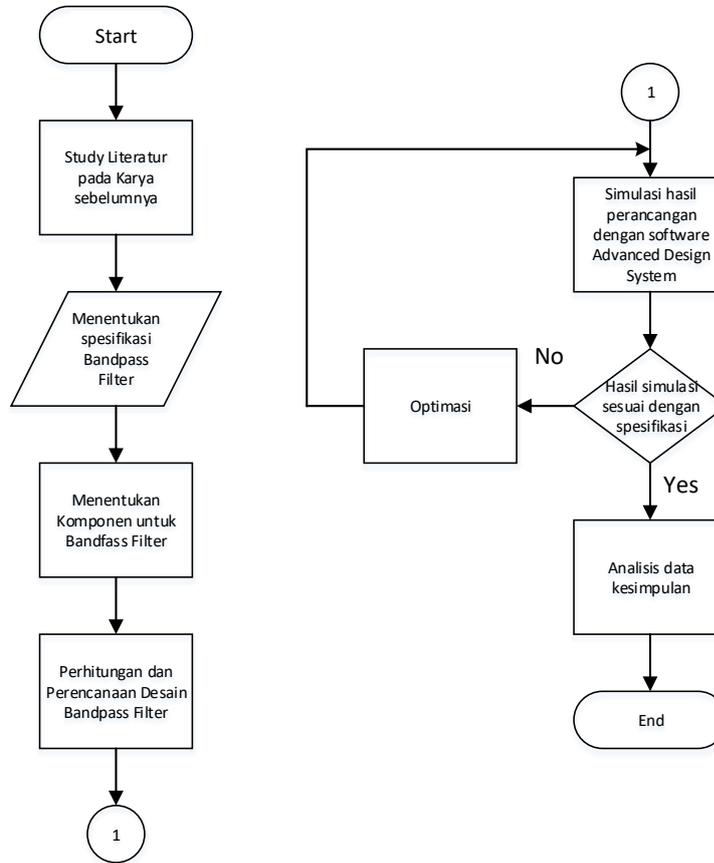
Perancangan filter dilakukan dengan perangkat lunak *Advanced Design System 2017* dengan bahan *subtrat Rogers RT5880*. Tahapan perancangan antenna tersebut sesuai dengan Gambar (5) dengan spesifikasi antenna yang dirancang diperlihatkan Tabel 1. Tabel 1 merupakan spesifikasi filter yang akan dirancang dengan menggunakan metode *square loop* resonator dan dirancang dengan jenis substrat RT-5880.

Tabel 1 Spesifikasi Perancangan Filter.

Spesifikasi	Nilai
Frekuensi Tengah (GHz)	9,1 GHz
Bandwidth (MHz)	≥ 200
Return loss (dB)	≥ 10
Insertion loss(dB)	≥ 3

Pada tahap awal dilakukan studi literatur dengan merujuk pada karya sebelumnya sebagai bahan referensi dalam desain *bandpass* filter. selanjutnya menentukan spesifikasi *bandpass* filter yang akan didesain dan akan direalisasikan dan menentukan komponen apa yang harus digunakan agar hasil dari desain *bandpass* filter tersebut dapat bekerja dengan baik dan memenuhi syarat spesifikasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Sebelum melakukan simulasi desain

menggunakan diperlukan proses perhitungan dimensi dan perencanaan desain yang diinginkan, supaya hasil dari simulasi tersebut dapat memenuhi syarat spesifikasi yang ditentukan. Jika hasil simulasi pada *software* ADS tidak sesuai dengan syarat spesifikasi yang sebelumnya telah ditentukan maka pada proses simulasi akan dilakukan optimasi dengan cara mengubah sedikit demi sedikit ukuran dari dimensi yang telah dihitung sampai hasil simulasi mendekati nilai spesifikasi atau hasil simulasi memenuhi standar spesifikasi *bandpass* filter. Langkah terakhir yaitu melakukan analisis dan menarik kesimpulan dari hasil kerja perancangan filter yang telah dilakukan.



Gambar 5. Alur Pengerjaan Penelitian.

2.7. Perhitungan Dimensi Filter

- Penentuan orde

$$\Omega\alpha = \frac{f2}{f0} \quad (6)$$

- Perhitungan lebar resonator (W)
Lebar resonator dihitung dengan menggunakan persamaan (1)
- Perhitungan lebar saluran *input* dan *output* (Wf)
Lebar saluran *input* dan *output* dapat dihitung menggunakan persamaan (4)
- Perhitungan konstanta elektrik
Perhitungan konstanta elektrik dilakukan karena sebelum menghitung panjang dari resonator maka perlu diketahui terlebih dahulu nilai dari konstanta dielektrik. Konstanta dielektrik dapat dihitung menggunakan persamaan (7)

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{2} \left(1 + \frac{10}{w/h}\right)^{-ab} \quad (7)$$

$$\alpha = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{(w/h)^4 + \left(\frac{w/h}{52}\right)^2}{(w/h)^4 + 0,432} \right] + \frac{1}{18,7} \ln \left[1 + \left(\frac{w/h}{18,1}\right)^3 \right] \quad (8)$$

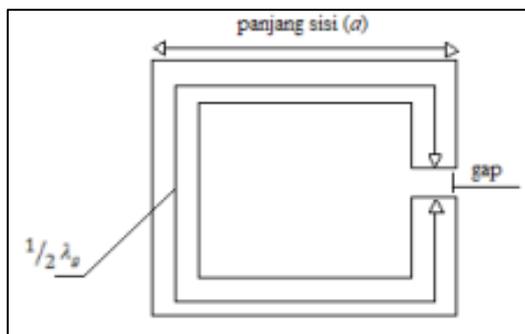
$$b = 0,564 \left(\frac{\epsilon r - 0,9}{\epsilon r + 3}\right)^{0,053} \quad (9)$$

- Perhitungan panjang resonator (L)
Panjang saluran resonator dihitung dengan persamaan (10)

$$\lambda_g = \frac{300}{f_c(\text{GHz})\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \text{ mm} \quad (10)$$

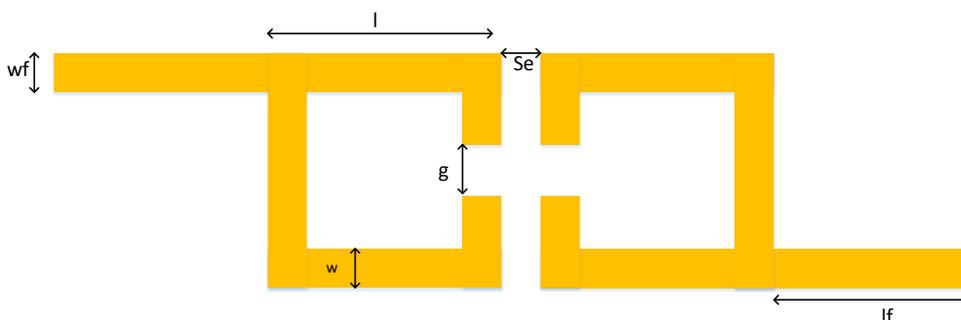
Karena panjang resonator adalah $\frac{\lambda}{4}$ maka panjang resonator adalah

$$l = \frac{(1/2\lambda_g + \text{gap})}{4} + w_r \quad (11)$$



Gambar 6. Panjang Saluran Resonator.

- Perhitungan kopling elektrik (Se)
Kopling elektrik merupakan jarak pemisah antara resonator, sehingga jarak ini dapat dihitung dengan persamaan (5)

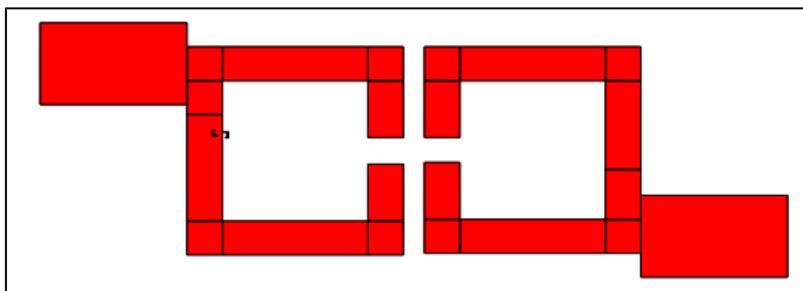


Gambar 7. Ilustrasi Dimensi Desain Perancangan yang akan dibuat.

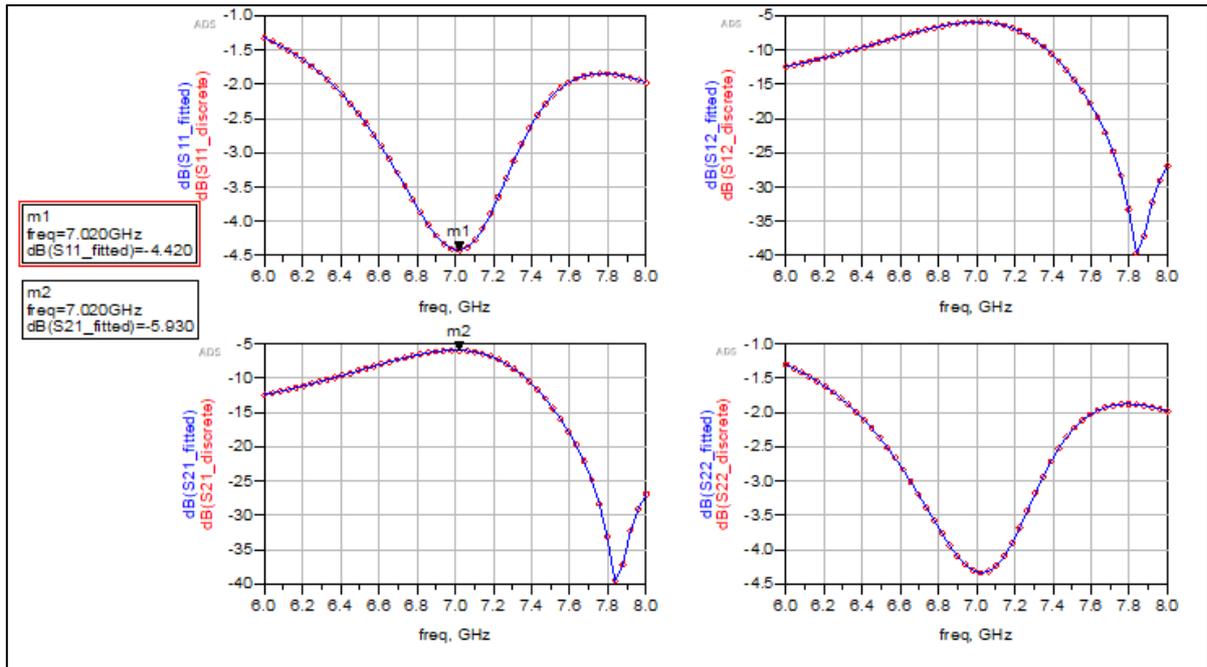
Tabel 2. Dimensi Perancangan Hasil Perhitungan.

Simbol	Parameter	Nilai Parameter (mm)
W	Lebar Resonator	1,96
L	Panjang resonator	4,66
Wf	Lebar <i>feed</i> (saluran)	4,85
Lf	Panjang <i>feed</i> (saluran)	7,87
Se	Jarak kopling Elektrik	1,13
G	Jarak Gap resonator	2

3. Hasil dan Pembahasan

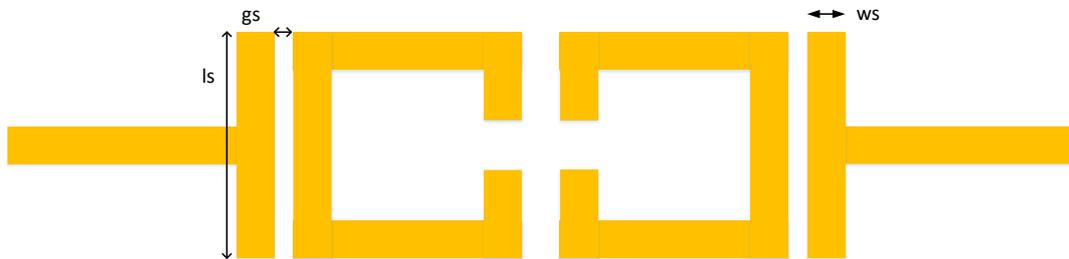


Gambar 8. Dimensi Perancangan Filter Sesuai Hasil Perhitungan.



Gambar 9. S-Parameter Hasil Simulasi Filter Dimensi Sesuai Perhitungan.

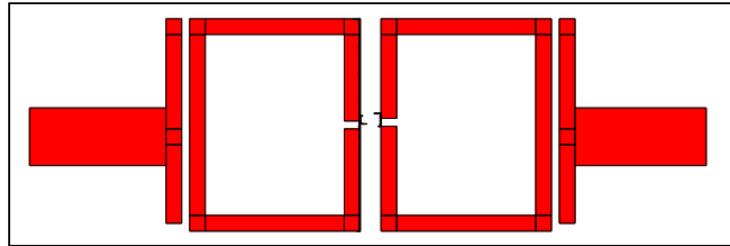
Gambar 9 merupakan hasil simulasi yang didapat diantaranya parameter S2.1 yang didapat sebesar 5,9 dB pada frekuensi 7,0 GHz. dan untuk parameter S1.1 yaitu *return loss* didapat sebesar 4,4 dB. Sehingga jika dilihat dari parameter S1.1 dan S2.1 keduanya belum memenuhi syarat spesifikasi yang diinginkan. Maka dilakukan optimasi pada perancangan filter. Optimasi dilakukan dengan cara merubah dimensi dari filter diantaranya panjang resonator, tebal resonator, panjang saluran, tebal saluran, dan jarak baik itu jarak antar resonator, gap dari resonator, jarak antar resonator dengan saluran, dan saluran *Edge Couple to I/O Lines*.



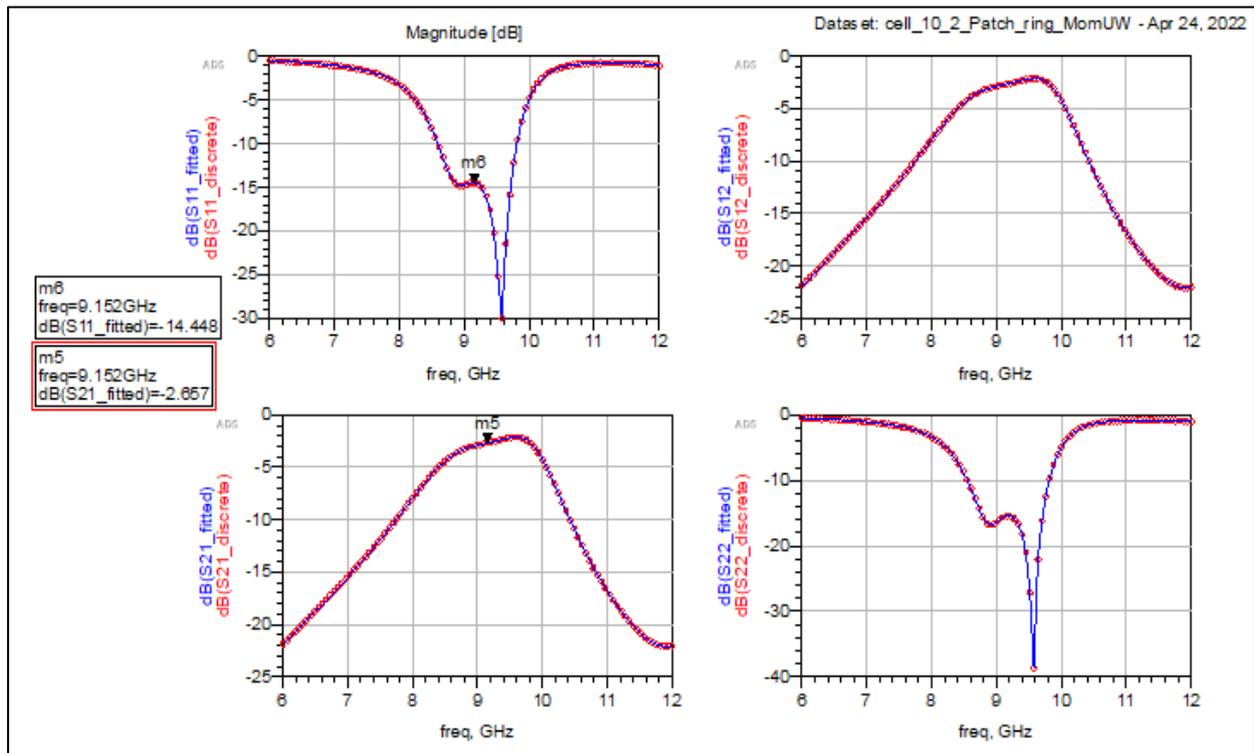
Gambar 10. Ilustrasi Desain dengan Penambahan Saluran *Edge Couple to I/O Lines*.

Tabel 3. Dimensi yang Hasil Optimasi dengan Penambahan Saluran *Edge Couple to I/O Lines*.

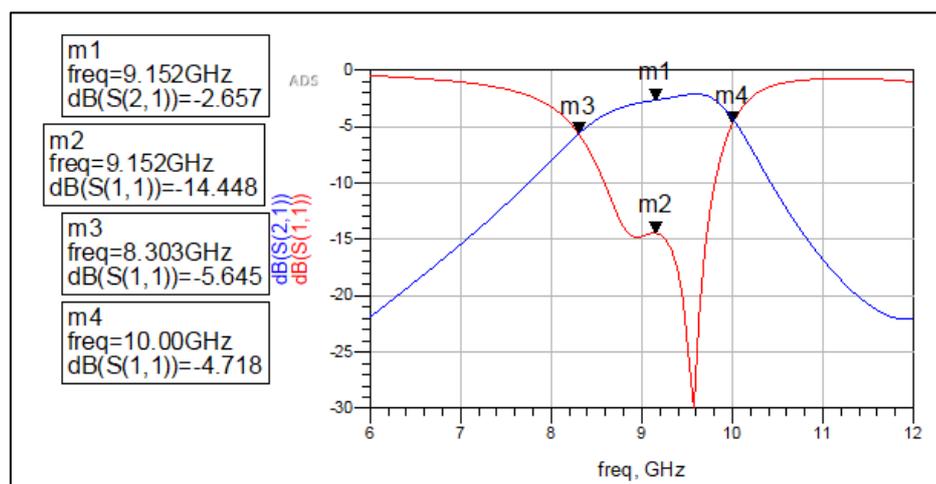
Symbol	Parameter	Nilai Parameter (mm)
w	Lebar resonator	0,6
L	Panjang resonator	8,1 dan 6,50
wf	Lebar <i>feed</i> (saluran)	2,2
lf	Panjang <i>feed</i> (saluran)	5,2
Se	Jarak kopling elektrik	0,8
g	Jarak gap resonator	0,3
Ls	Panjang <i>edge couple</i>	7,6
Ws	Lebar <i>edge couple</i>	0,6
Gs	Jarak <i>edge couple</i> dan resonator	0,3



Gambar 11. Perancangan Filter Hasil Optimasi dan Penambahan Saluran *Edge Couple to I/O Lines*.



Gambar 12. S-Parameter Hasil Optimasi.



Gambar 12. Parameter S1.1 Terhadap S2.1.

Tabel 4. Perbandingan Parameter yang Dihasilkan Sebelum dan Setelah Ditambahkan Saluran *Edge Couple to I/O Lines*.

Parameter	Perhitungan	dengan <i>Couple Edge I/O</i>
Frekuensi tengah (GHz)	7,0	9,1
<i>Insertion loss (dB)</i>	5,9	2,6
<i>Return loss (dB)</i>	4,4	14,4
<i>Bandwidth(MHz)</i>	-	1700

Agar filter dapat menghasilkan respon yang tajam dengan menggunakan 2 *patch* maka perlu ditambahkan saluran *input Edge Couple to I/O Lines* seperti pada Gambar 10. Setelah dilakukan proses optimasi didapat hasil parameter S1.1 sebesar 2,5 dB, parameter ini telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu lebih kecil atau sama dengan 3 dB. Sedangkan parameter S2.1 didapat sebesar 14,4 dB yang ditandai dengan marker 6 pada Gambar 12 dimana parameter ini telah memenuhi spesifikasi. *Bandwidth* yang dihasilkan juga sebesar 1,5 GHz yang dihitung antara *range* F1 dan F2, F1 dan F2 ditunjukkan oleh marker 3 dan marker 4 sehingga *bandwidth* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Juga frekuensi tengah yang dihasilkan sudah berada pada frekuensi 9,1 GHz. Pada Gambar 8 perancangan sesuai perhitungan rumus dan belum dioptimasi mempunyai saluran diatas dan di bawah, bentuk saluran dapat beragam dan disesuaikan dengan hasil respon yang diinginkan, namun bentuk saluran seperti itu tidak menghasilkan respon yang baik karena saluran yang *mismatch* dengan resonator. Sehingga pada optimasi, dapat dilihat pada Gambar 9 dimana tidak ada respon. posisi dibuat sejajar seperti pada Gambar 11 membuat kondisi *match* antara saluran *input* dan saluran *output*.

Kesimpulan

Hasil penelitian telah berhasil dilakukan yang ditandai dengan semua hasil parameter yang telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dalam penelitian terdapat temuan yaitu penambahan *Edge Couple to I/O Lines* pada saluran dapat menghasilkan respon filter yang tajam mendekati nilai kurang dari atau sama dengan 2, walaupun belum nilai yang didapat belum ideal tapi telah lebih baik dari hasil perancangan yang sebelum ditambahkan *Edge Couple to I/O Lines*.

Daftar Pustaka

- Al Havis, A. F. (2018). Filtering Sinyal Menggunakan Band Pass Filter. *Jurnal SIFO Mikroskil*, 2018, 19.2: 37-48.
- Aldef Hardzi Fadzlullah, D. A. (2017). PERANCANGAN DAN REALISASI BANDPASS FILTER BERBASIS MIKROSTRIP MENGGUNAKAN METODE SQUARE LOOP RESONATOR PADA FREKUENSI 1710 - 1785 MHZ UNTUK TEKNOLOGI LONG TERM EVOLUTION (LTE).
- Astuti, D. W. (2016). Realisasi Bandpass Filter Square Open Loop Resonator pada Aplikasi UMTS. *Jurnal Elektro*, 9(1), 11-22.
- Intan Nuraeni Agfah, H. W. (2017). BANDPASS FILTER MIKROSTRIP X-BAND UNTUK RADAR CUACA DENGAN METODE SQUARE RING RESONATOR. *e-Proceeding of Engineering*, 4.
- Lukman Medriavin Silalahi, S. B. (2020). Bandpass Filter Design using the Square Loop Resonator on 3 GHz Frequency for Radar Applications. *IEEE*.
- M. Purwa Manggala, H. W. (2015). PERANCANGAN FILTER SQUARE LOOP RESONATOR PADA FREKUENSI 2350 MHZ UNTUK APLIKASI SATELIT NANO.
- Muhammadin, D. R., Ali, E., & Pramudita, A. A. (2020). Perancangan Filter Bandpass Compline 3 Ghz Pada Sistem Pemancar Radar Gelombang Kontinu. *eProceedings of Engineering*, 7(2).
- Nabela Toresa Anggraini, E. H. (2021). *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 7. National Aeronautics and Space Administration. (2015, May 5). *Open Return Wind Tunnel*. Retrieved June 24, 2015, from <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunoret.html>
- Reza Dipayana, Y. S. (2019). RANCANG BANGUN BANDPASS FILTER DENGAN METODE SQUARE OPEN LOOP RESONATOR UNTUK APLIKASI DIGITAL V.
- Yurson, E. D. (2020, December 2). X-Band Microstrip Bandpass Filter Design using Square Loop Resonator and Defected Ground Structure. *Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems*, Vol.07, 01-05. Retrieved from <https://journals.telkomuniversity.ac.id/jmecs/article/view/2037>.