

RANCANG BANGUN BANDPASS FILTER MIKROSTRIP MENGGUNAKAN METODE *INTERDIGITAL COUPLE* DENGAN *OPEN STUB* DAN *DGS* PADA FREKUENSI X-BAND 9,4 GHz UNTUK RADAR PENGAWAS PANTAI

Efri Sandi^{1*}, Melia Putri Pebriani¹, Maulana Ali Arifin², dan Anshari Akbar²

¹Universitas Negeri Jakarta, Jakarta Timur, 13220, Indonesia

²Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bogor, 16915, Indonesia

*) E-mail: efri.sandi@unj.ac.id

Abstrak: Penelitian ini menggunakan desain filter mikrostrip interdigital menggunakan open stub dan defected ground structure untuk aplikasi radar pengawasan pantai. Desain yang diusulkan menggunakan metode open stub untuk meningkatkan kinerja bandwidth dan defected ground structure untuk meningkatkan kinerja return loss dan insertion loss. Kinerja bandwidth, return loss, dan insertion loss filter yang diusulkan akan dibandingkan dengan desain filter interdigital konvensional untuk menentukan peningkatannya. Hasil numerik dan simulasi menunjukkan peningkatan kinerja bandwidth, return loss, dan insertion loss secara signifikan dibandingkan dengan desain konvensional. Desain filter yang diusulkan dapat beroperasi pada pita frekuensi 9,4 GHz dengan bandwidth 60 MHz, dengan return loss ≤ -10 dB dan insertion loss ≥ -3 dB. Hasil ini membuktikan bahwa desain filter yang diusulkan dapat digunakan untuk aplikasi radar pengawasan pantai pada X-Band.

Kata kunci: *bandpass filter, interdigital couple, microstrip, frequency modulated continuous wave*

Design of Bandpass Microstrip Filter Using Interdigital Couple Method with Open Stub and DGS at X-Band Frequency 9.4 GHz for Coastal Surveillance Radar

Abstract: This study uses an interdigital microstrip filter design using open stub and defected ground structure for coastal surveillance radar applications. The proposed design uses the open stub method to improve bandwidth performance and defected ground structure to improve return loss and insertion loss performance. The bandwidth, return loss, and insertion loss performance of the proposed filter will be compared with conventional interdigital filter designs to determine their improvements. Numerical and simulation results show significant improvements in bandwidth, return loss, and insertion loss performance compared to conventional designs. The proposed filter design can operate in the 9.4 GHz frequency band with a bandwidth of 60 MHz, with a return loss of ≤ -10 dB and an insertion loss of ≥ -3 dB. These results prove that the proposed filter design can be used for coastal surveillance radar applications in the X-Band.

Keywords: *bandpass filter, interdigital couple, microstrip, frequency modulated continuous wave*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di Indonesia, khususnya dalam bidang telekomunikasi berkembang semakin pesat. Salah satu perkembangan teknologi yang sangat penting adalah dengan adanya sistem radar yang digunakan untuk kepentingan pengawasan pantai.

Pemanfaatan teknologi radar merupakan alternatif untuk meningkatkan kemampuan dalam mengawasi dan mengamankan perairan pantai. Radar akan mengawasi pergerakan kapal yang memasuki wilayah Indonesia sehingga dapat mencegah aktivitas kapal yang merugikan Negara Indonesia (Coastal, et al., 2016). Pusat Penelitian Elektronik dan Telekomunikasi (PPET) LIPI merancang radar pengawas pantai yang diberi nama (Indonesia *Sea Radar*). Radar *Isra* ini untuk mengawasi lalu lintas laut sehingga dapat mencegah tindakan yang merugikan warga, dan juga tabrakan kapal apabila hendak merapat ke pelabuhan. Indonesia *Sea Radar* menggunakan Teknologi terbaru di bidang radar yakni *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW), system tersebut menerapkan frekuensi gelombang radio berkelanjutan yang stabil dan diatur dengan sinyal modulasi triangular. Dengan demikian, *system* itu akan mengubah secara bertahap dan bercampur bersama sinyal yang terefleksikan dari objek yang hendak dipantau (Wahab, 2010).

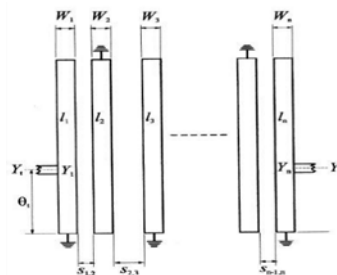
System radar pengawasan pantai terdiri atas dua bagian yaitu pemancar dan penerima, dimana pada masing-masing terdapat suatu filter (Fauzi, 2012). Pada umumnya, filter adalah melewati sinyal masukan pada frekuensi tertentu dan meredam sinyal masukan pada frekuensi lainnya. Setiap sistem harus memilih interval frekuensi tengah tertentu yang akan memiliki bandpass filter di dalamnya, yang ditandai dengan frekuensi cut-off bawah dan atas. Bandpass filter adalah perangkat yang sangat penting dalam sistem telekomunikasi, diantaranya untuk aplikasi yang beroperasi pada frekuensi X-Band. X-Band adalah frekuensi gelombang yang range frekuensinya dari 8-12 GHz. Untuk aplikasi radar, filter dibutuhkan untuk memisahkan sinyal informasi dari sinyal deraunya agar didapat sinyal informasi yang sebisa mungkin bersih dari derau, sehingga perlu dilakukan filtering (Panji, et al., 2009).

Pada frekuensi tinggi perancangan filter menggunakan *lumped element* menyebabkan karakteristik dari induktor dan kapasitor sulit direalisasikan. Oleh karena itu, perancangan filter pada frekuensi tinggi sering menggunakan mikrostrip. Mikrostrip termasuk jenis saluran transmisi yang dibuat menggunakan teknologi PCB, kelebihanannya dalam penggunaan adalah lebih tipis dan lebih ringkas, sangat cocok untuk frekuensi tinggi, dan fabrikasi relative mudah (Panji, et al., 2009). Disamping kelebihan yang dimiliki filter mikrostrip, filter mikrostrip juga memiliki kekurangan seperti dimensi fisik pada filter, *bandwidth* yang dihasilkan terutama pada frekuensi tinggi dan kerugian daya atau *return loss* yang tinggi. Namun dengan menggunakan metode interdigital pada filter mikrostrip dapat berguna untuk mengatasi permasalahan dimensi fisik pada filter. Penelitian sebelumnya menghasilkan filter mikrostrip interdigital dengan dimensi elemen orde sebanyak lima dengan ukuran yang relatif lebih kecil (Lugina, et al., 2018).

Selain dimensi filter, *bandwidth* yang rendah dihasilkan pada filter mikrostrip dengan menggunakan metode *open stub* pada resonator. Pada penelitian sebelumnya, penambahan *open stub* pada bandpass filter menghasilkan stop-band rejection pada filter, sehingga dapat menghilangkan frekuensi resonan dan ripple yang tidak diperlukan. Filter bekerja pada frekuensi 9,4 GHz dengan *bandwidth* yang dihasilkan 60 MHz dengan jarak S1 0,265 mm dan S2 0.2 mm pada jarak tersebut didapatkan parameter sesuai dengan karakteristik filter yang diinginkan (Wahab, 2010). Selanjutnya, kerugian daya atau *return loss* yang tinggi pada filter mikrostrip dengan menambahkan *defected ground structure* pada *ground plane*. Pada penelitian sebelumnya, diperoleh hasil nilai dari *return loss* sebesar -10.82 dB dengan frekuensi 1918 MHz didapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi (Setiawan, et al., 2014). Melalui hasil yang diperoleh pada penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa filter mikrostrip interdigital membutuhkan penambahan metode *open stub* pada resonator untuk mempersempit nilai *bandwidth* dan *defected ground structure* pada *ground plane* untuk memperbesar nilai *return loss* dan *insertion loss*. Sehingga pada penelitian ini, penulis akan menerapkan metode interdigital filter, *open stub* pada resonator, dan *defected ground structure* pada *ground plane* untuk mendapatkan parameter yang sesuai dengan spesifikasi.

METODE

Metode interdigital adalah salah satu jenis mikrostrip yang digabungkan. Filter interdigital biasanya diimplementasikan dalam bentuk microstrip (Sulaeman et al., 2013). Konfigurasi filter terdiri dari deretan resonator saluran transmisi mode n-TEM atau quasi-TEM. Metode interdigital memiliki panjang saluran resonator $a/4$ pada frekuensi tengah, *short circuit* pada salah satu ujung saluran dan *open circuit* pada ujung saluran yang lain. 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 $i = 1 \dots n-1$ dan admitansi karakteristik Y_n (Lugina, et al., 2018).



Gambar 1. Konfigurasi umum filter interdigital (Lugina, et al., 2018)

Filter untuk radar pengawasan pantai dapat bekerja dalam rentang frekuensi 8-12 GHz (Wahab, 2010). Penelitian ini menggunakan frekuensi kerja 9,4 GHz agar desain filter dapat dilihat peningkatan performanya. Kemudian, filter dibuat dengan spesifikasi frekuensi, bandwidth, return loss dan insertion loss (Coastal, et al., 2016), yaitu:

Tabel 1. Karakteristik filter (Coastal, et al., 2016)

No.	Parameter	Nilai
1.	Frekuensi	9,4 GHz
2.	Bandwidth	60 MHz
3.	Return Loss	≤ -10 dB
4.	Insertion Loss	≥ -3 dB

Metode mikrostrip yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah filter interdigital dengan penambahan metode open stub dan defected ground structure. Filter ini menggunakan substrat satu lapis dengan interdigital mikrostrip, pada lapisan bawah yaitu ground plane dan resonator pada lapisan atas. Parameter substrat dapat dipilih untuk meningkatkan bandwidth dan ground plane untuk meningkatkan return loss dan insertion loss (Setiawan, et al., 2014).

A. Perhitungan Orde Filter

Desain filter ini dimulai dengan menentukan orde filter dan jumlah elemen yang diperlukan untuk membangun perangkat filter (Coastal, et al., 2016):

$$\Omega_a = \frac{fc_2}{f_o}$$

B. Menghitung Lebar Resonator dari Filter Mikrostrip

Untuk menghitung lebar resonator, pertama-tama tentukan lebar dan ketebalannya ($\frac{W}{h}$) dan konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) (Zulhijah, 2017):

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

Dimana B ditentukan oleh persamaan (Zulhijah, 2017):

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

Dimana lebar resonator (w) ditentukan oleh persamaan (Hariyadi, et al., 2017):

$$W = \frac{W}{h} \times h$$

C. Menghitung Panjang Resonator dari Filter Mikrostrip

Panjang resonator filter mikrostrip dapat ditentukan dengan persamaan (Basavaraju, et al., 2017):

$$L_{res} = \frac{\lambda}{4} \sqrt{\epsilon_{eff}}$$

Dimana λ_o ditentukan oleh persamaan (Mabrok, et al., 2016):

$$\lambda_o = \left(\frac{c}{f_o}\right) \times 1000$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1+12\frac{h}{w}}} \right]$$

Metode ini menguntungkan untuk meningkatkan dimensi filter, karena hanya menggunakan orde kelima, sehingga menghasilkan ukuran yang lebih kecil (Setiawan, et al., 2014).

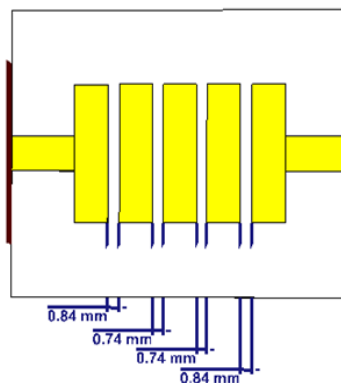
HASIL DAN PEMBAHASAN

Filter interdigital yang diusulkan telah disimulasikan menggunakan Perangkat lunak Studio Suite 2019, dan kinerja filter telah dianalisis dalam hal bandwidth, return loss, insertion loss, dan frekuensi resonansi.

Langkah pertama dari penelitian ini adalah mendesain filter interdigital mikrostrip konvensional. Filter ini terdiri dari substrat dan ground plane, sebuah resonator pada lapisan atas substrate dan garis mikrostrip pada bagian bawah ground plane. Resonator dan ground menggunakan lapisan tembaga dengan ketinggian 0,031 mm. Menggunakan substrat Rogers RT 5880 dengan ketebalan 0,787 mm.

Dan kemudian, filter dirancang untuk menjadi susunan filter mikrostrip konvensional dengan menggunakan persamaan (Hariyadi, et al., 2017). (Gambar 2)

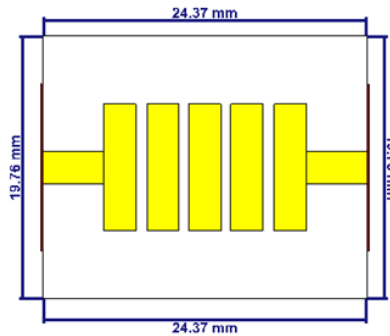
$$K_{i,i+1} = \frac{BW}{f_o \sqrt{g_i g_{i+1}}}$$



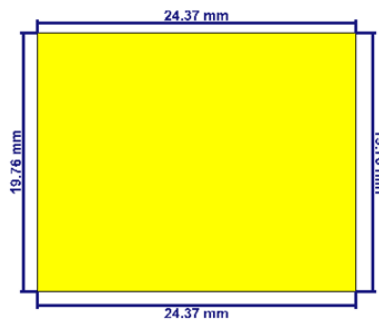
Gambar 2. Jarak antar resonator

Metode interdigital dapat digunakan untuk mengatasi masalah dimensi fisik pada filter. Fungsi dari jarak antar resonator adalah untuk menghindari saling kopling atau munculnya tegangan pada filter akibat arus yang berdekatan (Panji, et al., 2009).

Geometri filter interdigital mikrostrip konvensional yang dirancang telah ditunjukkan dalam Gambar 3(a) dan 3(b). Dimensi filter adalah sebagai berikut: ground plane panjang $L_g = 24.369$ mm, lebar $W_g = 19.761$ mm dari substrat dengan panjang $L_s = 24.369$ mm, dan lebar $W_s = 19.761$ mm. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3, desain filter beroperasi pada 9,4 GHz. Filter ini memiliki bandwidth of 60 MHz.



Gambar 3a. Filter interdigital mikrostrip konvensional lapisan atas

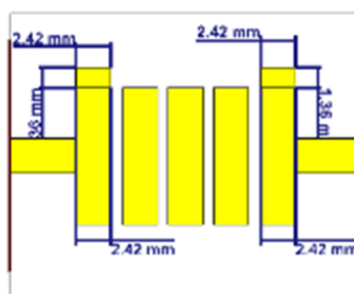


Gambar 3b. Filter interdigital mikrostrip konvensional lapisan bawah

Kemudian, filter interdigital mikrostrip konvensional dimodifikasi dengan Open Stub dan Defected Ground Structure (Setiawan, et al., 2014).

A. Perhitungan Metode Open Stub

Metode Open Stub menambahkan bagian resonator pertama dan terakhir dengan bentuk kotak. Dimensi metode Open Stub ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Desain filter interdigital dengan metode Open Stub

Dimana λ_g ditentukan oleh persamaan (Lugina, et al., 2018):

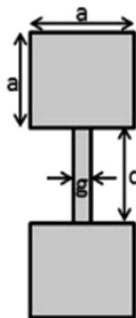
$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{ff}}}$$

Panjang open stub didefinisikan sebagai:

$$L_{stub} = \frac{\lambda_g}{\text{variabel panjang stub}}$$

B. Perhitungan Metode Defected Ground Structure

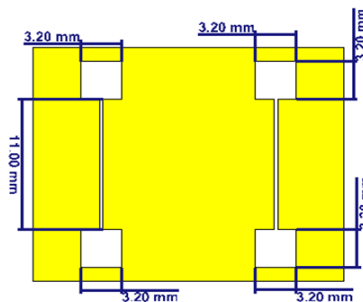
Dalam metode defected ground structure, pada ground untuk meningkatkan nilai return loss and insertion loss. Metode ini memotong bidang ground plane sebagai langkah struktur berbentuk I-Shaped defected ground structure berdasarkan perhitungan (Kumar & Kartiyen, 2016). Detail desain metode defected ground structure ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Detail desain dari metode defected ground structure (Kumar & Kartiyen, 2016)

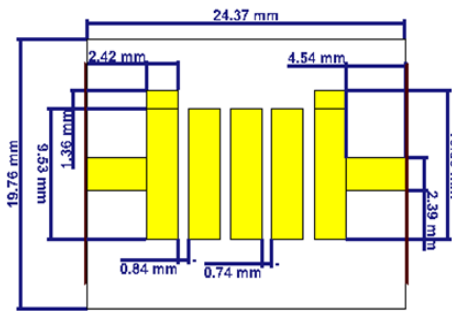
Defected ground structure pada ground plane menentukan lebar kotak dgs $a = 3.2$, lebar saluran dgs $g = 0.3$, dan panjang saluran dgs $d = 11$ (Kumar & Kartiyen, 2016).

Berdasarkan rumus, desain filter mikrostrip dengan kombinasi defected ground structure.

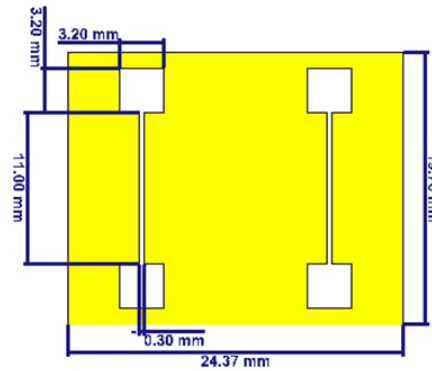


Gambar 6. Desain filter interdigital dengan defected ground structure

Dimensi filter interdigital dengan open stub dan defected ground structure adalah sebagai berikut: panjang (L_g) = 24.369 mm, lebar (W_g) = 19.761 mm dari substrate dengan panjang L_s = 24.369 mm, dan lebar W_s = 19.761. Filter interdigital ini beroperasi pada pita 60 MHz dan memiliki bandwidth, return loss, dan insertion loss yang lebih baik dalam hasil simulasi.



(a)



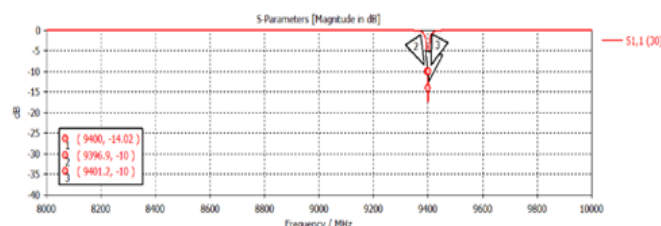
(b)

Gambar 7. Detail dimensi filter interdigital dengan open stub dan defected ground structure

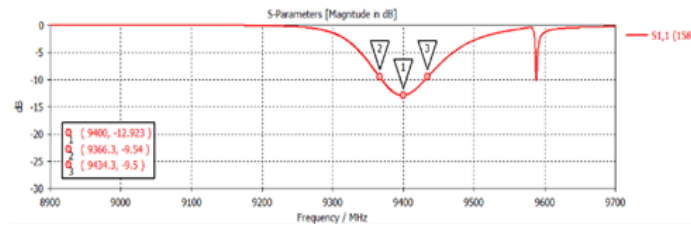
Tabel 2. Dimensi filter interdigital dengan open stub dan hasil simulasi defected ground structure

	Dimensi (mm)	
	Lebar (W)	Panjang (L)
Substrate	19.761	24.369
Ground Plane	19.761	24.369
Resonator	2.42	9.53
Saluran	2.387	5.1

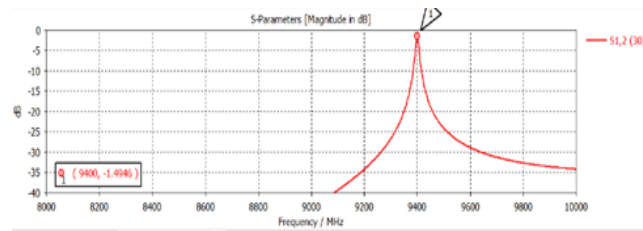
Perbandingan kinerja dari parameter filter interdigital telah ditunjukkan pada Gambar 4. Filter interdigital konvensional memiliki bandwidth 4,3 MHz dan nilai return loss -14,2 dB dan insertion loss -1,4946. Nilai parameter yang dihasilkan terutama pada bandwidth filter interdigital konvensional perlu direvisi untuk memenuhi spesifikasi parameter dan masih perlu ditingkatkan. Pada pengamatan ini, filter interdigital yang dimodifikasi dengan open stub dan defected ground structure secara efektif meningkatkan bandwidth menjadi 68 MHz, dan return loss nilai -12.923 dB dan insertion loss -0.48853 dB meningkat pada hasil simulasi di perangkat lunak.



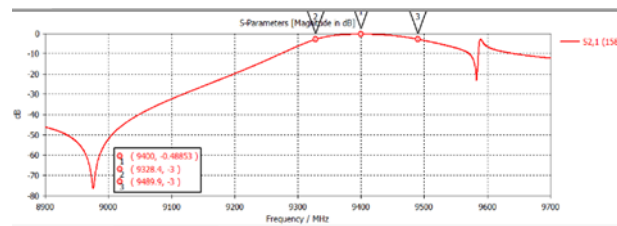
Gambar 8a. Grafik percobaan bandwidth dan return loss dari filter interdigital mikrostrip konvensional



Gambar 8b. Grafik percobaan insertion loss filter interdigital mikrostrip konvensional



Gambar 9a. Grafik percobaan bandwidth dan return loss dari filter mikrostrip interdigital dengan open stub dan defective union structure



Gambar 9b. Grafik percobaan insertion loss filter mikrostrip interdigital dengan open stub dan defected ground structure

Tabel 3. Hasil simulasi interdigital filter

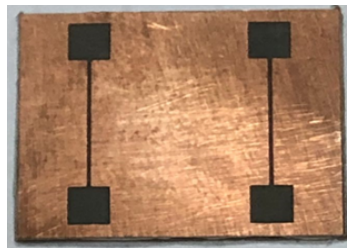
Parameter	Filter Interdigital	
	Desain Konvensional	Open Stub and Defected Ground Structure
Frekuensi (GHz)	9,4	9,4
Bandwidth (MHz)	43	68
Return Loss (dB)	-14,2	-12,923
Insertion Loss (Db)	-1,4946	-0,4885

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, memodifikasi filter interdigital dengan open stub dan defected ground structure meningkatkan bandwidth, return loss dan insertion loss (Fauzi, 2012; Kumar & Kartiyen, 2016). Filter interdigital yang dimodifikasi memiliki nilai return loss dan insertion loss yang lebih baik daripada desain konvensional.

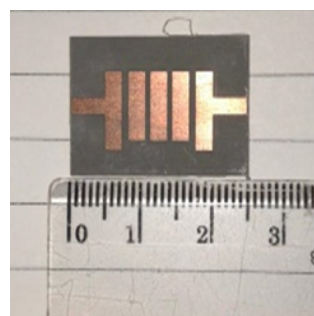
Kemudian, desain filter interdigital mikrostrip dengan open stub dan defected ground structure difabrikasi (Gambar 10).



Gambar 10a. Filter interdigital mikrostrip fabrikasi dengan open stub dan defected ground structure tampilan depan filter fabrikasi



Gambar 10b. Filter interdigital mikrostrip fabrikasi dengan open stub dan defected ground structure tampilan belakang filter fabrikasi

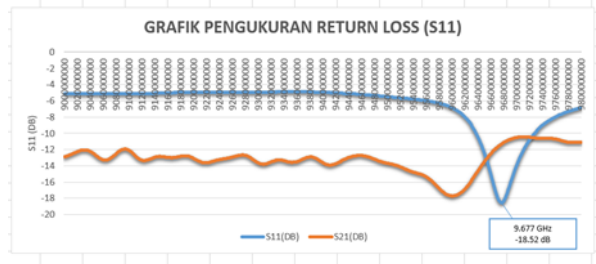


Gambar 10c. Filter interdigital mikrostrip fabrikasi dengan open stub dan defected ground structure panjang filter fabrikasi

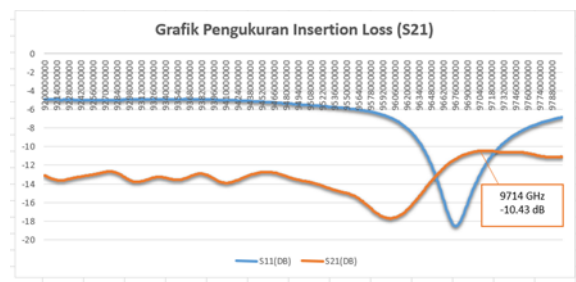


Gambar 10d. Filter interdigital mikrostrip fabrikasi dengan open stub dan defected ground structure lebar filter fabrikasi

Hasil pengukuran dari metode desain fabrikasi, yang diukur menggunakan Agilent Technologies Spectrum Analyzer, ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11a. Grafik pengukuran menggunakan penganalisis spektrum grafik pengukuran frekuensi dan return loss



Gambar 11b. Grafik pengukuran menggunakan penganalisis spektrum grafik pengukuran bandwidth dan insertion loss

Hasil simulasi dan pengukuran secara signifikan berbeda ketika diukur menggunakan spectrum analyzer. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya perbedaan ukuran pada saat proses fabrikasi, sehingga terjadi pergeseran frekuensi pada saat pengukuran. Meskipun terjadi pergeseran pada saat pengukuran, namun hasil simulasi pada perangkat lunak berhasil dengan menggunakan metode tambahan yaitu open stub dan defected ground structure, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode perancangan yang diusulkan dapat digunakan sebagai solusi untuk meningkatkan bandwidth, return loss dan insertion loss pada filter interdigital mikrostrip untuk frekuensi X-Band pada radar pengawas pantai. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar penelitian selanjutnya untuk memperbaiki pergeseran frekuensi yang terjadi pada saat pengukuran sehingga didapatkan parameter dengan spesifikasi yang ditentukan.

SIMPULAN DAN SARAN

Kombinasi metode open stub dan defected ground structure meningkatkan bandwidth, return loss dan insertion loss untuk kinerja filter mikrostrip untuk aplikasi radar pengawasan pantai. Metode desain yang diusulkan dapat meningkatkan bandwidth filter hingga 25 MHz dibandingkan dengan metode desain konvensional. Hasil simulasi dan pengukuran dari desain yang diusulkan dapat digunakan sebagai dasar pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja filter interdigital untuk radar pengawas pantai atau aplikasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Basavaraju, D.R., Kumarasmawu, H.V., Kothari, M., dan Kamat, S. (2017). "Interdigital Bandpass Filters For Duplexer Realization for LTE Band 28" pdf [online]. Pp. 1-4. Available: <https://www.semanticsholar.org/paper/Interdigital-band-pass-filters-for-duplexer-for-LTE-Basavaraju>
- Coastal, S.F., Putra, R.M., Setia, B., dan Wahyu, Y. (2016). "Design and Realization of

- bandpass filter ring square resonator based on microstrip at X-Band frequency 9.4 GHz for coast guard fmcw radar”. 3 (1), 344-353.
- Fauzi, Y. (2012). “Rancang Bangun Bandpass Filter Untuk Aplikasi Radar X-Band Menggunakan Resonator Mikrostrip Hairpin”. *Proceeding of Engineering*, Depok, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Hariyadi, S., Mulyasari, dan Mukhidin. (2017). “Design and simulation of microstrip hairpin bandpass filter with open stub and defected ground structure (DGS) at X-Band Frequency” Universitas Pendidikan Indonesia, pp. 1-9.
- Kumar, A., dan Kartiyen, M.V. (2016). “Design and realization of microstrip filters with new defected ground structure (dgs)” *Engineering science and technology an international journal*, pp. 1-8, Available: Journal homepage: www.elsevier.com/locate/jestch
- Lugina, M.M.A., Sumajuddin, B., dan Sulaeman, E. (2018). “Perancangan Dan Realisasi Bandpass Filter Interdigital Pada Frekuensi X-Band Untuk Radar Penjejak Trayektori Pada Kendali Kapal” *E-Proceeding of Engineering*, 5 (3), 5344-5351.
- Mabrok, M., Zakaria, Z., Hussin, N.A., dan Mutalib, M.A. “Microstrip bandpass filter with notch response at 5.2 GHz using stepped impedance resonator” *International Journal of Engineering Research and Technology*. Vol 11, no 3 (2018), pp.417-426
- Panji N.A., Arseno, D., dan Hardiati, S. (2009) “Desain dan realisasi bandpass filter pada frekuensi (9,3-9,5) GHz berbasis mikrostrip menggunakan metode interdigital”. *Jurnal*. 1-2.
- Setiawan, A., Hariyadi, T., dan Mulyanti, B. (2014), “Rancang Bangun Band Pass Filter Mikrostrip Hairpin dengan Open Stub dan Defected Ground Structure (DGS) untuk Frekuensi UMTS 3G (1920-1980 MHz)” *Electrans*, 13(2) pp. 107-108.
- Sulaeman, E., Sulaeman, Y., & Hercuadi, A. Y. (2021). Desain dan Implementasi Duplexer dengan Metoda Pseudo-Interdigital untuk Uplink dan Downlink LTE Design and Implementation of Duplexer with Pseudo-Interdigital Method for LTE Uplink and Downlink.
- Wahab, Mashury. (2010). “Produksi radar pengawas pantai indra 2 dan implementasinya dalam bentuk jaringan radar”. PDDI Perpustakaan Jakarta. Available: <https://library.brin.go.id/>
- Zulhijah, E. (2017) “Desain Dan Implementasi Bandpass Filter Mikrostrip Hairpin Untuk Aplikasi Wimax” (Skripsi). Jakarta, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.