



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN FILTER CAVITY SILINDRIS YANG
DIBEBANI DIELEKTRIK ALUMINIUM OKSIDA UNTUK
APLIKASI GSM 900 MHZ**

SKRIPSI

ADITYA INZANI WAHDIYAT

0405030036

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI, 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN FILTER CAVITY SILINDRIS YANG
DIBEBANI DIELEKTRIK ALUMINIUM OKSIDA UNTUK
APLIKASI GSM 900 MHZ**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Indonesia**

ADITYA INZANI WAHDIYAT

0405030036

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI, 2010**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Aditya Inzani Wahdiyat
NPM : 0405030036
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Filter *Cavity* Silindris yang
Dibebani Dielektrik Alumunium Oksida untuk
Aplikasi GSM 900 MHz.

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc

()

Penguji : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, M.Sc.

()
()

Penguji : Ir. Arifin Djauhari MT

Ditetapkan di :

Tanggal :

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Aditya Inzani Wahdiyat

NPM : 0405030036

Tanda Tangan :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ibu Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, MSc, selaku atas waktu konsultasi yang diberikan dan bantuannya dalam membantu saya menyelesaikan skripsi ini.
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (4) Teman-teman di AMRG, di Elektro yang telah menyemangati saya sehingga skripsi ini dapat selesai..

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 14 Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Aditya Inzani Wahdiyat

NPM : 0405030036

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**RANCANG BANGUN FILTER CAVITY SILINDRIS YANG DIBEKANI
DIELEKTRIK ALUMINIUM OKSIDA UNTUK APLIKASI GSM 900
MHZ**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Juni 2010
Yang menyatakan

(Aditya Inzani Wahdiyat)

ABSTRAK

Nama : Aditya Inzani Wahdiyati
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Filter *Cavity* Silindris yang Dibebani Dielektrik Alumunium Oksida untuk Aplikasi GSM 900 MHz.
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc.

Dalam skripsi ini Filter *Cavity* Silindris yang Dibebani Dielektrik Alumunium Oksida untuk Aplikasi GSM 900 MHz dibahas karena mempunyai keuntungan-keuntungan seperti bandwidth yang sempit, slope yang baik, insertion loss yang kecil dan dapat digunakan untuk daya yang besar tanpa mengganggu rangkaian lainnya. Material dielektrik yang digunakan pada skripsi ini adalah Alumina (Alumunium Oksida) dengan nilai permitivitas $\epsilon_r = 9.6$.

Alumina digunakan karena kemampuannya yang tahan terhadap temperatur tinggi di dalam BTS, dan memiliki nilai permitivitas yang tinggi, sehingga mampu meminiaturisasi ukuran cavity.

Bandwidth yang didapatkan setelah melakukan pengukuran adalah sebesar 95 MHz dengan besar ripple 2,532 dB dan insertion loss 9,478 dB.

Kata Kunci : Alumina, filter cavity, material dielektrik

ABSTRACT

Name : Aditya Inzani Wahdiyati
Study Program : Electrical Engineering
Title : Aluminum Oxide Dielectric Loaded Cavity Filter for GSM 900 MHz
Application
Advisor I : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc.

In this thesis, a dielectric loaded cylindrical cavity filter for GSM 900 is discussed due to the advantages such as narrow bandwidth, better slope, low insertion loss and can be used for high power consumption application without changing or modifying the existing circuit. The dielectric material that is used in this thesis is Alumina (aluminum oxide) with the permittivity of $\epsilon_r = 9.6$.

Alumina is used due to the ability to endure the high temperature from the Base Station, and has high value of relative permittivity, so I can miniaturize the size of the cavity.

The result show that the cavity filter has the resonant frequency at 995 MHz with performance bandwidth of 95 MHz.

From the measurement of the filter, the performance bandwidth acquired is 95 MHz with 2.532 dB of ripple and insertion loss 9.478 dB.

Keywords: *aluminum oxide, cavity filter, dielectric material*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS	
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Sistematika Penulisan	5
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Filter	4
2.1.1 Low-Pass Filter	6
2.1.2 High-Pass Filter	6
2.1.3 Band-Pass Filter	7
2.1.4 Band-Stop Filter	7
2.2 Cavity Resonator	8
2.2.1 Rectangular Cavity Resonator.....	8
2.2.2 Cylindrical Cavity Resonator	10
2.3 Faktor Kualitas (Q)	12
2.4 Material Dielektrik	13
BAB III PERACANGAN FILTER CAVITY SILINDRIS YANG DIBEBANI	

DIELEKTRIK.....	15
3.1 Umum	15
3.2 Perlengkapan yang Digunakan	15
3.3 Perancangan Cavity Tunggal Bentuk Silinder	15
3.3 Perancangan Cavity Tunggal Bentuk Silinder	15
3.3.1 Menentukan Karakteristik Filter	15
3.3.2 Perancangan Dimensi Cavity	16
3.3.3 Karakterisasi Dielektrik Cavity Resonator	17
3.4 Perancangan Cavity Orde Dua Bentuk Silinder	19
3.4.1 Pengaturan Jarak Antar Cavity	19
3.4.2 Karakterisasi Cavity Filter Orde Dua	19
A. Karakterisasi Lebar Celah Cavity Filter Orde Dua	19
B. Karakterisasi Posisi Feeding dan Panjang Feeding	20
3.5 Perancangan Cavity Filter Orde Empat	26
3.5.1 Desain Cavity Filter Orde Empat	26
3.5.2 Karakterisasi Cavity Filter Orde Empat.....	27
BAB IV FABRIKASI DAN PENGUKURAN.....	30
4.1 Fabrikasi Cavity dan Dielektrik	30
4.2 Pengukuran Filter	33
4.2.1 Pengukuran Filter Cavity Tanpa Dielektrik	33
4.2.2 Pengukuran Filter Cavity Dengan Melakukan Iterasi Tinggi Dielektrik.....	34
4.2.3 Pengukuran Filter Cavity Orde Dua	35
4.3 Analisis Hasil Pengukuran.....	36
BAB V KESIMPULAN	37
DAFTAR ACUAN	38
LAMPIRAN	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Respon Filter Sempurna	4
Gambar 2.2	Respon Filter	4
Gambar 2.3	Respon Frekuensi pada Low-Pass Filter	6
Gambar 2.4	Respon Frekuensi pada High-Pass Filter	7
Gambar 2.5	Respon Frekuensi pada Band-Pass Filter	7
Gambar 2.6	Respon Frekuensi pada Band Stop Filter	7
Gambar 2.7	Rectangular Cavity Resonator	9
Gambar 2.8	Cylindrical Cavity Resonator	10
Gambar 2.9	Frekuensi resonan dan 3 dB Bandwidth	13
Gambar 2.10	Perbedaan λ_d dan λ_0	14
Gambar 2.11	Loss tangent Alumina	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Cavity	17
Gambar 3.2	Grafik karakterisasi jari-jari.....	18
Gambar 3.3	Karakterisasi Tinggi Dielektrik dengan jari-jari tetap 30 mm.	19
Gambar 3.4	Perbandingan dimensi cavity	20
Gambar 3.5	Pengaturan lebar celah	21
Gambar 3.6	Grafik Karakterisasi Celah	22
Gambar 3.7	Pengaturan posisi feeding	23
Gambar 3.8	Grafik Karakterisasi Posisi feeding	21
Gambar 3.9	Pengaturan panjang feeding	23
Gambar 3.10	Grafik Karakterisasi panjang feeding..	23
Gambar 3.11	Grafik Karakterisasi Akhir Celah Cavity Orde Dua	24
Gambar 3.12	Grafik karakterisasi Akhir Tinggi Dielektrik Cavity Orde Dua.	28
Gambar 3.13	Dimensi Akhir Cavity Orde Dua	26
Gambar 3.14	S11 dan S12 akhir cavity orde dua	27
Gambar 3.15	Distribusi Medan H (a) tampak atas, (b) tampak samping.....	27
Gambar 3.16	Distribusi Medan E (a) tampak atas, (b) tampak samping.....	28
Gambar 3.17	Desain Awal Cavity Hubung Empat	29
Gambar 3.18	Grafik Hasil Simulasi Awal Cavity Orde Empat.....	29
Gambar 3.19	Desain akhir cavity orde empat	30

Gambar 3.20	Grafik hasil akhir cavity orde empat	31
Gambar 4.1	Alumina Serbuk.....	32
Gambar 4.2	Kaolin Serbuk	32
Gambar 4.3	Fabrikasi keramik Alumina.....	33
Gambar 4.4	Alumunium 505 Balok	33
Gambar 4.5	Alumunium setelah dibubut	33
Gambar 4.6	Filter cavity silindris yang dibebani dielektrik material	33
Gambar 4.7	Prosedur pengukuran	35
Gambar 4.8	Grafik S12 filter cavity tanpa keramik..	36
Gambar 4.9	Grafik Iterasi Tinggi Dielektrik	36
Gambar 4.10	Grafik Hasil Pengukuran	37

BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Penggunaan teknologi komunikasi bergerak (*mobile communication*) sampai dengan saat ini sangatlah populer. Ini ditandai dengan berkembangnya sistem-sistem baru berbasis digital yang menyediakan layanan dengan kanal yang sangat besar sehingga mampu mengirim data yang sangat besar seperti data suara dan gambar. Akan tetapi teknologi komunikasi yang masih bisa dikatakan bertahan sampai sekarang adalah teknologi GSM (*Global System for Mobile Communication*) yang digunakan hampir diseluruh dunia.

GSM (*Global System for Mobile Communication*) merupakan sebuah teknologi komunikasi seluler yang bersifat digital. GSM adalah teknologi komunikasi bergerak yang tergolong dalam generasi kedua (2G). Beberapa keuntungan dari teknologi ini dibandingkan dengan teknologi generasi pertama adalah :

1. Kapasitas sistem lebih besar, karena menggunakan teknologi TDMA (*Time Division Multiple Access*), dimana penggunaan sebuah kanal tidak diperuntukan bagi satu user saja. Sehingga pada saat user tersebut tidak mengirimkan informasi, kanal dapat digunakan oleh user lain. Hal ini berlawanan dengan teknologi FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) yang digunakan pada generasi pertama.
2. Teknologi yang dikembangkan di negara-negara yang berbeda merujuk pada standar internasional, sehingga sistem pada negara – negara yang berbeda tersebut masih tetap kompatibel satu dengan lainnya sehingga dimungkinkannya *roaming* antar negara.

Frekuensi yang digunakan untuk teknologi GSM di Indonesia adalah frekuensi 900 MHz dan frekuensi 1800 MHz. Penggunaan frekuensi tinggi tersebut akan menyebabkan beberapa masalah, dan masalah yang terpenting adalah jika sistem GSM tersebut tidak memiliki alat selektivitas yang cukup bagus. Oleh karena itulah digunakan filter untuk memilih frekuensi yang diinginkan dan memberikan atenuasi pada frekuensi yang tidak diinginkan.

Material dielektrik yang mempunyai nilai permitivitas relatif (ϵ_r) untuk frekuensi tinggi mempunyai peran yang sangat besar di dalam bidang telekomunikasi. Dengan adanya revolusi dalam komunikasi bergerak dan sistem komunikasi satelit yang menggunakan frekuensi tinggi sebagai frekuensi karir, perkembangan di bidang miniaturisasi divais gelombang pendek menjadi sebuah tantangan tersendiri. Dielektrik keramik oksida telah mengubah industri komunikasi bergerak dengan mengurangi dimensi dan biaya dari divais gelombang pendek seperti filter, osilator, dan banyak komponen lainnya. Faktor Kualitas (Q) yang tinggi akan meminimalisir *insertion loss* dari sebuah rangkaian dan dapat digunakan sebagai sebagai divais selektivitas yang baik[1]. Selain itu, sebuah material dielektrik sangat tahan terhadap temperatur yang ekstrim (1000 °C – 3000 °C)

Keperluan *bandwidth* kurang dari 100 MHz di frekuensi 900 MHz dan besarnya daya RF yang akan dikirim atau diterima oleh *base station* GSM, memerlukan suatu filter yang khusus. Maka, digunakanlah filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material untuk mengatasi masalah tersebut, dikarenakan filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material memiliki nilai faktor kualitas (Q) yang besar, dan tahan terhadap temperatur tinggi. Inilah mengapa filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material dipilih untuk dijadikan filter pada *Base Station* untuk GSM.

1.2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk melakukan sebuah rancang bangun filter untuk aplikasi GSM 900 MHz dengan jenis filter *cavity* silindris *band-pass* yang dibebani dielektrik material yang dapat bekerja di frekuensi 900 MHz dengan *bandwidth* kurang dari 100 MHz, ripple dibawah 3 dB dan *insertion loss* kurang dari 10 dB.

1.3. BATASAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini dibatasi pada filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material yang dirancang untuk dipakai pada BTS (Base Transceiver Station) GSM. Dibutuhkannya suatu divais filter yang

mampu tahan terhadap daya yang cukup besar (40 W – 80 W) pada BTS sangatlah krusial, maka filter cavity digunakan karena tahan terhadap daya besar. Daya yang besar tersebut juga akan menimbulkan panas yang cukup tinggi (sampai dengan 85 °C), oleh karena itu material Alumunium Oksida (Al_2O_3) dipilih karena memiliki titik leleh di 2050 °C selain memiliki nilai permitivitas (ϵ_r) cukup besar.

1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan laporan skripsi ini akan dibagi dalam lima bagian besar yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 FILTER CAVITY

Bagian ini berisi tentang bahasan teori umum tentang filter dan material dielektrik khususnya Alumunium Oksida (Al_2O_3), penjelasan mengenai resonator khususnya resonator *cavity* bentuk silindris yang akan digunakan sebagai filter *cavity*.

BAB 3 PERANCANGAN DAN SIMULASI CAVITY FILTER

Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan, bahan dielektrik yang digunakan, penentuan dimensi filter *cavity*, dan prosedur perancangan serta hasil simulasi dengan menggunakan HFSS v.11 dan analisis hasil dari simulasi yang telah dilakukan.

BAB 4 FABRIKASI DAN PENGUKURAN

Bagian ini berisi tentang fabrikasi filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material, metode pengukuran dan hasil pengukuran filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material beserta analisisnya. Hasil analisis merupakan dasar untuk pembentukan kesimpulan pada penelitian ini.

BAB 5 KESIMPULAN

Bagian ini berisi tentang kesimpulan dari keseluruhan skripsi.

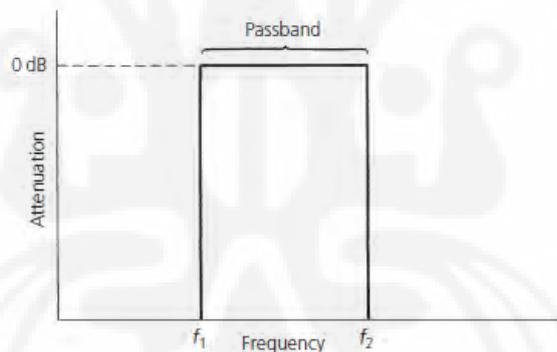
BAB II

FILTER CAVITY DAN MATERIAL DIELEKTRIK

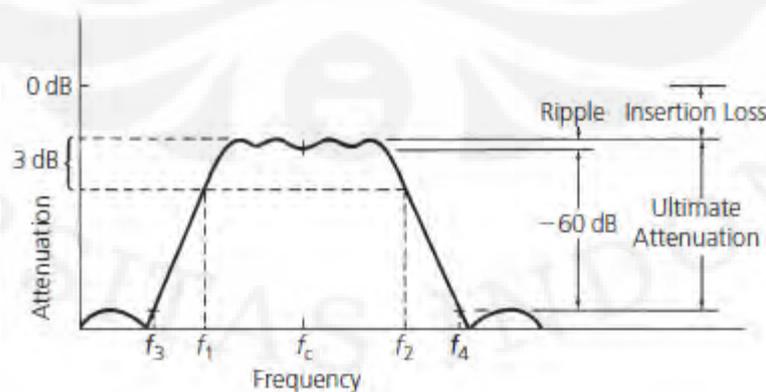
2.1. FILTER

Filter adalah suatu divais yang sering digunakan dalam industri komunikasi yang berguna untuk memisahkan sinyal informasi dari sinyal-sinyal lain yang tidak diinginkan seperti interferensi, noise dan distorsi [2]. Peralatan ini sering dipakai baik pada transmitter, receiver, ataupun juga pada peralatan pengukuran.

Filter akan secara selektif memilih frekuensi tertentu yang akan dilewatkan pada sistem dan memberikan atenuasi yang besar pada frekuensi yang tidak diinginkan [3]. Pada Gambar 2.1 adalah respon frekuensi dari filter *passband* yang sempurna. Dikarenakan adanya komponen yang menyusunnya maka pada filter yang sebenarnya frekuensi respon hampir mendekati sempurna (Gambar 2.2).



Gambar 2.1 Respon filter sempurna



Gambar 2.2 Respon filter

Berikut adalah beberapa definisi dari parameter-parameter dalam merancang sebuah filter :

1. Desibel

Desibel digunakan untuk menjelaskan rasio antara dua pengukuran dari daya listrik. Desibel juga bisa ditambahkan dengan sebuah akhiran untuk membuat sebuah unit yang absolut dari daya listrik.

2. *Bandwidth*

Bandwidth dari suatu rangkaian biasanya didefinisikan sebagai perbedaan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah ($f_2 - f_1$) pada rangkaian saat respon amplitudo-nya 3dB di bawah respon *passband*.

3. Q (Faktor Kualitas)

Faktor kualitas (Q) adalah sebuah karakteristik dari filter yang nantinya akan mendefinisikan rasio dari energi yang disimpan dan energi yang hilang per satuan waktu.

$$Q = \omega \frac{(\text{energi tersimpan rata - rata})}{(\text{energi hilang perdetik})}$$

4. *Shape factor*

Shape factor ini didefinisikan sebagai rasio antara *bandwidth* pada 60-dB dengan *bandwidth* pada 3-dB dari rangkaian. Semakin curam atau semakin nilainya mendekati 1 berarti filter tersebut memiliki selektifitas yang sangat bagus, karena sudah mendekati filter yang sempurna.

5. *Insertion Loss*

Jika komponen-komponen disisipkan antara generator dan beban, beberapa sinyal akan diserap dalam komponen-komponen tersebut. Hal ini terjadi Karena sifat dari komponen itu sendiri yang bersifat resistif. Sehingga sinyal yang ditransmisikan tidak semuanya sampai ke beban. Kondisi ini terjadi dengan asumsi tidak dilakukannya

impedansi matching. Atenuasi yang dihasilkan dari kejadian itu disebut sebagai *insertion loss* dan ini merupakan parameter yang penting. Biasanya diekspresikan dalam desibel (dB).

6. *Ripple*

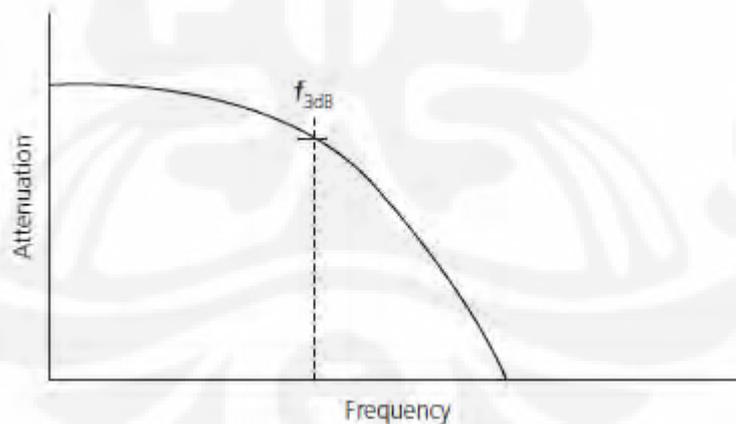
Ripple adalah ukuran kedataran dari daerah *passband* pada rangkaian, yang juga diekspresikan dalam desibel (dB). Secara fisik, *ripple* diukur dalam karakteristik respon sebagai perbedaan antara atenuasi maksimum pada *passband* dengan atenuasi minimum pada *passband*.

Berdasarkan selektivitas dari filter, filter dibagi menjadi beberapa jenis yaitu *Low-pass filter*, *High-pass filter*, *Band-pass filter* dan *Band-stop filter*.

2.1.1. Low-Pass Filter

Lowpass filter digunakan ketika membatasi frekuensi paling tinggi dari suatu sinyal. *Lowpass filter* akan melewatkan frekuensi rendah atau dengan kata lain memberikan atenuasi yang tinggi pada frekuensi tinggi dan melewatkan sinyal dengan frekuensi yang rendah.

Grafik respon filter Low-pass dapat dilihat pada Gambar 2.3.

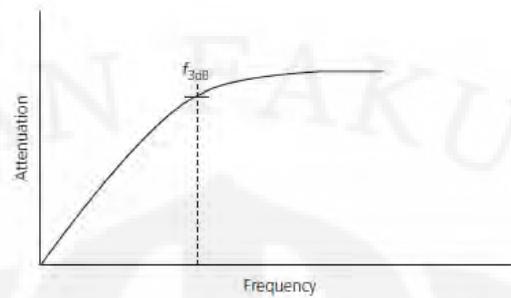


Gambar 2.3 Respon frekuensi pada *Low-pass filter*

2.1.2. High-Pass Filter

Highpass filter ini merupakan kebalikan dari *lowpass filter*. seperti terlihat pada Gambar 2.4, *Higpass filter* digunakan justru untuk membatasi frekuensi paling

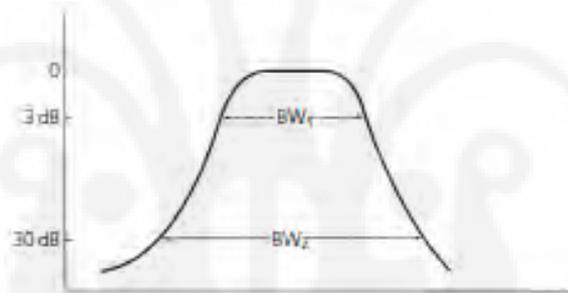
rendah dari suatu sinyal. *Highpass filter* akan melewatkan frekuensi-frekuensi tinggi sampai tak terbatas.



Gambar 2.4 Respon frekuensi *High-pass filter*

2.1.3. Band-pass Filter

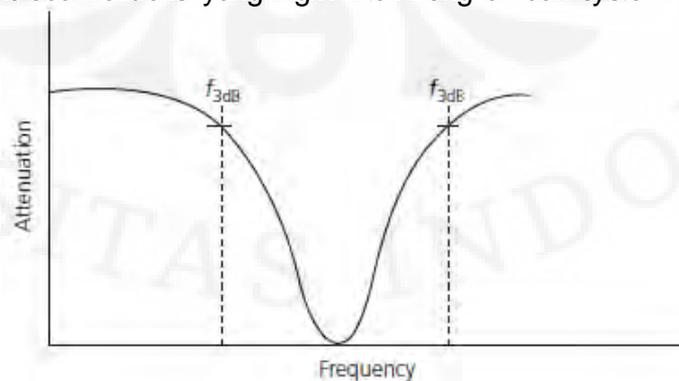
Bandpass filter adalah rangkaian yang melewatkan frekuensi pada daerah tertentu dan meredam frekuensi di luar daerah tersebut. *Bandpass filter* merupakan penggabungan dari *lowpass filter* dan *highpass filter*.



Gambar 2.5 Respon frekuensi *Band-pass filter*

2.1.4. Band-Stop Filter

Kerja dari *band stop filter* yaitu meredam frekuensi tertentu dan melewatkan frekuensi luar. Filter akan meredam frekuensi antara frekuensi passband. Filter jenis ini digunakan jika ada frekuensi yang ingin kita hilangkan dari system.



Gambar 2.6 Respon frekuensi *Band-stop filter*

2.2. CAVITY RESONATOR

Secara umum, *cavity resonator* adalah sebuah konduktor tertutup yang dapat menyimpan energi gelombang elektromagnetik[4]. Energi medan magnet dan medan listrik yang disimpan akan menentukan nilai ekivalen dari induktansi dan kapasitansi, sedangkan energi yang terdisipasi pada dinding konduktor akan menentukan nilai ekivalen dari resistansi. Inilah yang menyebabkan *cavity resonator* juga dapat dikategorikan sebagai salah satu jenis rangkaian resonan dan dapat digunakan sebagai filter.

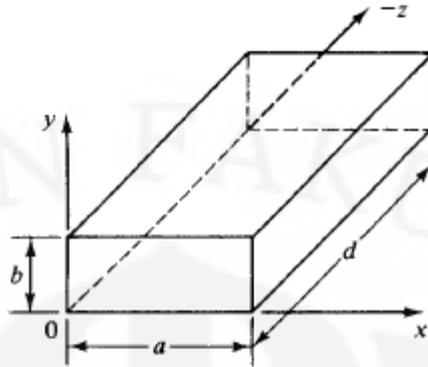
Pada frekuensi diatas 1.000 MHz, rangkaian resonan lain hanya akan memiliki nilai kualitas faktor Q yang relatif kecil, oleh karena itu dengan menggunakan dinding konduktor, nilai kualitas faktor Q akan sangat tinggi.

Cavity resonator dapat dibentuk dari *waveguide* yang ditutup kedua ujungnya dengan menggunakan bahan konduktor [5], *waveguide* yang ditutup salah satu ujungnya saja akan menyebabkan adanya radiasi pada ujung lainnya yang terbuka sehingga jika ujung lainnya ditutup akan membentuk suatu kotak tertutup atau biasa dinamakan *cavity*.

Secara teori, resonator mempunyai jumlah mode resonan yang tak hingga, dan masing-masing mode memiliki nilai frekuensi resonan tertentu. Jika diberikan suatu sinyal dengan frekuensi tertentu masuk ke dalam *cavity* sama dengan frekuensi resonansi, maka nilai amplitudo maksimum dari gelombang berdiri akan muncul, dan energi maksimum yang tersimpan dalam medan listrik dan medan magnet akan sama. Mode yang mempunyai nilai resonansi terkecil biasa dinamakan mode dominan[3].

2.2.1. Rectangular-Cavity Resonator

Medan elektromagnetik di dalam *cavity* harus memenuhi persamaan Maxwell, geometri dari *rectangular cavity* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rectangular Cavity Resonator

Persamaan gelombang pada *rectangular resonator* harus memenuhi kondisi batas dari tangensial nol dari E pada keempat dinding *cavity*. Ini diperlukan untuk memilih fungsi harmonik pada sumbu z untuk memenuhi kondisi pada dinding lainnya di kedua ujung. Persamaan ini dapat dipenuhi jika :

$$H_z = H_{0z} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \sin\left(\frac{p\pi z}{d}\right) \quad (TE_{mnp}) \quad (2.1)$$

Dimana: $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ menunjukkan jumlah periodik setengah gelombang pada sumbu x.

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$ menunjukkan jumlah periodik setengah gelombang pada sumbu y.

$p = 0, 1, 2, 3, \dots$ menunjukkan jumlah periodik setengah gelombang pada sumbu z.

dan,

$$E_z = E_{0z} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \cos\left(\frac{p\pi z}{d}\right) \quad (TM_{mnp}) \quad (2.2)$$

Dimana: $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ menunjukkan jumlah periodik setengah gelombang pada sumbu x.

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$ menunjukkan jumlah periodik setengah gelombang pada sumbu y.

$p = 0, 1, 2, 3, \dots$ menunjukkan jumlah periodik setengah gelombang pada sumbu z .

Persamaan pemisah untuk mode TE dan TM dapat ditulis :

$$k^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{d}\right)^2 \quad (2.3)$$

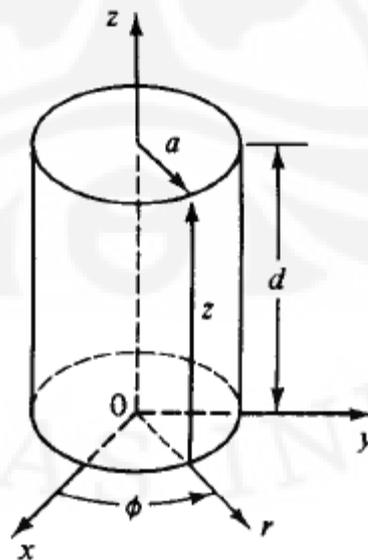
Untuk lossless dielektrik, $k^2 = \omega^2 \mu \epsilon$, oleh karena itu frekuensi resonan dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$f_r = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \quad (TE_{mnp}, TM_{mnp}) \quad (2.4)$$

Untuk $a > b < d$, mode dominan dari resonator ini adalah mode TE_{101} .

2.2.2. Cylindrical Cavity Resonator

Cylindrical cavity resonator adalah *cylindrical waveguide* dengan kedua ujungnya di tutup oleh dinding konduktor (Gambar 2.8). Fungsi gelombang dalam *circular resonator* harus memenuhi persamaan Maxwell.



Gambar 2.8 Cylindrical Cavity Resonator

Sama seperti persamaan gelombang pada *rectangular resonator*, pada *cylindrical resonator* persamaan gelombang harus memenuhi kondisi batas dari tangensial nol dari E pada keempat dinding *cavity*. Ini diperlukan untuk memilih fungsi harmonik pada sumbu z untuk memenuhi kondisi pada dinding lainnya di kedua ujung. Persamaan ini dapat dipenuhi jika :

$$H_z = H_{0z} J_n \left(\frac{X'_{np} r}{a} \right) \cos(n\phi) \sin \left(\frac{q\pi z}{d} \right) \quad (TE_{npq}) \quad (2.5)$$

Dimana: $n = 0,1,2,3,\dots$ menunjukkan jumlah periodik setengah gelombang pada ϕ .

$p = 0,1,2,3,\dots$ menunjukkan jumlah pembuat nol pada medan di radial.

$q = 0,1,2,3,\dots$ menunjukkan jumlah setengah gelombang pada sumbu aksial.

J_n = fungsi Bessel tingkat pertama.

H_{0z} = Amplitudo dari medan magnet.

Dan,

$$E_z = E_{0z} J_n \left(\frac{X_{np} r}{a} \right) \cos(n\phi) \cos \left(\frac{q\pi z}{d} \right) \quad (TM_{npq}) \quad (2.6)$$

Dimana: $n = 0,1,2,3,\dots$ menunjukkan jumlah periodik setengah gelombang pada ϕ .

$p = 0,1,2,3,\dots$ menunjukkan jumlah pembuat nol pada medan di radial.

$q = 0,1,2,3,\dots$ menunjukkan jumlah setengah gelombang pada sumbu aksial.

E_{0z} = Amplitudo dari medan listrik

Persamaan lain untuk TE dan TM masing-masing adalah:

$$k^2 = \left(\frac{X'_{np}}{a} \right)^2 + \left(\frac{q\pi}{d} \right)^2 \quad (\text{mode TE}) \quad (2.7)$$

$$k^2 = \left(\frac{X_{np}}{a} \right)^2 + \left(\frac{q\pi}{d} \right)^2 \quad (\text{mode TM}) \quad (2.8)$$

Untuk lossless dielektrik, $k^2 = \omega^2 \mu \epsilon$, oleh karena itu frekuensi resonan dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{X'_{np}}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{d}\right)^2} \quad (\text{mode TE}) \quad (2.9)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{X_{np}}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{d}\right)^2} \quad (\text{mode TM}) \quad (2.10)$$

Mode dominan dari cavity jenis isi adalah TM_{110} dimana pada saat $2a > d$, dan TM_{111} pada saat $d \geq 2a$.

2.3. FAKTOR KUALITAS (Q)

Faktor kualitas atau biasa disebut Q, adalah ukuran untuk daya yang hilang pada sistem gelombang pendek atau dapat ditulis seperti

$$Q = \omega \frac{(\text{energi tersimpan rata-rata})}{(\text{energi hilang perdetik})}$$

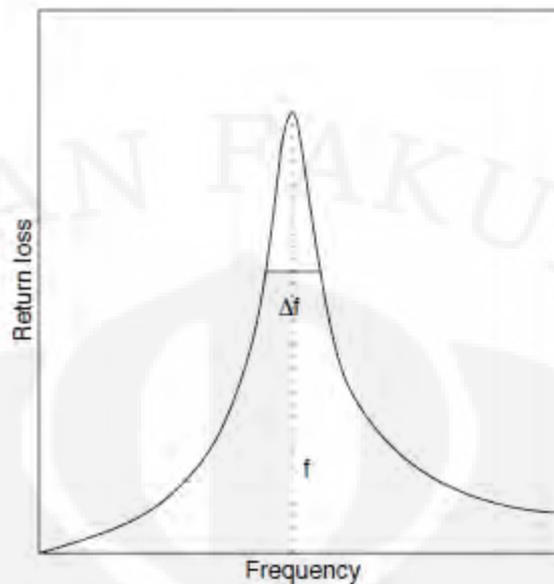
Untuk sebuah resonator gelombang pendek, rugi-rugi dapat terdiri dari empat macam yaitu, rugi-rugi dielektrik, rugi-rugi konduksi, rugi-rugi radiasi, rugi-rugi dari luar. Sehingga dapat ditulis besar Q_d (rugi-rugi dielektrik), Q_c (rugi-rugi konduksi) dan Q_r (rugi-rugi radiasi) seperti pada persamaan

$$Q_d = 2\pi \frac{W_1}{P_d T} = \frac{\omega_0 W_1}{P_d}, Q_c = \frac{\omega_0 W_1}{P_c}, Q_r = \frac{\omega_0 W_1}{P_r} \quad (2.10)$$

Dimana W_1 adalah total energy listrik yang tersimpan di dalam resonator. ω_0 adalah frekuensi resonan angular, P_d , P_c dan P_r merepresentasikan power yang hilang di dalam dielektrik, konduktor dan radiasi.

Nila faktor kualitas bias didapatkan dari frekuensi resonan dan *bandwidth* setengah daya (-3dB) Δf dari mode resonan TE_{011} (Gambar 2.9)

$$Q = \frac{f}{\Delta f} \quad (2.11)$$



Gambar 2.9 Frekuensi resonan dan 3 dB *bandwidth*.

Bandwidth dari resonator adalah berbanding terbalik dengan nilai faktor kualitas, oleh karena itu dengan nilai Q yang besar maka akan didapatkan *bandwidth* yang lebih sempit.

Dengan menggunakan filter *cavity*, nilai faktor kualitas dari filter akan menjadi semakin besar. Penambahan orde yang dilakukan pada filter *cavity* juga akan menyebabkan nilai dari faktor kualitas semakin bertambah, sehingga atenuasi di frekuensi lain akan menjadi semakin besar. Akan tetapi penambahan orde pada filter *cavity* akan menyebabkan bertambahnya rugi-rugi akibat dinding konduktor yang semakin luas.

2.4. MATERIAL DIELEKTRIK

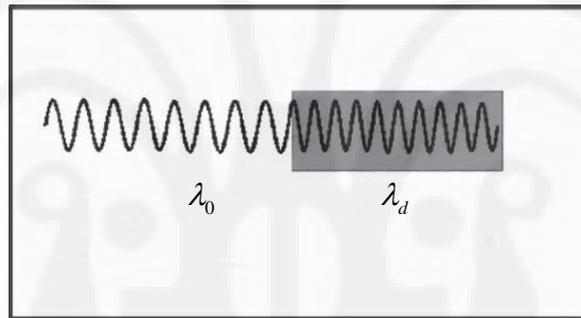
Suatu material dielektrik yang mempunyai nilai permitivitas yang tinggi dan memiliki faktor kualitas (Q) yang tinggi dapat digunakan untuk menyimpan suatu energi. Karakteristik dari keramik dielektrik yang paling penting antara lain, permitivitas (ϵ_r) yang tinggi untuk aplikasi pada resonator dan permitivitas rendah untuk aplikasi gelombang pendek, dielektrik loss (loss tangent) yang rendah dan koefisien temperatur yang rendah[6].

Permitivitas relatif dari sebuah material akan menunjukkan seberapa besar penyimpanan energy oleh dielektrik tersebut pada saat beda potensial dilewatkan

ke padanya. Untuk meminiaturisasi rangkaian gelombang, dielektrik material dengan nilai permitivitas relatif yang tinggi. Nilai permitivitas yang tinggi akan meminiaturisasi rangkaian dikarenakan panjang gelombang pada bahan dielektrik berbanding terbalik dengan akar kuadrat dari nilai permitivitas dari dielektrik itu sendiri seperti ditunjukkan pada persamaan[7]:

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.12)$$

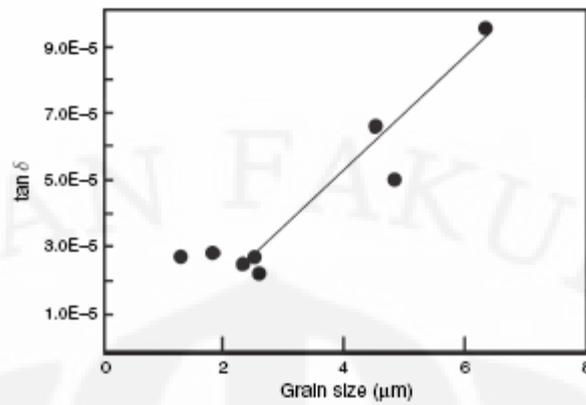
Dimana λ_d adalah panjang gelombang pada dielektrik sedangkan λ_0 adalah panjang gelombang di ruang hampa. Nilai permitivitas dari suatu material akan menentukan kecepatan relative dari sinyal elektrik yang melintasi bahan dielektrik tersebut.



Gambar 2.10 Perbedaan λ_d dan λ_0

Alumunium Oksida (alumina) adalah salah satu contoh dari material dielektrik. Alumina memiliki titik leleh yang sangat tinggi yaitu sekitar 2050 °C dengan nilai permitivitas sekitar 10, selain itu memiliki konduktivitas termal yang relative tinggi dan dielektrik loss yang rendah.

Faktor yang sangat menentukan untuk membuat sebuah keramik alumina adalah kemurnian bubuk oksida alumina itu sendiri[8]. Kehalusan dari alumina akan menentukan besar dielektrik loss, semakin halus alumina akan menyebabkan nilai dielektrik loss menjadi semakin kecil seperti pada Gambar 2.10 [8]:



Gambar 2.11 Loss tangent Alumina

BAB 3

PERANCANGAN FILTER CAVITY SILINDRIS YANG DIBEKANI DIELEKTRIK MATERIAL DAN SIMULASI

3.1. UMUM

Pada skripsi ini akan dirancang filter 900 MHz dengan jenis filter yang digunakan adalah filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material, dengan *cavity* berbentuk silinder dan menggunakan bahan dielektrik Alumina 96 yang memiliki permitivitas 9,4 dan nilai *loss tangent* 0,006. Keuntungan dari filter rancangan ini adalah dapat dipergunakan dengan daya masukan yang lebih besar dibandingkan jenis filter yang lain, serta memiliki *bandwidth bandpass* yang sempit dan nilai Q (faktor kualitas) yang besar.

Tahapan dalam perancangan filter ini adalah penentuan ukuran *cavity* yang akan digunakan, penentuan bahan dielektrik yang ditambahkan ke dalam *cavity*, lalu beberapa karakterisasi yang digunakan setelah *cavity* dibentuk orde dua dan orde empat.

3.2. PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN

Perangkat lunak yang digunakan adalah :

- a. Perangkat lunak Ansoft HFSS versi 11 untuk simulasi filter.

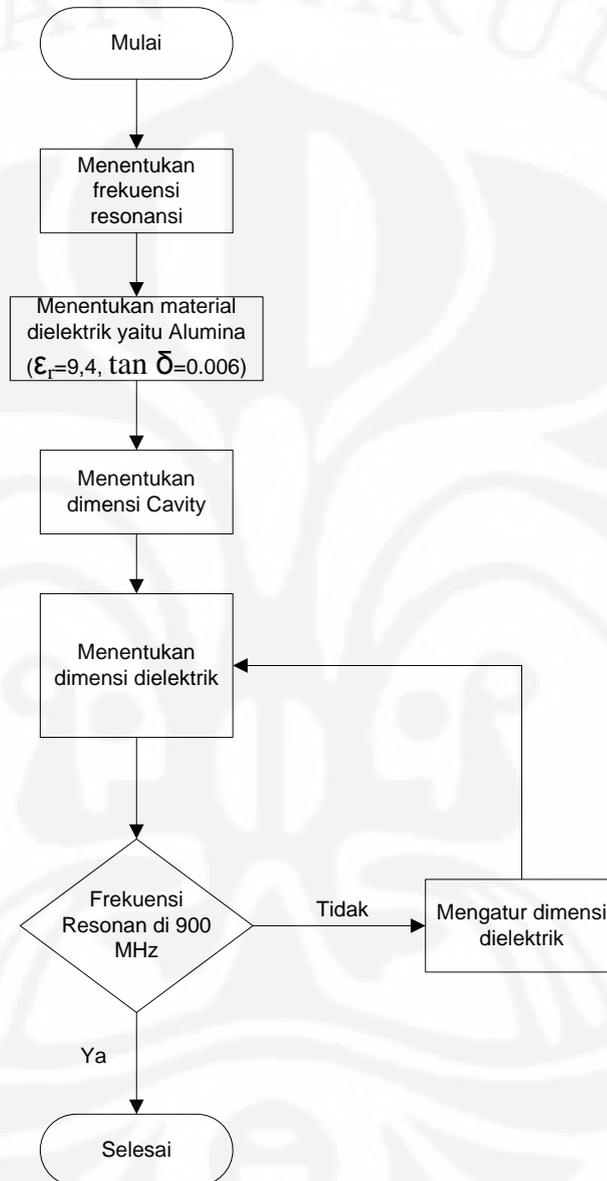
3.3. PERANCANGAN CAVITY TUNGGAL BENTUK SILINDER

3.3.1. Menentukan Karakteristik Filter

Pada rancangan ini, filter yang diinginkan mampu bekerja pada frekuensi resonansi 900 MHz dengan *bandwidth* kurang dari 100 MHz. Nilai frekuensi resonansi dan *bandwidth* ini akan menjadi nilai parameter utama dalam menentukan parameter lainnya seperti halnya ukuran *cavity*. Pada rentang frekuensi tersebut diharapkan filter ini memiliki nilai *insertion loss* $< 10\text{dB}$.

3.3.2. Perancangan Dimensi *Cavity*

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



Gambar 3.1 Diagram Alir *Cavity*

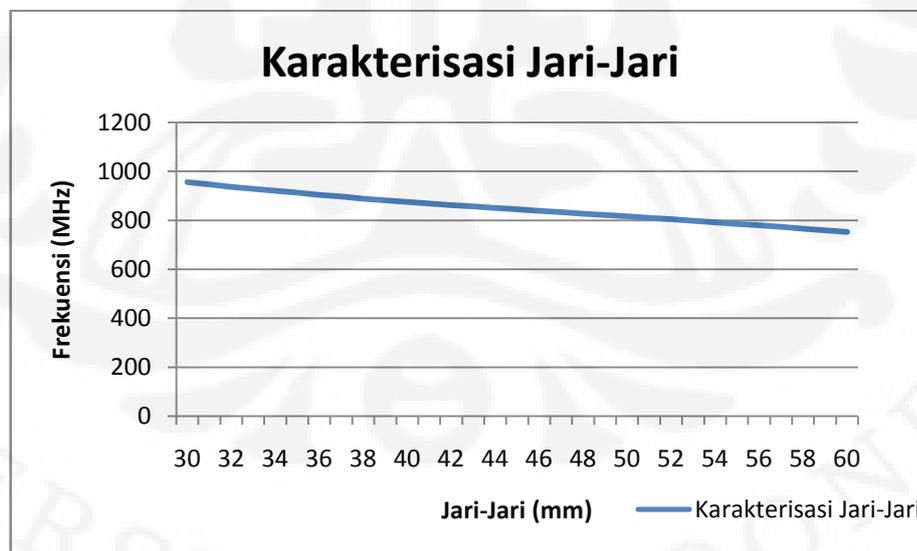
Filter yang akan dirancang pada penelitian ini adalah filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material yang mampu bekerja pada frekuensi 875 – 925 MHz. Perancangan awal dari *cavity* adalah dengan menggunakan formula dari *eigenvalues* untuk mencari frekuensi resonan pada mode dominan dengan melihat

dari nilai *eigenmode* dari dimensi *cavity* bentuk silinder tersebut. Dari perhitungan dan simulasi HFSS versi 11, didapatkan ukuran yang dapat dijadikan referensi untuk ukuran dari *cavity* tanpa dielektrik yaitu memiliki jari-jari 128 mm dan tinggi *cavity* 170 mm.

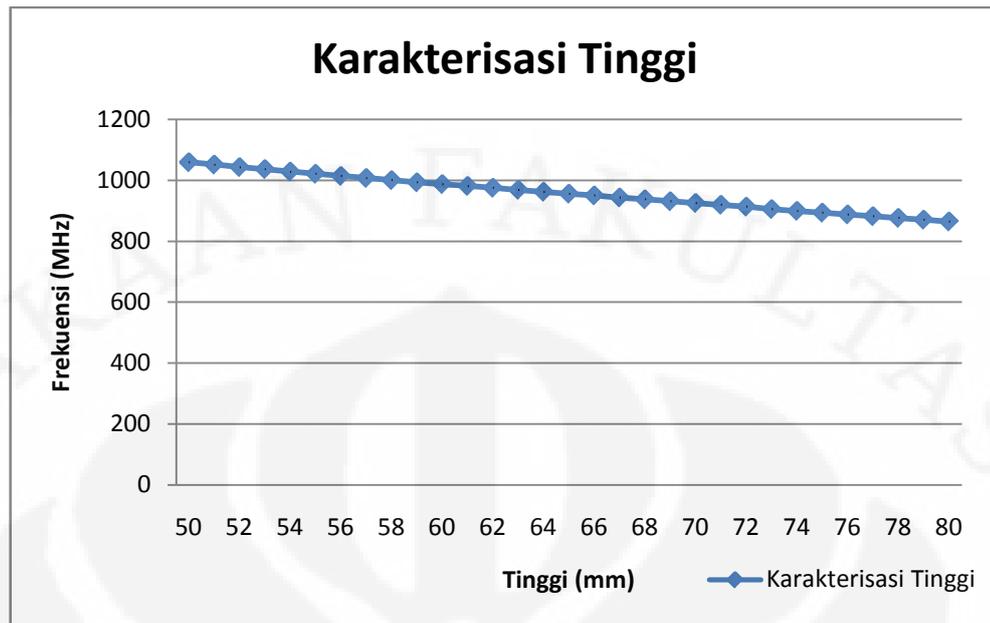
3.3.3. Karakterisasi Dielektrik *Cavity* Resonator

Secara teori umum, penambahan bahan dielektrik pada sebuah *cavity* berfungsi untuk meminiaturisasi ukuran dari *cavity* dan memperbesar nilai faktor kualitas (Q). Itu artinya, dengan menambahkan bahan dielektrik, ukuran *cavity* akan semakin kecil dan nilai shape factor akan mendekati nilai 1.

Gambar 3.2 dan gambar 3.3 memperlihatkan karakteristik dari rancangan *cavity* dengan mengubah nilai jari-jari dielektrik dan tinggi dari dielektrik. Sedangkan parameter dari *cavity* tetap yaitu mempunyai tinggi 120 mm dan jari-jari sebesar 80 mm . Variasi jari-jari dan tinggi yang dilakukan adalah mulai dari 30 mm sampai 40 mm untuk jari-jari dan mulai 51 mm sampai dengan 80 mm untuk tinggi.



Gambar 3.2 Grafik karakterisasi jari-jari dielektrik dengan tinggi tetap 65 mm.

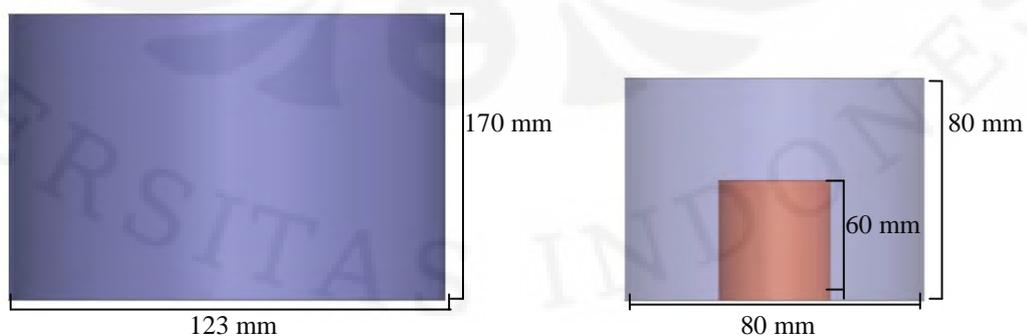


Grafik 3.3 Karakterisasi tinggi dielektrik dengan jari-jari tetap 30 mm.

Dari grafik tersebut terlihat bahwa iterasi yang dilakukan akan mempengaruhi nilai frekuensi resonan dan nilai dari faktor kualitas. Nilai frekuensi resonan dan faktor kualitas akan semakin tinggi jika ukuran dielektrik semakin besar.

Setelah melakukan karakterisasi tersebut didapatkan nilai optimum untuk ukuran *cavity* tunggal dengan ukuran dimensi *cavity* 80 mm untuk jari-jari dan tinggi, serta dengan ukuran dielektrik 30 mm pada jari-jari dan 65 mm untuk tinggi dielektrik. Dengan ukuran ini didapatkan nilai Q sebesar 392.446621.

Pada Gambar 3.1 dapat terlihat perbandingan antara *cavity* resonator tanpa dielektrik dan dengan dielektrik. Dengan menggunakan bahan dielektrik, jari-jari dan tinggi *cavity* menjadi semakin kecil.



Gambar 3.4 Perbandingan dimensi *cavity*

3.4. PERANCANGAN CAVITY ORDE DUA BENTUK SILINDER

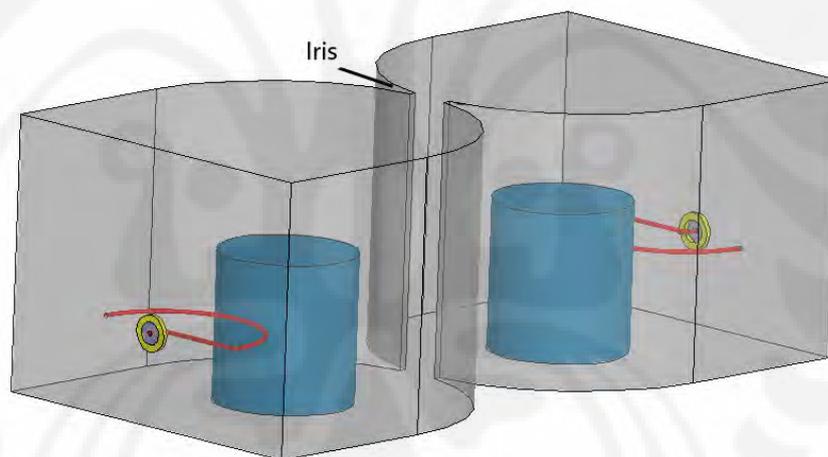
3.4.1. Pengaturan Jarak Antar *Cavity*

Pada perancangan *cavity* orde dua, jarak antar *cavity* yang digunakan adalah mendekati setengah gelombang dari frekuensi 900 MHz, dikarenakan diameter *cavity* yang sudah mencapai 160 mm, sehingga penambahan jarak hanya sedikit saja sekitar 2mm.

3.4.2. Karakterisasi *Cavity* Filter Orde Dua

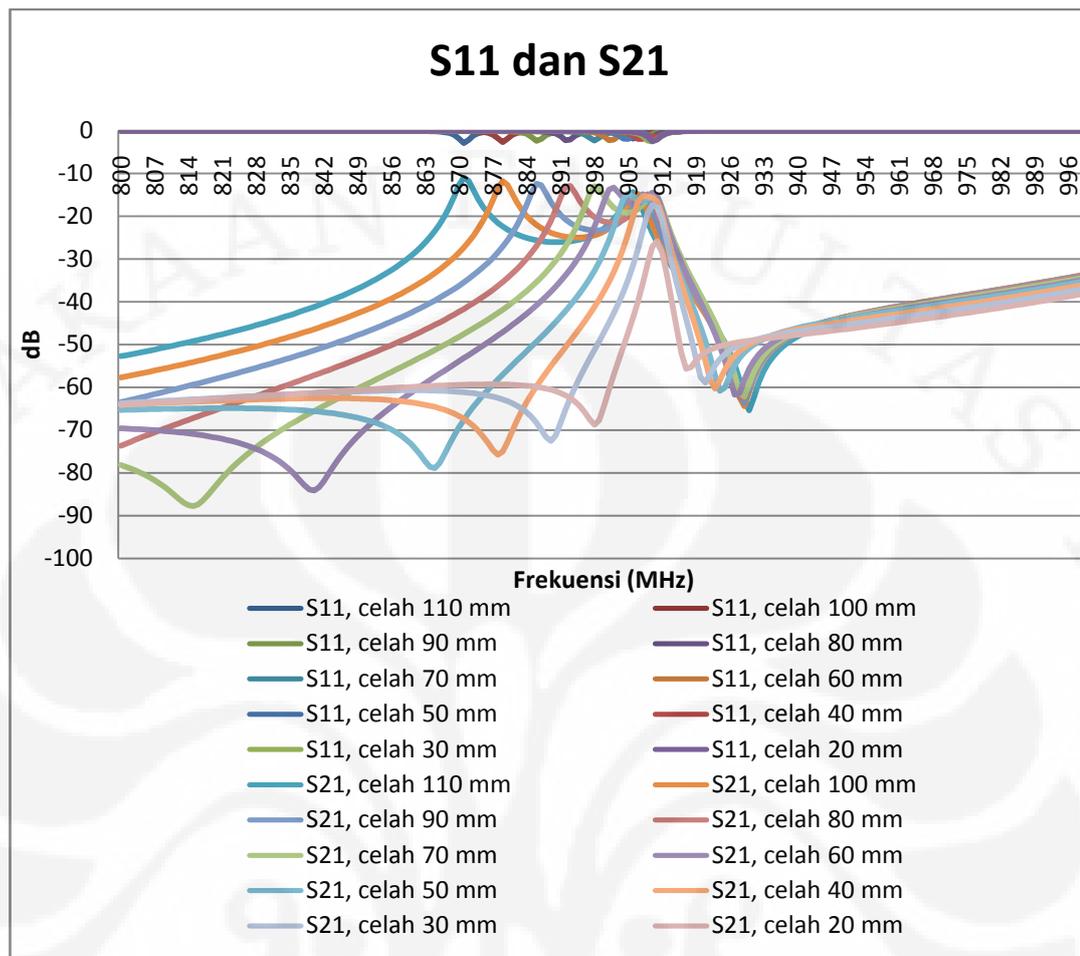
Untuk *cavity* orde dua, pengkarakterisasian dari rancangan tidak hanya untuk ukuran *cavity* dan bahan dielektrik, juga dilakukan karakterisasi lebar celah, posisi pencatu dan panjang pencatu.

A. Karakterisasi Lebar Celah *Cavity* Filter Orde Dua



Gambar 3.5 Pengaturan lebar celah

Gambar 3.6 memperlihatkan karakteristik dari rancangan *cavity* filter dengan hanya mengubah nilai dari lebar celah, dan semua parameter lain tetap. Variasi dari celah yang dibuat adalah mulai dari 20 mm sampai dengan 110 mm, seperti terlihat pada Gambar 3.5.

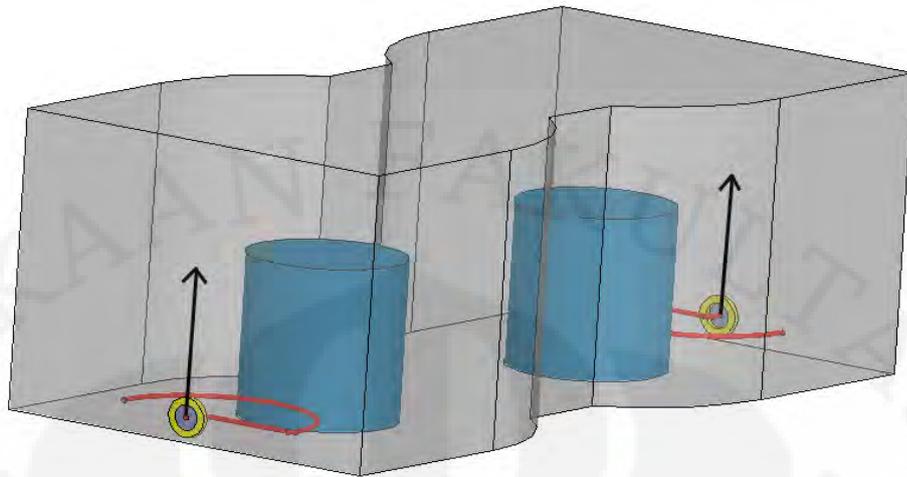


Gambar 3.6 Grafik Karakterisasi Celah

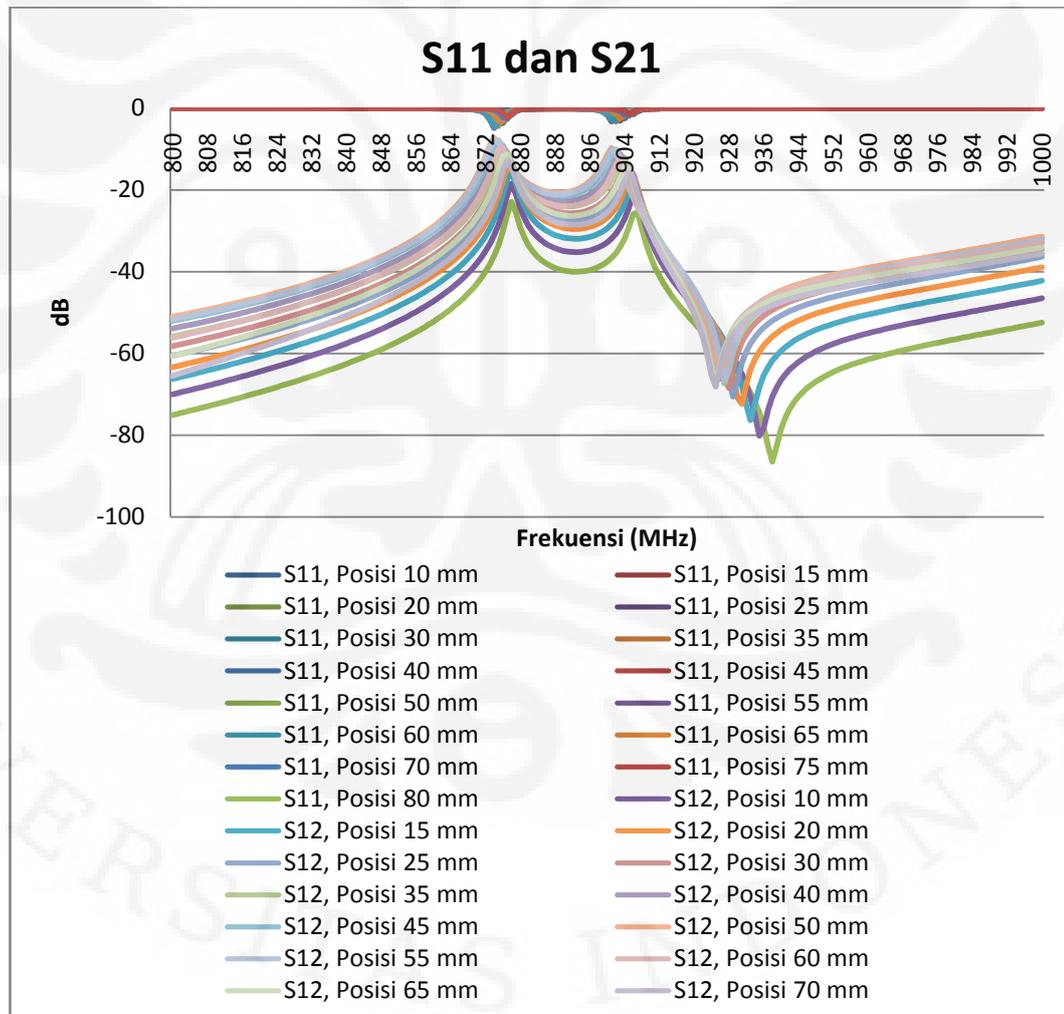
Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar celah pada *cavity* akan menyebabkan nilai dari frekuensi high-pass semakin turun ke frekuensi yang lebih rendah, dengan nilai dari frekuensi *low-pass* tetap di kisaran 910 MHz. Dapat disimpulkan dengan memvariasikan lebar celah akan menyebabkan berubahnya nilai frekuensi *high-pass cavity* filter.

B. Karakterisasi Posisi *Feeding* dan Panjang *Feeding*

Seperti terlihat pada Gambar 3.7, karakterisasi yang selanjutnya dilakukan adalah karakterisasi posisi *feeding*. Karakteristik dari penempatan posisi *feeding* dari filter dapat dilihat pada Gambar 3.8.

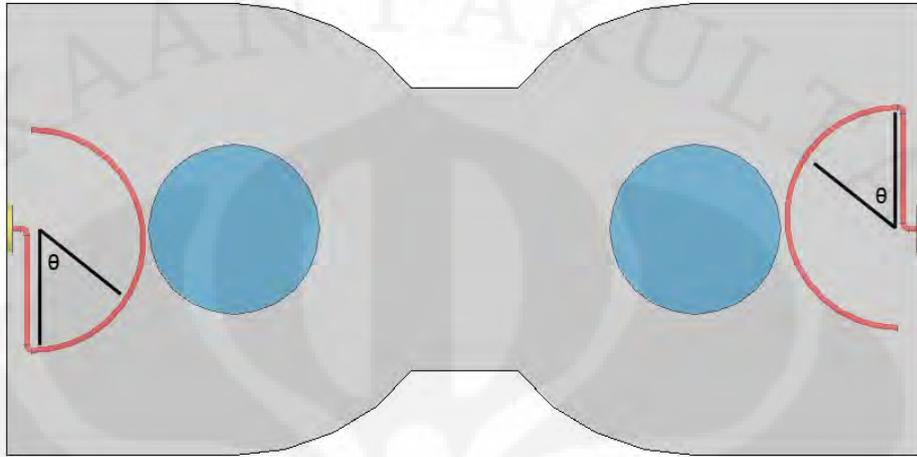


Gambar 3.7 Pengaturan posisi feeding



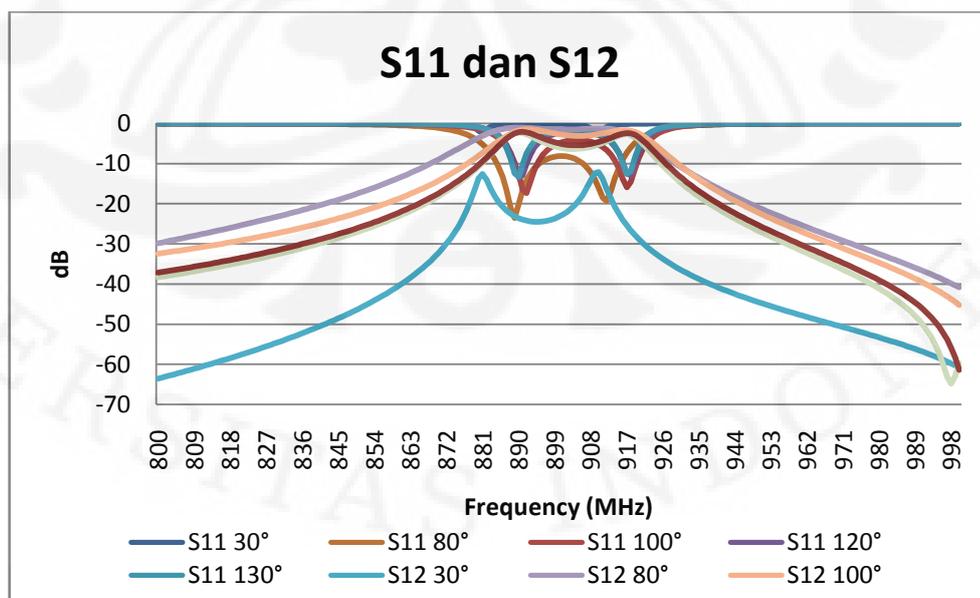
Gambar 3.8 Grafik Karakterisasi Posisi Feeding

Dapat terlihat bahwa semakin jauh dari dasar *cavity* akan menyebabkan nilai S_{11} turun dan nilai S_{21} akan naik sampai pada nilai 55 mm. Sehingga memvariasikan posisi feeding akan mempengaruhi kondisi matching.



Gambar 3.9 Pengaturan panjang feeding

Dengan mengatur panjang dari feeding (Gambar 3.9) akan menghasilkan nilai S_{11} yang lebih matching. Ini dapat dilihat pada Gambar 3.10, panjang dari feeding yang dibuat adalah mulai dari 30 derajat sampai 180 derajat. Bentuk yang dipilih untuk feeding adalah bentuk loop setengah lingkaran, ini dikarenakan dengan bentuk ini panjang yang dihasilkan akan lebih panjang, mengingat untuk karakteristik panjang feeding mencapai panjang sebesar lambda.



Gambar 3.10 Grafik Karakterisasi panjang feeding

3.4.3. Hasil Simulasi Sementara *Cavity* Filter Orde Dua

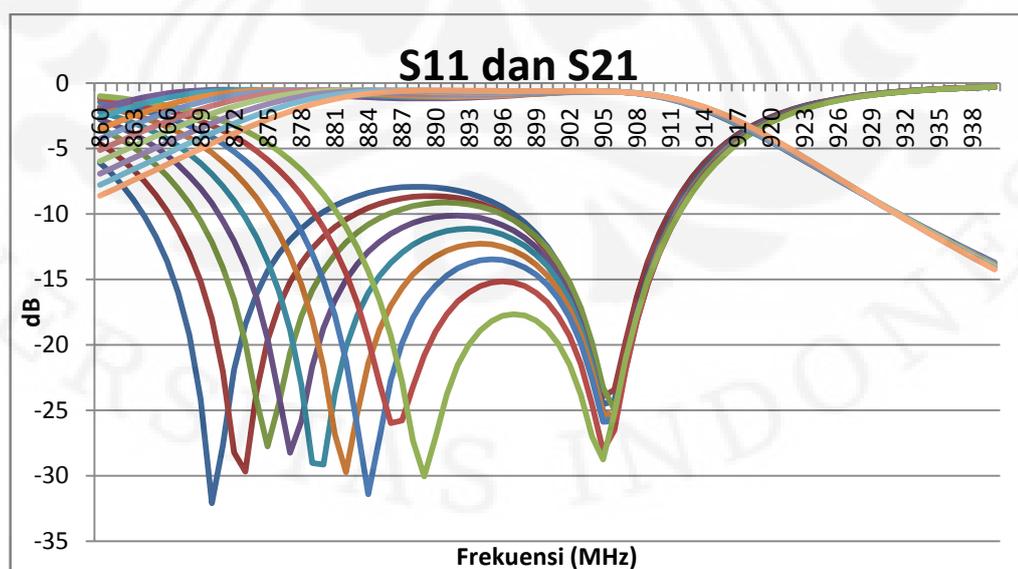
Setelah dilakukan karakterisasi. Didapatkan hasil sementara *cavity* orde dua seperti pada tabel 3.1:

<i>Cavity</i>	Jari-jari	80 mm
	Tinggi	80 mm
	Celah	100 mm
Dielektrik	Jari-Jari	30 mm
	Tinggi	65 mm
Feeding	Posisi Feeding	55 mm
	Sudut	80

Tabel 3.1 Ukuran Filter Sementara

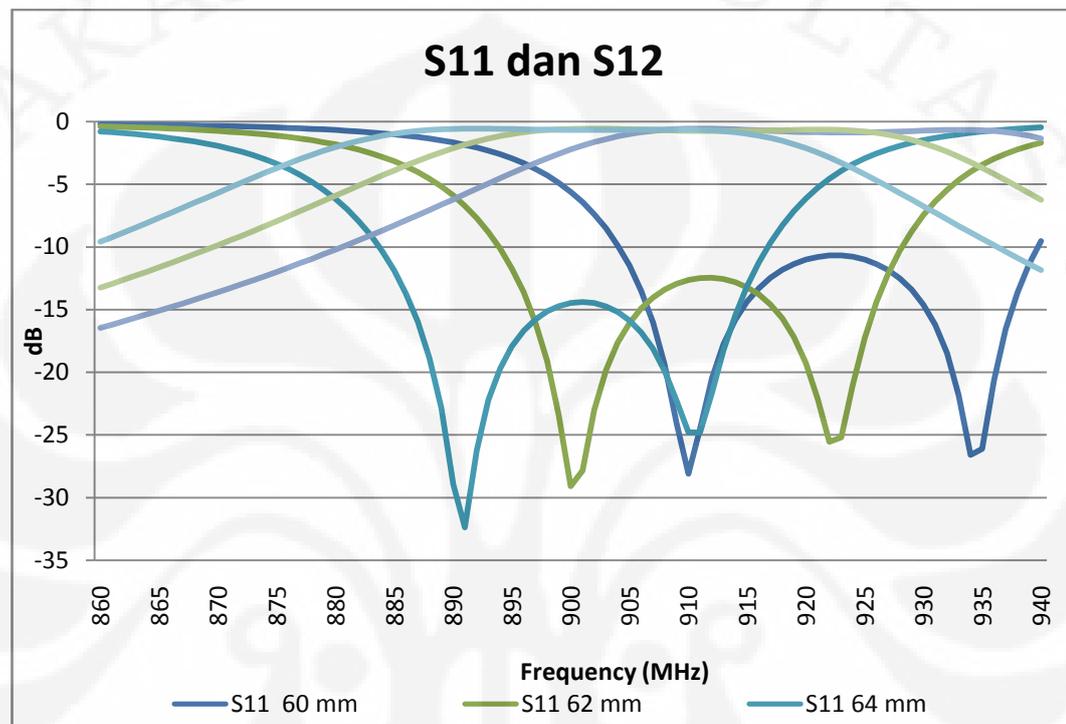
Dari hasil simulasi sementara tersebut diperlukan beberapa perubahan seperti lebar *bandwidth* dan frekuensi resonan.

Untuk mengubah lebar bandwidth dilakukan lagi karakterisasi variasi lebar dari celah *cavity*. Pada Gambar 3.11 didapatkan bahwa besar celah yang diperlukan untuk mencapai lebar bandwidth sebesar 50MHz adalah sebesar 106 mm.



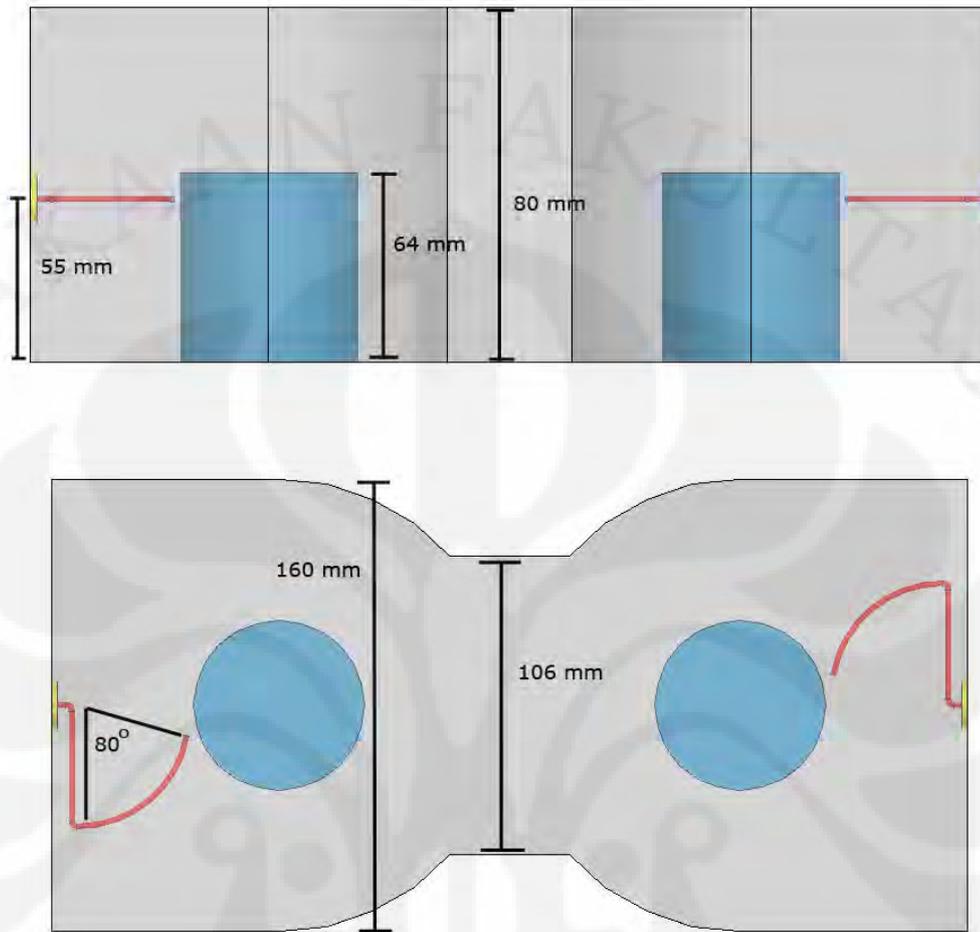
Gambar 3.11 Grafik Karakterisasi Akhir Celah *Cavity* Orde dua

Untuk menggeser frekuensi resonan ke frekuensi yang lebih tinggi dilakukan karakterisasi perubahan tinggi dari bahan dielektrik. Pada Gambar 3.12 terlihat tinggi dielektrik yang diperlukan untuk mendapatkan frekuensi tengah 900 MHz adalah 64 mm.



Gambar 3.12 Grafik Karakterisasi Akhir Tinggi Dielektrik *Cavity* Orde dua

Gambar 3.13 merupakan geometri akhir hasil rancangan *cavity* orde dua setelah mengalami karakterisasi lebar celah dan tinggi dielektrik. Pengamatan pada parameter S11, S21, Insertion loss, shape factor dan ripple dapat terlihat pada Gambar 3.14.

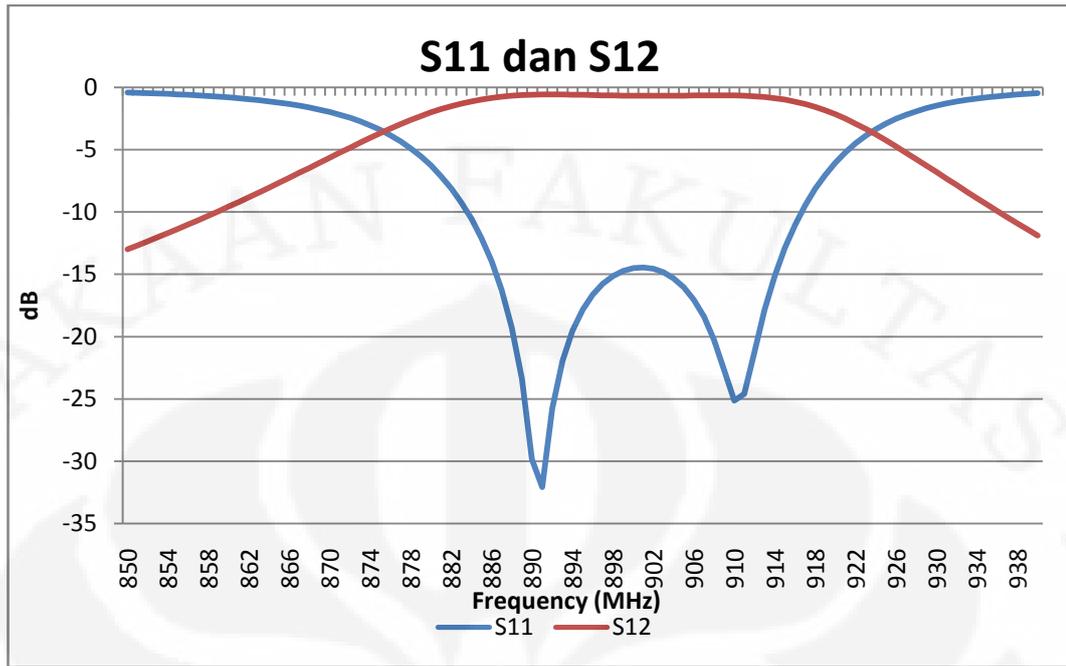


Gambar 3.13 Dimensi Akhir *Cavity* Orde dua

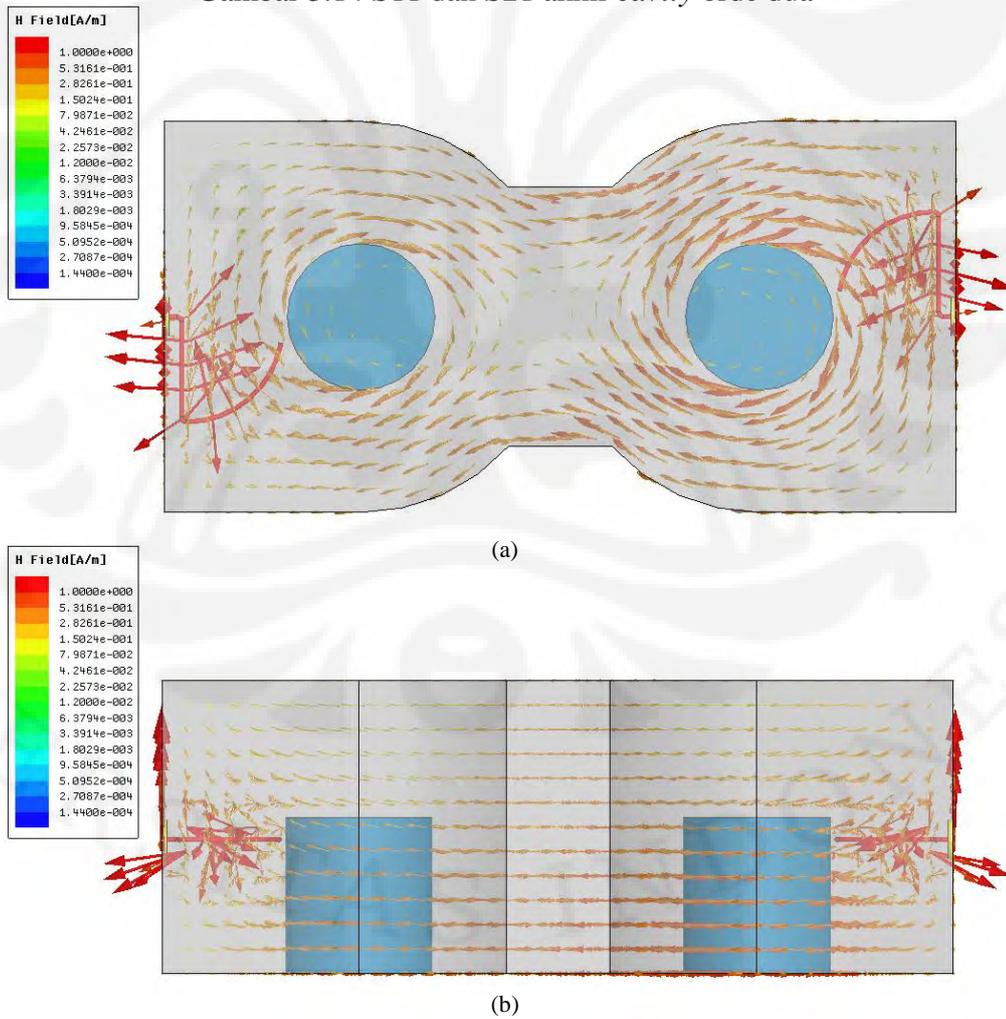
Pada Gambar 3.14 dapat terlihat bahwa lebar bandwidth yang didapat adalah sebesar 50 MHz, nilai dari *insertion loss* yang didapat adalah sebesar 0.567 dB, dengan *ripple* 0.111 dan nilai faktor kualitas 1915.45.

Dengan melakukan simulasi dengan eigenmode didapatkan nilai kualitas faktor (*Q*) semakin besar dibandingkan saat *cavity* tunggal.

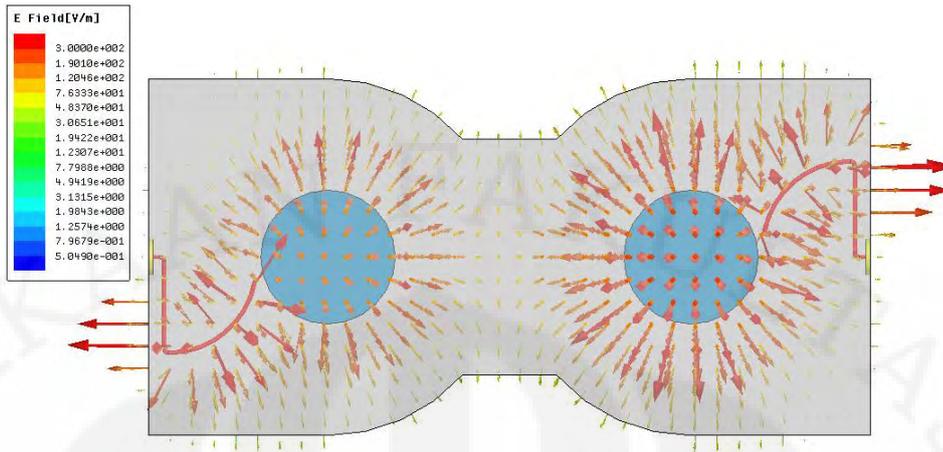
Gambar 3.15 dan 3.16 menunjukkan distribusi medan E dan H pada filter *cavity* orde dua.



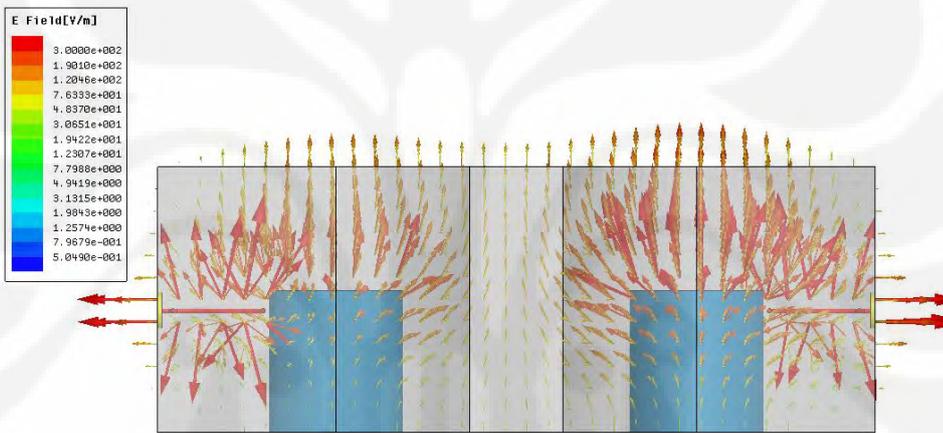
Gambar 3.14 S11 dan S21 akhir cavity orde dua



Gambar 3.15 Distribusi Medan H (a) tampak atas, (b) tampak samping



(a)



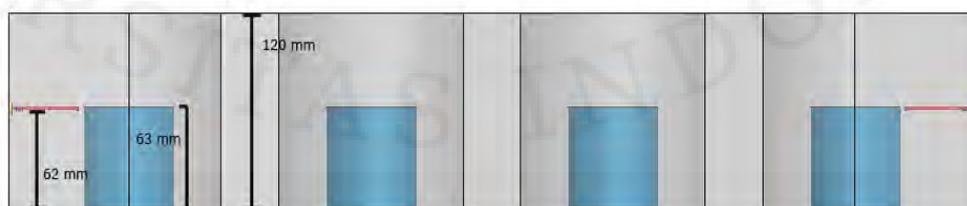
(b)

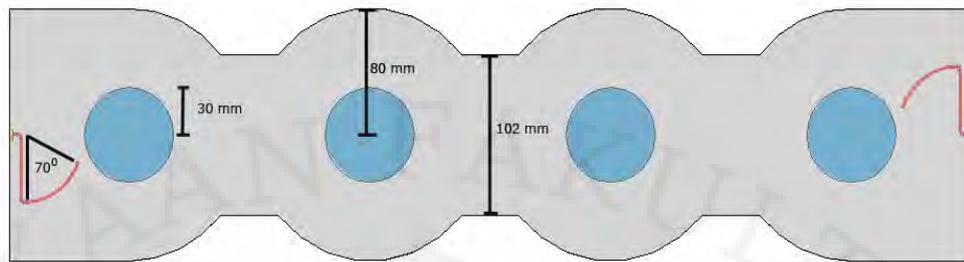
Gambar 3.16 Distribusi Medan E (a) tampak atas, (b) tampak samping

3.5. PERANCANGAN *CAVITY* FILTER ORDE EMPAT

3.5.1. Desain *Cavity* Filter Orde Empat

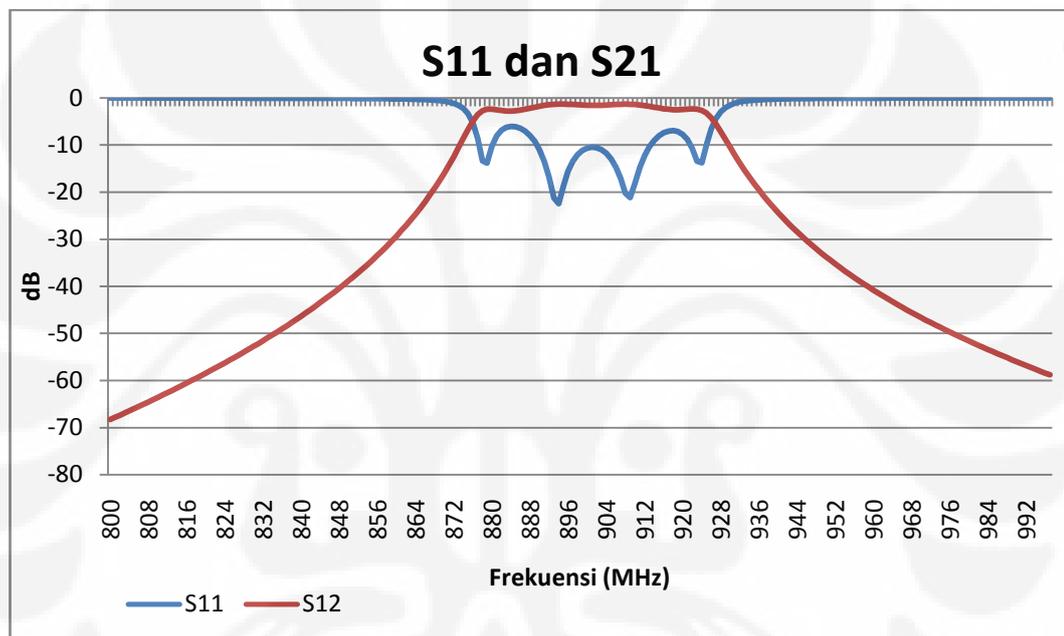
Cavity orde empat merupakan pengembangan dari *cavity* orde dua. Gambar 3.17 merupakan rancangan awal dari *cavity* orde empat.





Gambar 3.17 Desain awal dari *Cavity* Hubung Empat

Dari simulasi desain tersebut dapat terlihat hasil dari filter tersebut seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Grafik Hasil Simulasi Awal *Cavity* Orde Empat

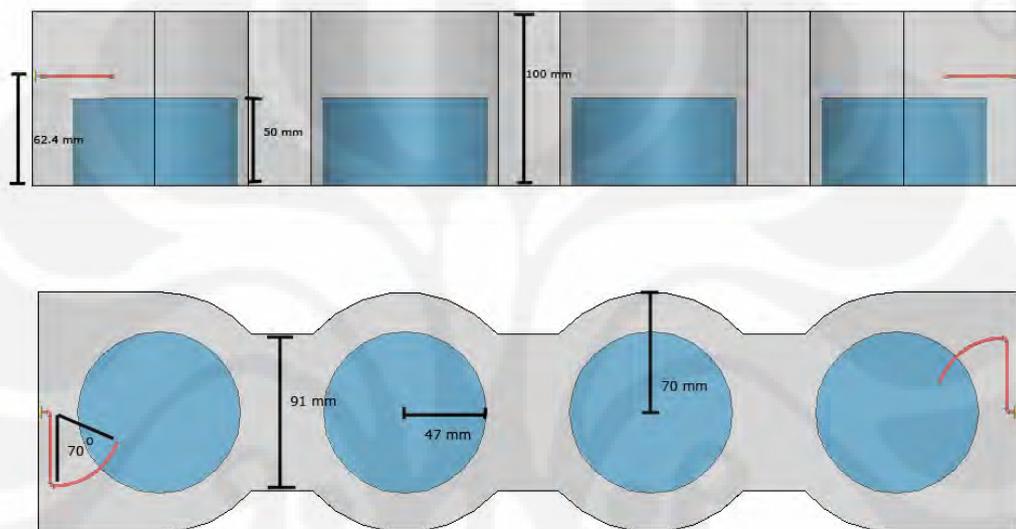
Dari Gambar 3.18 terlihat bahwa *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 49 MHz dengan besar *insertion loss* 1.364 dB dan *ripple* sebesar 1.548. nilai dari faktor kualitas juga terlihat lebih besar setelah melakukan simulasi *eigenmode* yaitu sebesar 2452.4.

3.5.2. Karakterisasi *Cavity* Filter Orde Empat

Hasil awal *cavity* orde empat dapat dikatakan sudah sesuai dengan spesifikasi awal, akan tetapi nilai *insertion loss* yang hampir mendekati 2 maka akan dilakukan karakterisasi akhir dari *cavity* orde empat ini.

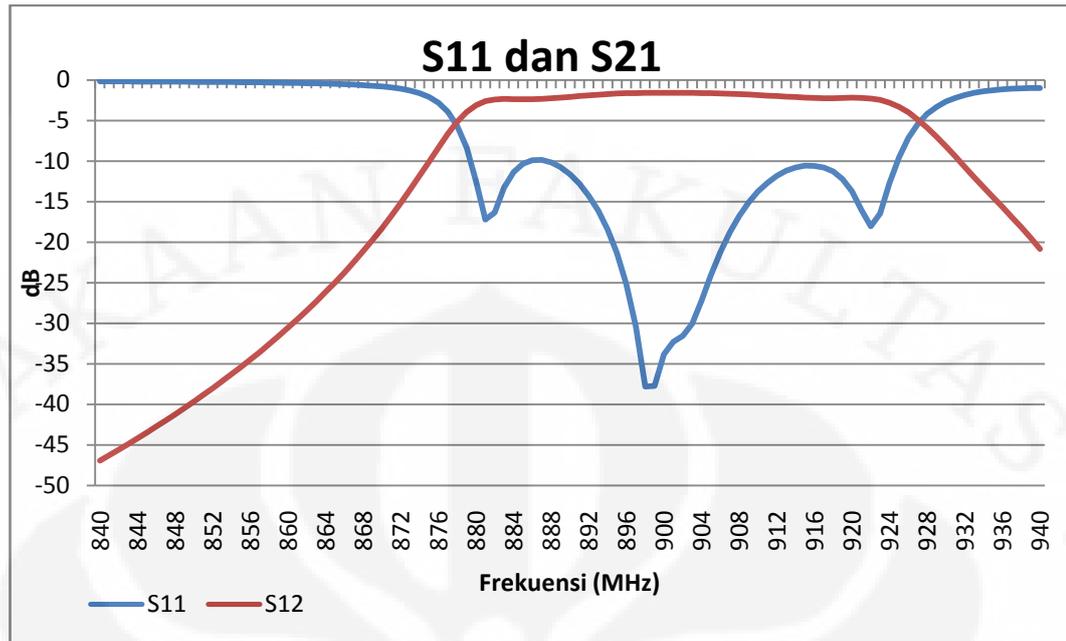
Proses karakterisasi hampir sama dengan proses karakterisasi *cavity* orde dua. Secara teori, karena dengan menggunakan empat buah *cavity* akan menyebabkan volume menjadi lebih besar sehingga frekuensi resonan akan semakin rendah, maka perlu dilakukan karakterisasi ukuran dielektrik. Dan juga dilakukan karakterisasi lebar celah untuk mendapatkan lebar bandwidth yang sesuai dan karakterisasi posisi dan panjang dari feeding.

Pada Gambar 3.19 dapat dilihat ukuran akhir dari *Cavity* orde empat.



Gambar 3.19 Desain akhir *cavity* orde empat

Dari Gambar 3.20 dapat terlihat hasil dari desain akhir dari *cavity* orde empat yang telah disimulasi. Filter tersebut memiliki nilai insertion loss yang lebih baik dibandingkan filter awal yaitu 1,574 dB, dengan ripple sebesar 0,832 dB dan faktor kualitas sebesar 1965,4.



Gambar 3.18 Grafik Hasil akhir *cavity* orde empat

Secara umum antara dua filter *cavity* orde empat tersebut memiliki shape faktor yang sama akan tetapi memiliki *insertion loss* dan *ripple* yang lebih baik.

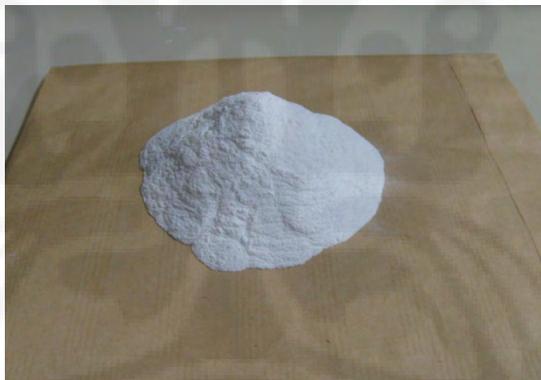
BAB 4

FABRIKASI DAN PENGUKURAN

Setelah desain filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material orde dua selesai dibuat dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS v.11*, kemudian filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material difabrikasi. Secara umum, dalam memfabrikasi filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material hal-hal yang perlu diperhatikan adalah fabrikasi *cavity* dan fabrikasi material keramik.

4.1 FABRIKASI CAVITY DAN DIELEKTRIK

Untuk membuat keramik Alumina, bubuk alumina (Gambar 4.1) dicampur dengan dopant Kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) yang merupakan salah satu jenis silikat (Gambar 4.2). Proses sintering di suhu $1000^\circ\text{-}1600^\circ\text{C}$ akan menjadikan campuran tersebut semakin kuat. Hasil fabrikasi keramik Alumina dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Alumina bubuk

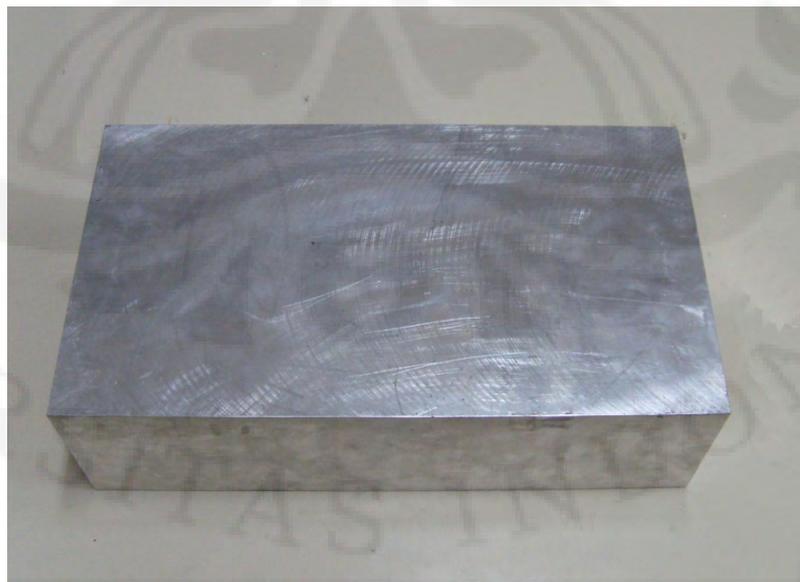


Gambar 4.2 Kaolin Bubuk



Gambar 4.3 Fabrikasi keramik Alumina

Alumunium yang digunakan untuk *cavity* adalah Alumunium 505 dengan ukuran 20cm x 35cm x 11cm (Gambar 4.4) yang mempunyai berat jenis sebesar $2,7 \text{ gr/cm}^3$.



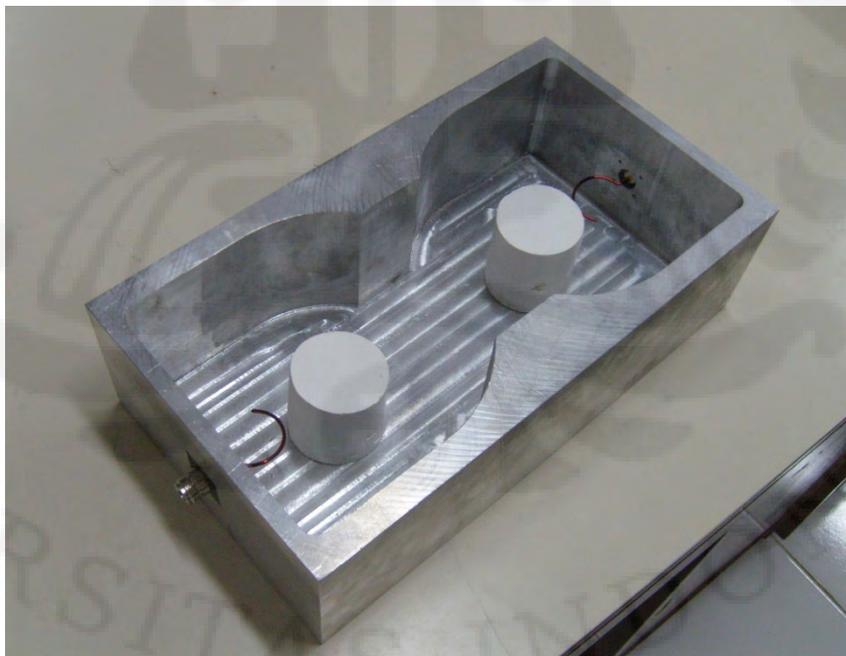
Gambar 4.4 Alumunium 505 Balok

Untuk membuat rongga di dalam alumunium tersebut digunakan mesin bubut (*lathe machine*) dengan panjang pahat yang disesuaikan dengan dimensi *cavity*.



Gambar 4.5 Alumunium setelah di bubut

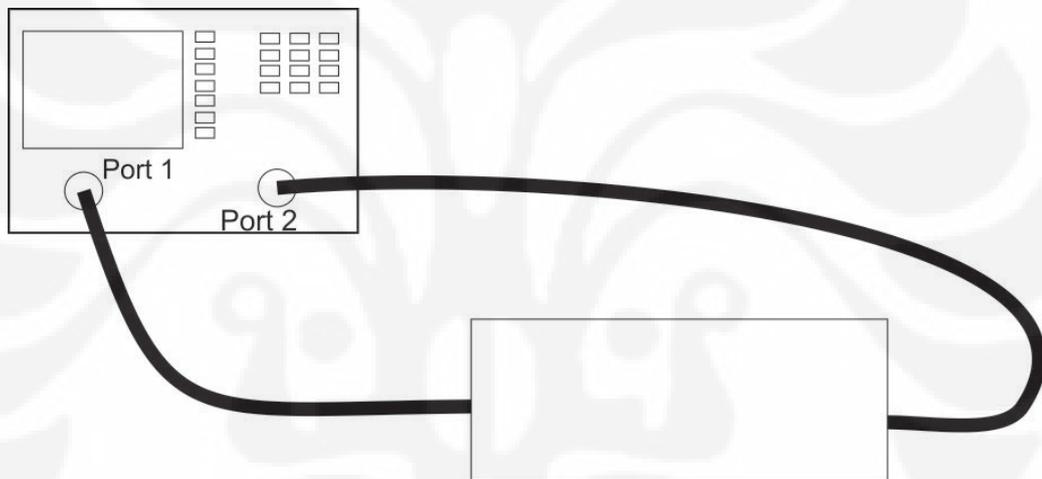
Hasil fabrikasi filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material dapat terlihat seperti pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material

4.2. PENGUKURAN FILTER

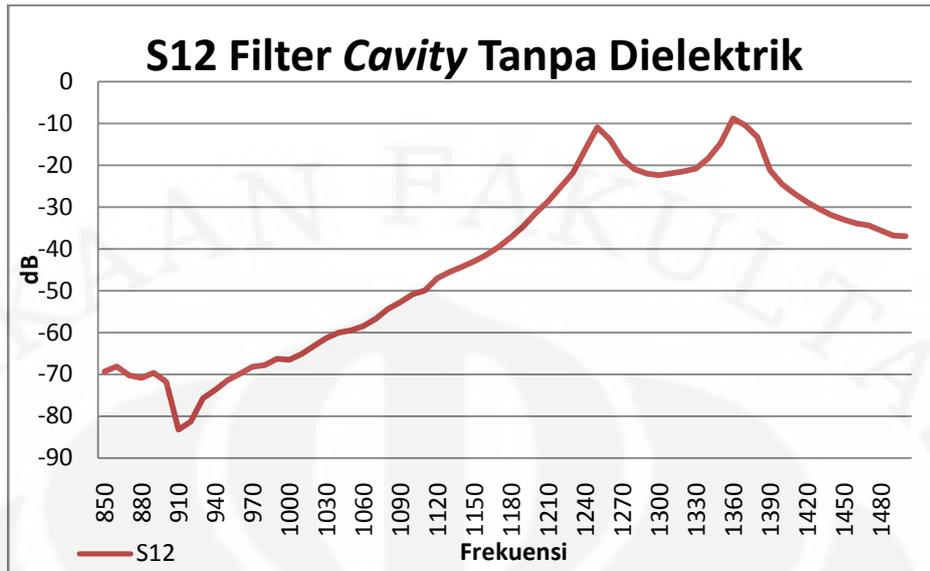
Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran S-parameter dengan menggunakan *Network Analyzer*. Untuk mendapatkan nilai S-parameter (S_{11} dan S_{21}) pengukuran dilakukan dengan menghubungkan port 1 pada *Network Analyzer* dengan salah satu konektor N pada filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material dan menghubungkan port 2 *Network Analyzer* pada konektor lainnya seperti pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Prosedur Pengukuran

4.2.1. Pengukuran Filter *Cavity* Tanpa Dielektrik

Alumunium balok yang sudah dibubut kemudian akan diukur dengan menggunakan *Network Analyzer* untuk mengetahui frekuensi resonannya. Karena pada saat merancang dengan bantuan *software* tidak dilakukan karakterisasi saat *cavity* tidak menggunakan keramik dielektrik, nilai S_{11} dan S_{12} tidak akan maksimal dikarenakan posisi *feeding* sudah tetap, sehingga yang diukur pada filter *cavity* tanpa keramik dielektrik hanyalah mencari dimana frekuensi resonan pada mode dominan.



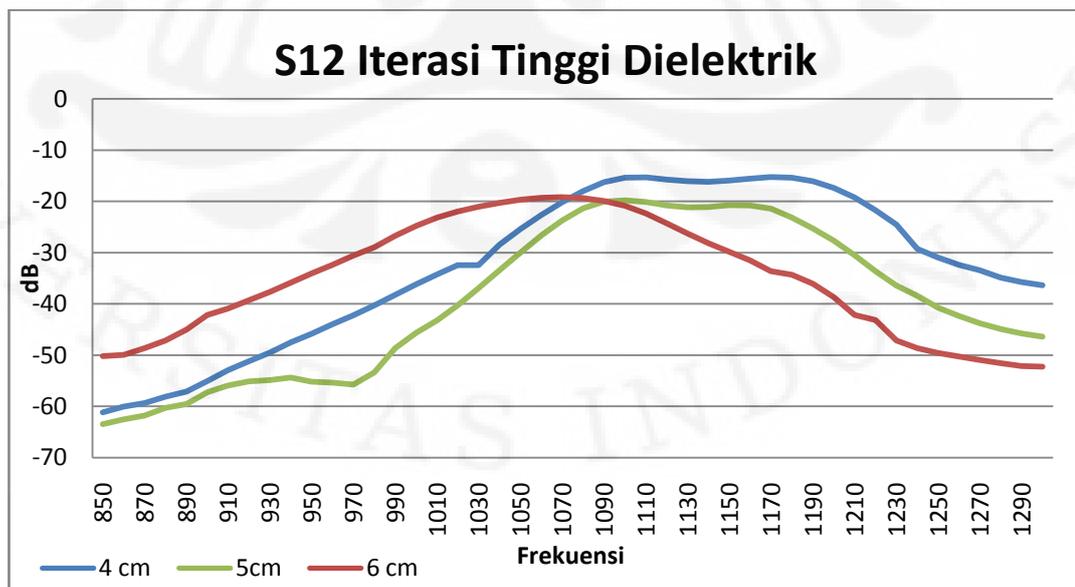
Gambar 4.8 Grafik S_{12} filter *cavity* tanpa keramik

Dengan mengukur parameter S_{12} , didapatkan frekuensi resonan pertama di sekitar frekuensi 1,29 GHz seperti terlihat pada Gambar 4.8.

4.2.2. Pengukuran Filter Cavity Dengan Melakukan Iterasi Tinggi Dielektrik

Dengan memfabrikasi beberapa keramik dengan tinggi berbeda diharapkan akan didapatkan nilai frekuensi tengah yang diinginkan.

Iterasi yang dilakukan adalah dengan menggunakan keramik dielektrik yang berbeda tinggi yaitu 4 cm, 5 cm dan 6 cm. karena posisi kawat tidak bias diubah-ubah maka nilai yang dibaca pada *Network Analyzer* hanyalah pada saat pengukuran S_{12} . Hasil pengukuran dapat terlihat pada Gambar 4.9.



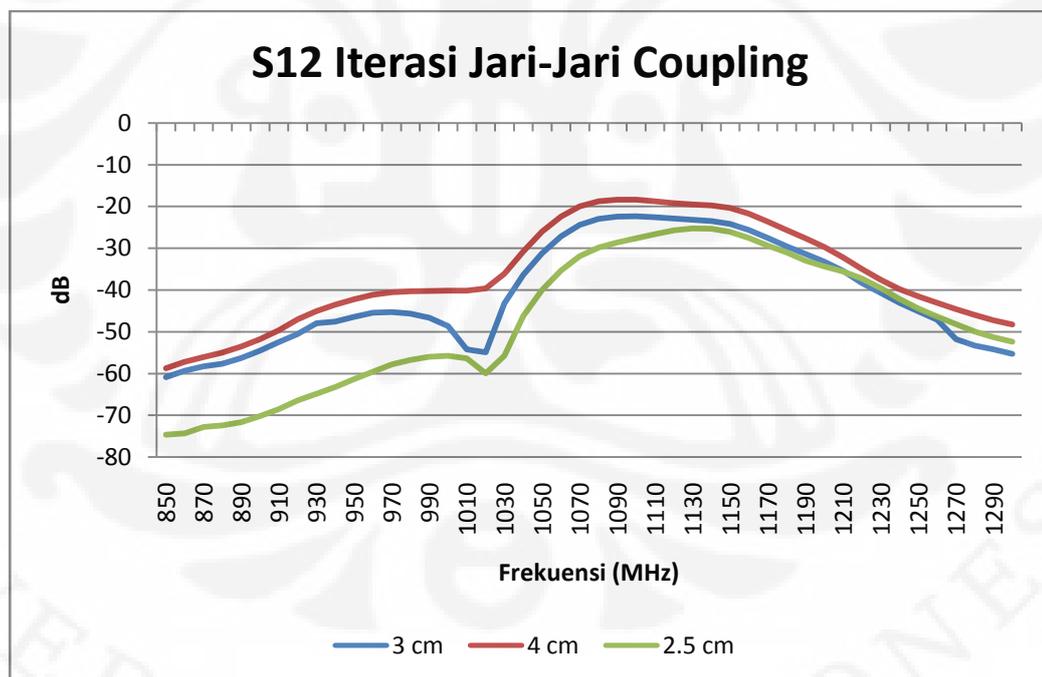
Gambar 4.9 Grafik Iterasi Tinggi Dielektrik

Terlihat bahwa dengan menggunakan bahan dielektrik yang lebih tinggi, akan menggeser frekuensi resonansi menuju frekuensi lebih rendah. Dengan menggunakan tinggi dielektrik 4 cm, frekuensi resonansi berada pada frekuensi 1150 MHz. kemudian pada saat diganti dengan bahan dielektrik yang lebih tinggi (5 cm dan 6 cm) frekuensi resonansi bergeser berturut-turut 1130 MHz dan 1050 MHz.

4.2.3. Pengukuran Filter Cavity Dengan Melakukan Iterasi Jari-Jari Coupling

Dengan menggunakan kawat tembaga N dengan jari-jari kawat sebesar 1 mm, dilakukan iterasi *coupling* untuk *feeding* dengan menggunakan jari-jari yang berbeda yaitu 2,5 cm, 3 cm, dan 4 cm.

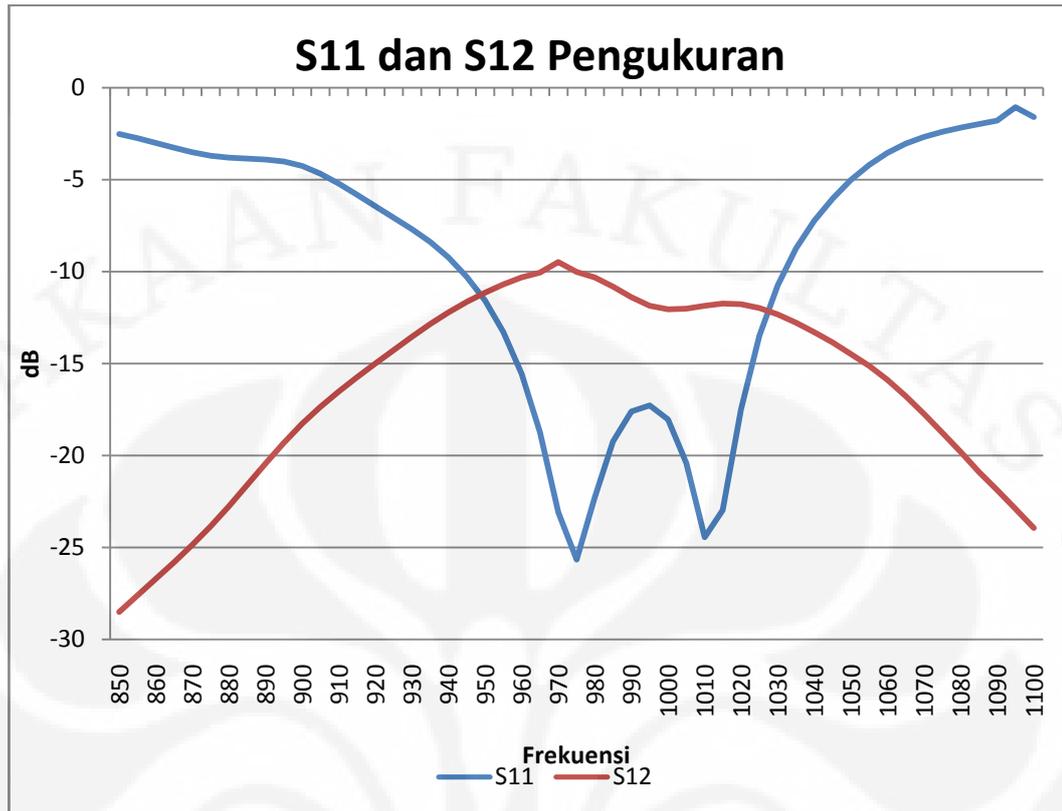
Gambar 4.10 menunjukkan grafik hasil dari iterasi coupling. Terlihat dengan mengubah jari-jari coupling akan menyebabkan berubahnya nilai matching dari filter.



Gambar 4.10 Grafik Iterasi Jari-Jari Coupling

4.2.4. Pengukuran Filter Cavity Orde Dua

Hasil pengukuran S-parameter filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material orde dua dapat terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengukuran

Dari gambar dapat terlihat bahwa frekuensi tengah dari filter berada pada 995 MHz dengan bandwidth 3 dB dari filter yaitu pada 940–1035 MHz atau dengan kata lain mempunyai bandwidth 95 MHz. Nilai insertion loss dari filter tersebut adalah 9,478 dB, dan ripple 2,532 dB.

Dari hasil pengukuran filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material tersebut dapat diketahui bahwa filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material mengalami pergeseran frekuensi sebesar 95 MHz, yaitu dari frekuensi tengah hasil dari simulasi sebesar 900 MHz menjadi 995 MHz.

4.3. ANALISIS FABRIKASI DAN HASIL PENGUKURAN

Secara garis besar ada beberapa penyebab yang menyebabkan hasil pengukuran filter *cavity* silindris yang dibebani dielektrik material tidak sesuai dengan hasil simulasi atau dengan kata lain mengalami pergeseran nilai. Penyebab-penyebab itu antara lain :

1. Nilai permitivitas (ϵ_r) alumina tidak sesuai dengan saat simulasi. Ini menyebabkan kurang bergesernya frekuensi resonan pada filter.

2. Serbuk alumina yang dipakai untuk membuat keramik memiliki ukuran yang tidak terlalu halus, seperti tertulis pada bab 2 bahwa ukuran serbuk sangat menentukan nilai *loss tangent* (dielektrik loss). Karena ukuran serbuk cukup besar menyebabkan nilai *loss tangent* besar, sehingga *bandwidth* yang dihasilkannya pun akan semakin besar. Ini juga menyebabkan nilai Q (faktor kualitas) menurun.
3. Pada saat melakukan sintering, suhu pembakaran hanya sampai 1200 °C sehingga keramik yang dihasilkan masih memiliki serpihan –serpihan alumina yang belum kering.
4. Alumunium yang digunakan untuk dijadikan *cavity* mempunyai nilai konduktivitas kecil, yang berarti nilai resistansi akan menjadi besar sehingga insertion loss sistem menjadi sangat besar.

BAB V

KESIMPULAN

1. Penggunaan bahan dielektrik di dalam sebuah *cavity resonator* dapat meminiaturisasi dimensi dari *cavity*.
2. Nilai dari Q (faktor kualitas) akan semakin besar jika menambah jumlah *cavity*.
3. Alumina dipilih karena memiliki permitivitas yang tinggi dan tahan terhadap temperatur yang tinggi. Selain itu dengan menggunakan Alumina tanpa dopant akan membuat biaya membuat keramik jauh lebih murah.
4. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai frekuensi bergeser dikarenakan nilai permitivitas alumina tidak sesuai dengan simulasi.
5. Dari pengukuran didapatkan lebar bandwidth dari filter sebesar 95 MHz dengan besar ripple 2,532 dB dan insertion loss 9,478 dB.

DAFTAR ACUAN

- [1] K. M. Luk and K. W. Leung (Eds). *Dielectric Resonator Antennas*. Research Studies Press Ltd, Baldock, Hertfordshire, UK (2002).
- [2] Carlson, A. Bruce, Crilly, Pul B., Rutledge, Janet C. *Communication Systems*. McGraw-Hill. 2002. Hal. 109
- [3] Bowick, Chris. *RF Design Circuit*. Nomnes. 2006. Hal. 23.
- [4] Liao, Samuel Y. *Microwaves Devices And Circuits*. Prentice Hall.
- [5] Pozar, David.M., *Microwave Engineering*, (USA: John Willey and Sons, 1998).
- [6] Sebastian, Mailadil. *Dielectric Materials for Wireless Communication*. 2006.
- [7] V. B. Bragisnsky and V. S. Ilschenko. Experimental observation of fundamental microwave absorption in high quality dielectric crystals. *Phys. Lett. A* 120(1987)300–305.
- [8] N. Mc N. Alford and S.J. Penn. *Sintered alumina with low dielectric loss*. *J. Appl. Phys.* 80(1996)5895–5898.

LAMPIRAN

A. Data Hasil Pengukuran Akhir

Frekuensi (MHz)	S_{11}	S_{12}
850	-2.524	-28.515
855	-2.75	-27.615
860	-3.005	-26.712
865	-3.272	-25.808
870	-3.51	-24.865
875	-3.69	-23.853
880	-3.8	-22.765
885	-3.851	-21.61
890	-3.899	-20.441
895	-4.005	-19.306
900	-4.257	-18.272
905	-4.669	-17.366
910	-5.207	-16.524
915	-5.816	-15.753
920	-6.441	-15.004
925	-7.062	-14.269
930	-7.694	-13.547
935	-8.387	-12.855
940	-9.214	-12.217
945	-10.279	-11.646
950	-11.57	-11.139
955	-13.279	-10.695

960	-15.557	-10.319
965	-18.727	-10.046
970	-23.093	-9.478
975	-25.656	-10.011
980	-22.286	-10.313
985	-19.237	-10.811
990	-17.61	-11.393
995	-17.274	-11.859
1000	-18.038	-12.055
1005	-20.415	-12.01
1010	-24.436	-11.851
1015	-22.961	-11.74
1020	-17.487	-11.771
1025	-13.496	-11.971
1030	-10.739	-12.323
1035	-8.736	-12.776
1040	-7.219	-13.291
1045	-6.016	-13.851
1050	-5.019	-14.485
1055	-4.199	-15.127
1060	-3.536	-15.892
1065	-3.037	-16.769
1070	-2.674	-17.738
1075	-2.401	-18.765
1080	-2.175	-19.818

1085	-1.972	-20.897
1090	-1.795	-21.887
1095	-1.06	-22.911
1100	-1.601	-23.941

B. Pengukuran Tanpa Dielektrik

Frekuensi (MHz)	S_{12}
850	-69.4
860	-68.2
870	-70.3
880	-70.9
890	-69.7
900	-71.8
910	-83.2
920	-81.3
930	-75.8
940	-73.7
950	-71.4
960	-69.9
970	-68.2
980	-67.8
990	-66.3
1000	-66.5
1010	-65.1
1020	-63.3

1030	-61.3
1040	-60.1
1050	-59.5
1060	-58.5
1070	-56.7
1080	-54.4
1090	-52.8
1100	-50.9
1110	-49.9
1120	-47.1
1130	-45.5
1140	-44.3
1150	-43
1160	-41.5
1170	-39.5
1180	-37.2
1190	-34.7
1200	-31.4
1210	-28.6
1220	-25.3
1230	-21.9
1240	-16.3
1250	-10.9
1260	-13.8
1270	-18.6

1280	-20.9
1290	-22
1300	-22.4
1310	-22
1320	-21.5
1330	-20.8
1340	-18.4
1350	-14.8
1360	-8.83
1370	-10.5
1380	-13.3
1390	-21.3
1400	-24.6
1410	-26.8
1420	-28.8
1430	-30.5
1440	-31.9
1450	-33
1460	-33.9
1470	-34.4
1480	-35.6
1490	-36.8
1500	-37

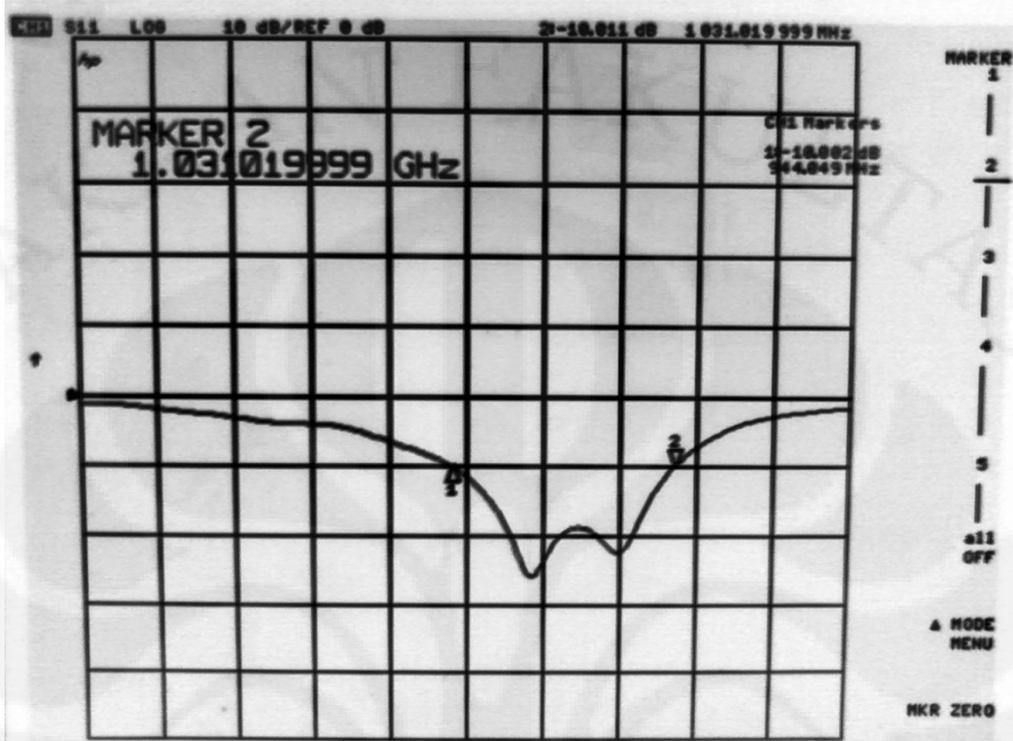
C. Iterasi Tinggi Dielektrik

Frekuensi (Mhz)	S12 Iterasi Tinggi Dielektrik		
	4 cm	5 cm	6 cm
850	-61.123	-63.431	-50.17
860	-59.998	-62.513	-49.945
870	-59.342	-61.737	-48.617
880	-58.042	-60.24	-47.104
890	-57.047	-59.519	-45.006
900	-55.021	-57.229	-42.126
910	-52.928	-55.899	-40.924
920	-51.165	-55.114	-39.302
930	-49.497	-54.856	-37.66
940	-47.493	-54.363	-35.871
950	-45.782	-55.152	-34.083
960	-43.967	-55.356	-32.414
970	-42.170	-55.717	-30.612
980	-40.291	-53.316	-28.956
990	-38.232	-48.614	-26.724
1000	-36.151	-45.614	-24.799
1010	-34.243	-43.224	-23.192
1020	-32.450	-40.247	-21.977
1030	-32.456	-36.942	-21.083
1040	-28.464	-33.453	-20.351
1050	-25.362	-30.005	-19.721
1060	-22.661	-26.649	-19.318

1070	-20.177	-23.691	-19.207
1080	-17.989	-21.354	-19.392
1090	-16.262	-20.051	-19.941
1100	-15.345	-19.794	-20.884
1110	-15.323	-20.094	-22.376
1120	-15.763	-20.777	-24.319
1130	-16.052	-21.192	-26.323
1140	-16.152	-21.092	-28.142
1150	-15.923	-20.754	-29.821
1160	-15.535	-20.772	-31.495
1170	-15.244	-21.435	-33.654
1180	-15.354	-23.163	-34.345
1190	-16.049	-25.241	-36.087
1200	-17.350	-27.659	-38.674
1210	-19.247	-30.512	-42.163
1220	-21.717	-33.594	-43.156
1230	-24.491	-36.437	-47.161
1240	-29.241	-38.39	-48.629
1250	-30.959	-40.704	-49.544
1260	-32.392	-42.307	-50.254
1270	-33.397	-43.733	-50.954
1280	-34.844	-44.891	-51.53
1290	-35.732	-45.761	-52.111
1300	-36.375	-46.361	-52.231

D. Gambar Pengukuran Akhir

a. S_{11}



b. S_{12}

