

FILTER BAND-PASS HAIRPIN DENGAN DEFECTED GROUND STRUCTURE UNTUK SYNTHETIC APERTURE RADAR 1.27 GHz

DESIGN AND REALIZATION HAIRPIN BAND-PASS FILTER WITH DEFECTED GROUND STRUCTURE FOR SYNTHETIC APERTURE RADAR 1.27 GHz

Dimas Adhitama¹, Heroe Wijanto², Yuyu Wahyu³

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

³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

¹dimasadhitama94@gmail.com, ²heroe@telkomuniversity.ac.id, ³yuyu@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Synthetic Aperture Radar yang lebih dikenal dengan SAR adalah suatu teknologi penginderaan jarak jauh (remote sensing) langsung pada permukaan bumi. Agar mendapatkan hasil penginderaan yang baik, maka dibutuhkan sebuah filter. Filter yang dibutuhkan adalah *Band-pass filter* agar dapat melewati frekuensi yang diinginkan dan memotong frekuensi yang tidak diharapkan. Spektrum elektromagnetik yang terbatas dan harus dibagi, digunakan oleh filter untuk membatasi dan memilih sinyal gelombang mikro RF dengan *spectral* terbatas. Filter memiliki banyak jenis dan salah satunya adalah *band pass filter* yang meloloskan frekuensi *cut off* atas dan *cut off* bawah.

Penelitian ini melakukan peningkatan performansi dari filter dengan memodifikasi membentuk *Hairpin line* dengan penambahan *Defected Ground Structure* agar dapat memiliki nilai *insertion loss* mendekati nilai 0 pada frekuensi tengah 1.27 GHz. Bahan yang digunakan dalam filter ini adalah FR-4 Epoxy yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 4.3. Hasil pengukuran dari filter yang direalisasikan berada pada frekuensi 1231 MHz. Nilai *return loss* sebesar -17.619 dB dan nilai *insertion loss* sebesar -5.499 dengan *bandwidth* filter sebesar 65 MHz. Nilai dari frekuensi stopband bawah filter terletak pada frekuensi 1120 MHz sebesar -22.678 dB, dan nilai frekuensi stopband atas filter 1360 MHz sebesar -49.904 MHz.

Kata Kunci: Band Pass Filter DGS Hairpin, Insertion Los, Synthetic Aperture Radar

Abstract

Synthetic Aperture Radar, as known as SAR, is a remote- sensing technology toward earth surface. In order to get a good sensing results, then it needs a filter. The required filter is a Band-pass filter in order to skip to the desired frequency and frequency cut is not expected. The electromagnetic spectrum that is limited and should be divided, and used filters to limit and select the signal micro wave RF with limited spectral. The filter has many types and one of them is a band pass filter who passes frequencies cut off top and bottom cut off.

This research make improvements to performance of filter by modifying shapes of Hairpin line with the addition of Defected Ground Structure in order to have a value of insertion loss approaching a value of 0 in the Middle frequencies 1.27 GHz. Materials used in this filter is FR-4 Epoxy dielectric constants that have amounted to 4.3. The results of the measurement of filter frequency is realized on 1231 MHz with good selectivity. The value of return loss of -17.619 dB insertion loss of value -5.499 with filter bandwidth of value 65 MHz. The value of the stopband lower frequency filter lies at a frequency of 1120 MHz at -22.678 dB, and the upper stopband frequency lies at a frequency of 1360 MHz at -49.904 MHz.

Keyword : Band Pass Filter DGS Hairpin, Insertion Los, Synthetic Aperture Radar

1. Pendahuluan

Synthetic Aperture Radar atau biasa disebut SAR merupakan salah satu jenis radar yang berbeda dengan jenis radar konvensional lainnya yang mendeteksi dan memberikan informasi berupa jarak dan lokasi. SAR memberikan informasi berupa gambar atau citra. SAR merupakan salah satu teknologi *remote sensing* karena SAR memungkinkan penggunaan panjang gelombang yang lebih panjang dan mencapai resolusi yang baik dengan ukuran antenna yang wajar [1]. Untuk daerah tropis yang berawan dan hujan, sensor penginderaan jauh berdasarkan satelit optik sering mengalami kesulitan. Sensor ini belum mampu optimal menggambarkan wilayah yang tertutup oleh awan dan hujan. Penggunaan SAR untuk penginderaan jarak jauh sangat cocok untuk kondisi tropis tersebut. Dengan seleksi yang tepat frekuensi sinyal *microwave* dapat menembus kabut, hujan, dan awan dengan redaman yang sedikit. Karena SAR sensor aktif yang menyediakan sistem pencahayaan sendiri maka SAR dapat beroperasi siang dan malam hari, dan juga mampu menerangi sudut tampilan variabel yang luas. SAR telah terbukti menjadi sangat berguna diaplikasikan dalam pemantauan es, polusi pemantauan minyak, Oceanografi, dan juga pemantauan salju [2]

Agar menghasilkan citra atau gambar yang baik maka digunakan filter. Dengan *bandwidth* yang cukup sempit maka dibutuhkan *slope* yang tajam maka dari itu akan dipilih filter *chebyshev* yang memiliki selektifitas yang tinggi. Pada sistem SAR ini dirancang menggunakan sistem *Band Pass Filter* dengan frekuensi sebesar 60 MHz pada daerah kerja 1240 MHz – 1300 MHz, dengan frekuensi tengah 1270 MHz. Penelitian ini dilakukan modifikasi terhadap *Hairpin line band pass filter* dengan penambahan *Defected Ground Structure* yang bertujuan untuk meningkatkan nilai dari *insertion loss filter*. Fungsi dari *Band Pass Filter* ini adalah meredam frekuensi yang berada di bawah dan di atas frekuensi kerja. Filter tersebut akan bekerja secara optimal jika parameter-parameter yang diharapkan sesuai dengan kebutuhan.

Filter yang dirancang dengan menggunakan saluran mikrostrip dengan menggunakan bahan dielektrik yaitu FR-4 epoxy dengan nilai permitivitas dielektrik (ϵ_r) sebesar 4.3. Jenis respon frekuensi yang digunakan adalah Chebyshev dengan ripple 0.1 dB.

2. Dasar Teori

2.1 Synthetic Aperture Radar

Secara umum blok sistem komunikasi *Synthetic Aperture Radar* dibagi menjadi dua bagian yaitu pemancar dan penerima. Gelombang atau sinyal yang akan dikirimkan mulanya masuk ke *up-converter* untuk meningkatkan domain frekuensi. Kemudian gelombang tersebut masuk ke Power Amplifier (PA) untuk meningkatkan powernya, kemudian masuk ke switch untuk mengubah *transmitting window*, mana durasi waktu yang dipilih berdasarkan tujuan. Setelah melewati switch sinyal tersebut masuk ke dalam Bandpass Filter (BPF) untuk meredam frekuensi diluar frekuensi yang dikehendaki, kemudian powernya dinaikkan kembali oleh High Power Amplifier untuk transmisi jarak jauh, kemudian sinyal yang telah dikuatkan tersebut akan dikirimkan oleh antenna sebagai media pemancarnya. [4]

2.2 Filter

Filter adalah suatu piranti yang terdapat dalam rangkaian pengirim ataupun penerima sistem komunikasi. Filter berfungsi untuk menyaring dan meloloskan sinyal pada frekuensi tertentu dan meredam sinyal diluar frekuensi yang dikehendaki. *PassBand* merupakan daerah frekuensi yang diloloskan sedangkan *stopband* adalah daerah frekuensi yang tidak diloloskan. Batas daerah *PassBand* ditandai oleh frekuensi *cutoff*(f_c), yaitu titik saat dayanya turun setengahnya atau sebesar 3 dB dari frekuensi *passband*. [5]

2.3 LPF Chebyshev

Semua perancangan filter (HPF, BPF, dan BSF) berdasar pada *prototype* LPF (*Low Pass Filter*) yang kemudian ditransformasikan ke filter yang diinginkan. *Prototype* ini terdiri atas komponen-komponen L dan C yang disusun membentuk rangkaian LPF. Rangkaian *prototype* ini dibedakan menjadi 2 yaitu *prototype* yang dimulai dengan elemen induksi seri dan *prototype* yang dimulai dengan elemen kapasitor paralel. Dalam perancangan LPF Chebyshev tidak menggunakan komponen L dan C tetapi digantikna dengan nilai g_i dimana $i = 1, 2, 3, \dots, n$ dan untuk impedansi sumber digunakan g_0 .

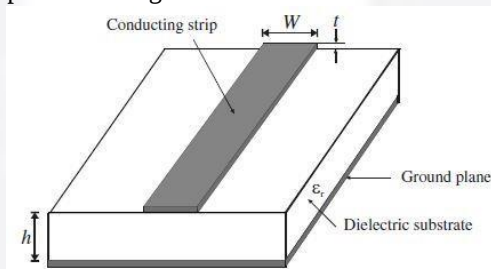
Pemilihan respon frekuensi LPF Chebyshev dikarenakan memiliki *ripple* di daerah *passband* atau daerah *stopband*nya (disebut *equal ripple*). Sehingga apabila dibuat dalam *band pass filter*, sinyal yang akan dilewatkan tidak mengalami *ripple* dan *noise* yang besar.

2.4 Parameter Filter

Dalam perancangan filter, sebelum memulai merancang suatu *filter* yang dilakukan terlebih dahulu yaitu menentukan spesifikasi yang diinginkan dari *filter* sehingga hasil rancangan tersebut sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Parameter yang akan digunakan dalam tugas akhir ini untuk mengukur kinerja suatu *filter* diantaranya adalah parameter *scattering* (Parameter S), VSWR, *return loss*, *insertion loss*, dan *factor Q*.

2.5 Microstrip Line

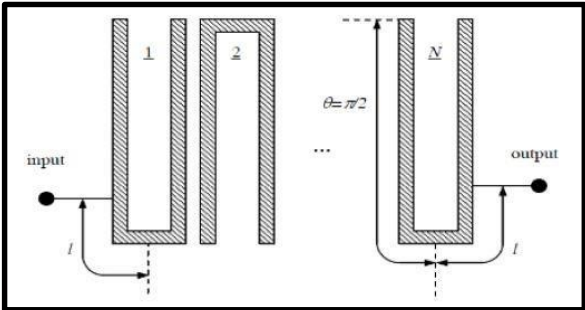
Microstrip merupakan salah satu media transmisi yang digunakan di dalam rangkaian microwave. Microstrip terdiri dari strip konduktor (microstrip line) dengan lebar (W) dan ketebalan (t) yang berada diatas substrat dielektrik yang mempunyai konstanta dielektrik relatif (ϵ_r), ketebalan (h), dan dibawah substrat terdapat konduktor ground plane [7]. Bentuk geometris dari microstrip dapat dilihat di gambar berikut:



Gambar 1 Bentuk geometric dari filter microstrip [6]

2.6 Filter Hairpin Line

Hairpin Filter adalah jenis filter yang mempunyai struktur resonator yang tersusun rapi. Filter ini mempunyai konsep yang didapat dengan lipatan resonator parallel-coupled, half-wavelength resonator filters menjadi bentuk “U”. Jenis bentuk resonator “U” ini yang disebut resonator hairpin [6]. Lipatan resonator ini penting dengan mengambil perkiraan pengurangan dari panjang coupled line, yang mana mengurangi kopling antara resonator. Begitu juga jika dua lengan masing-masing resonator Hairpin dihitung dengan teliti, dua lengan ini berfungsi sebagai sepasang saluran coupled yang mempunyai pengaruh dalam kopling dengan baik. Berikut gambar komponen yang akan dihitung dari perancangan filter hairpin line. Berikut gambar komponen yang akan dihitung dari perancangan filter hairpin line.



Gambar 2 Struktur Hairpin line ^[6]

2.4 Koefisien Kopling dan Spasi antar Resonator Dalam membentuk saluran, saluran dilipat berbentuk “U” dan kemudian disusun dalam model sehingga seluruh filter dapat lebih ringkas. Untuk mendesain hairpin line dapat dengan teknik kopling dimana koefisien kopling dapat ditentukan dengan persamaan (2.1):

$$Z_{0e}= Z_0 \left[1+ \left(JZ_0 \right) +\left(JZ_0 \right)^2 \right]$$

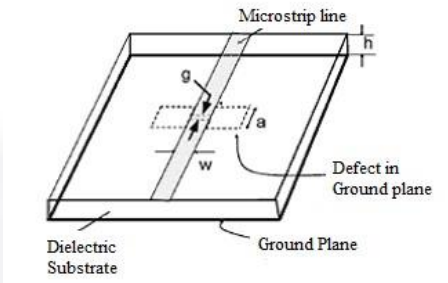
(2.1)

$$Z_{0o}= Z_0 \left[1- \left(JZ_0 \right) +\left(JZ_0 \right)^2 \right]$$

(2.2)

2.7 Defected Ground Structure

Defected Ground Structure (DGS) adalah suatu cara menekan gelombang permukaan dengan cara menghilangkan (*etch*) sebagai bidang bumi (*ground*). Hal ini dikarenakan gelombang permukaan ini mengakibatkan penurunan performansi filter, seperti VSWR dan *insertion loss*. Teknik DGS yang diterapkan yaitu dengan cara mencatkan bidang *ground* pada filter mikrostrip dengan bentuk tertentu. Arus distribusidi *ground plane* akan terganggu dikarenakan adanya *slot* yang tergoreskan [11].



Gambar 3 Bentuk Dumbbell DGS ^[12]

Kelebihan dari penggunaan DSG adalah mampu menghasilkan *bandwidth* yang relatif sempit dan dapat menambah *insertion loss*. Namun DGS memiliki kekurangan yaitu tidak cocok untuk filter yang memiliki *bandwidth* lebar.

3. PERANCANGAN SISTEM

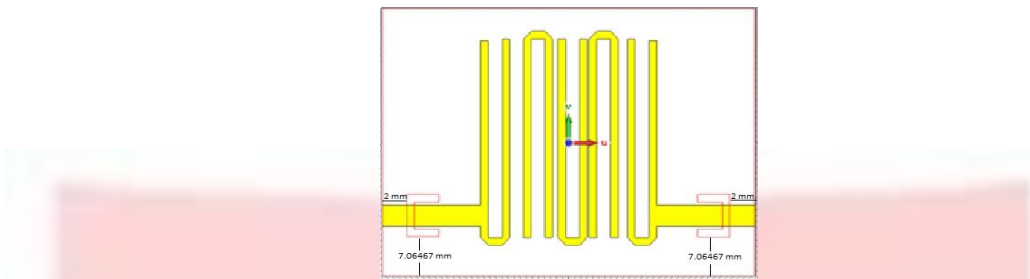
3.1 Penentuan Spesifikasi Perancangan Filter

Spesifikasi dalam perancangan band pass filter pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Tabel Spesifikasi Bandpass Filter	
Frekuensi -3 dB atas	1300 MHz
Frekuensi -3 dB bawah	1240 MHz
Frekuensi tengah	1270 MHz
Frekuensi stopband atas (-50 dB)	1350 MHz
Frekuensi stopband bawah (-50 dB)	1190 MHz
Bandwidth	60 MHz
Z terminal	50 Ω
Insertion loss	≥ -3 dB
Return loss	≤ -10 dB
Respon frekuensi	Chebyshev ripple 0.1 dB

3.2 Simulasi dan Optimasi Bandpass Filter Hairpin Line

Setelah menghitung semua parameter pada resonator, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan simulasi dari hasil perhitungan yang telah dilakukan di software *CST Studio Suite 2016*. Jika hasil belum mencapai spesifikasi yang diinginkan, maka dilakukan optimasi sampai hasil yang didapat sesuai spesifikasi yang diinginkan.



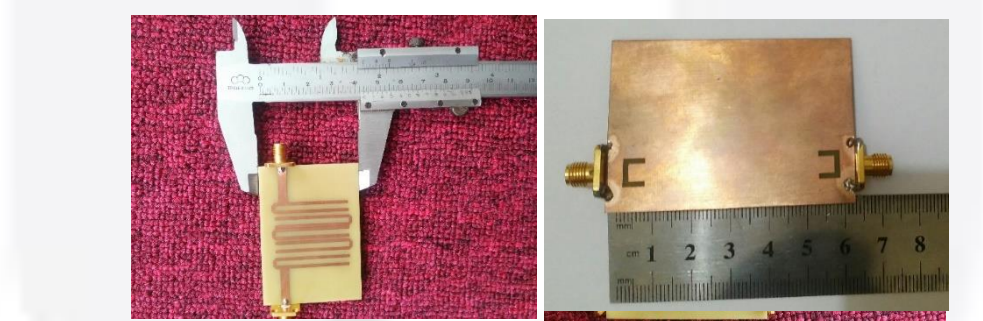
Gambar 4 Layout DGS Hairpin Line setelah dioptimasi

Dari hasil optimasi akhir didapat nilai insertion loss sebesar -6.7362 dB pada frekuensi tengah 1270 MHz dengan bandwidth sebesar 60 MHz dan return loss sebesar -18.194 dB pada frekuensi 1270 MHz, Kemudian nilai VSWR sebesar 1.2808 pada frekuensi tengah 1270 MHz, dan impedansi resonator yang didapat sebesar $48.083539 + 12.015662j \, \Omega$. Ukuran filter yang di dapat setelah proses optimasi akhir adalah sebesar 61.307 x 43.6609 mm. Posisi DGS ditempatkan pada posisi tepat di bagian belakang saluran catu kanan dan kiri dengan jarak 2 mm dari bagian samping kanan dan kiri filter, dan 7.06467 mm dari bagian bawah filter.

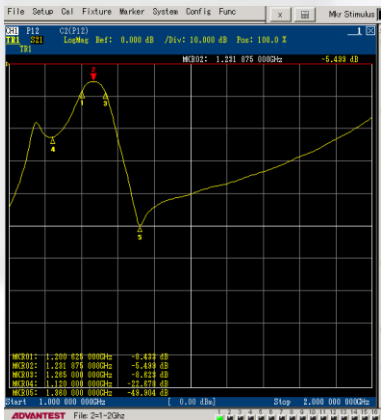
4. HASIL PERANCANGAN DAN ANALISIS BANDPASS FILTER

4.1 Realisasi dan Analisis Pengukuran Bandpass Filter Hairpin Line dengan Dumbbell Defected ground Structur

Setelah proses optimasi *design* perangkat dengan menggunakan simulator *CST Studio Suite 2016* selesai maka langkah selanjutnya adalah melakukan realisasi filter untuk mengukur kinerja dan pengaruh yang terjadi pada proses realisasi. Gambar 4.4 merupakan hasil dari realisasi *DGS Hairpin Line*. Realisasi filter menghasilkan dimensi filter 6,19 cm x 4,3 cm dengan material substrat FR4 yang memiliki ketebalan material 1.6 mm dan stripline tembaga. Ukuran tersebut memiliki ukuran yang lebih lebar dibandingkan dengan ukuran pada simulasi di *software CST Studio Suite 2016*. Pada simulasi dimensi filter memiliki ukuran 6,1307 cm x 4,36609 cm. Pelebaran dimensi filter ini akan berdampak pada pergesevvran frekuensi kerja pada filter. Dari hasil fabrikasi terlihat goresan pada resonator dan bagian *groun plan*, ketidaksempurnaan proses fabrikasi ini dapat mempengaruhi respon frekuensi yang dihasilkan oleh filter.



Gambar 5 Tampak Atas dan Bawah realisasi DGS Hairpin Line

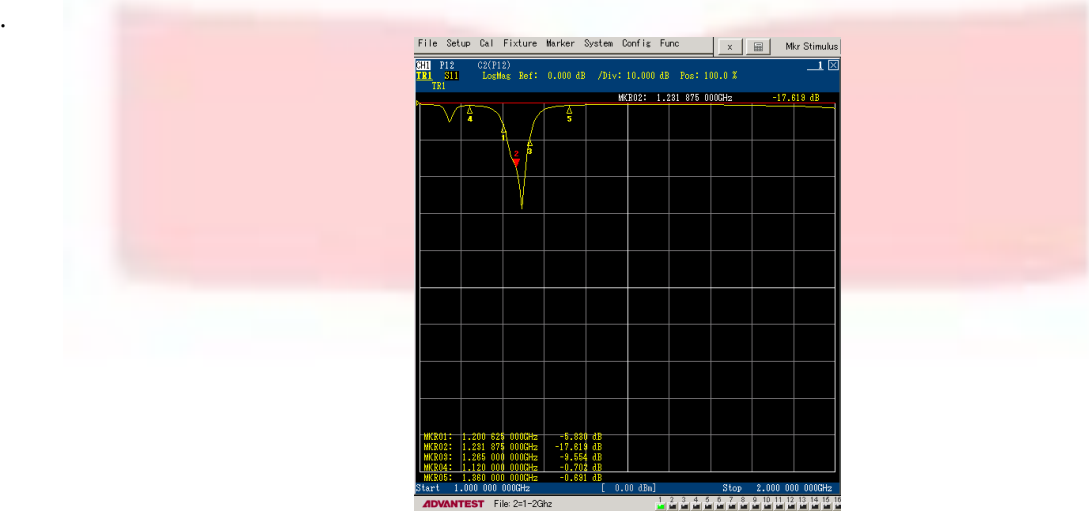


Gambar 6 Hasil Pengukuran Parameter S21 pada hasil realisasi

Pada grafik diatas terlihat frekuensi kerja dari filter yang direalisasikan mengalami pergeseran menjadi 1231 MHz pada frekuensi tengahnya. Hal ini disebabkan karena adanya proses fabrikasi yang kurang baik dan teliti sehingga menyebabkan ukuran berubah dan perubahan tersebut dapat merubah nilai dari parameter yang diukur. Seba dalam proses fabrikasi filter *DGS Hairpin Line* dibutuhkan ketelitian yang sangat baik, karena filter rentan terhadap perubahan sebesar 0.001 mm. Pada frekuensi resonansi 1231 MHz yang di tunjukkan oleh maker “2” memiliki nilai -5.499 dB, artinya pada frekuensi 1240 MHz daya pancar yang keluar pada filter sebesar -5.499 dB dari daya yang yang masuk

pada filter. *Insertion loss* yang dihasilkan terhitung cukup besar sehingga daya keluaran yang dihasilkan oleh filter juga kecil. Nilai *insertion loss* menunjukkan karakteristik sinyal yang ditransmisikan dari *port input* ke *port output*. Idealnya nilai *insertion loss* adalah sebesar 0 dB, namun karena terdapat banyaknya rugi-rugi dalam filter maka nilai tersebut terbilang sangat sulit untuk dicapai.

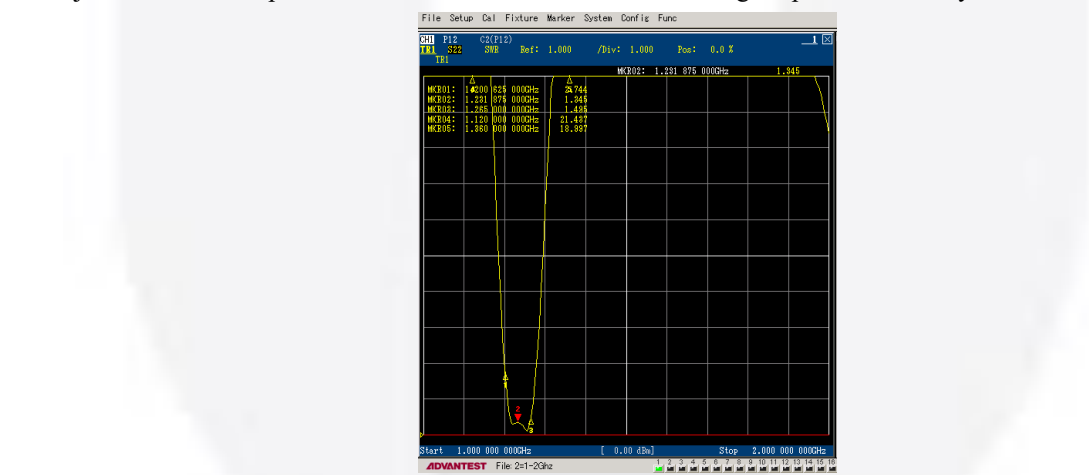
Berdasarkan gambar 6 diatas menunjukkan *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 65 MHz pada rentang frekuensi 1200 MHz – 1265 MHz. hasil ini lebih lebar dibandingkan hasil simulasi akhir sebelum dilakukan proses pencetakan filter yaitu 60 MHz yang berada pada rentang frekuensi 1240-1300 MHz. Penggunaan DGS dapat mempersempit *bandwidth filter* yang dirancang hal ini dipengaruhi oleh nilai stopband filter yang semakin meredam. Nilai dari frekuensi *stopband* bawah filter terletak pada frekuensi 1120 MHz sebesar -22.678 dB, dan nilai frekuensi *stopband* atas filter 1360 MHz sebesar -49.904 MHz.



Gambar 7 Hasil Pengukuran Parameter S11 pada hasil realisasi

Pengukuran *retrn loss* yang dihasilkan menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi awal, yaitu ≤ -10 dB. Namun sama seperti pengukuran *insertion loss* nilai frekuensi kerja dari filter yang direalisasikan mengalami pergeseran.

Pada gambar 7 terlihat *return loss* pada frekuensi tengah 1231 pada maker “2” mencapai nilai -17.619 dB. Hal ini dipengaruhi oleh ketidak sempurnaan proses fabrikasi dan penyolderan konektor pada PCB yang mengakibatkan perubahan nilai *return loss* yang cukup signifikan. Yang mengakibatkan perubahan nilai *return loss* walaupun tidak terlalu jauh dan masih dapat diterima karena nilai tersebut sesuai dengan spesifikasi awal yaitu ≤ -10 dB.



Gambar 8 Hasil pengukuran VSWR pada realisasi

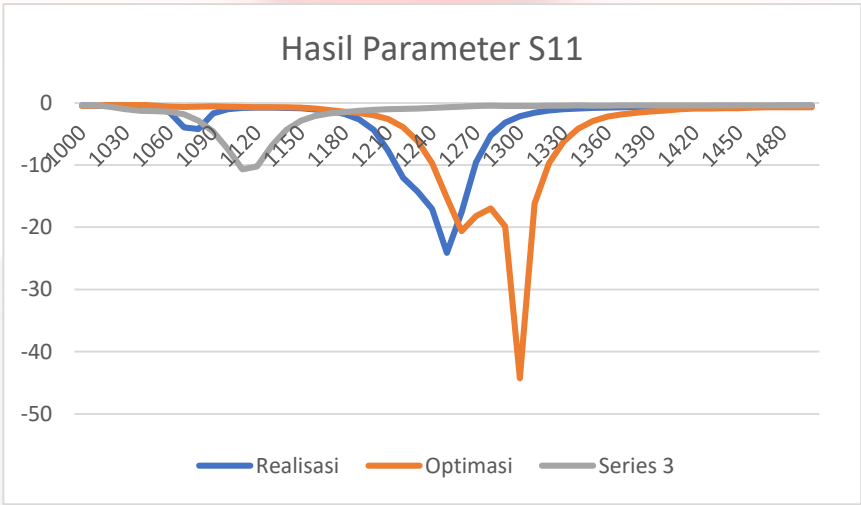
Pada gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran dari VSWR berhubungan dengan nilai *return loss*, semakin kecil nilai *return loss* maka VSWR akan semakin mendekati ideal. Berdasarkan hasil pengukuran *Return loss* sebelumnya, nilai VSWR menunjukkan nilai 1.345 pada frekuensi tengah 1231 MHz. VSWR yang direalisasikan sudah sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih ≤ 2 . VSWR yang ideal yaitu nilai VSWR mendekati 1. Sementara pada frekuensi 1200 MHz VSWR bernilai 2.744 dan pada frekuensi 1265 MHz VSWR bernilai 1.495

4.2 Perbandingan Hasil Spesifikasi

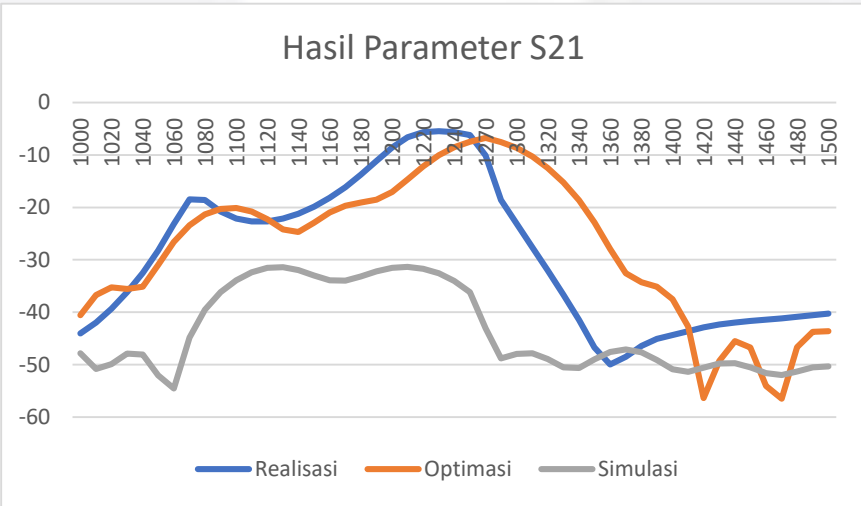
Hasil yang telah di dapat sebelumnya dirangkum dalam bentuk table dan grafik. Perbandingan Hasil spesifikasi menunjukkan bahwa proses perancangan filter dengan hasil simulasi perancangan dan membandingkan hasil pengukuran spesifikasi awal yang telah ditetapkan. Berikut perbandingan spesifikasi awal, tahap simulasi awal, optimasi dan hasil pengukuran filter yang telah direalisasi pada tabel 4.1.

Tabel 2 Perbandingan spesifikasi, simulasi, optimasi dan hasil pengukuran

Parameter	Daerah PassBand			
	Spesifikasi	Simulasi awal	Optimasi	Realisasi
Frekuensi tengah	1270 MHz	1127.2 MHz	1270 MHz	1231 MHz
Rentang Frekuensi	1240 – 1300 MHz	1099.2 – 1163.1 MHz	1340 – 1300 MHz	1200 – 1265 MHz
Bandwidth	60	63.9	60	65
Return Loss	≥-10 dB	-11.212 dB	-18. 193 dB	-16. 652 dB
Insertion Loss	≤-3 dB	-31.375 dB	-6.7363 dB	-5.499 dB



Gambar 9 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran S11 dari simulasi hasil kalkulasi teori, optimasi akhir, dan realisasi



Gambar 10 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran S21 dari simulasi hasil kalkulasi teori, optimasi akhir, dan realisasi

Dari data yang didapat, hasil simulasi hasil kalkulasi teori belum mampu memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Setelah optimasi dilakukan, hasil optimasi sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Pada hasil realisasi, nilai *insertion loss* mengalami kenaikan naum *bandwidth* dari *filter* semakin lebar, dan nilai *return loss* mengalami kenaikan dari nilai optimasi. Namun dari perubahan nilai yang didapat dari pengukuran hasil realisasi. Hasil tersebut tetap memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, namun untuk nilai *insertion loss* dari hasil simulasi, optimasi dan realisasi belum mampu mencapai spesifikasi yang diinginkan. Hal ini diakibatkan karena pembuatan *filter* dengan metode *Hairpin Line* kurang cocok untuk diaplikasikan pada *filter* yang memiliki *bandwidth* yang sempit.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir kali ini telah dirancang *bandpass filter Hairpin line* dengan penambahan *Defected Ground Structure*. Berdasarkan hasil simulasi dan hasil pengukuran serta analisis yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Respon frekuensi yang diperoleh dari hasil simulasi adalah dengan frekuensi cut off bawah berada pada frekuensi 1240 MHz, frekuensi tengah berada pada frekuensi 1270 MHz dan frekuensi cut off atas berada pada frekuensi 1300 MHz sedangkan hasil realisasi adalah dengan frekuensi cut off bawah berada pada frekuensi 1200 MHz, frekuensi tengah berada pada frekuensi 1231 MHz dan frekuensi cut off atas berada pada frekuensi 1265 MHz.
2. Nilai insertion loss yang diperoleh pada hasil simulasi pada frekuensi tengah 1270 MHz adalah -6.77363 dB, sedangkan pada hasil realisasi nilai insertion loss pada frekuensi tengah berada pada frekuensi 1231 MHz adalah -5.499 dB. Hasil ini menunjukkan kedua proses tersebut belum memenuhi spesifikasi awal. Bandwidth filter yang dihasilkan sebesar 65 MHz pada rentang frekuensi 1200 MHz – 1265 MHz. Hasil ini lebih lebar dibandingkan hasil simulasi akhir sebelum dilakukan proses pencetakan filter yaitu 60 MHz yang berada pada rentang frekuensi 1240-1300 MHz.
3. Nilai dari frekuensi stopband yang di dapatkan dari hasil simulasi berada pada, frekuensi stopband bawah filter 1160 MHz sebesar -20.956 dB, dan nilai frekuensi stopband atas filter 1380 MHz sebesar -34.26 MHz. Sementara pada hasil realisasi frekuensi stopband bawah filter terletak pada frekuensi 1120 MHz sebesar -22.678 dB, dan nilai frekuensi stopband atas filter 1360 MHz sebesar -49.904 MHz. Dengan nilai stopband ≤ -20 dB dapat dikatakan filter yang telah dirancang dan direalisasikan cukup curam.
4. Nilai return loss yang diperoleh pada hasil simulasi pada frekuensi tengah 1270 MHz adalah -18.193 dB, sedangkan pada hasil realisasi nilai return loss pada frekuensi tengah 1231 MHz adalah -17.619 dB. Nilai tersebut mencapai hasil spesifikasi awal yaitu ≤ -10 dB.
5. VSWR yang dihasilkan filter pada saat simulasi optimasi sebesar 1.2808 pada frekuensi tengah 1270 MHz, pada frekuensi cutoff bawah (1240 MHz) memiliki nilai 1.9684, dan pada frekuensi cutoff atas (1300MHz) memiliki nilai 1.0123. Sedangkan pada realisasi nilai VSWR pada frekuensi tengah 1231 MHz menunjukkan nilai 1.345. VSWR yang direalisasikan sudah sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih ≤ 2 . VSWR yang ideal yaitu nilai VSWR mendekati 1. Sementara pada frekuensi cutoff bawah 1200 MHz VSWR bernilai 2.744 dan pada frekuensi cutoff atas 1265 MHz VSWR bernilai 1.495.
6. Nilai impedansi resonator yang di dapatkan pada hasil pengukuran adalah $65.034 + 2.301j \Omega$. Hasil tersebut sudah mendekati spesifikasi awal yaitu 50Ω .
7. Hasil perancangan pada saat simulasi dan realisasi mengalami perbedaan karena terdapat beberapa faktor yang menyebabkan perubahan tersebut, yaitu loss dielektrik, ketidak telitian fabrikasi, pensolderan dan konektor.
8. Penggunaan metode Hairpin dengan permitivitas dielektrik 4.3 kurang cocok diaplikasikan pada filter yang memiliki bandwidth sempit.

5.2 Saran

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

1. Pelajari dengan baik spesifikasi filter yang akan dirancang.
2. Dalam menentukan nilai-nilai parameter pada filter maka proses perhitungan harus dilakukan dengan sangat teliti. Karena selisih nilai akan mempengaruhi hasil, saat melakukan pembulatan bilangan harap dilakukan ketika seluruh proses kalkulasi selesai dilakukan.
3. Penggunaan simulator harap diperhatikan dengan baik. Perhatikan cara perancangan filter pada modul simulator yang akan digunakan.
4. Proses fabrikasi sangat perlu diperhatikan, dimana setiap ukuran dari komponen filter harus diperhatikan dengan sangat teliti karena filter rentan terhadap perubahan sebesar 0.001 mm.
5. Pemilihan *substrat* sebaiknya diperhatikan dengan baik. Lebih baik cari substrat yang mudah untuk di dapat dan sesuai dengan kebutuhan.
6. Untuk mendapatkan hasil pengukuran realisasi yang lebih baik, sangat disarankan untuk menambahkan *shielding* pada filter. Dengan menggunakan *shielding*, akan mengurangi gangguan (interferensi) radiasi dari gelombang-gelombang elektromagnetik di sekitar ruangan pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. K. Chan and V. C. Koo, "AN INTRODUCTION TO SYNTHETIC APERTURE", Melaka, Malaysia, 2008, pp. 27-60.
- [2] Y. P. Haniah, "PENGENALAN TEKNOLOGI RADAR UNTUK PEMETAAN SPASIAL DI KAWASAN TROPIS", 2011, pp. 155-161.
- [3] J. T. Sri Sumantyo, "Development of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar", Beijing, China, 2011.
- [4] V. C. Koo, Y. K. Chan, V. Gobi, M. Y. Chua, C. H. Lim, C. S. Lim, C. C. Thum, T. S. Lim, Z. Ahmad, K. A. Mahmood, M. H. Shahid, C. Y. Ang, W. Q. Tan, P. N. Tan, K. S. Yee, W. G. Cheaw, H. S. Boey, A. L. Choo, and B. C. Sew, "A New Unmanned Aerial Vehicle Synthetic", Faculty of Engineering & Technology, Multimedia University, 2012.
- [5] Hong, Jia-Sheng, and M. J. Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", New York: Wiley and Sons, 2001.
- [6] C. W. Sayre, "Complete Wireless Design", New York: McGraw-Hill, 2008.
- [7] Kinayman, Noyan, and M.I. Aksun, Modern Microwave Circuits, Artech House, Inc, 2005.
- [8] D. M. Pozar, "Microwave Engineering", United States: John Wiley & Sons, Inc, 2012.
- [9] E. Sulaeman, "Diktat Kuliah," Bandung, Program Studi Teknik Telekomunikasi. Politeknik Negeri Bandung, 2005.
- [10] H. A. Hassan, Design & Size Reduction Analysis of Micro, Gävle: FACULTY OF ENGINEERING AND SUSTAINABLE University of Gävle, 2015.
- [11] A. Hasan, and Nadeem A.E., Novel Microstrip Hairpinline Narrowband Bandpass Filter Using Via Ground Holes, Atlanta: Electromagnetics Research, PIER 78, 2008.
- [12] R. K. Mongia, I. J. Bahl, P. Bhartia, and J. Hong, RF and Microwave Coupled-Line Circuits, Norwood: ARTECH HOUSE, INC, 2007.
- [13] K. Annam, DESIGN OF BANDSTOP FILTERS USING DEFECTED GROUND, Dayton, Ohio : UNIVERSITY OF DAYTON, 2015.
- [14] Fitri Yuli Zulkifli, Eko Tjipto Rahardjo, Muhamad Asvial, dan Djoko Hartanto, "PENGEMBANGAN ANTENA MIKROSTRIP SUSUN DUA ELEMEN", Jakarta: MAKARA, TEKNOLOGI, 2008.
- [15] W. Rashela, "Perancangan dan Realisasi BPF Defected Ground Structure Berbasis Mikrostrip pada Frekuensi 9370 MHz-9420MHz Untuk Radar Pengawas Pantai, Bandung: Institut Teknologi Telkom, 2010.
- [16] Tamasi Moyra, Susanta Kumar Parui, Santanu Das, DESIGN OF T-SPLIT POWER DIVIDERS USING DUMBBELL SHAPED DGS, Howrah, India: Department of Electronics and Telecommunication Engineering,, 2012.