

BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan rancang bangun sebuah filter mikrostrip menggunakan metode *parallel coupled resonator* untuk memperlebar *bandwidth* pada aplikasi radar cuaca S-Band. Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan dalam perancangan filter mikrostrip diantaranya ialah menentukan spesifikasi filter mikrostrip, perhitungan dimensi filter, serta merancang filter menggunakan metode *parallel coupled resonator*, desain awal sesuai dengan perhitungan dimensi dengan menambahkan metode *parallel coupled resonator* untuk memperlebar *bandwidth* sesuai yang dibutuhkan, hasil simulasi, fabrikasi, dan membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengukuran filter yang difabrikasi. Metode yang akan digunakan dalam perancangan filter diambil berdasarkan referensi jurnal yang telah dipublikasikan.

Parameter filter yang diperoleh dari hasil perancangan diharapkan dapat memenuhi ketentuan spesifikasi filter yang diinginkan. Parameter yang akan diperoleh dari hasil perancangan adalah *return loss*, *insertion loss*, dan *bandwidth*. Perancangan filter dilakukan menggunakan *software* simulasi Ansoft HFSS 13.0. Tujuan dari simulasi dan fabrikasi filter ialah untuk melihat bagaimana gambaran karakteristik, kinerja dari filter yang diperoleh, dan membandingkan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Pada parameter yang dihasilkan dari perancangan awal filter tidak akan langsung mendapatkan hasil sesuai karakteristik yang diinginkan, maka dari itu perlu melakukan optimalisasi filter untuk mendapatkan fungsi kerja yang optimal agar memperoleh *bandwidth* yang diinginkan pada aplikasi radar cuaca di frekuensi S-Band.

3.1 ALAT YANG DIGUNAKAN

Pada penelitian ini diperlukan alat-alat untuk penelitian ini guna membantu hal tersebut. Untuk memungkinkan perancangan dan simulasi filter mikrostrip yang akan dibangun, diperlukan dua jenis perangkat berbeda yaitu: perangkat keras yang terdiri dari laptop sebagai tempat untuk memasang perangkat lunak, VNA untuk melakukan pengukuran pada filter yang telah dicetak, dan perangkat lunak yang terdiri dari Microsoft Excel, Microsoft Word, Ansoft HFSS, Matlab 2022, dan Corel Draw 2020.

3.1.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada penelitian ini memerlukan beberapa perangkat keras (*hardware*) yang digunakan untuk menyusun, simulasi, dan pengukuran filter. Berikut ini merupakan *hardware* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Laptop yang digunakan untuk menyusun laporan, mengolah data, dan melakukan simulasi dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - A. Intel(R) Core(TM) i5-6300U
 - B. Windows 10 (64-Bit)
 - C. RAM 16 GB
 - D. Memory SSD 512 GB
2. Nano VNA-F V2 yang digunakan untuk pengukuran parameter dari filter seperti *return loss*, *insertion loss*, dan *bandwidth*.
3. Solder untuk melakukan penyolderan SMA konektor pada filter.

3.1.2 Perangkat Lunak (*Software*)

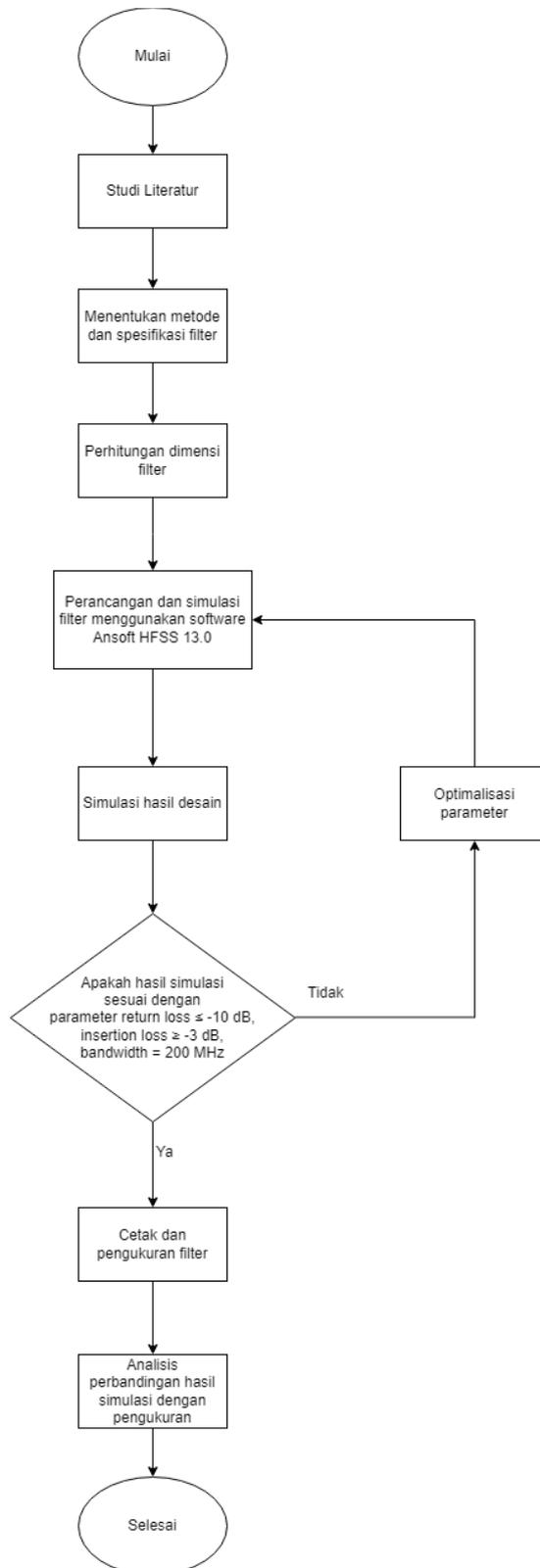
Untuk perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada proses penelitian ini ada lima macam *software*, yaitu:

1. *Ansoft HFSS (High Frequency Structure Simulator)* 13.0, dipergunakan dalam perancangan suatu filter. *Software* ini juga dapat digunakan untuk mengkalkulasi beberapa parameter diantaranya *return loss*, *insertion loss* dan parameter lainnya.
2. *Microsoft Word* 2016 digunakan untuk menyusun laporan proposal dan skripsi.
3. *Microsoft Excel* 2016 digunakan untuk mengolah data hasil simulasi dan hasil pengukuran.
4. *Matlab* 2022 digunakan untuk membuat grafik hasil simulasi dan pengukuran.
5. *Corel Draw* 2020 digunakan untuk mengkonversi design dari HFSS agar bisa di fabrikasi oleh pihak percetakan.

3.2 ALUR PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilaksanakan beberapa tahapan, tahap awal yaitu menentukan metode dan spesifikasi yang ingin dicapai. Berikutnya menghitung dimensi filter yang terdiri dari panjang *resonator*, lebar *resonator*, dan *gap* antar *resonator* dengan cara perhitungan manual. Berikutnya merancang desain awal filter mikrostrip menggunakan metode *parallel coupled resonator* pada desain

awal, lalu memperoleh hasil awal menggunakan metode *parallel coupled resonator* yang nantinya akan dilakukan proses optimasi pada tahap berikutnya.



Gambar 3.1 *Flowchart* proses perancangan filter.

Pada gambar 3.1 menunjukkan *flowchart* proses perancangan filter. Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan dalam perancangan filter mikrostrip diantaranya ialah melakukan studi literatur, menentukan spesifikasi dan metode filter mikrostrip, perhitungan dimensi filter, serta merancang filter menggunakan metode *parallel coupled resonator* dan melakukan simulasi pada *software* Ansoft HFSS 13.0, desain awal sesuai dengan perhitungan dimensi dengan menambahkan metode *parallel coupled resonator* untuk memperlebar *bandwidth* sesuai yang dibutuhkan. Kemudian melihat pada hasil simulasi apakah parameter *return loss* ≤ -10 dB, *insertion loss* ≥ -3 dB, dan *bandwidth* = 200 Mhz. Jika belum, maka akan dilakukan perubahan bagian pada filter. Jika sudah filter akan fabrikasi, dan diukur menggunakan perangkat NanoVNA-F V2. Terakhir akan dilakukan analisis untuk membandingkan hasil simulasi dengan pengukuran.

3.3 RANCANGAN SISTEM

Rancangan sistem sangat diperlukan oleh filter. Rancangan sistem terdiri atas spesifikasi bahan filter dan spesifikasi parameter filter. Masing-masing bagian dari rancangan sistem mempunyai fungsi tersendiri.

3.3.1 Spesifikasi Bahan Filter

Persyaratan penggunaan yang diperlukan harus memiliki spesifikasi filter yang dirancang. Referensi bahan disediakan dalam penelitian untuk menunjang kinerja filter. Spesifikasi bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Karakteristik bahan filter mikrostrip

Jenis Substrat	FR4 epoxy
Konstanta Dielektrik	4,4
Tebal Substrat	1,6 mm
Jenis Konduktor/ <i>Resonator</i>	Tembaga/ <i>copper</i>
Tebal Konduktor/ <i>Resonator</i>	0,035 mm

Pada tabel 3.1 merupakan karakteristik bahan filter mikrostrip yang menggunakan bahan substrat FR4 epoxy dengan konstanta dielektrik 4,4 dan ketebalan 1,6 mm. Bahan ini digunakan karena dapat menjadi isolator yang baik sehingga mencegah arus bocor. Selain itu FR4 epoxy juga merupakan bahan yang relative murah dan mudah didapat. Untuk *resonator* menggunakan bahan tembaga dengan ketebalan 0,035 mm. Bahan tembaga digunakan karena merupakan

konduktor arus listrik yang baik. Selain itu tembaga juga digunakan pada bagian *groundplane*.

3.3.2 Penentuan Spesifikasi Filter

Persyaratan penggunaan yang diperlukan harus dipenuhi oleh spesifikasi filter yang dirancang. Referensi standar disediakan dalam penelitian untuk analisis data kinerja filter. Spesifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi parameter filter mikrostrip

Rentang frekuensi	2700 MHz – 2900 MHz
Frekuensi kerja	2800 MHz
<i>Bandwidth</i>	200 MHz
<i>Return loss</i>	≤ -10 dB
<i>Insertion loss</i>	≥ -3 dB
Impedansi terminal <i>port</i> (Z_0)	50 Ω
Respon frekuensi	<i>Chebyshev ripple passband</i> 0,1 dB dan <i>stopband</i> 30 dB

Pada tabel 3.2 menjelaskan tentang parameter filter mikrostrip. Filter yang dirancang bekerja pada rentang frekuensi 2700-2900 MHz karena akan digunakan pada radar cuaca dengan frekuensi S-Band. Oleh karena itu frekuensi kerjanya berada pada pertengahan 2700 dan 2900 yaitu 2800 MHz. *Bandwidth* yang ingin dicapai sebesar 200 MHz karena selisih rentang frekuensinya. Untuk parameter *return loss* dan *insertion loss* sudah sesuai dengan dasar teori yang ada pada bab 2. Impedansi *port* terminal yang digunakan 50 ohm karena *port* yang digunakan pada fabrikasi memiliki impedansi 50 ohm. Respon frekuensi yang digunakan *Chebyshev* dengan *ripple* 0,1 dB pada *passband* dan 30 dB pada *stopband* agar sinyal yang dihasilkan pada area *passband* lebih akurat dan *noise* pada area *stopband* dapat diredam dengan baik.

3.3.3 Perhitungan Dimensi Filter

Sebelum melakukan perancangan filter, terlebih dahulu menghitung dimensi filter untuk mengetahui nilai dari ukuran filter yang akan dirancang pada *software simulator* HFSS 13.0. Perhitungan dimensi filter berdasarkan rumus perhitungan yang telah ditentukan. Adapun perhitungan dimensi yang akan ditentukan antara lain :

1. Menentukan lebar konduktor

Lebar konduktor digunakan untuk mentransformasikan struktur umum filter mikrostrip yang menggunakan konduktor menjadi filter mikrostrip dengan *parallel coupled resonator* yang menggunakan resonator sebagai penghantar dayanya. Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) maka:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \\
 &= \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4,4 + 1}{2} \frac{4,4 - 1}{4,4 + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,4} \right) \\
 &= 1.5299
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{w_0}{h} &= \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \\
 \frac{w_0}{1,6} &= \frac{8e^{1.5299}}{e^{2 \times 1.5299} - 2} \\
 &= 3,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Menentukan konstanta dielektrik relatif

Karena perubahan dari struktur umum filter mikrostrip menjadi filter mikrostrip dengan *parallel coupled resonator*, maka fungsi dari konstanta dielektrik akan digantikan dengan konstanta dielektrik relatif. Karena pada struktur umum hanya terdiri dari satu konduktor sementara setelah perubahan struktur akan memiliki beberapa resonator. Konstanta dielektrik relatif nantinya akan digunakan untuk perhitungan panjang gelombang yang akan berdampak pada panjang resonator. Dengan menggunakan persamaan (2.4) maka:

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{reff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} x \frac{1}{\sqrt{1 + \left(12x \left(\frac{h}{w_0} \right) \right)^2}} \\
 &= \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} x \frac{1}{\sqrt{1 + \left(12x \left(\frac{1,6}{3,1} \right) \right)^2}} \\
 &= 3,3
 \end{aligned}$$

3. Menentukan orde filter

Orde filter digunakan untuk menentukan berapa banyak resonator yang akan digunakan pada filter mikrostrip.

Dengan menggunakan persamaan (2.10) sampai (2.12) maka:

$$\begin{aligned}
 FBW &= \frac{f_2 - f_1}{f_0} \\
 &= \frac{2900 - 2700}{2800} \\
 &= 0.07 \\
 \Omega_s &= \frac{2}{FBW} \left(\frac{(f_0 + BW) - f_0}{f_0} \right) \\
 &= \frac{2}{0.06} \left(\frac{(2800 + 200) - 2800}{2800} \right) \\
 &= 2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &\geq \frac{\cosh^{-1} \sqrt{\frac{10^{0,1L_{As}} - 1}{10^{0,1L_{Ar}} - 1}}}{\cosh^{-1} \Omega_s} \\
 &\geq \frac{\cosh^{-1} \sqrt{\frac{10^{0,1 \times 30} - 1}{10^{0,1 \times 0,1} - 1}}}{\cosh^{-1} (2)}
 \end{aligned}$$

$$n \geq 4,57 \text{ atau } n \sim 5$$

Tabel 3.3 Nilai elemen prototipe *chebyshev* untuk $L_{ar} = 0,1$ dB [23].

n	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g8	g9	g10
1	0,3052	1,0								
2	0,8431	0,6220	1,3554							
3	1,0316	1,1474	1,0316	1,0						
4	1,1088	1,3062	1,7704	0,8181	1,3554					
5	1,1468	1,3712	1,9750	1,3712	1,1468	1,0				
6	1,1681	1,4040	2,0562	1,5171	1,9029	0,8618	1,3554			
7	1,812	1,4228	2,0967	1,5734	2,0967	1,4228	1,1812	1,0		
8	1,1898	1,4346	2,1199	1,6010	2,1700	1,5641	1,9445	0,8778	1,3554	
9	1,1957	1,4426	2,1346	1,6167	2,2054	1,6167	2,1346	1,4426	1,1957	1.0

Dengan melihat tabel 3.3 yaitu tabel nilai elemen prototipe *chebyshev* untuk $L_{ar} = 0,1$ dB maka akan didapatkan nilai-nilai elemen rangkaian

ekivalen untuk menentukan *gap* antar resonator. Nilai-nilai tersebut yaitu:

$$g_0 = g_6 = 1$$

$$g_1 = g_5 = 1.1468$$

$$g_2 = g_4 = 1.3712$$

$$g_3 = 1.9750$$

4. Menghitung *Admittance Inverter*

Fungsi dari admittance inverter yaitu untuk mengubah sifat dari admitansi ke impedansi dan sebaliknya. Dengan menggunakan persamaan (2.13) dan (2.14) maka :

$$\begin{aligned} Y_0 &= \frac{1}{Z_0} \\ &= \frac{1}{50} \\ &= 0,02 \text{ S} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J &= Y_0 \sqrt{\frac{\pi FBW}{2g_0g_1}} \\ &= 0,02 \sqrt{\frac{\pi 0,06}{2 \times 1 \times 1,1468}} \\ &= 0,00573 \text{ S} \end{aligned}$$

5. Menghitung impedansi genap dan ganjil

Impedansi genap yaitu impedansi ketika arus dan tegangan pada resonator yang dikopel memiliki arah yang sama. Sebaliknya impedansi ganjil yaitu impedansi ketika arus dan tegangan pada resonator yang dikopel memiliki arah yang berlawanan. Dengan menggunakan persamaan (2.15) dan (2.16) maka:

$$\begin{aligned} Z_{oe} &= Z_0(1 + JZ_0 + (JZ_0)^2) \\ &= 50(1 + 0,00573 \times 50 + (0,00573 \times 50)^2) \\ &= 68,429 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{oo} &= Z_0(1 - JZ_0 + (JZ_0)^2) \\ &= 50(1 - 0,00573 \times 50 + (0,00573 \times 50)^2) \\ &= 39,779 \text{ ohm} \end{aligned}$$

6. Menghitung nilai *gap* antar resonator

Dengan menggunakan persamaan (2.17) maka:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{2h}{\pi} \cosh^{-1} \left[\frac{\left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) Z_{oe} \right) + \left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) Z_{oo} - 2 \right)}{\left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) Z_{oo} \right) - \left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) Z_{oe} \right)} \right] \\
 &= \frac{2 \times 1,6}{\pi} \cosh^{-1} \left[\frac{\left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) \times 68,429 \right) + \left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) \times 39,779 - 2 \right)}{\left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) \times 39,779 \right) - \left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) \times 68,429 \right)} \right] \\
 &= 0,32 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

7. Menghitung lebar resonator

Dengan menggunakan persamaan (2.18) dan (2.19), maka :

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{60x \pi^2}{Z_0 x \sqrt{\epsilon_r}} \\
 &= \frac{60x \pi^2}{50x \sqrt{4,4}} \\
 &= 5,64 \\
 w &= \frac{2}{\pi} x \left(B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} x \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right) \\
 &= \frac{2}{\pi} x \left(5,64 - 1 - \ln(2 \times 5,64 - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} x \left(\ln(5,64 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right) \right) \\
 &= 1,91 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

8. Menghitung panjang resonator

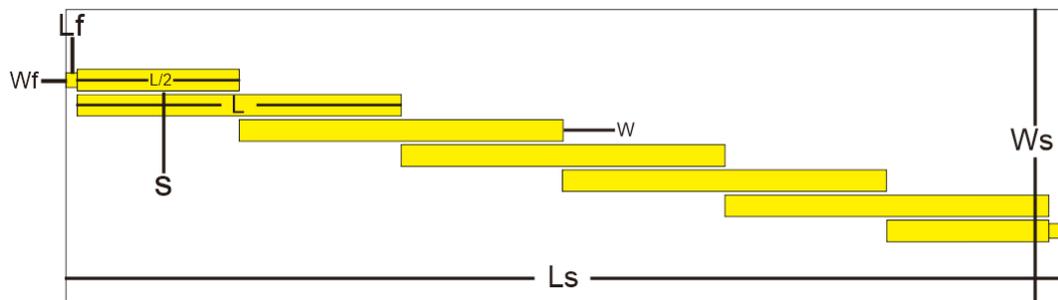
Dengan menggunakan persamaan (2.20) sampai (2.22) maka :

$$\begin{aligned}
 \lambda_0 &= \frac{c}{f_0} \\
 &= \frac{3 \times 10^8}{2,8 \times 10^9} \\
 &= 0,107 \text{ m} = 107 \text{ mm} \\
 \lambda_g &= \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \\
 &= \frac{107}{\sqrt{3,3}} \\
 &= 58,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\lambda_g}{2} \\
 &= \frac{58,9}{2} \\
 &= 29,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

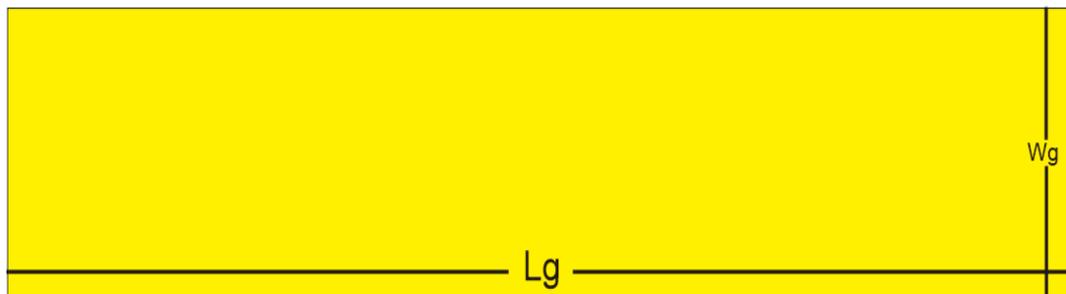
3.3.4 Desain Awal Filter Mikrostrip Dengan Metode *Parallel Coupled Resonator*

Setelah melakukan perhitungan pada dimensi filter mikrostrip, kemudian melakukan perancangan pada *software* Ansoft HFSS 13.0. Hasil perancangan dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tampak depan filter (desain awal)

Pada gambar 3.2 menunjukkan tampak depan filter pada desain awal. Warna kuning melambangkan bahan tembaga yang digunakan. Sedangkan warna putih melambangkan bahas substrat FR4 Epoxy. Untuk bahan tembaga terdiri dari 5 buah resonator setengah gelombang, 2 buah resonator seperempat gelombang, dan 2 buah *feedline* sepanjang 1 mm. *feedline* disini berfungsi untuk tempat pada ujung konektor nantinya pada saat dilakukan penyolderan. Simbol L_s melambangkan panjang substrat dan w_s melambangkan lebar substrat. Ukuran substrat menyesuaikan panjang resonator, lebar resonator, dan *gap* antar resonator.



Gambar 3.3 Tampak belakang filter (desain awal)

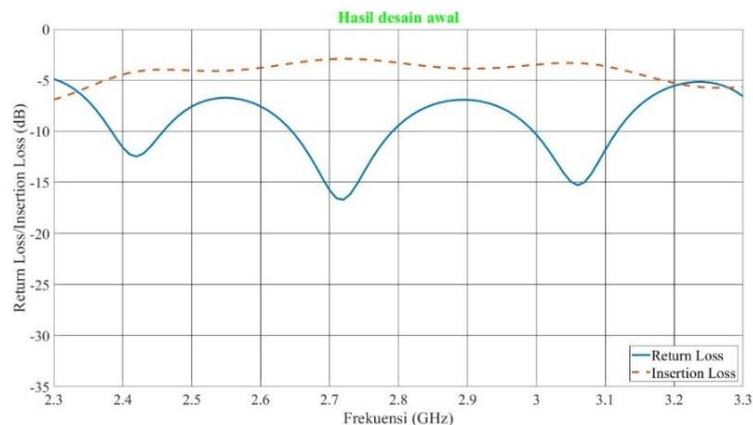
Pada gambar 3.3 menunjukkan tampak belakang filter pada desain awal. Warna kuning melambangkan bahan tembaga yang digunakan pada *groundplane*. *Groundplane* disini berfungsi untuk menyerap *noise* eksternal. Simbol L_g melambangkan panjang *groundplane* dan w_g melambangkan lebar *groundplane*. Panjang dan lebar *groundplane* menyesuaikan ukuran substrat yang ada di atasnya. Ukuran masing-masing bagian filter dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Ukuran dimensi desain awal filter

Simbol	Keterangan	Ukuran
W	Lebar <i>resonator</i>	1,91 mm
L	Panjang <i>resonator</i>	29,45 mm
S	<i>Gap</i>	0,32 mm
L/2	Panjang setengah <i>resonator</i>	14,725 mm
L_f	Panjang <i>feedline</i>	1 mm
W_f	Lebar <i>feedline</i>	1,3 mm
L_s	Panjang <i>substrat</i>	90,35 mm
W_s	Lebar <i>substrat</i>	25,86 mm
L_g	Panjang <i>groundplane</i>	90,35 mm
W_g	Lebar <i>groundplane</i>	25,86 mm

3.3.5 Hasil Simulasi Desain Awal Filter Mikrostrip Dengan Metode *Parallel Coupled Resonator*

Setelah melakukan perancangan pada *software* Ansoft HFSS 13.0. Selanjutnya melakukan simulasi untuk memperoleh parameter pengujian. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Hasil simulasi desain awal filter

Pada gambar 3.4 menunjukkan bahwa terdapat dua garis. Garis tidak putus-putus merepresentasikan grafik *return loss*. Garis putus-putus merepresentasikan *insertion loss*. Hasil simulasi dimulai dari frekuensi 2,3 GHz dan berakhir di 3,3 GHz. Pada gambar 3.4 juga menunjukkan grafik *return loss* dan *insertion loss* saling berpotongan pada frekuensi 2,35 GHz dan 3,2 GHz.

Tabel 3.5 Hasil simulasi desain awal filter

Parameter	Hasil
<i>Return loss</i>	-16,7193 dB
<i>Bandwidth</i>	140 MHz
<i>Insertion loss</i>	-2,908 dB

Pada tabel 3.5 dapat diketahui bahwa pada hasil simulasi desain awal filter memperoleh hasil *return loss* filter sebesar -16,7193 dB, *insertion loss* sebesar -2.9083 dB dan untuk *bandwidth* yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan (2.7) maka:

$$BW = f_2 - f_1 = 2,79 - 2,65 = 0,14 \text{ GHz} = 140 \text{ MHz}$$

Bandwidth yang dihasilkan sebesar 140 MHz pada frekuensi tengah 2,72 GHz. Untuk hasil *return loss* dan *insertion loss* sudah memenuhi spesifikasi perancangan yaitu untuk *return loss* ≤ -10 dB dan *insertion loss* ≥ -3 dB, akan tetapi untuk *bandwidth* belum memenuhi spesifikasi perancangan yaitu 200 MHz serta untuk frekuensi tengah belum berada di frekuensi tengah 3 GHz.