



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**2012**

**RANCANG BANGUN BANDPASS FILTER UNTUK APLIKASI RADAR  
X-BAND MENGGUNAKAN RESONATOR MIKROSTRIP HAIRPIN  
DENGAN MENGGUNAKAN OPEN STUB DAN SQUARE GROOVE**

**SKRIPSI**

**YUSUF FAUZI**

**0906603190**

**PROGRAM SARJANA TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**2012**

**RANCANG BANGUN BANDPASS FILTER UNTUK APLIKASI RADAR  
X-BAND MENGGUNAKAN RESONATOR MIKROSTRIP HAIRPIN  
DENGAN MENGGUNAKAN OPEN STUB DAN SQUARE GROOVE**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana**


**YUSUF FAUZI  
NPM 0906603190**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Yusuf Fauzi**  
**NPM : 0906603190**  
**Tanda Tangan : **  
**Tanggal : Juni 2012**



## HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Yusuf Fauzi  
NPM : 0906603190  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Perancangan Bandpass Filter Untuk Aplikasi Radar Menggunakan Resonator Mikrostrip Hairpin dengan open stub dan square groove

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., Ph.D. (  )

Penguji : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST.M.SC. (  )

Penguji : Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc., Ph.D. (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 26 Juni 2012

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya lah penulis dapat menyelesaikan laporan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan penulisan laporan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Raharjo M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penulisan skripsi ini;
3. Dr. Fitri Yuli Zulkifli S.T., M.Sc., dan Bapak Basari atas segala masukan dan bimbingan yang diberikan kepada penulis mengenai materi pada skripsi ini;
4. Kedua orang tua : mama Yayah Mariyah Solihin dan Sudrajat, serta mama Retno dan adik-adik penulis dan Aulia Deviana atas segala bentuk dukungan yang diberikan selama proses penulisan skripsi ini;
5. Seluruh teman AMRG : Renita Danarianti, Arwidya Tantri Agtusia, Willy Y, Gindie N, M. Idham, Doni S, Dwyan, Taufal H, M. Ichsan, T.B.
6. Teman-teman Ekstensi 09 dan Elektro UI atas suka dan duka dalam pengerjaan skripsi bersama-sama;
7. Aditya Inzani Wahdiyati, Erwin Sugijono, Teguh, Puspita Sulistyani, Oji dan Pak Tri yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini mampu membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Januari 2012

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yusuf Fauzi  
NPM : 0906603190  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Perancangan Bandpass Filter Untuk Aplikasi Radar Menggunakan Resonator Mikrostrip Hairpin dengan open stub dan square groove**

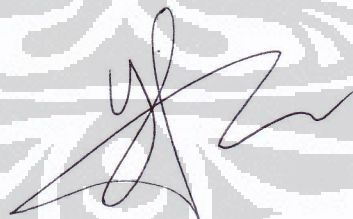
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 13 Juni 2012

Yang menyatakan,



**( Yusuf Fauzi )**

## ABSTRAK

Nama : Yusuf Fauzi  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Bandpass Filter Untuk Aplikasi Radar X-Band Menggunakan Resonator Mikrostrip Hairpin dengan open stub dan square groove  
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc

Radar mempunyai kegunaan yang sangat luas dan tersebar pada berbagai bidang. Dari kepentingan militer seperti untuk pengawasan, kendali peluru ataupun untuk kepentingan sipil seperti navigasi, penindraan jarak jauh pemantauan cuaca maupun aplikasi untuk dunia industri.

Salah satu bagian yang penting dalam meningkatkan unjuk kerja sistem radar adalah filter. Filter merupakan suatu perangkat transmisi yang memiliki fungsi untuk melewatkan frekuensi tertentu dengan meloloskan frekuensi yang diinginkan (passband) dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan (stopband). Makalah ini membahas suatu desain baru dan sederhana dari filter yang bekerja pada frekuensi 9.37 GHz-9.43 GHz dengan respon frekuensi Chebychev.

Bandpass filter (BPF) ini dirancang dengan hairpin ordo lima dengan ditambah open stub dan square groove pada desainnya. Filter ini menggunakan substrat Taconic TLY-5-A, dengan konstanta dielektrik relatif sebesar 2.2 dan lebar 1mm. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak ADS (Advanced Design System) 2009.

Kata kunci: *filter, bandpass, hairpin, open stub, square groove.*



## ABSTRACT

*Name : Yusuf Fauzi*  
*Study Program : Teknik Elektro*  
*Title : Bandpass filter design for X-Band Radar Application Using Microstrip Hairpin Resonator with open stub and square groove*  
*Supervisor : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc*

*The Radar has a very broad and uses scattered on different areas. Of military significance as to supervision, for control bullet or the benefit of civilians such as navigation, weather and distance peninderaan jauh pemantauan Protocol for the industrialized world.*

*One of the important part in improving performance radar systems is the filter. A Filter is a device which has the function of transmitting to skip certain frequencies to pass the desired frequency (passband) and dampen the unwanted frequencies (stopband). This paper discusses a new design and simplified from a filter that works on a frequency of 9.37 GHz-9.43 GHz, frequency response with a Chebychev.*

*Bandpass filter (BPF) is designed with a hairpin of the order of five with open stub and the square groove in design. These filters are used Taconic substrate tly-5-A, with a relative dielectric constant of 2.2 and 1mm wide. Simulations performed with the software ADS (Advanced Design System) 2009..*

*Keywords: filter, bandpass, hairpin, open stub square groove*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 <b>Tujuan Penulisan.....</b>	<b>4</b>
1.3 <b>Batasan Masalah .....</b>	<b>5</b>
1.4 Metode Penulisan .....	5
1.5 <b>Sistematika Penulisan.....</b>	<b>5</b>
<b>BAB II <i>FILTER MIKROSTRIP HAIRPIN</i> UNTUK APLIKASI RADAR</b>	
2.1 <i>Filter</i> .....	7
2.2 <b>Klasifikasi <i>Filter</i> berdasarkan daerah kerja frekuensi.....</b>	<b>8</b>
2.3 <b>Klasifikasi <i>Filter</i> berdasarkan respon <i>filter</i>.....</b>	<b>10</b>
2.4 <b>Parameter <i>Filter</i>.....</b>	<b>11</b>
2.4.1 Parameter S.....	12
2.4.2 Return Loss.....	13
2.4.3 Insertion Loss.....	13
2.4.4 Q Factor.....	14
2.4.5 VSWR.....	14

<b>2.5</b>	<b>Mikrostrip Line .....</b>	<b>15</b>
<b>2.6</b>	<b>Filter Mikrostrip Bandpass .....</b>	<b>16</b>
<b>2.7</b>	<b>Filter hairpin .....</b>	<b>17</b>
	2.7.1 Slide Factor.....	18
	2.7.2 Saluran Input.....	18
	2.7.3 Koefisien Kopling.....	19
<b>2.8</b>	<b>Perancangan Filter Dengan Respon Frekuensi</b>	
	<i>Chebyshev</i> .....	<b>20</b>
<b>2.9</b>	<b>Square Groove.....</b>	<b>21</b>
<b>BAB III PERANCANGAN FILTER DAN SIMULASI</b>		
<b>2.12</b>	<b>Pendahuluan.....</b>	<b>22</b>
<b>2.13</b>	<b>Parameter Rancangan Yang Digunakan.....</b>	<b>22</b>
<b>2.14</b>	<b>Perangkat Lunak yang Digunakan.....</b>	<b>23</b>
<b>2.15</b>	<b>Diagram Alir Perancangan</b>	
	Filter.....	23
	Jenis Subtrat Yang Digunakan.....	25
	Perancangan Filter Hairpin.....	25
	3.6.1 Perancangan Dimensi Resonator.....	25
	3.6.1.1 Lebar Saluran Resonator.....	25
	3.6.1.2 Panjang Saluran Resonator.....	27
	3.6.1.3 Perancangan Jarak Antar Resonator.....	28
	3.6.1.4 Simulasi dan Analisa BPF Hairpin.....	30
<b>3.7</b>	<b>Perancangan Open Stub Pada BPF Hairpin .....</b>	<b>32</b>
	3.7.1 Tuning Panjang Saluran Resonator Hairpin.....	33
	3.7.2 Tuning Jarak Resonator Hairpin.....	34
	3.7.3 Analisa dan Hasil BPF <i>Hairpin</i> dengan <i>Open Stub</i> .....	37
<b>3.8</b>	<b>Perancangan BPF Hairpin dengan <i>open stub</i> dan <i>Square Groove</i>.....</b>	<b>38</b>
	3.8.1 Tuning Ukuran Square Groove.....	38
	3.8.2 Analisa dan Hasil simulasi BPF hairpin dengan <i>open stub</i> dan <i>square Groove</i> .....	39
	Perancangan Pencatu Pada Filter .....	45
<b>3.10</b>	<b>Dimensi Perancangan BPF Hairpin Dengan Open Stub dan Square Groove.</b>	<b>45</b>

3.11 Hasil Simulasi .....	46
3.12 Prosedur Pengukuran.....	47

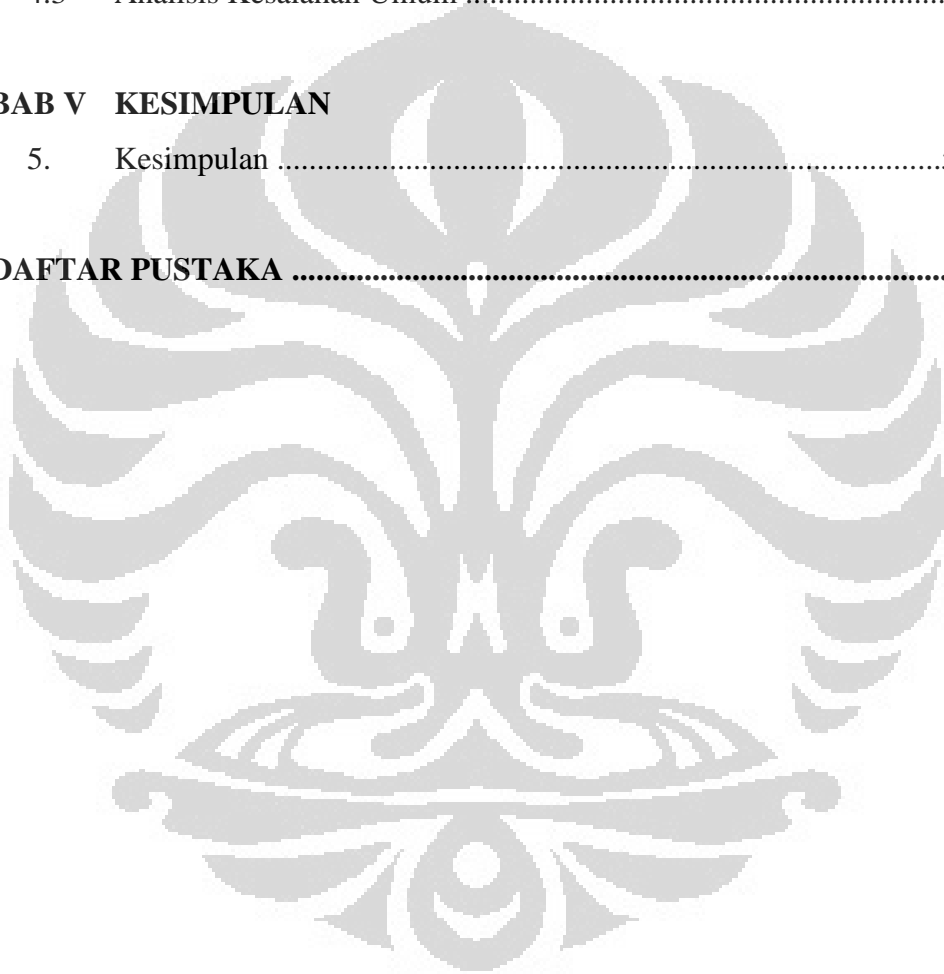
**BAB IV HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS**

4.1 Hasil Pengukuran S11 ( <i>Return Loss</i> ) .....	48
4.2 Hasil Pengukuran S22 (insertion loss).....	49
4.3 Analisis Kesalahan Umum .....	50

**BAB V KESIMPULAN**

5. Kesimpulan .....	52
---------------------	----

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
-----------------------------	-----------



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Elemen untuk <i>chebyshev</i> , dengan ripple 0.01 dB [18].....	21
Tabel 3.1 Spesifikasi substrat yang digunakan .....	26
Tabel 3.2 Pengaruh panjang <i>open stub</i> terhadap <i>bandstop rejection</i> .....	34
Tabel 3.3 Hasil simulasi pengaruh perubahan ukuran resonator terhadap Frekuensi .....	34
Tabel 3.4 Pengaruh jarak S1 terhadap bandwidth dan frekuensi .....	35
Tabel 3.5 Pengaruh jarak S2 terhadap bandwidth dan frekuensi .....	35
Tabel 3.6 Pengaruh ukuran panjang dan lebar <i>square groove</i> terhadap <i>bandwidth</i> dan frekuensi.....	39
Tabel 3.7 Pengaruh ukuran panjang dan lebar <i>square groove</i> terhadap <i>bandwidth</i> dan frekuensi.. ..	39
Tabel 3.8 Pengaruh panjang <i>open stub</i> terhadap <i>bandstop rejection</i> .....	39
Tabel 3.9 Ukuran BPF <i>hairpin</i> dengan <i>open stub</i> dan <i>square groove</i> .....	40

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Blok Filter Secara Umum .....	7
Gambar 2.2	kurva LPF.....	8
Gambar 2.3	kurva HPF .....	8
Gambar 2.4	kurva BPF .....	9
Gambar 2.5	kurva BSF .....	9
Gambar 2.6	Respon <i>Lowpass Filter Butterworth</i> .....	10
Gambar 2.7	Respon <i>Lowpass Filter Chebyshev</i> .....	10
Gambar 2.8	Respon <i>Lowpass Filter Elliptic</i> .....	11
Gambar 2.9	Respon <i>Lowpass Filter Gaussian/Bessel</i> .....	11
Gambar 2.10	Rangkaian <i>two-port</i> .....	12
Gambar 2.11	<i>Bentuk geometri microstrip</i> .....	15
Gambar 2.12	Transformasi Edge Coupled Filter menjadi Hairpin Filter .....	17
Gambar 2.13	<i>Slide factor</i> .....	18
Gambar 2.14	Kopling diantara dua buah resonator hairpin.....	19
Gambar 2.15	Respon frekuensi <i>chebyshev</i> .....	20
Gambar 2.16	Square groove.....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan Filter .....	24
Gambar 3.2	Ilustrasi rancangan lebar resonator dan lebar pencatu .....	26
Gambar 3.3	Ilustrasi rancangan panjang resonator hairpin .....	27
Gambar 3.4	Ilustrasi rancangan jarak resonator hairpin .....	29
Gambar 3.5	Grafik $S_{21}$ untuk mendapatkan koefisien kopling.....	30
Gambar 3.6	Hasil Simulasi BPF Hairpin.....	31
Gambar 3.7	Hasil Simulasi Ulang BPF Hairpin.....	32
Gambar 3.8	Ilustrasi BPF dengan Open Stub.....	33
Gambar 3.9	Grafik perbandingan panjang open stub.....	33
Gambar 3.10	Grafik panjang resonator terhadap frekuensi kerja .....	34
Gambar 3.11	Grafik jarak antar resonator terhadap frekuensi kerja filter .....	35

Gambar 3.12	Grafik jarak antar resonator terhadap frekuensi kerja filter .....	36
Gambar 3.13	Hasil kinerja filter.....	37
Gambar 3.14	Ilustrasi <i>Resonator Hairpin</i> Dengan <i>Square Groove</i> .....	38
Gambar 3.15	Grafik lebar <i>square groove</i> terhadap frekuensi kerja <i>filter</i> .....	39
Gambar 3.16	Grafik tinggi <i>square groove</i> terhadap frekuensi kerja <i>filter</i> .....	40
Gambar 3.17	Grafik parameter s BPF dengan groove.....	41
Gambar 3.18	Gambar simulasi S11 dan S22 p= 3 mm.....	41
Gambar 3.19	Gambar simulasi S11 dan S22 p= 4 mm.....	42
Gambar 3.20	Gambar simulasi S11 dan S22 p = 4.2 mm.....	42
Gambar 3.21	Gambar simulasi S11 dan S22 p = 4.4 mm.....	42
Gambar 3.22	Gambar simulasi S11 dan S22 p = 5 mm.....	43
Gambar 3.23	Grafik perbandingan panjang <i>open stub</i> .....	43
Gambar 3.24	<i>Line calculator</i> pada ADS 2009.....	44
Gambar 3.25	Adalah desain akhir dari perancangan <i>bandpass filter hairpin</i> dengan <i>open stub</i> dan <i>groove square</i> .....	45
Gambar 3.26	Grafik S11.....	46
Gambar 3.27	Grafik S21.....	46
Gambar 4.1	<i>Filter</i> hasil fabrikasi.....	48
Gambar 4.2	Hasil Pengukuran S11.....	49

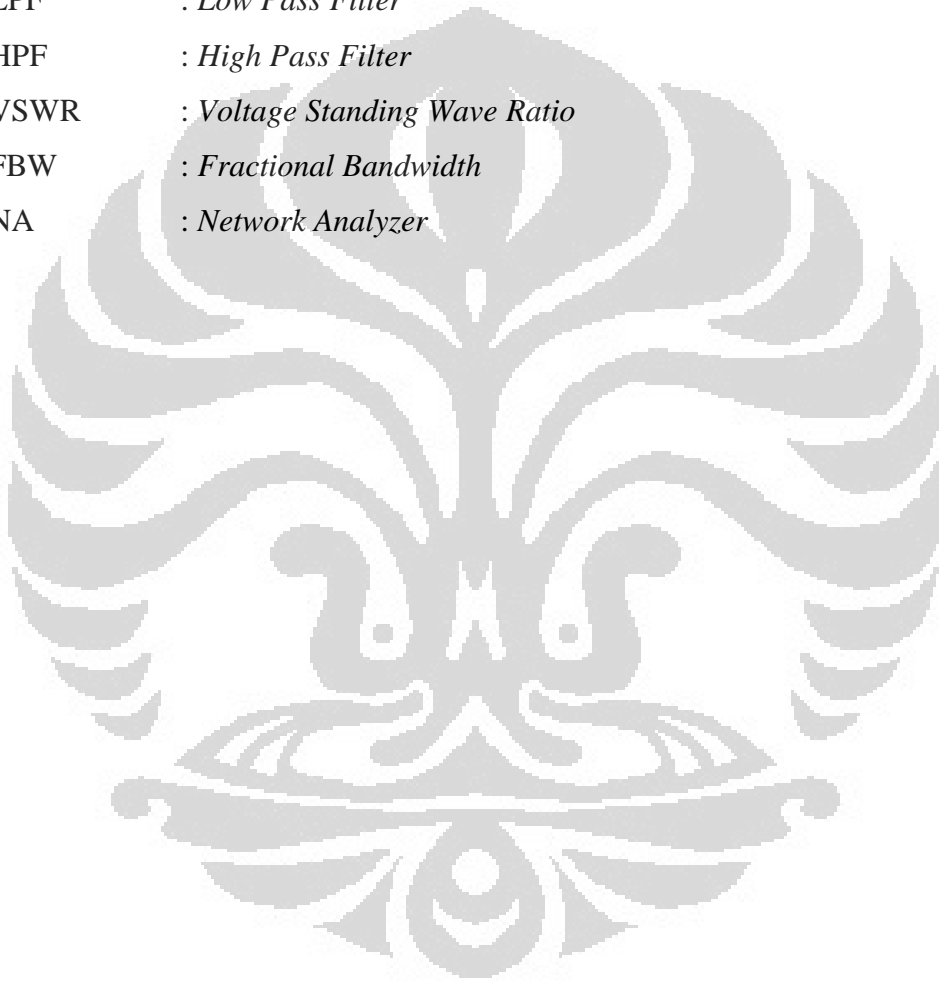
## DAFTAR ISTILAH

<i>Hardware</i>	: Perangkat Keras
<i>Software</i>	: Perangkat Lunak
<i>Band Pass Filter</i>	: Band Pass Filter adalah rangkaian yang melewati frekuensi pada daerah tertentu diantara frekuensi <i>cut-off</i> pertama dan frekuensi <i>cut-off</i> kedua dan meredam frekuensi di luar daerah tersebut.
<i>Cut Off</i>	: Didefinisikan sebagai frekuensi yang responnya turun 3 dB, atau dayanya turun menjadi setengah dari daya <i>pass band</i> .
<i>Filter</i>	: <i>Filter</i> adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewati sinyal dengan rentang frekuensi tertentu dan menghilangkan atau memperlemah sinyal dengan frekuensi diluar frekuensi tersebut



## DAFTAR SINGKATAN

BPF	: <i>Band Pass Filter</i>
ADS	: <i>Advanced Design System</i>
DGF	: <i>Defected Ground Structure</i>
SIR	: <i>Stepped Impedance Resonator</i>
LTCC	: <i>Low Temperature Co-Fired Ceramic</i>
LPF	: <i>Low Pass Filter</i>
HPF	: <i>High Pass Filter</i>
VSWR	: <i>Voltage Standing Wave Ratio</i>
FBW	: <i>Fractional Bandwidth</i>
NA	: <i>Network Analyzer</i>



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim dengan wilayah perairan yang sangat luas, dimana 2/3 dari wilayah Indonesia berupa perairan dan memiliki lebih dari 17,000 ribu pulau. Wilayah Nusantara membujur sepanjang 6,000 kilometer lebih di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Luasnya 5,18 juta km persegi dan 60 persen berupa laut. Sebagai negara maritim terluas di dunia, Indonesia tentu memerlukan radar untuk mencegah praktik ilegal, seperti pencurian ikan, penyelundupan, dan pelanggaran batas wilayah perairan oleh kapal asing serta digunakan untuk memonitor pergerakan kapal di wilayah perairan Indonesia dan sebagai pemandu kapal besar di pelabuhan agar tidak bertabrakan. Maka Indonesia membutuhkan radar dalam penyediaan fasilitas strategis itu

Radar merupakan alat pendeteksian keberadaan suatu benda dengan menggunakan gelombang elektromagnetik. Istilah radar sendiri pertama kali digunakan pada tahun 1941, menggantikan istilah dari singkatan Inggris RDF (*Radio Direction Finding*), namun perkembangan radar itu sendiri sudah mulai banyak dikembangkan sebelum Perang Dunia II oleh ilmuwan dari Amerika, Jerman, Prancis dan Inggris. Dari sekian banyak ilmuwan, yang paling berperan penting dalam pengembangan radar adalah [Robert Watson-Watt](#) asal Skotlandia, yang mulai melakukan penelitiannya mengenai cikal bakal radar pada tahun 1915. Pada tahun 1920-an, ia bergabung dengan bagian *radio National Physical Laboratory*. Umumnya, radar beroperasi dengan cara menyebarkan tenaga elektromagnetik terbatas di dalam piringan antena. Tujuannya adalah untuk menangkap sinyal dari benda yang melintas di daerah tangkapan antena yang bersudut  $20^{\circ} - 40^{\circ}$ . Ketika ada benda yang masuk ke dalam daerah tangkapan antena tersebut, maka sinyal dari benda tersebut akan ditangkap dan diteruskan ke pusat sistem radar untuk kemudian diproses sehingga benda tersebut nantinya akan tampak dalam layar monitor.

Ada tiga komponen utama yang tersusun di dalam sistem radar, yaitu antena, *transmitter* (pemancar sinyal) dan *receiver* (penerima sinyal) . *Filter* terletak pada

*receiver* dan *transmitter*. [1] Pada sistem radar, penerima sinyal (*receiver*) berfungsi sebagai penerima kembali pantulan gelombang elektromagnetik dari sinyal objek yang tertangkap oleh radar melalui *reflektor* antenna. Pada umumnya, *receiver* memiliki kemampuan untuk menyaring sinyal yang diterimanya agar sesuai dengan pendeteksian yang diinginkan, dapat memperkuat sinyal objek yang lemah dan meneruskan sinyal objek tersebut ke pemroses data dan sinyal, dan kemudian menampilkan gambarnya di layar monitor.

*Filter* berguna untuk menyeleksi frekuensi yang dibutuhkan pada sistem tersebut. Dengan adanya *filter* sistem dapat menghindari adanya gangguan dengan kanal lain saat melakukan komunikasi dan sistem dapat memisahkan *spektrum* frekuensi yang luas ini untuk pengiriman dan penerimaan. Dengan demikian sistem tidak akan terganggu oleh *spektrum* frekuensi lainnya.

BPF adalah rangkaian yang melewatkan frekuensi pada daerah tertentu diantara frekuensi *cut-off* pertama dan frekuensi *cut-off* kedua dan meredam frekuensi di luar daerah tersebut [1]. Batas antara *passband* dan *stopband* disebut frekuensi *cutoff* ( $f_c$ ) yaitu didefinisikan sebagai frekuensi yang responnya turun 3 dB, atau dayanya turun menjadi setengah dari daya *passband*. Antara frekuensi *cutoff* dan frekuensi *stop* terdapat suatu daerah landai (daerah transisi) yang ditentukan oleh orde *filter* (jumlah elemen filter) [2].

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan BPF dengan menggunakan *mikrostrip* untuk di aplikasikan pada radar yang bekerja pada frekuensi 9,37 GHz-9,43 GHz dengan *bandwidth* 60 MHz. *Substrat* yang digunakan adalah takonik, dengan konstanta dielektrik 2,2 dan ketebalan *substrat* 0,9 mm. *Microstrip* digunakan karena memiliki bobot yang ringan dan ringkas [1]. Karena ukuran perangkat diharapkan sekecil mungkin, maka *filter mikrostrip Hairpin* dipilih dengan pertimbangan mempunyai ukuran yang relatif lebih kecil dibandingkan memakai *mikrostrip* lainnya seperti *end-coupled mikrostrip*, *parallel coupled* dan *interdigital* [2].

*Hairpin filter* mempunyai konsep yang didapat dengan lipatan *resonator* dari *parallel-coupled*, *half-wavelength resonator filters*, dan mempunyai bentuk U, sehingga mempunyai struktur yang tersusun rapi [3]. Spesifikasi dari *microstrip filter* yang diinginkan adalah *return loss* yang kecil, *insertion loss* mendekati nilai

0 db dan ukuran yang kecil. Pada perancangan ini digunakan orde elemen sebanyak lima, karena bila kurang dari lima menyebabkan selektivitas yang buruk, sedangkan bila lebih dari lima akan memperbesar ukuran desain. BPF dirancang orde 5 dengan menggabungkan rangkaian *mikrostrip hairpin* dengan ditambah *open stub* dan *square groove*.

Penelitian tentang filter *hairpin* sudah banyak dilakukan, contohnya yang dilakukan oleh Nikholas G. Toledo mempresentasikan filter resonator *hairpin* dengan *tap* pada saluran *input* dan *output* dengan menggunakan substrat FR4. Filter *hairpin* dipilih karena desain yang ringkas dan tidak memerlukan *grounding*. Terjadi masalah ketika filter dibuat pada FR4, karena nilai *dielektrik* yang buruk pada aplikasi mikrowave dan spesifikasi *dielektrik* pada FR4 tidak linear jika dibandingkan substrat lain yang lebih mahal [3]. Metode dan teknik pembuatan *hairpin* didiskusikan dalam penelitian ini, mulai dari perhitungan panjang resonator *hairpin*, jarak antar resonator *hairpin*, panjang slide faktor (saluran yang tidak terkopel) dan saluran pencatu [4][5].

Penelitian bandpass filter yang lain dilakukan oleh K.Vidhya and T.Jayanthy memperlihatkan desain dan analisis dari filter *microstrip hairpin* dengan DGS (*Defected Ground Structure*) dan *open-Stub*. DGS digunakan untuk menekan harmonisasi kedua dan ketiga pada *hairpin* ordo lima. Dua pasang DGS berbentuk *dumbbell* dibuat dibawah saluran *input* dan *output*, *dietching* pada *ground* untuk meningkatkan *stop-band rejection* tanpa mempengaruhi frekuensi kerja dan *insertion loss* pada *bandpass filter*. Untuk lebih meningkatkan penekanan pada *out-of-band* dan *stop-band rejection* maka ditambahkan *open-stub* pada saluran *input* dan *output*. Filter bekerja pada frekuensi 2,5 GHz dengan *bandwidth* 700 MHz. Harmonisasi pada orde kedua dan ketiga sebesar pada 23 dB dan 48 dB. Tambahan *stop-band rejection* pada harmonisasi kedua didapatkan dengan adanya *open-stub*. [6]

Penelitian penggunaan *square groove* pada filter *mikrostrip* diperlihatkan pada [7-9]. Pada penelitian yang dilakukan oleh K.Srisathit, J.Tangjit dan W.Surakamponorn, filter bandpass *mikrostrip hairpin* akan ditambah dengan *square groove* untuk memperkecil ukuran filter dan menghilangkan harmonisasi. Didesain dan dibuat filter *hairpin* konvensional dan filter *hairpin* menggunakan

*square groove* pada frekuensi kerja 2.45 GHz dengan FBW sebesar 20%. Pada penelitian *return loss* filter sebesar -26 db dan *insertion loss* -1,2 db.[7]

Penelitian *bandpass filter* yang lain dilakukan oleh Yue Ping Zhang and Mei Sun. Penelitian tentang *dual bandpass microstrip filter* dengan menggunakan SIR (*Stepped Impedance Resonator*) dengan desain baru pada saluran *input* dan *outputnya*. *Mikrostrip band pass filter* ini menggunakan *stepped impedance resonator* yang dirancang dengan menggunakan teknologi LTCC (*Low Temperature Co-Fired Ceramic*) untuk aplikasi *dual-band* pada 2,4 GHz dan 5,2 GHz. Desain saluran *input* berbentuk garpu diusulkan untuk mengganti desain yang normal. Ditemukan bahwa dengan desain saluran *input* dan *output* berbentuk garpu dapat meningkatkan kinerja dari *filter bandpass*. Nilai *insertion loss* pada *bandpass filter* adalah 1,25 db dan 1,87 dB, *return loss* 40 dB, dan *bandwidth* dari 21% dan 12,7% pada 2,4 GHz dan 5,2 GHz, masing-masing.[10]

Rancang bangun filter yang dibuat pada skripsi ini mengadaptasi konsep filter hairpin pada [3], lalu untuk mendapatkan stop-band rejection dan menghilangkan frekuensi resonan dipakai teknik pada [6], setelah mendapatkan filter sesuai spesifikasi dilakukan perubahan pada bagian resonator hairpin agar mendapatkan respon yang lebih baik serta miniaturisasi pada filter. Berbagai perubahan ukuran dan bentuk pada filter dilakukan untuk mendapatkan frekuensi kerja dan bandwidth sesuai spesifikasi yang diinginkan. Frekuensi kerja pada 9,4 Ghz dengan *bandwidth* 60 MHz.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Advanced Design System (ADS) 2009*. Untuk mengetahui unjuk kerja rangkaian dengan menguji parameter-parameter yang diperlukan, seperti *return loss*, *insertion loss*, frekuensi kerja, VSWR, *group delay* dan *noise figure*.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari skripsi ini adalah merancang *mikrostrip bandpass* filter dengan menggunakan *microstrip hairpin* dengan *open stub* dan *square groove* untuk diaplikasikan pada radar pada frekuensi 9,37 GHz-9,43 GHz dan bandwidth 60 MHz.

## 1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada seminar ini dibatasi pada perancangan *bandpass filter* dengan *resonator hairpin* dengan *open stub* dan *square groove*. Respon filter yang dipakai adalah respon *Chebyshev*. Parameter kerja yang ingin dicapai adalah *return loss*, *insertion loss*, *bandwidth* dan *VSWR*.

Rancang bangun filter kemudian akan difabrikasi. Hasil fabrikasi filter ini akan diukur untuk mengetahui parameter kerjanya. Parameter yang akan diukur meliputi parameter  $S_{11}$  (*return loss*) dan  $S_{21}$  (*insertion loss*, *bandwidth*).

## 1.4 Metode Penulisan

Tulisan seminar ini disusun berdasarkan beberapa sumber literatur, baik berupa jurnal, buku, maupun artikel-artikel di internet yang terkait dengan perancangan *filter mikrostrip*. Selain itu dilakukan pula konsultasi dengan dosen pembimbing dan juga dosen-dosen di bidang telekomunikasi.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan seminar ini akan dibagi dalam empat bagian besar, yaitu :

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bagian ini terdiri dari latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 DASAR TEORI FILTER MIKROSTRIP HAIRPIN**

Bagian ini akan berisi tentang bahasan teori dasar mengenai *filter mikrostrip* khususnya *bandpass filter mikrostrip* dengan *resonator hairpin* dan *open stub* dan *square groove*.

### **BAB 3 PERANCANGAN DAN SIMULASI**

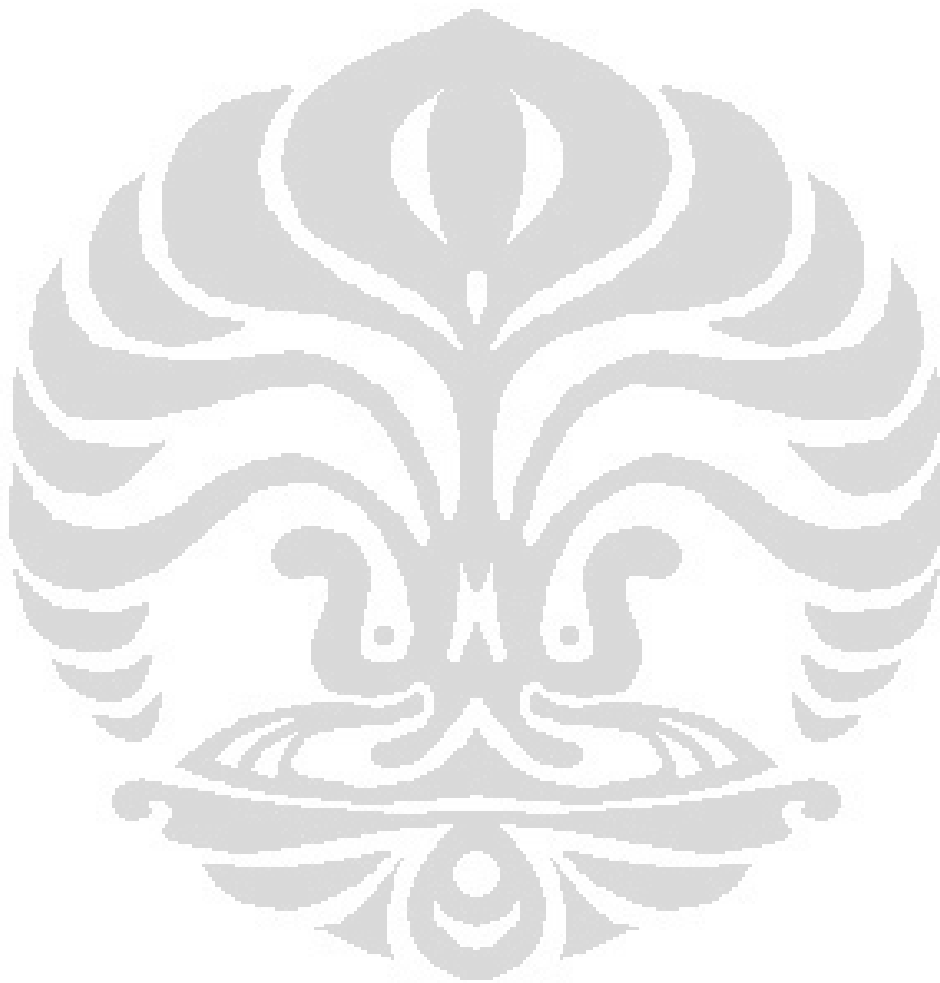
Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perancangan *hairpin filter* dengan orde 5, prosedur perancangan *open stub* dan *square groove*, serta memberikan hasil optimasi dari desain *filter* serta hasil simulasinya.

### **BAB 4 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS**

Bab ini berisi hasil pengukuran parameter *prototipe* antena. Hasil pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi.

## **BAB 5 KESIMPULAN**

Bab ini berisi poin-poin kesimpulan dari keseluruhan perancangan.



## BAB 2

### FILTER MIKROSTRIP HAIRPIN PADA APLIKASI RADAR

#### 1.6 2.1 Filter

*Filter* adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewatkan sinyal dengan rentang frekuensi tertentu dan menghilangkan atau memperlemah sinyal dengan frekuensi diluar frekuensi tersebut. *Filter* digunakan untuk mengontrol respon frekuensi pada suatu sistem RF/*microwave* dengan membiarkan pengiriman pada frekuensi dalam *passband filter*, dan redaman dalam *stopband filter*. *Filter* sendiri terdapat pada rangkaian pengirim maupun penerima, yang berguna untuk menyeleksi frekuensi yang dibutuhkan pada sistem tersebut.[11]

Dari tiap-tiap kelompok filter yang dibuat, akan diacu parameter *filter* yaitu frekuensi kerja, impedansi *input/output*, frekuensi *cut off*, kecuraman, lebar pita dan *ripple*. *Filter* secara umum dapat dijelaskan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Diagram Blok *Filter* Secara Umum

Pada gambar 2.1,  $V_i(t)$  merupakan sinyal dengan beberapa komponen yang frekuensinya berbeda-beda. Rangkaian pemilah frekuensi dalam hal ini memilih sinyal dengan frekuensi tertentu saja, sehingga  $v_o(t)$  merupakan tegangan dengan salah satu (daerah) frekuensi saja. Pemisahan frekuensi ini dinyatakan dalam apa yang dinamakan fungsi-alih  $H(s)$  atau  $h(t)$ , yang merupakan perbandingan tegangan sinyal keluaran dan tegangan sinyal masukan [11].

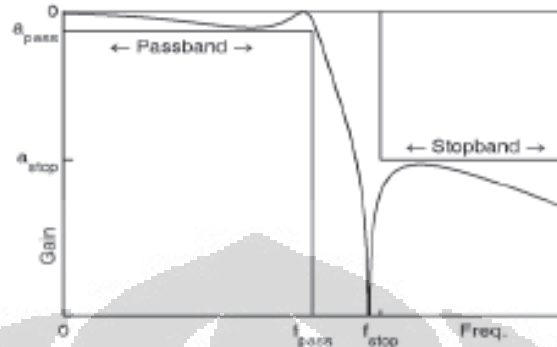
#### 1.7 2.2 Klasifikasi Filter Berdasarkan Daerah Kerja Frekuensi

Tujuan frekuensi dirancang adalah untuk menyeleksi frekuensi sehingga yang dilewatkan hanya frekuensi yang dibutuhkan saja. Berdasarkan daerah frekuensi kerja yang dilewatkan *filter* dibagi menjadi 4 macam.

- *Low Pass Filter (LPF)*



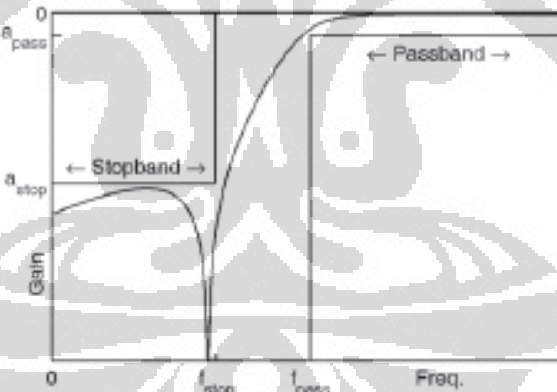
*Low pass filter* atau LPF adalah jenis *filter* yang melewatkan frekuensi dibawah frekuensi *cut off* dan meredam frekuensi diatas frekuensi *cut off*. Berikut respon frekuensi jenis LPF.



Gambar 2.2 Kurva LPF

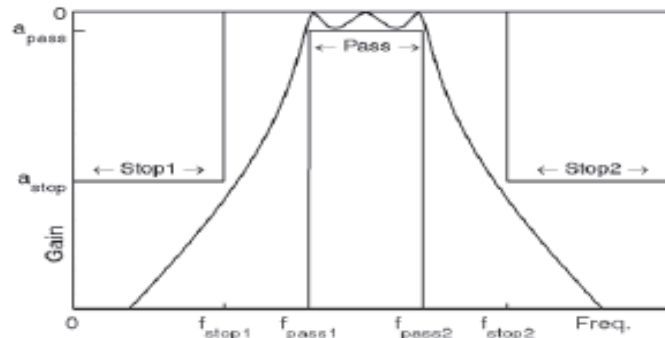
- *High Pass Filter (HPF)*

*High pass filter* atau *HPF* adalah jenis *filter* yang melewatkan frekuensi diatas frekuensi *cut off* dan meredam frekuensi yang berada dibawah frekuensi *cut off*. Berikut respon frekuensi *filter* jenis *HPF*.



Gambar 2.3 Kurva HPF

- *Band Pass Filter (BPF)*

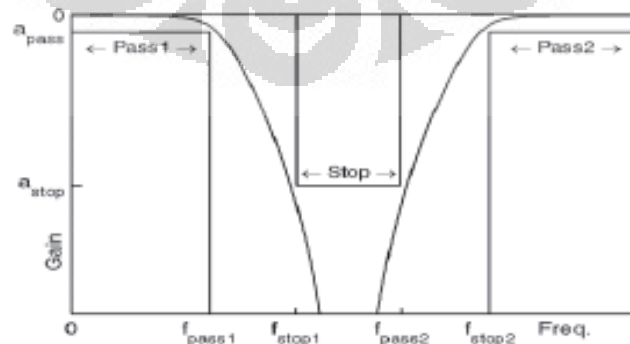


Gambar 2.4 Kurva BPF

*Band pass filter* atau BPF adalah jenis *filter* yang hanya melewatkan sinyal pada range frekuensi tertentu dan meredam sinyal diluar *range* frekuensi tersebut. BPF memiliki dua frekuensi *cut off* yaitu frekuensi *cutoff* 1 ( $f_{c1}$ ) dan frekuensi *cutoff* 2 ( $f_{c2}$ ). Range kedua frekuensi *cut off* inilah yang akan dilewatkan oleh *filter*, diluar *range* tersebut maka sinyal akan diredam. BPF bisa merupakan gabungan dari *filter* jenis LPF dan HPF. BPF memiliki satu frekuensi tengah yang merupakan frekuensi resonansinya ( $f_o$ ). Berikut gambar respon frekuensi BPF.

- *Band Stop Filter (BSF)*

*Band stop filter* atau BSF adalah kebalikan dari BPF, sama – sama mempunyai dua frekuensi *cut off*. Akan tetapi, range kedua frekuensi *cut off* pada BSF akan diredam dan diluar *range* frekuensi tersebut sinyal akan dilewatkan. Berikut gambar respon frekuensi dari BSF. BSF memiliki satu frekuensi tengah yang merupakan frekuensi resonansinya ( $f_o$ ).



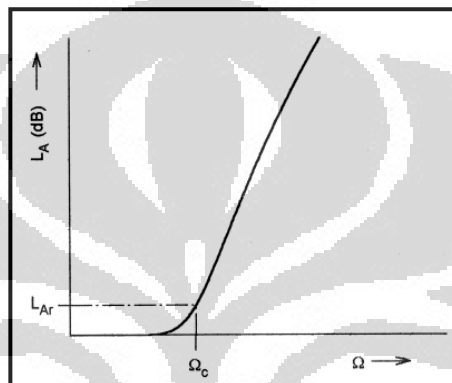
Gambar 2.5 Kurva BSF

### 1.8 2.3 Klasifikasi Filter Berdasarkan Respon Filter

Berdasarkan karakteristik respon *passband*-nya, *filter* bisa diklasifikasikan ke dalam empat macam. Bentuk respon frekuensi tergantung dari jumlah elemen atau orde *filter*. Semakin banyak jumlah elemen *filter*, maka bentuk respon semakin curam dan sebaliknya apabila jumlah elemen sedikit, bentuk respon menjadi landai.

#### 1. Respon Butterworth (*Maximally Flat*)

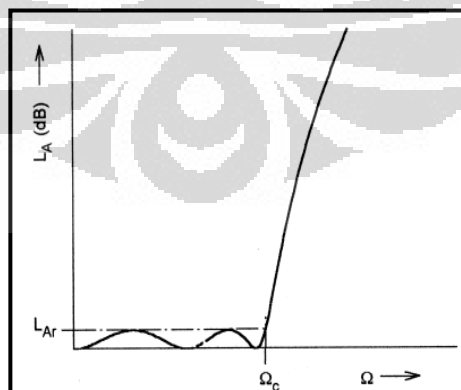
Pada jenis *filter* ini tidak terdapat *ripple* pada respon *passband*-nya.[11]



Gambar 2.6 Respon Lowpass Filter Butterworth

#### 2. Respon Chebyshev

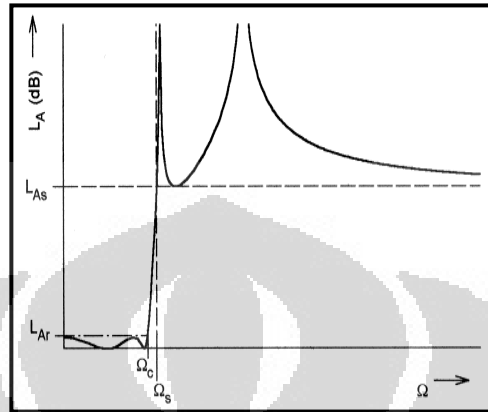
Respon *chebyshev* memiliki selektivitas yang lebih baik dibandingkan dengan respon *butterworth*. Namun, pada *filter* ini terdapat *ripple* yang konstant pada daerah *passband*-nya.[11]



Gambar 2.7 Respon Lowpass Filter Chebyshev

### 3. Respon *Elliptic*

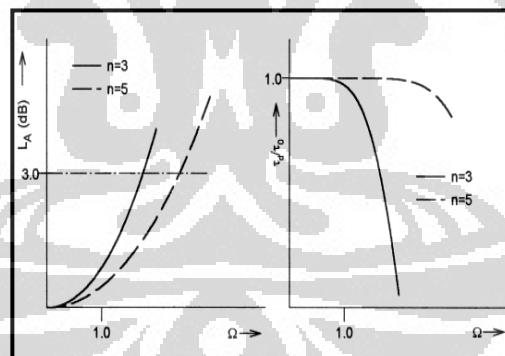
Filter ini mempunyai *ripple* yang sama pada respon *passband* maupun *stopband*-nya.[11]



Gambar 2.8 Respon *Lowpass Filter Elliptic*

### 4. Respon *Gaussian/Bessel (Maximally Flat Group-Delay)*

Respon *gaussian* tidak mempunyai *ripple* pada respon *passband*-nya. Pada respon ini, terdapat *delay* untuk setiap orde *filter* yang diberikan.[11]



Gambar 2.9 Respon *Lowpass Filter Gaussian/Bessel*

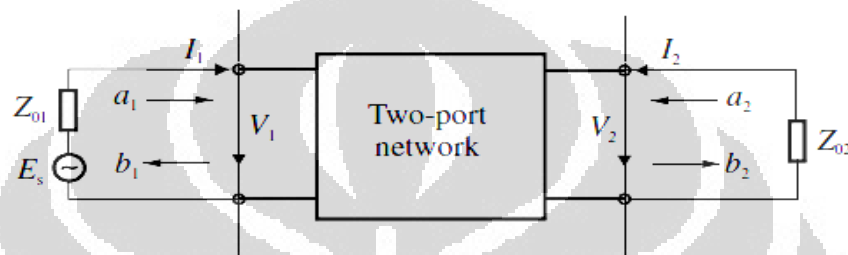
#### 1.9 2.4 Parameter *Filter*

Dalam merancang filter, harus ditentukan terlebih dahulu spesifikasi yang diharapkan dari *filter*. Hasil rancangan dari *filter* harus sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan atau paling tidak mendekati. Beberapa parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari suatu *filter* antara lain *scattering*

parameter (parameter  $s$ ), return loss, insertion loss, faktor Q, VSWR, dan group delay.

### 2.4.1 Parameter S

Parameter-S adalah suatu konsep yang penting dalam disain gelombang mikro karena mudah diukur dan bekerja dengan baik pada frekuensi tinggi. Walaupun suatu rangkaian bisa memiliki banyak terminal, parameter rangkaian bisa dijelaskan dengan mudah dengan menggunakan hanya dua terminal saja, yaitu terminal *input* dan *output*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12 [1].



Gambar 2.10. Two port

Rangkaian dua *port* (terminal) menunjukkan gelombang datang/*incident* ( $a_1, a_2$ ) dan gelombang pantul ( $b_1, b_2$ ). Persamaan *linear* yang menyatakan rangkaian dua terminal adalah :

diterminasi dengan beban yang sama dengan impedansi sistem ( $Z_0$ ), maka transfer daya maksimum,  $b_2$  akan total diserap dan membuat  $a_2$  sama dengan nol. Persamaan S-parameter dalam variabel gelombang dapat dituliskan dalam persamaan 2.3 dan 2.4 [9].

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2 = 0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1 = 0} \quad (2.3)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2 = 0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1 = 0} \quad (2.4)$$

Parameter  $S_{11}$  dan  $S_{22}$  merupakan koefisien refleksi sedangkan  $S_{12}$  dan  $S_{21}$  disebut koefisien transmisi. Parameter *Scattering* merupakan persamaan dengan bentuk kompleks dan dapat dijabarkan dalam *amplitudo* maupun fasanya. S-Parameter juga biasanya ditulis dalam bentuk logaritmik yaitu dinyatakan dengan persamaan 2.18.

$$20\log|S_{mn}|dB \text{ (dengan } m, n = 1 \text{ atau } 2) \quad (2.5)$$

Dalam analisa *filter*, terdapat parameter *return loss* dan *insertion loss*, persamaan 2.18 dan 2.19 menyatakan kedua parameter tersebut dalam bentuk logaritmik S-parameter.

$$L_A = -20 \log|S_{mn}| db \text{ dengan } m, n = 1, 2 \text{ (} m \neq n \text{)} \quad (2.18)$$

$$L_R = 20 \log|S_{nn}| db \text{ dengan } n = 1, 2 \quad (2.19)$$

$$VSWR = \frac{1+|S_{nn}|}{1-|S_{nn}|} \quad (2.20)$$

Dimana  $L_A$  menyatakan *insertion loss* antara port n dan m dan  $L_R$  menyatakan *return loss* pada port n [6].

#### 2.4.2 Return Loss

*Return loss* adalah kehilangan sejumlah daya yang dipantulkan kembali ke sumber diakibatkan karena gangguan transmisi atau rangkaian yang tidak *matching*. *Return loss* atau RL biasa dinyatakan sebagai rasio dalam *decibel*. Rasio ini adalah bentuk logaritmik dari perbandingan daya yang dipantulkan ( $P_R$ ) dengan daya yang dikirimkan dari sumber ( $P_T$ ). Nilai dari RL harus sekecil mungkin, jika dalam dB berarti harus bernilai negatif sebesar mungkin agar daya yang ditransfer maksimum. *Return loss* dinyatakan sebagai berikut [12].

$$RL = 10 \log_{10} \frac{P_R}{P_T} = 10 \log_{10} \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right)^2 \quad (2.3)$$

#### 2.4.3 Insertion Loss

*Insertion loss* atau disingkat IL adalah rugi – rugi daya yang dihasilkan karena penyisipan perangkat antara sumber dan beban. Daya yang dikirimkan dari sumber ke beban ada yang direfleksikan kembali ke sumber dan ada yang ditransfer ke beban, namun daya yang ditransfer ke beban ini sebagian akan hilang karena komponen pada rangkaian, hilangnya daya inilah yang disebut *insertion loss* [12]. *Insertion loss* ini merupakan rasio perbandingan antara daya yang dikirim ke beban sebelum *insertion loss* ( $P_T$ ) dengan daya yang diterima beban setelah *insertion loss* ( $P_R$ ) dalam logaritmik *decibel*. Nilai *insertion loss*

harus mendekati 1 atau 0 jika dalam dB, sehingga daya yang diterima beban sesuai dengan daya yang dikirim ke beban. *Insertion loss* dinyatakan sebagai berikut [1].

$$IL = 10 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} = -20 \log_{10} |S_{21}| \text{ dB} \quad (2.4)$$

#### 2.4.4 Q Factor

Faktor Q adalah faktor kualitas yang merupakan rasio dari frekuensi tengah rangkaian resonansi terhadap lebar *bandwidth*.

$$Q = \frac{f_c}{f_1 + f_2} \quad (2.5)$$

Dimana  $f_c$  adalah frekuensi tengah dan  $f_1$  dan  $f_2$  adalah frekuensi *cutoff* pertama dan kedua. Faktor Q digunakan untuk mengetahui selektivitas suatu *filter*. Semakin tinggi nilai faktor Q maka semakin tinggi selektivitas *filter* tersebut, dalam arti respon frekuensi nya semakin tajam atau curam [1].

#### 2.4.5 VSWR

VSWR atau *voltage standing wave ratio* adalah rasio Perbandingan antara *amplitudo* tegangan maksimum terhadap *amplitudo* tegangan minimum gelombang berdiri [12]. Tegangan maksimum dan tegangan minimum terjadi karena adanya superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul. Jika kedua gelombang ini sefasa akan terjadi tegangan maksimum dan bila berlawanan fasa akan terjadi tegangan minimum. Nilai VSWR dinyatakan dalam [9]. Harga untuk koefisien pantul adalah  $0 \leq |\Gamma| \leq 1$  dan untuk VSWR adalah  $1 \leq \text{VSWR} \leq \infty$ . Nilai VSWR yang baik adalah mendekati 1.

$$\text{VSWR} = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{|V^+| + |V^-|}{|V^+| - |V^-|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.6)$$

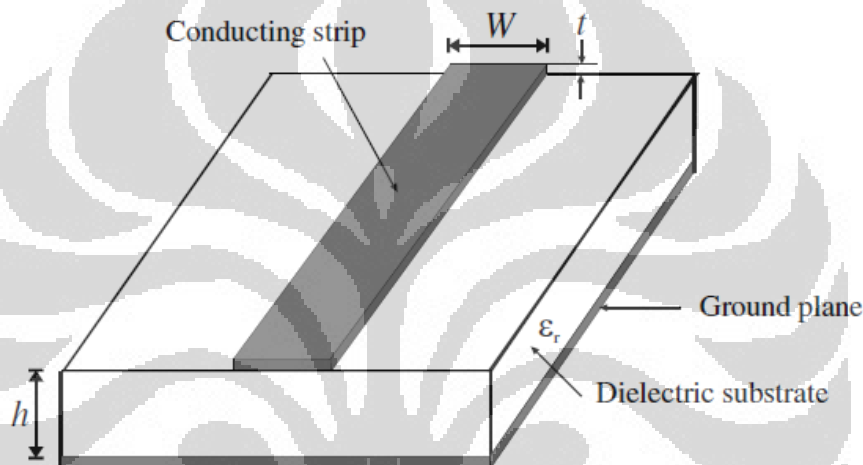
Dimana nilai koefisien pantul :  $\Gamma = \left| \frac{V_{reflected}}{V_{input}} \right|$

### 2.5 Microstrip Line

*Microstrip line* merupakan media transmisi yang digunakan di dalam rangkaian RF dan *microwave*. Pada saat ukuran *microstrip* di kurangi sehingga dimensinya menjadi lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang, maka

*microstrip* dapat digunakan sebagai elemen *lumped*. Parameter yang penting dalam merancang *transmission line* adalah karakteristik impedansi ( $Z_0$ ), efektif dielektrik konstan, *Atenuasi* ( $\alpha$ ), *discontinuity reaktansi*, frekuensi *dispersi*, *eksitasi* gelombang pada permukaan, dan radiasi.

Mikrostrip adalah suatu saluran transmisi yang terdiri dari *strip* konduktor dan *ground plane* yang antara keduanya dipisahkan oleh dielektrik. Mikrostrip pada umumnya digunakan karena lebih mudah dalam pabrikasinya dan *losses* yang ditimbulkan relatif lebih kecil jika dibandingkan dari rangkaian *lumped* [6]. Bentuk geometri mikrostrip tampak seperti Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Bentuk geometri microstrip

Untuk mendapatkan nilai  $W$  (lebar saluran *resonator*) dapat digunakan persamaan 2.1-2.4.

- Untuk  $w/h < 2$

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad \left( \text{untuk } \frac{w}{h} < 2 \right) \quad (2.1)$$

$$\text{Dengan } A = \frac{Z_c}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r+1}{2} \right\}^{0.5} + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2.2)$$

- Untuk  $w/h > 2$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (B-1) - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B-1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.3)$$

$$\text{Dengan } B = \frac{60\pi^2}{Z_c\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$



**Impedansi karakteristik ( $Z_C$ )** dapat dicari dengan persamaan 2.15.

$$Z_C = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left[ \frac{F}{W/h} + \sqrt{1 + \left( \frac{2}{W/h} \right)^2} \right] \quad (2.15)$$

Dimana :

$$F = 6 + (2\pi - 6) \exp \left[ - \left( \frac{30.666}{W/h} \right)^{0.7528} \right]$$

Kemudian untuk mendapatkan nilai L (panjang saluran resonator) dapat digunakan persamaan 2.5-2.6 [5].

$$L = \frac{(\beta L) \left( \frac{\pi}{180^\circ} \right)}{\sqrt{B} k_0} \quad (2.5)$$

$$\text{Dengan } k_0 = \frac{2\pi f}{c} \quad (2.6)$$

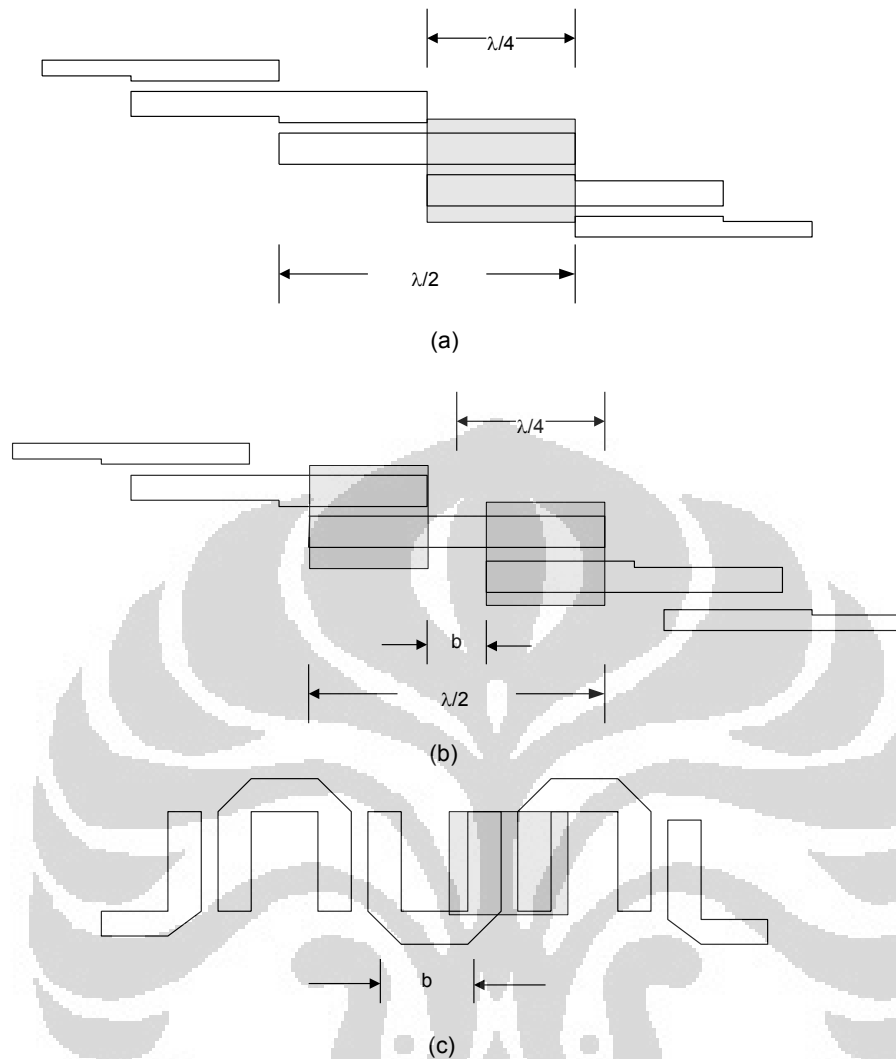
Nilai maksimum *error* pada (2.17) diatas kurang dari 1%, sehingga sangat bermanfaat untuk proses pabrikasi.

## 2.6 Filter Mikrostrip Bandpass

Filter bandpass mikrostrip memiliki beberapa metode perancangan yaitu diantaranya : *edge coupled*, *parallel coupled*, *hairpin* dan *interdigital* [3]. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan.

## 2.7 Filter *Hairpin*

mempunyai struktur yang tersusun rapi. *Filter* ini mempunyai konsep yang ditentukan oleh lipatan – lipatan *resonator parallel-coupled*, *half-wavelength resonator filter* yang mempunyai bentuk “U”. *Resonator* bentuk “U” inilah yang disebut dengan *hairpin resonator*. Konsekuensinya, desain *hairpin* menggunakan persamaan dari *parallel-coupled*, *half-wavelength resonator filters* untuk merancanginya. Bagaimanapun untuk lipatan *resonator*, ini penting untuk mengambil perkiraan pengurangan dari panjang *coupled line*, yang mana mengurangi kopling antara *resonator*. Begitu juga, jika dua lengan *hairpin resonator* dihitung dengan teliti, akan berfungsi sebagai sepasang saluran terkopel. Gambar dibawah ini merupakan struktur dari *hairpin filter* [4].



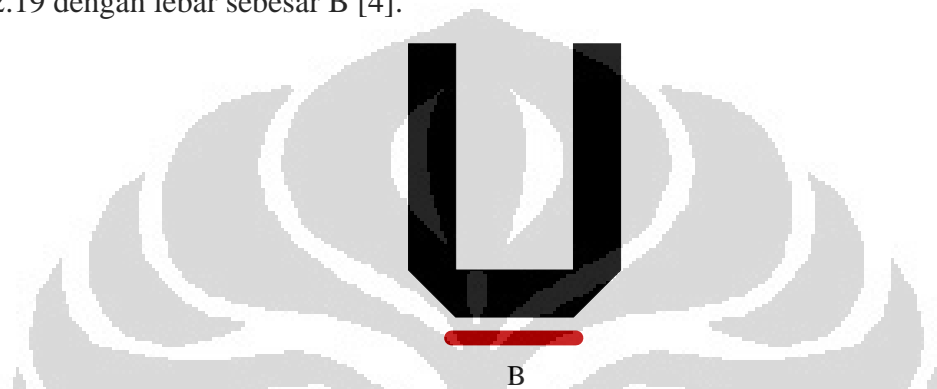
Gambar 2.12 Transformasi *Edge Coupled Filter* menjadi *Hairpin Filter*

Metode *Hairpin* merupakan pengembangan dari metode *parallel Coupled* dimana saluran *coupled line*  $\lambda/4$  dilipat sebesar  $L$  atau  $((\lambda/4)-b)$  dengan  $b$  adalah panjang saluran yang tidak mengalami *kopling* [5].

Gambar 2.17 memperlihatkan transformasi *filter hairpin* dari *filter edge coupled*. Pada gambar 2.17(a), panjang saluran terkopel pada resonator *edge-coupled filter* adalah  $\lambda/4$  (ditandai dengan area berwarna abu-abu). Kemudian pada gambar 2.17(b) *resonator* digeser sejauh  $b$  untuk memberikan panjang saluran yang tidak terkopel pada *hairpin filter* (*slide factor area*). Kemudian *resonator* tersebut dibengkokkan sehingga terbentuk *filter* seperti pada gambar 2.17(c).

### 2.7.1 Slide factor

*Slide factor* merupakan saluran yang tidak terkopel pada *filter hairpin*. *Slide factor* yang terlalu panjang akan mengakibatkan redaman *filter* bertambah, namun apabila *slide factor* terlalu pendek justru akan mengakibatkan adanya *kopling* diantara saluran *resonator* yang sama. Untuk itu, panjang *slide factor* minimal adalah 1 sampai 3 kali dari lebar resonator atau 2 sampai 2,5 kali jarak antar *resonator* itu sendiri. Bagian *Slide factor* pada *resonator* ditunjukkan pada gambar 2.19 dengan lebar sebesar B [4].



Gambar 2.13 *Slide factor*

### 2.7.2 Saluran Input

Terdapat dua metode pencatutan dalam mikrostrip hairpin yaitu dengan menggunakan *feed-line* dan *tap*. *Feed-line* ini merupakan saluran  $\lambda/4$  yang memiliki impedansi yang sama dengan saluran resonator dan dihubungkan dengan saluran  $50 \Omega$ . Sedangkan *tap* merupakan saluran dengan impedansi  $50 \Omega$  yang langsung dihubungkan dengan saluran *filter* [4]. Pemakaian jenis saluran input ini tergantung kepada topologi *filter* yang digunakan.

Posisi pencatutan berpengaruh terhadap faktor kualitas yang dihasilkan, persamaan 2.8 dapat digunakan untuk mendapatkan faktor kualitas yang diinginkan, kemudian dengan mengatur posisi pencatu akan didapat spesifikasi *filter* yang sesuai dengan yang diinginkan [5].

$$Q = \frac{g_0 g_1}{FBW} \quad (2.8)$$

Dengan :

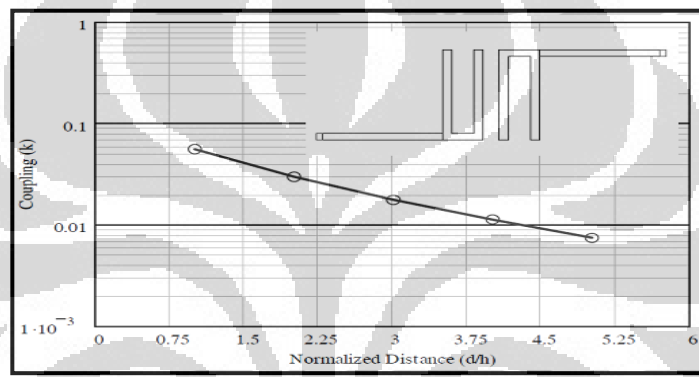
$$FBW = \text{Fractional Bandwidth} = \left( \frac{\text{Bandwidth}}{\text{FrekuensiTengah}} \right)$$

$g_i$  = elemen chebyshev untuk orde ke-i

Komponen-komponen dalam perancangan *filter* hairpin yaitu : dimensi resonator, koefisien kopling, *slide factor* (saluran yang tidak terkopel), panjang, dan saluran pencatu.

### 2.7.3 Koefisien Kopling

Koefisien *kopling* digunakan untuk menentukan *separation* dari *kopling resonator*. Hubungan koefisien *kopling* dengan *separation* diperlihatkan dalam



Gambar 2.14 Kopling diantara dua buah resonator hairpin [14]

Dapat dilihat pada gambar 2.18, jarak antara dua buah *resonator* dilambangkan dengan  $d$ . Semakin besar  $d$ , semakin kecil pengaruh *koplingnya*. Persamaan 2.7 digunakan untuk mencari koefisien *kopling*. [5]

$$M_{i,i+1} = \frac{FBW}{\sqrt{g_i \cdot g_{i+1}}} \quad (2.7)$$

Dengan :

$$FBW = \text{Fractional Bandwidth} = \left( \frac{\text{Bandwidth}}{\text{FrekuensiTengah}} \right)$$

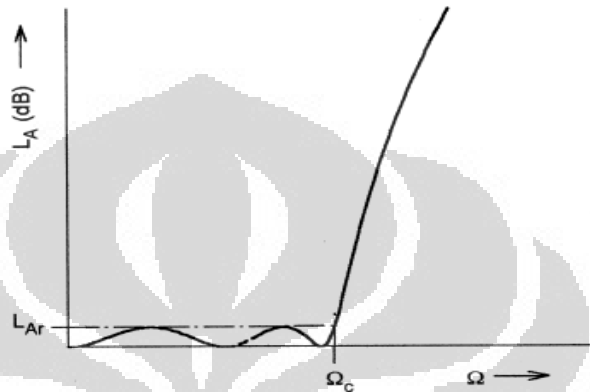
$g_i$  = elemen *chebyshev* untuk orde ke-i

## 2.8 Perancangan Filter dengan Respon Frekuensi Chebyshev

Dalam perancangan *filter*, dapat digunakan parameter *lowpass filter* sebagai parameter perencanaannya, caranya adalah dengan menyesuaikan karakteristik

*filter* yang diinginkan ke dalam parameter *lowpass filter* [4]. Dengan menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8, bisa didapatkan koefisien *kopling* dan faktor kualitas yang diinginkan, dimana variabel  $g_i$  bisa didapatkan dari parameter *lowpass filter* sesuai dengan bentuk respon frekuensi dan orde yang diinginkan.

Gambar 2.19 menggambarkan bentuk respon frekuensi *chebyshev*, dimana  $L_A$  adalah *insertion loss* dalam dB dan  $\Omega$  adalah *variabel* frekuensi



Gambar 2.15 Respon frekuensi *chebyshev* [13]

Untuk respon frekuensi *chebyshev* harga elemen-elemennya bisa dilihat pada tabel 2.1. Dengan menentukan ukuran *ripple* dalam parameter  $S_{21}$  dan jumlah ordenya, dapat dihitung karakteristik *filter* yang diinginkan.

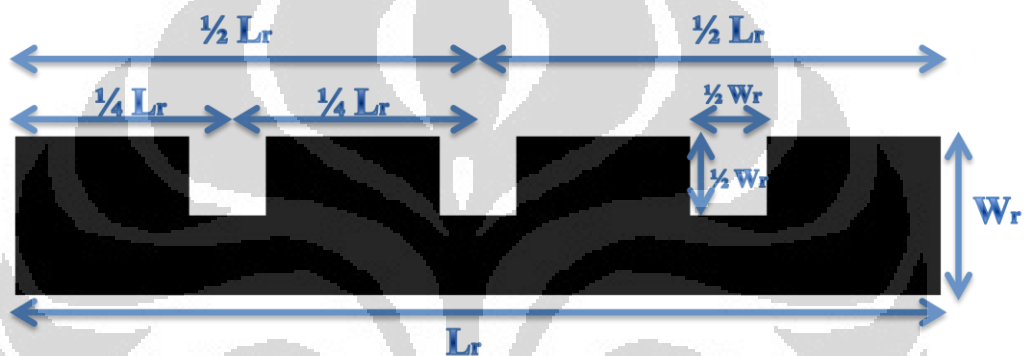
Tabel 2.1 Elemen untuk *chebyshev*, dengan *ripple* 0.01 dB [18]

<b>2</b>	0.4489	0.4078	0.9085						
<b>3</b>	0.6292	0.9703	0.6292						
<b>4</b>	0.7129	1.2004	1.3213	0.6476	0.9085				
<b>5</b>	0.7653	1.3049	1.5773	1.3049	0.7563				
<b>6</b>	.07814	1.3600	1.6897	1.5350	1.4970	0.7098	0.9085		
<b>7</b>	0.7970	1.3924	1.7481	1.6331	1.7481	1.3924	.07970		
<b>8</b>	0.8073	1.4131	1.7824	1.6833	1.8529	1.6193	1.5555	0.7334	0.9085
<b>9</b>	0.8145	1.4271	1.8044	1.7125	1.9058	1.7125	1.8044	1.4271	0.8145

## 2.9 Square Groove

Pada square groove, panjang dan lebar *square groove* dapat disesuaikan untuk mengimbangi kecepatan fasa pada *even* dan *odd*, sehingga meminimalkan frekuensi resonansi. Teknik ini menghasilkan dimensi *filter* yang lebih kecil. Dalam modifikasi *konvensional resonator hairpin* ini, *square groove* ditempatkan di kedua sisi *resonator* yang berdekatan dan sejajar.

Dalam Gambar. 3.6 (a) dan (b), diperlihatkan bentuk umum dari *square groove*. Dari beberapa kali hasil simulasi, ditemukan bahwa lebar optimal dari *square groove* adalah setengah dari lebar *resonatornya*. Dengan kondisi setiap *square groove* berada pada lokasi seperti pada Gambar 2.17.[8]



Gambar 2.16 *Square Groove*

## BAB 3

### PERANCANGAN DAN SIMULASI

#### Pendahuluan

Pada skripsi ini akan dirancang *filter mikrostrip hairpin* orde 5 dengan respon *chebyshev* yang beroperasi pada frekuensi kerja diantara 9,37 GHz hingga 9,43 GHz. Model *resonator* yang digunakan dalam *filter* ini adalah *model resonator hairpin* dengan *open stub* dan *square groove*.

Hasil rancangan tersebut dievaluasi dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *Agilent ADS 2009*. Setelah dilakukan simulasi maka *filter* akan difabrikasi dan kemudian dilakukan pengukuran menggunakan *Network Analyzer*.

#### Parameter Rancangan Yang Digunakan

Terdapat beberapa parameter penting dalam perhitungan dan simulasi pada perancangan ini. Parameter ini akan menjadi acuan dalam perhitungan dan simulasi dimensi *filter*.

Parameter *bandpass filter* yang akan dirancang sesuai dengan aplikasi pada Radar yang digunakan yaitu :

1. Frekuensi kerja : 9,37-9,43 GHz
2. *Bandwidth* -10 dB : 60 MHz
3. Frekuensi tengah : 9,4 GHz
4. FBW (*Fractional BW*) : 0.0064
5. *Insertion loss* : > -1 dB
6. *Return loss* : < -10 dB
7. *Matching Impedance* : 50 ohm
8. VSWR : 1-1,5
9. Ordo *Filter* : 5
10. Respon Frekuensi : Chybyshhev

## Perangkat Lunak yang Digunakan

Perancangan *filter* ini menggunakan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran *filter*, sedangkan perangkat lunak digunakan untuk mengetahui simulasi dan untuk mengetahui karakteristik atau kinerja dari *filter* yang dirancang.

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam perancangan *filter bandpass* antara lain:

- ADS (*Advanced Design System*) 2009

Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang dan mensimulasikan *filter* yang akan dibuat. Setelah disimulasi akan didapat beberapa karakteristik *filter* seperti  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ , *Group delay*, *Noise Figure*.

- Microsoft Visio 2007

Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan visualisasi desain rancangan.

- Microsoft Exel 2007

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data dengan persamaan matematis

Perangkat Keras (*Hardware*) yang digunakan dalam perancangan *bandpass filter* antara lain:

- Substrat dielektrik takonik TLY-5-A sebagai bahan *filter*
- Network Analyzer

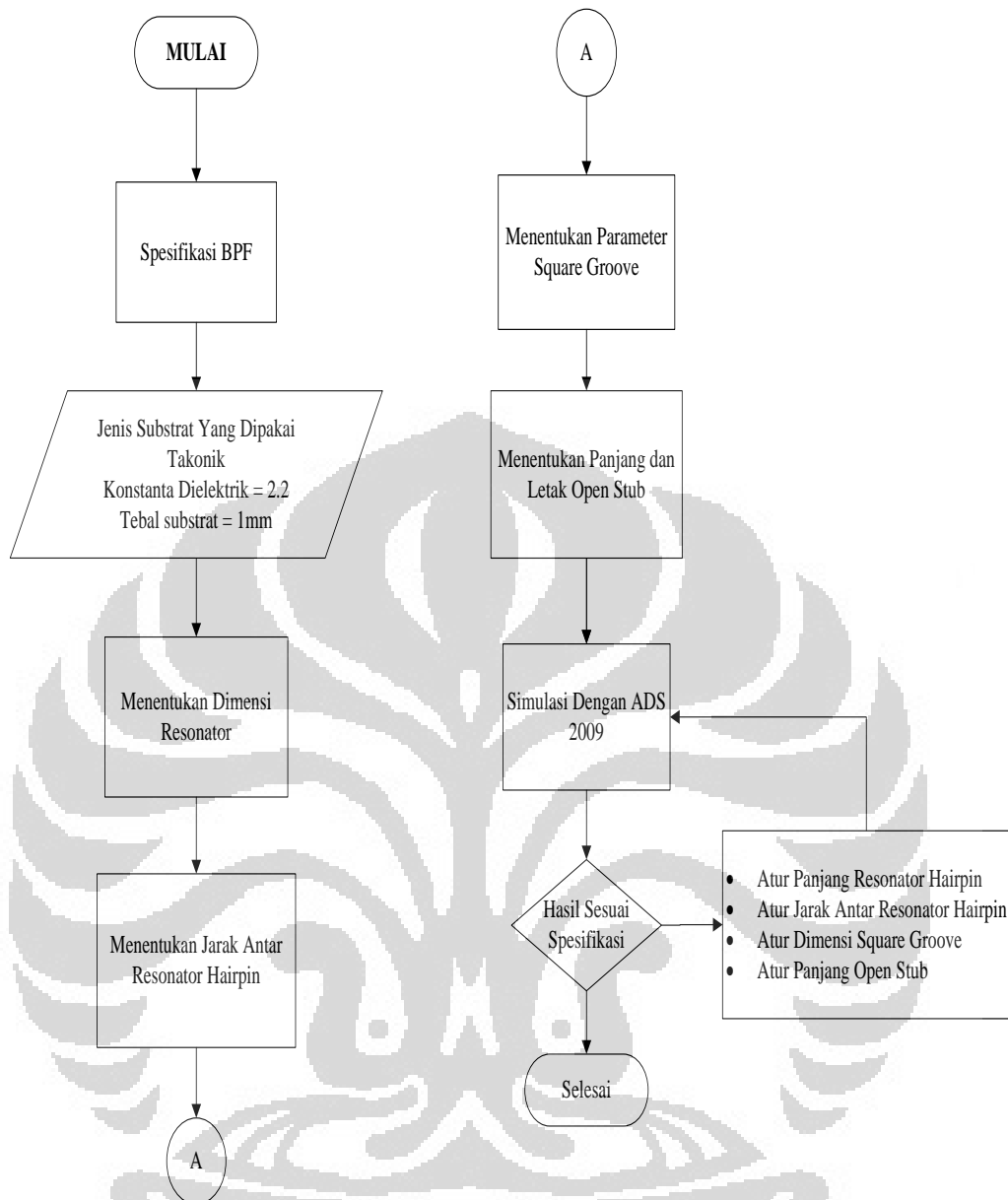
Alat ini digunakan untuk pengukuran *port* tunggal (melihat frekuensi kerja, mengukur *return loss*, mengukur *bandwidth* -10 db, VSWR) dan *port* ganda (mengukur *bandwidth* -3 db).

- Kabel *coaxial* 50 ohm
- SMA *port* 50 ohm

## Diagram Alir Perancangan Filter

Dalam merancang *filter* diperlukan tahapan-tahapan untuk membantu dalam proses perancangan. Gambar 3.1 merupakan gambar diagram alir dari perancangan *filter* pada seminar ini





Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan *Filter*

Perancangan dimulai dengan menentukan spesifikasi BPF. Lalu pemilihan *substrat* Takonik dengan ketebalan 1mm dikarenakan memiliki konstanta dielektrik yang lebih baik. Pada proses fabrikasi ada dimensi minimum sebesar 0.2mm, sehingga dalam proses perancangan *filter* tidak boleh ada desain yang kurang dari batas ukuran minimum fabrikasi.

Selanjutnya merancang *bandpass filter mikrostrip hairpin*. Masing-masing dievaluasi dan disimulasikan menggunakan perangkat lunak *Advanced Design*

System (ADS) 2009. Lalu merancang *bandpass filter hairpin* ditambah dengan *square groove* untuk miniaturisasi dan *open stub* untuk meningkatkan *bandstop rejection*. Jika belum didapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, dilakukan *tuning* sampai didapat hasil yang diinginkan.

### Jenis Substrat Yang Digunakan

Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat Yang Digunakan

Jenis Substrat	Takonik
Konstanta Dielektrik Relatif ( $\epsilon_r$ )	2,2
Dielectric Loss Tangent ( $\tan \delta$ )	0,0001
Ketebalan Substrat (h)	0,9 mm
Loss Tangen (TanD)	0,0001

### Perancangan Filter Hairpin

Pada penelitian ini akan dibuat BPF dengan menggunakan resonator *hairpin* dengan ordo 5. Parameter-parameter yang berpengaruh pada kinerja *filter hairpin* adalah panjang, lebar dan *slide* faktor. Parameter-parameter ini akan mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth*, *return loss* dan *insertion loss* dari *filter hairpin*. Untuk mendapatkan parameter-parameter ini dilakukan perhitungan menggunakan rumus, lalu dilakukan optimasi untuk mendapatkan *filter* yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Berikut ini perhitungan dari parameter-parameter *hairpin*.

#### 3.6.1 Perancangan Dimensi Resonator hairpin

Dengan menggunakan spesifikasi *substrat taconic* TLY-5A pada Tabel 3.1, maka dapat dihitung dimensi *filter* (panjang dan lebar salurannya). Konstanta dielektrik dan tebal *substrat* digunakan dalam perhitungan lebar dan panjang saluran *resonator*.

##### 3.6.1.1 Lebar Saluran Resonator

Lebar saluran *resonator* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1-2.4. Berikut perhitungan lebar saluran *resonator* dengan nilai konstanta dielektrik 2,2 dan tebal *substrat* 0,9 mm,  $Z_c$  bernilai 50 ohm.

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_c\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{60\pi^2}{50\sqrt{2,2}} = 7,9825$$

$$\begin{aligned} \frac{w}{h} &= \frac{2}{\pi} \left\{ (B - 1) - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \\ &= \frac{2}{3,14} \left\{ (7,9825 - 1) - \ln(15,965 - 1) \right. \\ &\quad \left. + \frac{2,2 - 1}{2,2(2)} \left[ \ln(7,9825 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \right\} \\ &= 3,08 \end{aligned}$$

Karena  $W/h > 2$  maka persamaan 2.1 dan 2.2 dapat digunakan dengan ketebalan( $h$ ) = 0,9 mm, maka lebar saluran *resonator* adalah

$$W = \frac{w}{h} * h = 3,08 * 0,9 \text{ mm} = 2,77 \text{ mm}$$

Nilai  $W$  ini merupakan lebar dari saluran *resonator hairpin* dan saluran pencatu. Nilai 2,77 mm ini digunakan agar *matching* pada proses pengukuran menggunakan SMA port 50 ohm. Lebar *resonator hairpin* yang digunakan adalah 0,8 mm, karena tidak memungkinkan menggunakan lebar *resonator* sebesar 2,77 mm untuk *filter* yang bekerja pada frekuensi 9,4 GHz.



Gambar 3.2 ilustrasi rancangan lebar resonator dan lebar pencatu;

$$w = 2,77 \text{ mm}, W_r = 0,8 \text{ mm}$$

### 3.6.1.2 Panjang Saluran Resonator

Panjang saluran *resonator* dapat dihitung dengan menggunakan 2.5-2.6. Berikut perhitungan panjang *resonator*:

$$\begin{aligned}\varepsilon_e &= \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + 12\left(\frac{h}{W}\right)}} \\ &= \frac{2,2+1}{2} + \frac{2,2-1}{2} \sqrt{\frac{1}{1+12\left(\frac{1}{3,08}\right)}} = 2,65\end{aligned}$$

$$K_0 = \frac{2\pi f}{c}$$

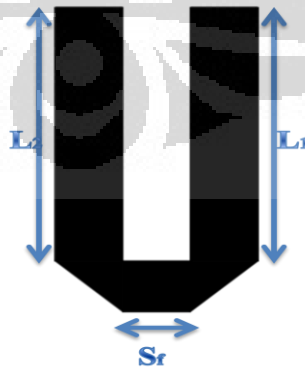
$$K_0 = \frac{2\pi * 9,4 * 10^9}{3 * 10^8} = 196,77 \text{ m}^{-1}$$

$$L = \frac{\left(\frac{\pi}{180}^\circ\right)}{\sqrt{\varepsilon_e K_0}} \varnothing^\circ \text{ m}$$

Karena *filter* dengan *resonator hairpin* menggunakan saluran dengan panjang setengah panjang gelombang maka  $\varnothing = 180^\circ$ . Kemudian dapat dicari panjang saluran untuk masing frekuensi kerja.

$$L = \frac{\left(\frac{\pi}{180}^\circ\right)}{\sqrt{2,65 * 196,77}} 180^\circ \text{ m} = 0,0098 \text{ m} = 9,8 \text{ mm}$$

Nilai ini adalah panjang total dari *resonator hairpin* yaitu 9,8 mm.



Gambar 3.3 Ilustrasi Rancangan Panjang *Resonator Hairpin*

Dari Gambar 3.2 terlihat struktur dari *resonator hairpin*, dengan  $L=L_1+L_2+Sf$ .

Ilustrasi rancangan saluran *resonator* dapat dilihat pada Gambar 3.2. Dari ilustrasi tersebut, dapat dilihat saluran *resonator* dibelokkan sehingga panjangnya dibagi menjadi tiga bagian ( $L_1$  dan  $L_2$ ) disertai dengan saluran yang menghubungkan keduanya atau disebut juga dengan *slide factor* ( $Sf$ ).

Agar tidak terjadi *self coupling* (*kopling* dalam satu saluran *resonator*), maka panjang *slide factor* dibuat 1-3 kali dari lebar saluran *resonator hairpin* yaitu 2,6 mm. Pengaruh perubahan *slide* faktor adalah bergesernya frekuensi kerja dari *filter* dan perubahan *insertion loss*. Semakin panjang *slide* faktor maka frekuensi kerja dari *filter* akan semakin kecil dengan *insertion loss* semakin baik (mendekati 0 db), sedangkan semakin pendek *slide* faktor maka frekuensi akan semakin tinggi dengan *insertion loss* semakin kecil

### 3.6.1.3 Perancangan jarak antar *resonator*

*Filter hairpin* ini dirancang dengan menggunakan respon *Chebyshev* berorde 5. Perancangan *filter* dimulai dengan menentukan nilai *prototype filter lowpass* berdasarkan tabel *Chebyshev* dengan *ripple* 0,01 dB. Nilai koefisien *kopling* yang di dapat digunakan untuk mencari jarak antara *resonator hairpin*. Untuk orde 5 dan *ripple* 0,01 dB, respon frekuensi tersebut memiliki parameter sebagai berikut :

$$g_1 = 0,7653 \qquad g_2 = 1,3049$$

$$g_3 = 1,5773 \qquad g_4 = 1,3049$$

$$g_5 = 0,7563 \qquad g_6 = 1$$

- Perhitungan koefisien *kopling*

Berdasarkan nilai parameter di atas, koefisien *kopling* antara *resonator* dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$K_n = \frac{FBW}{\sqrt{g_n \cdot g_{n+1}}}$$

$$FBW = \frac{60}{9400} = 0,0064$$

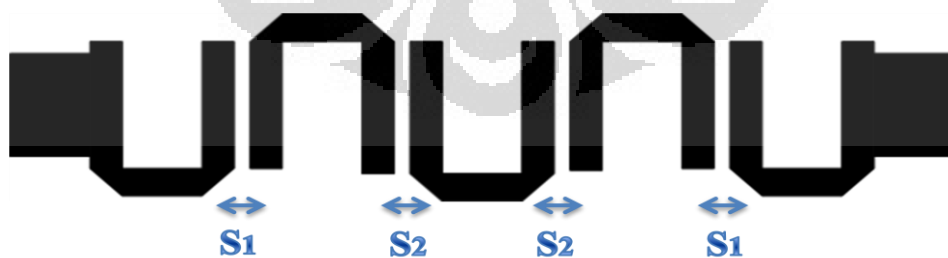
$$K_n = \frac{FBW}{\sqrt{g_n \cdot g_{n+1}}}$$

$$K_{12} = \frac{0,0064}{\sqrt{0,7653 \cdot 1,3049}} = 0,0064 = K_{45}$$

$$K_{23} = \frac{0,0064}{\sqrt{1,3049 \cdot 1,5573}} = 0,0044 = K_{34}$$

$$K_{56} = \frac{0,0064}{\sqrt{0,7653}} = 0,0073$$

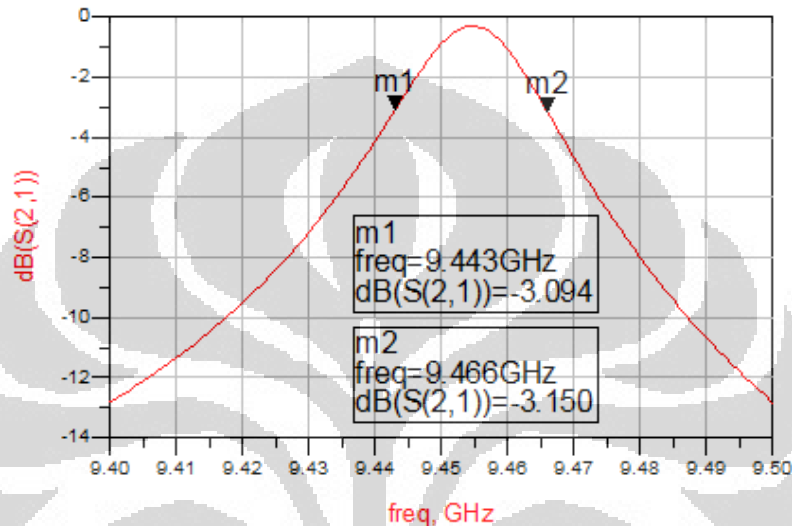
Untuk mengetahui jarak *resonator* yang sesuai dengan perhitungan koefisien *kopling*, dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Agilent ADS 2009. Simulasi dilakukan dengan mengamati grafik  $S_{21}$ . Pada perancangan ini menggunakan *hairpin* ordo lima, jadi ada  $S_1$  untuk jarak *resonator hairpin* 1 dan 2, serta *resonator hairpin* 4 dan 5, lalu ada  $S_2$  untuk jarak *resonator hairpin* 2 dan 3, serta *resonator hairpin* 3 dan 4. Terlihat pada Gambar 3. Dibawah ini.



Gambar 3.4 Ilustrasi Rancangan Jarak antar *Resonator Hairpin*

Dari gambar diatas terlihat ada jarak  $S_1$  dan  $S_2$ . Jarak antar *resonator* akan berpengaruh pada *bandwidth* dan frekuensi kerja dari *filter*. Sesuai perhitungan di

atas, diketahui nilai *kopling*. Besarnya koefisien *kopling* dapat diketahui dengan melihat parameter  $S_{21}$ -nya. Pada gambar 3.5 diperlihatkan bagaimana cara mendapatkan nilai  $K$  dari grafik  $S_{21}$ . Besarnya koefisien *kopling* didapatkan dengan menggunakan persamaan 3.5. Hasil tersebut kemudian dicocokkan dengan nilai  $K$  yang diinginkan.



Gambar 3.5 Grafik  $S_{21}$  untuk mendapatkan koefisien *kopling*

Dimana  $f_2$  dan  $f_1$  adalah dua frekuensi yang berdekatan dengan  $f_2 > f_1$ .

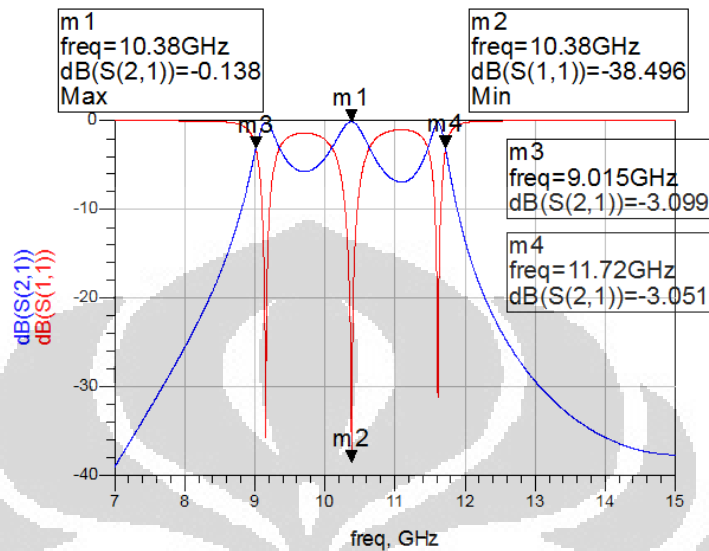
$$K = \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_2^2 + f_1^2}$$

Nilai  $K$  yang didapat dari perhitungan adalah 0,0064 untuk  $K_{12}$  dan 0,0044 untuk  $K_{34}$ . Lalu nilai perhitungan dengan melihat dari parameter  $S_{21}$  dilakukan untuk mendapatkan nilai seperti rumus.

#### 3.6.1.4 Simulasi dan Analisa BPF *hairpin*

Setelah dilakukan perhitungan untuk parameter-parameter *filter hairpin*, maka akan dibuat *filter hairpin* berdasarkan data perhitungan yang telah dibuat. *Filter Hairpin* ini dibuat berdasarkan perhitungan panjang, lebar, dan jarak antar

*resonator*. Panjang L1 seperti Gambar 3.3 adalah 3,7 mm, lebar adalah 0,8 mm, lebar saluran pencatu adalah 2,77 mm jarak S1 adalah 0,4 mm dan jarak S2 adalah 0,4 mm. Hasil simulasi dari *filter* terlihat pada gambar 3.6 Dibawah ini.

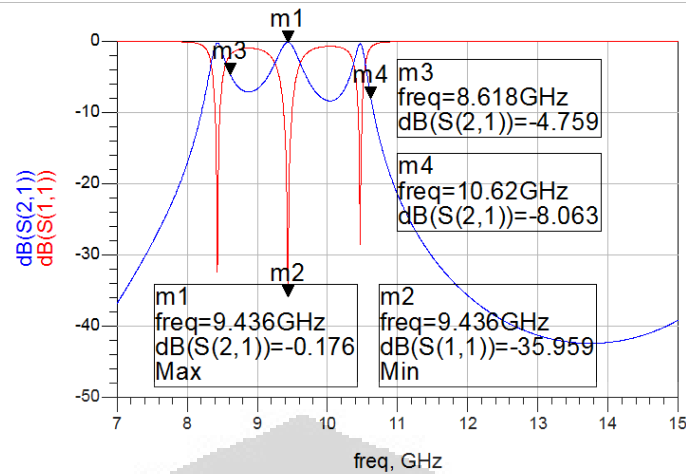


Gambar 3.6 Hasil simulasi BPF *hairpin*

Hasil perancangan berdasarkan perhitungan terlihat pada Gambar 3.6. didapatkan frekuensi tengah filter 10,38 GHz dan *bandwidth* -3db 11,72 GHz – 9,015 GHz = 2,705 GHz (2705 MHz). Hasil simulasi tidak sesuai dengan spesifikasi *filter*, yaitu *bandwidth* 60 MHz dan frekuensi tengah pada 9.4 GHz. Untuk frekuensi tengah dapat digeser dengan menambah panjang saluran *resonator hairpin* dan untuk *bandwidth filter* optimasi yang bisa dilakukan adalah dengan merubah jarak antar *resonator*, dari jurnal [3] diketahui semakin jauh jarak antar *resonator* maka semakin kecil koefisien *kopling* dan semakin kecil *bandwidth* dari *filter*.

Maka dilakukan simulasi ulang BPF *hairpin* dengan jarak S1 = 0,6 mm dan S2 = 0,5 mm L = 4,43 mm. Hasil simulasi terlihat pada gambar di bawah ini untuk mengetahui kinerja dari *filter* setelah dilakukan perubahan parameternya.





Gambar 3.7 Hasil Simulasi ulang BPF *hairpin*

Pada Gambar 3.7 terlihat perubahan frekuensi kerja BPF menjadi 9,436 GHz dan *bandwidth* 2002 MHz setelah ditambah panjang *resonator hairpin* dan di rubah jarak antar *resonatornya*. Untuk frekuensi kerja sudah mendekati spesifikasi *filter*, tetapi untuk *bandwith* masih sangat besar jika dibandingkan spesifikasi filter sebesar 60 MHz. Oleh karena itu dibutuhkan teknik untuk menghasilkan *stop-band rejection* pada *filter* sehingga mendapatkan *filter* sesuai spesifikasi.

#### Perancangan *Open Stub* pada BPF *Hairpin*



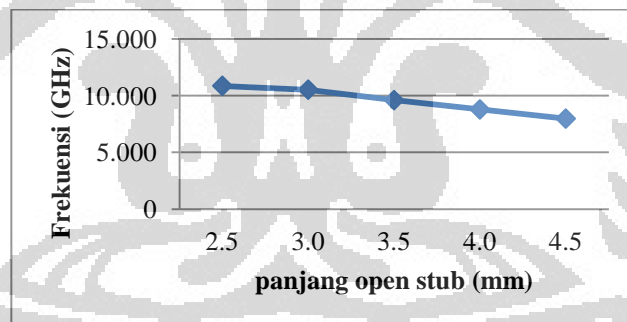
Gambar 3.8 Ilustrasi BPF dengan *Open-Stub*

Pada perancangan *bandpass filter* *hairpin* ini akan ditambah dengan *open stub*. *Open stub* berfungsi sebagai penghasil *stop-band rejection* sehingga menghilangkan frekuensi *resonan* dan *ripple* yang tidak diharapkan. *Open stub* diletakkan pada saluran *resonator hairpin* pertama dan kelima. Untuk panjang *open stub* akan dicari dengan proses optimasi. Ilustrasi BPF *hairpin* dengan *open stub* diperlihatkan pada Gambar 3.8.  $L_{0s}$  adalah panjang dari *open stub*.

Tabel 3.2 Pengaruh panjang *open stub* terhadap *bandstop rejection*

Panjang <i>open stub</i> $L_{os}$ (mm)	<i>Bandstop rejection</i> -40db
2,5	10,86 GHz
3	10,52 GHz
3,5	9,60 GHz
4	8,78 GHz
4,5	7,97 GHz

Pada Tabel 3.2 diperlihatkan posisi *stop-band rejection* yang dipengaruhi oleh panjang *open stub*. Simulasi menggunakan desain *hairpin* konvensional dengan ditambah *open stub*. *Open stub* dapat menghasilkan *stop-band rejection* sehingga dapat menyelesaikan masalah pada *hairpin* konvensional. Frekuensi *resonan* dan *ripple* dapat dihilangkan. Gambar 3.9 memperlihatkan grafik perubahan panjang *open stub* terhadap posisi *stop-band rejection*.

Gambar 3.9 Grafik perbandingan panjang *open stub*

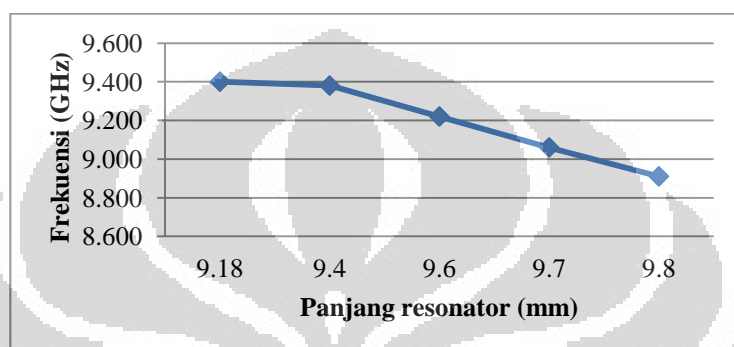
### 3.7.1 Tuning Panjang Saluran resonator Hairpin

Perancangan BPF dilanjutkan dengan menggeser frekuensi tengah dari *filter* dengan merubah panjang *resonator hairpin*. Panjang *resonator hairpin* sesuai perhitungan 9,8 mm.

Tabel 3.3 Hasil simulasi pengaruh perubahan ukuran *resonator* terhadap frekuensi

<i>Slide factor</i> ( $b$ ) (mm)	Panjang $L_1$ (mm)	Total panjang <i>resonator</i> ( $2*L_1+b$ ) (mm)	Frekuensi (GHz)

2,4	3,7	9,18	9,40
2,4	3,85	9,40	9,38
2,4	3,95	9,60	9,22
2,4	4,1	9,70	9,06
2,4	4,28	9,80	8,91



Gambar 3.10 Grafik panjang *resonator* terhadap frekuensi kerja

Dari hasil simulasi, terlihat pengaruh perubahan panjang *resonator* terhadap frekuensi kerja dari *filter*. Semakin panjang *resonator* maka frekuensi kerja dari *filter* akan semakin kecil. Panjang *resonator* yang paling mendekati frekuensi kerja 9,4 GHz adalah 9,18 mm.

### 3.7.2 Tuning Jarak *Resonator Hairpin*

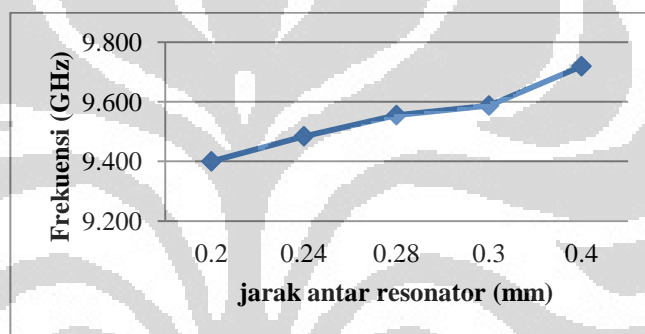
Setelah melakukan optimasi pada panjang saluran *resonator*, tahap selanjutnya optimasi pada jarak antara saluran *resonator hairpin*. Seperti pada perubahan panjang *resonator*, optimasi dilakukan dalam 5 tahap perubahan dan dilihat grafik perubahannya. Panjang S2 ditetapkan sebesar 0,2 mm, agar mendapatkan koefisien *kopling* yang kuat. Di bawah ini merupakan tabel perubahan jarak S1 terhadap *bandwidth* dan frekuensi kerja.

Tabel 3.4 Pengaruh jarak S1 terhadap *bandwidth* dan frekuensi

Jarak antar <i>resonator</i> S1	<i>Bandwidth</i>	Frekuensi (GHz)
0,2	74	9,410

0,24	60	9,404
0,26	59	9,396
0,3	57	9,390
0,4	54	9,385

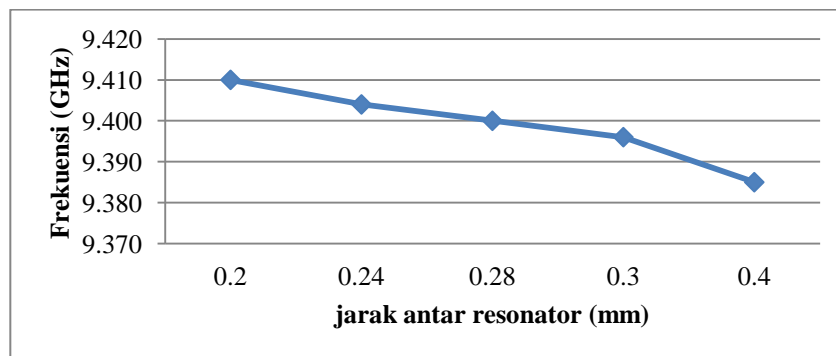
Dari grafik menunjukkan hasil simulasi antara jarak antar *resonator* terhadap frekuensi *filter*. Pada saat jarak S1 bertambah maka *bandwidth* akan semakin kecil, sedangkan respon frekuensi akan semakin besar. Dari proses optimasi didapatkan nilai S1 sebesar 0,24 mm untuk mendapatkan *bandwith* 60 MHz dengan frekuensi kerja 9,4 GHz.



Gambar 3.11 Grafik jarak antar *resonator* terhadap frekuensi kerja *filter*

Tabel 3.5 Pengaruh jarak S2 terhadap *bandwidth* dan frekuensi

Jarak antar <i>resonator</i> S2	<i>Bandwidth</i>	Frekuensi (GHz)
0,2	60	9,404
0,24	45	9,484
0,28	33	9,555
0,3	29	9,587
0,4	18	9,719



Gambar 3.12 Grafik jarak antar *resonator* terhadap frekuensi kerja *filter*

Dari grafik menunjukkan hasil simulasi antara jarak antar *resonator* terhadap frekuensi *filter*. Pada saat jarak S1 bertambah maka *bandwidth* dan respon frekuensi akan semakin kecil. Dari proses optimasi didapatkan nilai S1 sebesar 0,24 mm untuk mendapatkan *bandwidth* 60 MHz dengan frekuensi kerja 9,4 GHz.

Dari hasil optimasi didapatkan nilai S1 adalah 0,265 mm dan S2 adalah 0.2 mm. Pada jarak tersebut didapatkan parameter sesuai dengan karakteristik *filter* yang diinginkan, yaitu *bandwidth* 60 MHz dan frekuensi pada 9,400 GHz.

### 3.7.3 Analisa dan Hasil BPF *Hairpin* dengan *Open Stub*

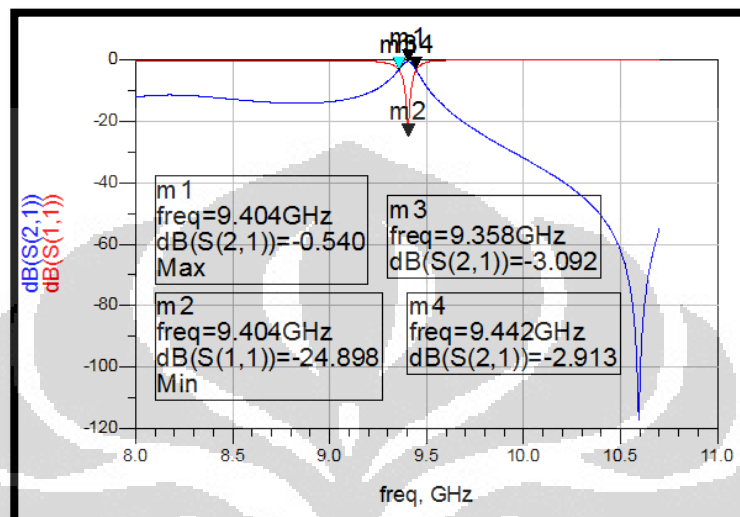
Penambahan *open stub* pada BPF *hairpin* menghasilkan *stop-band rejection* pada *filter*, sehingga dapat menghilangkan frekuensi *resonan* dan *ripple* yang tidak diperlukan. Tetapi dengan penambahan *open stub* menyebabkan *insertion loss* yang semakin besar. Pada *hairpin* konvensional nilai *insertion loss* sebesar -0,176 db, sedangkan pada *hairpin* dengan *open stub* *insertion loss* sebesar -0,540 db. Parameter-parameter yang berpengaruh pada kinerja *filter* ini adalah panjang saluran *resonator*, jarak antar *resonator* dan panjang *open stub*.

Panjang saluran *resonator* mempengaruhi frekuensi tengah dari filter. Semakin panjang saluran *resonator* maka semakin kecil frekuensi tengah dari filter.

Jarak antar *resonator* mempengaruhi *kopling* pada *filter* sehingga mempengaruhi *bandwidth* dari *filter*. Semakin jauh jarak antar *resonator* maka *bandwidth* akan semakin kecil.

Panjang *open stub* mempengaruhi posisi *stop-band rejection* pada *filter*. Semakin panjang *open stub* maka *stop-band rejection* semakin bergeser ke frekuensi yang lebih kecil.

Grafik dibawah ini merupakan grafik parameter S dari BPF *hairpin* dengan *open stub*.



Gambar 3.13 Hasil Kinerja Filter

Pada Gambar 3.12 Terlihat kinerja dari *filter*. *Filter* bekerja pada frekuensi 9,404 GHz dengan *bandwidth* 84 MHz, *return loss* -24,898 db dan *insertion loss* - 0,540 db.

### 3.8 Perancangan BPF Hairpin Dengan Open Stub dan Square Groove

Pada perancangan *bandpass filter hairpin* dengan *open stub* ini akan ditambah dengan *square groove* pada saluran *resonator hairpinnya*. *Square groove* berfungsi untuk *miniaturisasi* BPF serta memperbaiki nilai *insertion loss* dan *return loss*. *Square groove* berbentuk kotak dengan ukuran  $a * a$  seperti terlihat pada gambar 3.4. Dengan ditambah *square groove* menyebabkan frekuensi tengah bergeser ke frekuensi yang lebih kecil, sehingga dimensi *filter* dapat diperkecil dengan mengurangi *slide* faktor.

Parameter yang berpengaruh pada perancangan *square groove* adalah tinggi dan lebar dari *square groove*. semakin panjang lebar dan tinggi *square groove* maka *bandwidth* pada S21 akan semakin lebar dan frekuensi akan semakin kecil. Pada gambar dibawah terlihat saluran *resonator hairpin* dengan

menggunakan tiga *square groove*. Pada tahap awal digunakan satu *square groove*, kemudian dicari ukuran ideal untuk *square groove*. Ukuran awal *square groove* adalah 0,4 mm X 0,4 mm. Tinggi 0,4 mm didapatkan dari setengah lebar *resonator hairpin*.



Gambar 3.14 Ilustrasi *Resonator Hairpin* Dengan *Square Groove*

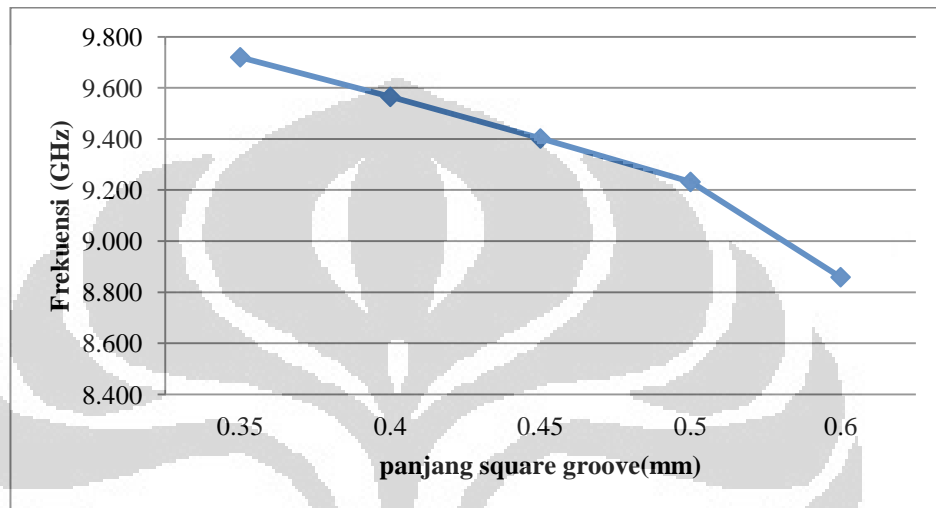
### 3.8.1 Tuning Ukuran *Square Groove*

Setelah melakukan optimasi pada desain *hairpin* maka akan dilakukan optimasi pada ukuran *square groove* yang akan ditambahkan pada desain *filter hairpin*. *Square groove* berbentuk kotak, memiliki parameter panjang dan lebar. Sesuai perhitungan pada bab 3, ukuran *square groove* pada awalnya adalah 0,4 mm \* 0,4 mm. Lalu dilakukan optimasi sebanyak 5 kali untuk panjang dan 5 pada lebarnya. Hasilnya terlihat pada gambar dibawah ini.

Tabel 3.6 Pengaruh ukuran panjang dan lebar *square groove* terhadap *bandwidth* dan frekuensi

Panjang <i>square groove</i> (mm)	Lebar <i>square groove</i> (mm)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	Frekuensi (GHz)
-----------------------------------	---------------------------------	------------------------	-----------------

0,35	0,35	24	9,720
0,4	0,4	39	9,565
0,45	0,45	60	9,402
0,5	0,5	87	9,232
0,6	0,6	152	8,859



Gambar 3.15 Grafik lebar *square groove* terhadap frekuensi kerja *filter*

Dari grafik terlihat hasil simulasi perubahan ukuran panjang dan lebar dari *square groove* terhadap frekuensi *filter*. Pada saat ukuran panjang 0,5 mm dan lebar 0,5 mm didapatkan hasil yang diinginkan, yaitu frekuensi kerja 9,400 GHz dan *bandwidth* -3db sebesar 60 MHz. Semakin besar ukuran dari *square groove* maka semakin kecil frekuensi kerja dari *filter*.

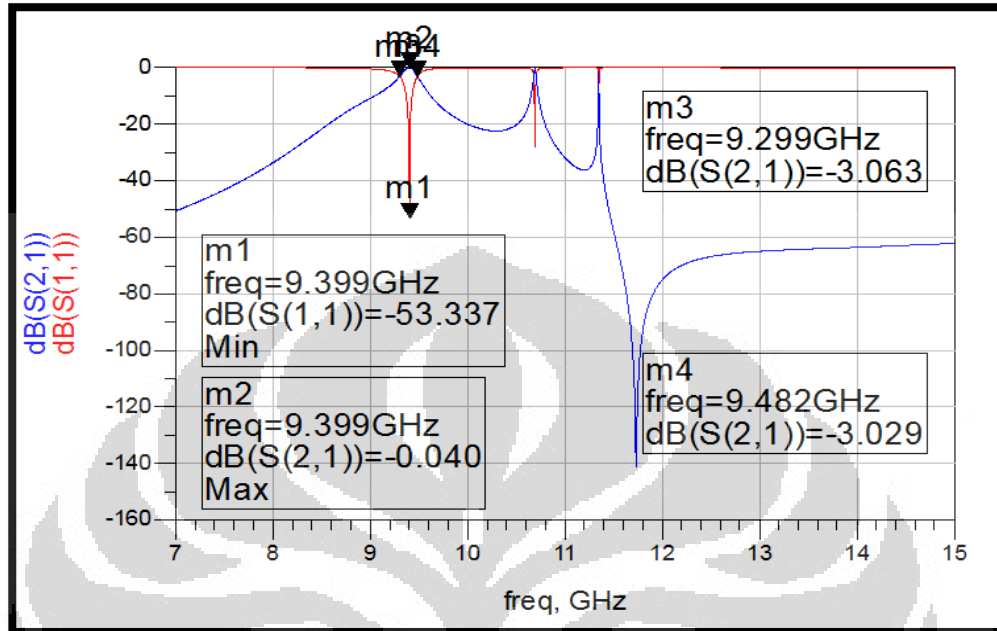
Dari hasil simulasi *filter bandpass hairpin* dengan menggunakan satu *square groove* dengan ukuran tinggi 0,5 mm dan lebar 0,5 mm merupakan desain yang paling sesuai dan memiliki karakteristik yang terbaik untuk perancangan *filter* ini.

### 3.8.2 Analisa dan Hasil simulasi BPF hairpin dengan open stub dan *square groove*

Penambahan *Square groove* pada BPF menghasilkan desain *filter* yang dimensinya lebih kecil dengan peningkatan pada *return loss* dan *insertion loss*. *Square groove* menyebabkan pergeseran *even* dan *odd* sehingga frekuensi kerja



bergeser ke frekuensi lebih kecil dan dapat dilakukan *miniaturisasi*. Ukuran *square groove* adalah 0.5 mm \* 0.5 mm. Hasil simulasi BPF *hairpin* dengan *open stub* dan *square groove* di perlihatkan pada Gambar 3.17.

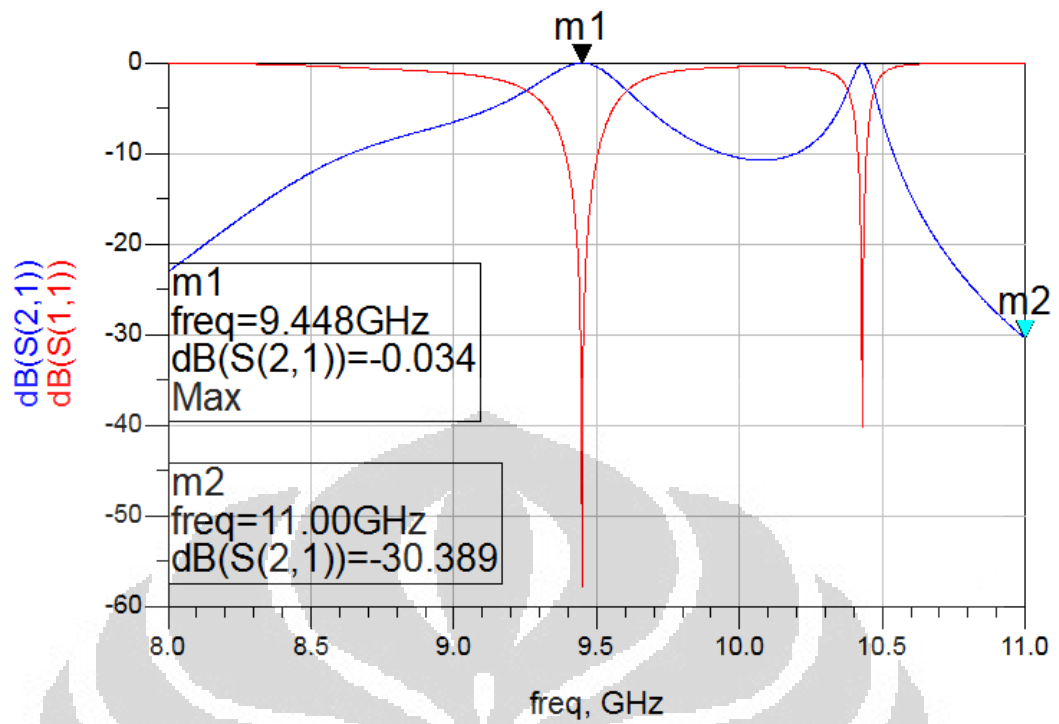


Gambar 3.17 Grafik parameter s BPF dengan groove

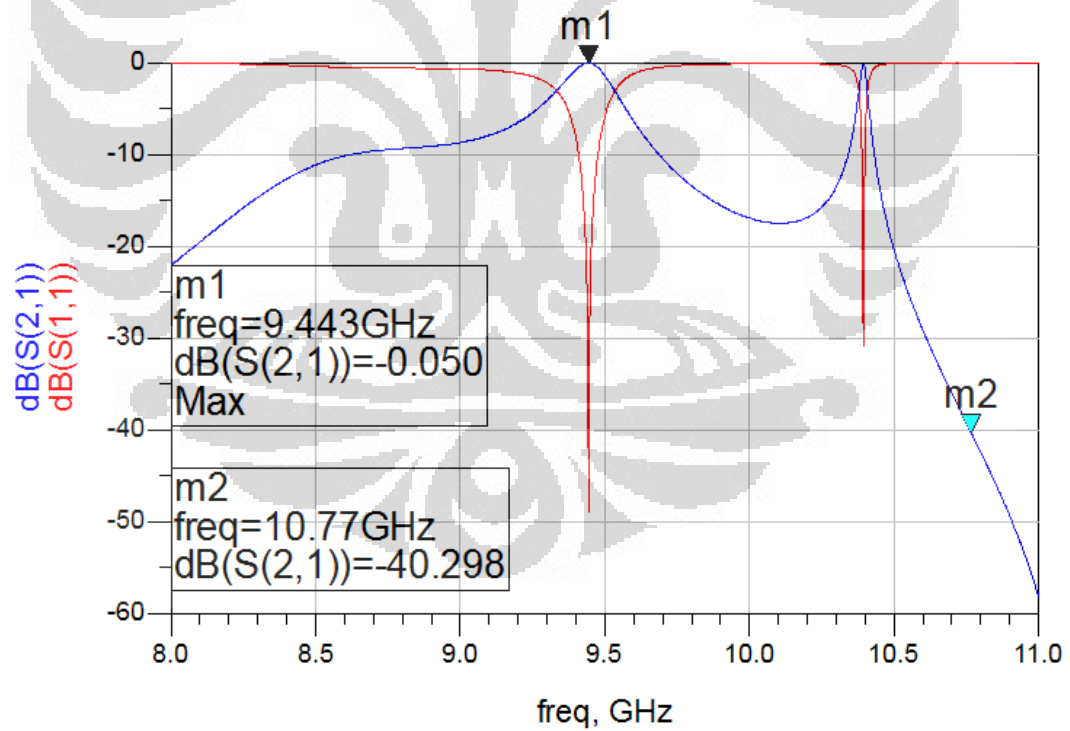
Dari Gambar 3.17 Terdapat frekuensi *resonan*, sehingga perlu dilakukan *tuning* pada panjang *open stub*. Maka dilakukan kembali *tuning* pada panjang *open stub* untuk mendapatkan *filter* dengan spesifikasi.

Tabel 3.8 Pengaruh panjang *open stub* terhadap *bandstop rejection*

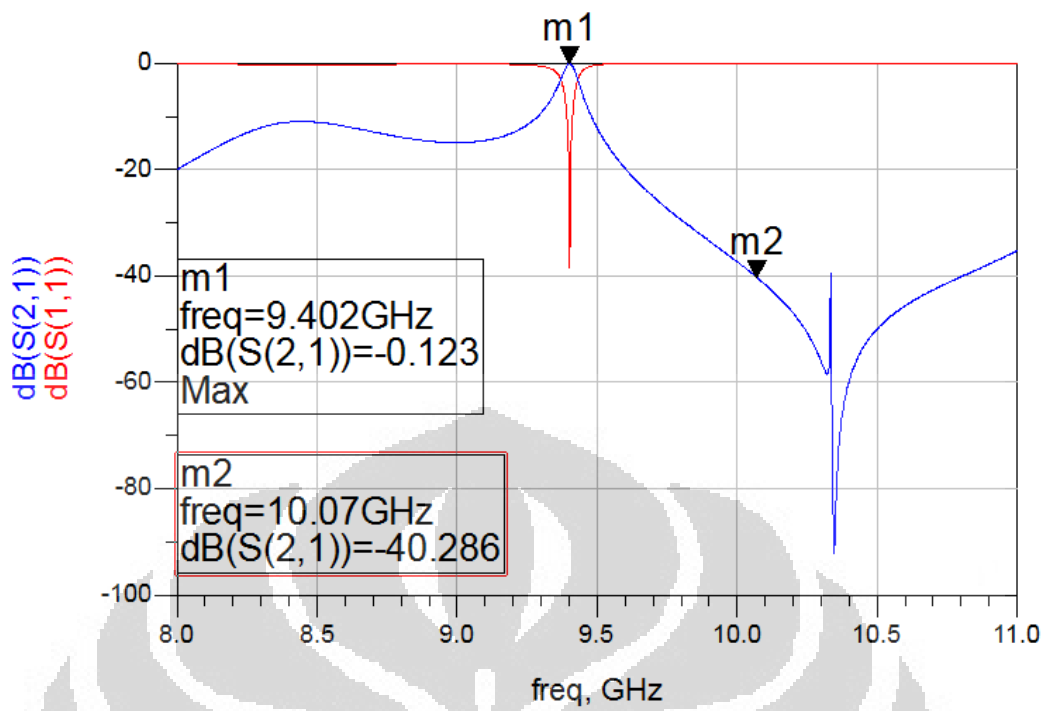
Panjang <i>open stub</i> (mm)	<i>Bandstop rejection</i> -40db
3,7	12 GHz
4	10,77 GHz
4,4	10,07 GHz
4,7	9,60 GHz
5	9,338 GHz



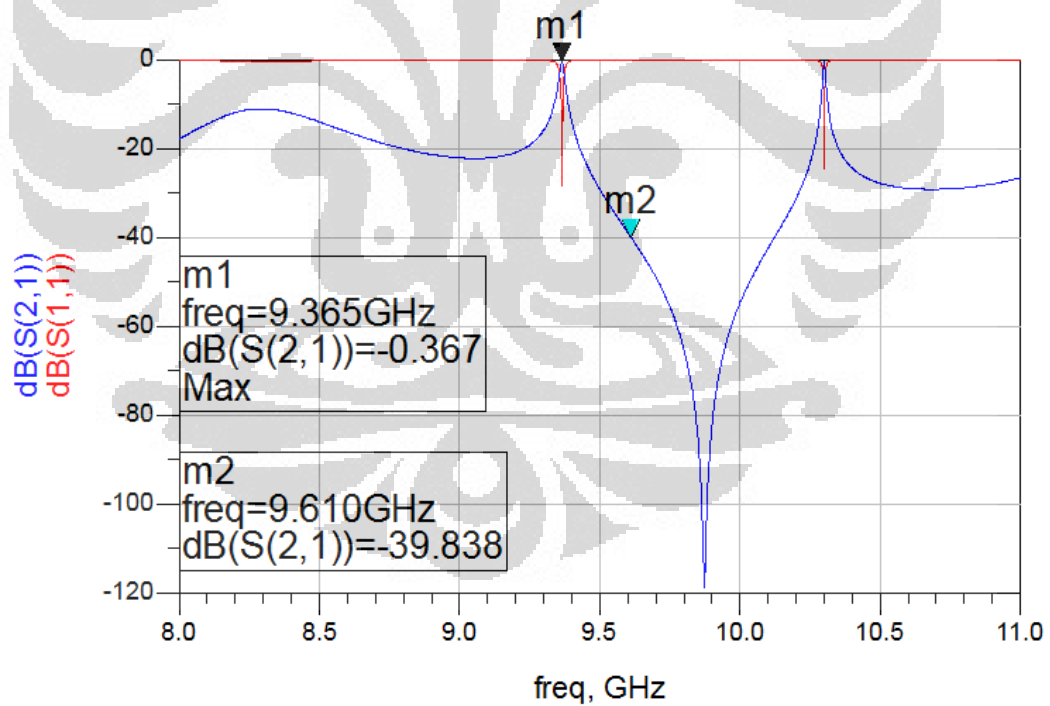
Gambar 3.18 Gambar simulasi S11 dan S22 p= 3,7 mm



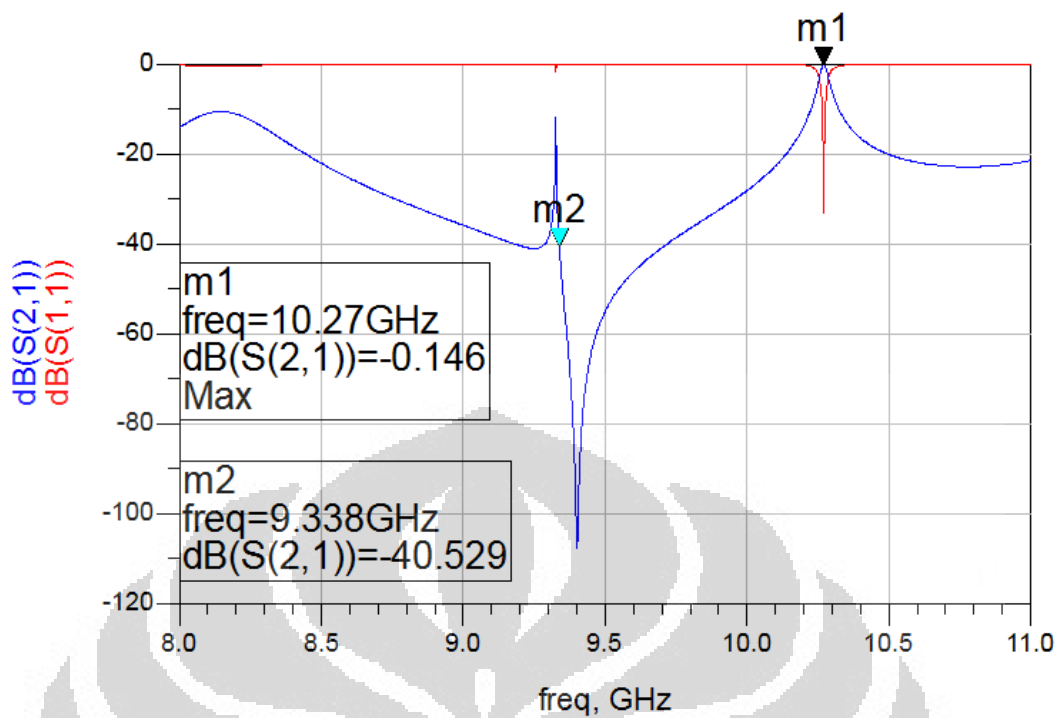
Gambar 3.19 Gambar simulasi S11 dan S22 p= 4 mm



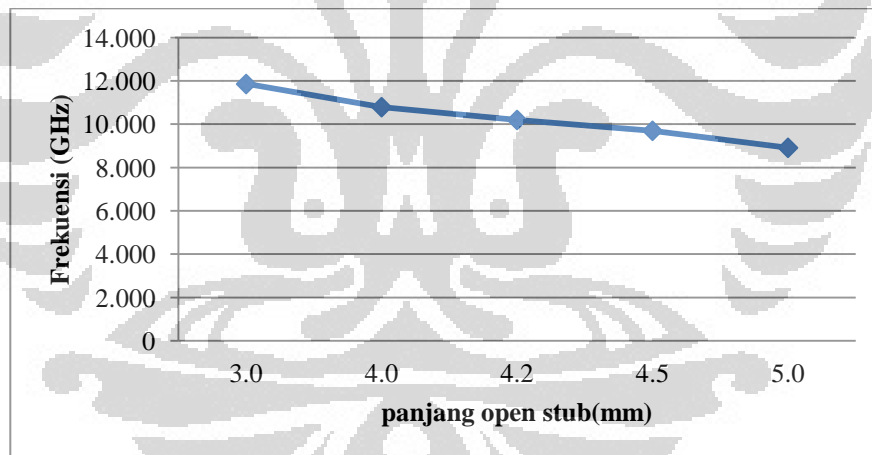
Gambar 3.20 Gambar simulasi S11 dan S22 p = 4,4 mm



Gambar 3.21 Gambar simulasi S11 dan S22 p = 4,7 mm



Gambar 3.22 Gambar simulasi S11 dan S22 p = 5 mm

Gambar 3.23 Grafik perbandingan panjang *open stub*

Optimasi panjang *open stub* dilakukan untuk mendapatkan *bandstop rejection* yang diinginkan. Pada data diatas diperlihatkan grafik S11 dan S21 untuk lima kali optimasi panjang *stub*. Dari grafik terlihat perpindahan *bandstop rejection* yang dipengaruhi oleh panjang *open stub*. Panjang *open stub* yang sesuai dengan spesifikasi adalah 4,3 mm terlihat pada gambar 3.

Dimensi BPF *hairpin* dengan *open stub* adalah 34 mm X 16 mm, sedangkan desain BPF *hairpin* dengan *open stub* dan *square* memiliki ukuran yang lebih kecil yaitu 28.50 \* 16 mm. *Miniaturisasi* yang terjadi sebesar 16,17%. Dapat dihitung dengan :

Luas BPF *hairpin* dengan *open stub* :

$$\mathbf{Luas} = 34 * 16 = 544$$

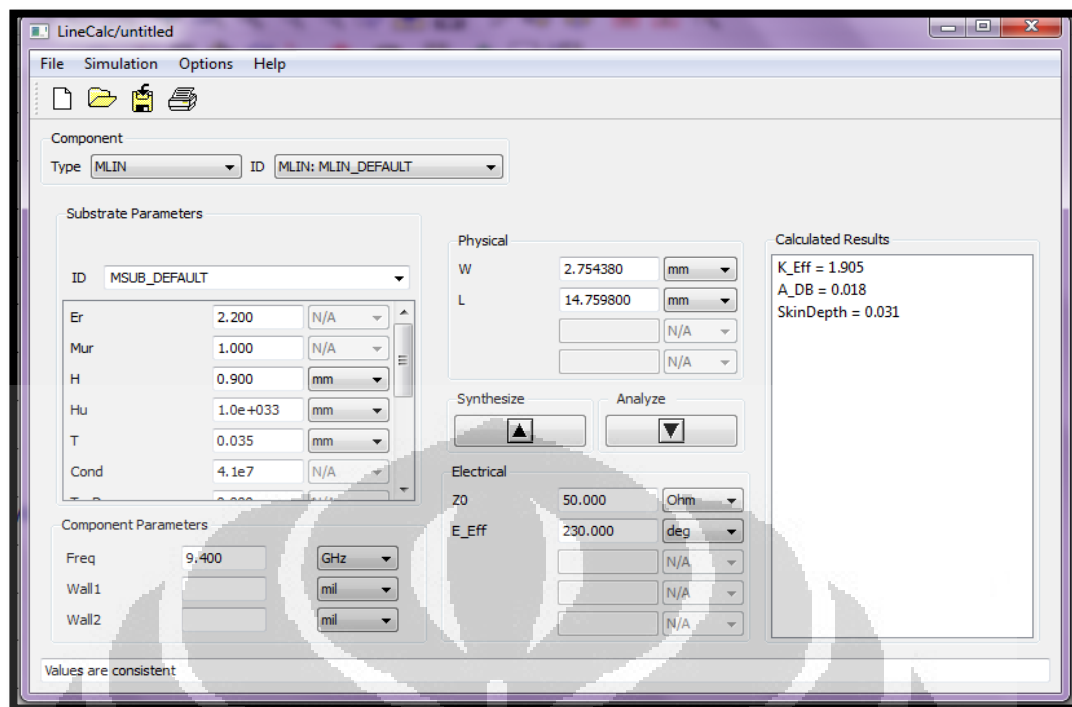
Luas BPF *hairpin* dengan *open stub* dan *square groove* :

$$\mathbf{Luas} = 28,50 * 16 = 456$$

$$\mathbf{Miniaturisasi} = \frac{544 - 456}{544} * 100\% = 16,17\%$$

### 3.9 Perancangan Pencatu Pada *Filter*

Pada saat pengukuran, pencatu pada *filter* akan dihubungkan dengan konektor SMN 50 ohm. Dengan demikian dalam perancangan pencatu *filter mikrostrip* perlu impedansi masukan ( $Z_{in}$ ) 50 ohm. Untuk mendapatkan nilai impedansi saluran pencatu 50 ohm, dapat dilakukan dengan mencari lebar saluran *mikrostrip*.

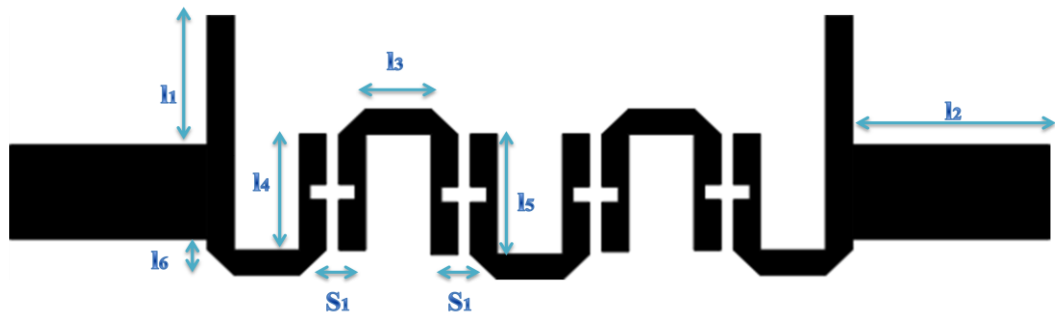


Gambar 3.24 *Line calculator* pada ADS 2009

Saluran pencatu yang digunakan berupa *tap*. *Tap* dirancang dengan panjang sebesar 6 mm dan lebar 2,77 mm. Nilai 2,77 mm didapatkan dari perhitungan pada bab 3.6 serta bisa juga menggunakan *subprogram Line Calculator* pada ADS 2009 dan memasukkan beberapa parameter yang dibutuhkan, maka secara otomatis akan mengetahui nilai lebar impedansi 50 ohm.

### 3.10 Dimensi Perancangan BPF *Hairpin* dengan *Open Stub* dan *Square Groove*

Berdasarkan dari hasil perhitungan maka didapatkan gambar dimensi dan bentuk dari perancangan *filter*. Panjang saluran *resonator hairpin* adalah 10.96 mm dengan lebar saluran *resonator hairpin* sebesar 0.8 mm, sedangkan jarak antara *resonator* satu dengan *resonator* dua dan *resonator* empat dan *resonator* lima adalah 0,24 mm, sedangkan jarak antara *resonator hairpin* dua dan *resonator hairpin* tiga dan *resonator hairpin* empat dan *resonator hairpin* tiga adalah 0,2 mm. Ukuran *groove square* adalah 0,35 mm \* 0,5 mm dan panjang *open stub* adalah 4,4 mm.



Gambar 3.25 Adalah desain akhir dari perancangan *bandpass filter hairpin* dengan *open stub* dan *groove square*.

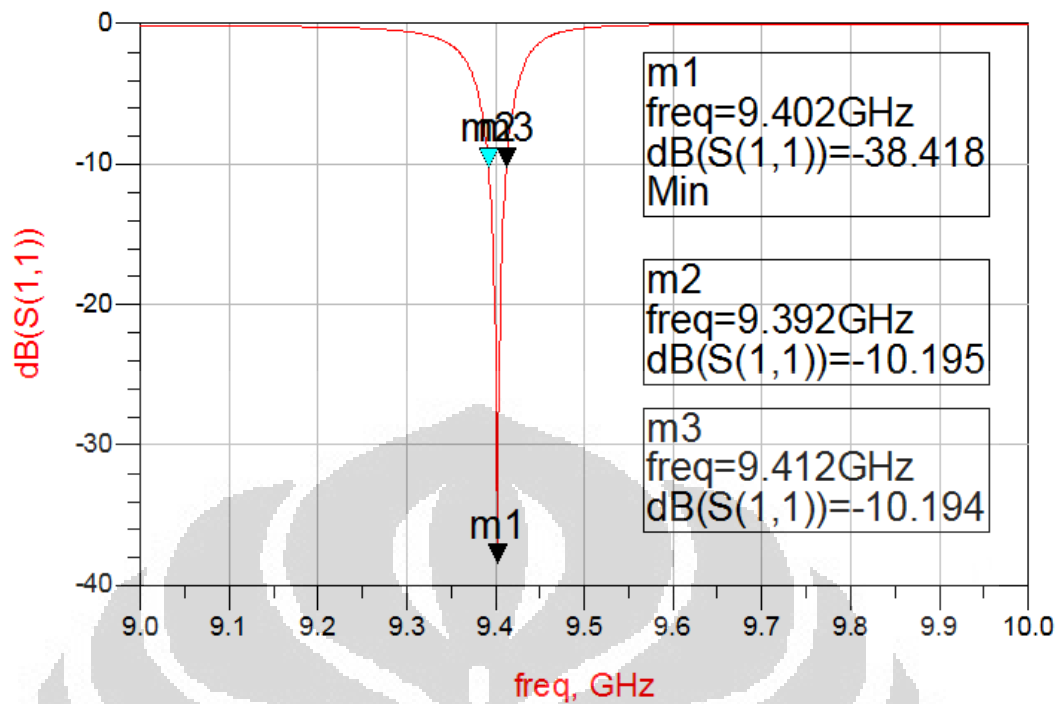
Tabel 3.8 Ukuran BPF *hairpin* dengan *open stub* dan *square groove*

l1 (mm)	l2 (mm)	l3 (mm)	l4 (mm)	l5 (mm)	l6 (mm)	S1 (mm)	S2 (mm)
4,4	6	1,5	3,01	3,57	0,48	0,24	0,2

Parameter-parameter yang mempengaruhi frekuensi kerja dari *filter* adalah Panjang saluran *resonator hairpin*, panjang *slide* faktor *hairpin*, jarak antar *resonator* ukuran dari *square groove* dan panjang *open stub*. Sedangkan parameter yang berpengaruh pada *bandwidth* adalah jarak antar resonator dan ukuran *square groove*.

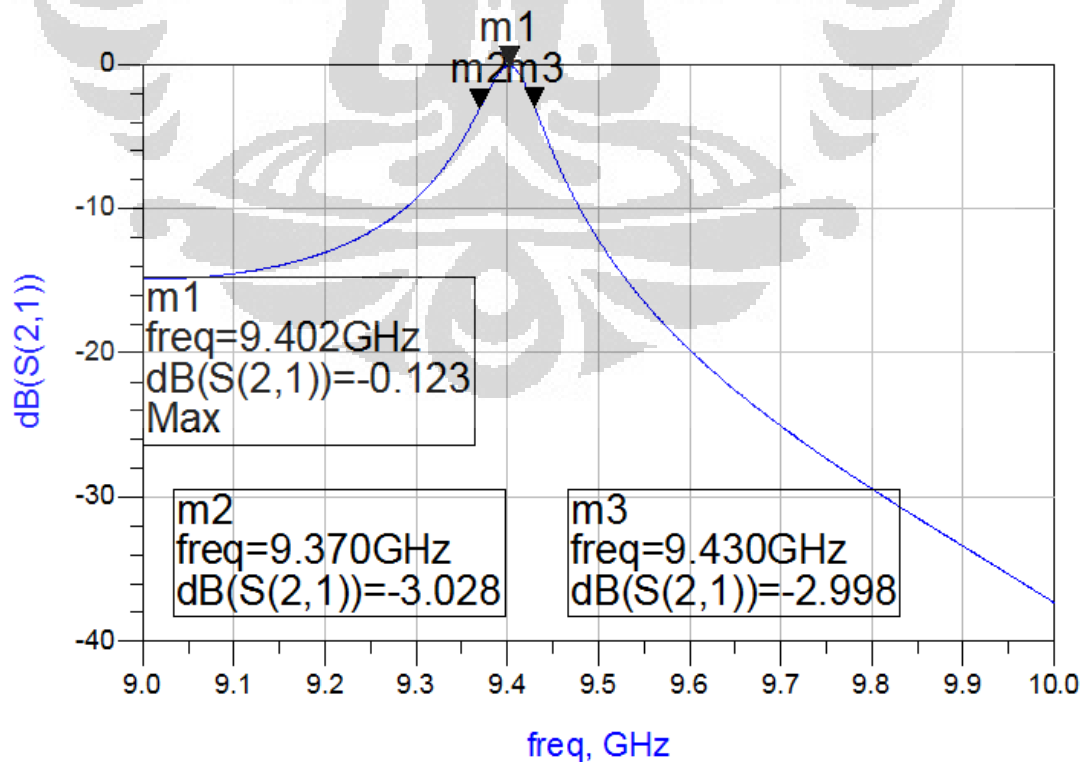
### 3.11 HASIL SIMULASI

Setelah dilakukan *tuning* pada desain BPF ini maka dilakukan optimasi dari desain awal. Setelah hasil *tuning* pada panjang *resonator*, jarak antar *resonator*, panjang *slide* faktor, ukuran *square groove* dan panjang *open stub*, maka didapatkan respon frekuensi S11 dan S21 seperti terlihat pada gambar 4.6



Gambar 3.26 Grafik S11

Pada gambar 3.26 Menunjukkan grafik *scattering* S11, pada grafik tersebut terlihat pada frekuensi kerja filter pada 9,402 GHz dengan *return loss* sebesar -38,418 db, *bandwidth* -10 db pada frekuensi 9,392 GHz – 9,412 GHz.





Gambar 3.27 Grafik S21

Pada gambar 3.25 Menunjukkan grafik *scattering* S21, pada grafik tersebut terlihat *bandwidth* -3 db sebesar 59 MHz. Frekuensi *cut off* pada -3 db terletak pada frekuensi 9,370 GHz pada *high pass filter*nya dan frekuensi 9,430 pada *low pass filter*nya. Hasil simulasi menunjukkan *insertion loss* pada 9,4 GHz yaitu sebesar -0,123 db.

### 3.12 PROSEDUR PENGUKURAN

Pengukuran dilakukan pada *filter* menggunakan *Agilent Network Analyzer* N5230C dua *port*. Parameter-parameter *filter* yang dapat diukur dalam pengukuran ini meliputi pengukuran *return loss* (S21) dan *Insertion loss* (S21). Prosedur pengukuran pada *Network Analyzer* (NA) adalah sebagai berikut:

1. Pasang *probe* 50 ohm pada *input* NA pada *port* 1 dan *port* 2, lalu atur frekuensi pada frekuensi 1GHz-10GHz, lalu pilih kalibrasi pada NA. Kalibrasi dilakukan pada kedua *port*. Kalibrasi menggunakan *Agilent calibration kit* 85052D.
2. Setelah kalibrasi selesai, hubungkan *filter* yang akan diukur pada *probe konektor input* 50 ohm yang terpasang di NA.
3. Tampilkan parameter-parameter yang akan dilihat hasil pengukurannya dengan menekan tombol *measurement*, lalu pilih parameter S11, S21.
4. Ambil hasil pengukuran dan gambar parameter-parameter tersebut.
5. eter-parameter tersebut.

## BAB IV

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

Perancangan BPF (*Band Pass Filter*) *hairpin* dengan *square groove* dan *open stub* disimulasikan dengan menggunakan ADS (*Advanced Design System*) 2009, kemudian dilakukan fabrikasi dan pengukuran pada BPF, pengukuran menggunakan *Agilent Network Analyzer N5230C*. Hasil fabrikasi *filter* ditunjukkan pada gambar 5.1.

Dimensi *filter* hasil fabrikasi sebesar 28.5 mm X 16 mm desain *filter* ini berukuran lebih kecil dibandingkan dengan desain *filter hairpin* umum yang ukurannya 34.2 mm X 16 mm. Pada desain BPF *hairpin* dengan *square groove* dan *open stub* mengalami *miniaturisasi* sebesar 16,17%.

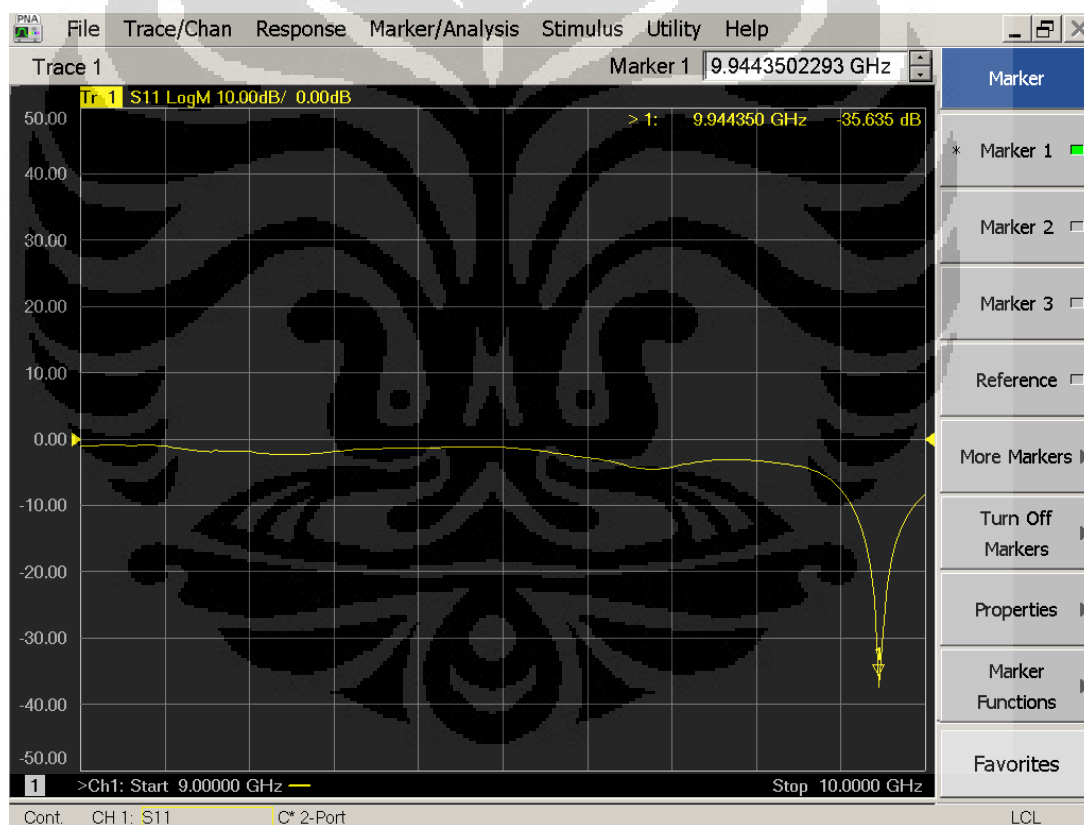


Gambar 4.1 *Filter* hasil fabrikasi

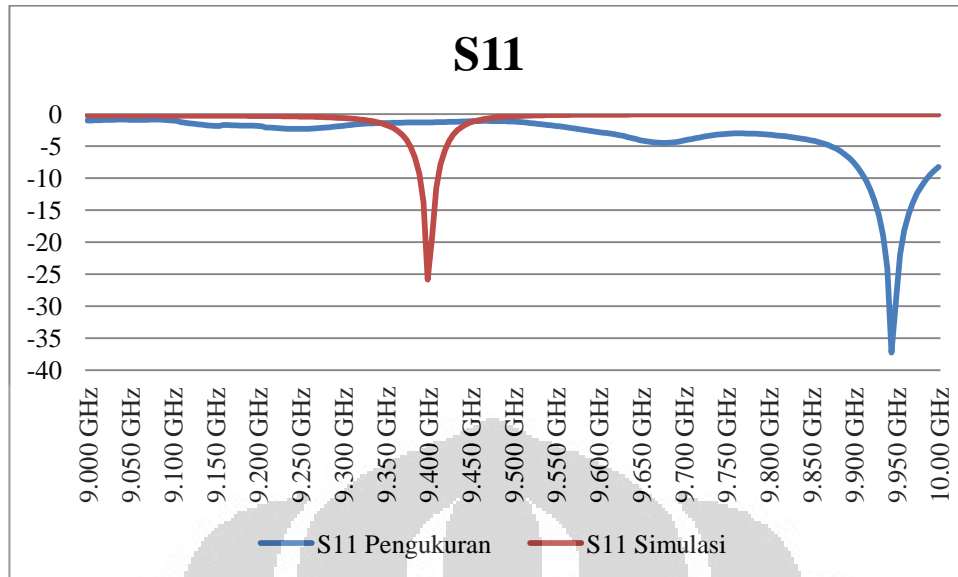
#### 4.1 HASIL PENGUKURAN S11 (*RETURN LOSS*)

Hasil pengukuran BPF menunjukkan bahwa *bandpass filter* menunjukkan hasil yang hampir serupa dengan hasil simulasi, tetapi bergeser frekuensi tengah dari filter sebesar 544 MHz. Pada grafik terlihat *return loss* sebesar -35,635 db pada frekuensi tengah 9,944 GHz.

Setelah dilakukan analisa ternyata terjadi kesalahan pada proses fabrikasi. Pada filter yang telah di fabrikasi terlihat pada resonator hairpin 3 dan resonator hairpin 5 menempel, seharusnya antara resonator hairpin 3 dan resonator hairpin 4 berjarak 0,2 mm. Hal ini menyebabkan perbedaan rancangan antara simulasi dan fabrikasi.



Gambar 4.2 hasil pengukuran S11

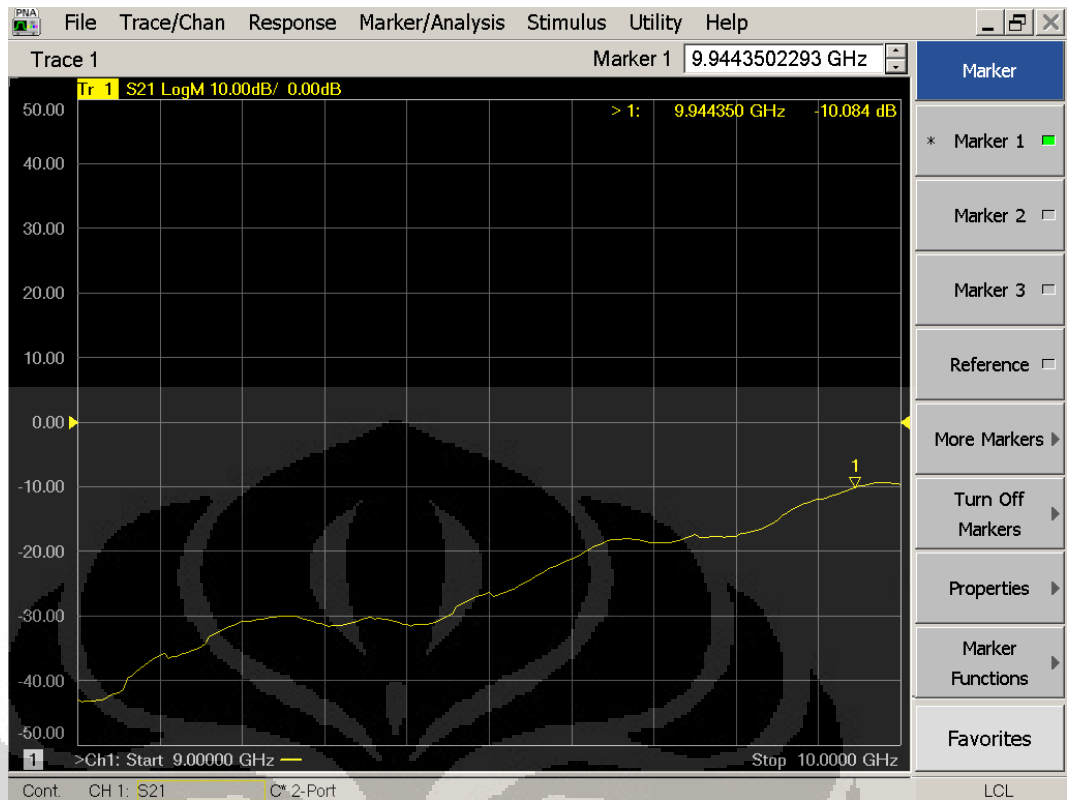


Gambar 4.3 Perbandingan Hasil S11 simulasi dan pengukuran

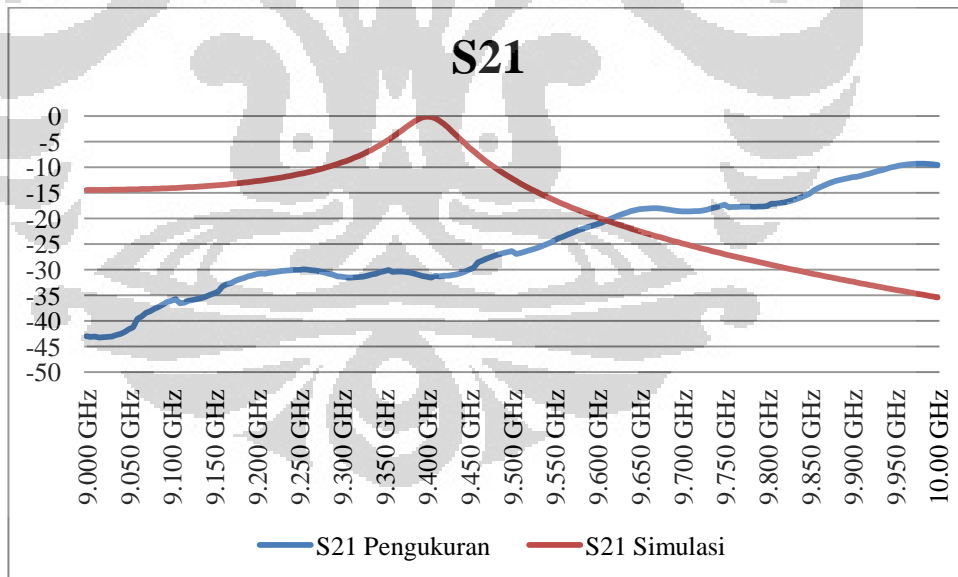
#### 4.2 HASIL PENGUKURAN S21 (*INSERTION LOSS*)

Hasil pengukuran pada *bandpass filter hairpin* dengan menggunakan *open stub* dan *square groove* menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan yang di harapkan. Pada grafik menunjukkan bahwa hasil pengukuran S21 *insertion loss* berada dibawah pada -10,084 dB pada frekuensi 9,94 sedangkan pada simulasi *insertion loss* bernilai -0,089db pada frekuensi 9,4 GHz. *Losses* pada kabel *coaxial* yang digunakan untuk pengukuran S21 bernilai 2 db, jadi harusnya nilai S21 yang diukur bernilai -2,089 db.

Setelah dilakukan analisa ternyata terjadi kesalahan pada proses fabrikasi. Pada filter yang telah di fabrikasi terlihat pada resonator hairpin 3 dan resonator hairpin 5 menempel, seharusnya antara resonator hairpin 3 dan resonator hairpin 4 berjarak 0,2 mm. Hal ini menyebabkan perbedaan rancangan antara simulasi dan fabrikasi.



Gambar 5.4 Grafik S21 hasil pengukuran



Gambar 5.4 Perbandingan S21 hasil simulasi dan pengukuran

## 5.6 Analisis Kesalahan Umum

Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan antara simulasi dengan hasil pengukuran, terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran.

Perbedaan yang muncul tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor dimana faktor tersebut juga mempengaruhi proses pengukuran. sehingga hasil pengukuran, memiliki nilai toleransi tertentu. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses dan hasil pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Kesalahan dalam proses fabrikasi pada bagian desain *filter* yang seharusnya memakai *copper* (tembaga), tetapi pada hasil fabrikasi desain dilapisi dengan
2. Hasil *filter* antena yang tidak 100% tepat dengan rancang bangun antena yang disimulasikan
3. Suhu dan kelembapan udara, serta semua kondisi pada saat pengukuran yang tidak diperhitungkan pada proses simulasi
4. Konstanta dielektrik bahan *substrat* yang digunakan memiliki nilai toleransi  $\epsilon_r = 2,2$  nilai toleransi *loss tangent*  $\delta$  bahan *substrat*, serta sifat heterogen dari bahan *taconic*
5. adanya rugi-rugi pada kabel *coaxial* yang digunakan pada pengukuran, *port SMA* pada antena, tembaga sebagai elemen peradiasi dan pentanahan antena, dan berbagai konektor yang digunakan pada *network analyzer*

## BAB V

### KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dirancang *bandpass filter* menggunakan *hairpin* ordo lima dengan ditambahkan *open stub* dan *square groove*. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *BPF hairpin* menggunakan *square groove* dan *square groove* memiliki dimensi yang lebih kecil sebesar 16,17% dibandingkan dengan *BPF hairpin* dengan *open stub*
2. *Bandwidth filter* -3 dB dari puncak grafik pada simulasi menunjukkan berada pada frekuensi 9,37 GHz-9,43 GHz.
3. *Bandwidth* -10db pada grafik S11 bernilai 9,391 GHz-9,410 GHz.
4. *Insertion loss BPF* untuk aplikasi radar yang didapatkan kurang dari -0.1 dB, yaitu -0,089db.
5. Respon frekuensi pada *filter hairpin* dengan *open stub* dan *square groove* memiliki *slope* yang relatif curam pada bagian *bandstop rejection* ke 2.
6. Hasil pengukuran *BPF hairpin* dengan *open stub* dan *square groove* hasil fabrikasi menunjukkan ketidaksesuaian dibandingkan dengan hasil simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Advanced Design System (ADS) 2009, karena adanya kesalahan fabrikasi.

## DAFTAR REFERENSI

- [1].M. Pozar, Microwave and RF Design Of Wireless Systems\_Ebook.
- [2].Qun YANG, Xiang-zheng XIONG, Yan-liang WU , Li-ping WANG and Hua-qing XIAO, “Design of Microstrip Tapped-Hairpin Dual-Band Pass Filter for Ku-Band Application, “ Microwave and millimeter Wave Technology (ICMMT),2010 Internasional Conference.
- [3].Nikholas G. Toledo, “Practical techniques for designing Microstrip Tapped Hairpin resonator Filters on FR4 Laminates, “ Advanced Science and technology Institute.
- [4].E. Cristal and S. Frankel, “Hairpin-Line and Hybrid Hairpin-Line/Half-Wave Parallel-Coupled-Line Filters,” IEEE Trans. on MTT, vol. 20, no. 11, pp. 719-728, November 1972.
- [5].R. Rhea, HF Filter Design and Computer Simulation. Atlanta, GA: Noble Publishing, 1994.
- [6].K.Vidhya and T.Jayanthi.”Design of Microstrip Hairpin Bandpass Filter using Defected Ground Structure and Open Stub”. IEEE 2011 International Conference on Information and Electronics Engineering.
- [7].K.Srisathit, J.Tangjit dan W.Surakamponorn,” Miniaturized Microwave Bandpass Filter Based on Modified Hairpin topology,” 2010 IEEE International Conference of Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC)
- [8].R.K. Maharjan, B. Shrestha and N.Y. Kim,” Compact microstrip square open-loop bandpass filter using open stub,” Electronic Letters 15th March 2012 Vol. 48 No. 6.
- [9].Jayaseelan Marimuthu, Mazlina Esa and S-Kamilah Yusof, “Single-Stage Parallel Coupled Microstrip Line Bandpass Filter using Weak Coupling Technique, ” 2008 IEEE international RF and Microwave conference Proceeding.
- [10]. A. S. Mohra, “Coupled microstrip line bandpass filter with harmonic suppression using right-angle triangle grooves, ” Microwave and Optical Tech. Lett., vol. 51, no. 10, pp. 2313-2318, Oct. 2009.



- [11]. Hong, Jia-Seng, Lancaster, M.J. "Microstrip Filters For RF/Microwave Applications". New York : Wiley and Sons, 2001.
- [12]. Kinayman, Noyan and M.I. Aksun. "Modern Microwave Circuits". Artech House Inc. 2005.
- [13]. Bowick, Chris. "RF Circuit Design". Newnes. 1982.
- [14]. Bong S. Kim, Jae W. Lee and Myung S. Song. "An Implementation of Harmonic-Suppression Microstrip Filters With Periodic Grooves. IEEE Microwave and Component Letters, VOL. 14, NO. 9, SEPTEMBER 2004
- [15]. Jayaseelan Marimuthu and Mazlina Esa. "Harmonic Suppressed Single Groove PCML Bandpass Filter". Proceedings of the 39th European Microwave Conference.

