



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**PERANCANGAN FILTER *BANDPASS* PADA FREKUENSI  
2.9-3.1 GHZ SEBAGAI PENUNJANG KINERJA RADAR  
*COASTAL* DI WILAYAH PERAIRAN INDONESIA**

SANDY NUR AULIA ROHMAN  
NRP 0711154000089

Dosen Pembimbing  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Perancangan Filter *Bandpass* pada Frekuensi 2.9-3.1 GHz sebagai Penunjang Kinerja Radar Coastal di Wilayah Perairan Indonesia**” adalah benar – benar hasil karya yang dikerjakan secara mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan – bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2019

Sandy Nur Aulia Rohman  
NRP. 0711154000089

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERANCANGAN FILTER BANDPASS PADA  
FREKUENSI 2.9-3.1 GHZ SEBAGAI PENUNJANG  
KINERJA RADAR COASTAL DI WILAYAH  
PERAIRAN INDONESIA**

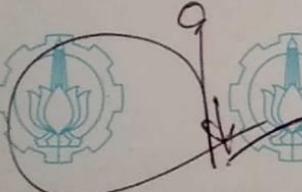
**TUGAS AKHIR**

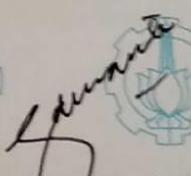
Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.  
NIP : 197210012003121002

  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.  
NIP : 197011111993031002



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## ABSTRAK

Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) adalah negara kepulauan yang terbesar di dunia. Negara ini terdiri dari kurang lebih 17.500 pulau dari Sabang sampai Merauke. Dengan wilayah yang hampir 2/3 dipenuhi oleh lautan, tak heran jika negara ini dikenal dengan sebutan Negara Maritim. Tidak hanya itu, potensi kelautan Indonesia juga mencapai 70 persen dari wilayah NKRI secara keseluruhan. Namun, dengan kondisi yang seperti itu, justru menjadi ancaman tersendiri bagi keamanan wilayah perairan Indonesia dan potensi kelautan yang ada didalamnya. Mengingat, jumlah kekuatan dari personel gabungan antara Tentara Nasional Indonesia (TNI) dan Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) yang belum mampu mencukupi kebutuhan untuk mengawasi wilayah perairan Indonesia secara keseluruhan, serta ditambah dengan kondisi ketersediaan alat utama yang dimiliki cukup terbatas untuk mengamankan wilayah perairan Indonesia yang begitu luas.

Dalam Tugas Akhir ini, dibuat salah satu subsistem radar untuk memaksimalkan keluaran dari *Signal-to-Noise Ratio*, yaitu Filter. Untuk rencana perancangannya menggunakan *Bandpass Filter* dengan menggunakan teknik *Edge-Coupled* yang nantinya akan difungsikan untuk dapat bekerja pada frekuensi *S-Band* atau pada rentang frekuensi 2.9-3.1 GHz. Filter ini dibuat dengan menggunakan material FR-4 *Epoxy* dan *Cooper* serta memiliki ukuran yang *compact*, sehingga diharapkan filter ini mampu bekerja secara optimal untuk membantu kinerja dari *Coastal Radar*. Adapun simulasi perancangan filter yang dibuat, dilakukan dengan menggunakan *software CST Microwave Studio*.

**Kata Kunci** : *Bandpass Filter, Edge-Coupled, S-Band, Coastal Radar, CST Microwave Studio.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## ABSTRACT

Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) is the largest archipelago country in the world. This country consists of approximately 17,500 islands from Sabang to Merauke. With an area of almost 2/3 filled with the sea, it is not surprising if this country is known as the Maritime State. Not only that, Indonesia's marine potential also reaches 70 percent of the NKRI region as a whole. However, with such conditions, it becomes a threat to the security of Indonesia's territorial waters and the potential of the sea that is in it. Considering, the amount of strength of joint personnel between the Tentara Nasional Indonesia (TNI) and Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) who haven't been able to oversee Indonesia's territorial waters as a whole, and coupled with the condition of the availability of the main equipment owned is limited enough to secure Indonesian waters large.

In this Final Project, one of the radar subsystems is made to maximize the output of the Signal-to-Noise Ratio, namely Filter. For the design plan using Bandpass Filter with Edge-Coupled technique which will be enabled to work on S-Band frequencies or in the 2.9-3.1 GHz frequency range. This filter is made using Epoxy and Cooper FR-4 material and has a compact size, so it is expected that this filter can work optimally to help the performance of Coastal Radar. The filter design simulation was made using CST Microwave Studio software.

**Keywords** : *Bandpass Filter, Edge-Coupled, S-Band, Coastal Radar, CST Microwave Studio.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Pertama-tama, saya ingin mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menjalani dan menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Perancangan Filter *Bandpass* pada Frekuensi 2.9-3.1 GHz sebagai Penunjang Kinerja Radar *Coastal* di Wilayah Perairan Indonesia”**, yang mana Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan program studi strata 1 (S1) di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga saya yang selalu memberikan dukungan dan do'a selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D. dan Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan dan masukan demi terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Bapak/Ibu Dosen Laboratorium B.306 Antena dan Propagasi yang senantiasa memberikan bimbingan dan dukungan dalam kegiatan Seminar Lab.
4. Para mahasiswa baik S1, S2 maupun S3 yang menjadi anggota laboratorium B.306 Antena dan Propagasi, terutama Bapak Arif Fahmi ST., dan Bapak Fannush Akbar ST., MT. yang telah memberikan ilmu dan wawasan, serta pengalaman selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman seangkatan dan seperjuangan Fakultas Teknologi Elektro Angkatan 2015 (e55) yang senantiasa memberikan dukungan baik melalui diskusi atau moril.
6. Semua pihak yang bersangkutan selama pengerjaan Tugas Akhir ini, yang belum bisa saya sebutkan satu per satu.

Hasil dan manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menunjang kinerja *coastal radar* untuk mengawasi wilayah perairan Indonesia secara optimal agar keamanan wilayah perairan Indonesia dan potensi kelautan yang ada didalamnya dapat tetap terjaga. Saya menyadari bahwasannya terdapat keterbatasan ilmu pengetahuan

serta wawasan yang saya miliki sehingga tidak mustahil jika masih terdapat kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Dalam proses perbaikan dan pengembangan, kritik dan saran terhadap penelitian ini sangat dibutuhkan untuk mengetahui kekurangan dan kebutuhannya di masa mendatang. Demikian, atas perhatiannya, saya mengucapkan terima kasih. Wassalammualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>II</b>
<b>TUGAS AKHIR</b> .....	<b>II</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VIII</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>X</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>XII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>XVI</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 BATASAN MASALAH .....	3
1.4 TUJUAN .....	3
1.5 RELEVANSI .....	3
1.6 METODOLOGI .....	4
1.7 SISTEMATIKA PEMBAHASAN .....	7
<b>BAB II</b> .....	<b>9</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1 COASTAL RADAR.....	12
2.2 S-BAND .....	13
2.3 FILTER .....	14
2.3.1 <i>Low Pass Filter</i> .....	15
2.3.2 <i>High Pass Filter</i> .....	16
2.3.3 <i>Band Pass Filter</i> .....	17
2.3.4 <i>Band Stop Filter</i> .....	19
2.4 MAGNITUDE RESPONSE .....	20
2.4.1 <i>Parameter S</i> .....	20
2.4.2 <i>Insertion Loss</i> .....	22
2.4.3 <i>Return Loss</i> .....	22
2.4.4 <i>VSWR</i> .....	23
2.5 SALURAN MIKROSTRIP .....	23
2.6 METAMATERIAL .....	25
2.7 <i>LOW PASS FILTER PROTOTYPES</i> .....	26
2.8 EDGE-COUPLED FILTER.....	28
2.9 LUMPED FILTER.....	30

<b>BAB III .....</b>	<b>33</b>
<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
3.1 TAHAP PERANCANGAN FILTER.....	33
3.2 PERANGKAT YANG DIGUNAKAN .....	34
3.3 PENENTUAN SPESIFIKASI FILTER.....	35
3.3.1 <i>Komponen Dielektrik</i> .....	35
3.3.2 <i>Spesifikasi Frekuensi Kerja Pada Rancangan Filter</i> .....	35
3.4 PERANCANGAN GEOMETRI DASAR EDGE-COUPLED FILTER .....	36
3.4.1 <i>Penentuan Orde Edge-Coupled Filter</i> .....	36
3.4.2 <i>Patch Line</i> .....	36
3.4.3 <i>Menghitung Characteristic Admittance, <math>Y_0</math></i> .....	37
3.4.4 <i>Menghitung nilai dari mode impedansi</i> .....	41
3.4.5 <i>Menghitung nilai gap</i> .....	43
3.4.6 <i>Menghitung Lebar Patch Line</i> .....	44
3.4.7 <i>Menghitung Panjang Patch Line</i> .....	45
3.4.8 <i>Menghitung Nilai Konstanta Propagasi</i> .....	46
3.5 PEMODELAN DESAIN AWAL EDGE-COUPLED FILTER .....	47
3.6 SIMULASI FILTER .....	49
3.6.1 <i>Penentuan Waveguide Port</i> .....	49
3.6.2 <i>Hasil Awal Simulasi Edge-Coupled Filter</i> .....	53
3.7 OPTIMASI FILTER .....	55
3.7.1 <i>Membuat Ukuran Patch Lines lebih Compact</i> .....	55
3.7.2 <i>Hasil Kedua Simulasi Edge-Coupled Filter</i> .....	59
3.7.3 <i>Penyesuaian Nilai Gap untuk Fabrikasi Filter</i> .....	62
3.7.4 <i>Hasil Ketiga Simulasi Edge-Coupled Filter</i> .....	66
3.8 RANGKAIAN EKIVALEN EDGE-COUPLED FILTER.....	68
3.8.1 <i>Menghitung Rangkaian Lumped Filter</i> .....	69
3.9 DIMENSI UKURAN FILTER OPTIMASI.....	71
<b>BAB IV .....</b>	<b>73</b>
<b>ANALISA HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN .....</b>	<b>73</b>
4.1 ANALISA HASIL SIMULASI .....	73
4.1.1 <i>Analisa Magnitude Responses</i> .....	73
4.1.2 <i>Analisa Permasalahan Nilai Gap</i> .....	76
4.1.3 <i>Analisa Hasil Kinerja Rangkaian Ekuivalen L-C</i> .....	79
4.2.1 <i>S-Parameters</i> .....	81
4.2.2 <i>Impedansi</i> .....	83
4.2.3 <i>VSWR</i> .....	84
<b>BAB V .....</b>	<b>87</b>
<b>PENUTUP .....</b>	<b>87</b>

5.1 KESIMPULAN .....	87
5.2 SARAN .....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>89</b>
<b>LAMPIRAN A.....</b>	<b>91</b>
<b>LAMPIRAN B.....</b>	<b>93</b>
<b>LAMPIRAN C.....</b>	<b>95</b>
<b>LAMPIRAN D.....</b>	<b>97</b>
<b>LAMPIRAN E.....</b>	<b>99</b>
<b>LAMPIRAN F.....</b>	<b>101</b>
<b>LAMPIRAN G.....</b>	<b>103</b>
<b>LAMPIRAN H.....</b>	<b>109</b>
<b>LAMPIRAN I.....</b>	<b>111</b>
<b>LAMPIRAN J.....</b>	<b>113</b>
<b>LAMPIRAN K.....</b>	<b>115</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>119</b>

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## DAFTAR GAMBAR

<b>GAMBAR 1.1</b> FISH BONE UNTUK PENELITIAN .....	4
<b>GAMBAR 1.2</b> DIAGRAM ALIR UNTUK ANALISA DESAIN FILTER BANDPASS .....	5
<b>GAMBAR 2.1</b> BLOK DIAGRAM SUBSISTEM RADAR .....	9
<b>GAMBAR 2.2</b> PERAN FILTER DALAM SUBSISTEM RADAR.....	12
<b>GAMBAR 2.3</b> ARSITEKTUR RADAR COASTAL .....	13
<b>GAMBAR 2.4</b> IEEE STANDARD LETTER DESIGNATIONS FOR RF BANDS.....	14
<b>GAMBAR 2.5</b> RANGKAIAN RC LOW PASS FILTER .....	15
<b>GAMBAR 2.6</b> RESPON FREKUENSI LOW PASS FILTER .....	16
<b>GAMBAR 2.7</b> RANGKAIAN RC HIGH PASS FILTER .....	16
<b>GAMBAR 2.8</b> RESPON FREKUENSI HIGH PASS FILTER.....	17
<b>GAMBAR 2.9</b> RANGKAIAN RC BAND PASS FILTER .....	18
<b>GAMBAR 2.10</b> RESPON FREKUENSI BAND PASS FILTER.....	19
<b>GAMBAR 2.11</b> RANGKAIAN RC BAND STOP FILTER .....	19
<b>GAMBAR 2.12</b> RESPON FREKUENSI BAND STOP FILTER .....	19
<b>GAMBAR 2.13</b> JARINGAN DUA PORT .....	20
<b>GAMBAR 2.14</b> STRUKTUR MIKROSTRIP SECARA UMUM.....	24
<b>GAMBAR 2.15</b> SKETSA UMUM DARI METAMATERIAL VOLUMETRIK YANG DISINTESIS .....	26
<b>GAMBAR 2.16</b> RANGKAIAN ELEMEN UNTUK JARINGAN DUA PORT.....	27
<b>GAMBAR 2.17</b> EDGE-COUPLED FILTER.....	29
<b>GAMBAR 2.18</b> RANGKAIAN LUMPED BAND PASS FILTER .....	31
<b>GAMBAR 3.1</b> DESAIN FILTER TAMPAK PERSPEKTIF.....	47
<b>GAMBAR 3.2</b> DESAIN FILTER TAMPAK DEPAN .....	48
<b>GAMBAR 3.3</b> DESAIN FILTER TAMPAK BELAKANG .....	48
<b>GAMBAR 3.4</b> DESAIN FILTER TAMPAK SAMPING.....	49
<b>GAMBAR 3.5</b> PENGATURAN FREKUENSI KERJA (1).....	50
<b>GAMBAR 3.6</b> TITIK-TITIK MERAH PADA BAGIAN PATCH LINES (1) .....	50
<b>GAMBAR 3.7</b> KOTAK DIALOG PADA WAVEGUIDE PORT (1).....	51
<b>GAMBAR 3.8</b> WAVEGUIDE PORT (1) .....	52
<b>GAMBAR 3.9</b> WAVEGUIDE PORT 1 DAN 2 (1).....	52
<b>GAMBAR 3.10</b> NILAI PARAMETER S (1) .....	53
<b>GAMBAR 3.11</b> NILAI IMPEDANSI (1) .....	54
<b>GAMBAR 3.12</b> NILAI VSWR (1).....	55
<b>GAMBAR 3.13</b> PENGATURAN FREKUENSI KERJA (2).....	56
<b>GAMBAR 3.14</b> TITIK-TITIK MERAH PADA BAGIAN PATCH LINES (2) .....	57
<b>GAMBAR 3.15</b> KOTAK DIALOG PADA WAVEGUIDE PORT (2).....	57
<b>GAMBAR 3.16</b> WAVEGUIDE PORT (2) .....	58
<b>GAMBAR 3.17</b> WAVEGUIDE PORT 1 DAN 2 (2) .....	59
<b>GAMBAR 3.18</b> NILAI PARAMETER S (2) .....	60
<b>GAMBAR 3.19</b> NILAI IMPEDANSI (2) .....	61
<b>GAMBAR 3.20</b> NILAI VSWR (2).....	62
<b>GAMBAR 3.21</b> PENGATURAN FREKUENSI KERJA (3).....	63
<b>GAMBAR 3.22</b> TITIK-TITIK MERAH PADA BAGIAN PATCH LINES (3).....	63
<b>GAMBAR 3.23</b> KOTAK DIALOG PADA WAVEGUIDE PORT (3).....	64
<b>GAMBAR 3.24</b> WAVEGUIDE PORT (3) .....	65
<b>GAMBAR 3.25</b> WAVEGUIDE PORT 1 DAN 2 (3) .....	65
<b>GAMBAR 3.26</b> NILAI PARAMETER S (3) .....	66

<b>GAMBAR 3.27</b> NILAI IMPEDANSI (3) .....	67
<b>GAMBAR 3.28</b> NILAI VSWR (3).....	68
<b>GAMBAR 3.29</b> RANGKAIAN EKIVALEN EDGE-COUPLED FILTER .....	68
<b>GAMBAR 4.1</b> ANALISA S-PARAMETERS HASIL SIMULASI .....	73
<b>GAMBAR 4.2</b> ANALISA IMPEDANSI HASIL SIMULASI .....	75
<b>GAMBAR 4.3</b> ANALISA VSWR HASIL SIMULASI.....	76
<b>GAMBAR 4.4</b> ANALISA RANGKAIAN EKIVALEN L-C.....	79
<b>GAMBAR 4.5</b> ANALISA SIMULASI S-PARAMETER RANGKAIAN EKIVALEN L-C .....	80
<b>GAMBAR 4.6</b> ANALISA SIMULASI IMPEDANSI RANGKAIAN EKIVALEN L-C .....	80
<b>GAMBAR 4.7</b> ANALISA SIMULASI VSWR RANGKAIAN EKIVALEN L-C .....	81
<b>GAMBAR 4.8</b> ANALISA S-PARAMETERS HASIL PENGUKURAN .....	82
<b>GAMBAR 4.9</b> ANALISA IMPEDANSI HASIL PENGUKURAN .....	84
<b>GAMBAR 4.10</b> ANALISA VSWR HASIL PENGUKURAN .....	85

## DAFTAR TABEL

<b>TABEL 1.1</b> SPESIFIKASI DESAIN FILTER .....	2
<b>TABEL 3.1</b> SPESIFIKASI BAHAN DIELEKTRIK .....	35
<b>TABEL 3.2</b> SPESIFIKASI FREKUENSI KERJA FILTER .....	35
<b>TABEL 3.3</b> NILAI PARAMETER S (1) .....	53
<b>TABEL 3.4</b> NILAI IMPEDANSI (1) .....	54
<b>TABEL 3.5</b> NILAI VSWR (1) .....	55
<b>TABEL 3.6</b> PERUBAHAN NILAI DIMENSI UKURAN PATCH LINES.....	56
<b>TABEL 3.7</b> NILAI PARAMETER S (2) .....	60
<b>TABEL 3.8</b> NILAI IMPEDANSI (2) .....	61
<b>TABEL 3.9</b> NILAI VSWR (2) .....	62
<b>TABEL 3.10</b> NILAI PARAMETER S (3) .....	66
<b>TABEL 3.11</b> NILAI IMPEDANSI (3) .....	67
<b>TABEL 3.12</b> NILAI VSWR (3) .....	68
<b>TABEL 3.13</b> DIMENSI UKURAN FILTER OPTIMASI.....	71
<b>TABEL 4.1</b> ANALISA S-PARAMETERS HASIL SIMULASI.....	74
<b>TABEL 4.2</b> ANALISA IMPEDANSI HASIL SIMULASI .....	75
<b>TABEL 4.3</b> ANALISA VSWR HASIL SIMULASI .....	76
<b>TABEL 4.4</b> ANALISA S-PARAMETERS HASIL SIMULASI DENGAN TIGA METODE.....	77
<b>TABEL 4.5</b> ANALISA IMPEDANSI HASIL SIMULASI DENGAN TIGA METODE .....	78
<b>TABEL 4.6</b> ANALISA VSWR HASIL SIMULASI DENGAN TIGA METODE.....	78
<b>TABEL 4.7</b> ANALISA S11 HASIL PENGUKURAN.....	81
<b>TABEL 4.8</b> ANALISA S21 HASIL PENGUKURAN.....	82
<b>TABEL 4.9</b> ANALISA IMPEDANSI HASIL PENGUKURAN .....	83
<b>TABEL 4.10</b> ANALISA VSWR HASIL PENGUKURAN.....	84

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) adalah negara kepulauan yang terbesar di dunia<sup>[1]</sup>. Negara ini terdiri dari kurang lebih 17.500 pulau dari Sabang sampai Merauke. Dengan wilayah yang hampir 2/3 dipenuhi oleh lautan, tak heran jika negara ini dikenal dengan sebutan Negara Maritim. Tidak hanya itu, potensi kelautan Indonesia juga mencapai 70 persen dari wilayah NKRI secara keseluruhan. Namun, dengan kondisi yang seperti itu, justru menjadi ancaman tersendiri bagi keamanan wilayah perairan Indonesia dan potensi kelautan yang ada didalamnya. Mengingat, jumlah kekuatan dari personel gabungan antara Tentara Nasional Indonesia (TNI) dan Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) yang belum mampu mencukupi kebutuhan untuk mengawasi wilayah perairan Indonesia secara keseluruhan, serta ditambah dengan kondisi ketersediaan alat utama yang dimiliki cukup terbatas untuk mengamankan wilayah perairan Indonesia yang begitu luas. Oleh karena itu, diperlukan adanya pembaharuan teknologi yang mampu mengatasi permasalahan tersebut.

Sementara itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut, Indonesia yang mempunyai program radar nasional, bekerjasama dengan pihak industri radar swasta sedang mengembangkan teknologi radar koastal. Nantinya, radar ini digunakan untuk mengawasi pergerakan lalu lintas kapal asing dan kegiatan lainnya yang dapat merugikan NKRI. Seperti contohnya adalah Radar *Low Probability of Intercept* (LPI). Radar LPI ini merupakan suatu radar yang dirancang untuk menjadikan kapal sulit dideteksi kapal musuh<sup>[2]</sup>. Selain untuk kapal laut, radar ini juga dikembangkan untuk wilayah perairan seperti *Portable Coastal Radar* yang bisa digunakan secara mobile<sup>[3]</sup>.

Sejauh ini, Indonesia hanya mengandalkan radar buatan asing yang telah terpasang di beberapa titik, dengan jumlah yang masih di bawah angka 30. Maka terlihat mustahil, jika semua itu dapat mengcover seluruh wilayah perairan NKRI. Karena fungsi radar sangat penting untuk transportasi laut dan udara, perlu dilakukan pengembangan kemampuan dalam negeri Indonesia sendiri untuk penyediaan radar secara mandiri. Dengan keterbatasan jumlah radar dan banyaknya wilayah perairan yang harus dilakukan pengawasan, maka diperlukan penambahan teknologi

yang dapat menunjang kinerja dari radar tersebut. Sistem radar sendiri memiliki beberapa subsistem, salah satunya adalah Filter. Didalam subsistem radar, sebuah filter berguna untuk memaksimalkan keluaran dari *Signal-to-Noise Ratio*<sup>[4]</sup>. Selain itu, filter juga berfungsi sebagai pemilih frekuensi yang dibutuhkan, sehingga bisa digunakan untuk kebutuhan pada frekuensi tertentu.

Pada tugas akhir ini, akan dirancang sebuah *bandpass filter*, dengan menggunakan teknik *edge-coupled* yang nantinya akan difungsikan untuk dapat bekerja pada frekuensi S-Band atau pada rentang frekuensi 2.9-3.1 GHz. Filter ini dibuat dengan menggunakan material FR-4 Epoxy dan Cooper serta memiliki ukuran yang *compact*, sehingga diharapkan filter ini mampu bekerja secara optimal untuk membantu kinerja dari *coastal radar*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah

1. Bagaimana desain filter berbasis mikrostrip yang dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan seperti pada Tabel 1.1?

*Tabel 1.1 Spesifikasi Desain Filter*

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Frekuensi <i>cutoff</i> bawah ( $f_b$ )	2900	MHz
2.	Frekuensi <i>cutoff</i> atas ( $f_a$ )	3100	MHz
3.	Bandwidth	200	MHz
4.	Frekuensi tengah ( $f_c$ )	3000	MHz
5.	<i>Insertion Loss Bandwidth</i> ( $S_{21}$ )	> -3	dB
6.	<i>Return Loss Bandwidth</i> ( $S_{11}$ )	< -10	dB
7.	Impedansi	50	Ohm
8.	VSWR	< 2	

### 1.3 Batasan Masalah

Hal-hal yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Filter ini diimplementasikan pada bagian *Radar Receivers* dan bekerja pada frekuensi S-Band atau pada rentang frekuensi 2.9-3.1 GHz.
2. Bahan metamaterial atau substrat dielektrik yang digunakan adalah FR-4 *Epoxy* dengan  $\epsilon_r = 4.4$  dengan ketebalan substrat 1.6 mm.
3. Parameter yang diukur adalah *Return Loss* ( $S_{11}$ ), *Insertion Loss* ( $S_{21}$ ), impedansi dan VSWR.
4. Perancangan filter yang dibuat dan disimulasikan dengan menggunakan *Matlab* dan *CST Microwave Studio* dan pengolahan file sebelum fabrikasi filter, dilakukan dengan menggunakan *CorelDRAW X-7 (64-Bit)* dan *Adobe Reader XI*.

### 1.4 Tujuan

Tujuan yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui kinerja suatu filter dalam subsistem radar.
2. Dapat merancang filter pada frekuensi tertentu.
3. Menerapkan teknik perancangan satu jenis filter yang dapat digunakan.
4. Dapat merancang filter dengan ukuran yang lebih *compact*.

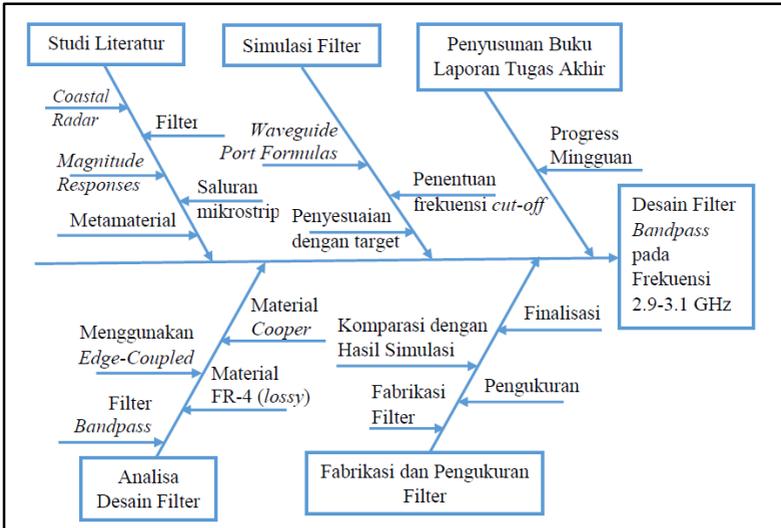
### 1.5 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

- Bagi bidang ilmu pengetahuan  
Dengan adanya tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa informasi mengenai *bandpass filter* pada frekuensi *S-Band* dengan pengaplikasiannya untuk menunjang kinerja *coastal radar*.
- Bagi perusahaan telekomunikasi  
Dapat memberikan rekomendasi pilihan teknologi filter dalam menunjang kinerja *Coastal Radar*.

## 1.6 Metodologi

Penelitian dilakukan dengan lima tahap yaitu: Studi Literatur, Analisa Desain Filter, Simulasi Filter, Fabrikasi dan Pengukuran Filter, serta Penyusunan Buku Laporan Tugas Akhir. Seperti yang terlihat pada gambar 1.1 dibawah ini.



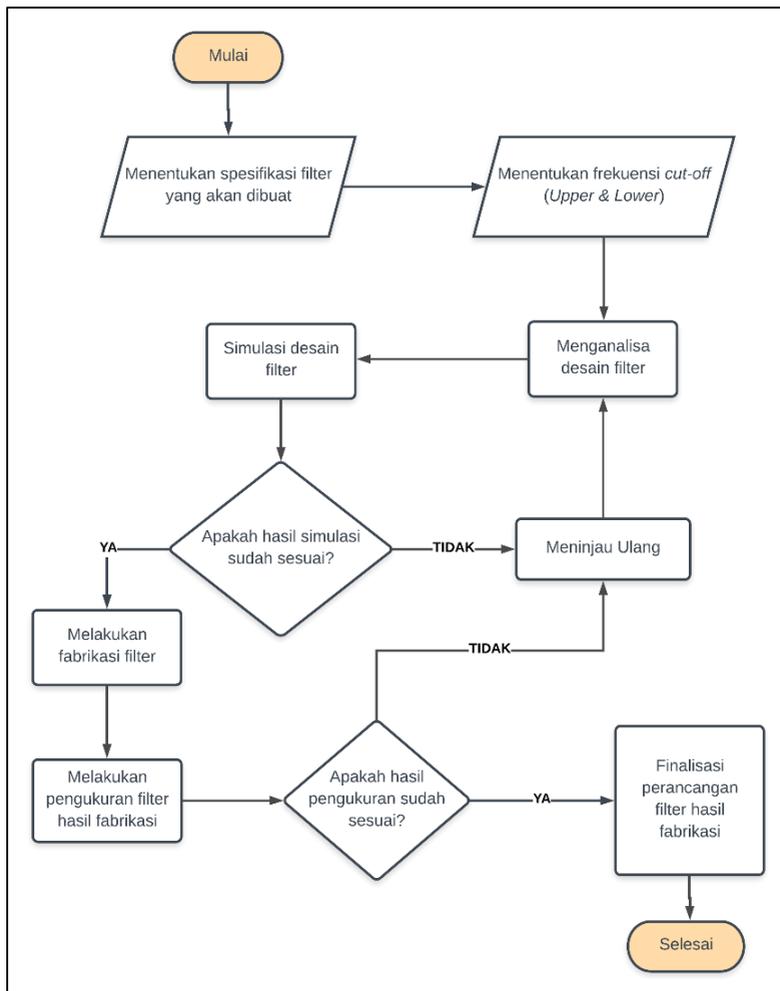
Gambar 1.1 Fish Bone untuk Penelitian

### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari beberapa buku, *paper*, dan jurnal baik skala nasional maupun internasional yang dapat menunjang tugas akhir ini. Pada tahap ini akan mempelajari beberapa materi utama untuk pembuatan suatu filter, seperti Radar, Filter, Metamaterial, Parameter kinerja suatu radar atau *Magnitude Response*. Serta membandingkan beberapa desain dan analisa kerja suatu filter dengan beberapa teknik pembuatan filter yang ada, sehingga terdapat kelebihan dan kekurangan yang dimiliki masing-masing filter. Selain itu, juga bertujuan untuk memperoleh parameter dan *software* apa saja yang diperlukan untuk membuat perancangan filter, seperti *CST Microwave Studio software*. Karena nantinya, perancangan filter akan dibuat dan disimulasikan dengan menggunakan *software* ini.

## 2. Analisa Desain Filter

Berdasarkan studi literatur yang telah dipelajari, analisa desain filter dapat dilakukan dengan skema analisa seperti gambar 1.2 berikut.



**Gambar 1.2** Diagram Alir untuk Analisa Desain Filter Bandpass

### **3. Simulasi Filter**

Simulasi filter dilakukan dengan menggunakan *Matlab* dan *CST Microwave Studio*, hal yang pertama kali dilakukan adalah menghitung dimensi ukuran rancangan filter yang akan dibuat dengan menggunakan *Matlab*, kemudian rancangan filter tersebut dibentuk sesuai dimensi ukuran dengan menggunakan *CST Microwave Studio*, menentukan bahan untuk *patch*, substrat dielektrik, dan *ground plane*, mencari formula untuk menentukan *waveguide port*, menentukan rentang frekuensi kerja (frekuensi *cut-off* atas dan bawah), dan menunggu simulasi filter selesai. Kemudian yang terakhir adalah menggunakan *Scattering Parameters* untuk mendapatkan nilai *return loss*, *insertion loss*, dan impedansi dari kinerja filter yang telah dianalisis.

### **4. Fabrikasi dan Pengukuran Filter**

Setelah mendapatkan hasil simulasi filter yang telah disesuaikan dengan target perancangan filter, maka akan dilakukan fabrikasi filter. Namun sebelum filter difabrikasi, desain filter yang ada pada *CST Microwave Studio* dikonversi *DXF File*, agar dapat dibuka dan disunting dengan menggunakan *CorelDRAW X-7 (64-Bit)*. Setelah itu, dikonversi lagi menjadi *PDF File*. File tersebut dikirim melalui email menuju jasa pencetakan PCB, agar dapat difabrikasi. Setelah filter berhasil difabrikasi, kemudian dilakukan pengukuran pada filter tersebut. Sehingga nantinya didapatkan data yang bisa dikomparasi dengan target perancangan filter, setelah semuanya tidak ada masalah, maka bisa dilakukan finalisasi terhadap filter yang telah difabrikasi.

### **5. Pembuatan Buku Laporan Tugas Akhir**

Setelah filter berhasil difabrikasi, selanjutnya akan dibuat buku laporan tugas akhir yang terdiri dari beberapa bagian bab penting. Diantaranya:

Bab 1 tentang Pendahuluan.

Bab 2 tentang Kajian Pustaka.

Bab 3 tentang Metodologi Penelitian.

Bab 4 tentang Analisa Hasil dan Pembahasan.

Bab 5 tentang Penutup.

## 1.7 Sistematika Pembahasan

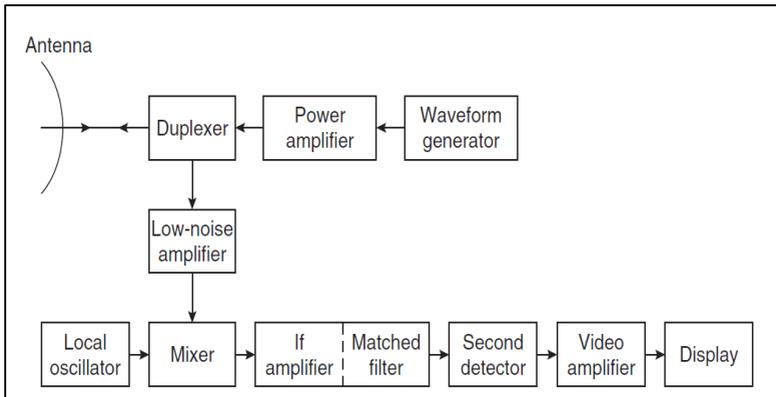
Penyusunan buku laporan tugas akhir ini berdasarkan Buku Pedoman Tugas Akhir 2018 Departemen Teknik Elektro ITS, terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian awal, lima bab didalam bagian inti dan bagian akhir. Adapun dalam penyusunan laporan ini menggunakan sistematika sebagai berikut:

- Bagian Awal  
Pada bagian ini terdapat Pernyataan Keaslian Tugas Akhir, Halaman Pengesahan, Abstrak, Kata Pengantar, Daftar Isi, dan data yang perlu dilampirkan, seperti Daftar Gambar, Tabel, dsb.
- Bagian Pokok  
Pada bagian ini terdapat lima bab, diantaranya:  
BAB I : Pendahuluan  
Dalam bab ini dibahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, relevansi atau manfaat.  
BAB II : Kajian Pustaka  
Dalam bab ini dibahas tentang s-band, *coastal radar*, filter, magnitude response, saluran mikrostrip, metamaterial, matching impedansi, bentuk filter, lumped filter.  
BAB III : Metodologi Penelitian  
BAB IV : Analisa Hasil dan Pembahasan  
BAB V : Penutup  
Dalam bab ini, berisi Kesimpulan dan Saran
- Bagian Akhir  
Pada bagian ini terdapat Daftar Pustaka dan Lampiran.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Radar adalah sebuah alat sensor elektromagnetik untuk mendeteksi lokasi yang menggambarkan suatu objek. Untuk menunjang kinerja dari suatu radar, terdapat beberapa subsistem yang ada didalam sebuah radar. Diantaranya seperti yang terlihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



**Gambar 2.1** Blok Diagram Subsistem Radar

Pada gambar 2.1 diatas merupakan blok diagram subsistem radar yang sering ditemukan didalam suatu radar. Terdapat *transmitter*, yang mana dalam blok diagram tersebut berperan sebagai *power amplifier*, yang menghasilkan bentuk gelombang yang sesuai untuk fungsi tertentu yang harus dilakukan oleh suatu radar. Pada subsistem ini, memiliki daya rata-rata terendah yang dinyatakan dalam mW (*milliwatts*) atau daya rata-rata tertinggi yang dinyatakan dalam MW (*megawatts*). Pada umumnya, radar menggunakan bentuk gelombang pulsa pendek, sehingga antena tunggal dapat digunakan berdasarkan waktu untuk transmisi dan penerimaan.

Adapun fungsi *duplexer* adalah mengizinkan sebuah antena tunggal digunakan untuk melindungi penerima yang sensitif dari terbakar, ketika

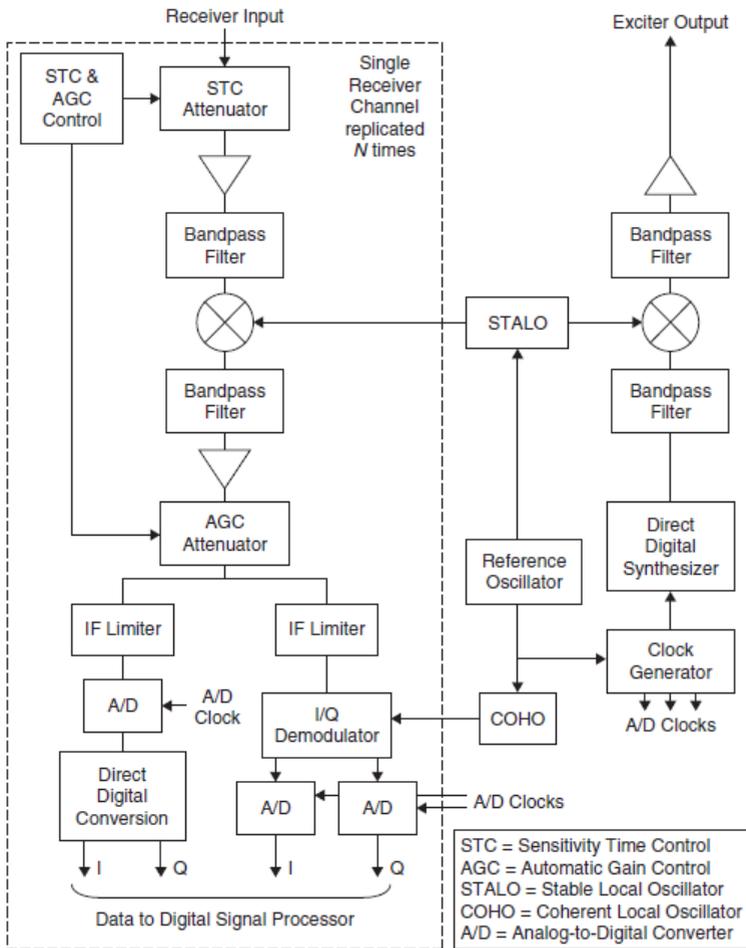
*transmitter* keadaan hidup dan dengan mengarahkan sinyal gema yang diterima ke penerima daripada ke *transmitter*. Sedangkan antena adalah suatu perangkat yang mengizinkan energi yang ditransmisikan untuk disebarkan ke suatu ruang dan kemudian mengumpulkan energi yang menggema kepada penerima. Sebuah antena yang menghasilkan sinyal sempit terarah pada saat dikirim biasanya mempunyai area yang besar pada penerima untuk mengizinkan pengumpulan sinyal gema terendah dari suatu target. Suatu antena juga tidak hanya berkonsentrasi pada energi yang dikirim dan pengumpulan energi yang menggema pada penerima, melainkan juga bertindak sebagai filter spasial untuk memberikan resolusi sudut dan kemampuan yang lain.

Suatu penerima menguatkan sinyal yang diterima dalam kondisi lemah ke level dimana kehadiran dapat dideteksi. Dalam frekuensi gelombang mikro, dimana radar banyak ditemukan, adanya *noise* mempengaruhi performansi radar yang biasanya dari bagian awal suatu penerima atau dalam gambar 2.1 terlihat sebagai *Low-noise amplifier*. Untuk banyak pengaplikasian radar, dimana batasan untuk mendeteksi adalah gema radar yang tidak diinginkan dari lingkungan (disebut *clutter*), suatu penerima membutuhkan rentang cukup besar yang dinamis sehingga untuk menghindari kekacauan yang buruk memengaruhi deteksi target bergerak yang diinginkan dengan menyebabkan penerima jenuh. Suatu rentang dinamis dari penerima, biasanya dinyatakan dalam Desibel (dB).

Pemrosesan sinyal yang sering berada di bagian IF dari penerima, dapat digambarkan sebagai bagian dari penerima yang memisahkan sinyal yang diinginkan dari sinyal yang tidak diinginkan, yang dapat menurunkan proses deteksi. Bagian ini termasuk *matched filter* untuk memaksimalkan *output Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Sedangkan untuk *detection decision* dibuat pada output penerima, sehingga target dinyatakan ada ketika *output* penerima melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Jika ambang batas terlalu rendah, maka *noise* penerima dapat menyebabkan alarm palsu berlebihan. Sedangkan jika ambang batas

terlalu tinggi, deteksi terhadap beberapa target kemungkinan meleset, walaupun seharusnya terdeteksi. Kriteria untuk menentukan tingkat ambang batas adalah menetapkan ambang batas sehingga menghasilkan tingkat rata-rata alarm palsu yang dapat diterima karena *noise* penerima. Setelah *detection decision* dibuat, jalur untuk target dapat ditentukan. Informasi tentang deteksi target yang diproses atau jalur tersebut kemungkinan ditampilkan pada operator; atau informasi deteksi kemungkinan digunakan untuk petunjuk misil ke target secara otomatis; atau *output* radar kemungkinan diproses lebih lanjut untuk menyediakan informasi lain tentang sifat target<sup>[4]</sup>.

Dalam penelitian tugas akhir ini, dibuat subsistem radar untuk memaksimalkan keluaran *Signal-to-Noise Ratio*, yaitu Filter. Dimana filter ini bekerja pada bagian RF (*Radar Frequency*) di *Radar Receivers*. Pada gambar 2.2 yang ada dibawah ini, sinyal RF dari *Receiver Input* menuju *Sensitivity Time Control (STC) Attenuator*, yang diikuti oleh sebuah *RF Amplifier*, sering disebut sebagai *Low-Noise Amplifier (LNA)*. Amplifier ini menyediakan *gain* yang cukup dengan sebuah *low noise figure* untuk meminimalisir degradasi selanjutnya dari *noise figure* radar secara keseluruhan dengan komponen selanjutnya. Kemudian, filter yang dibuat dalam penelitian ini, akan bertugas untuk melemahkan sinyal RF yang tidak diinginkan dan mengatur *bandwidth* dari penerima *analog-processing*<sup>[4]</sup>. Namun hal ini bisa terjadi ketika, sinyal RF telah mengalami *downconversion* menjadi sinyal IF (*Intermediate Frequency*). Hal tersebut perlu dilakukan, karena filter ini bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi (GHz), dimana pada frekuensi tersebut sinyal pemrosesan memiliki kinerja yang kurang baik. Selain itu, juga untuk meningkatkan selektivitas frekuensi. Berikut ini adalah gambar 2.2 yang menampilkan blok diagram subsistem radar pada bagian penerima.

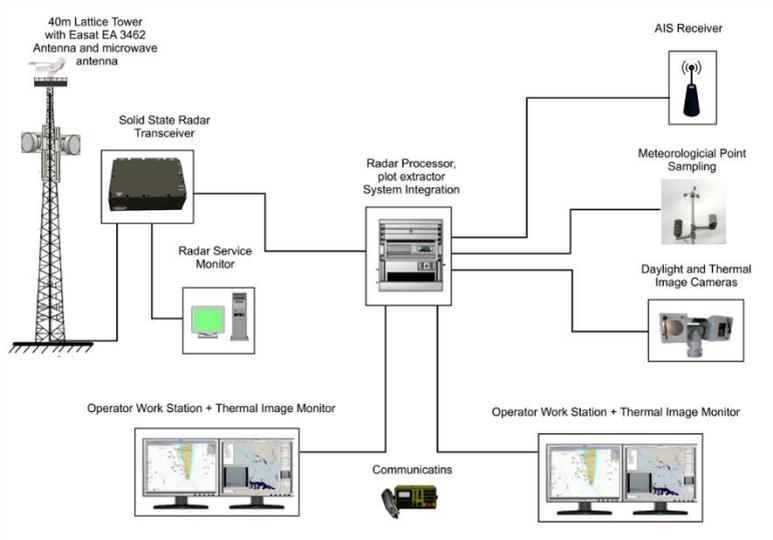


**Gambar 2.2** Peran Filter dalam Subsistem Radar

## 2.1 Coastal Radar

Dalam pengaplikasiannya, radar terdiri dari berbagai jenis yang memiliki fungsi berbeda-beda. Seperti di Indonesia misalnya, khusus untuk wilayah perairan, salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan

aparat pemerintah dalam mengawasi dan mengamankan wilayah NKRI adalah dengan menggunakan radar coastal. Radar ini digunakan untuk mengawasi pergerakan kapal-kapal laut sehingga dapat dicegah tindakan-tindakan yang dapat merugikan NKRI dan juga tabrakan kapal apabila hendak merapat ke pelabuhan<sup>[3]</sup>. Radar ini memiliki arsitektur seperti yang terlihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



**Gambar 2.3** Arsitektur Radar Coastal

## 2.2 S-Band

Frekuensi radio (RF) mengacu pada suatu spektrum elektromagnetik, dimana frekuensi ini memanjang dari bawah 3 MHz hingga diatas 300 GHz. Dalam pengaplikasiannya, RF digunakan untuk komunikasi, radio, penyiaran televisi, radio navigasi, dan penginderaan. Suatu radar beroperasi dengan berbagai mode penginderaan yang ada di setiap pita frekuensinya. Dengan adanya konvensi, beberapa pita ditentukan oleh huruf, misalnya *L-band* (1-2 GHz), *S-band* (2-4 GHz), *C-band* (4-8 GHz), *X-band* (8-12 GHz), dan seterusnya. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4 dibawah ini.

Band Designation	Nominal Frequency Range	Specific Frequency Ranges for Radar Based on ITU Frequency Assignments for Region 2
HF	3 MHz–30 MHz	
VHF	30–300 MHz	138–144 MHz 216–225 MHz
UHF	300–1000 MHz	420–450 MHz 890–942 MHz
L	1.0–2.0 GHz	1215–1400 MHz
S	2.0–4.0 GHz	2.3–2.5 GHz 2.7–3.7 GHz
C	4.0–8.0 GHz	4.2–4.4 GHz 5.25–5.925 GHz
X	8.0–12.0 GHz	8.5–10.68 GHz
K <sub>u</sub>	12.0–18.0 GHz	13.4–14.0 GHz 15.7–17.7 GHz
K	18.0–27.0 GHz	24.05–24.25 GHz 24.65–24.75 GHz
K <sub>a</sub>	27.0–40.0 GHz	33.4–36.0 GHz
V	40.0–75 GHz	59.0–64.0 GHz
W	75.0–110 GHz	76.0–81 GHz 92.0–100 GHz

**Gambar 2.4** IEEE Standard Letter Designations for RF Bands

*S-Band* merupakan pita gelombang mikro spektrum elektromagnetik yang bekerja pada rentang frekuensi 2 hingga 4 GHz, pita ini ditunjuk oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Pita ini juga melintasi batas konvensional antara pita UHF dan SHF pada 3.0 GHz<sup>[5]</sup>.

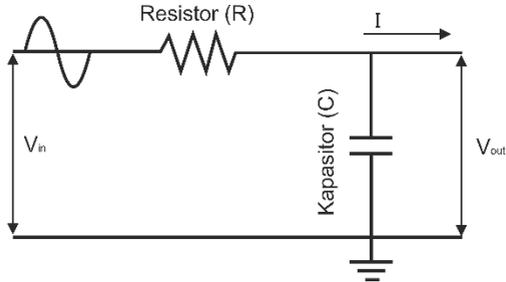
Dalam pengaplikasiannya, *S-Band* digunakan oleh radar pengawas bandara untuk pengendalian lalulintas udara, radar cuaca, radar kapal permukaan, dan beberapa satelit komunikasi, terutama yang digunakan NASA untuk berkomunikasi dengan *Space Shuttle* dan Stasiun Luar Angkasa Internasional. *S-band* juga digunakan dalam komunikasi optik dengan rentang panjang gelombang 1460 nm hingga 1530 nm.

### 2.3 Filter

Filter adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewati sinyal dengan rentang frekuensi tertentu dan menghilangkan atau memperlemah sinyal dengan frekuensi diluar frekuensi tersebut. Sehingga dengan kata lain, filter dapat diartikan sebagai pemilih frekuensi yang diinginkan. Berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, filter dapat dibedakan menjadi empat<sup>[6]</sup>, yaitu:

### 2.3.1 Low Pass Filter

Suatu filter yang hanya melewatkan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cut-off* ( $f_c$ ). Untuk Rangkaian RC *Low Pass Filter* dapat dilihat pada gambar 2.5, dimana terdapat respon frekuensi seperti yang terlihat pada gambar 2.6 didapatkan melalui persamaan (1a-1f) dibawah ini.



Gambar 2.5 Rangkaian RC Low Pass Filter

$$H = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (1a)$$

Dimana:

$$V_{out} = \frac{Z_c}{R+Z_c} \cdot V_{in} \quad (1b)$$

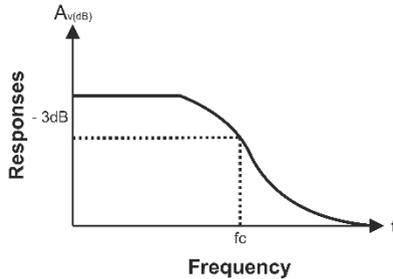
$$Z_c = \frac{1}{j\omega C} \quad (1c)$$

Sehingga:

$$H = \frac{1}{1+j\omega RC} \quad (1d)$$

$$|H| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \quad (1e)$$

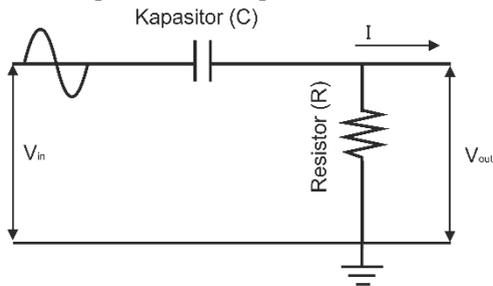
$$\angle H = -\tan^{-1}\left(\frac{\omega RC}{1}\right) \quad (1f)$$



Gambar 2.6 Respon Frekuensi Low Pass Filter

### 2.3.2 High Pass Filter

Suatu filter yang hanya melewatkan frekuensi yang diatas dari frekuensi *cut-off* ( $f_c$ ). Untuk Rangkaian RC *High Pass Filter* dapat dilihat pada gambar 2.7, dimana terdapat respon frekuensi seperti yang terlihat pada gambar 2.8 didapatkan melalui persamaan (2a-2f) dibawah ini.



Gambar 2.7 Rangkaian RC High Pass Filter

$$H = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2a)$$

Dimana:

$$V_{out} = \frac{R}{R+Z_c} \cdot V_{in} \quad (2b)$$

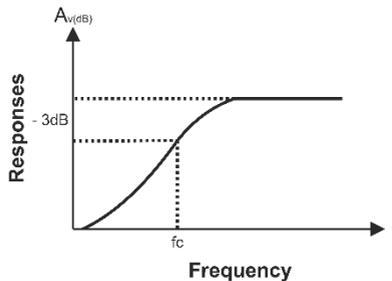
$$Z_c = \frac{1}{j\omega C} \quad (2c)$$

Sehingga:

$$H = \frac{j\omega RC}{1+j\omega RC} \quad (2d)$$

$$|H| = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \quad (2e)$$

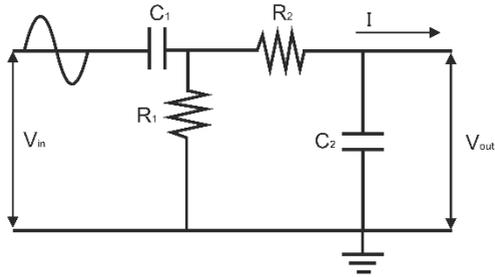
$$\angle H = 90^\circ - \tan^{-1}(\omega RC) \quad (2f)$$



**Gambar 2.8** Respon Frekuensi High Pass Filter

### 2.3.3 Band Pass Filter

Suatu filter yang dapat melewatkan rentang frekuensi tertentu diantara frekuensi *cut-off* pertama dan frekuensi *cut-off* kedua. Jika ada frekuensi yang ada diluar rentang frekuensi tersebut, maka sinyal akan diredam. Filter ini merupakan penggabungan dari *Low Pass Filter* dan *High Pass Filter*. Daerahnya dibatasi oleh dua frekuensi tepi. Frekuensi tepi rendah menunjukkan batas frekuensi rendah dari suatu *High Pass Filter*, sedangkan frekuensi tepi yang tinggi menunjukkan batas frekuensi tinggi dari suatu *Low Pass Filter*. Untuk Rangkaian RC *Band Pass Filter* dapat dilihat pada gambar 2.9, dimana terdapat respon frekuensi seperti yang terlihat pada gambar 2.10 didapatkan melalui persamaan (3a-3e) dibawah ini.



**Gambar 2.9** Rangkaian RC Band Pass Filter

$$H = \frac{V_{\text{out}}(s)}{V_{\text{in}}(s)} \quad (3a)$$

Dimana:

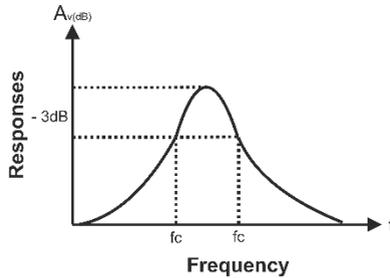
$$V_{\text{out}} = \frac{R}{R + \frac{1}{CS} + LS} \cdot V_{\text{in}} \quad (3b)$$

Sehingga:

$$H(j\omega) = \frac{j\omega \frac{R}{L}}{\frac{1}{LC} - \omega^2 + j\omega \frac{R}{L}} \quad (3c)$$

$$|H(j\omega)| = \frac{\omega \cdot \frac{R}{L}}{\sqrt{\left(\frac{1}{LC} \cdot \omega^2\right) + \left(\frac{\omega R}{L}\right)^2}} \quad (3d)$$

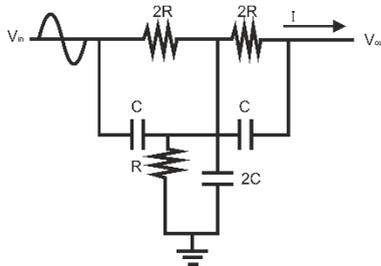
$$\angle H = 90^\circ - \tan^{-1} \left( \frac{\omega \cdot \frac{R}{L}}{\left(\frac{1}{LC} \cdot \omega^2\right)} \right) \quad (3e)$$



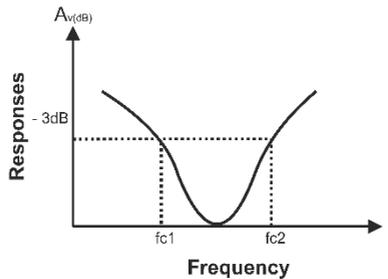
Gambar 2.10 Respon Frekuensi Band Pass Filter

### 2.3.4 Band Stop Filter

Sering juga disebut *Band Reject Filter* merupakan kebalikan dari *Band Pass Filter* yaitu filter yang menghilangkan frekuensi yang terletak diantara frekuensi *cut-off* ( $f_c$ ). Untuk Rangkaian RC *Band Stop Filter* dan respon frekuensinya, dapat dilihat pada gambar 2.11 dan 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.11 Rangkaian RC Band Stop Filter



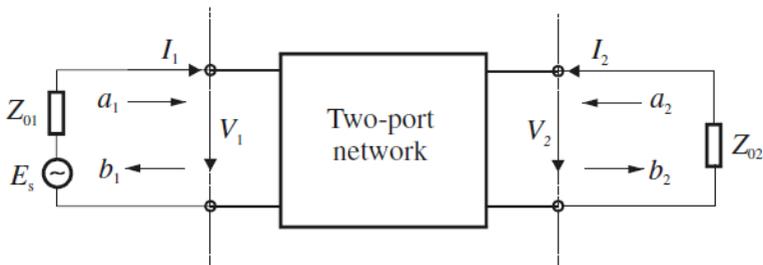
Gambar 2.12 Respon Frekuensi Band Stop Filter

## 2.4 Magnitude Response

Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada saat pengukuran, diantaranya adalah sebagai berikut.

### 2.4.1 Parameter S

*Scattering Parameters* atau yang lebih dikenal dengan sebutan Parameter S adalah parameter yang dapat diterapkan pada frekuensi berapapun, namun lebih sering diterapkan pada frekuensi RF dan gelombang mikro. Pada gambar 2.10 dibawah ini merupakan jaringan dua *port* dengan  $V_1, V_2, I_1, I_2, Z_{01}, Z_{02}, E_s$ <sup>[7]</sup>.



Gambar 2.13 Jaringan Dua Port

Keterangan:

$V_1$  = Tegangan pada *port* 1 (Volt)

$V_2$  = Tegangan pada *port* 2 (Volt)

$I_1$  = Arus pada *port* 1 (Ampere)

$I_2$  = Arus pada *port* 2 (Ampere)

$Z_{01}$  = Impedansi pada *port* 1 ( $\Omega$ )

$Z_{02}$  = Impedansi pada *port* 2 ( $\Omega$ )

$E_s$  = Sumber Tegangan (Volt)

Pada gambar 2.13 juga terdapat variabel  $a_1, a_2, b_1, b_2$ . Keempat variabel tersebut merupakan variabel tegangan maju dan tegangan balik pada masing-masing *port*. Sehingga parameter-S dari jaringan dua *port* dapat didefinisikan oleh persamaan (4a-4b) sebagai berikut.

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (4a)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (4b)$$

Keterangan:

$a_1$  = Tegangan maju atau yang datang dari *port* 1 (Volt)

$a_2$  = Tegangan maju atau yang datang dari *port* 2 (Volt)

$b_1$  = Tegangan balik atau yang dipantulkan dari *port* 1 (Volt)

$b_2$  = Tegangan balik atau yang dipantulkan dari *port* 2 (Volt)

$S_{11}$   $S_{11}$   $S_{11}$   $S_{11}$  = parameter-S

Berdasarkan persamaan (4a-4b), maka nilai parameter-S dapat diperoleh melalui persamaan (5a-5d) sebagai berikut<sup>[8]</sup>.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} | a_2 = 0; \quad (5a)$$

$\Gamma_1$  = Koefisien pantul pada port 1 saat  $a_2 = 0$ .

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} | a_2 = 0; \quad (5b)$$

$T_{21}$  = Koefisien transmisi dari port 1 ke port 2 saat  $a_2 = 0$ .

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} | a_1 = 0; \quad (5c)$$

$\Gamma_2$  = Koefisien pantul pada port 2 saat  $a_1 = 0$ .

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} | a_1 = 0; \quad (5d)$$

$T_{12}$  = Koefisien transmisi dari port 2 ke port 1 saat  $a_1 = 0$ .

Sehingga parameter ini dapat digunakan untuk menyatakan *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*, *Return Loss*, *Insertion Loss*, *Reflection Coefisien*, *Transmission Coefisien*<sup>[7]</sup>.

Selain dirumuskan dengan membandingkan antara tegangan yang dipantulkan dengan tegangan yang datang dari sumber atau perbandingan antara selisih impedansi beban dan intrinsik dengan penjumlahan impedansi beban dan intrinsik, koefisien refleksi ( $\Gamma$ ) dapat dinotasikan dengan menggunakan notasi S-parameter, yaitu  $S_{11}$  atau  $S_{22}$ . S-parameter memiliki beberapa karakteristik atau sifat yang sangat berguna dalam analisis network. Jika network simetris, maka  $S_{11} = S_{22}$  dan  $S_{12} = S_{21}$ .

### 2.4.2 Insertion Loss

Bisa juga disebut rugi-rugi sisipan adalah koefisien transmisi diantara dua port dalam suatu rangkaian, sering dinyatakan dalam dB<sup>[8]</sup>. Selain itu juga, dapat dihitung dengan membandingkan antara tegangan yang dipantulkan dari port 2 dengan tegangan yang datang dari sumber atau port 1<sup>[8]</sup>. Adapun persamaannya (6a-6f) adalah sebagai berikut:

$$\text{Insertion loss (dB)} = S_{21} = \frac{b_2}{a_1} |a_2 = 0; \quad (6a)$$

$$= -10 \log_{10} \frac{\frac{b_2^2}{a_1^2}}{r_1} \quad (6b)$$

$$= -10 \log_{10} \frac{b_2^2}{a_1^2} \quad (6c)$$

$$= 2 \cdot \left( -10 \log_{10} \frac{b_2}{a_1} \right) \quad (6d)$$

$$= -20 \log_{10} |T| \quad (6e)$$

$$= -20 \log_{10} |S_{21}| \quad (6f)$$

### 2.4.3 Return Loss

Biasa disebut kehilangan refleksi adalah kehilangan kekuatan sinyal karena adanya refleksi balik yang disebabkan adanya diskontinuitas dalam suatu saluran transmisi telekomunikasi. Diskontinuitas ini dapat terjadi karena adanya ketidakcocokan dengan kondisi beban atau dengan perangkat peralatan pada pengguna. Keadaan ini biasanya dinyatakan sebagai rasio dalam desibel (dB) yaitu perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan.

Adapun nilai return loss yang sering digunakan adalah dibawah - 9.54 dB untuk menentukan lebar bandwidth, sehingga dapat dikatakan nilai tegangan gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan tegangan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi udah *matching*. Dibawah ini adalah rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai return loss yang didapatkan dari persamaan (7a-7f).

$$\text{Return loss (dB)} = S_{11} = \frac{b_1}{a_1} |a_2 = 0; \quad (7a)$$

$$= -10 \log_{10} \frac{\frac{b_1^2}{r_1}}{\frac{a_1^2}{r_1}} \quad (7b)$$

$$= -10 \log_{10} \frac{b_1^2}{a_1^2} \quad (7c)$$

$$= 2. \left( -10 \log_{10} \frac{b_1}{a_1} \right) \quad (7d)$$

$$= -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (7e)$$

$$= -20 \log_{10} |S_{11}| \quad (7f)$$

#### 2.4.4 VSWR

*Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) atau bisa juga disebut dengan *Standing Wave Ratio* (SWR) merupakan perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (standing wave). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan dan tegangan yang direfleksikan. Perbandingan antar tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut dengan koefisien refleksi tegangan. Dengan persamaan (8) seperti berikut.

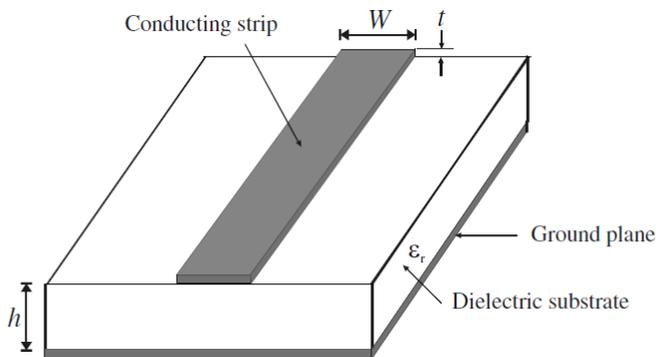
$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (8)$$

Dimana  $Z_L$ , adalah impedansi beban (*load*),  $Z_0$  adalah impedansi saluran *lossless* dan  $\Gamma$  adalah koefisien refleksi.

### 2.5 Saluran Mikrostrip

Pada umumnya, sebuah filter sangat erat kaitannya dengan sebuah saluran mikrostrip. Mikrostrip atau bisa disebut konduktor strip merupakan salah satu jenis planar transmisi line yang paling banyak digunakan. Karena proses fabrikasinya yang mudah dan dapat diintegrasikan dengan perangkat gelombang mikro baik aktif maupun pasif.

Sebuah konduktor strip dengan lebar  $W$  dan ketebalan  $t$  diatas substrat dielektrik yang memiliki konstan dielektrik relatif  $\epsilon_r$  dan ketebalan  $d$ , dan bagian bawah substrat adalah ground plane<sup>[7]</sup>. Secara umum, struktur mikrostrip bisa dilihat seperti gambar 2.10 dibawah ini.



**Gambar 2.14** Struktur Mikrostrip Secara Umum

Dimana:

$W$  = Width (Lebar Konduktor)

$h$  = Height (Ketebalan Substrat)

$\epsilon_r$  = Permittivitas Relatif Substrat

$t$  = Ketebalan Mikrostrip

Untuk keperluan perancangan pada saluran mikrostrip digunakan suatu persamaan yang memungkinkan untuk mendapatkan nilai perbandingan antara lebar ( $W$ ) dengan ketebalan ( $h$ ) saluran mikrostrip berdasarkan pada impedansi saluran ( $Z_o$ ) yang telah ditentukan dan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) dari substrat. Untuk  $W/h \leq 2$ , digunakan persamaan (9a) seperti berikut:

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (9a)$$

Dimana faktor  $A$  didapatkan dari persamaan (9b):

$$A = \frac{Z_o}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}} \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (9b)$$

Sedangkan untuk  $W/h \geq 2$ , didapatkan dari persamaan (10a) dibawah ini:

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left( B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left( \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right) \quad (10a)$$

Dimana faktor B didapatkan dari persamaan (10):

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (10b)$$

*Matching* impedansi digunakan untuk memastikan bahwa rangkaian yang dirancang harus sesuai dengan beban. Hal ini penting untuk jalur transmisi membawa frekuensi radio karena beban yang salah akan menyebabkan beberapa daya sinyal menjadi terpantul menuju sumber sinyal. *Matching* impedansi juga penting untuk komponen aktif dan pasif dalam suatu sistem. Misalnya, filter pasif harus memiliki impedansi yang tepat. Nilai impedansi yang biasa dipakai pada perangkat yaitu  $50\Omega$ . Untuk itu rangkaian yang dibuat pada filter ini juga idealnya adalah  $50\Omega$  agar dapat kesesuaian antara rancangan dan peralatan yang digunakan. Jika nilai impedansi tidak *matching* maka filter tidak akan memiliki respon frekuensi yang benar.

Impedansi input dapat diekspresikan dengan nilai *rectangular* ( $Z_L = R + jX$ , dengan nilai R adalah bagian *real* dari  $Z_L$  dan X adalah bagian imajiner dari  $Z_L$ ) atau nilai polar ( $Z_L = M\angle P$  dimana M adalah *magnitude* dari  $Z_L$  dan P adalah sudut *phase*). Koefisien refleksi juga bisa diperoleh dari persamaan (11) dibawah ini.

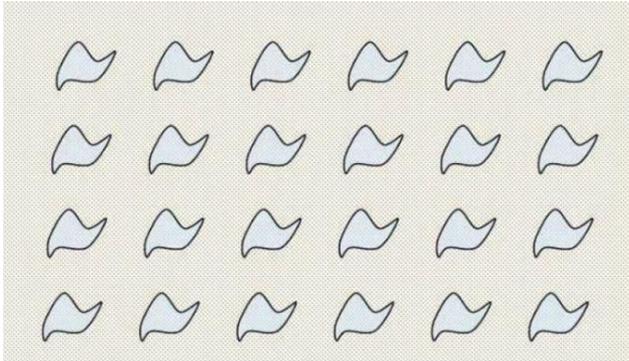
$$\Gamma = \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} Z_0 \quad (11)$$

Beberapa komponen pada saluran mikrostrip mengalami *losses* atau rugi-rugi. Terdapat beberapa penyebab diantaranya konduktor, dielektrik, dan radiasi. Serta kerugian magnetik yang disebabkan oleh bahan magnetik dari substrat.

## 2.6 Metamaterial

Metamaterial merupakan struktur elektromagnetik homogen yang dibuat secara efektif dengan sifat yang tidak biasa, dan tidak tersedia di alam[9]. Pada prinsipnya, material ini disintesis dengan menyematkan berbagai konstituen/inklusi dengan bentuk geometris yang baru di dalam

beberapa media pembawa[10]. Sketsa umum dari sebuah metamaterial, dapat dilihat pada gambar 2.11 dibawah ini



**Gambar 2.15** Sketsa umum dari metamaterial volumetrik yang disintesis

Pada penelitian ini, digunakan material berjenis FR-4 Epoxy dengan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4.4 sebagai bahan untuk substrat dan material cooper (tembaga) untuk bahan Patch Lines dan Ground Plane. Pertimbangan memilih kedua material tersebut karena ketersediaan material pada tempat fabrikasi, selain itu juga karena harga untuk fabrikasi filter dengan menggunakan kedua bahan tersebut yang relatif murah.

## 2.7 Low Pass Filter Prototypes

Sebuah *Band Pass Filter* dikatakan baik jika sinyal yang hilang bisa diminimalisir dalam setiap pita operasinya, dan pita frekuensi yang sempit dimana sinyal ditransmisikan oleh filter, bisa bekerja tanpa mengalami atenuasi. Filter dengan *Chebyshev Low Pass Prototype* dipilih karena prototipe filter ini memiliki penurunan awal yang curam di *stopband*, tidak seperti prototipe filter yang lain, serta memiliki banyak respon *passband* yang lebih sempit dalam pertukaran untuk *ripples* yang lebih banyak di bagian *passband*<sup>[7]</sup>. Untuk filter dengan *Low Pass Chebyshev Prototype* memiliki fungsi transfer seperti pada persamaan (12a) dibawah ini,

$$|S_{21}(j\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2 T_n^2(\Omega)} \quad (12a)$$

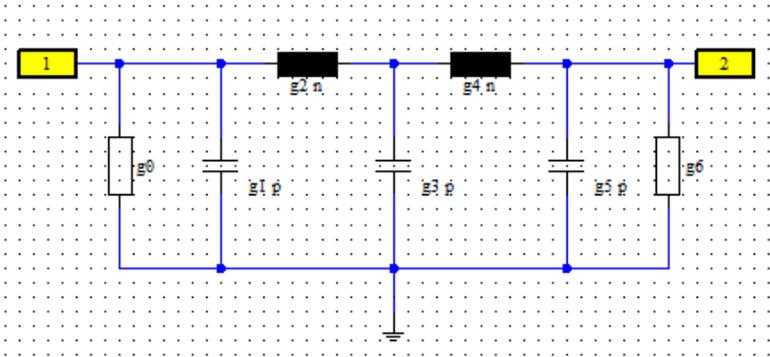
Dimana *ripple constant*  $\varepsilon$  adalah terkait dengan diberikan *passband ripple*,  $L_{Ar}$  dB oleh persamaan (12b)

$$\varepsilon = \sqrt{10^{\frac{L_{Ar}}{10}} - 1} \quad (12b)$$

$T_n(\Omega)$  adalah fungsi *Chebyshev* dari jenis orde pertama  $n$ , yang didefinisikan sebagai persamaan (12c).

$$|T_n(\Omega)| = \begin{cases} \cos(n \cos^{-1}\Omega) & |\Omega| \leq 1 \\ \cosh(n \cosh^{-1}\Omega) & |\Omega| \geq 1 \end{cases} \quad (12c)$$

Dengan sebuah *passband ripple*,  $L_{Ar}$  dan frekuensi cutoff ( $\Omega_c = 1$ ), nilai elemen untuk jaringan dua port seperti gambar 2.12 dibawah ini.



**Gambar 2.16** Rangkaian Elemen untuk Jaringan Dua Port

Dapat dihitung menggunakan persamaan (13a-13f) berikut ini:

$$g_0 = 1.0 \quad (13a)$$

$$g_1 = \frac{2}{\gamma} \sin\left(\frac{\pi}{2n}\right) \quad (13b)$$

$$g_i = \frac{1}{g_{i-1}} \frac{4 \sin\left[\frac{(2i-1)\pi}{2n}\right] \sin\left[\frac{(2i-3)\pi}{2n}\right]}{\gamma^2 + \sin^2\left[\frac{(i-1)\pi}{n}\right]} \text{ for } i = 2, 3, \dots n \quad (13c)$$

$$g_{n+1} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } n \text{ odd} \\ \coth^2\left(\frac{\beta}{4}\right) & \text{for } n \text{ even} \end{cases} \quad (13d)$$

Dimana:

$$\beta = \ln\left[\coth\left(\frac{L_{Ar}}{17.37}\right)\right] \quad (13e)$$

$$\gamma = \sinh\left(\frac{\beta}{2n}\right) \quad (13f)$$

Untuk menghitung orde filter yang dibutuhkan, dapat menggunakan persamaan (14a-14b) dibawah ini:

$$n \geq \frac{\cosh^{-1} \sqrt{\frac{10^{0.1L_{As}-1}}{10^{0.1L_{Ar}-1}}}}{\cosh^{-1} \Omega_s} \quad (14a)$$

Dimana:

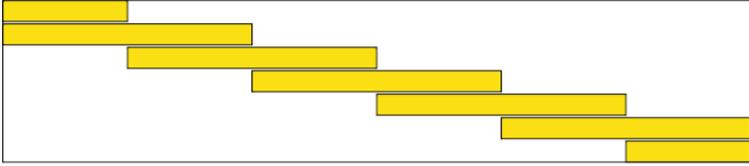
- $L_{As}$  : the minimum stopband attenuation, dB
- $\Omega_s$  : the frequency at which the equal-ripple stopband starts.
- $L_{Ar}$  : passband ripple, dB

$$L_{Ar} = -10 \log(1 - 10^{0.1L_R}) \text{ dB} \quad (14b)$$

Untuk nilai  $\Omega_s > 1$  (seperti 2, 3, dst.) dan nilai  $L_{As} \geq 40$  dB.

## 2.8 Edge-Coupled Filter

Terdapat berbagai macam teknik dalam perancangan suatu filter, salah satunya adalah *Edge-Coupled Filter*. Teknik ini didapatkan dengan cara mentransformasikan *Low Pass Filter Prototype* menjadi *Band Pass Filter Prototype*<sup>[11]</sup>. Sehingga didapatkan bentuk filter seperti gambar 2.13 dibawah ini.



**Gambar 2.17** Edge-Coupled Filter

Struktur garis gabungan dari *edge-coupled filter* mendukung dua mode *quasi-TEM* yaitu mode genap dan ganjil. Terdapat tiga parameter yaitu lebar ( $W$ ), diameter atau tinggi substrat ( $d$ ) dan *gap* ( $S$ ) dari *edge-coupled filter* ditentukan dari mode impedansi genap ( $Z_{oe}$ ) dan ganjil ( $Z_{oo}$ ) dari struktur garis yang digabungkan[8]. The mode impedansi ini genap dan ganjil tergantung pada gain dari *admittance inverter*,  $J$  seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (15a-15f).

$$J_1 = \frac{1}{Z_o} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_1}} \quad (15a)$$

$$J_n = \frac{1}{2Z_o} \frac{\pi \Delta}{\sqrt{g_{n-1}g_n}} \quad (15b)$$

$$J_{n+1} = \frac{1}{Z_o} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_n g_{n+1}}} \quad (15c)$$

$$Z_{oe} = Z_o(1 + JZ_o + (jZ_o)^2) \quad (15d)$$

$$Z_{oo} = Z_o(1 - JZ_o + (jZ_o)^2) \quad (15e)$$

Dimana  $\Delta = \text{Fractional Bandwidth}$

$$\Delta = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (15f)$$

Setelah impedansi karakteristik,  $Z_{oe}$  dan  $Z_{oo}$  diketahui. Maka rasio bentuk untuk menentukan nilai *gap* dan lebar masing-masing *patch line* bisa dihitung dengan persamaan (16a-16b).

$$\frac{s}{h} = \frac{2}{\pi} \cosh^{-1} \left[ \frac{\left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{se} \right) + \left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{so} \right) - 2}{\left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{so} \right) - \left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{se} \right)} \right] \quad (16a)$$

$$\begin{aligned} \frac{w}{h} = \frac{1}{\pi} \cosh^{-1} & \left( \left( \frac{1}{2} \right) \left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{s}{h}\right) - 1 \right) \right. \\ & \left. + \left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{s}{h}\right) + 1 \right) \left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{se} \right) \right) \quad (16b) \end{aligned}$$

Dimana:  $\left(\frac{w}{h}\right)_{se} = Z_{oe}$  dan  $\left(\frac{w}{h}\right)_{so} = Z_{oo}$

Kemudian untuk menghitung panjang *patch line* ( $l$ ) dengan persamaan (17a-17b).

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{1 + (12 \times \left(\frac{h}{w}\right))}} \quad (17a)$$

$$l = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 3 \times 10^9 \times \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (17b)$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai konstanta propagasi dan perpindahan gerak per satuan waktu (*velocity*) dapat dilihat pada persamaan (18-20).

$$\lambda_{g0} = \frac{300}{3 \times \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (18)$$

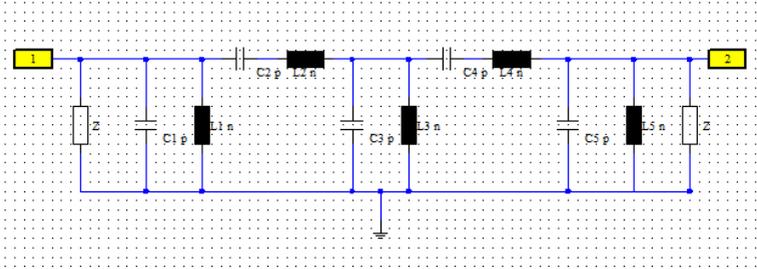
$$\beta l = \frac{2 \times \pi}{\lambda_{g0}} \quad (19)$$

$$v_p = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (20)$$

## 2.9 Lumped Filter

*Lumped filter* adalah struktur filter yang dibangun dari masing-masing komponen fisik seperti induktor, kapasitor atau resistor untuk membentuk rangkaian yang dapat melewatkan frekuensi tertentu dan menghambat frekuensi lainnya<sup>[7]</sup>. Membuat rancangan *Band Pass Filter*

dengan menggunakan komponen *lumped* dapat digunakan rangkaian seperti pada gambar 2.14 dibawah ini.



**Gambar 2.18** Rangkaian lumped Band Pass Filter

Agar rancangan filter tersebut dapat bekerja pada frekuensi dan impedansi yang diinginkan. Maka diperlukan nilai pada tiap komponen-komponen di rangkaian ekivalen tersebut sesuai dengan yang diinginkan. Nilai tersebut dihitung dengan menggunakan Transformasi Richard dan Identitas Kuroda (21a-21d):

$$L_p = \left( \frac{\Delta}{\omega_o} \right) \frac{Z_o}{g} \quad (21a)$$

$$C_p = \left( \frac{1}{\Delta * \omega_o} \right) \frac{g}{Z_o} \quad (21b)$$

$$L_s = \left( \frac{1}{\Delta * \omega_o} \right) Z_o * g \quad (21c)$$

$$C_s = \left( \frac{\Delta}{\omega_o} \right) \frac{1}{Z_o * g} \quad (21d)$$

Dimana:

$Z_o$  adalah impedansi saluran *lossless*.

$g_n$  adalah nilai elemen rangkaian ekivalen.

$\omega_o$  adalah kecepatan pada frekuensi tengah.

$\Delta$  adalah *Fractional Bandwidth*.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini dirancang sebuah filter guna menunjang kinerja *Coastal Radar*, yang dapat bekerja pada frekuensi antara 2.9 GHz sampai 3.1 GHz. Filter hasil perancangan adalah filter dengan orde ( $n=5$ ) dengan menggunakan bahan *metamaterial* (FR-4 Epoxy) dengan konstanta dielektrik 4.4. Untuk merancang filter tersebut terdapat beberapa tahapan, seperti penjelasan singkat berikut ini.

#### **3.1 Tahap Perancangan Filter**

##### **Penentuan Spesifikasi Desain Filter**

Pada awal perancangan *Band Pass Filter* yaitu dengan menentukan spesifikasi desain filter yang akan dibuat diantaranya rentang frekuensi kerja (frekuensi *cut-off* atas dan bawah), jenis bahan dan ketebalan substrat dielektrik, *patch*, dan *ground plane*, serta menghitung dimensi ukuran rancangan filter dengan teknik *Edge-Coupled Filter*.

##### **Pemilihan Teknik Pembuatan Filter**

Pemilihan teknik ini berdasarkan tujuan dari penelitian ini, yaitu merancang filter dengan ukuran yang lebih *compact*. Sehingga dipilih teknik *Edge-Coupled Filter* yang digunakan dalam perancangan filter ini.

##### **Perhitungan Dimensi Ukuran Filter**

Dimensi ukuran filter dalam penelitian ini dihitung dengan menggunakan *Matlab*, dan rumus yang digunakan telah disesuaikan dengan buku referensi yang telah diberikan oleh Dosen Pembimbing.

##### **Perancangan Desain Filter**

Setelah dimensi ukuran filter diketahui, langkah selanjutnya filter dirancang dengan menggunakan *software CST Microwave Studio*. Pada tahap ini, filter juga akan disimulasikan dan disesuaikan dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Sehingga diperoleh parameter  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ , dan respon frekuensi yang diinginkan. Selanjutnya tahap optimasi dengan *parameter sweep* dengan mengiterasi nilai-nilai dari dimensi komponen yang terdapat pada prototipe filter dan mengambil nilai yang optimal.

##### **Fabrikasi Filter**

Prototipe filter yang telah dioptimasi, kemudian disunting dengan menggunakan *CorelDRAW X-7 (64-Bit)* agar desain filter dapat difabrikasi. Fabrikasi filter dilakukan dengan menggunakan substrat FR-4 epoxy dengan  $\epsilon_r = 4.4$ .

### **Pengujian Filter Hasil Fabrikasi**

Filter yang selesai difabrikasi, kemudian filter tersebut dilakukan pengujian dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* untuk menguji kesesuaian dengan spesifikasi yang sebelumnya telah ditentukan.

### **Analisa Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran**

Selanjutnya dilakukan perbandingan antara hasil filter yang telah disimulasikan dengan hasil fabrikasi filter yang telah diukur. Kemudian kedua tersebut dianalisa.

## **3.2 Perangkat yang Digunakan**

Adapun dalam perancangan filter ini menggunakan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software). Untuk penjelasan secara singkat bisa dilihat seperti dibawah ini.

Perangkat lunak digunakan untuk keperluan perhitungan dan validasi data dimensi ukuran filter, simulasi filter, serta penyuntingan format filter sebelum difabrikasi. Perangkat lunak yang digunakan adalah

#### *1. Matlab*

Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan pengolahan dan validasi data untuk perhitungan dasar geometri rancangan filter dengan pendekatan teori.

#### *2. CST Microwave Studio*

Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang dan mensimulasikan filter yang akan dibuat. Sehingga dapat memperoleh karakteristik filter yang dibutuhkan seperti  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$ , Impedansi dan VSWR.

#### *3. CorelDRAW X-7 (64-Bit)*

Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang desain dan mengubah format file filter sebelum difabrikasi.

Sedangkan perangkat keras yang digunakan dalam perancangan filter ini adalah

#### *1. Alat Pencetak PCB*

Perangkat keras ini digunakan untuk melakukan fabrikasi pada filter.

#### *2. Vector Network Analyzer (VNA)*

Perangkat keras ini digunakan untuk mengukur dan mengambil data dari filter yang telah berhasil difabrikasi.

### 3.3 Penentuan Spesifikasi Filter

Untuk merancang dan menganalisa suatu kinerja filter, dibutuhkan parameter spesifikasi filter yang terdiri dari komponen dielektrik (substrat) dan parameter pengujian.

#### 3.3.1 Komponen Dielektrik

Dimensi ukuran dari filter menjadi parameter terpenting dalam merancang sebuah *Edge-Coupled Filter*. Bahan dielektrik yang digunakan juga sangat menentukan hasil akhir sebuah filter. Dalam tugas akhir ini, bahan dielektrik yang digunakan untuk pembuatan filter, memiliki spesifikasi sebagai berikut.

*Tabel 3.1 Spesifikasi Bahan Dielektrik*

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	Konstanta Dielektrik ( $\epsilon_r$ )	4.4	-
2	Ketebalan Substrat	1.6	mm
3	Ketebalan Tembaga	35	$\mu\text{m}$

#### 3.3.2 Spesifikasi Frekuensi Kerja Pada Rancangan Filter

Pada frekuensi kerja ini digunakan spesifikasi untuk *Coastal Radar* yang ditentukan seperti pada tabel 3.2 berikut.

*Tabel 3.2 Spesifikasi Frekuensi Kerja Filter*

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Frekuensi <i>cutoff</i> bawah ( $f_1$ )	2900	MHz
2.	Frekuensi <i>cutoff</i> atas ( $f_2$ )	3100	MHz
3.	Bandwidth	200	MHz
4.	Frekuensi tengah ( $f_c$ )	3000	MHz
5.	<i>Insertion Loss Bandwidth</i> ( $S_{21}$ )	> -3	dB
6.	<i>Return Loss Bandwidth</i> ( $S_{11}$ )	< -10	dB
7.	Impedansi	50	Ohm
8.	VSWR	< 2	dB

### 3.4 Perancangan Geometri Dasar Edge-Coupled Filter

Pada perancangan awal desain filter meliputi beberapa tahap yaitu penentuan orde dari *edge-coupled filter* yang disesuaikan dengan frekuensi spesifikasi, penentuan panjang dan lebar masing-masing *patch (feed lines)* untuk mendapatkan *matching impedance* sebesar nilai 50 ohm, dan perancangan komponen-komponen filter seperti gap. Penjelasan dan perhitungan matematis bagian-bagian *edge-coupled filter* adalah sebagai berikut:

#### 3.4.1 Penentuan Orde Edge-Coupled Filter

Pada perancangan filter dengan menggunakan teknik *edge-coupled filter*, hal yang pertama kali harus dilakukan adalah menentukan orde  $n$  yang akan digunakan. Dengan menggunakan persamaan (14a) dibawah ini.

$$n \geq \frac{\cosh^{-1} \sqrt{\frac{10^{0.1L_{As}-1}}{10^{0.1L_{Ar}-1}}}}{\cosh^{-1} \Omega_s} \quad (14a)$$

Dimana:

$L_{As}$  : 45 dB

$\Omega_s$  : 2

$L_{Ar}$  : 0.1 dB

Sehingga didapatkan nilai  $n = 4.9732$  atau  $n \geq 5$ . Kemudian nilai tersebut digunakan untuk menentukan nilai *normalized element* untuk *equal ripple band pass filter prototypes* yang diambil dari tabel. Dimana tabel tersebut berisi nilai *normalized element* untuk  $L_{Ar} = 0.1$  dB *ripple low pass Chebyshev filter*. Sehingga didapatkan nilai-nilai elemen rangkaian ekuivalen seperti dibawah ini.

$g_1 = g_5 = 1.1468$

$g_2 = g_4 = 1.3712$

$g_3 = 1.9750$

#### 3.4.2 Patch Line

Pada perancangan *patch line*, parameter yang perlu diperhatikan adalah panjang, lebar, dan ketebalan dari *cooper*. Agar *patch line* dapat *match* dengan saluran transmisi, maka perlu dirancang *patch line*

*microstrip* yang memiliki impedansi pada saluran transmisi sebesar 50 ohm. Untuk mendapatkan nilai impedansi yang sesuai, digunakan analisis perhitungan dan melalui *software CST Microwave Studio*. Untuk mengetahui lebar dari konduktor, dilakukan perhitungan seperti dibawah ini. Untuk  $W/h \leq 2$ , digunakan persamaan (9a) seperti berikut.

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (9a)$$

Dimana nilai faktor A bisa diketahui, seperti perhitungan melalui persamaan (9b) dibawah ini.

$$A = 2\pi \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}} \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}\right) \quad (9b)$$

$$= 2\pi \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4.4+1}{2}} \frac{4.4-1}{4.4+1} \left(0.23 + \frac{0.11}{4.4}\right)$$

$$A = 1.5299$$

Kemudian hasil perhitungan nilai A dimasukkan ke persamaan (9a).

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^{1.5299}}{e^{2 \times 1.5299} - 2}$$

$$\frac{W}{h} = 1.9119$$

Dengan adanya hasil perhitungan diatas, maka nilai W bisa didapatkan, yaitu

$$W = 1.9119 \times 0.0016$$

$$= 0.0031 \text{ m}$$

$$W = 3.1 \text{ mm}$$

### 3.4.3 Menghitung Characteristic Admittance, $Y_0$

Berikut ini adalah rumus untuk menghitung *Characteristic Admittance*.

$$Y_0 = \frac{1}{Z_0} \quad (22)$$

Dengan nilai  $Z_0 = 50$  maka

$$Y_0 = \frac{1}{50} = 0.02$$

Menghitung nilai *admittance inverter* melalui persamaan (15a-15c)

$$J_1 = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi\Delta}{2g_1}} \quad (15a)$$

$$J_n = \frac{1}{2Z_0} \sqrt{\frac{\pi\Delta}{g_{n-1}g_n}} \quad (15b)$$

$$J_{n+1} = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi\Delta}{2g_n g_{n+1}}} \quad (15c)$$

Pada bagian 1,

$$J_1 = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi\Delta}{2g_1}}$$

Dimana:

$$Z_0 = 50\Omega$$

$$\pi = 3.14$$

$$\Delta = 0.667$$

$$g_1 = 1.1468$$

Maka nilai  $J_1$  bisa diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$J_1 = \frac{1}{50} \sqrt{\frac{3.14 * 0.667}{2 * 1.1468}}$$

$$J_1 = 0.006$$

Pada bagian 2,

$$J_2 = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi\Delta}{2g_1 g_2}}$$

Dimana:

$$Z_0 = 50\Omega$$

$$\begin{aligned}\pi &= 3.14 \\ \Delta &= 0.667 \\ g_1 &= 1.1468 \\ g_2 &= 1.3712\end{aligned}$$

Maka nilai  $J_2$  bisa diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}J_2 &= \frac{1}{50} \sqrt{\frac{3.14 * 0.667}{2 * 1.1468 * 1.3712}} \\ J_2 &= 0.0052\end{aligned}$$

Pada bagian 3,

$$J_3 = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_2g_3}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}Z_0 &= 50\Omega \\ \pi &= 3.14 \\ \Delta &= 0.667 \\ g_2 &= 1.3712 \\ g_3 &= 1.975\end{aligned}$$

Maka nilai  $J_3$  bisa diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}J_3 &= \frac{1}{50} \sqrt{\frac{3.14 * 0.667}{2 * 1.3712 * 1.975}} \\ J_3 &= 0.0039\end{aligned}$$

Pada bagian 4,

$$J_4 = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_3g_4}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}Z_0 &= 50\Omega \\ \pi &= 3.14 \\ \Delta &= 0.667 \\ g_3 &= 1.975 \\ g_4 &= 1.3712\end{aligned}$$

Maka nilai  $J_4$  bisa diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$J_4 = \frac{1}{50} \sqrt{\frac{3.14 * 0.667}{2 * 1.975 * 1.3712}}$$
$$J_4 = 0.0039$$

Pada bagian 5,

$$J_5 = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_4 g_5}}$$

Dimana:

$$Z_0 = 50\Omega$$

$$\pi = 3.14$$

$$\Delta = 0.667$$

$$g_4 = 1.3712$$

$$g_5 = 1.1468$$

Maka nilai  $J_5$  bisa diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$J_5 = \frac{1}{50} \sqrt{\frac{3.14 * 0.667}{2 * 1.3712 * 1.1468}}$$
$$J_5 = 0.0052$$

Pada bagian 6,

$$J_6 = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_5 g_6}}$$

Dimana:

$$Z_0 = 50\Omega$$

$$\pi = 3.14$$

$$\Delta = 0.667$$

$$g_5 = 1.1468$$

$$g_6 = 1$$

Maka nilai  $J_6$  bisa diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$J_6 = \frac{1}{50} \sqrt{\frac{3.14 * 0.667}{2 * 1.1468}}$$

$$J_6 = 0.006$$

### 3.4.4 Menghitung nilai dari mode impedansi

Menghitung nilai dari mode impedansi genap ( $Z_{oe}$ ) dan ganjil ( $Z_{oo}$ ) dengan persamaan (15d-15e)

$$Z_{oe} = Z_o(1 + JZ_o + (JZ_o)^2) \quad (15d)$$

$$Z_{oo} = Z_o(1 - JZ_o + (JZ_o)^2) \quad (15e)$$

Pada bagian 1, dimana  $J_1 = 0.006$  dan  $Z_o = 50$  maka nilai impedansi karakteristiknya dapat dihitung seperti berikut ini.

$$Z_{oe} = Z_o(1 + JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 + (0.006 \times 50) + (0.006 \times 50)^2)$$

$$Z_{oe} = 69.68$$

$$Z_{oo} = Z_o(1 - JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 - (0.006 \times 50) + (0.006 \times 50)^2)$$

$$Z_{oo} = 39.45$$

Pada bagian 2, dimana  $J_2 = 0.0052$  dan  $Z_o = 50$  maka nilai impedansi karakteristiknya dapat dihitung seperti berikut ini.

$$Z_{oe} = Z_o(1 + JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 + (0.0052 \times 50) + (0.0052 \times 50)^2)$$

$$Z_{oe} = 66.238$$

$$Z_{oo} = Z_o(1 - JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 - (0.0052 \times 50) + (0.0052 \times 50)^2)$$

$$Z_{oo} = 40.425$$

Pada bagian 3, dimana  $J_3 = 0.0039$  dan  $Z_o = 50$  maka nilai impedansi karakteristiknya dapat dihitung seperti berikut ini.

$$Z_{oe} = Z_o(1 + JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 + (0.0039 \times 50) + (0.0039 \times 50)^2)$$

$$Z_{oe} = 61.769$$

$$Z_{oo} = Z_o(1 - JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 - (0.0039 \times 50) + (0.0039 \times 50)^2)$$

$$Z_{oo} = 42.099$$

Pada bagian 4, dimana  $J_4 = 0.0039$  dan  $Z_o = 50$  maka nilai impedansi karakteristiknya dapat dihitung seperti berikut ini.

$$Z_{oe} = Z_o(1 + JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 + (0.0039 \times 50) + (0.0039 \times 50)^2)$$

$$Z_{oe} = 61.769$$

$$Z_{oo} = Z_o(1 - JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 - (0.0039 \times 50) + (0.0039 \times 50)^2)$$

$$Z_{oo} = 42.099$$

Pada bagian 5, dimana  $J_5 = 0.0052$  dan  $Z_o = 50$  maka nilai impedansi karakteristiknya dapat dihitung seperti berikut ini.

$$Z_{oe} = Z_o(1 + JZ_o + (JZ_o)^2)$$

$$= 50 \times (1 + (0.0052 \times 50) + (0.0052 \times 50)^2)$$

$$Z_{oe} = 66.238$$

$$\begin{aligned} Z_{oo} &= Z_o(1 - JZ_o + (JZ_o)^2) \\ &= 50 \times (1 - (0.0052 \times 50) + (0.0052 \times 50)^2) \end{aligned}$$

$$Z_{oo} = 40.425$$

Pada bagian 6, dimana  $J_6 = 0.006$  dan  $Z_o = 50$  maka nilai impedansi karakteristiknya dapat dihitung seperti berikut ini.

$$\begin{aligned} Z_{oe} &= Z_o(1 + JZ_o + (JZ_o)^2) \\ &= 50 \times (1 + (0.006 \times 50) + (0.006 \times 50)^2) \end{aligned}$$

$$Z_{oe} = 69.68$$

$$\begin{aligned} Z_{oo} &= Z_o(1 - JZ_o + (JZ_o)^2) \\ &= 50 \times (1 - (0.006 \times 50) + (0.006 \times 50)^2) \end{aligned}$$

$$Z_{oo} = 39.45$$

### 3.4.5 Menghitung nilai *gap*

Menghitung nilai *gap* (jarak antar *patch line*) dengan persamaan (16a).

$$\frac{s}{h} = \frac{2}{\pi} \cosh^{-1} \left[ \frac{\left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{se} \right) + \left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{so} \right) - 2}{\left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{so} \right) - \left( \cosh\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{w}{h}\right)_{se} \right)} \right] \quad (16a)$$

$$\text{Dimana: } \left(\frac{w}{h}\right)_{se} = Z_{oe} \text{ dan } \left(\frac{w}{h}\right)_{so} = Z_{oo}$$

Dengan nilai  $Z_{oe} = 69.68$  dan  $Z_{oo} = 39.45$  maka pada bagian 1, nilai *gap* ( $s$ ) = 0.32 mm. Dikarenakan nilai  $Z_{oe}$  semua bagian yang dihitung menghasilkan nilai *gap* yang relatif kecil. Maka nilai *gap* untuk semua bagian = 0.32 mm.

### 3.4.6 Menghitung Lebar *Patch Line*

Menghitung lebar *patch line* dengan persamaan (16b).

$$\frac{w}{h} = \frac{1}{\pi} \cosh^{-1} \left( \left( \frac{1}{2} \right) \left( \cosh \left( \frac{\pi}{2} \right) \left( \frac{s}{h} \right) \right) - 1 \right) + \left( \cosh \left( \frac{\pi}{2} \right) \left( \frac{s}{h} \right) + 1 \right) \left( \cosh \left( \frac{\pi}{2} \right) \left( \frac{w}{h} \right)_{se} \right) \quad (16b)$$

Dengan nilai  $\left( \frac{s}{h} \right) = 2$  pada semua bagian. Sehingga bisa diketahui nilai lebar *patch line* ( $w$ ) melalui perhitungan dengan persamaan (16b) seperti berikut ini. Pada bagian 1, dengan nilai  $\left( \frac{w}{h} \right)_{se} = Z_{oe} = 69.68$ .

$$\frac{w}{h} = \frac{1}{3.14} \times \cosh^{-1} \left( \left( \frac{1}{2} \right) \times \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 2 \right) - 1 \right) + \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 2 + 1 \right) \times \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 69.68 \right)$$

$$\frac{w}{h} = 1.4515$$

$$w = 1.4515 \times 0.0016$$

$$w = 2.32 \text{ mm}$$

Maka nilai lebar *patch line* ( $w$ ) = 2.32 mm. Pada bagian 2, dengan nilai  $\left( \frac{w}{h} \right)_{se} = Z_{oe} = 66.238$ .

$$\frac{w}{h} = \frac{1}{3.14} \times \cosh^{-1} \left( \left( \frac{1}{2} \right) \times \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 2 \right) - 1 \right) + \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 2 + 1 \right) \times \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 66.238 \right)$$

$$\frac{w}{h} = 1.4355$$

$$w = 1.4355 \times 0.0016$$

$$w = 2.296 \text{ mm}$$

Maka nilai lebar *patch line* ( $w$ ) = 2.296 mm. Pada bagian 3, dengan nilai  $\left(\frac{w}{h}\right)_{se} = Z_{oe} = 61.769$ .

$$\frac{w}{h} = \frac{1}{3.14} \times \cosh^{-1} \left( \left( \frac{1}{2} \right) \times \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 2 \right) - 1 \right) + \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 2 + 1 \right) \times \left( \cosh \left( \frac{3.14}{2} \right) \times 61.769 \right)$$

$$\frac{w}{h} = 1.4134$$

$$w = 1.4134 \times 0.0016$$

$$w = 2.261 \text{ mm}$$

Maka nilai lebar *patch line* ( $w$ ) = 2.261 mm.

### 3.4.7 Menghitung Panjang Patch Line

Menghitung panjang *patch line* ( $l$ ) dengan persamaan (17a-17b).

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{1 + (12 \times \left(\frac{h}{w}\right))}} \quad (17a)$$

$$l = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 3 \times 10^9 \times \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (17b)$$

Dengan nilai  $\epsilon_r = 4.4$  ;  $h = 1.6 \text{ mm}$  ;  $w = 2.3$ . Maka nilai ( $l$ ) bisa dihitung seperti dibawah ini.

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{1 + (12 \times \left(\frac{1.6}{2.3}\right))}}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = 3.33$$

$$l = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 3 \times 10^9 \times \sqrt{3.33}}$$

$$l = 13.7 \text{ mm}$$

### 3.4.8 Menghitung Nilai Konstanta Propagasi

Sedangkan untuk mengetahui nilai konstanta propagasi dan perpindahan gerak fasa per satuan waktu (*phase velocity*) dapat dilihat pada persamaan (18-20).

$$\lambda_{g0} = \frac{300}{3 \times \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (18)$$

$$\beta l = \frac{2 \times \pi}{\lambda_{g0}} \quad (19)$$

$$v_p = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (20)$$

Dengan nilai  $\epsilon_{\text{reff}} = 3.33$  sehingga nilai konstanta propagasi dan perpindahan gerak fasa per satuan waktu (*phase velocity*) dapat dihitung seperti berikut ini.

$$\lambda_{g0} = \frac{300}{3 \times \sqrt{3.33}}$$

$$\lambda_{g0} = 54.798$$

$$\beta l = \frac{2 \times 3.14}{54.798}$$

$$\beta l = 0.1147$$

$$v_p = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{3.33}}$$

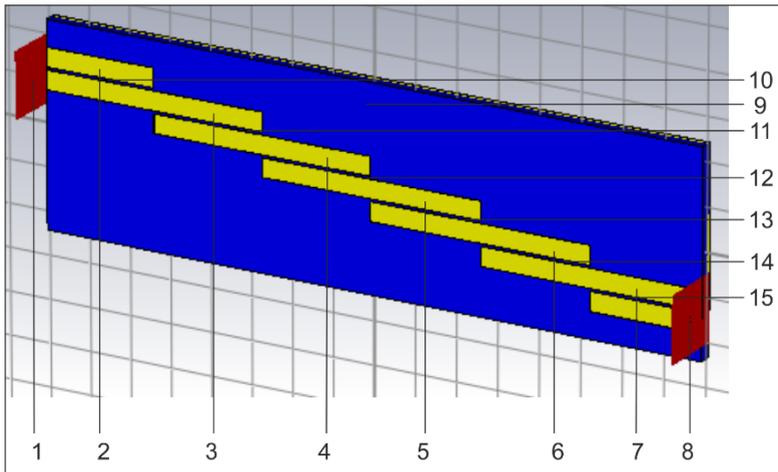
$$v_p = 1.43 \times 10^8$$

### 3.5 Pemodelan desain awal edge-coupled filter

Pada pemodelan awal edge-coupled filter disesuaikan dengan perhitungan matematis yang telah dilakukan sebelumnya. Maka didapatkan beberapa nilai dimensi ukuran filter seperti dibawah ini.

Panjang <i>patch line</i>	= 13.7 mm
Lebar <i>patch line (section 1)</i>	= 2.32 mm
Lebar <i>patch line (section 2)</i>	= 2.296 mm
Lebar <i>patch line (section 3)</i>	= 2.261 mm
<i>Gap</i>	= 0.32 mm

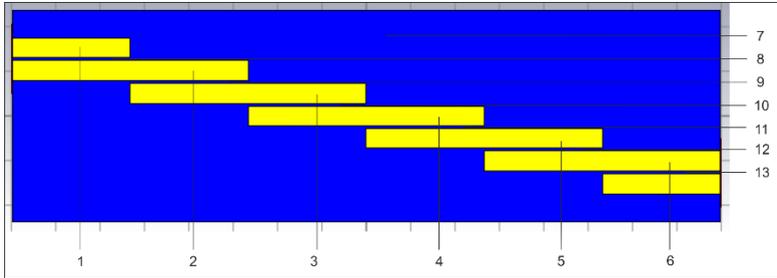
Ketika diimplementasikan kedalam *software CST Microwave Studio* didapatkan bentuk desain seperti gambar 3.1 dibawah ini.



**Gambar 3.1** Desain Filter Tampak Perspektif

Pada desain filter tampak perspektif, berikut ini adalah penjelasan masing-masing bagiannya.

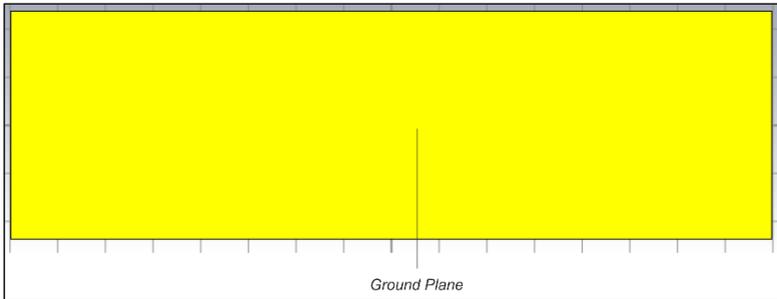
- 1 & 8 : *Waveguide Port 1 & 2*
- 2-7 : Bagian dari *Patch Lines*
- 9 : Substrat Dielektrik
- 10-15 : *Gap*



**Gambar 3.2** Desain Filter Tampak Depan

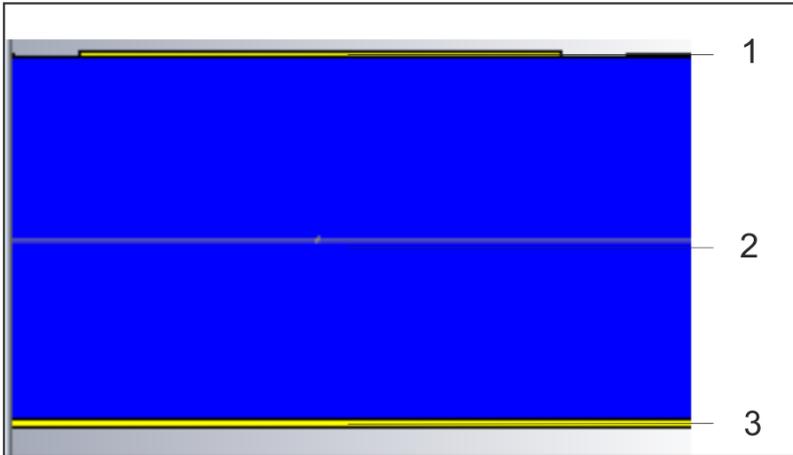
Pada desain filter tampak depan seperti gambar 3.2 diatas, berikut ini adalah penjelasan masing-masing bagiannya.

- 1-6 : Bagian dari *Patch Lines*
- 7 : Substrat Dielektrik
- 8-13 : *Gap*



**Gambar 3.3** Desain Filter Tampak Belakang

Pada desain filter tampak belakang seperti gambar 3.3 diatas, hanya terlihat bagian *ground plane*.



**Gambar 3.4** Desain Filter Tampak Samping

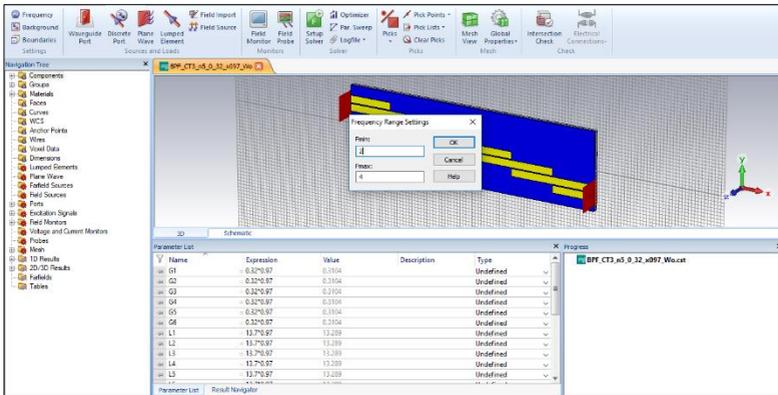
Pada desain filter tampak samping seperti gambar 3.4 diatas, berikut ini adalah penjelasan masing-masing bagiannya.

- 1 : Patch Lines
- 2 : Substrat Dielektrik
- 3 : Ground Plane

### 3.6 Simulasi Filter

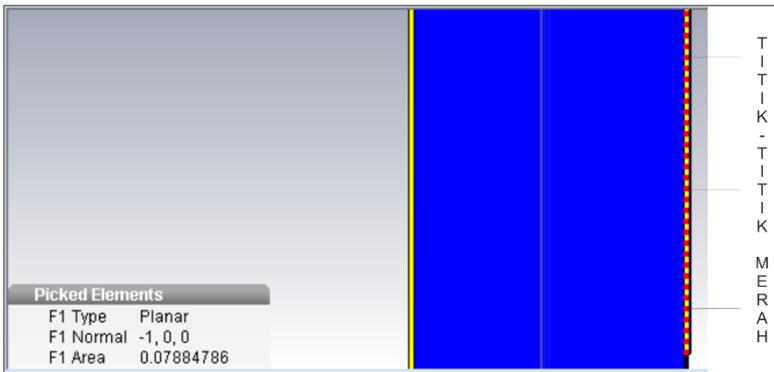
#### 3.6.1 Penentuan Waveguide Port

Pada bagian simulasi ini dilakukan dengan menggunakan *software CST Microwave Studio*. Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu mengatur frekuensi kerja yang dibutuhkan. Dalam hal ini, frekuensi yang dibutuhkan adalah 2-4 GHz. Dengan memilih menu *Simulation* kemudian pilih submenu *Frequency*. Seperti yang terlihat gambar 3.5 dibawah ini.



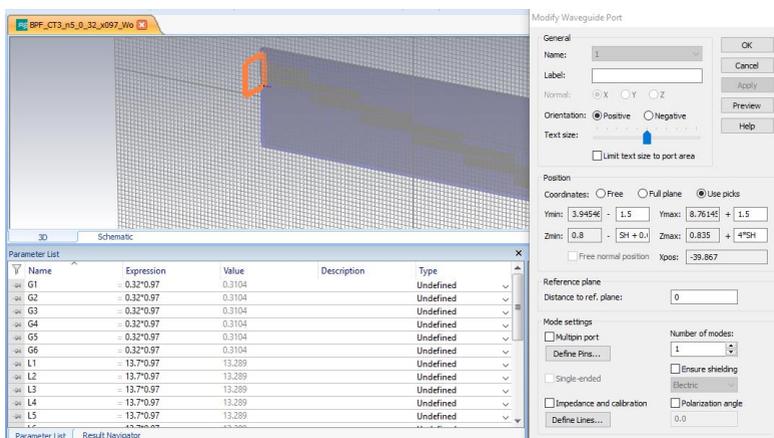
Gambar 3.5 Pengaturan Frekuensi Kerja (1)

Setelah frekuensi kerja telah diatur, kemudian salah satu bagian dari *patch lines* yang akan diletakkan *waveguide port*, diberi tanda titik-titik merah dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Picks*, dan pilih *Pick Faces* kemudian klik dua kali pada bagian dari *patch lines* yang akan diberi *waveguide port*, maka pada bagian *patch lines* akan muncul titik-titik merah seperti yang terlihat pada gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3.6 Titik-Titik Merah pada Bagian Patch Lines (1)

Setelah muncul titik-titik merah pada salah satu bagian *patch lines*, kemudian menentukan *waveguide port* dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Waveguide Port*, maka akan muncul kotak dialog *Waveguide Port* seperti yang terlihat pada gambar 3.7 dibawah ini.

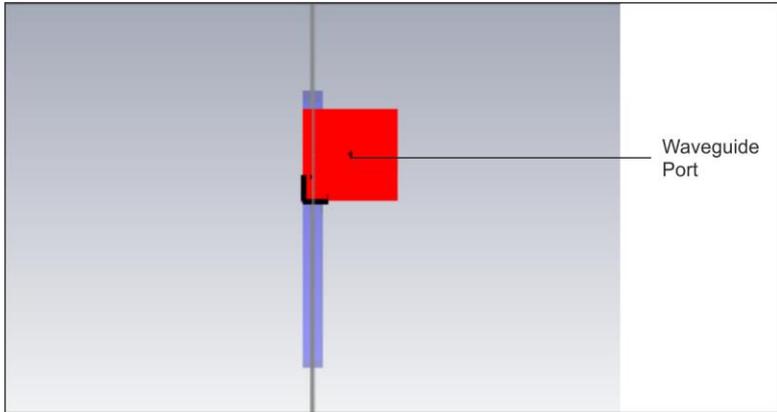


**Gambar 3.7** Kotak Dialog pada *Waveguide Port* (1)

Kemudian atur nilai  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$ ,  $Z_{min}$  dan  $Z_{max}$  yang dibutuhkan. Dalam hal ini, keempat nilai parameter tersebut diatur sebagai berikut.

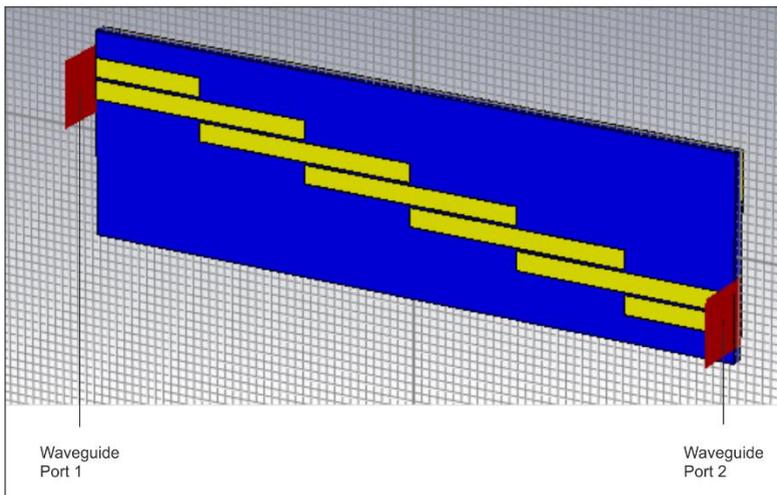
$$\begin{aligned}
 Y_{min} &= 1.5 \\
 Y_{max} &= 1.5 \\
 Z_{min} &= 1.6 + 0.035 \\
 Z_{max} &= 4 \times 1.6
 \end{aligned}$$

Setelah keempat parameter tersebut memiliki nilai masing-masing. Tekan OK. Maka akan muncul *waveguide port* 1 pada bagian *patch lines* yang telah diberi titik-titik merah. Seperti yang terlihat pada gambar 3.8 dibawah ini.



**Gambar 3.8** *Waveguide Port (1)*

Untuk menentukan *Waveguide Port 2*, ulangi langkah yang sama dengan *Waveguide Port 1*. Namun *Waveguide Port 2* diletakkan pada sisi yang berseberangan dengan *Waveguide Port 1*. Seperti yang terlihat pada gambar 3.9 dibawah ini.



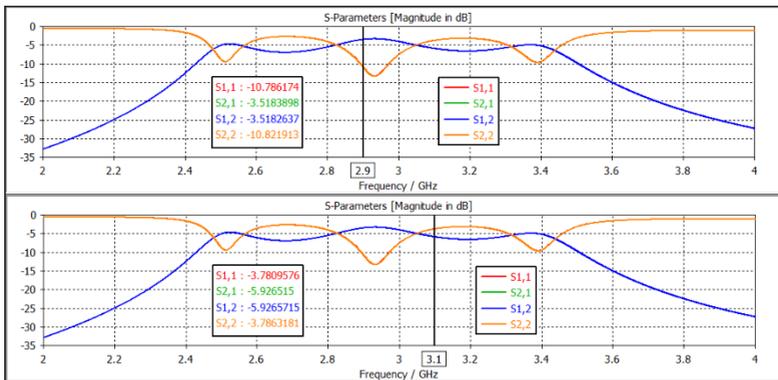
**Gambar 3.9** *Waveguide Port 1 dan 2 (1)*

### 3.6.2 Hasil Awal Simulasi *Edge-Coupled Filter*

Setelah *Waveguide Port* telah ditentukan. Maka langkah selanjutnya adalah Simulasi. Dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Setup Solver* dan klik Start. Setelah menunggu beberapa menit, simulasi telah selesai dilakukan. Beberapa nilai parameter berhasil didapatkan, diantaranya seperti dibawah ini.

- **S-Parameters**

Pada Parameter S, terdapat beberapa nilai parameter yang dihasilkan seperti  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ . Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada gambar 3.10 dibawah ini.



**Gambar 3.10** Nilai Parameter S (1)

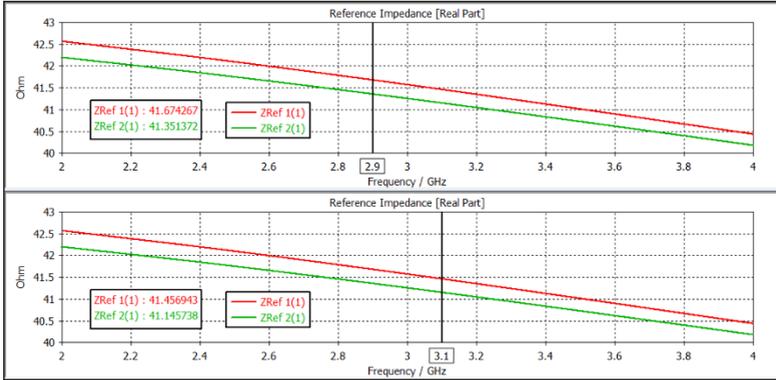
Untuk nilai-nilai parameter S yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.3 dibawah ini.

**Tabel 3.3** Nilai Parameter S (1)

No.	Parameter S	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	$S_{11}$	-10.783703	-3.7812496
2	$S_{21}$	-3.518635	-5.9262398
3	$S_{12}$	-3.5185089	-5.9262962
4	$S_{22}$	-10.819422	-3.7866103

- **Impedansi**

Nilai impedansi yang dihasilkan pada frekuensi *cuttoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cuttoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada gambar 3.11 dibawah ini.



**Gambar 3.11** Nilai Impedansi (1)

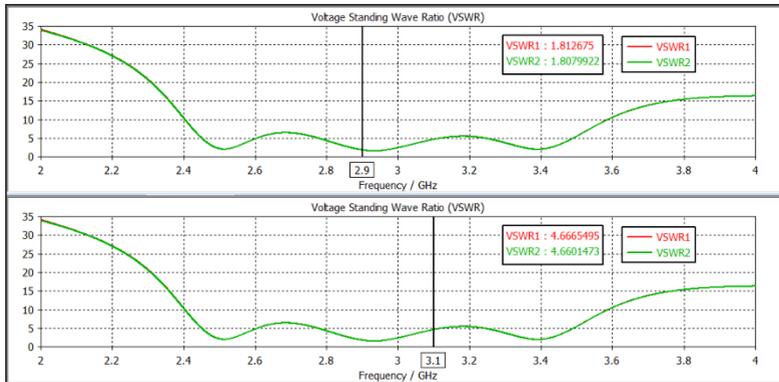
Untuk nilai impedansi yang dihasilkan pada frekuensi *cuttoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cuttoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini.

**Tabel 3.4** Nilai Impedansi (1)

No.	Magnitude (dB)	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	Impedansi	41.67427	41.456959

- **VSWR**

Nilai VSWR yang dihasilkan pada frekuensi *cuttoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cuttoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada gambar 3.12 dibawah ini.



**Gambar 3.12** Nilai VSWR (1)

Untuk nilai VSWR yang dihasilkan pada frekuensi *cut-off* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cut-off* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.5 dibawah ini.

**Tabel 3.5** Nilai VSWR (1)

No.	Magnitude (dB)	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	VSWR	1.8127142	4.6667519

### 3.7 Optimasi Filter

#### 3.7.1 Membuat Ukuran *Patch Lines* lebih Compact

Dikarenakan hasil awal simulasi filter kurang sesuai atau meleset dari rentang frekuensi kerja filter yang telah ditentukan. Maka diperlukan optimasi filter agar rentang frekuensi kerja sesuai dengan yang telah ditentukan. Dalam hal ini, terdapat dua metode yang dapat dilakukan yaitu memperkecil dimensi ukuran *patch lines* dan ukuran gap dari filter tersebut.

- **Memperkecil Dimensi Ukuran *Patch Lines***

Pada metode ini, untuk menemukan nilai dimensi ukuran dari bagian filter (*Patch Lines*) yang sesuai, maka dilakukan *error trials*. Hingga ditemukan kali berapa seharusnya dimensi ukuran filter ini diperkecil, yaitu dengan dikali dengan 0.97. Maka dari itu terdapat perubahan nilai

dimensi ukuran *Patch Lines* dari filter tersebut, seperti yang terlihat pada Tabel. 3.6 dibawah ini.

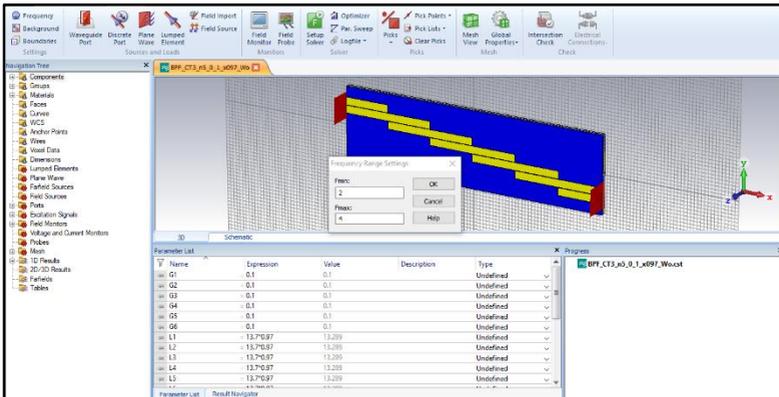
**Tabel 3.6** Perubahan Nilai Dimensi Ukuran *Patch Lines*

No.	Bagian dari <i>Patch Lines</i>	Nilai awal	Setelah x0.97
1	Panjang <i>Patch Lines</i>	13.7	13.289
2	Lebar <i>Patch Lines</i> 1	2.32247	2.2527959
3	Lebar <i>Patch Lines</i> 2	2.296785	2.22788145
4	Lebar <i>Patch Lines</i> 3	2.2614	2.193558

- **Memperkecil *Gap***

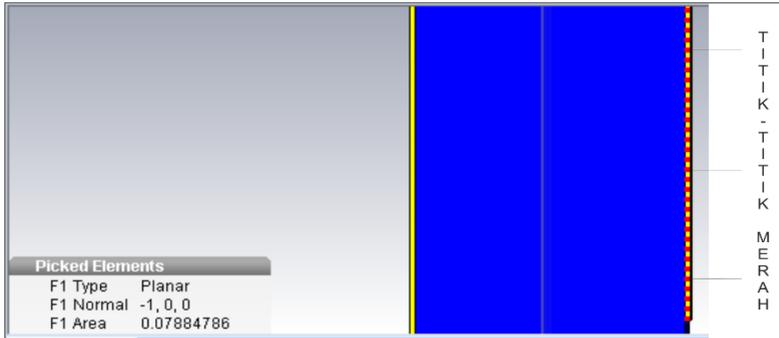
Pada metode ini, untuk menemukan nilai *gap* yang sesuai, maka nilai tersebut diperkecil hingga seperti yang ada pada referensi (*paper*)<sup>[12]</sup>, yaitu 0.1 mm.

Setelah dimensi ukuran filter berhasil diperkecil, terutama komponen *patch lines* dan *gap*. Maka simulasi dapat dilakukan, dengan terlebih dahulu mengatur frekuensi kerja yang dibutuhkan. Dalam hal ini, frekuensi yang dibutuhkan adalah 2-4 GHz. Dengan memilih menu *Simulation* kemudian pilih submenu *Frequency*. Seperti yang terlihat pada gambar 3.13 dibawah ini.



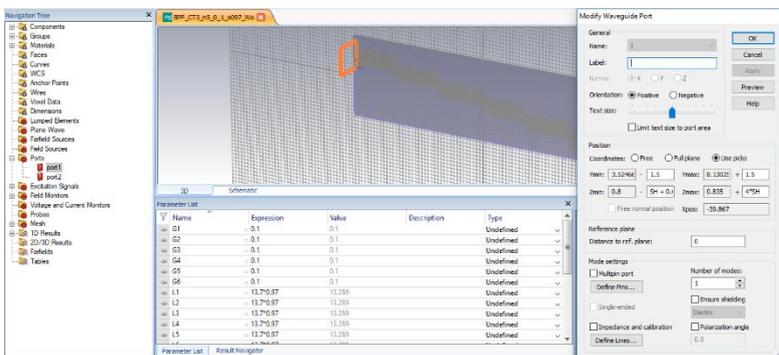
**Gambar 3.13** Pengaturan Frekuensi Kerja (2)

Setelah frekuensi kerja telah diatur, kemudian salah satu bagian dari *patch lines* yang akan diletakkan *waveguide port*, diberi tanda titik-titik merah dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Picks*, dan pilih *Pick Faces* kemudian klik dua kali pada bagian dari *patch lines* yang akan diberi *waveguide port*, maka pada bagian *patch lines* akan muncul titik-titik merah, seperti pada gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3.14 Titik-Titik Merah pada Bagian Patch Lines (2)

Setelah muncul titik-titik merah pada salah satu bagian *patch lines*, kemudian menentukan *waveguide port* dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Waveguide Port*, maka akan muncul kotak dialog *Waveguide Port* seperti pada gambar 3.15 dibawah ini.



Gambar 3.15 Kotak Dialog pada Waveguide Port (2)

Kemudian atur nilai  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$ ,  $Z_{min}$  dan  $Z_{max}$  yang dibutuhkan. Dalam hal ini, keempat nilai parameter tersebut diatur sebagai berikut.

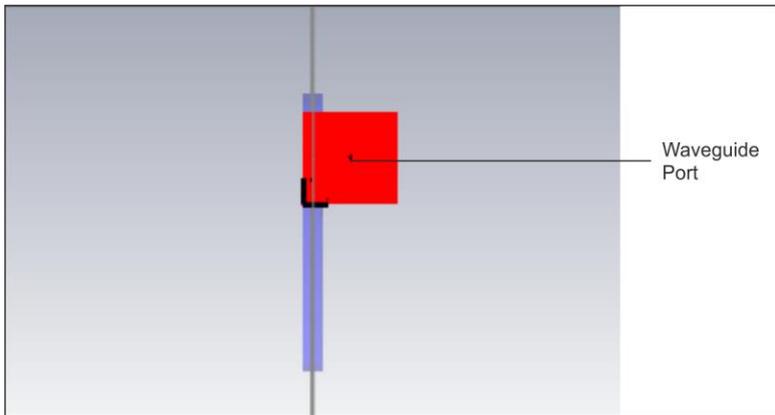
$$Y_{min} = 1.5$$

$$Y_{max} = 1.5$$

$$Z_{min} = 1.6 + 0.035$$

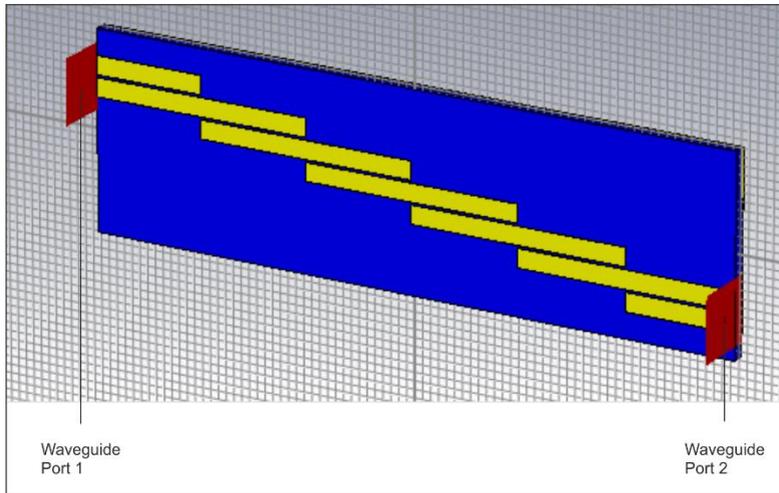
$$Z_{max} = 4 \times 1.6$$

Setelah keempat parameter tersebut memiliki nilai masing-masing. Tekan OK. Maka akan muncul *waveguide port* 1 pada bagian *patch lines* yang telah diberi titik-titik merah. Seperti yang terlihat pada gambar 3.16 dibawah ini.



**Gambar 3.16** *Waveguide Port* (2)

Untuk menentukan *Waveguide Port* 2, ulangi langkah yang sama dengan *Waveguide Port* 1. Namun *Waveguide Port* 2 diletakkan pada sisi yang berseberangan dengan *Waveguide Port* 1. Seperti yang terlihat pada gambar 3.17 dibawah ini.



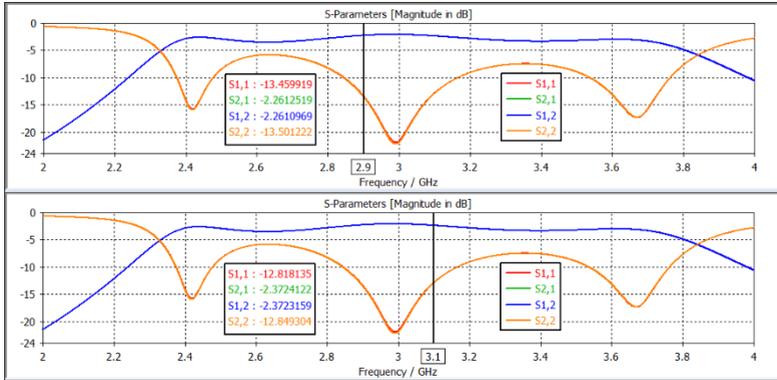
**Gambar 3.17** Waveguide Port 1 dan 2 (2)

### 3.7.2 Hasil Kedua Simulasi *Edge-Coupled Filter*

Setelah *Waveguide Port* telah ditentukan. Maka langkah selanjutnya adalah Simulasi. Dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Setup Solver* dan klik Start. Setelah menunggu beberapa menit, simulasi telah selesai dilakukan. Beberapa nilai parameter berhasil didapatkan, diantaranya seperti dibawah ini.

- ***S-Parameters***

Pada Parameter S, terdapat beberapa nilai parameter yang dihasilkan seperti  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ . Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada gambar 3.18 dibawah ini.



**Gambar 3.18** Nilai Parameter S (2)

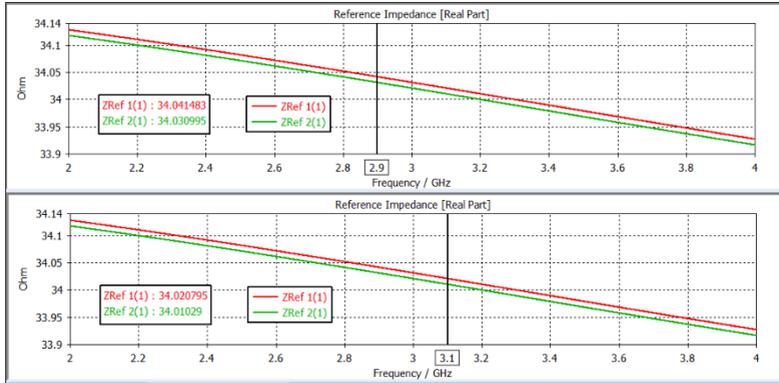
Untuk nilai-nilai parameter S yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.7 dibawah ini.

**Tabel 3.7** Nilai Parameter S (2)

No.	Parameter S	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	S <sub>11</sub>	-13.459919	-12.818135
2	S <sub>21</sub>	-2.2612519	-2.3724122
3	S <sub>12</sub>	-2.2610969	-2.3723159
4	S <sub>22</sub>	-13.501222	-12.849304

- **Impedansi**

Nilai impedansi yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada gambar 3.19 dibawah ini.



**Gambar 3.19** Nilai Impedansi (2)

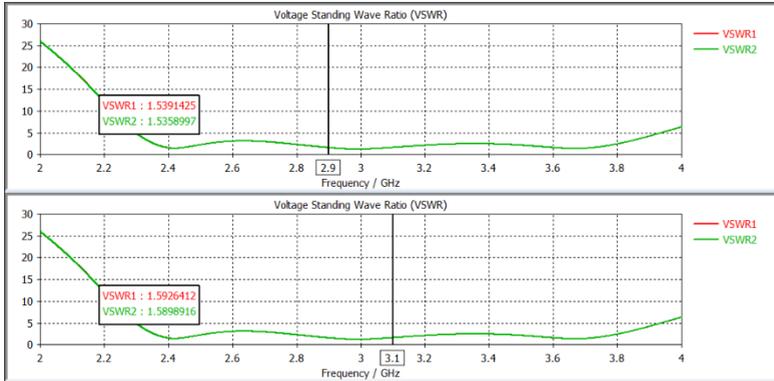
Untuk nilai impedansi yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.8 dibawah ini.

**Tabel 3.8** Nilai Impedansi (2)

No.	Magnitude (dB)	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	Impedansi	34.041483	34.020795

- **VSWR**

Nilai VSWR yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada gambar 3.20 dibawah ini.



**Gambar 3.20** Nilai VSWR (2)

Untuk nilai VSWR yang dihasilkan pada frekuensi *cuttoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cuttoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.9 dibawah ini.

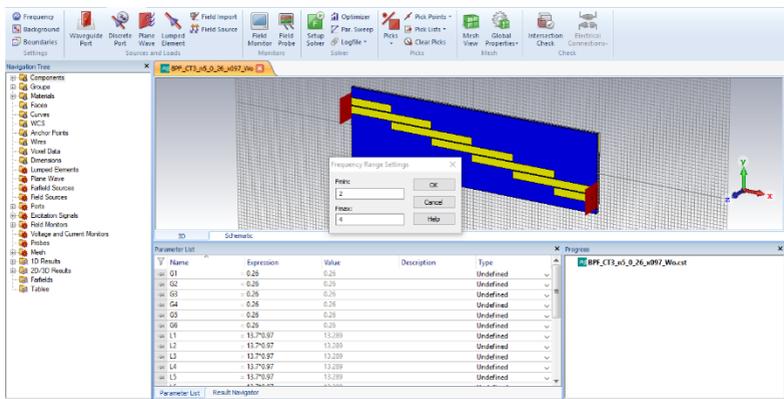
**Tabel 3.9** Nilai VSWR (2)

No.	Magnitude (dB)	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	VSWR	1.5391425	1.5926412

### 3.7.3 Penyesuaian Nilai *Gap* untuk Fabrikasi Filter

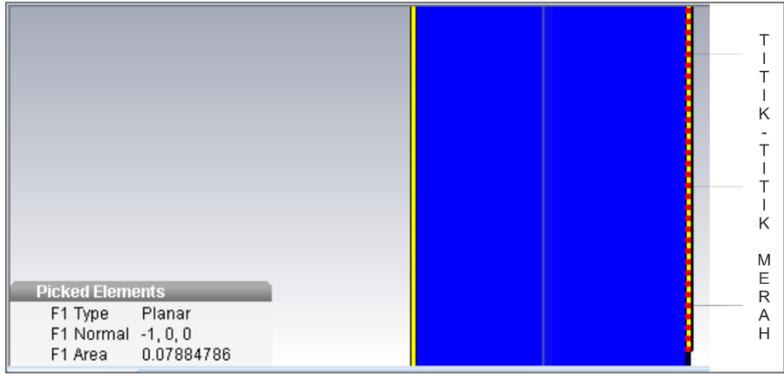
Dikarenakan tempat untuk fabrikasi filter tidak mampu membuat *gap* dengan ukuran 0.1 mm. Maka ukuran *gap* disesuaikan dengan kemampuan tempat fabrikasi filter, yaitu 0.26 mm. Jadi dengan dimensi ukuran filter yang sama seperti sebelumnya, namun nilai *gap*-nya diperbesar menjadi 0.26 mm.

Setelah nilai *gap*-nya berhasil diperbesar, maka simulasi dapat dilakukan, dengan terlebih dahulu mengatur frekuensi kerja yang dibutuhkan. Dalam hal ini, frekuensi yang dibutuhkan adalah 2-4 GHz. Dengan memilih menu *Simulation* kemudian pilih submenu *Frequency*. Seperti yang terlihat pada gambar 3.21 dibawah ini.



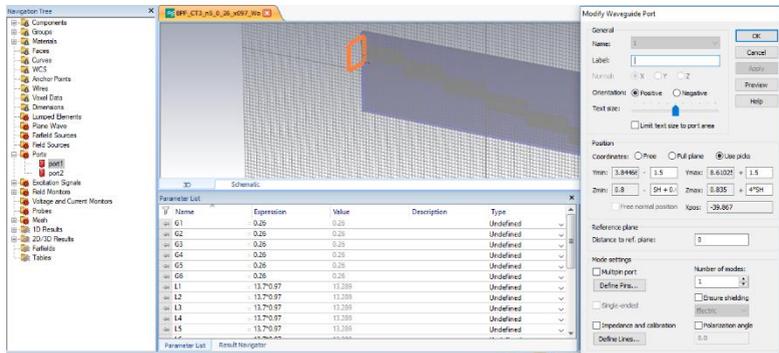
Gambar 3.21 Pengaturan Frekuensi Kerja (3)

Setelah frekuensi kerja telah diatur, kemudian salah satu bagian dari *patch lines* yang akan diletakkan *waveguide port*, diberi tanda titik-titik merah dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Picks*, dan pilih *Pick Faces* kemudian klik dua kali pada bagian dari *patch lines* yang akan diberi *waveguide port*, maka pada bagian *patch lines* akan muncul titik-titik merah seperti yang terlihat pada gambar 3.22 dibawah ini.



Gambar 3.22 Titik-Titik Merah pada Bagian Patch Lines (3)

Setelah muncul titik-titik merah pada salah satu bagian *patch lines*, kemudian menentukan *waveguide port* dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Waveguide Port*, maka akan muncul kotak dialog *Waveguide Port* seperti yang terlihat pada gambar 3.23 dibawah ini.

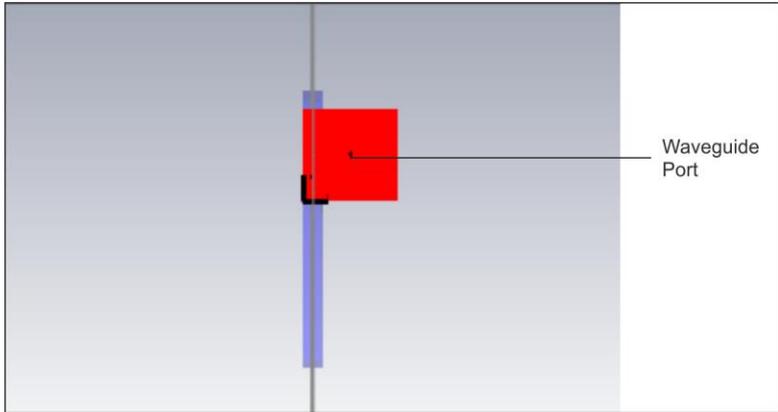


**Gambar 3.23** Kotak Dialog pada *Waveguide Port* (3)

Kemudian atur nilai  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$ ,  $Z_{min}$  dan  $Z_{max}$  yang dibutuhkan. Dalam hal ini, keempat nilai parameter tersebut diatur sebagai berikut.

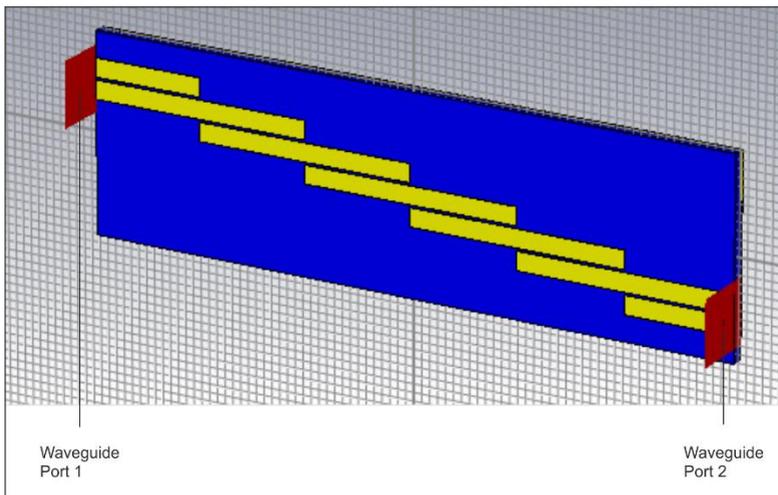
$$\begin{aligned}
 Y_{min} &= 1.5 \\
 Y_{max} &= 1.5 \\
 Z_{min} &= 1.6 + 0.035 \\
 Z_{max} &= 4 \times 1.6
 \end{aligned}$$

Setelah keempat parameter tersebut memiliki nilai masing-masing. Tekan OK. Maka akan muncul *waveguide port* 1 pada bagian *patch lines* yang telah diberi titik-titik merah. Seperti yang terlihat pada gambar 3.24 dibawah ini.



**Gambar 3.24** Waveguide Port (3)

Untuk menentukan *Waveguide Port 2*, ulangi langkah yang sama dengan *Waveguide Port 1*. Namun *Waveguide Port 2* diletakkan pada sisi yang berseberangan dengan *Waveguide Port 1*. Seperti yang terlihat pada gambar 3.25 dibawah ini.



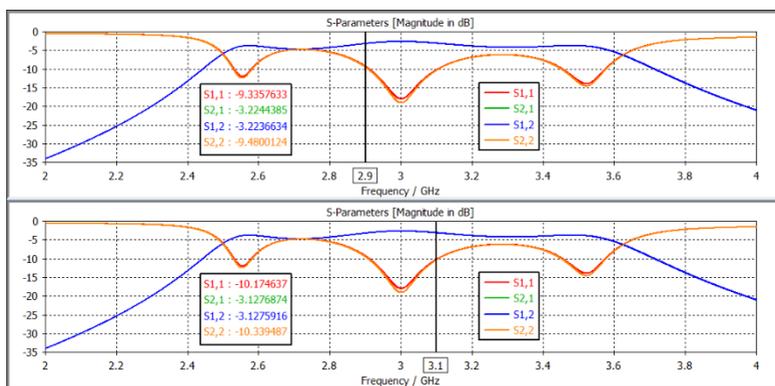
**Gambar 3.25** Waveguide Port 1 dan 2 (3)

### 3.7.4 Hasil Ketiga Simulasi *Edge-Coupled Filter*

Setelah *Waveguide Port* telah ditentukan. Maka langkah selanjutnya adalah Simulasi. Dengan cara memilih menu *Simulation*, kemudian pilih submenu *Setup Solver* dan klik Start. Setelah menunggu beberapa menit, simulasi telah selesai dilakukan. Beberapa nilai parameter berhasil didapatkan, diantaranya seperti dibawah ini.

- **S-Parameters**

Pada Parameter S, terdapat beberapa nilai parameter yang dihasilkan seperti  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ . Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada gambar 3.26 dibawah ini.



**Gambar 3.26** Nilai Parameter S (3)

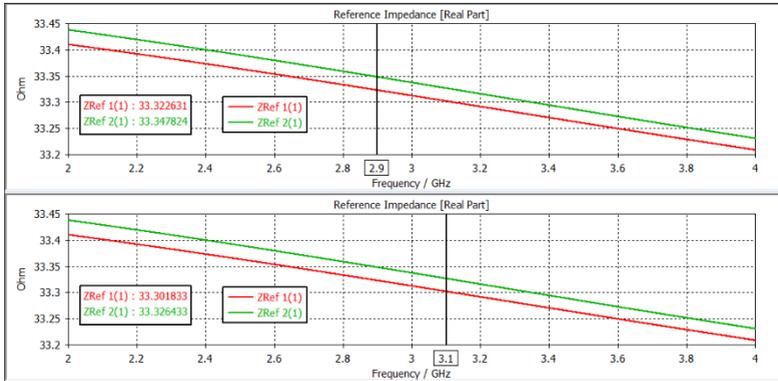
Untuk nilai-nilai parameter S yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.10 dibawah ini.

**Tabel 3.10** Nilai Parameter S (3)

No.	Parameter S	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	$S_{11}$	-9.3357633	-10.174637
2	$S_{21}$	-3.2244385	-3.1276874
3	$S_{12}$	-3.2236634	-3.1275916
4	$S_{22}$	-9.4800124	-10.339487

- **Impedansi**

Nilai impedansi yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada gambar 3.27 dibawah ini.



**Gambar 3.27** Nilai Impedansi (3)

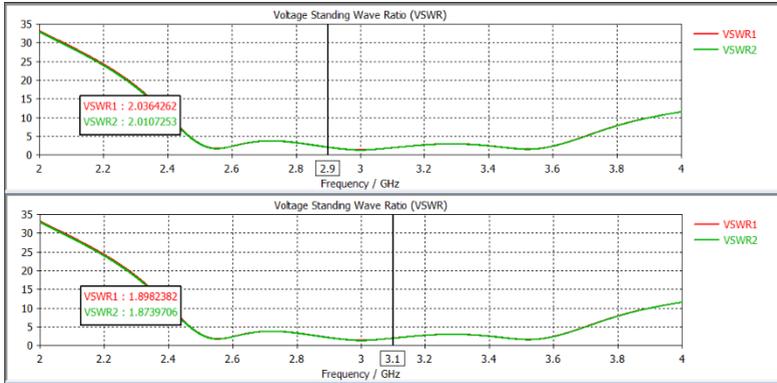
Untuk nilai impedansi yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.11 dibawah ini.

**Tabel 3.11** Nilai Impedansi (3)

No.	Magnitude (dB)	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	Impedansi	33.322631	33.301833

- **VSWR**

Nilai VSWR yang dihasilkan pada frekuensi *cutoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada gambar 3.28 dibawah ini.



Gambar 3.28 Nilai VSWR (3)

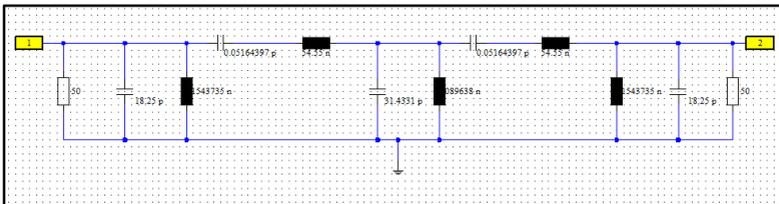
Untuk nilai VSWR yang dihasilkan pada frekuensi *cuttoff* atas ( $f_a$ ) = 3.1 GHz dan frekuensi *cuttoff* bawah ( $f_b$ ) = 2.9 GHz bisa dilihat pada tabel 3.12 dibawah ini.

Tabel 3.12 Nilai VSWR (3)

No.	Magnitude (dB)	$f_b = 2.9$ GHz	$f_a = 3.1$ GHz
1	VSWR	2.0364262	1.8982382

### 3.8 Rangkaian Ekuivalen *Edge-Coupled Filter*

Karakteristik filter yang dirancang merupakan filter yang dibuat dengan metode *Edge-Coupled* sehingga dalam rancangan penyederhanaan rangkaian ekuivalen menggunakan LC seri-paralel sebagai pendekatan resonator, seperti pada gambar 3.29 dibawah ini.



Gambar 3.29 Rangkaian Ekuivalen *Edge-Coupled Filter*

### 3.8.1 Menghitung Rangkaian *Lumped Filter*

Desain rangkaian ekivalen *Edge-Coupled Filter* merupakan transformasi *band pass filter* orde ke-5 yang diselesaikan dengan menggunakan transformasi Richard dan Identitas Kuroda, seperti pada persamaan (21a-21d).

$$L_P = \left( \frac{\Delta}{\omega_o} \right) \frac{Z_o}{g} \quad (21a)$$

$$C_P = \left( \frac{1}{\Delta * \omega_o} \right) \frac{g}{Z_o} \quad (21b)$$

$$L_S = \left( \frac{1}{\Delta * \omega_o} \right) Z_o * g \quad (21c)$$

$$C_S = \left( \frac{\Delta}{\omega_o} \right) \frac{1}{Z_o * g} \quad (21d)$$

Seperti yang terlihat pada gambar (3.29), nilai masing-masing komponen pada rangkaian tersebut ditentukan dengan persamaan (28-31). Untuk komponen paralel dapat dihitung dengan persamaan (28-29) dan untuk komponen seri dapat dihitung dengan persamaan (30-31). Perhitungan ini dilakukan dengan pendekatan *Chebyshev Type 3*. Dengan adanya pendekatan ini, variabel untuk menentukan nilai kapasitansi (C) dan nilai induktansi (L) sangat berpengaruh pada nilai frekuensi *cut-off* ( $\omega_c$ ) dan *attenuation pole frequency* ( $\omega_o$ ).

Pada komponen paralel, nilai induktor dan kapasitor dapat dihitung seperti dibawah ini.

$$L_n = \left( \frac{\Delta}{\omega_o} \right) \frac{Z_o}{g_n} \quad (21a)$$

$$C_n = \left( \frac{1}{\Delta * \omega_o} \right) \frac{g_n}{Z_o} \quad (21b)$$

Dengan nilai

$$\Delta = 50\Omega$$

$$\omega_o = \sqrt{\omega_1 * \omega_2}$$

$$= \sqrt{2 * \pi * f_1 * 2 * \pi * f_2}$$

$$= \sqrt{2 * 3.14 * 2,9 * 10^9 * 2 * 3.14 * 3,1 * 10^9}$$

$$= 1.883908103552754e + 10$$

$$= 1.8839 * 10^{10}$$

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{\omega_2 * \omega_1}{\omega_0} \\ &= \frac{(2 * \pi * f_2) - (2 * \pi * f_1)}{2 * \pi * f_0} \\ &= 0.0667\end{aligned}$$

Untuk  $g_1 = g_5 = 1.1468$ , diperoleh nilai induktor dan kapasitor masing-masing sebagai berikut.

$$\begin{aligned}L_1 &= L_5 = 0.1543735 \text{ nH} \\ C_1 &= C_5 = 18.25 \text{ pF}\end{aligned}$$

Untuk  $g_3 = 1.975$ , diperoleh nilai induktor dan kapasitor masing-masing sebagai berikut.

$$\begin{aligned}L_3 &= 0.089638 \text{ nH} \\ C_3 &= 31.4331 \text{ pF}\end{aligned}$$

Pada komponen seri, nilai induktor dan kapasitor dapat dihitung seperti dibawah ini.

$$L_n = \left( \frac{1}{\Delta * \omega_0} \right) * Z_0 * g_n \quad (21c)$$

$$C_n = \left( \frac{\Delta}{\omega_0} \right) * \frac{1}{Z_0 * g_n} \quad (21d)$$

Dengan nilai

$$\Delta = 50\Omega$$

$$\omega_0 = 1.8839 * 10^{10}$$

$$\Delta = 0.0667$$

Untuk  $g_2 = g_4 = 1.3712$ , diperoleh nilai induktor dan kapasitor masing-masing sebagai berikut.

$$\begin{aligned}L_2 &= L_4 = 54.55 \text{ nH} \\ C_2 &= C_4 = 0.05164397 \text{ pF}\end{aligned}$$

### 3.9 Dimensi Ukuran Filter Optimasi

Dimensi ukuran akhir dari filter yang akan difabrikasi merupakan hasil simulasi dan optimasi yang telah dirancang mengikuti desain pada gambar, dapat dilihat pada tabel 3.13 berikut.

**Tabel 3.13** Dimensi Ukuran Filter Optimasi

No.	Bagian dari <i>Edge-Coupled Filter</i>	Nilai (mm)
1	Panjang <i>Patch Lines</i>	13.289
2	Lebar <i>Patch Lines</i> 1	2.2527959
3	Lebar <i>Patch Lines</i> 2	2.22788145
4	Lebar <i>Patch Lines</i> 3	2.193558
5	<i>Gap</i>	0.26
6	Ketebalan <i>Patch Lines</i>	0.035
7	Ketebalan Substrat	1.6
8	Ketebalan <i>Ground Plane</i>	0.035

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# BAB IV

## ANALISA HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

### 4.1 Analisa Hasil Simulasi

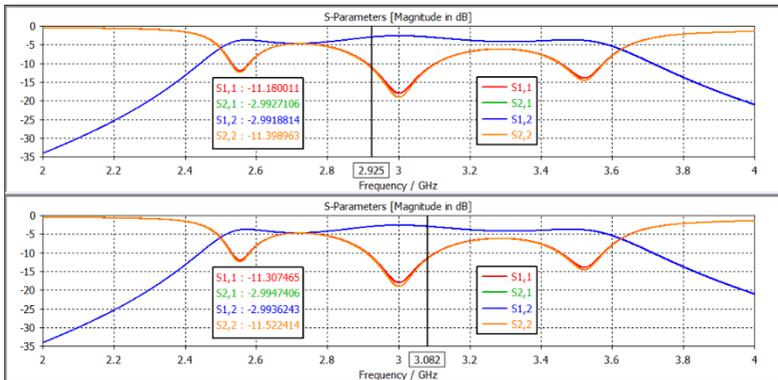
Analisis hasil dari simulasi *Edge-Coupled Filter* menggunakan *software CST Microwave Studio* dilakukan untuk melihat kinerja dari rancangan filter yang telah dibuat, terdiri dari Analisa *Magnitude Responses*, permasalahan nilai *gap*, dan hasil dari kinerja rangkaian ekuivalen L-C. Analisis rangkaian ekuivalen digunakan sebagai data pembandingan, apakah filter yang telah difabrikasi sudah sesuai dengan spesifikasi.

#### 4.1.1 Analisa Magnitude Responses

Analisa *Magnitude Responses* adalah cara untuk mengetahui kinerja rancangan filter telah sesuai dengan rentang frekuensi kerja. Adapun beberapa *Magnitude Responses* yang dianalisa adalah sebagai berikut.

- *S-Parameters*

Pada parameter ini, terdapat beberapa nilai yang dapat dianalisa, diantaranya  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ , dan  $S_{22}$ . Keempat nilai dari *S-Parameters* ini berkaitan dengan *Bandwidth* yang mampu dihasilkan suatu filter. Hasil simulasi rancangan filter dengan dimensi ukuran setelah dioptimasi dan nilai *gap* telah disesuaikan dengan kemampuan fabrikasi filter, seperti gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Analisa S-Parameters Hasil Simulasi

Pada frekuensi *cut-off* bawah, 2.9 GHz, tidak ada satupun dari keempat nilai tersebut yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Namun ketika frekuensi *cut-off* bawahnya sedikit digeser kekanan atau diperbesar hingga pada frekuensi 2.925 GHz, keempat nilai tersebut dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

Sedangkan pada frekuensi *cut-off* atas, 3.1 GHz, juga mengalami hal demikian, maka ketika frekuensi *cut-off* atasnya sedikit digeser kekiri atau diperkecil hingga pada frekuensi 3.082 GHz, keempat nilai tersebut dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Berikut ini adalah gambar dan tabel keempat nilai yang dapat memenuhi spesifikasi pada rentang frekuensi kerja *cut-off* bawah dan atas, masing-masing 2.925 GHz dan 3.082 GHz, seperti tabel 4.1 dibawah ini..

**Tabel 4.1** Analisa S-Parameters Hasil Simulasi

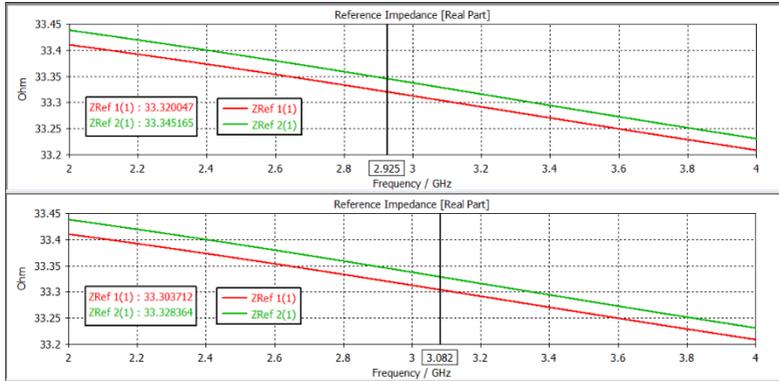
No.	Parameter S	fb = 2.925 GHz	fa = 3.082 GHz
1	S <sub>11</sub>	-11.180011	-11.307465
2	S <sub>21</sub>	-2.9927106	-2.9947406
3	S <sub>12</sub>	-2.9918814	-2.9936243
4	S <sub>22</sub>	-11.398963	-11.522414

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa dari hasil simulasi tersebut, filter ini dapat menghasilkan *Bandwidth* sebesar 157 MHz.

- **Impedansi**

Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa karakteristik perangkat elektromagnetik, seperti Antena dan Filter, memiliki performansi yang optimal ketika nilai impedansi sumber ( $Z_0 = Z_L$ ) atau kondisi *match*. Saat kondisi ini saluran transmisi bekerja maksimal karena nilai VSWR = 1, artinya tidak ada daya sinyal yang dipantulkan kembali ke sumber. Namun pada kenyataannya sangat sulit untuk mencapai kondisi ideal tersebut di sepanjang rentang frekuensi kerja.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai impedansi belum dapat memenuhi spesifikasi pada rentang frekuensi kerja. Namun apabila disesuaikan dengan rentang frekuensi kerja saat menganalisa *S-Parameters*, yaitu 2.925-3.082 GHz, maka nilai impedansi yang dihasilkan seperti yang terlihat pada gambar 4.2 dan tabel 4.2 berikut ini.



**Gambar 4.2** Analisa Impedansi Hasil Simulasi

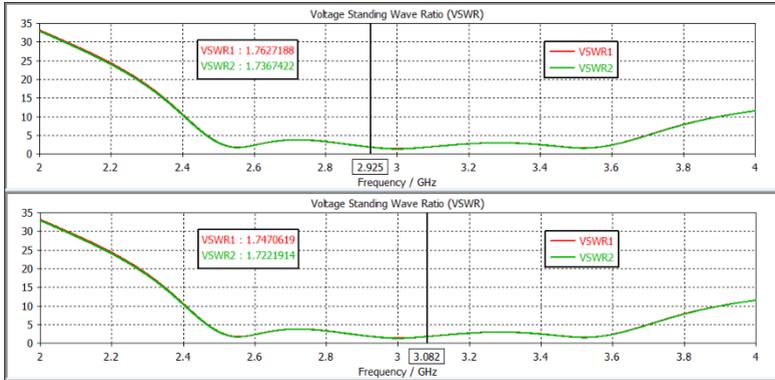
**Tabel 4.2** Analisa Impedansi Hasil Simulasi

No.	Magnitude (dB)	fb = 2.925 GHz	fa = 3.082 GHz
1	Impedansi	33.320047	33.303712

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa dari hasil simulasi tersebut, filter ini dapat menghasilkan impedansi rata-rata sebesar 33.3 dB dalam rentang frekuensi kerja yang telah ditentukan.

- **VSWR**

Nilai VSWR yang telah ditentukan dalam spesifikasi perancangan filter ini adalah lebih kecil dari 2 ( $VSWR < 2$ ). Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi pada rentang frekuensi kerja. Terutama saat disesuaikan dengan rentang frekuensi kerja saat menganalisa *S-Parameters*, yaitu 2.925-3.082 GHz, maka nilai impedansi yang dihasilkan seperti yang terlihat pada gambar 4.3 dan tabel 4.3 berikut ini.



**Gambar 4.3** Analisa VSWR Hasil Simulasi

**Tabel 4.3** Analisa VSWR Hasil Simulasi

No.	Magnitude	fb = 2.925 GHz	fa = 3.082 GHz
1	VSWR	1.762638	1.7474017

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa dari hasil simulasi tersebut, nilai VSWR yang dihasilkan kurang dari 2 dB dalam rentang frekuensi kerja yang telah ditentukan.

#### 4.1.2 Analisa Permasalahan Nilai Gap

Analisa permasalahan nilai *gap* adalah cara untuk mengetahui pengaruh nilai *gap* terhadap kinerja rancangan filter. Analisa ini dilakukan dengan membandingkan nilai *gap* yang diperoleh melalui tiga metode pendekatan berbeda, yaitu

Metode A: Pendekatan dengan perhitungan geometris dasar

Metode B: Pendekatan melalui referensi (*paper*)

Metode C: Pendekatan kemampuan fabrikasi filter.

Ketiga pendekatan ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana *Magnitude Responses* yang dihasilkan oleh ketiganya. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut.

- **S-Parameters**

Pada parameter ini, terdapat beberapa nilai yang dapat dianalisa, diantaranya  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ , dan  $S_{22}$ . Keempat nilai dari *S-Parameters* ini berkaitan dengan *Bandwidth* yang mampu dihasilkan suatu filter. Berikut

ini adalah tabel yang berisi perbandingan hasil simulasi dengan rentang frekuensi kerja yang dapat memenuhi spesifikasi perancangan filter untuk ketiga metode seperti tabel 4.4 dibawah ini.

**Tabel 4.4** Analisa S-Parameters Hasil Simulasi dengan Tiga Metode

No.	Metode Pendekatan	Nilai Gap (mm)	$f_b$ (GHz)	$f_a$ (GHz)	Bandwidth (MHz)
1	Metode A	0.32	2.9725	3.042	69.5
2	Metode B	0.1	2.9	3.1	200
3	Metode C	0.26	2.925	3.082	157

Pada frekuensi *cut-off* bawah, 2.9 GHz, hanya metode B yang mampu memenuhi spesifikasi kinerja filter yang telah ditentukan. Kemudian, metode C juga dapat memenuhi spesifikasi kinerja filter ketika frekuensi *cut-off* bawahnya sedikit digeser kekanan atau diperbesar hingga pada frekuensi 2.925 GHz. Untuk metode A, dapat memenuhi spesifikasi kinerja filter saat frekuensi *cut-off* bawahnya berada pada nilai 2.9725 GHz.

Sedangkan pada frekuensi *cut-off* atas, 3.1 GHz, hanya metode B yang mampu memenuhi spesifikasi kinerja filter yang telah ditentukan. Kemudian, metode C juga dapat memenuhi spesifikasi kinerja filter ketika frekuensi *cut-off* atasnya sedikit digeser ke kiri atau diperkecil hingga pada frekuensi 3.082 GHz. Untuk metode A, dapat memenuhi spesifikasi kinerja filter saat frekuensi *cut-off* atasnya berada pada nilai 3.042 GHz.

Hal ini menunjukkan bahwasannya semakin kecil nilai *gap* pada suatu *edge-coupled filter*, maka semakin besar *Bandwidth* yang dihasilkan. Sedangkan semakin besar nilai *gap* pada suatu *edge-coupled filter*, maka semakin kecil *Bandwidth* yang dihasilkan.

- **Impedansi**

Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa karakteristik perangkat elektromagnetik, seperti Antena dan Filter, memiliki performansi yang optimal ketika nilai impedansi sumber ( $Z_0 = Z_L$ ) atau kondisi *match*. Saat kondisi ini saluran transmisi bekerja maksimal karena nilai  $VSWR = 1$ , artinya tidak ada daya sinyal yang dipantulkan kembali ke sumber. Namun pada kenyataannya sangat sulit untuk mencapai kondisi ideal tersebut di sepanjang rentang frekuensi kerja.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai impedansi belum dapat memenuhi spesifikasi pada rentang frekuensi kerja. Namun apabila disesuaikan dengan rentang frekuensi kerja saat menganalisa *S-Parameters*, maka nilai impedansi rata-rata yang dihasilkan dari ketiga metode tersebut adalah seperti yang terlihat pada tabel 4.5 berikut ini.

**Tabel 4.5** Analisa Impedansi Hasil Simulasi dengan Tiga Metode

No.	Metode Pendekatan	Nilai Gap (mm)	$f_b$ (GHz)	$f_a$ (GHz)	Impedansi (Ohm)
1	Metode A	0.32	2.9725	3.042	33.1
2	Metode B	0.1	2.9	3.1	34.02
3	Metode C	0.26	2.925	3.082	33.3

Hal ini menunjukkan bahwasannya semakin kecil nilai *gap* pada suatu *edge-coupled filter*, maka semakin besar impedansi yang dihasilkan. Sedangkan semakin besar nilai *gap* pada suatu *edge-coupled filter*, maka semakin kecil impedansi yang dihasilkan.

- **VSWR**

Nilai VSWR yang telah ditentukan dalam spesifikasi perancangan filter ini adalah lebih kecil dari 2 ( $VSWR < 2$ ). Hasil simulasi dari ketiga metode menunjukkan bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi pada rentang frekuensi kerja yang disesuaikan saat menganalisa *S-Parameters*, maka nilai VSWR yang dihasilkan seperti yang terlihat pada tabel 4.6 berikut ini.

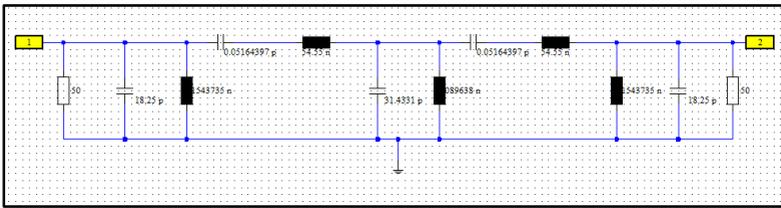
**Tabel 4.6** Analisa VSWR Hasil Simulasi dengan Tiga Metode

No.	Metode Pendekatan	Nilai Gap (mm)	$f_b$ (GHz)	$f_a$ (GHz)	VSWR
1	Metode A	0.32	2.9725	3.042	1.47
2	Metode B	0.1	2.9	3.1	1.56
3	Metode C	0.26	2.925	3.082	1.75

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa dari hasil simulasi tersebut, nilai VSWR yang dihasilkan kurang dari 2 dB dalam rentang frekuensi kerja yang telah ditentukan.

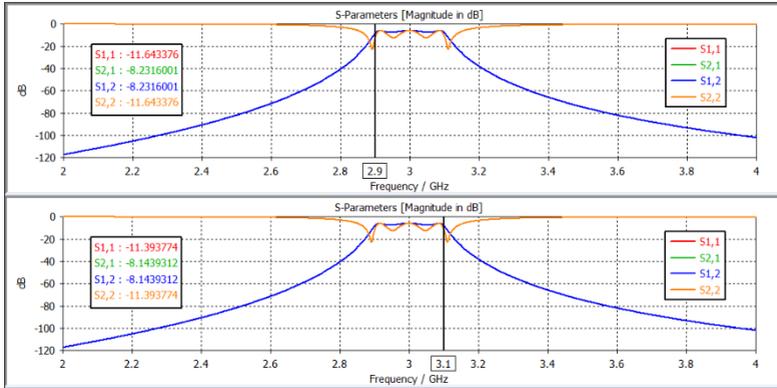
### 4.1.3 Analisa Hasil Kinerja Rangkaian Ekivalen L-C

Rangkaian ekivalen merupakan rangkaian identitas yang digunakan sebagai pendekatan nilai karakteristik sebuah filter mikrostrip. Perhitungan masing-masing komponen pada rangkaian tersebut ditentukan dengan persamaan (28-31). Untuk komponen paralel dapat dihitung dengan persamaan (28-29) dan untuk komponen seri dapat dihitung dengan persamaan (30-31). Perhitungan ini dilakukan dengan pendekatan *Chebyshev Type 3*. Dengan adanya pendekatan ini, variabel untuk menentukan nilai kapasitansi (C) dan nilai induktansi (L) sangat berpengaruh pada nilai frekuensi *cut-off* ( $\omega_c$ ) dan *attenuation pole frequency* ( $\omega_o$ ). Berikut ini adalah gambar 4.4 komponen rangkaian ekivalen L-C dari *edge-coupled filter*.



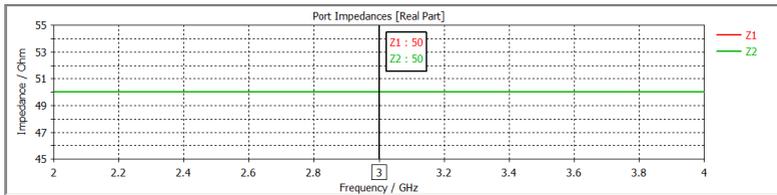
Gambar 4.4 Analisa Rangkaian Ekivalen L-C

Dari gambar 4.5 dapat dianalisa bahwa nilai  $S_{11}$  dan  $S_{22}$  pada rangkaian ekivalen *edge-coupled filter* sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Sedangkan nilai  $S_{21}$  dan  $S_{12}$  belum memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dikarenakan dalam rangkaian ekivalen tidak dipengaruhi oleh nilai *gap*.



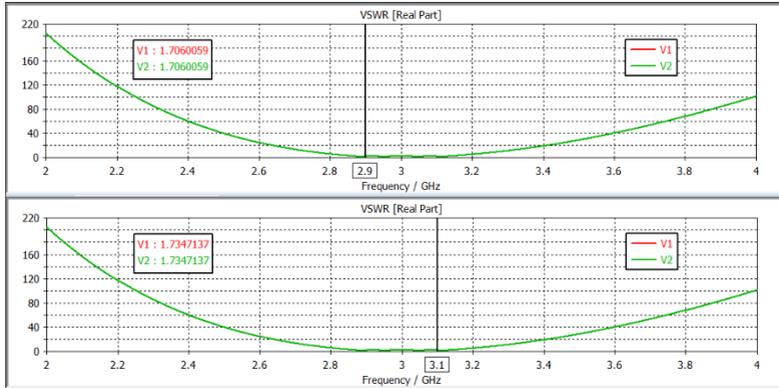
Gambar 4.5 Analisa Simulasi S-Parameter Rangkaian Ekuivalen L-C

Dari gambar 4.6 dapat dianalisa bahwa nilai  $S_{11}$  dan  $S_{22}$  pada rangkaian ekuivalen *edge-coupled filter* sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Sedangkan nilai  $S_{21}$  dan  $S_{12}$  belum memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dikarenakan dalam rangkaian ekuivalen tidak dipengaruhi oleh nilai *gap*.



Gambar 4.6 Analisa Simulasi Impedansi Rangkaian Ekuivalen L-C

Dari gambar 4.7 dapat dianalisa bahwa nilai  $S_{11}$  dan  $S_{22}$  pada rangkaian ekuivalen *edge-coupled filter* sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Sedangkan nilai  $S_{21}$  dan  $S_{12}$  belum memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dikarenakan dalam rangkaian ekuivalen tidak dipengaruhi oleh nilai *gap*.



Gambar 4.7 Analisa Simulasi VSWR Rangkaian Ekuivalen L-C

## 4.2 Analisa Pengukuran

Analisa selanjutnya adalah membandingkan hasil dari simulasi *Edge-Coupled Filter* menggunakan *software CST Microwave Studio* yang telah dilakukan optimasi dengan hasil dari pengukuran terhadap filter yang telah difabrikasi. Ada beberapa parameter pengamatan yang dibandingkan dan dianalisa, yaitu: *S-Parameters* ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ , dan  $S_{22}$ ), Impedansi dan VSWR.

### 4.2.1 S-Parameters

Pengamatan nilai *S-Parameters* hasil pengukuran dilakukan untuk melihat *Bandwidth* yang dihasilkan atau seberapa besar sinyal yang mampu ditransmisikan. Hasil pengamatan *S-Parameters* pada saat pengukuran seperti yang terlihat pada tabel 4.7 dan tabel 4.8 dibawah ini.

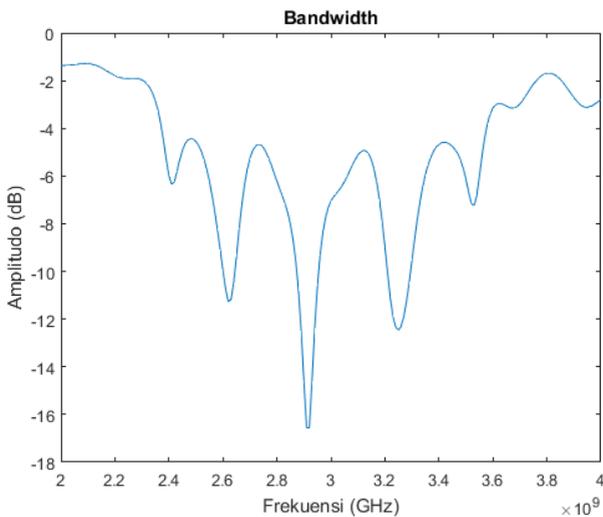
Tabel 4.7 Analisa  $S_{11}$  Hasil Pengukuran

Frekuensi	$S_{11}$	Cable Losses	$S_{11}$ + Cable Losses
2.9E+09	-14.6223	-0.83398	-15.4563
2.91E+09	-16.5695	-0.87096	-17.4405
2.92E+09	-16.5587	-0.91225	-17.4709
2.93E+09	-14.5823	-0.95268	-15.535
2.94E+09	-12.3833	-1.00369	-13.387
2.95E+09	-10.613	-1.06196	-11.6749
2.96E+09	-9.3081	-1.10859	-10.4167

**Tabel 4.8** Analisa S21 Hasil Pengukuran

Frekuensi	S21	Cable Losses	S21 + Cable Losses
2.9E+09	-4.26472	-0.83398	-3.43073
2.91E+09	-4.22751	-0.87096	-3.35655
2.92E+09	-4.24959	-0.91225	-3.33733
2.93E+09	-4.31356	-0.95268	-3.36088
2.94E+09	-4.41972	-1.00369	-3.41603
2.95E+09	-4.53996	-1.06196	-3.478
2.96E+09	-4.66208	-1.10859	-3.55349

Nilai S11 dan S21 hasil pengukuran diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dengan nilai *S-Parameters* hasil simulasi, yaitu nilai frekuensi *cut-off* bawah dan atas, *bandwidth* yang dihasilkan. Untuk nilai frekuensi *cut-off* bawah dan atas, pada hasil simulasi menunjukkan nilai 2.925 GHz untuk frekuensi *cut-off* bawah (fb) dan nilai 3.082 GHz untuk frekuensi *cut-off* atas (fa). Sedangkan pada hasil pengukuran menunjukkan nilai 2.9 GHz untuk frekuensi *cut-off* bawah (fb) dan nilai 2.96 GHz untuk frekuensi *cut-off* atas (fa).



**Gambar 4.8** Analisa S-Parameters Hasil Pengukuran

Hal ini menyebabkan *bandwidth* yang dihasilkan juga berbeda. Pada saat simulasi, *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 157 MHz. Sedangkan pada saat pengukuran, *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 50 MHz. Seperti yang terlihat pada gambar 4.8 diatas. Hal ini dapat disebabkan oleh ketidaksempurnaan fabrikasi dan pemasangan konektor dengan impedansi yang kurang *match* atau tidak berada pada nilai  $50\Omega$ .

#### 4.2.2 Impedansi

Pengamatan nilai impedansi hasil pengukuran dilakukan untuk melihat apakah performansi filter dapat optimal ketika nilai impedansi sumber ( $Z_0 = Z_L$ ) atau kondisi *match*. Saat kondisi ini saluran transmisi bekerja maksimal karena nilai VSWR = 1, artinya tidak ada daya sinyal yang dipantulkan kembali ke sumber.

Namun pada kenyataannya sangat sulit untuk mencapai kondisi ideal tersebut di sepanjang rentang frekuensi kerja. Disamping itu perbedaan kondisi antara simulasi dan pengukuran juga menyebabkan perbedaan nilai impedansi, karena untuk filter hasil fabrikasi dibutuhkan pemasangan konektor pada saluran transmisi (*patch line*). Analisa impedansi pada beban ( $Z_L$ ) dapat menggunakan persamaan (39) berikut.

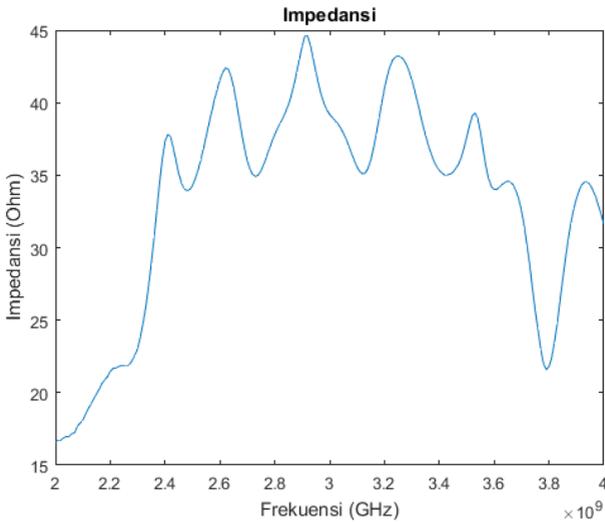
$$Z_L = \frac{1-S_{11}}{1+S_{11}} \times Z_0 \quad (39)$$

Parameter  $S_{11}$  dilihat dalam notasi sebagai bilangan kompleks, sedangkan untuk  $Z_0 = 50\Omega$ . Hasil dari perhitungan impedansi saat simulasi dan impedansi yang didapatkan saat pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

**Tabel 4.9** Analisa Impedansi Hasil Pengukuran

Frekuensi	S11	Impedansi
2.9E+09	-15.4563	43.92329863
2.91E+09	-17.4405	44.57713973
2.92E+09	-17.4709	44.58609052
2.93E+09	-15.535	43.95221266
2.94E+09	-13.387	43.04929124
2.95E+09	-11.6749	42.11042175
2.96E+09	-10.4167	41.24089456

Nilai impedansi hasil pengukuran diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dengan nilai impedansi saat simulasi. Pada saat simulasi, nilai impedansi rata-rata menunjukkan nilai  $33.3 \Omega$ , dan sedangkan saat pengukuran, nilai impedansi rata-rata menunjukkan nilai  $43 \Omega$ .



**Gambar 4.9** Analisa Impedansi Hasil Pengukuran

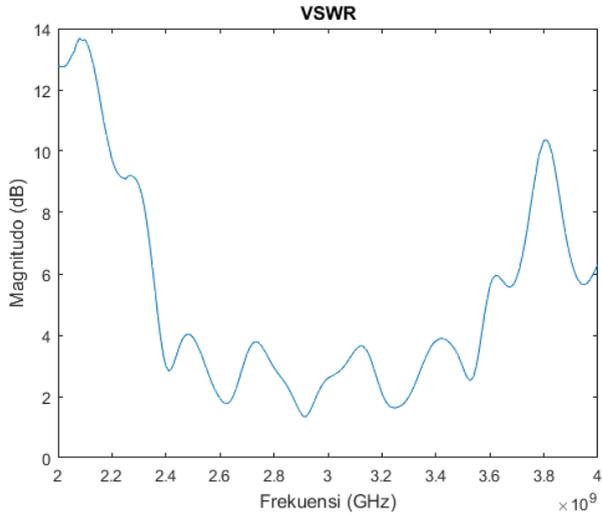
### 4.2.3 VSWR

Nilai VSWR yang telah ditentukan dalam spesifikasi perancangan filter ini adalah lebih kecil dari 2 ( $VSWR < 2$ ). Pengamatan nilai VSWR hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi pada rentang frekuensi kerja yang disesuaikan saat menganalisa *S-Parameters*, maka nilai VSWR yang dihasilkan seperti yang terlihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.10** Analisa VSWR Hasil Pengukuran

No.	Magnitude Responses	fb = 2.9 GHz	fa = 2.96 GHz
1	VSWR	1.442451	1.851405

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa dari hasil pengukuran tersebut, nilai VSWR yang dihasilkan kurang dari 2 dB dalam rentang frekuensi kerja yang telah ditentukan saat pengukuran. Berikut ini adalah gambar 4.9 hasil pengukuran



**Gambar 4.10** Analisa VSWR Hasil Pengukuran

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari tujuan dan apa yang telah dikerjakan pada penelitian ini tentang Perancangan Filter *Bandpass* pada Frekuensi 2.9-3.1 GHz sebagai Penunjang Kinerja Radar *Coastal* di Wilayah Perairan Indonesia, yang meliputi simulasi, fabrikasi, dan pengukuran. Terdapat beberapa poin kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut.

1. Perancangan *Bandpass Filter* sebagai penunjang kinerja radar *coastal* pada rentang frekuensi 2.9-3.1 GHz menggunakan teknik *edge-coupled filter* dengan nilai *gap* disesuaikan dengan kemampuan fabrikasi filter. Sehingga pada hasil akhir optimasi *edge-coupled filter* diperoleh desain dengan dimensi ukuran 79.73 x 23.42 mm.
2. Dengan dimensi ukuran tersebut, pada saat simulasi dengan rentang frekuensi kerja, yaitu 2.925-3.082 GHz. Filter ini menghasilkan nilai  $S_{11} = -11.1$  dB;  $S_{21} = -2.99$  dB; VSWR kurang dari 2 dan impedansi sebesar  $33.3 \Omega$ , sehingga *Bandwidth* yang mampu dihasilkan oleh filter ini sebesar 157 MHz. Sedangkan pada saat pengukuran dengan rentang frekuensi kerja, yaitu 2.9-2.96 GHz. Filter ini menghasilkan nilai  $S_{11} = -14$  dB ;  $S_{21} = -3.3$  dB; VSWR kurang dari 2 dan impedansi sebesar  $43.3 \Omega$ , sehingga *Bandwidth* yang mampu dihasilkan oleh filter ini sebesar 60 MHz.

#### **5.2 Saran**

Dari penelitian yang dilakukan masih terdapat beberapa hal yang bisa diperbaiki untuk penelitian selanjutnya. Saran untuk pengembangan penelitian Perancangan Filter *Bandpass* pada Frekuensi 2.9-3.1 GHz sebagai Penunjang Kinerja Radar *Coastal* di Wilayah Perairan Indonesia adalah penelitian ini dapat dikembangkan dengan metode lain, hal ini dimaksudkan agar bisa diperoleh metode yang tepat untuk perancangan *Bandpass Filter* pada rentang frekuensi yang telah ditentukan.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## Daftar Pustaka

- [1] BPHN Kementerian Hukum dan HAM Republik Indonesia, “Indonesia Merupakan Negara Kepulauan yang Terbesar Di Dunia.” 2015.
- [2] B. Pendidikan, “Badan Pendidikan dan Pelatihan.” pp. 1–2, 2014.
- [3] F. Oktafiani, “Antena Patch Array untuk Portable Coastal Radar pada Frekuensi S-Band.” Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung, pp. 1–5, 2013.
- [4] M. I. Skolnik, *Radar Handbook : Third Edition*. The McGraw-Hill Companies, 2008.
- [5] AES/RS Radar Systems Panel, “Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands,” vol. 1984, p. 12, 2009.
- [6] I. Poole, “RF filter basics tutorial.” 2015.
- [7] J.-S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications: Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering : Fourth Edition*, vol. 91. John Wiley & Sons, Inc., 2017.
- [9] C. Caloz and T. Itoh, *ELECTROMAGNETIC METAMATERIALS : TRANSMISSION LINE THEORY AND MICROWAVE The Engineering Approach*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [10] N. Engheta and R. W. Ziolkowski, *Physics and Engineering Explorations*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [11] P. Shakhdiwipi, “Design and Simulation of Edge-Coupled Stripline Band Pass Filter for U band,” *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 3, no. 4, pp. 1033–1044, 2013.

- [12] Z. Hashim, M. Zoinol, A. Abd, and M. H. Misran, "Australian Journal of Basic and Applied Sciences Design of Wideband Microstrip Bandpass Filter for S-Band Application Design of Wideband Microstrip Bandpass Filter for S-Band Application," no. January, 2014.

# Lampiran A

Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro – ITS

## EE 184801 TUGAS AKHIR – 6 SKS

Nama Mahasiswa : Sandy Nur Aulia Rohman  
Nomer Pokok : 0711154000089  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Ganjil Tahun Ajaran 2018/2019  
Dosen Pembimbing : 1. Eko Setijadi, ST. MT. Ph.D  
2. Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendrantoro, Ph.D.  
Judul Tugas Akhir : **Perancangan Filter Bandpass pada Frekuensi 2.9-3.1 GHz sebagai Penunjang Kinerja Radar Coastal di Wilayah Perairan Indonesia**  
*(Design of Bandpass Filter at Frequency 2.9-3.1 GHz as Supporting Coastal Radar Performance in The Territorial Waters of Indonesia)*

05 SEP 2018

### Uraian Tugas Akhir :

Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) adalah negara kepulauan yang terbesar di dunia. Negara ini terdiri dari kurang lebih 17.500 pulau dari Sabang sampai Merauke. Dengan wilayah yang hampir 2/3 dipenuhi oleh lautan, tak heran jika negara ini dikenal dengan sebutan Negara Maritim. Tidak hanya itu, potensi kelautan Indonesia juga mencapai 70 persen dari wilayah NKRI secara keseluruhan. Namun, dengan kondisi yang seperti itu, justru menjadi ancaman tersendiri bagi keamanan wilayah perairan Indonesia dan potensi kelautan yang ada didalamnya. Mengingat, jumlah kekuatan dari personel gabungan antara Tentara Nasional Indonesia (TNI) dan Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) yang belum mampu mencukupi kebutuhan untuk mengawasi wilayah perairan Indonesia secara keseluruhan, serta ditambah dengan kondisi ketersediaan alat utama yang dimiliki cukup terbatas untuk mengamankan wilayah perairan Indonesia yang begitu luas.

Dalam Tugas Akhir ini akan dibuat salah satu subsistem radar untuk memaksimalkan keluaran dari *Signal-to-Noise Ratio*, yaitu Filter. Untuk rencana perancangannya menggunakan filter bandpass pada frekuensi 2.9-3.1 GHz. Nantinya filter ini digunakan sebagai penunjang kinerja *coastal radar* untuk mengawasi wilayah perairan Indonesia secara optimal agar keamanan wilayah perairan Indonesia dan potensi kelautan yang ada didalamnya dapat tetap terjaga. Adapun simulasi perancangan filter yang dibuat, dilakukan dengan menggunakan *software CST Microwave Studio*.

Dosen Pembimbing I,

  
Eko Setijadi, ST. MT. Ph.D.  
NIP : 197210012003121002

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1



Deder C. Riawan, ST. M.Eng. Ph.D.  
NIP : 197311192000031001

Dosen Pembimbing II,

  
Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendrantoro, Ph.D.  
NIP : 197011111993031002

Menyetujui,  
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi

  
Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendrantoro, Ph.D.  
NIP : 197011111993031002

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## Lampiran B

### Datasheet Substrate FR-4 Epoxy



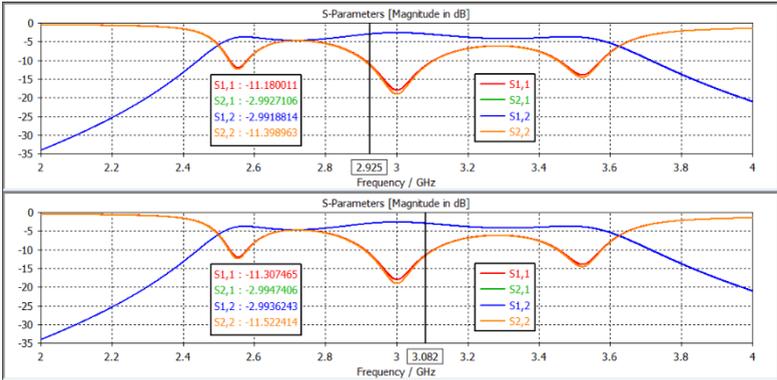
#### FR4 Data Sheet :-

Test/Specification	FR4 Laminate Typical Values
Thermal Stress, Solder bath 288 deg. C	>-60
Dimensional Stability, E-2/150	<0.04% Warp/fill <1.00% Bow/Twist
Flammability, Classification UL94	V0
Water Absorption E-1/105	0.10%
Peel Strength After Thermal Stress	11 lb./in After 10s/288 Deg. C
Flexural Strength	100,000 lbf/in <sup>2</sup> Lengthwise 75,000 lbf/in <sup>2</sup> Crosswise
Resistivity After Damp Heat Volume	10 <sup>-8</sup> M ohms cm
Resistivity After Damp Heat Surface	10 <sup>-8</sup> M ohms
Dielectric Breakdown, Parallel to laminate	>60KV
Dielectric Constant @ 1MHz	4.7
Dissipation Factor @ 1MHz	0.014
Q-Resonance @ 1 MHz	>75
Q-Resonance @ 50 MHz	>95
Arc Resistance	125 s
Glass Transition Temperature	135 Deg. C
Temperature Index	130 Deg. C
<b>A Few Other Relevant Facts from other Sources</b>	
Specific Gravity	1.8-1.9
Rockwell Hardness (M scale)	110
Coefficient of Thermal Expansion	11 microns/m/Deg.C Lengthwise 15 microns/m/Deg.C Crosswise
Thermal Conductivity	2.2-2.5 cal/h. cm Deg C

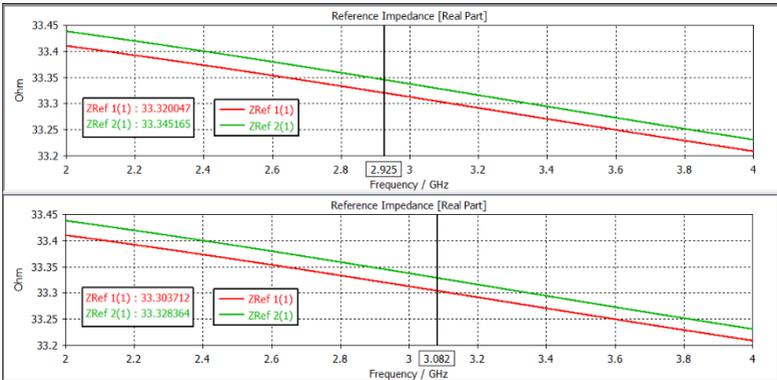
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# Lampiran C

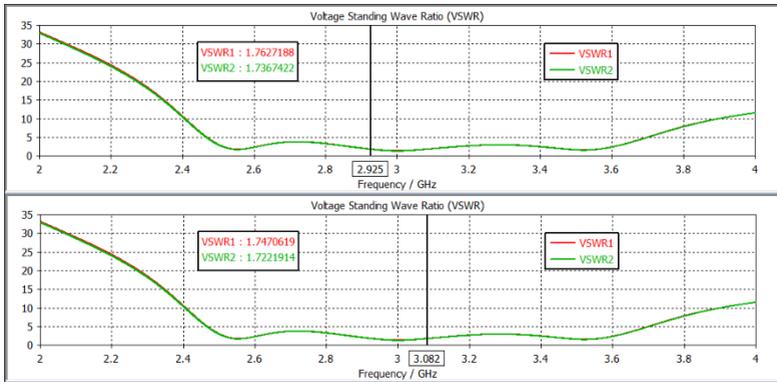
## Hasil Simulasi CST



## Simulasi S-Parameters



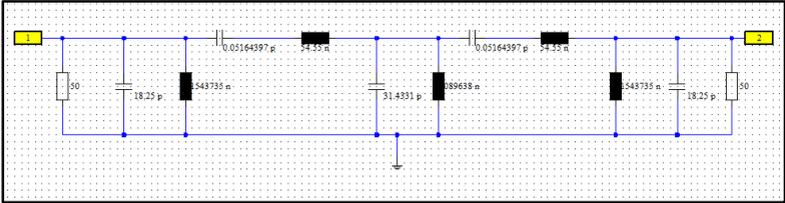
## Simulasi Impedansi



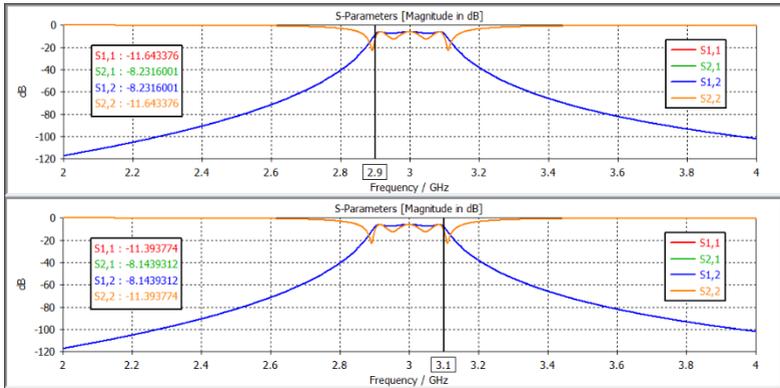
## Simulasi VSWR

## Lampiran D

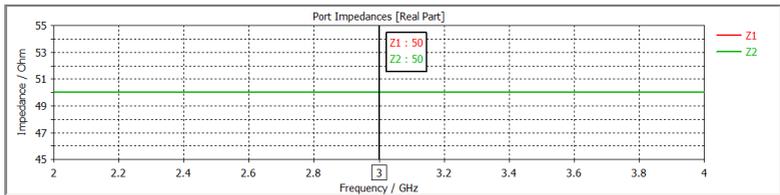
### Hasil Simulasi Rangkaian Ekivalen dengan CST



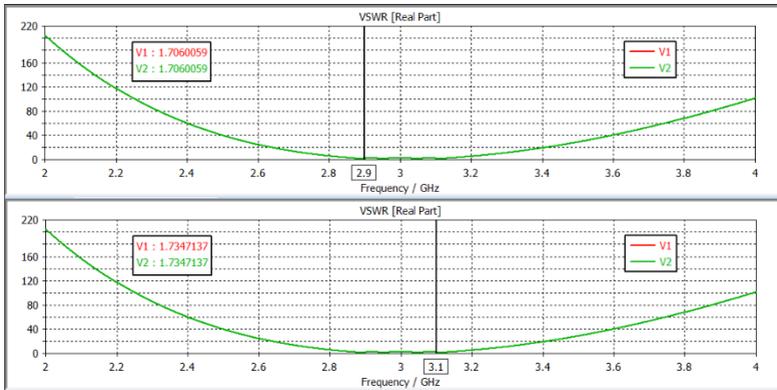
### Rangkaian Ekivalen L-C



### Simulasi S-Parameters Rangkaian Ekivalen L-C



### Simulasi Impedansi Rangkaian Ekivalen L-C



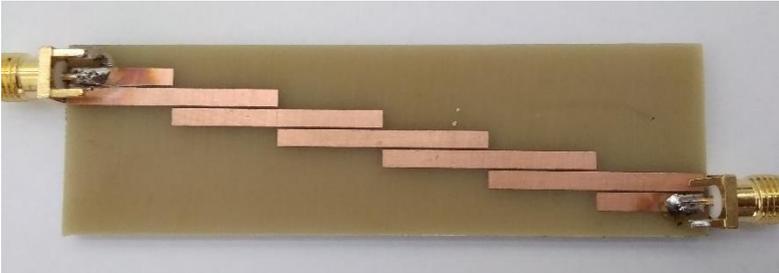
**Simulasi VSWR Rangkaian Ekuivalen L-C**



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## Lampiran F

### Fabrikasi Filter Tampak Depan



### Fabrikasi Filter Tampak Belakang



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## Lampiran G

### Listing Program MATLAB

```
fc = 3e9;
h = 1.6e-3;
Er = 4.4;
Zo = 50;
f1 = 2.9e9;
f2 = 3.1e9;
w1 = 2*pi*f1;
w2 = 2*pi*f2;
w0 = sqrt(w1*w2);
NF = (w0/w1)-1;

% Calculating the order of the filter
Las = 45;
Lar = 0.1;
nA = acosh(sqrt((10^(Las/10)-1)/(10^Lar-1)));
nB = acosh(2);
n = nA/nB;
BW = 2e8;

Ao = ((Zo/60)*sqrt((Er+1)/2))+(((Er-1)/(Er+1))*(0.23+(0.11/Er)));
w = (8*exp(Ao))/(exp(2*Ao)-2)*h;
w_h = w/h;
Ereff = ((Er+1)/2)+(((Er-1)/2)*(1/sqrt(1+(12*h/w))));
Lambdago = 300/(3*(sqrt(Ereff)));

% Chebyshev Type 3 Prototype
g0 = 1.0;
g1 = 1.1468;
g2 = 1.3712;
g3 = 1.9750;
g4 = 1.3712;
g5 = 1.1468;
g6 = 1.0;
```

```

% Calculating Fractional Bandwidth, FBW
FBW = (w2-w1)/w0;

% Calculating the capacitance and inductance
%1
Lp1 = (FBW/w0) * (Zo/g1);
Cp1 = (1/(FBW*w0)) * (g1/Zo);
%2
Ls2 = (1/(FBW*w0)) * Zo*g2;
Cs2 = (FBW/w0) * (1/(Zo*g2));
%3
Lp3 = (FBW/w0) * (Zo/g3);
Cp3 = (1/(FBW*w0)) * (g3/Zo);
%4
Ls4 = (1/(FBW*w0)) * Zo*g4;
Cs4 = (FBW/w0) * (1/(Zo*g4));
%5
Lp5 = (FBW/w0) * (Zo/g5);
Cp5 = (1/(FBW*w0)) * (g5/Zo);

% Calculating Characteristic Admittance, Y0
Y0 = 1/Zo;

% Calculating admittance inverter values for all
sections
J01_Y0 = sqrt((pi/2) * (FBW/(g0*g1)));
J12_Y0 = sqrt((pi/2) * (FBW/(g1*g2)));
J23_Y0 = sqrt((pi/2) * (FBW/(g2*g3)));
J34_Y0 = sqrt((pi/2) * (FBW/(g3*g4)));
J45_Y0 = sqrt((pi/2) * (FBW/(g4*g5)));
J56_Y0 = sqrt((pi/2) * (FBW/(g5*g6)));

J01 = J01_Y0*Y0;
J12 = J12_Y0*Y0;
J23 = J23_Y0*Y0;
J34 = J34_Y0*Y0;
J45 = J45_Y0*Y0;
J56 = J56_Y0*Y0;

```

```

% Even- and Odd-mode characteristic impedance of
the coupled microstrip lines
Z0e01 = Zo*((1+(J01*Zo)+((J01*Zo)^2)));
Z0o01 = Zo*((1-(J01*Zo)+((J01*Zo)^2)));
Z0e12 = Zo*((1+(J12*Zo)+((J12*Zo)^2)));
Z0o12 = Zo*((1-(J12*Zo)+((J12*Zo)^2)));
Z0e23 = Zo*((1+(J23*Zo)+((J23*Zo)^2)));
Z0o23 = Zo*((1-(J23*Zo)+((J23*Zo)^2)));
Z0e34 = Zo*((1+(J34*Zo)+((J34*Zo)^2)));
Z0o34 = Zo*((1-(J34*Zo)+((J34*Zo)^2)));
Z0e45 = Zo*((1+(J45*Zo)+((J45*Zo)^2)));
Z0o45 = Zo*((1-(J45*Zo)+((J45*Zo)^2)));
Z0e56 = Zo*((1+(J56*Zo)+((J56*Zo)^2)));
Z0o56 = Zo*((1-(J56*Zo)+((J56*Zo)^2)));

```

```

% Calculating shape ratio (Gap between Lines to
Substrate Thickness)

```

```

% For 01

```

```

SHA01 =
(cosh((pi/2)*Z0e01)+(cosh((pi/2)*Z0o01))-2;
SHB01 = (cosh((pi/2)*Z0o01))-
(cosh((pi/2)*Z0e01));
s_h01 = (2/pi)*acosh(SHA01/SHB01);
SH01 = sqrt(0^2 + 2.0000000000000000^2);
s01 = SH01*h;

```

```

% For 12

```

```

SHA12 =
(cosh((pi/2)*Z0e12)+(cosh((pi/2)*Z0o12))-2;
SHB12 = (cosh((pi/2)*Z0o12))-
(cosh((pi/2)*Z0e12));
s_h12 = (2/pi)*acosh(SHA12/SHB12);
SH12 = sqrt(0.000000029998548^2 +
2.0000000000000000^2);
s12 = SH12*h;

```

```

% For 23

```

```

SHA23 =
(cosh((pi/2)*Z0e23)+(cosh((pi/2)*Z0o23))-2;

```

```

SHB23 = (cosh((pi/2)*Z0o23)) -
(cosh((pi/2)*Z0e23));
s_h23 = (2/pi)*acosh(SHA23/SHB23);
SH23 = sqrt(0.000000721712948^2 +
2.0000000000000000^2);
s23 = SH23*h;
% For 34
SHA34 =
(cosh((pi/2)*Z0e34)) + (cosh((pi/2)*Z0o34)) -2;
SHB34 = (cosh((pi/2)*Z0o34)) -
(cosh((pi/2)*Z0e34));
s_h34 = (2/pi)*acosh(SHA34/SHB34);
SH34 = sqrt(0.000000721712948^2 +
2.0000000000000000^2);
s34 = SH34*h;
% For 45
SHA45 =
(cosh((pi/2)*Z0e45)) + (cosh((pi/2)*Z0o45)) -2;
SHB45 = (cosh((pi/2)*Z0o45)) -
(cosh((pi/2)*Z0e45));
s_h45 = (2/pi)*acosh(SHA45/SHB45);
SH45 = sqrt(0.000000029998548^2 +
2.0000000000000000^2);
s45 = SH45*h;
% For 56
SHA56 =
(cosh((pi/2)*Z0e56)) + (cosh((pi/2)*Z0o56)) -2;
SHB56 = (cosh((pi/2)*Z0o56)) -
(cosh((pi/2)*Z0e56));
s_h56 = (2/pi)*acosh(SHA56/SHB56);
SH56 = sqrt(0^2 + 2.0000000000000000^2);
s56 = SH56*h;

% Calculating shape ratio (Width-to-Substrate
Thickness)
% For 01
D01 = cosh((pi/2)*SH01)-1;
T01 = cosh((pi/2)*SH01)+1;
B01 = cosh(pi/2)*Z0e01;

```

```

w_h01 =
(1/pi)*(acosh(0.5*((D01)+((T01)*(B01))))-
((pi/2)*SH01));
w01 = w_h01*h;
% For 12
D12 = cosh((pi/2)*SH12)-1;
T12 = cosh((pi/2)*SH12)+1;
B12 = cosh(pi/2)*Z0e12;
w_h12 =
(1/pi)*(acosh(0.5*((D12)+((T12)*(B12))))-
((pi/2)*SH12));
w12 = w_h12*h;
% For 23
D23 = cosh((pi/2)*SH23)-1;
T23 = cosh((pi/2)*SH23)+1;
B23 = cosh(pi/2)*Z0e23;
w_h23 =
(1/pi)*(acosh(0.5*((D23)+((T23)*(B23))))-
((pi/2)*SH23));
w23 = w_h23*h;
% For 34
D34 = cosh((pi/2)*SH34)-1;
T34 = cosh((pi/2)*SH34)+1;
B34 = cosh(pi/2)*Z0e34;
w_h34 =
(1/pi)*(acosh(0.5*((D34)+((T34)*(B34))))-
((pi/2)*SH34));
w34 = w_h34*h;
% For 45
D45 = cosh((pi/2)*SH45)-1;
T45 = cosh((pi/2)*SH45)+1;
B45 = cosh(pi/2)*Z0e45;
w_h45 =
(1/pi)*(acosh(0.5*((D45)+((T45)*(B45))))-
((pi/2)*SH45));
w45 = w_h45*h;
% For 56
D56 = cosh((pi/2)*SH56)-1;
T56 = cosh((pi/2)*SH56)+1;
B56 = cosh(pi/2)*Z0e56;

```

```

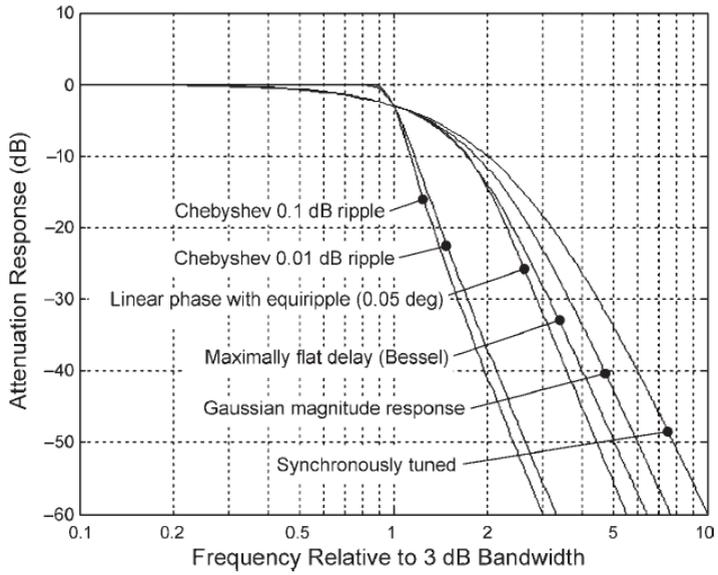
w_h56 =
(1/pi) * (acosh(0.5 * ((D56) + ((T56) * (B56)))) -
((pi/2) * SH56));
w56 = w_h56 * h;

% Calculating the length of the line section
Ereff = ((Er+1)/2) + (((Er-
1)/2) * (1/sqrt(1+(12*h/w))));
l = 3e8 / (4*3e9 * (sqrt(Ereff)));

% Find Propagation Constant & Phase Velocity
BetaLo = (2*pi) / Lambdago;
vp = 3e8 / (sqrt(Er));

```

## Lampiran H



### Perbandingan LPF Prototype

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# Lampiran I

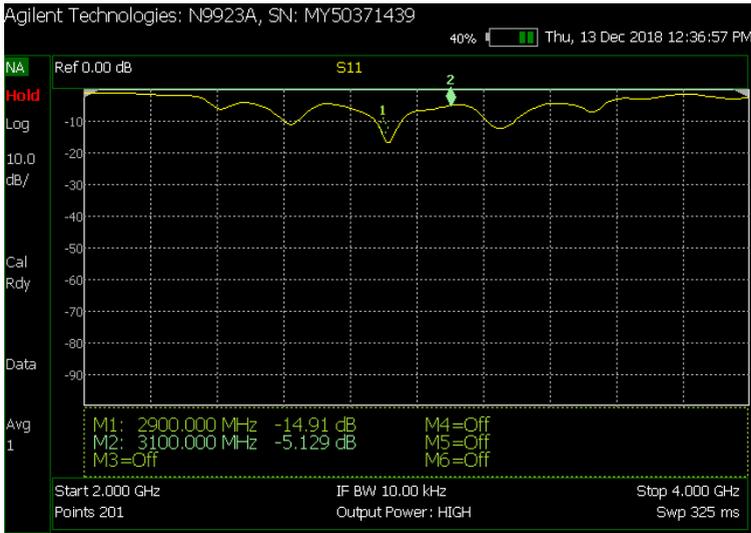
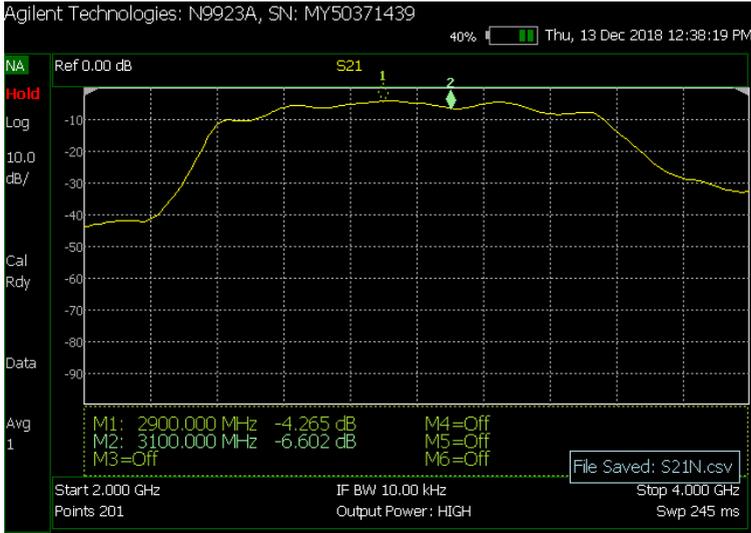
## Komparasi dengan Penelitian Filter yang Sudah Ada

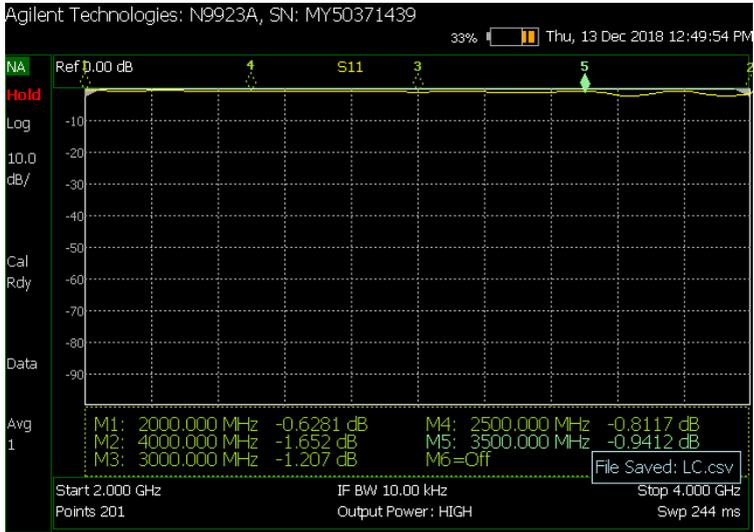
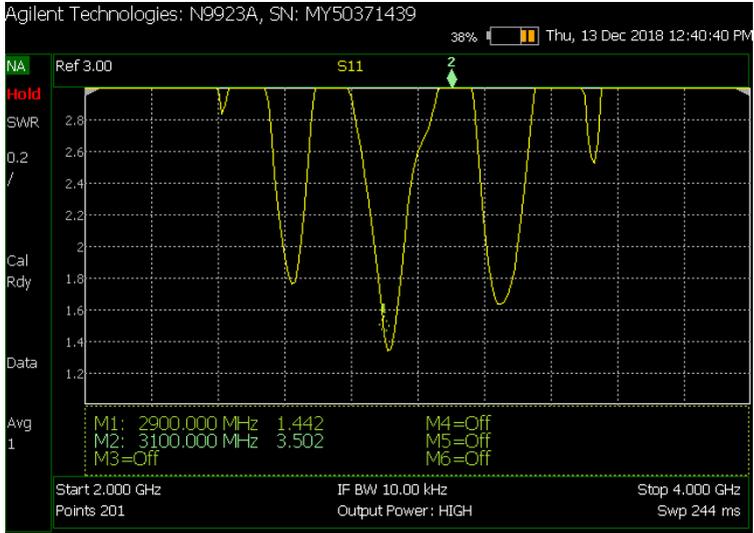
	Author	A. Salleh et al, 2014	Sandy Nur Aulia Rohman, 2018	Md Rasheduzzaman Al-Amin, 2015
No.	Specification	Value	Value	Value
1	Passband	2-4 GHz (S-Band)	2.9-3.1 GHz (S-Band)	8-12 GHz (X-Band)
2	Frequency Center, fc	3GHz	3GHz	10GHz
3	Bandwidth	2GHz	200MHz	4GHz
4	Substrate	FR4 (4.4)	FR4 (4.4)	RO6006 (6.45)
5	Insertion Loss, (S11)	<-15dB	<-10dB	<-10dB
6	Return Loss, (S21)	0dB	>-3dB	>-2dB
7	Low pass, fcutoff	4GHz	3.1GHz	12GHz
8	No. of Filter order	7	5	3
9	Implementation	Lump Element & Parallel Couple	Lump Element & Parallel Couple	Lump Element & Parallel Couple
10	Low Pass Filter Prototype	0.5 dB Passband Ripple Chebyshev LPF Prototype	0.1 dB Passband Ripple Chebyshev LPF Prototype	0.5 dB Passband Ripple Chebyshev LPF Prototype

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# Lampiran J

## Hasil Pengukuran dengan Vector Network Analyzer





## Lampiran K

### Data Hasil Pengukuran

Frekuensi	S11	Cable Losses	S11 + Cable Losses
2.9E+09	-14.6223	-0.83398	-15.4563
2.91E+09	-16.5695	-0.87096	-17.4405
2.92E+09	-16.5587	-0.91225	-17.4709
2.93E+09	-14.5823	-0.95268	-15.535
2.94E+09	-12.3833	-1.00369	-13.387
2.95E+09	-10.613	-1.06196	-11.6749
2.96E+09	-9.3081	-1.10859	-10.4167
2.97E+09	-8.38824	-1.14966	-9.5379
2.98E+09	-7.75812	-1.18204	-8.94016
2.99E+09	-7.32193	-1.20297	-8.5249
3E+09	-7.05345	-1.20696	-8.26041
3.01E+09	-6.86597	-1.19462	-8.06058
3.02E+09	-6.72574	-1.16424	-7.88997
3.03E+09	-6.59291	-1.13676	-7.72966
3.04E+09	-6.43228	-1.08456	-7.51684
3.05E+09	-6.24098	-1.03132	-7.2723
3.06E+09	-6.01865	-0.98182	-7.00047
3.07E+09	-5.77375	-0.9273	-6.70105
3.08E+09	-5.52794	-0.88053	-6.40848
3.09E+09	-5.30785	-0.83918	-6.14703
3.1E+09	-5.12119	-0.80967	-5.93086

Frekuensi	S21	Cable Losses	S21 + Cable Losses
2.9E+09	-4.26472	-0.83398	-3.43073
2.91E+09	-4.22751	-0.87096	-3.35655
2.92E+09	-4.24959	-0.91225	-3.33733
2.93E+09	-4.31356	-0.95268	-3.36088
2.94E+09	-4.41972	-1.00369	-3.41603
2.95E+09	-4.53996	-1.06196	-3.478
2.96E+09	-4.66208	-1.10859	-3.55349
2.97E+09	-4.77378	-1.14966	-3.62412
2.98E+09	-4.8705	-1.18204	-3.68846
2.99E+09	-4.95344	-1.20297	-3.75047
3E+09	-5.01258	-1.20696	-3.80562
3.01E+09	-5.08285	-1.19462	-3.88823
3.02E+09	-5.16371	-1.16424	-3.99947
3.03E+09	-5.27281	-1.13676	-4.13605
3.04E+09	-5.41433	-1.08456	-4.32977
3.05E+09	-5.58454	-1.03132	-4.55322
3.06E+09	-5.78869	-0.98182	-4.80686
3.07E+09	-6.01371	-0.9273	-5.08642
3.08E+09	-6.23313	-0.88053	-5.3526
3.09E+09	-6.4302	-0.83918	-5.59102
3.1E+09	-6.6023	-0.80967	-5.79264

Frekuensi	S11	Impedansi
2.9E+09	-15.4563	43.92329863
2.91E+09	-17.4405	44.57713973
2.92E+09	-17.4709	44.58609052
2.93E+09	-15.535	43.95221266
2.94E+09	-13.387	43.04929124
2.95E+09	-11.6749	42.11042175
2.96E+09	-10.4167	41.24089456
2.97E+09	-9.5379	40.51043983
2.98E+09	-8.94016	39.93979744
2.99E+09	-8.5249	39.50119863
3E+09	-8.26041	39.20134184
3.01E+09	-8.06058	38.96318499
3.02E+09	-7.88997	38.75137312
3.03E+09	-7.72966	38.54480587
3.04E+09	-7.51684	38.25856088
3.05E+09	-7.2723	37.91146534
3.06E+09	-7.00047	37.50073242
3.07E+09	-6.70105	37.01476092
3.08E+09	-6.40848	36.50195397
3.09E+09	-6.14703	36.0081736
3.1E+09	-5.93086	35.57176901

Frekuensi	VSWR
2.9E+09	1.442451
2.91E+09	1.34049
2.92E+09	1.349623
2.93E+09	1.466918
2.94E+09	1.646945
2.95E+09	1.851405
2.96E+09	2.05693
2.97E+09	2.242215
2.98E+09	2.398551
2.99E+09	2.513148
3E+09	2.593576
3.01E+09	2.648233
3.02E+09	2.692046
3.03E+09	2.739406
3.04E+09	2.800439
3.05E+09	2.881441
3.06E+09	2.987076
3.07E+09	3.107253
3.08E+09	3.239514
3.09E+09	3.375993
3.1E+09	3.501512

## BIODATA PENULIS



Penulis buku ini (saya) memiliki nama lengkap Sandy Nur Aulia Rohman, dengan nama panggilan Rohman atau Sandy untuk lebih formalnya. Terlahir dan besar di Kota Surabaya, pada hari Rabu tanggal 25 Desember 1996. Saya merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan pertamakali yang saya tempuh adalah TK Wijaya Kusuma pada tahun 2001-2003, kemudian saya menjadi siswa SDN Pagesangan 426 pada tahun 2003-2009. Setelah itu, saya terdaftar sebagai siswa SMPN 22 Surabaya selama tiga tahun terhitung sejak 2009 sampai 2012. Saya hampir sempat putus asa karena tidak bisa melanjutkan sekolah negeri di jenjang berikutnya. Namun, Allah menakdirkan saya untuk menjadi siswa SMA Khadijah Surabaya selama 2012-2015. Selanjutnya Alhamdulillah, saya berhasil diterima di Departemen Teknik Elektro ITS (S1) pada tahun 2015. Jika ingin menghubungi saya dapat melalui alamat email : [sandynar96@gmail.com](mailto:sandynar96@gmail.com).