



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN BANDPASS FILTER MIKROSTRIP  
UNTUK APLIKASI SISTEM RFID MULTIBAND PADA  
FREKUENSI KERJA 433 MHZ DAN 923 MHZ**

**SKRIPSI**

**RUDI SAPUTRA  
07 06 26 7982**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
JUNI, 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN BANDPASS FILTER MIKROSTRIP  
UNTUK APLIKASI SISTEM RFID MULTIBAND PADA  
FREKUENSI KERJA 433 MHZ DAN 923 MHZ**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk melengkapi  
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

**RUDI SAPUTRA  
07 06 26 7982**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
JUNI, 2011**

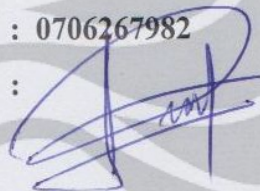
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rudi Saputra

NPM : 0706267982

Tanda Tangan :



Tanggal : 14 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rudi Saputra  
NPM : 0706267982  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Bandpass Filter Mikrostrip Untuk Aplikasi Sistem RFID Multiband Pada Frekuensi Kerja 433 MHz dan 923 MHz

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc.

(  )

Penguji : Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc, PhD

(  )

Penguji : Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng

(  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi tugas mata kuliah skripsi di Departemen Teknik Elektro 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. *Dr.Ir. Fitri Yuli Zulkifli, Msc*, selaku dosen pembimbing dan *Prof. Eko Tjipto Rahardjo*, selaku Ketua *Antena Propagation and Microwave Research Group* yang telah bersedia meluangkan waktu memberi pengarahan, diskusi, bimbingan serta menyetujui sebagai bagian dari penelitian pada *Antenna and Microwave Research Group (AMRG)* sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral sehingga membuat saya selalu termotivasi, kuat serta mampu untuk menyelesaikan skripsi ini
3. Novrizal, Fauzi, Siddiq, Yudha, Anne, Daryanto, dan rekan-rekan mahasiswa/i Teknik Elektro Angkatan 2006, 2007 dan 2008 yang telah banyak membantu dan mendukung saya.
4. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

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

Depok, 12 Juni 2011

Penulis



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Rudi Saputra  
NPM : 0706267982  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

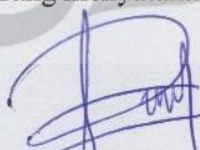
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-eksklusif Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

### **RANCANG BANGUN BANDPASS FILTER MIKROSTRIP UNTUK APLIKASI SISTEM RFID MULTIBAND PADA FREKUENSI KERJA 433 MHZ DAN 923 MHZ**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : Juni 2011  
Yang menyatakan



(Rudi Saputra)

## ABSTRAK

Nama : Rudi Saputra  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Bandpass Filter Mikrostrip untuk Aplikasi Sistem RFID Multiband pada Frekuensi Kerja 433 MHz dan 923 MHz  
Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, Msc.

*Radio Frequency Identification (RFID)* merupakan teknologi pendeteksian otomatis dengan menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya. Salah satu aplikasi RFID sebagai pendeteksian barang pada gudang bersama dimana dibutuhkan pendeteksian barang yang datang dari berbagai negara dengan frekuensi *RFID tag* yang berbeda-beda agar dapat dibaca oleh *RFID reader*. Salah satu solusinya adalah menggunakan antena *multiband* yang dapat menangkap sinyal dengan frekuensi yang berbeda-beda, kemudian sinyal tersebut dipisahkan oleh *power divider* agar dapat diterima oleh *RFID reader* yang sesuai, sebelum mencapai *RFID reader* sinyal disaring terlebih dahulu dengan filter berdasarkan frekuensi *RFID reader* yang dituju.

Pada skripsi ini akan dirancang dua buah filter sebagai bagian dari sistem RFID *multiband*, yang bekerja pada frekuensi UHF yang biasa digunakan di Indonesia, yaitu 433 MHz dan 923 MHz. Filter dibuat dalam bentuk mikrostrip dengan model hairpin menggunakan lima buah resonator kemudian ditambahkan *via ground hole* agar dimensi filter menjadi lebih kecil dan *bandwidth*-nya menjadi lebih sempit.

Hasil pengukuran filter yang telah difabrikasi menunjukkan filter pertama bekerja pada frekuensi 430,5 - 434,5 MHz dengan *fractional bandwidth* 0,86 % dan filter kedua bekerja pada frekuensi 920,3 – 927,8 MHz dengan *fractional bandwidth* 0,81 %.

Kata kunci: *Bandpass filter, hairpin filter, via ground hole*

## ABSTRACT

*Name : Rudi Saputra*  
*Study Program : Teknik Elektro*  
*Title : Microstrip Bandpass Filter for Multiband RFID System at Frequency 433 MHz and 923 MHz*  
*Supervisor : Dr. Fitri Yuli Zulkifi, ST, Msc.*

*Radio Frequency Identification (RFID) is an automatic detection technology which uses a radio wave as its transmission media. One of the applications of RFID is detecting goods from sharing warehouse. The detection of goods that come from many countries with different RFID tag frequency is needed in order to read the information with RFID reader. One of the solution for this detection process is to use multiband antenna to detect signal from many different frequencies and then divide the received signal with power divider in order to be received by RFID reader. Before the signal reaches the RFID reader, it will be filtered based on its RFID reader frequency.*

*In this final projects, two filters are proposed as part of RFID multiband system which operate on the UHF working frequency. The commonly used UHF working frequencies for RFID in Indonesia are 433 MHz and 923 MHz. The filters are made in the form of microstrip hairpin model and used five resonators. Via ground holes are added to the designed filters so that the overall dimension of the filters will be smaller and the bandwidth will be narrower.*

*Measurement result of the fabricated filters show the first filter is working on 430,5 - 434,5 MHz with fractional bandwidth 0,86 % and the second filter is working on 920,3 – 927,8 MHz with the fractional bandwidth 0,81 %.*

*Keyword : Bandpass filter, hairpin filter, via ground hole*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR SINGKATAN .....	xi
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penulisan .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Metode Penulisan .....	4
1.5. Sistematika Penulisan .....	4
2. FILTER MIKROSTRIP HAIRPIN UNTUK APLIKASI RFID .....	6
2.1 <i>Radio Frequency Identification</i> .....	6
2.2 Frekuensi Kerja RFID .....	7
2.3 Filter.....	8
2.4 Macam-macam Teknologi Pembuatan Filter .....	10
2.5 Filter Bandpass Mikrostrip .....	12
2.6 Filter Mikrostrip Hairpin .....	14
2.7 Parameter Umum Filter .....	18
2.7.1 <i>Q-Factor</i> .....	18
2.7.2 Parameter <i>Scattering</i> .....	21
2.8 <i>Via Ground Hole</i> Pada Filter Mikrostrip.....	22
3. PERANCANGAN FILTER DAN SIMULASI.....	24
3.1 Pendahuluan .....	24
3.2 Tahapan Perancangan Filter .....	24
3.3 Perancangan Dimensi Resonator.....	24
3.4 Simulasi Hasil Perhitungan Dimensi Resonator .....	25
3.4.1 Simulasi Untuk Filter 433 MHz .....	25
3.4.2 Simulasi Untuk Filter 923 MHz .....	31
3.5 Simulasi Filter Hairpin Dengan <i>Via Ground Hole</i> .....	33
3.6 Pengaruh Posisi Pencatu Terhadap Karakteristik Filter .....	39
3.7 Pengaruh Jarak Antar Resonator Terhadap Karakteristik Filter .....	41
3.8 Kesimpulan Rancangan.....	47

4. PENGUKURAN DAN ANALISA .....	48
4.1 Hasil Fabrikasi.....	49
4.2 Alat dan Konfigurasi Pengukuran .....	49
4.3 Hasil Pengukuran .....	49
4.4 Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Hasil Simulasi.....	55
4.5 Analisa Hasil Pengukuran .....	57
4.5.1 Analisa Pergeseran Frekuensi Kerja.....	57
4.5.2 Analisa Kenaikan <i>Insertion Loss</i> .....	59
4.6 Reduksi Dimensi Filter.....	59
5. KESIMPULAN.....	62

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema Cara Kerja Sistem <i>RFID Multiband</i> .....	2
Gambar 2.1 Sistem RFID.....	7
Gambar 2.2 Diagram blok filter secara umum.....	9
Gambar 2.3 Rangkaian Low Pass Filter dan tanggapan frekuensinya [11] .....	9
Gambar 2.4 Rangkaian High Pass Filter dan tanggapan frekuensinya [11] .....	10
Gambar 2.5 Perbandingan macam-macam material pembuat filter dengan performansi dan ukurannya [12] .....	11
Gambar 2.6 Edge Coupled Filter [13].....	12
Gambar 2.7 Interdigital Filter [13].....	13
Gambar 2.8 Transformasi <i>Edge Coupled Filter</i> menjadi <i>Hairpin Filter</i> [3] .....	14
Gambar 2.9 Struktur umum mikrostrip[13] .....	15
Gambar 2.10 Kopling diantara dua buah resonator hairpin .....	16
Gambar 2.11 Input hairpin dengan <i>feed line</i> dan dengan <i>tap</i> .....	17
Gambar 2.12 <i>Bandwidth</i> dan frekuensi tengah [15] .....	18
Gambar 2.13 $V_{rms}$ dan $V_{max}$ .....	19
Gambar 2.14 Rangkaian RLC Seri[16].....	19
Gambar 2.15 Rangkaian RLC paralel [16] .....	20
Gambar 2.16 Rangkaian resonan yang dihubungkan ke beban (RL) [16].....	20
Gambar 2.17 Rangkaian <i>two-port</i> [13] .....	21
Gambar 2.18 Perbandingan <i>Via through hole</i> pada mikrostrip .....	23
Gambar 3.1 Perhitungan dimensi resonator dengan menggunakan perangkat lunak untuk frekuensi 433 MHz .....	26
Gambar 3.2 Bentuk dan ukuran satu buah resonator .....	27
Gambar 3.3 Hasil Simulasi $S_{11}$ dari satu buah resonator hasil rancangan.....	28
Gambar 3.4 Bentuk dan ukuran lima buah resonator.....	29
Gambar 3.5 Hasil simulasi filter hairpin 433 MHz dengan lima buah resonator (a) $S_{11}$ (b) $S_{21}$ .....	30
Gambar 3.6 Hasil Simulasi $S_{11}$ dari satu buah resonator hasil rancangan.....	31
Gambar 3.7 Hasil simulasi filter hairpin 923 MHz dengan lima buah resonator (a) $S_{11}$ (b) $S_{21}$ .....	32
Gambar 3.8 rancangan filter dengan <i>via ground hole</i> .....	34
Gambar 3.9 Hasil simulasi $S_{11}$ dan $S_{21}$ filter dengan <i>via ground hole</i> (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz.....	35
Gambar 3.10 Parameter $S_{21}$ filter dengan <i>via ground hole</i> untuk mengetahui <i>fractional bandwidth</i> -nya (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz...37	

Gambar 3.11	Hasil karakterisasi filter 433 MHz .....	38
Gambar 3.12	Hasil karakterisasi filter 923 MHz .....	39
Gambar 3.13	Grafik hubungan posisi pencatu terhadap faktor kualitas eksternal filter (a) untuk filter 433 MHz (b) untuk filter 923 MHz .....	41
Gambar 3.14	Grafik S-parameter filter 433 MHz dengan lebar celah resonator 1,2 dan 2 mm.....	43
Gambar 3.15	Grafik S-parameter filter 433 MHz dengan lebar celah resonator 1 dan 2 mm.....	44
Gambar 3.16	Grafik S-parameter filter 433 MHz dengan lebar celah resonator 1,2 dan 2 mm.....	45
Gambar 3.17	Grafik S-parameter filter 923 MHz dengan lebar celah resonator 1 dan 2 mm.....	46
Gambar 3.18	Rancangan filter yang akan difabrikasi (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz .....	47
Gambar 4.1	Hasil fabrikasi (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz) (c) perbandingan ukuran filter 433 MHz dan 923 MHz.....	48
Gambar 4.2	Konfigurasi pengukuran.....	49
Gambar 4.3	Hasil pengukuran filter 433 MHz dengan ukuran sesuai rancangan .....	50
Gambar 4.4	Bagian struktur rancangan filter yang diubah .....	51
Gambar 4.5	Grafik S-parameter filter 433 MHz (a) $S_{21}$ dan $S_{11}$ (b) $S_{21}$ .....	52
Gambar 4.6	Hasil pengukuran filter 923 MHz dengan ukuran sesuai rancangan .....	53
Gambar 4.7	Grafik S-parameter filter 923 MHz (a) $S_{21}$ dan $S_{11}$ (b) $S_{21}$ .....	54
Gambar 4.8	Perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi filter 433 MHz (a) $S_{11}$ (b) $S_{21}$ .....	55
Gambar 4.9	Perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi filter 923 MHz (a) $S_{11}$ (b) $S_{21}$ .....	56
Gambar 4.10	Hasil simulasi ketika konstanta dielektrik diubah.....	57
Gambar 4.11	Karakteristik substrat terhadap frekuensi kerjanya [21] .....	58
Gambar 4.12	Perbandingan ukuran filter tanpa <i>via ground hole</i> dan dengan <i>via ground hole</i> (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz .....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik dari beberapa frekuensi kerja RFID [8] .....	7
Tabel 3.1	Spesifikasi Dimensi saluran resonator .....	27
Tabel 3.2	Panjang resonator dengan dan tanpa <i>via ground hole</i> .....	33
Tabel 3.3	Pengaruh posisi pencatu terhadap nilai $Q_{ext}$ .....	40
Tabel 3.4	hubungan lebar celah antar resonator terhadap <i>bandwidth</i> filter 433 MHz.....	42
Tabel 3.5	hubungan lebar celah antar resonator terhadap <i>bandwidth</i> filter 923 MHz.....	44
Tabel 3.6	Ukuran komponen hairpin filter.....	46
Tabel 4.1	Perbandingan ukuran keseluruhan filter .....	60

## DAFTAR SINGKATAN

- a. BPF : Bandpass Filter
- b. FBW : Fractional Bandwidth
- c. Q-Factor : Quality Factor
- d. RFID : Radio Frequency Identification
- e. UHF : Ultra High Frequency





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Radio frequency identification* atau RFID merupakan salah satu teknologi pengidentifikasian otomatis dengan menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya. Bidang pemanfaatan RFID sangat luas, mulai dari bidang keamanan, kesehatan, perdagangan dan lain-lain. Salah satu contoh aplikasi RFID dibidang perdagangan adalah RFID sebagai pendeteksi barang di gudang. Dengan RFID, pendeteksian barang di gudang menjadi lebih cepat. Barang yang dikirim ke gudang ditempel dengan *RFID tag* yang berisi data-data mengenai informasi barang tersebut, kemudian saat tiba di gudang, barang tersebut dideteksi oleh *RFID reader* sehingga data-data yang tersimpan pada *RFID tag* dapat langsung terbaca dan tersimpan di komputer. Pada sistem tersebut *RFID tag* dan *RFID reader* harus beroperasi pada frekuensi kerja yang sama agar dapat saling berkomunikasi.

RFID bekerja pada beberapa rentang frekuensi tertentu. Pada frekuensi rendah (125 - 134 kHz dan 140 -148.5 kHz) dan frekuensi tinggi (13.56 MHz), RFID dapat digunakan secara global tanpa lisensi. Frekuensi ultra tinggi (UHF 868 MHz - 928 MHz) tidak boleh digunakan secara global karena belum ada standar global yang mengaturnya namun beberapa negara memiliki aturan masing-masing mengenai frekuensi kerja yang digunakan pada frekuensi UHF[1].

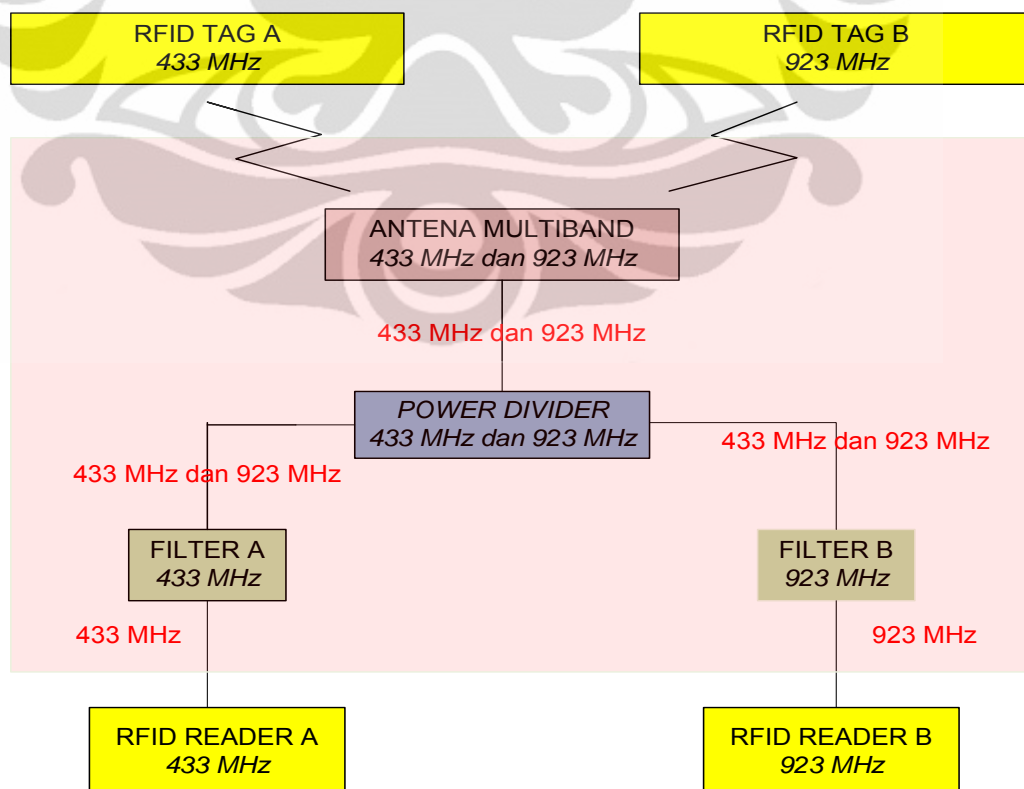
Untuk perdagangan antar negara, dimana barang-barang yang datang dari berbagai negara dikumpulkan pada satu gudang, pendeteksian barang dengan *RFID reader* yang bekerja pada satu frekuensi saja tidak dapat dilakukan. Karena barang-barang yang datang dari negara-negara berbeda tersebut menggunakan ketentuan frekuensi *RFID tag* yang kemungkinan berbeda. Sehingga antara *RFID reader* dengan *RFID tag* yang datang dari negara berbeda tersebut tidak dapat saling berkomunikasi.

Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem RFID yang dapat mendeteksi *RFID tag* yang berbeda-beda frekuensi kerjanya. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan antena multiband untuk menangkap sinyal dari *RFID tag*

dengan frekuensi kerja yang berbeda-beda, kemudian sinyal yang masuk tersebut dipisahkan dan dikirim ke *RFID reader* yang akan membacanya dengan *power divider*. Agar sinyal yang masuk ke *RFID reader* dibatasi hanya pada sinyal dengan frekuensi kerja *RFID reader*-nya, sebelum masuk ke *RFID reader*, sinyal disaring terlebih dahulu dengan menggunakan filter.

Pada skripsi ini, akan dirancang filter yang bekerja pada frekuensi RFID yang biasa digunakan di Indonesia, yaitu 433 MHz dan 923 MHz. Untuk frekuensi 923 MHz, ketentuan rentang frekuensinya diatur oleh Dirjen Postel yaitu pada 923-925 MHz[2]. Sedangkan 433 MHz tidak memiliki ketentuan resmi dari Dirjenpostel namun rentang frekuensi yang digunakan adalah 432 MHz-434 MHz[3].

Dengan kedua filter tersebut dan dilengkapi dengan *power divider* dan antenna multiband, dua buah *RFID reader* dapat digabungkan dalam satu sistem agar dapat mendeteksi *RFID tag* 433 MHz dan 923 MHz hanya dengan mendekatkan tag ke sebuah antenna multiband saja seperti yang tampak pada Gambar 1.1



**Gambar 1.1** Skema Cara Kerja Sistem RFID Multiband

Dengan pertimbangan ukuran filter yang kecil dan kemudahan disain dan fabrikasinya, filter tersebut akan dirancang dalam bentuk mikrostrip. Untuk memperkecil dimensi filter, akan dibuat filter mikrostrip dengan model saluran resonator *hairpin*. Kemudian dengan penambahan *via ground hole* dapat dibentuk ukuran filter *hairpin* yang lebih kecil dan *bandwidth* yang lebih sempit lagi

Filter mikrostrip berbentuk *hairpin* sebelumnya sudah banyak diteliti. Filter mikrostrip *hairpin* tersebut dirancang untuk berbagai aplikasi diantaranya penelitian oleh *Nikholas G. Toledo* untuk aplikasi filter di 2,54 – 2,58 GHz menggunakan substrat FR-4[4] dan *Carlota D. Salamat, Maria Abigail D. Lorenzo and Eusebio Jaybee B. Roxas Jr.* menggunakan substrat PTFE [5]. Selain itu ada juga paper dari *Luigi Greco and Stephan Schmidt* dengan desain filter mikrostrip untuk frekuensi kerja 2,6 GHz[6], dan *Dana Brady* untuk frekuensi kerja 3,7-4,2 GHz[7]. Untuk filter *hairpin* dengan *via ground hole* sebelumnya sudah diteliti oleh *A. Hasan* dan *A.E. Nadeem* [8], filter tersebut dirancang menggunakan perangkat lunak dengan memvariasikan substratnya. Hasilnya ukuran filter menjadi lebih kecil dan *bandwidth*nya menjadi lebih sempit, namun penelitian tersebut hanya sebatas simulasi untuk berbagai macam bahan dan fabrikasi dengan menggunakan substrat FR-4 dimana FR-4 memiliki faktor disipasi yang cukup besar sehingga hasil fabrikasi tersebut memiliki *insertion loss* yang cukup tinggi.

Sebagian besar dari penelitian mengenai filter mikrostrip *hairpin* dilakukan untuk frekuensi kerja diatas 1 GHz dengan *fractional bandwidth* lebih besar dari 10 %. Pada penelitian ini akan dirancang dua buah filter mikrostrip dengan frekuensi kerja dibawah 1 GHz yaitu 433 MHz dan 923 MHz untuk aplikasi RFID dengan *fractional bandwidth* kurang dari 1 %.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari skripsi ini adalah merancang dua buah mikrostrip bandpass filter dengan model saluran resonator *hairpin* untuk aplikasi sistem RFID multiband. Filter pertama bekerja pada rentang frekuensi kerja 433 MHz dan filter

kedua bekerja pada frekuensi kerja 923 MHz. Kedua filter tersebut diharapkan memiliki *fractional bandwidth* lebih kecil dari 1 %.

### 1.3 Batasan Masalah

Pada skripsi ini, permasalahan dibatasi pada rancang bangun filter hairpin dengan *via ground hole* yang bekerja pada spesifikasi :

- Frekuensi kerja 433 MHz untuk filter pertama dan 923 MHz untuk filter kedua.
- *Fractional bandwidth* kurang dari 1 % untuk filter pertama dan filter kedua.

### 1.4 Metode Penulisan

Tulisan skripsi ini disusun berdasarkan sumber literatur baik dari buku, jurnal maupun artikel-artikel di internet yang terkait dengan perancangan filter mikrostrip

### 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan 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 Dasar Teori Filter Mikrostrip**

Bagian ini akan berisi tentang bahasan teori dasar mengenai filter mikrostrip khususnya *bandpass* filter mikrostrip dengan resonator hairpin dengan *via ground hole* dan parameter umum filter.

#### **Bab 3 Perancangan Filter dan Simulasi**

Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perancangan *hairpin filter* dengan orde 5 dengan *via ground hole*, prosedur perancangan serta hasil simulasinya.



**Bab 4 Pengukuran dan Analisa**

Bab ini berisi pengukuran parameter  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  dari filter yang sudah di fabrikasi berdasarkan rancangan yang telah dirancang pada bab sebelumnya beserta analisisnya.

**Bab 5 Kesimpulan**

Bab ini berisi poin-poin kesimpulan dari keseluruhan rancang bangun.



## BAB 2

### FILTER MIKROSTRIP HAIRPIN UNTUK APLIKASI RFID

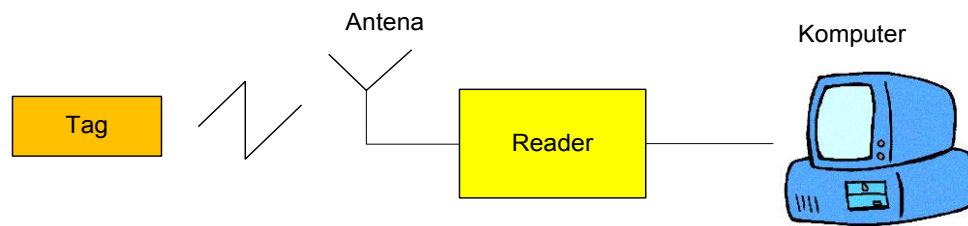
#### 2.1 Radio Frequency Identification

*Radio frequency identification* atau RFID adalah sebuah metode identifikasi dengan menggunakan sebuah divais yang disebut *tag* untuk menyimpan dan mengambil data jarak jauh. Tag RFID adalah sebuah benda yang bisa dipasang atau dimasukkan di dalam sebuah objek dengan tujuan untuk identifikasi menggunakan gelombang radio. Tag RFID akan mengenali diri sendiri ketika mendeteksi sinyal dari divais yang kompatibel, yaitu pembaca RFID (RFID Reader)[9].

Antena pada sistem RFID umumnya, *tag* atau transponder ditempelkan pada suatu objek. Setiap *tag* membawa dapat membawa informasi yang unik misalnya nomor seri, model, warna, tempat perakitan, dan data lain dari objek tersebut. Ketika *tag* ini melalui medan yang dihasilkan oleh pembaca RFID yang kompatibel, *tag* akan mentransmisikan informasi yang ada pada *tag* kepada pembaca RFID, sehingga proses identifikasi objek dapat dilakukan. Sistem RFID terdiri dari empat komponen yaitu [9] :

- a. Tag : berfungsi sebagai tempat penyimpanan informasi untuk identifikasi objek
- b. Antena : berfungsi untuk mentransmisikan sinyal radio dari RFID Tag menuju RFID Reader atau sebaliknya
- c. Reader : berfungsi untuk mengidentifikasi informasi yang dikirimkan dari Tag
- d. Software Aplikasi: adalah aplikasi pada sebuah workstation atau PC yang dapat membaca data dari *tag* melalui *reader* RFID.

Secara umum, komunikasi antar komponen RFID dapat dijelaskan pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Sistem RFID

## 2.2 Frekuensi Kerja RFID

Frekuensi kerja merupakan faktor penting yang harus diperhatikan untuk akurasi kerja sistem RFID. Karena RFID menggunakan sistem komunikasi tanpa kabel, maka diperlukan pengaturan pita frekuensi agar tidak terjadi interferensi dengan perangkat radio lainnya. Misalnya antena BTS yang memancarkan sinyal frekuensi di dekat *RFID reader*, dapat mengakibatkan interferensi pada operasi *RFID reader*. Hal ini dikarenakan ketidakmampuan sistem RFID untuk menolak sinyal yang kuat yang dipancarkan oleh BTS.

Tabel 2.1 karakteristik dari beberapa frekuensi kerja RFID [10]

Band	LF ( <i>Low Frequency</i> )	HF ( <i>High Frequency</i> )	UHF ( <i>Ultra High Frequency</i> )	<i>Microwave</i>
Frekuensi	30-300 KHz	3-30 MHz	300 MHz-3 GHz	2- 30 GHz
Frekuensi kerja yang umumnya digunakan	125-134 KHz	13.56 MHz	433 MHz, 865-956 MHz	2,45 GHz
Kecepatan transfer	< 1 Kbps	+/- 25 Kbps	+/- 30 Kbps	Sampai dengan 100 Kbps
Jarak pembacaan	< 0,5 m	1,5 m	0,5 – 5 m	Sampai dengan 10 m
Kemampuan penetrasi	Dapat menembus air, tidak	Dapat menembus air, tidak	Tidak dapat menembus air dan logam	Tidak dapat menembus air dan

	dapat menembus logam	dapat menembus logam		logam
Aplikasi	Identifikasi hewan	Smart Labels Contact-less travel cards Access & Security	Logistik	Pembayaran pintu tol

Pada tabel 2.1 dijelaskan tentang karakteristik dari beberapa pita frekuensi yang digunakan untuk aplikasi RFID. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa RFID dengan frekuensi kerja yang rendah komunikasi antara *tag* dan *reader* sangat bergantung pada daya. RFID dengan frekuensi kerja yang tinggi, performansi dari sistem RFID sangat bergantung pada lingkungan dimana komunikasi antara *tag* dan pembaca RFID terjadi. Perbedaan frekuensi kerja juga mempengaruhi karakteristik propagasi dari sistem RFID yang digunakan[10]. Misalnya, RFID dengan frekuensi rendah, sinyalnya dapat merambat menembus halangan-halangan lebih dalam dibandingkan dengan RFID yang menggunakan frekuensi tinggi, namun elemen-elemen yang digunakan pada sistem RFID tersebut menjadi lebih besar contohnya ukuran antena, selain itu jarak komunikasi antara *tag* dan *reader*-nya juga rendah dibandingkan dengan RFID yang menggunakan frekuensi tinggi. Oleh karena itu penggunaan pita frekuensi yang digunakan oleh RFID disesuaikan dengan aplikasi yang akan digunakan.

Pada dasarnya, setiap negara dapat membuat peraturan sendiri mengenai pita frekuensi RFID. Frekuensi rendah (125 - 134 kHz dan 140 - 148.5 kHz) dan frekuensi tinggi (13.56 MHz) dari RFID *tag* dapat digunakan secara global tanpa lisensi. Frekuensi UHF tidak boleh digunakan secara global karena belum ada standar global yang mengaturnya [11].

### 2.3 Filter

Filter adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewatkan sinyal dengan rentang frekuensi tertentu dan menghilangkan atau memperlemah sinyal dengan frekuensi diluar frekuensi tersebut[11]. Jadi filter berfungsi sebagai pemilih frekuensi yang diinginkan. Secara umum cara kerja filter dapat dijelaskan



pada Gambar 2.2 :



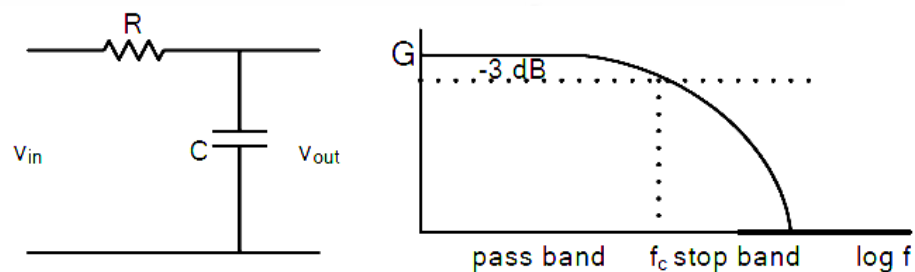
**Gambar 2.2** Diagram blok filter secara umum

Pada Gambar 2.2,  $V_i$  merupakan sinyal dengan beberapa komponen frekuensi.  $V_o$  merupakan sinyal keluaran filter dengan komponen frekuensi yang merupakan sebagian dari komponen frekuensi  $V_i$  yang diinginkan. Pemisahan frekuensi dinyatakan dalam fungsi alih  $H$  yang merupakan perbandingan tegangan sinyal keluaran dan tegangan sinyal masukan.

Berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, filter dapat dibedakan menjadi :

1. *Low Pass Filter (LPF)*
2. *High Pass Filter (HPF)*
3. *Band Pass Filter (BPF)*
4. *Band Stop Filter / Band Reject Filter (BSF/BRF)*

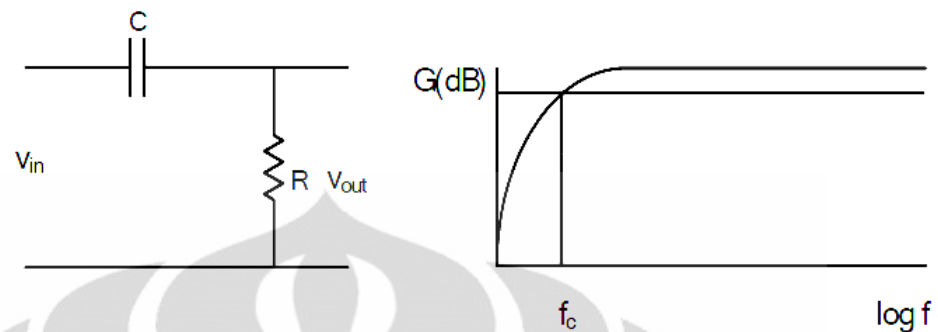
*Low Pass Filter* adalah filter yang hanya melewatkan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cut-off ( $f_c$ ). Diatas frekuensi tersebut sinyal akan diredam. Rangkaian RC Low Pass Filter dan tanggapan frekuensinya ditunjukkan pada Gambar 2.3



**Gambar 2.3** Rangkaian Low Pass Filter dan tanggapan frekuensinya [11]

*High Pass Filter* adalah filter yang hanya melewatkan frekuensi diatas

frekuensi cut-off ( $f_c$ ). Diatas frekuensi tersebut sinyal akan diredam. Rangkaian RC High Pass Filter dan tanggapan frekuensinya ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Rangkaian High Pass Filter dan tanggapan frekuensinya [11]

*Band Pass Filter* adalah filter yang dapat melewatkan rentang frekuensi tertentu diantara frekuensi cut-off pertama dan frekuensi cut-off kedua. Diluar frekuensi tersebut sinyal akan diredam. Band Pass Filter merupakan penggabungan dari lowpass filter dan high pass filter. Daerah passband dibatasi oleh dua frekuensi tepi. Frekuensi tepi yang rendah menunjukkan batas frekuensi rendah dari suatu high pass filter dan frekuensi tepi yang tinggi menunjukkan batas frekuensi tinggi dari suatu low pass filter.

*Band Stop Filter* (BSF) atau Band Reject Filter (BRF) merupakan kebalikan dari Band Pass Filter yaitu filter yang menghilangkan frekuensi yang terletak diantara dua frekuensi *cut-off* ( $f_c$ ).

## 2.4 Macam-macam Teknologi Pembuatan Filter

Pada umumnya filter dibuat dengan menggunakan saluran resonator terkopel, namun ada beberapa macam teknologi dalam membuat resonator tersebut. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan, yaitu dari segi ukuran dan faktor kualitasnya. Macam-macam material dan teknologi pembuatan filter yaitu [12] :

- *Lumped-element LC Filter*

LC Filter merupakan bentuk rangkaian resonator yang paling sederhana. Rangkaian ini terdiri dari induktor atau kapasitor yang diserikan atau diparalelkan. LC filter memiliki kelebihan yaitu pada ukurannya yang lebih kecil, namun faktor kualitas yang dimiliki rendah sehingga performanya kurang baik

- *Planar Filter*

Saluran transmisi berbentuk planar atau mikrostrip dapat dibentuk menjadi resonator yang memiliki ukuran yang cukup kecil namun dengan faktor performa yang lebih baik daripada *lumped-element filter*.

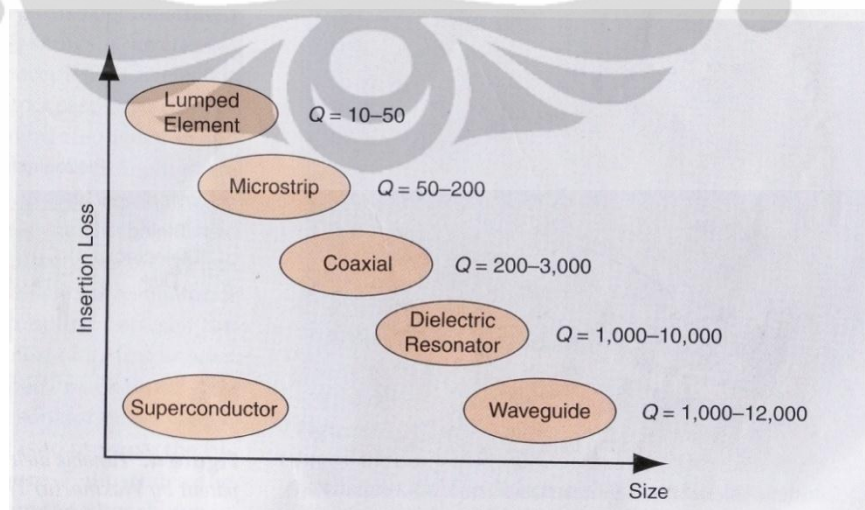
- *Coaxial*

Saluran transmisi coaxial dapat memberikan faktor kualitas lebih tinggi daripada *planar filter*. *Coaxial* digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan performansi lebih tinggi. Ukuran *coaxial* lebih besar daripada *planar*. Untuk membuat ukuran *coaxial* yang lebih kecil, dibutuhkan material yang memiliki konstanta dielektrik yang lebih besar.

- *Dielectric Filter*

Material yang mengandung bahan *dielectric* dapat dibuat menjadi resonator. Sama seperti pada *coaxial* semakin besar konstanta dielektrik, semakin kecil ukuran resonator.

Pada Gambar 2.5 dapat dijelaskan perbandingan antar teknologi dan material pembuatan filter, pada gambar tersebut dibandingkan antara ukuran filter dengan *insertion loss*-nya. *Insertion loss* berkaitan dengan kinerja suatu filter, semakin kecil nilai *insertion loss*, maka semakin banyak sinyal-sinyal dengan daya yang rendah dan berada pada frekuensi passband yang dapat melewati filter.

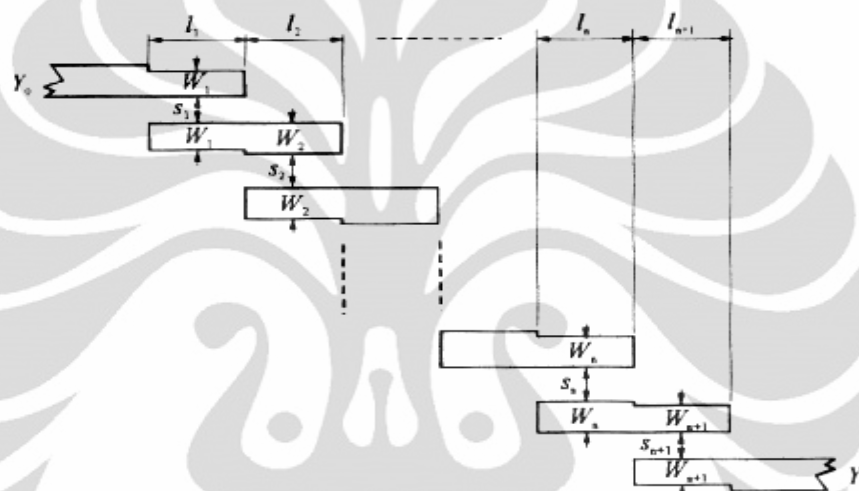


Gambar 2.5 Perbandingan macam-macam material pembuat filter dengan performansi dan ukurannya [12]

## 2.5 Filter Bandpass Mikrostrip

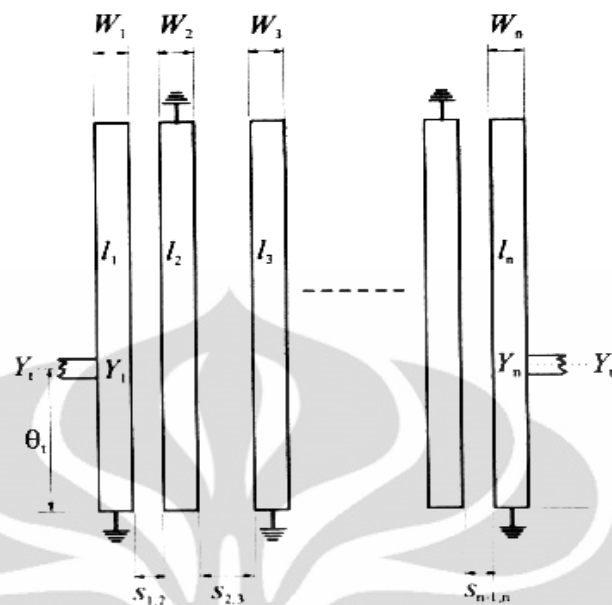
Filter bandpass mikrostrip memiliki beberapa metode perancangan yaitu diantaranya : *edge coupled*, *parallel coupled*, *hairpin* dan *interdigital* [14]. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan

*Edge Coupled* dan *Parallel Coupled* memiliki topologi resonator yang sederhana sehingga mudah direalisasikan, namun mempunyai dimensi fisik yang besar. Bentuk dan susunan resonator filter *edge coupled* digambarkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 *Edge Coupled Filter* [14]

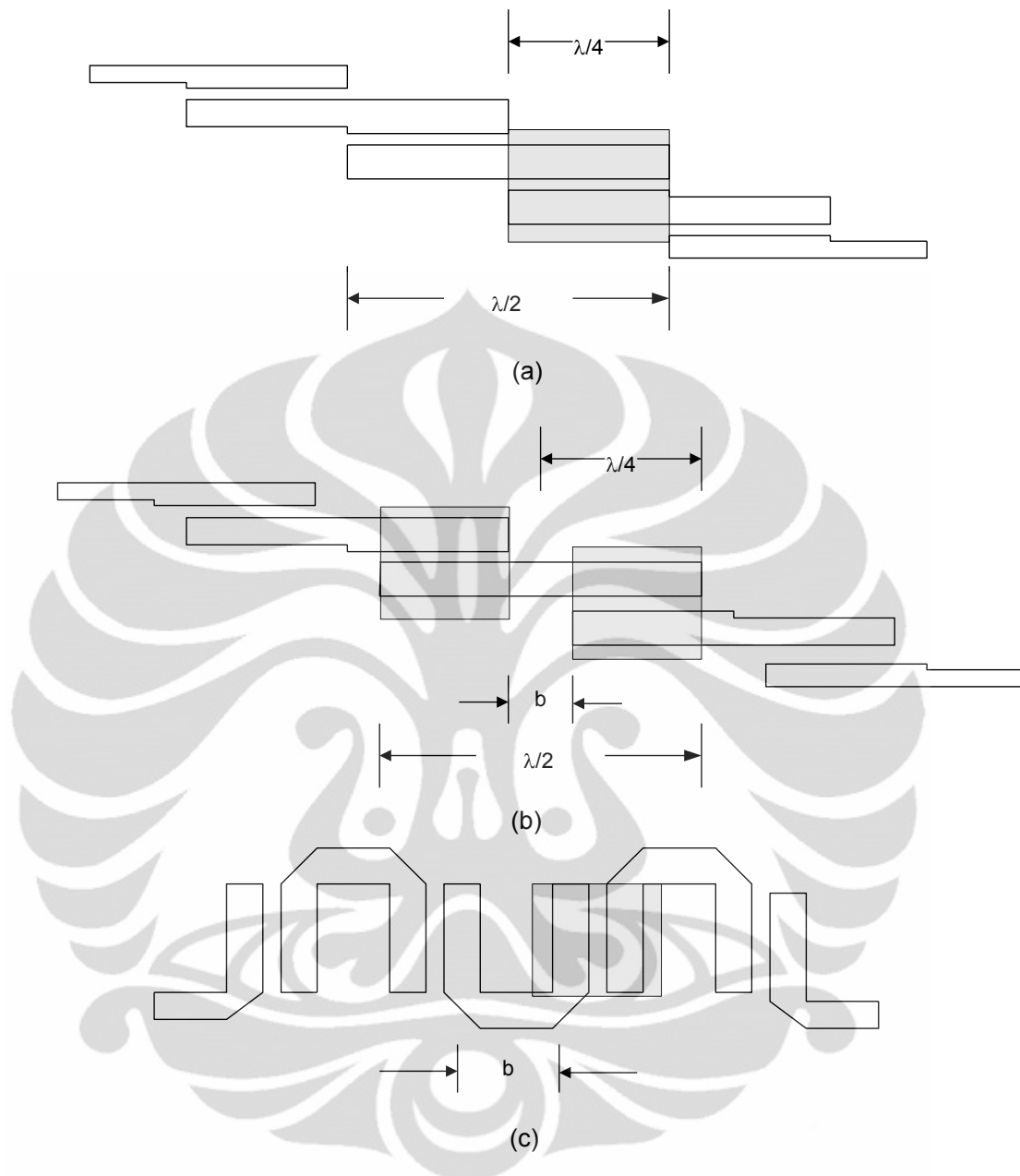
*Interdigital Filter* menggunakan panjang saluran  $\lambda/4$  sehingga dimensinya menjadi lebih kecil, namun karakteristiknya berbeda dengan saluran  $\lambda/2$ , yaitu pada sisi permunculan harmonisa pertamanya. Bentuk dan susunan resonator filter *interdigital* digambarkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 *Interdigital Filter* [14]

*Hairpin Filter* merupakan salah satu metode perancangan filter mikrostrip dengan panjang saluran resonator  $\lambda/2$  yang terkopel secara paralel dan mempunyai topologi resonator seperti huruf 'U'. Metode Hairpin merupakan pengembangan dari metode parallel Coupled dimana saluran *coupled line*  $\lambda/4$  dilipat sebesar  $L$  atau  $((\lambda/4)-b)$  dengan  $b$  adalah panjang saluran yang tidak mengalami kopling.

Gambar 2.8 memperlihatkan transformasi filter hairpin dari filter *edge-coupled*. Pada Gambar 2.8(a), panjang saluran terkopel pada resonator *edge-coupled filter* adalah  $\lambda/4$  (ditandai dengan area berwarna abu-abu). Kemudian pada Gambar 2.8(b) resonator digeser sejauh  $b$  untuk memberikan panjang saluran yang tidak terkopel pada hairpin filter (*slide factor area*). Kemudian resonator tersebut dibengkokkan sehingga terbentuk filter seperti pada Gambar 2.8(c).



Gambar 2.8 Transformasi *Edge Coupled Filter* menjadi *Hairpin Filter* [13]

## 2.6 Filter Mikrostrip Hairpin

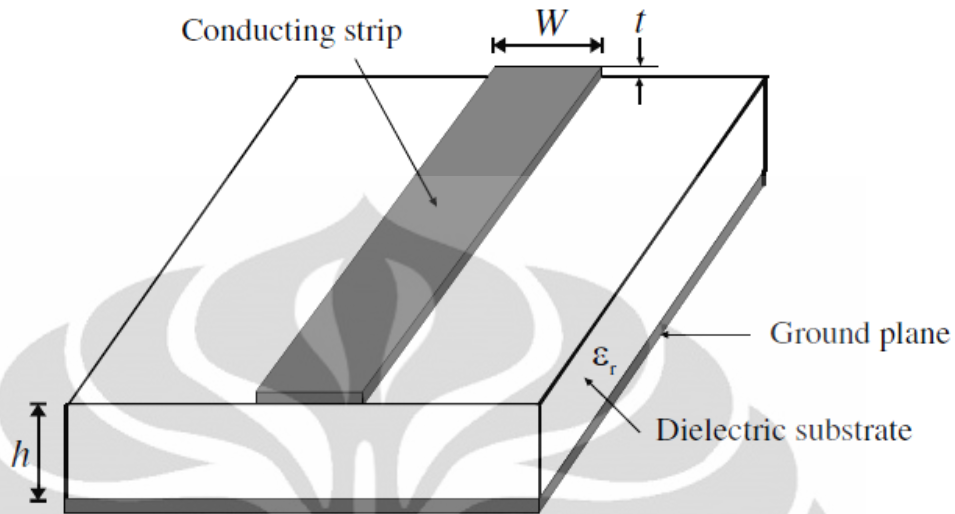
Komponen-komponen dalam perancangan filter hairpin yaitu : dimensi resonator, koefisien kopling, *slide factor* (saluran yang tidak terkopel), panjang, dan saluran pencatu.

- Dimensi Resonator

Dimensi saluran resonator terdiri dari panjang dan lebar saluran resonator, besarnya dimensi tersebut dipengaruhi oleh nilai konstanta dielektrik dan



ketinggian substrat. Struktur umum saluran resonator pada mikrostrip diperlihatkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur umum mikrostrip[13]

Untuk mendapatkan nilai  $W$  (lebar saluran resonator) dapat digunakan persamaan 2.1-2.4 [14]

Untuk  $w/h < 2$

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

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

Untuk  $w/h > 2$

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

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

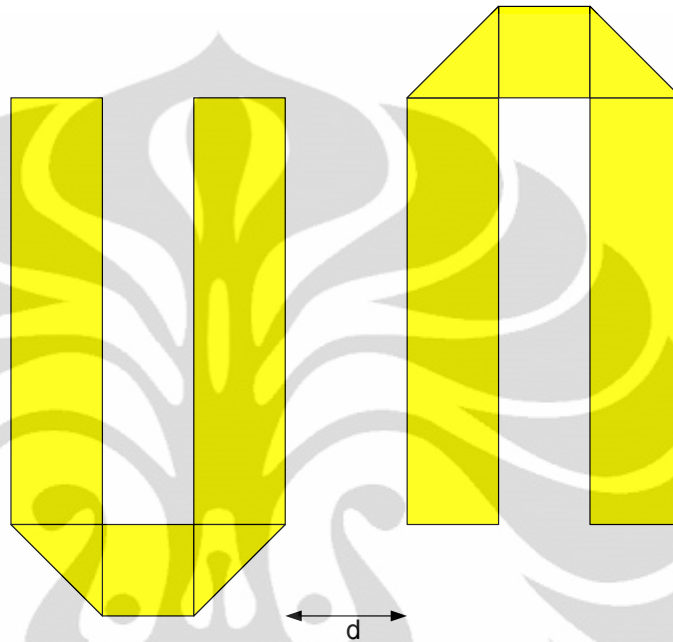
Kemudian untuk mendapatkan nilai  $L$  (panjang saluran resonator) dapat digunakan persamaan 2.5-2.6 [14]

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

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

- Keofisien Kopling

Kefisien kopling menyatakan besarnya transfer daya antar resonator. Besarnya nilai kopling ini akan berpengaruh langsung terhadap *bandwidth* filter. Semakin besar nilai kopling, semakin besar daya yang ditransferkan sehingga mengakibatkan *bandwidth* yang lebar [13].



Gambar 2.10 Kopling diantara dua buah resonator hairpin

Dapat dilihat pada Gambar 2.10, jarak antara dua buah resonator dilambangkan dengan  $d$ . Semakin besar  $d$ , semakin kecil pengaruh koplingnya.

Persamaan 2.7 [13] digunakan untuk mencari koefisien kopling

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

Dengan :

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

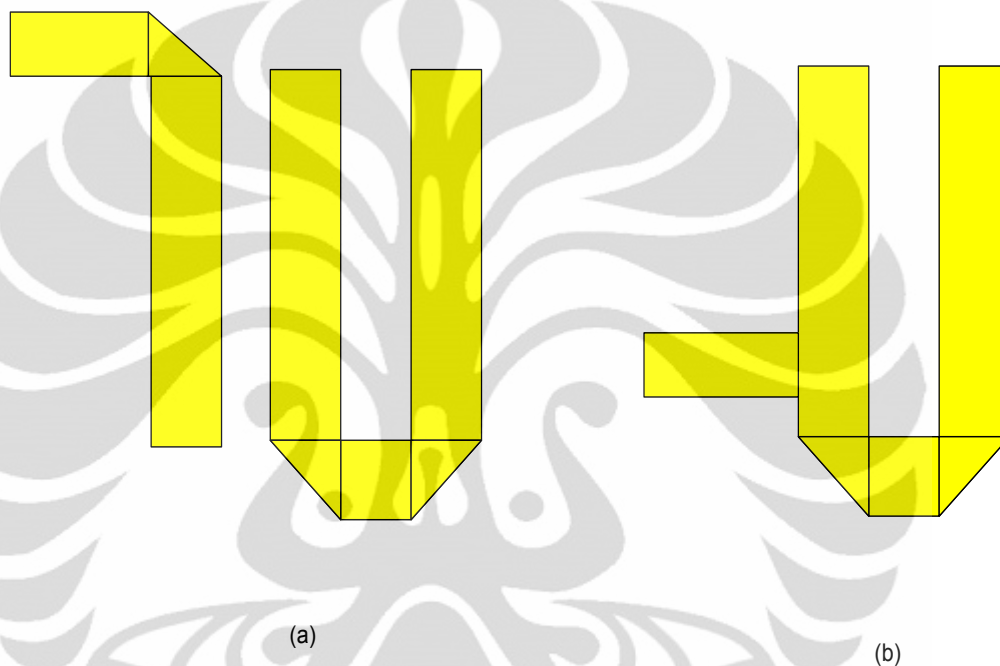
$g_i$  = elemen chebyshev untuk orde ke- $i$

- Saluran input

Terdapat dua metode pencatutan dalam mikrostrip hairpin yaitu dengan menggunakan *feed-line* dan *tap*. *Feed-line* ini merupakan saluran  $\lambda/4$  yang memiliki impedansi yang sama dengan saluran resonator dan dihubungkan dengan

saluran  $50 \Omega$ . Sedangkan tap merupakan saluran dengan impedansi  $50 \Omega$  yang langsung dihubungkan dengan saluran filter [14]. Pemakaian jenis saluran input ini tergantung kepada topologi filter yang digunakan.

Perbedaan kedua metode pencatuan pada resonator hairpin dapat dilihat pada Gambar 2.12. Gambar sebelah kiri (2.12a) merupakan resonator hairpin dengan metode pencatuan *feed-line* dan gambar sebelah kanan (2.12b) merupakan resonator hairpin dengan metode pencatuan *tap*.



Gambar 2.11 Input hairpin dengan *feed line* dan dengan *tap*

Posisi pencatuan berpengaruh terhadap faktor kualitas yang dihasilkan, persamaan 2.8 dapat digunakan untuk mendapatkan faktor kualitas yang diinginkan, kemudian dengan mengatur posisi pencatuan akan didapat spesifikasi filter yang sesuai dengan yang diinginkan [13].

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

Dengan :

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

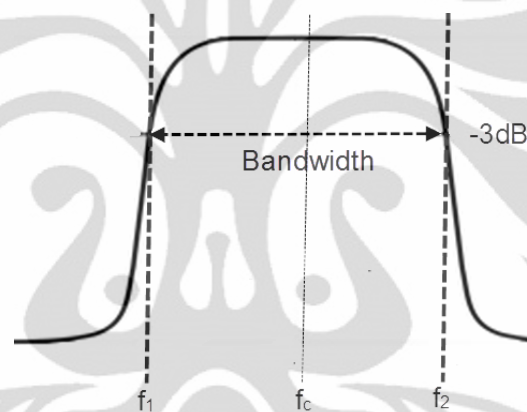
$g_i$  = elemen chebyshev untuk orde ke-i

## 2.7 Parameter Umum Filter

Dalam merancang sebuah filter terdapat beberapa parameter yang menentukan spesifikasi filter yang kita inginkan. Parameter-parameter tersebut diantaranya :

### 2.7.1 Q-Factor

*Q-Factor* atau faktor kualitas menentukan seberapa besar redaman pada resonator atau dengan kata lain lebar *bandwidth* resonator dibandingkan dengan frekuensi tengahnya [15].



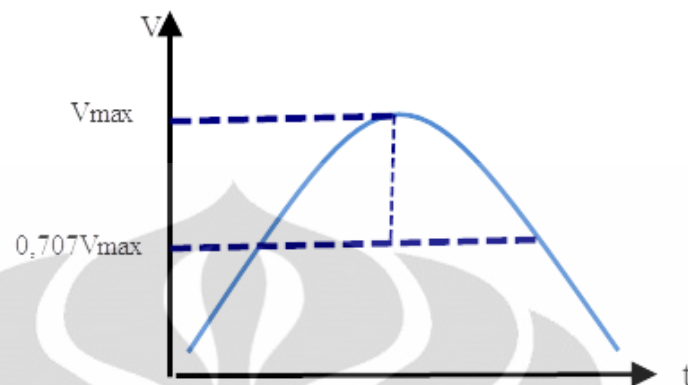
Gambar 2.12 *Bandwidth* dan frekuensi tengah [15]

Dari Gambar 2.13, *Q-Factor* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_{Factor} = \frac{f_c}{f_2 - f_1} = \frac{1}{FBW} \quad (2.9)$$

Dengan  $f_c$  merupakan frekuensi tengah,  $f_1$  dan  $f_2$  merupakan perpotongan frekuensi pada 3 dB dibawah puncak grafik dan FBW merupakan *fractional bandwidth* yang biasa dinyatakan dalam persen. Penurunan level daya 3 dB digunakan karena daya yang diukur berasal dari  $V_{rms}$ , dimana  $V_{rms}$  merupakan  $\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$ .  $V_{rms}$  merupakan level tegangan yang efektif digunakan untuk menghitung level daya terdisipasi pada sebuah beban, dimana  $P = \frac{V_{rms}^2}{R}$ . Dengan  $R$  merupakan beban yang digunakan. Jika daya tersebut dilogaritmisikan, maka daya tersebut akan ekivalen dengan level daya yang lebih kecil 3dB dari daya

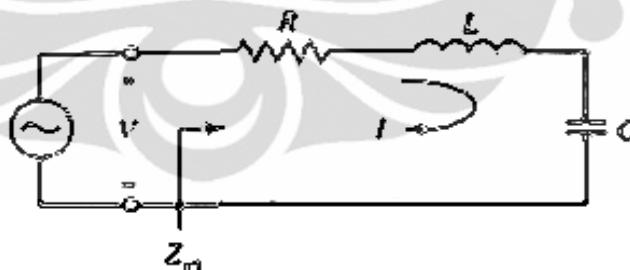
maximumnya. Perbandingan level  $V_{\max}$  dan  $V_{\text{rms}}$  dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.13  $V_{\max}$  dan  $V_{\text{rms}}$

*Q-Factor* menyatakan hubungan antara energi yang tersimpan dalam komponen reaktif terhadap daya yang hilang. Idealnya, *Q-factor* bernilai 1 yang artinya besar energi yang disimpan dalam komponen relatif sama dengan daya yang hilang [15].

Pada resonator, prinsip kerja rangkaian resonannya dapat digambarkan dengan rangkaian RLC, rangkaian RLC tersebut dapat berupa seri atau paralel [16].



Gambar 2.14 Rangkaian RLC seri [16]

Pada Gambar 2.14, kapasitor dan induktor disusun secara seri, maka pada rangkaian RLC seri, besarnya *Q-factor*-nya dapat dinyatakan dengan persamaan 2.10 [16]

$$\begin{aligned}
 Q &= \omega \frac{\text{(Rata-rata energi yang disimpan)}}{\text{(Energi yang hilang)}} \\
 &= \omega \frac{W_m + W_e}{Pl}
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

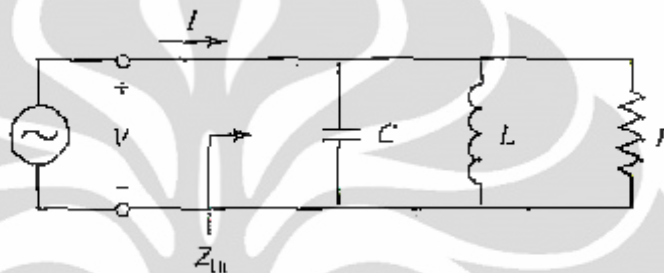
Dengan

$W_m$  = Energi yang disimpan pada induktor

$W_e$  = Energi yang disimpan pada kapasitor

Pada kondisi resonan ( $W_m = W_e$ ). Persamaan faktor kualitas dapat ditulis dalam persamaan 2.11 [16]

$$Q = \omega_0 \frac{2W_m}{P_{loss}} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} \quad (2.11)$$

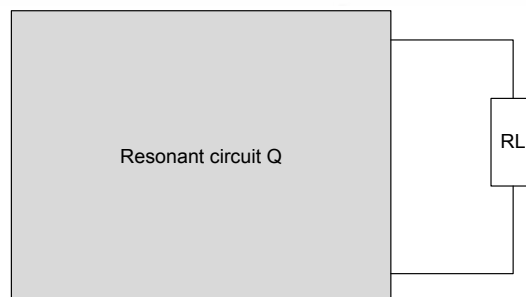


Gambar 2.15 Rangkaian RLC paralel [16]

Pada Gambar 2.15, kapasitor dan induktor disusun secara paralel, maka pada rangkaian RLC paralel, besarnya  $Q$ -factor-nya dapat dinyatakan dengan persamaan 2.12

$$Q = \omega_0 \frac{2W_m}{P_{loss}} = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 RC \quad (2.12)$$

Dalam aplikasinya, faktor kualitas, selain dipengaruhi oleh karakteristik resonan pada rangkaiannya sendiri, juga dipengaruhi oleh beban yang diberikan, seperti yang tampak pada Gambar 2.15, faktor kualitas yang tanpa dipengaruhi oleh beban yang diberikan disebut *unloaded Q* [16].



Gambar 2.16 Rangkaian resonan yang dihubungkan ke beban ( $R_L$ ) [16]

Secara lengkap, faktor kualitas dapat dirumuskan dalam persamaan 2.13



[16] :

$$\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_e} + \frac{1}{Q} \quad (2.13)$$

Dengan :

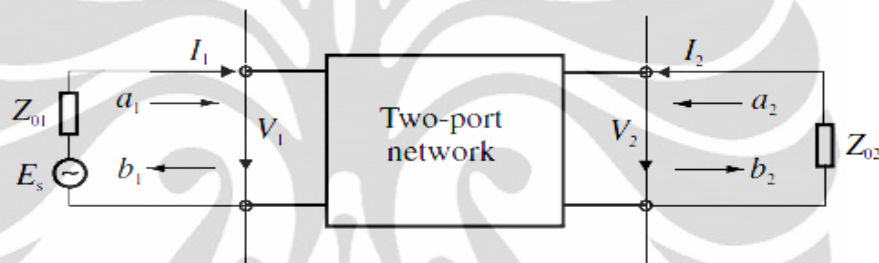
$Q_L$  = faktor kualitas karena hambatan terminal

$Q_e$  = faktor kualitas eksternal

$Q$  = faktor kualitas dari rangkaian resonator

### 2.7.2 Parameter Scattering

Pada umumnya, rangkaian filter dibuat dengan menggunakan dua buah terminasi seperti pada Gambar 2.17 [14]



Gambar 2.17 Rangkaian two-port [14]

Dimana  $V_1$ ,  $V_2$  dan  $I_1$ ,  $I_2$  adalah tegangan dan arus pada port 1 dan port 2,  $Z_{01}$  dan  $Z_{02}$  adalah impedansi terminal,  $E_s$  adalah sumber tegangan. Tegangan pada port 1 dapat dinyatakan dalam persamaan 2.14 [14]

$$V_I(t) = |V_I| \cos(\omega t + \phi) = \text{Re}(|V_I| e^{j(\omega t + \phi)}) = \text{Re}(V_I e^{j\omega t}) \quad (2.14)$$

Dimana  $\text{Re}$  menyatakan bagian real dari persamaan

Karena sulitnya untuk mengukur tegangan dan arus pada frekuensi microwave, maka variabel tegangan dan arus dapat digantikan dengan variabel gelombang  $a_1$ ,  $b_1$  dan  $a_2$ ,  $b_2$ . [14] seperti tampak pada Gambar 2.17. Dimana  $a$  menyatakan gelombang datang dan  $b$  menyatakan gelombang pantul.

Hubungan antara variabel gelombang dengan tegangan dan arus dapat dinyatakan dalam persamaan 2.15-2.18 [14]:

$$V_n = \sqrt{\sqrt{Z_{0n}}}(a_n + b_n) \quad (2.15)$$

$$I_n = \frac{1}{\sqrt{Z_{0n}}}(a_n - b_n) \quad (2.16)$$

$$a_n = \frac{1}{2} \left( \frac{V_n}{\sqrt{Z_{0n}}} + \sqrt{Z_{0n}} I_n \right) \quad (2.17)$$

$$b_n = \frac{1}{2} \left( \frac{V_n}{\sqrt{Z_{0n}}} - \sqrt{Z_{0n}} I_n \right) \quad (2.18)$$

Dengan  $n = 1$  dan  $2$

Parameter Scattering atau S-Parameters dari rangkaian two-port dapat dinyatakan dalam variabel gelombang, Persamaan S-parameter dalam variabel gelombang dapat dituliskan dalam persamaan 2.19 [14]

$$\begin{aligned} S_{11} &= \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} & S_{12} &= \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \\ S_{21} &= \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} & S_{22} &= \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Parameter  $S_{11}$  dan  $S_{22}$  merupakan koefisien refleksi sedangkan  $S_{12}$  dan  $S_{21}$  disebut koefisien transmisi [14]. Parameter Scattering merupakan persamaan dengan bentuk kompleks dan dapat dijabarkan dalam amplitudo maupun fasanya [14]. S-Parameter juga biasanya ditulis dalam bentuk logaritmik yaitu dinyatakan dengan persamaan 2.20 [14]

$$20 \log |S_{mn}| \text{ dB} \quad (\text{dengan } m, n = 1 \text{ atau } 2) \quad (2.20)$$

Dalam analisa filter, terdapat parameter *return loss* dan *insertion loss*, persamaan 2.18 dan 2.19 menyatakan kedua parameter tersebut dalam bentuk logaritmik S-parameter [14]

$$L_A = -20 \log |S_{mn}| \text{ db} \quad \text{dengan } m, n = 1, 2 \quad (m \neq n) \quad (2.21)$$

$$L_R = 20 \log |S_{nn}| \text{ db} \quad \text{dengan } n = 1, 2 \quad (2.22)$$

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

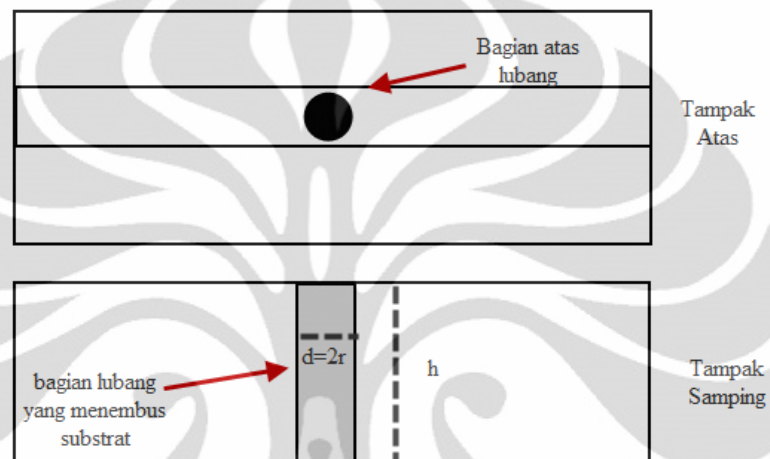
## 2.8 Via Ground Hole Pada Filter Mikrostrip

*Via ground hole* pada filter mikrostrip digunakan untuk mencatu langsung resonator ke ground. Dengan menambahkan *via ground hole* pada filter mikrostrip, berarti diberikan konduktor yang menghantarkan arus dari bagian atas ke bagian bawah substrat menembus bahan substrat tersebut. Dengan demikian

terdapat nilai induktivitas pada *via ground hole* tersebut yang nilainya dapat di rumuskan pada persamaan 2.23 [17]

$$L_{via} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[ h \cdot \ln \left( \frac{h + \sqrt{r^2 + h^2}}{r} + \frac{3}{2} (r - \sqrt{r^2 - h^2}) \right) \right] \quad (2.23)$$

Dengan  $r$  adalah jari-jari lubang,  $h$  adalah ketinggian lubang dan  $\mu_0$  merupakan permeabilitas vakum. Gambar 2.18 menunjukkan ukuran dan posisi *via through hole* pada mikrostrip filter



Gambar 2.18 *Via through hole* pada mikrostrip

## **BAB 3**

### **PERANCANGAN FILTER MIKROSTRIP FILTER DENGAN VIA GROUND HOLE**

#### **3.1 Pendahuluan**

Perancangan filter diawali dengan menentukan karakteristik filter yang diharapkan, karakteristik filter yang dimaksud adalah frekuensi kerja, *bandwidth*, *return loss* dan *insertion loss*.

Filter yang dirancang ada dua jenis yaitu filter yang bekerja ada frekuensi 433 MHz dan 923 MHz. Kedua filter tersebut berbentuk mikrostrip. Dengan model hairpin dan terdapat dua buah *via ground hole* pada masing-masing filter. Kedua filter tersebut dibuat dengan menggunakan substrat Taconic TLY-5 0600 dengan konstanta dielektrik 2,2, TanD sebesar 0,0009 dan ketebalan 1,52 mm. Kedua filter tersebut diharapkan memiliki *fractional bandwidth* lebih kecil daripada 1 % frekuensi kerjanya.

#### **3.2 Tahapan Perancangan Filter**

Ada beberapa tahapan dalam perancangan filter ini, untuk mengetahui parameter hasil rancangan, digunakan perangkat lunak *Agilent ADS 2009*. Perancang dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu dimensi resonator yang cocok untuk frekuensi kerja yang diharapkan. Kemudian disimulasikan dengan jumlah resonator yang diperbanyak, pada skripsi ini resonator dipasang sebanyak lima buah. Setelah itu dilanjutkan dengan pemberian *via ground hole*. Lalu dilanjutkan dengan penentuan posisi pencatu. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan jarak antar resonator untuk mendapatkan besar *bandwidth* filter yang diinginkan

#### **3.3 Perancangan Dimensi Resonator**

Dengan menggunakan spesifikasi substrat yang telah ditentukan, dapat dihitung dimensi kedua filter (panjang dan lebar salurannya).

Lebar saluran resonator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1-2.4. Berikut perhitungan lebar saluran resonator dengan spesifikasi filter yang telah disebutkan sebelumnya.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}\right) \\
 &= \frac{50}{60} \sqrt{\frac{2.2+1}{2} + \frac{2.2-1}{2.2+1}} \left(0.23 + \frac{0.11}{2.2}\right) = 1.159 \\
 W &= \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} * h = \frac{8e^{1.159}}{e^{2(1.159)} - 2} * 1.52 = 4.64 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \epsilon_e &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + 12\left(\frac{h}{W}\right)}} \\
 &= \frac{2.2 + 1}{2} + \frac{2.2 - 1}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + 12\left(\frac{1}{4.64}\right)}} = 1.917
 \end{aligned}$$

$$K_0 = \frac{2\pi * 433 * 10^6}{3 * 10^8} = 9.0687 \text{ m}^{-1} \text{ (untuk frekuensi kerja 433 MHz)}$$

$$K_0 = \frac{2\pi * 923 * 10^6}{3 * 10^8} = 19.3312 \text{ m}^{-1} \text{ (untuk frekuensi kerja 923 MHz)}$$

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

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

Untuk resonator dengan frekuensi kerja 433 MHz

$$L = \frac{\left(\frac{\pi}{180}^\circ\right)}{\sqrt{1.917 * 9.0687}} 180^\circ \text{ m} = 0.25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

Untuk resonator dengan frekuensi kerja 923 MHz

$$L = \frac{\left(\frac{\pi}{180}\right)}{\sqrt{1.917 * 19.3312}} 180^\circ m = 0.117 m = 117 mm$$

Cara lain untuk mendapatkan dimensi saluran tersebut adalah dengan menggunakan kalkulator dimensi saluran transmisi yang tersedia pada perangkat lunak ADS. Gambar 3.1 menunjukkan hasil perhitungan rancangan dengan ADS.

Gambar 3.1 Perhitungan dimensi resonator dengan menggunakan perangkat lunak untuk frekuensi 433 MHz

Pada Gambar 3.1 dapat diketahui untuk frekuensi 433 MHz dengan spesifikasi substrat yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya lebar substrat untuk membentuk saluran dengan impedansi 50 ohm adalah 4.67 mm dan panjang saluran  $180^\circ$  adalah 252.348 mm. Dibandingkan dengan perhitungan menggunakan perangkat lunak, perhitungan secara manual hampir menunjukkan hasil yang sama. Perbedaan yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh faktor pembulatan.



Kemudian pada kalkulator di ADS, dengan mengganti komponen parameter frekuensinya dari 433 MHz menjadi 923 MHz, didapat lebar dan panjang saluran transmisi yang sesuai dengan resonator 923 MHz, yaitu 4,67 mm untuk lebarnya dan 118,34 mm untuk panjangnya

Dari perhitungan di atas, dapat diketahui dimensi dari saluran resonator, tabel 3.1 merangkum hasil akhir dari perhitungan dimensi resonator di atas.

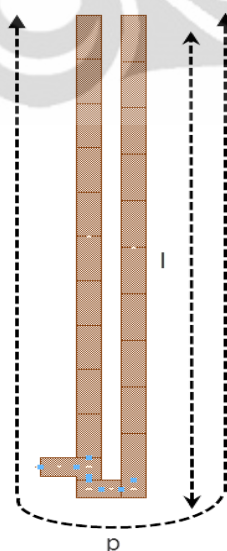
Tabel 3.1 Dimensi saluran resonator

Frekuensi kerja resonator (MHz)	Perhitungan secara tertulis		Perhitungan dengan komputer	
	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)
433	4.64	250	4.67	252.348
923	4.64	117	4.67	118.34

### 3.4 Simulasi Hasil Perhitungan Dimensi Resonator

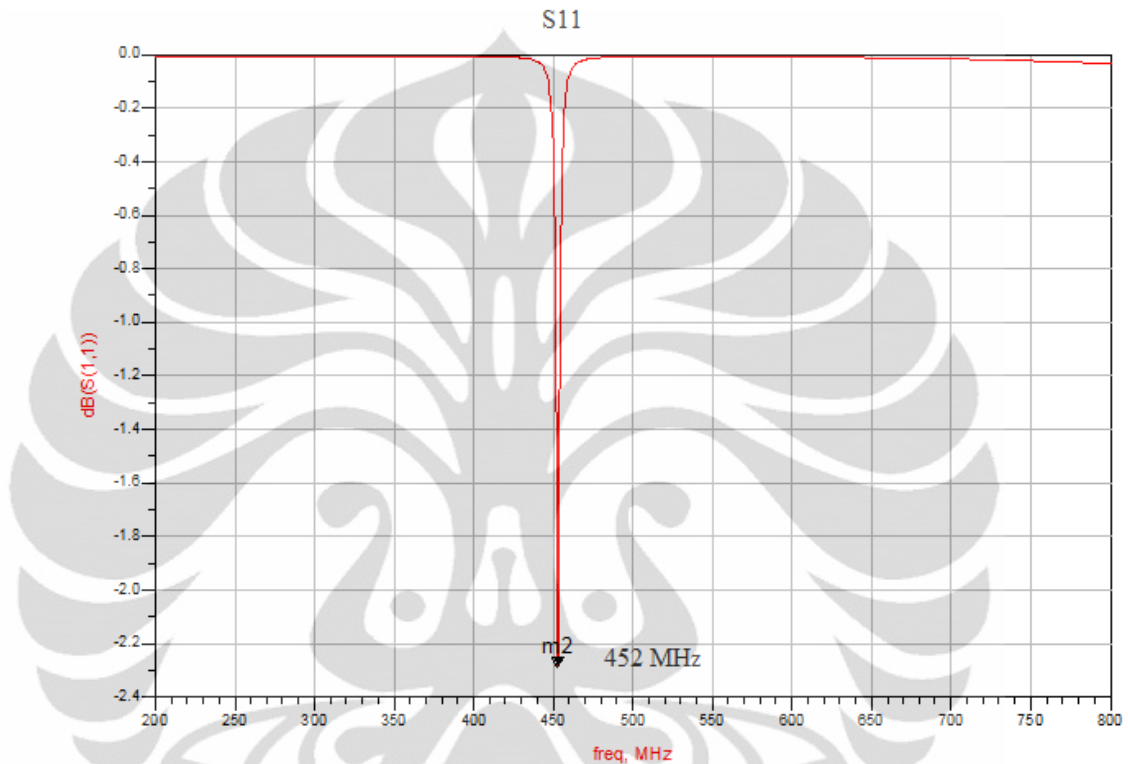
#### 3.4.1 Simulasi Untuk Filter 433 MHz

Dengan menggunakan perangkat lunak *Agilent ADS*, dilakukan simulasi hasil rancangan dimensi resonator. Pada Gambar 3.2 diperlihatkan bentuk resonator yang akan disimulasikan, dengan  $l$  merupakan panjang lengan resonator dan  $p$  merupakan panjang resonator secara keseluruhan.



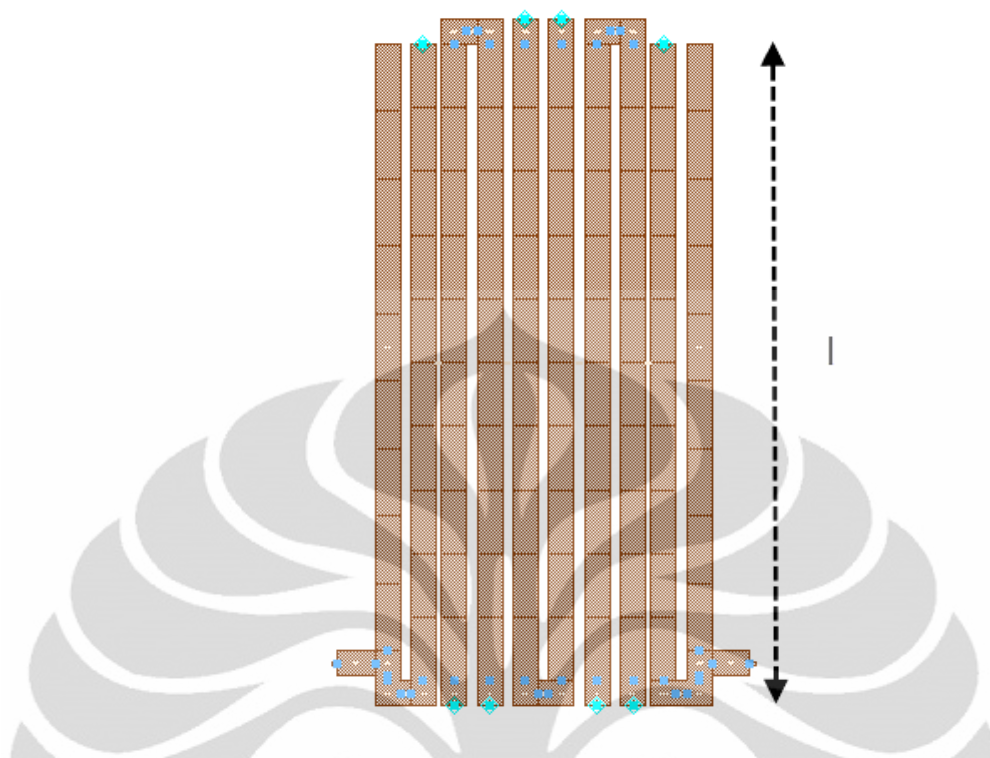
Gambar 3.2 Bentuk dan ukuran satu buah resonator

Untuk filter 433, nilai  $l$  pada gambar 3.2 adalah 124 mm. Pada Gambar 3.3 diperlihatkan simulasi parameter S11 satu buah resonator filter 433 MHz. Dari gambar tersebut diketahui bahwa resonan terjadi pada frekuensi 452 MHz, bergeser 19 MHz dari diharapkan yaitu 433 MHz



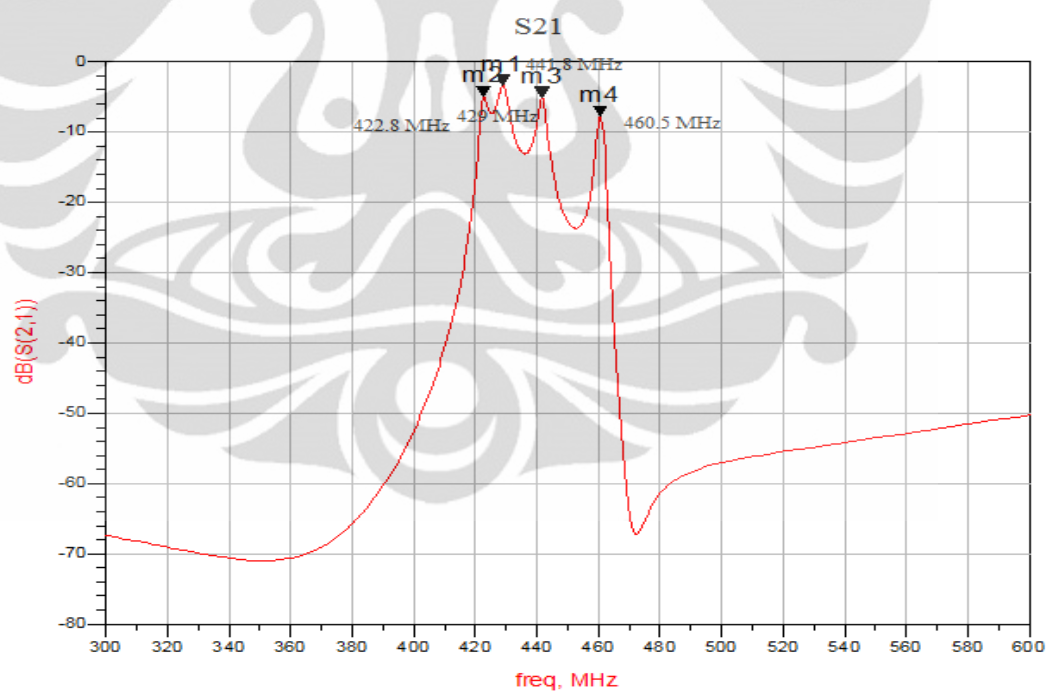
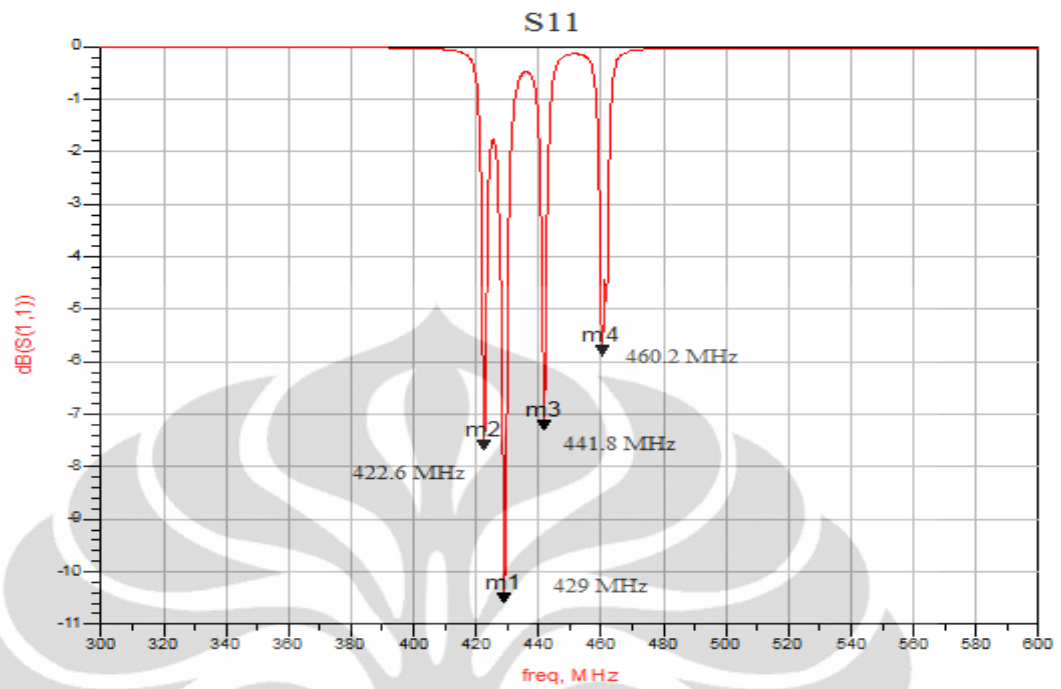
Gambar 3.3 Hasil Simulasi S11 dari satu buah resonator hasil rancangan

Kemudian disimulasikan parameter S11 dan S21 untuk lima buah resonator dengan rancangan seperti yang tampak pada Gambar 3.4. Untuk filter 433, nilai  $l$  pada gambar 3.4 adalah 124 mm.



Gambar 3.4 Bentuk dan ukuran lima buah resonator

Hasil simulasi untuk filter hairpin tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.5. Dari grafik  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  tersebut terlihat bahwa filter hairpin hasil rancangan bekerja pada frekuensi sekitar 420 MHz – 460 MHz namun *return loss* filter ini masih belum *matching* karena nilai  $S_{11}$ -nya masih dibawah 10 dB. Hal ini kemungkinan terjadi karena sejauh ini filter yang dirancang hanya memperhatikan dimensi salurannya saja, untuk posisi pencatu dan jarak antar resonator diabaikan karena simulasi ini hanya bertujuan untuk mengetahui filter rancangan ini bekerja di frekuensi kerja berapa.

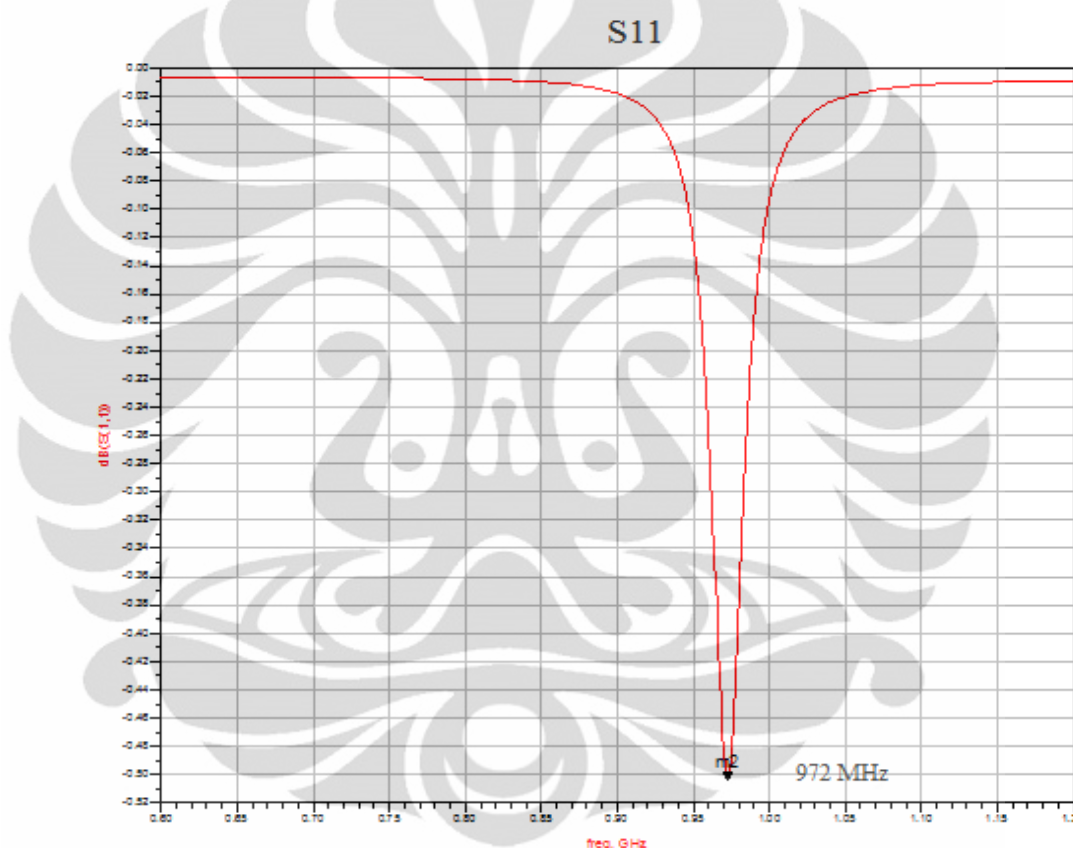


Gambar 3.5 Hasil simulasi filter hairpin 433 MHz dengan lima buah resonator (a)

$S_{11}$  (b)  $S_{21}$

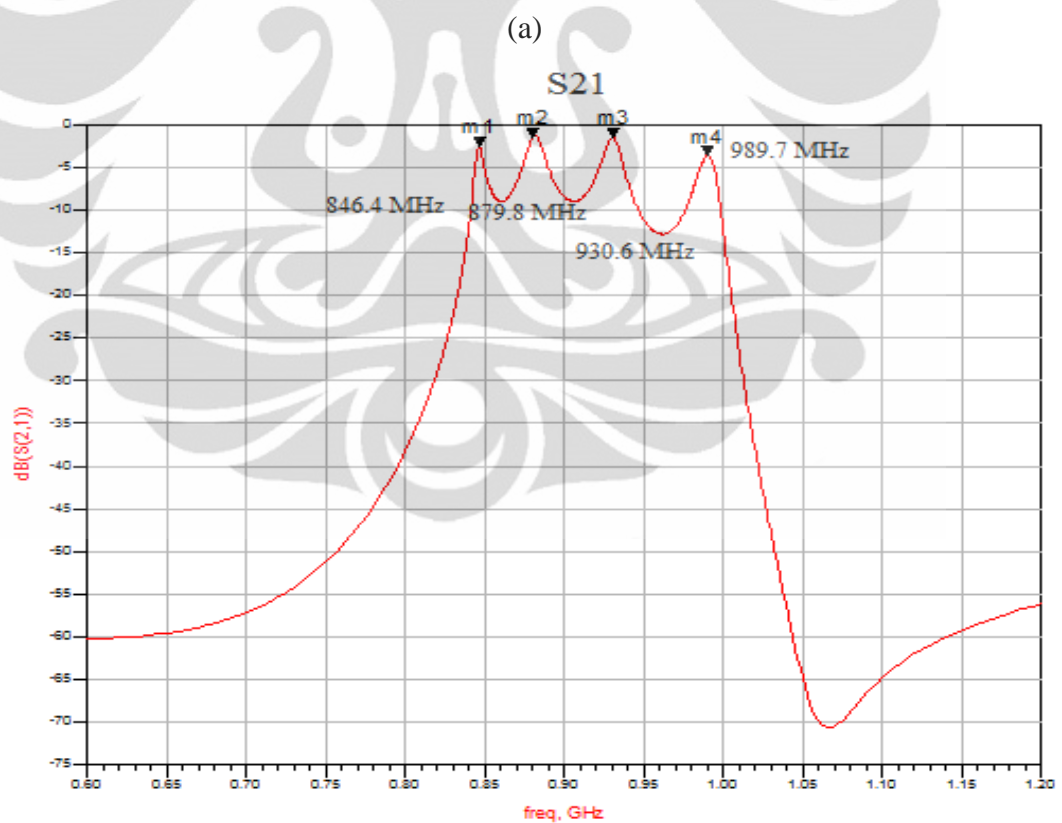
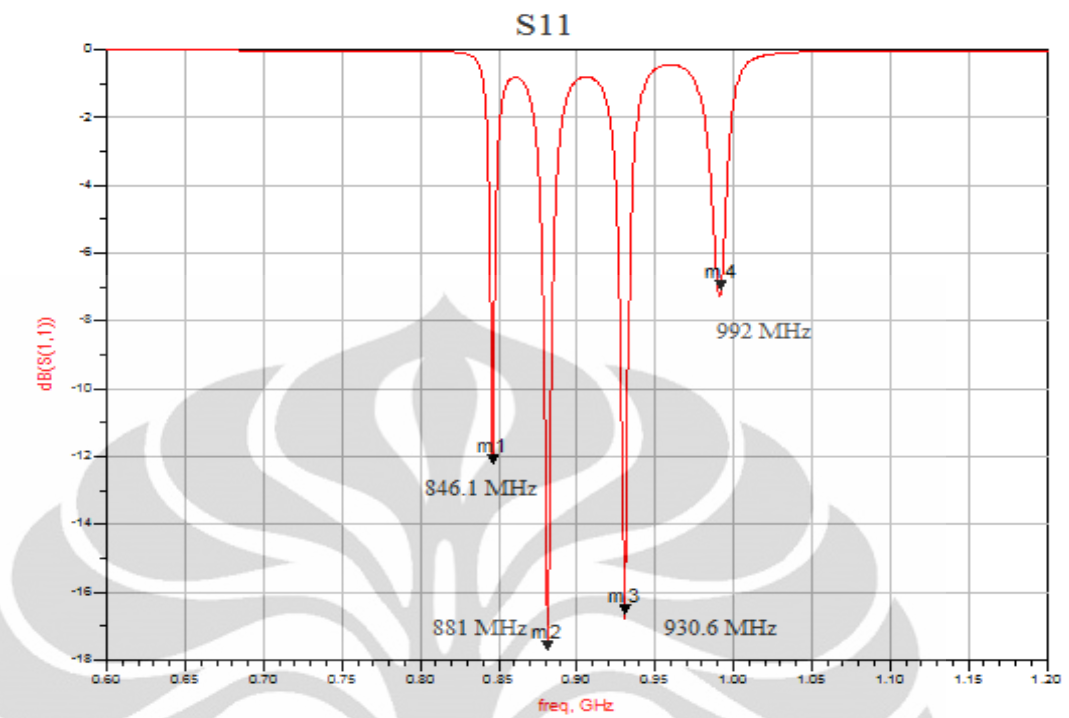
### 3.4.2 Simulasi Untuk Filter 923 MHz

Kemudian dilakukan simulasi untuk satu buah resonator filter 923 MHz dengan bentuk resonator sama seperti gambar 3.2 dimana  $l$  bernilai 58 mm. Hasil simulasi S11 untuk resonator tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.6. Dari gambar tersebut diketahui bahwa resonan terjadi pada frekuensi 972 MHz, bergeser 49 MHz dari diharapkan yaitu 923 MHz.



Gambar 3.6 Hasil Simulasi S11 dari satu buah resonator hasil rancangan

Kemudian disimulasikan parameter S11 dan S21 untuk lima buah resonator dengan bentuk resonator sama seperti gambar 3.4 dimana  $l$  bernilai 58 mm. Hasil simulasi untuk filter hairpin tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.7. Dari grafik S11 dan S21 tersebut terlihat bahwa filter hairpin hasil rancangan bekerja pada frekuensi sekitar 846 MHz – 992 MHz. Sama seperti filter 433 MHz, dari grafik tersebut terlihat return loss filter ini masih belum *matching*.



Gambar 3.7 Hasil simulasi filter hairpin 923 MHz dengan lima buah resonator (a)

$S_{11}$ (b)  $S_{21}$



### 3.5 Simulasi Filter Hairpin Dengan *Via Ground Hole*

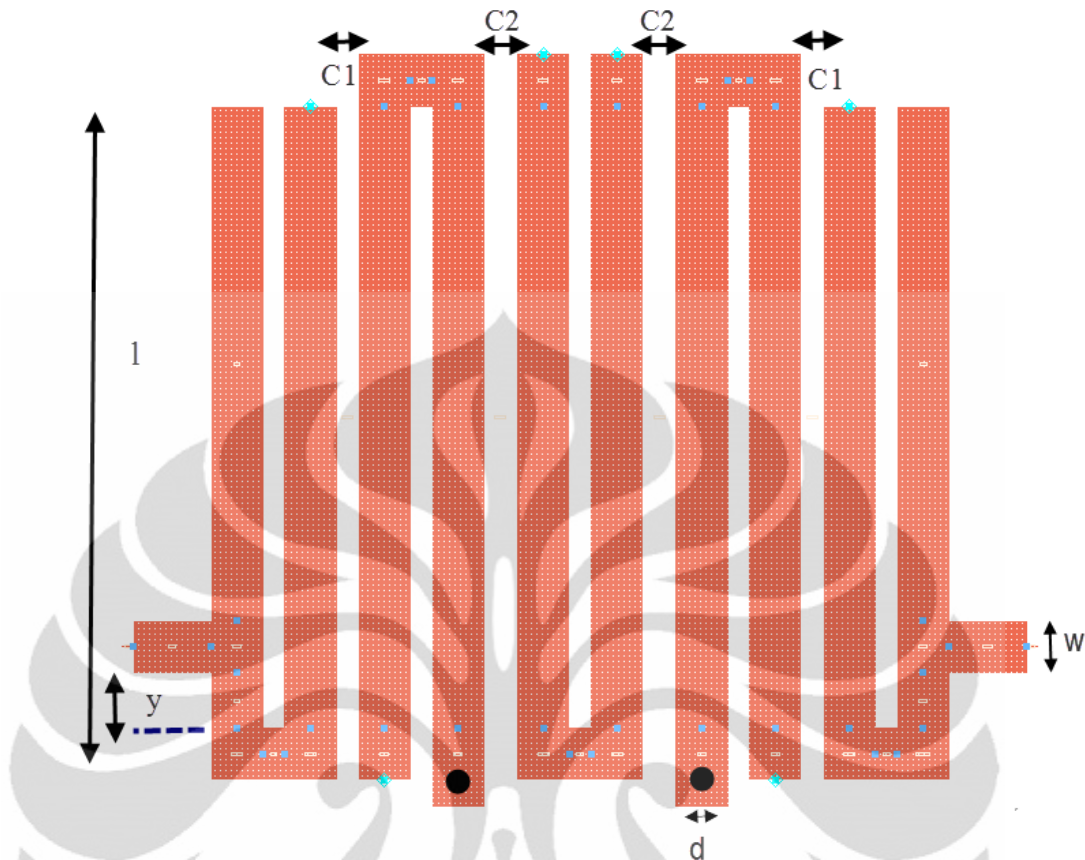
Penambahan *via ground hole* dalam rangkaian filter hairpin dapat mempersempit *bandwidth* dari filter dan juga memperkecil ukuran resonator, akibatnya dimensi filter secara keseluruhan juga semakin kecil. Untuk mengetahui efek pemberian *via ground hole* pada filter dilakukan simulasi. Kemudian dilihat pengaruhnya terhadap parameter S11 dan S21-nya.

Berdasarkan teori pemberian *via ground hole* pada rangkaian filter hairpin dapat memperpendek ukuran panjang resonator terhadap frekuensi resonannya[8]. Rasio perpendekan resonator filter dengan *via ground hole* adalah sekitar setengah kali panjang resonator tanpa *via ground hole*.

Table 3.2 menunjukkan ukuran rancangan panjang resonator tanpa *via ground hole* dan dengan *via ground hole*

Tabel 3.2 Panjang resonator dengan dan tanpa *via ground hole*

Frekuensi kerja resonator (MHz)	Panjang resonator (mm)	
	Tanpa <i>via ground hole</i>	Dengan <i>via ground hole</i>
433	252	122.5
923	118	59



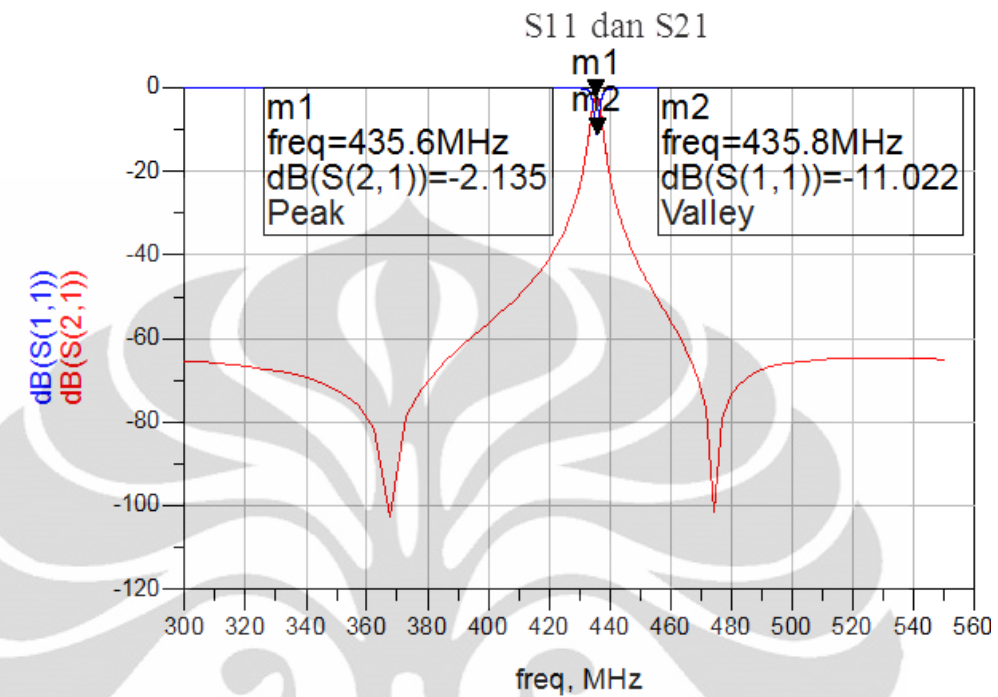
Gambar 3.8 rancangan filter dengan *via ground hole*

Gambar 3.8 menunjukkan rancangan filter dengan dua buah *via ground hole* dengan  $l$  merupakan panjang lengan resonator,  $y$  merupakan posisi pencatu pada lengan resonator,  $w$  merupakan keseluruhan lebar lima buah resonator,  $C1$  dan  $C2$  merupakan lebar celah antar resonator,  $d$  merupakan diameter *via ground hole*, dan  $w$  merupakan lebar saluran resonator. *Via ground hole* ditandai dengan bulatan hitam pada ujung resonator kedua dan keempat.

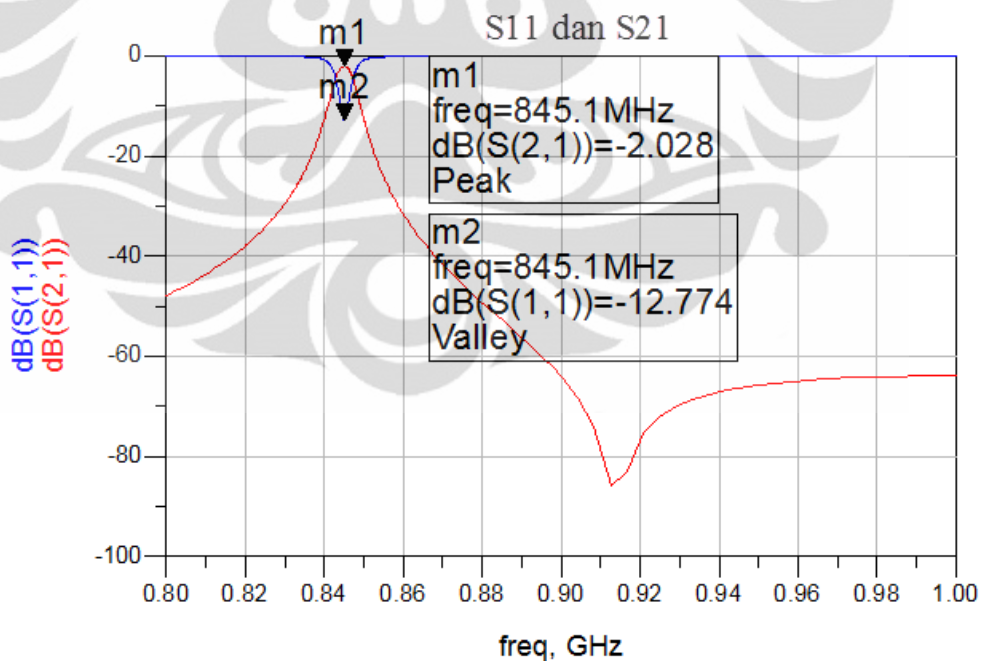
Pemilihan letak *via ground hole* pada posisi tersebut didasarkan pada hasil simulasi, dimana pada posisi tersebut hasil simulasi  $S_{11}$  dan  $S_{21}$ -nya yang paling baik.

Gambar 3.9(a) menunjukkan hasil simulasi dari rancangan filter 433 MHz dengan rancangan sesuai dengan gambar 3.8 dimana nilai  $l = 60$  mm,  $w = 4,68$  mm,  $y = 1$  mm,  $d = 2$  mm,  $C1 = 0,4$  mm dan  $C2 = 0,6$  mm. Sedangkan Gambar 3.9(a) menunjukkan hasil simulasi dari rancangan filter 923 MHz dengan

rancangan sesuai dengan gambar 3.8 dimana nilai  $l = 28,5$  mm,  $w = 4,68$  mm,  $y = 1$  mm,  $d = 2$  mm,  $C1 = 0,4$  mm dan  $C2 = 0,6$  mm



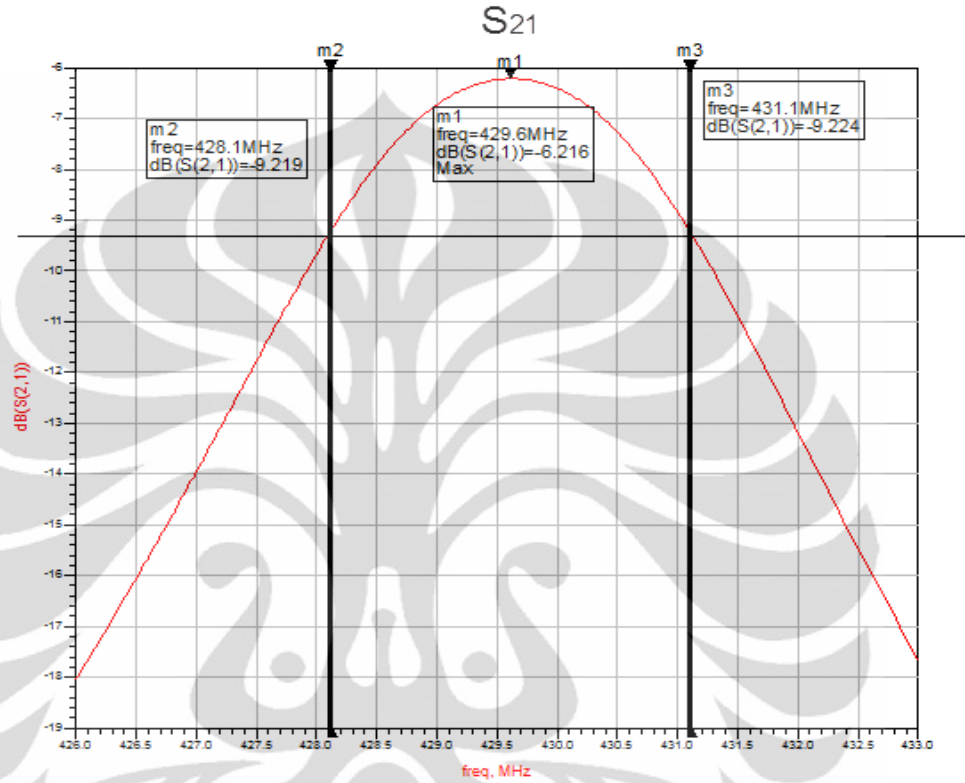
(a)



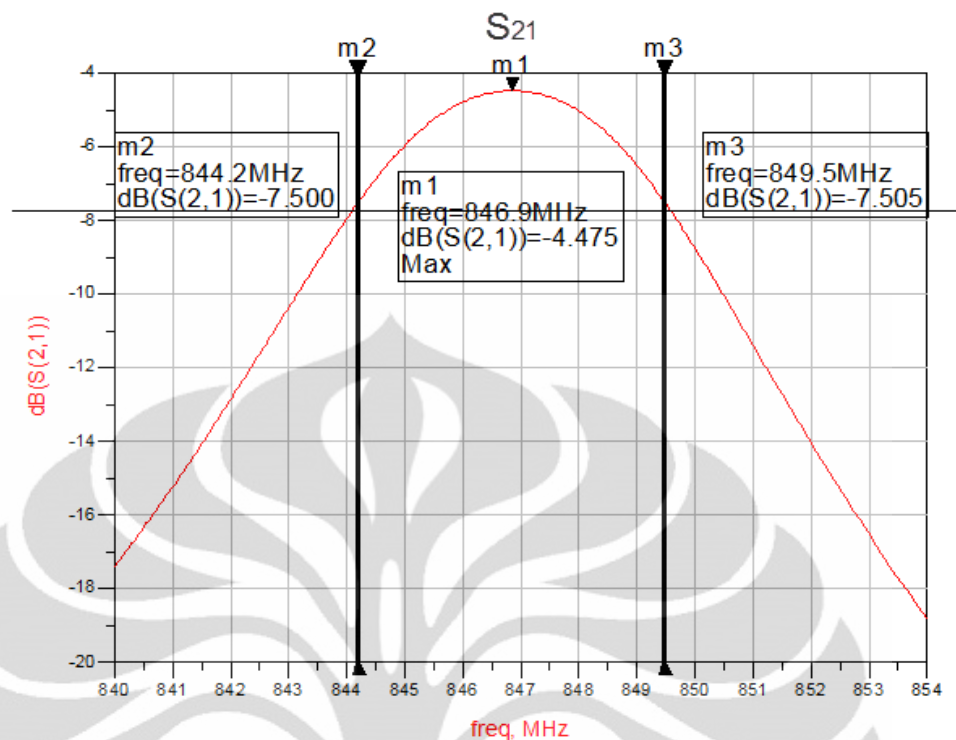
(b)

Gambar 3.9 Hasil simulasi S11 dan S21 filter dengan *via ground hole*(a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz

Dari Gambar 3.9, secara simulasi terbukti bahwa penambahan *via ground holed* dapat memperpendek dimensi resonator sehingga memperkecil dimensi keseluruhannya. Gambar 3.10 menunjukkan grafik  $S_{21}$  yang memperlihatkan *fractional bandwidth filter* yang didapat jika ditambahkan *via ground hole*



(a)



(b)

Gambar 3.10 Parameter S21 filter dengan *via ground hole* untuk mengetahui *fractional bandwidthnya* (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz

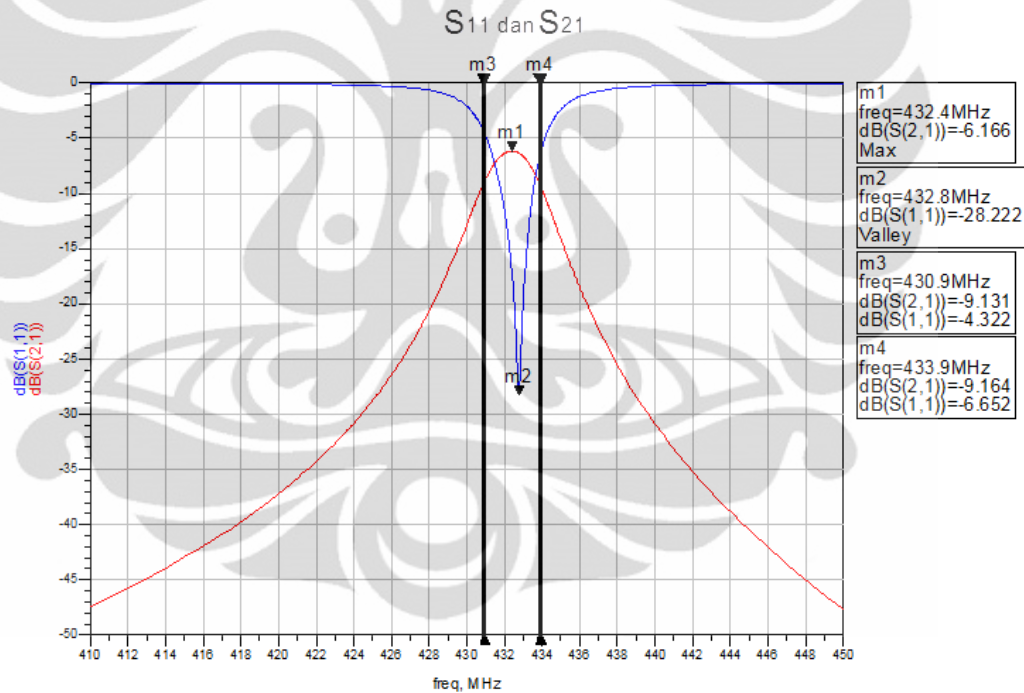
Dari Gambar 3.10, dapat diketahui *fractional bandwidth* kedua filter tersebut untuk filter pertama adalah 0,69 % dan untuk filter kedua adalah 0,62 %. Dapat disimpulkan secara simulasi penambahan *via ground hole* pada rangkaian filter hairpin dapat mempersempit *bandwidth* filter.

Kedua rancangan filter dengan *via ground hole* tersebut belum tepat berada pada frekuensi kerja filter yang diinginkan, hal ini disebabkan karena pada rancangan filter tersebut terdapat area pembengkokan dan perpanjangan ujung-ujung resonator pada resonator kedua, ketiga dan keempat, sehingga antara perhitungan dan simulasi tidak menunjukkan hasil sama. Untuk itu perlu dilakukan karakterisasi agar kedua filter tersebut bekerja pada frekuensi kerja yang diinginkan.

Untuk filter pertama karena frekuensi kerja sementara yang didapat dari simulasi adalah 451,6 MHz, sementara yang diinginkan adalah 433 MHz, maka dilakukan sedikit perubahan terhadap panjang resonator, karena panjang resonator

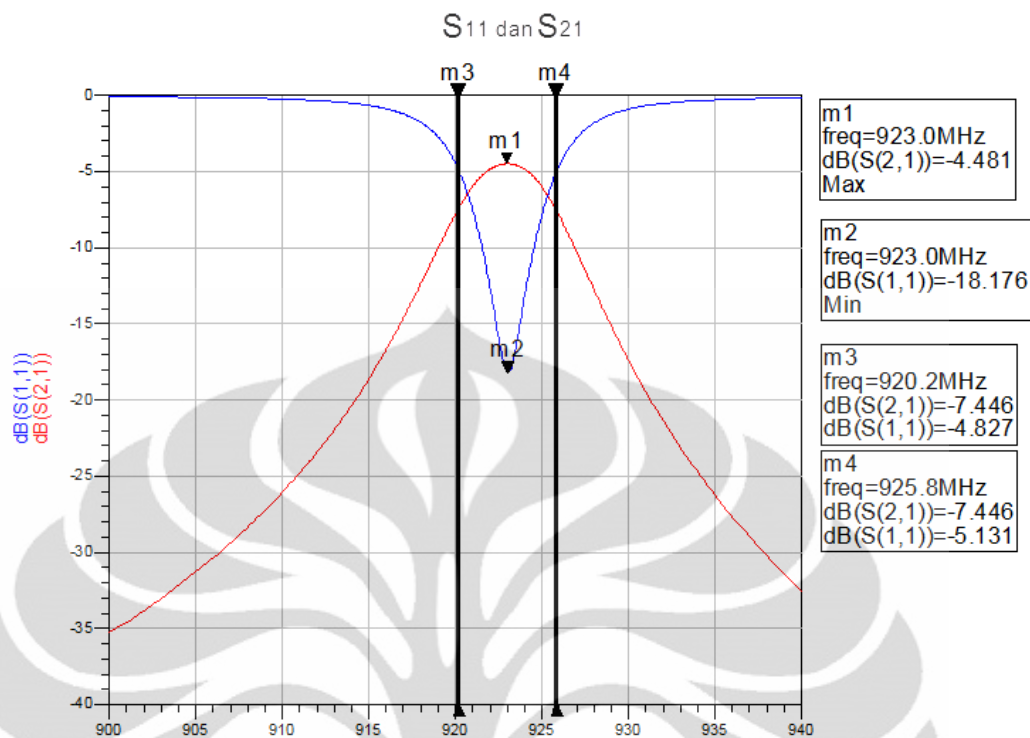
berbanding terbalik dengan frekuensi kerjanya, maka untuk untuk filter pertama mencapai frekuensi kerja yang diinginkan, dilakukan perpanjangan. Panjang lengan resonator filter 433 MHz sebelumnya adalah 60 mm kemudian setelah dilakukan pemanjangan menjadi sekitar 60,6 didapat frekuensi kerja hasil simulasi sebesar 433 seperti yang tampak pada Gambar 3.11.

Untuk filter kedua karena frekuensi kerja sementara yang didapat dari simulasi adalah 845,1 MHz, sementara yang diinginkan adalah 923 MHz, maka dilakukan perpendekan terhadap panjang lengan resonatornya. Panjang lengan resonator filter 923 MHz sebelumnya adalah 28.5 mm kemudian setelah dilakukan perpendekan menjadi sekitar 25.63 didapat frekuensi kerja hasil simulasi sebesar 923 seperti yang tampak pada Gambar 3.12.



Gambar 3.11 Hasil karakterisasi filter 433 MHz





Gambar 3.12 Hasil karakterisasi filter 923 MHz

Setelah didapat panjang resonator yang sesuai dengan frekuensi kerja yang diinginkan, diatur letak posisi pencatu terhadap lengan resonator agar filter memiliki respon frekuensi yang diinginkan. Lalu untuk mendapatkan *bandwidth* filter yang diinginkan, diatur celah antar resonatornya.

### 3.6 Pengaruh Posisi Pencatu Terhadap Karakteristik Filter

Dengan menggunakan respon frkuensi *Chebyshev* 0.01 dB diharapkan filter 433 MHz yang dirancang memiliki *fractional bandwidth* 0,7 %. Sedangkan untuk filter 923 MHz diharapkan memiliki *fractional bandwidth* 0.6 %. Penentuan *bandwidth* tersebut didasarkan kepada hubungan semakin sempit *bandwidth* yang diinginkan, semakin besar pengaruh *insertion loss* yang terjadi[7].

Perancangan filter dimulai dengan menentukan nilai prototype filter lowpass berdasarkan tabel Chebyshev dengan ripple 0.01 dB. Untuk orde 5 dan ripple 0,01 dB, respon frekuensi tersebut memiliki parameter  $g_1 = 0,7653$ ,  $g_2 = 1,3049$ ,  $g_3 = 1,5773$ ,  $g_4 = 1,3049$ ,  $g_5 = 0,7563$  dan  $g_6 = 1$ .

Kemudian dihitung nilai  $Q_{ext}$  yang diharapkan dengan menggunakan



persamaan 2.7 .Berikut perhitungan  $Q_{ext}$  yang diharapkan.

$$Q_{ext1} = \frac{0.7653 * 1.3049}{0.007} = 140.9$$

$$Q_{ext2} = \frac{0.7653 * 1.3049}{0.006} = 166.4$$

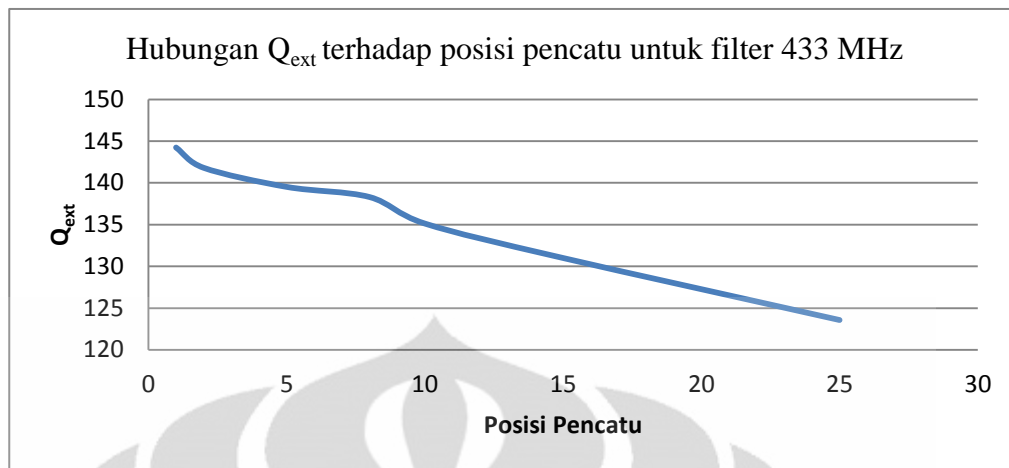
Lalu dengan simulasi kita cari posisi pencatu yang memiliki karakteristik  $Q_{ext} = 140.9$  yaitu dengan melihat grafik  $S_{21}$ -nya. Dari Gambar 3.13 dapat diketahui nilai faktor kualitas eksternal kedua filter tersebut. Masing-masing filter tersebut dicatu dengan posisi pencatu seperti yang tampak pada Gambar 3.8 yang dilambangkan dengan  $y$ , kemudian divariasikan posisi pencatu dan dilihat pengaruhnya terhadap nilai  $Q_{ext}$ .

Dari Gambar 3.13, pada grafik bagian atas diketahui nilai  $Q_{ext}$  sebesar  $\frac{432.7}{431.2-434.2} = 144.23$ . Untuk grafik pada Gambar 3.14, nilai  $Q_{ext}$  -nya adalah  $\frac{923}{925.8-920.2} = 164.8$ . Kemudian dengan memvariasikan posisi pencatu didapat nilai  $Q_{ext}$  yang telah dirangkum dalam tabel 3.3

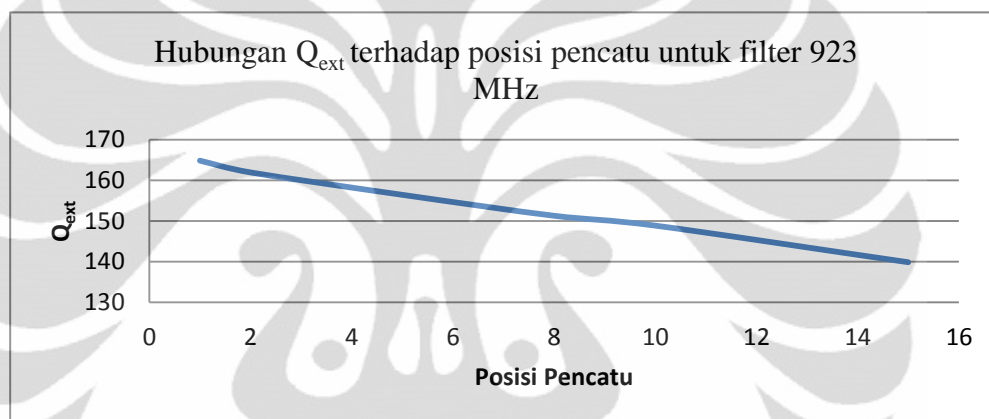
Tabel 3.3 Pengaruh posisi pencatu terhadap nilai  $Q_{ext}$

Posisi pencatu (mm)	$Q_{ext}$ filter 433 MHz	$Q_{ext}$ filter 2
1	144.2333	164.8214
2	141.803	161.9298
5	139.5161	156.4237
8	138.3	151.2787
10	135.125	148.8548
15	131	139.8636
25	123.5714	-

Dari tabel diatas dapat dibentuk grafik hubungan antara posisi pencatu terhadap nilai  $Q_{ext}$ . Gambar 3.15 menunjukkan grafik hubungan tersebut. Pada gambar tersebut, grafik bagian atas merupakan grafik untuk



(a)



(b)

Gambar 3.13 Grafik hubungan posisi pencatu terhadap faktor kualitas eksternal filter (a) untuk filter 433 MHz (b) untuk filter 923 MHz

Dari tabel 3.3 dapat ditentukan posisi pencatu yang baik untuk filter 433 MHz adalah 5 mm. Sedangkan untuk filter 923 MHz posisi pencatu yang paling baik adalah 1 mm.

### 3.7 Pengaruh Jarak Antar Resonator Terhadap Karakteristik Filter

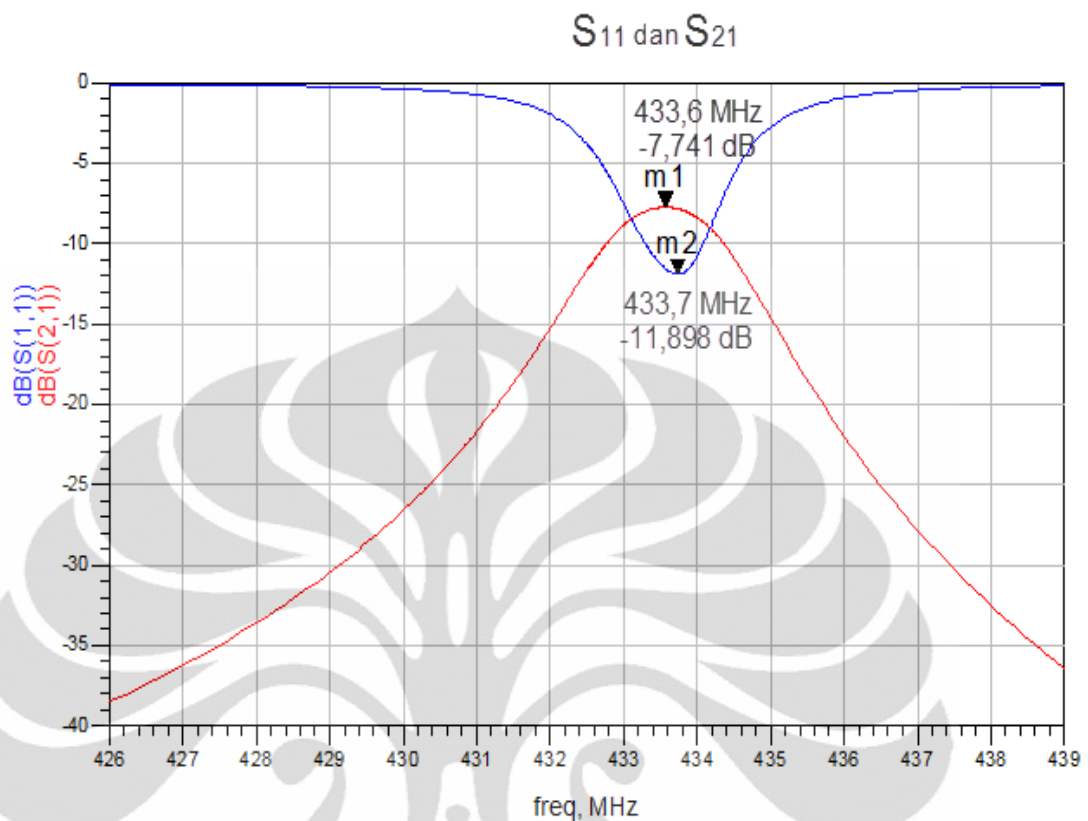
Berdasarkan teori, *bandwidth* yang sempit bisa didapatkan dengan dengan memperlebar jarak antar resonator. Namun jarak resonator yang terlalu lebar dapat memberikan pengaruh buruk terhadap parameter *insertion loss* filter. Untuk itu perlu diperhatikan *bandwidth* filter yang tidak membuat *insertion loss* terlalu besar. Pada Gambar 3.16 diperlihatkan hasil simulasi filter dengan memperhatikan posisi pencatu yang telah dirancang pada pembahasan sebelumnya. Lebar celah

antar resonator kedua filter tersebut adalah 0,4 mm untuk resonator pertama dan kedua dan 0,6 mm untuk resonator kedua dan ketiga. Tabel 3.4 menunjukkan hubungan lebar celah antar resonator dan pengaruhnya terhadap *bandwidth* filter.

Tabel 3.4 hubungan lebar celah antar resonator terhadap *bandwidth* filter  
433 MHz

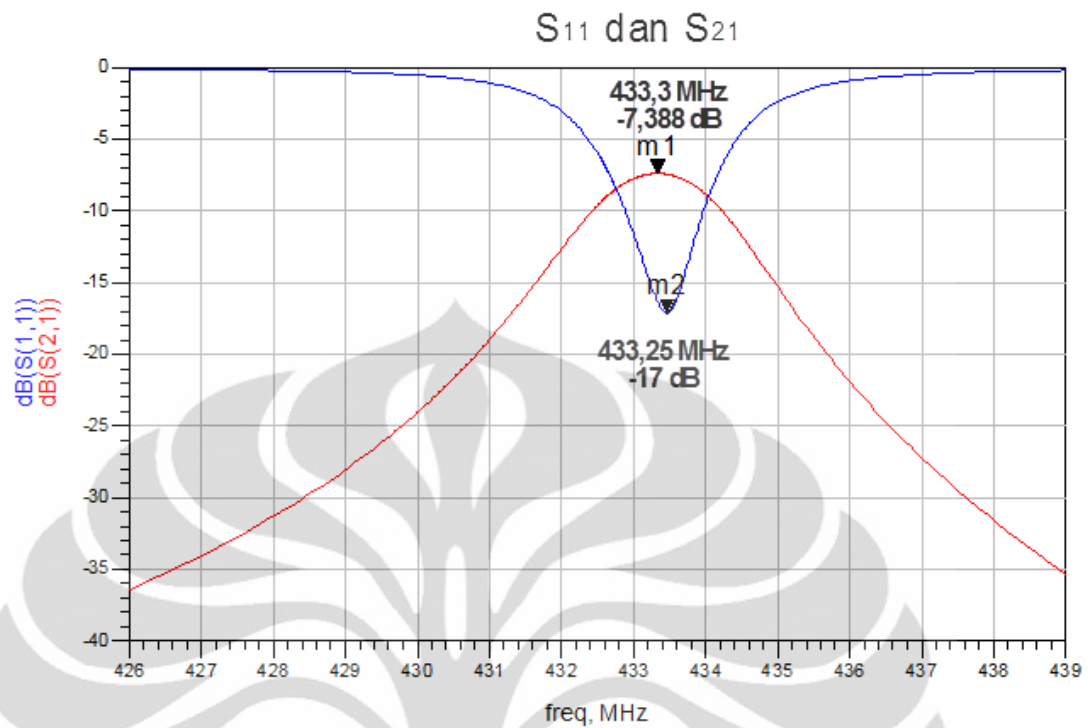
Celah 1 (mm)	Celah 2 (mm)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	<i>Insertion loss</i> (dB)
0,4	0,6	3	5,2
0,4	0,8	2,9	5,4
0,6	0,9	2,6	5,6
0,6	1,2	2,5	5,9
0,8	1,2	2,3	6
0,8	1,6	2,2	6,6
1	1,5	2,1	7
1	2	2	7,4
1,2	2	1,8	7,7
1,2	2,4	1,7	8,3

Dari beberapa ukuran celah antar resonator yang diuji dapat disimpulkan bahwa semakin lebar jarak antar resonator, semakin sempit *bandwidth* filter, namun dengan menyempitnya *bandwidth* filter, *insertion loss* juga meningkat. Dari tabel 3.4 dipilih ukuran celah 1 mm untuk celah 1 dan 2 mm untuk celah 2. Pemilihan lebar celah tersebut dikarenakan pada lebar celah tersebut grafik S-parameter filter masih dalam keadaan bagus, sebagai perbandingan dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.14 Grafik S-parameter filter 433 MHz dengan lebar celah resonator 1.2 dan 2 mm

Pada Gambar 3.16 dapat dilihat nilai *return loss* filter tersebut hanya 11,898 dB. Semakin lebar lagi celah antar resonator, semakin buruk grafik S-parameter yang didapat. Kemudian kita bandingkan dengan filter yang memiliki lebar celah 1 dan 2 mm. Hasil simulasi filter tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.17. Pada grafik tersebut dapat dilihat nilai *return loss*-nya adalah -17 dB.

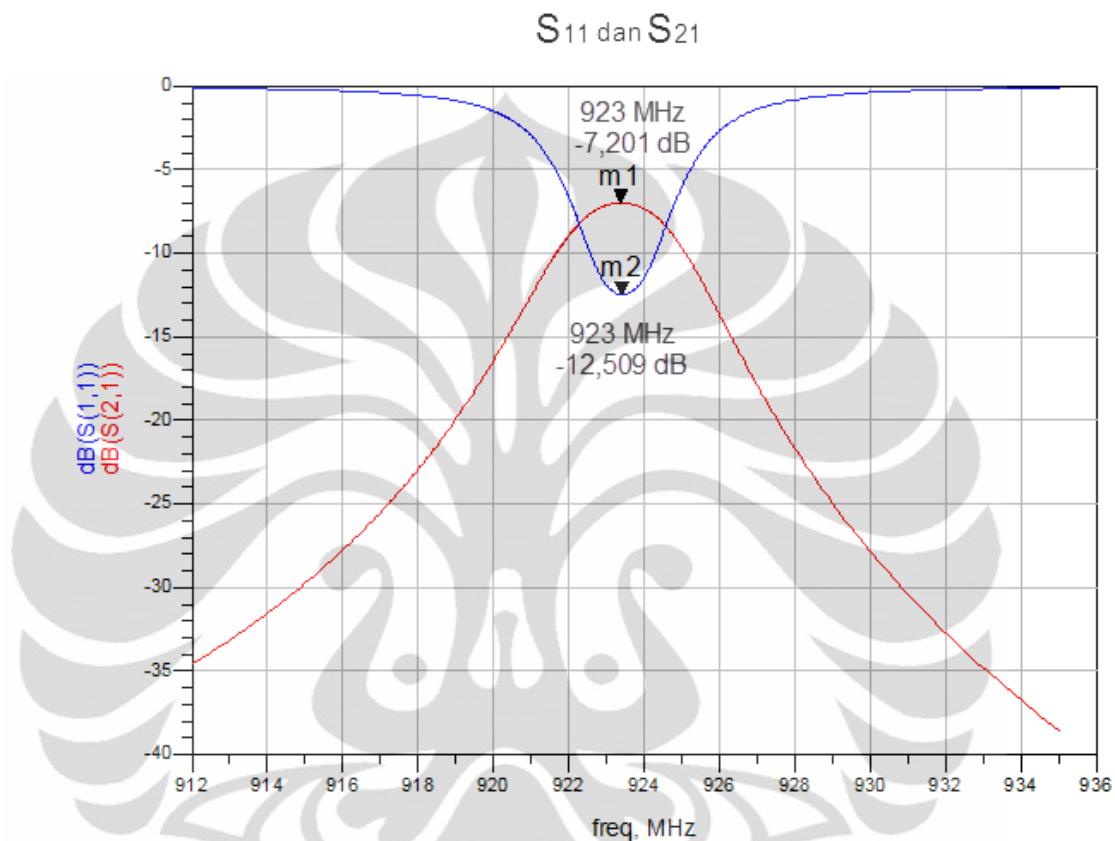


Gambar 3.15 Grafik S-parameter filter 433 MHz dengan lebar celah resonator 1 dan 2 mm

Tabel 3.5 hubungan lebar celah antar resonator terhadap *bandwidth* filter 923 MHz

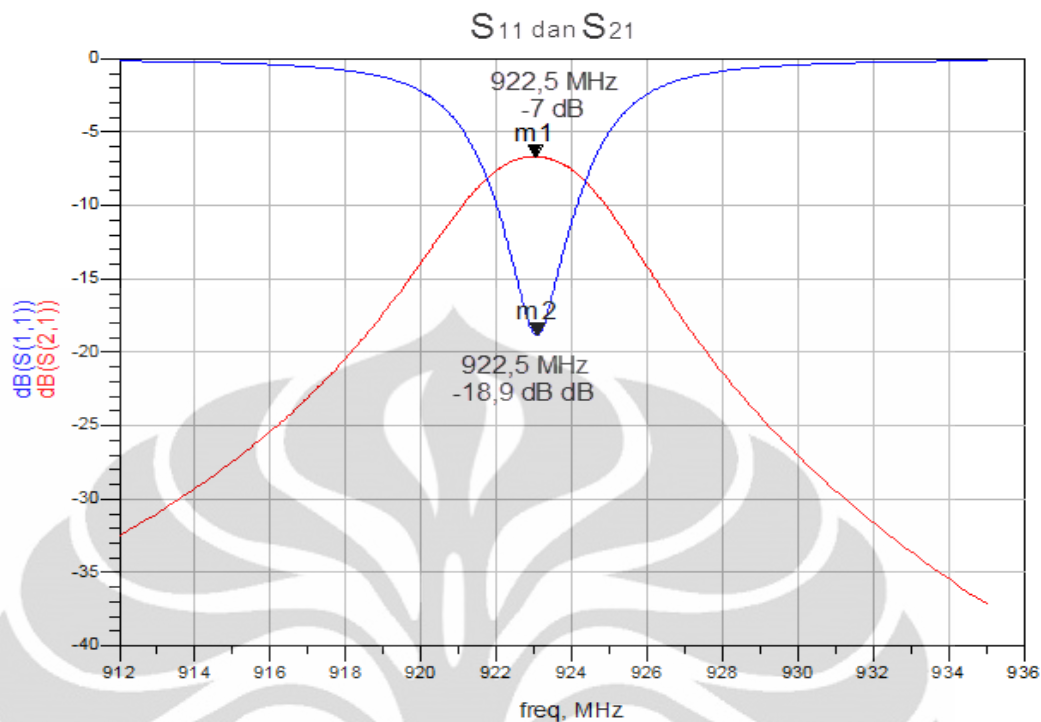
Celah 1 (mm)	Celah 2 (mm)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	<i>Insertion loss</i> (dB)
0,4	0,6	5,7	4,5
0,4	0,8	5,5	4,8
0,6	0,9	4,9	4,9
0,6	1,2	4,8	5,3
0,8	1,2	4,5	5,3
0,8	1,6	4,1	5,9
1	1,5	3,8	6
1	2	3,6	7
1,2	2	3,4	7,2
1,2	2,4	3,2	7,5

Sama seperti filter 433 MHz, pada filter 923 MHz dipilih ukuran celah 1 mm untuk celah 1 dan 2 mm untuk celah 2. Pemilihan lebar celah tersebut dikarenakan pada lebar celah tersebut grafik S-parameter filter masih dalam keadaan bagus, sebagai perbandingan dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.16 Grafik S-parameter filter 433 MHz dengan lebar celah resonator 1.2 dan 2 mm

Dari Gambar 3.18 dapat dilihat *return loss* pada frekuensi kerja filter tersebut berada pada 12.5 dB. Nilai tersebut sudah tidak terlalu baik lagi untuk berbagai aplikasi filter. Dibandingkan dengan gambar 3,19, filter dengan lebar celah antar resonator 1 dan 2 mm memiliki *return loss* sebesar 18,9 dB.



Gambar 3.17 Grafik S-parameter filter 923 MHz dengan lebar celah resonator 1 dan 2 mm

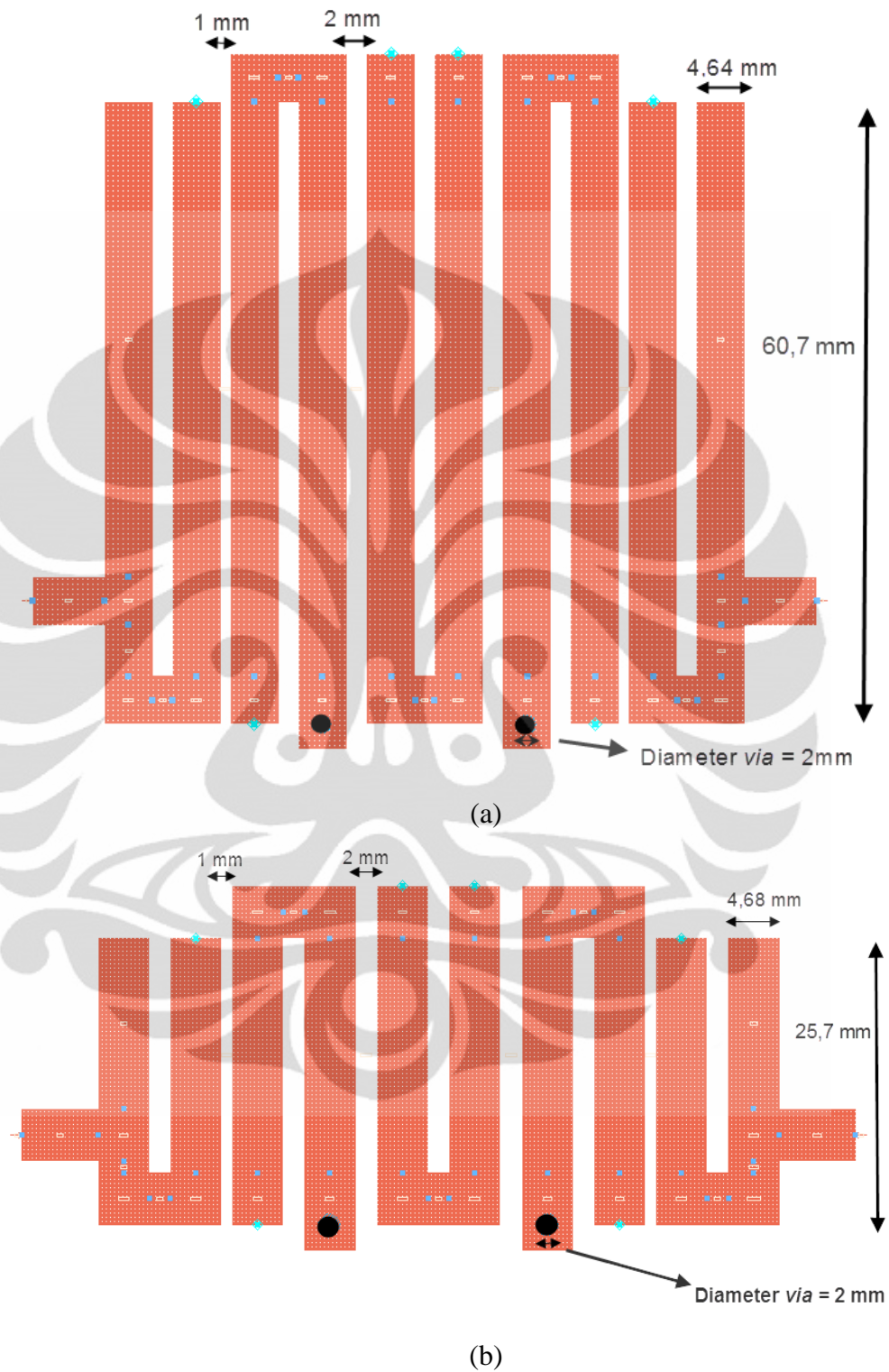
### 3.8 Kesimpulan Rancangan

Tabel 3.6 menunjukkan ukuran komponen-komponen filter yang terdapat pada gambar 3.8. hasil akhir bentuk dan ukuran filter ditunjukkan pada gambar 3.18, hasil simulasi rancangan filter tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.16 dan 3.17. Ukuran hasil rancangan tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam fabrikasi filter dalam skripsi ini.

Tabel 3.6 Ukuran komponen hairpin filter

Komponen Filter	Filter 433 MHz (mm)	Filter 923 MHz (mm)
l	60,7	25
w	4,68	4,68
y	5	1
d	2	2
C1	1	1
C2	2	2





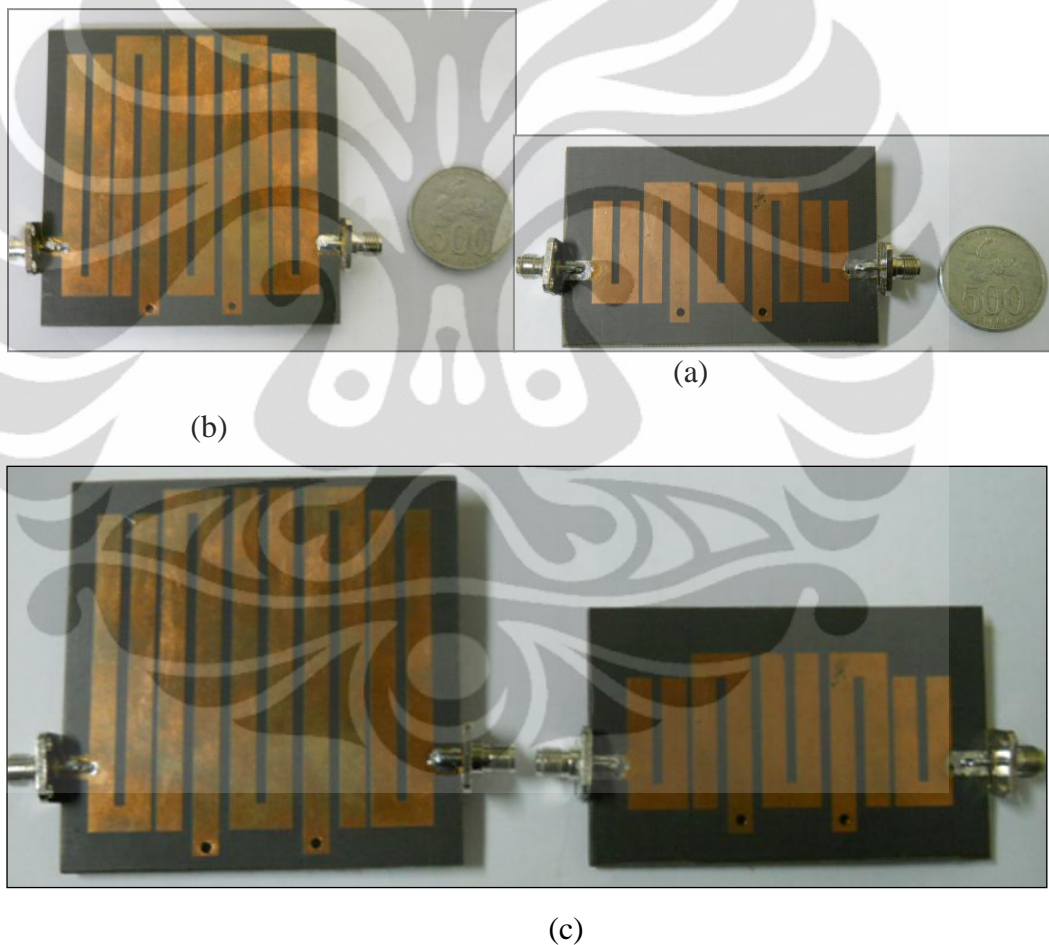
Gambar 3.17 Rancangan filter yang akan difabrikasi (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz

## BAB 4

### PENGUKURAN DAN ANALISA

#### 4.1 Hasil Fabrikasi

Setelah selesai perancangan dilakukan fabrikasi dengan menggunakan ukuran hasil rancangan tersebut. Hasil fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.1(a) merupakan filter untuk frekuensi kerja 433 MHz dan Gambar 4.1(b) merupakan filter untuk frekuensi kerja 923 MHz.



Gambar 4.1 Hasil fabrikasi (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz) (c)  
perbandingan ukuran filter 433 MHz dan 923 MHz

Dari Gambar 4.1(c) dapat dibandingkan ukuran filter 433 MHz dengan 923 MHz. Filter 433 MHz memiliki ukuran dua kali lebih besar daripada filter

923 MHz karena semakin kecil frekuensi kerja filter, semakin besar ukuran dimensi filter tersebut.

#### 4.2 Alat Dan Konfigurasi Pengukuran

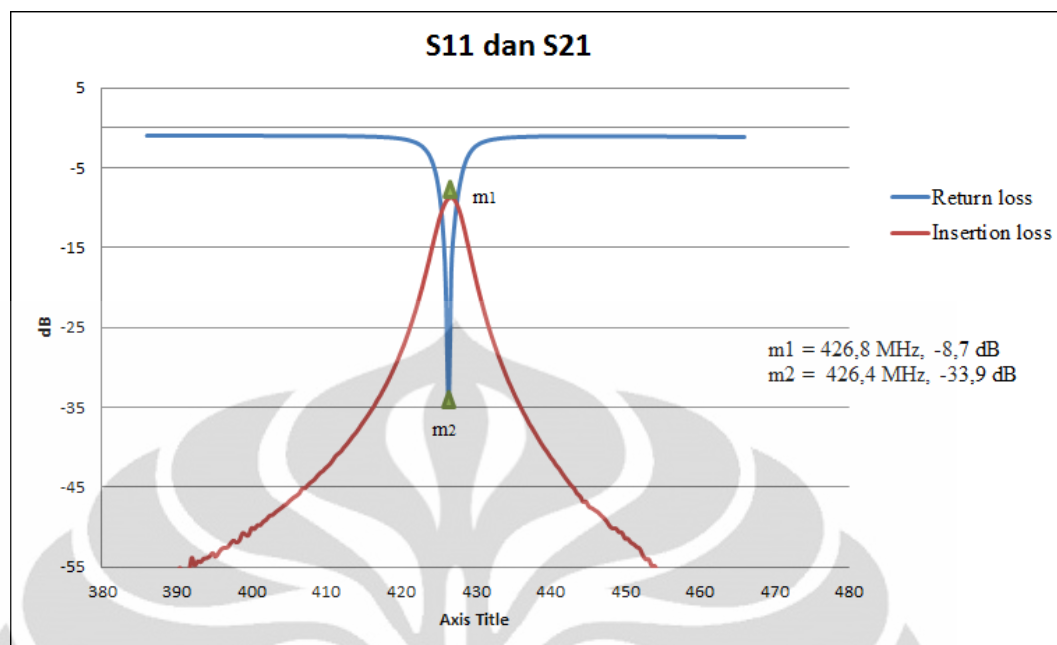
Kemudian hasil fabrikasi tersebut diukur parameter-parameternya. Parameter-parameter yang akan diukur yaitu  $S_{11}$  dan  $S_{21}$ -nya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *network analyzer* dengan konfigurasi seperti tampak pada Gambar 4.2. Pada gambar tersebut dapat dilihat kedua port filter dihubungkan ke *network analyzer*, kemudian diukur parameter  $S_{11}$  dan  $S_{21}$ -nya.



Gambar 4.2 Konfigurasi pengukuran

#### 4.3 Hasil Pengukuran

Dengan menggunakan ukuran rancangan, hasil pengukuran dari filter yang difabrikasi untuk frekuensi kerja 433 MHz dapat dilihat pada Gambar 4.3.

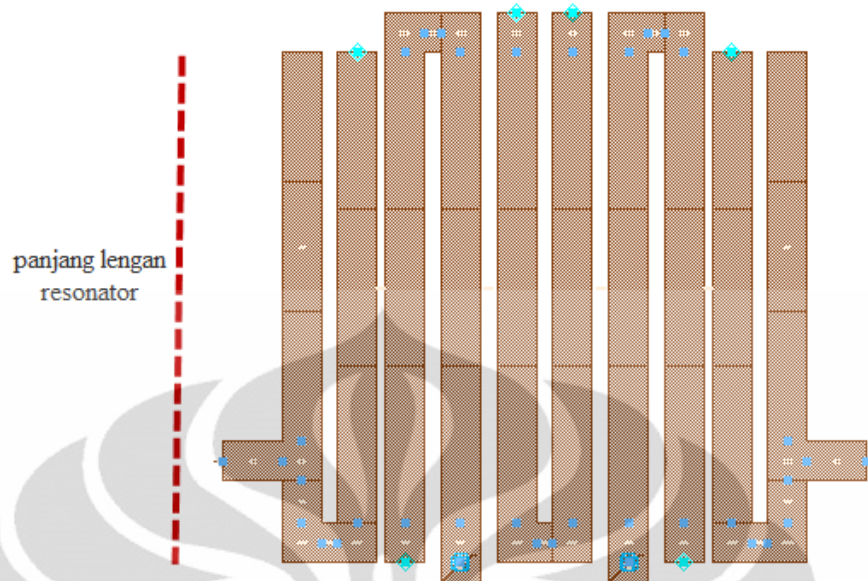


Gambar 4.3 Hasil pengukuran filter 433 MHz dengan ukuran sesuai rancangan

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat terjadi pergeseran frekuensi kerja filter dari yang diinginkan yaitu sebesar -6 MHz. Filter tersebut bekerja pada frekuensi kerja sekitar 426 MHz, sehingga filter ini sesuai untuk aplikasi yang diinginkan. Untuk membuat filter ini dapat bekerja pada frekuensi kerja 433 MHz, perlu dilakukan karakterisasi. Yaitu dengan mengubah ukuran struktur rancangan filter.

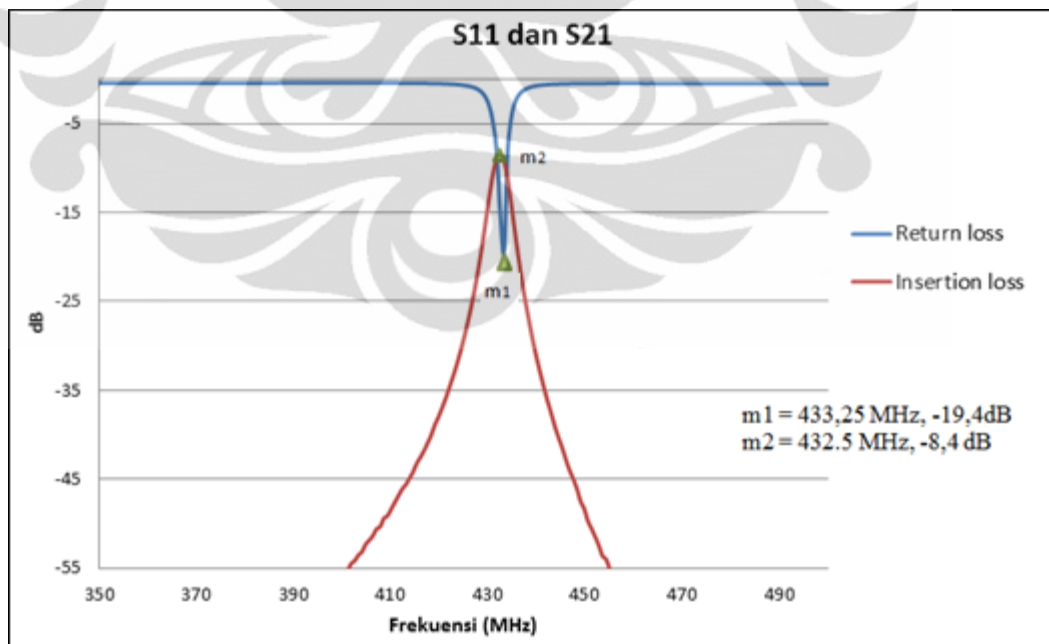
Karena permasalahan hasil pengukuran tersebut adalah pergeseran frekuensi, maka perlu dilakukan perubahan terhadap ukuran panjang resonator. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3, ukuran panjang resonator berpengaruh terhadap frekuensi kerja filter. Semakin panjang resonator, semakin kecil frekuensi kerjanya. Untuk menggeser frekuensi kerja filter dari 426 ke 433 MHz, ukuran panjang resonator perlu diperpendek karena frekuensi kerjanya bergeser menjadi lebih besar. Gambar 4.4 menunjukkan bagian dari ukuran rancangan filter yang akan diubah untuk mendapatkan frekuensi kerja yang diinginkan.



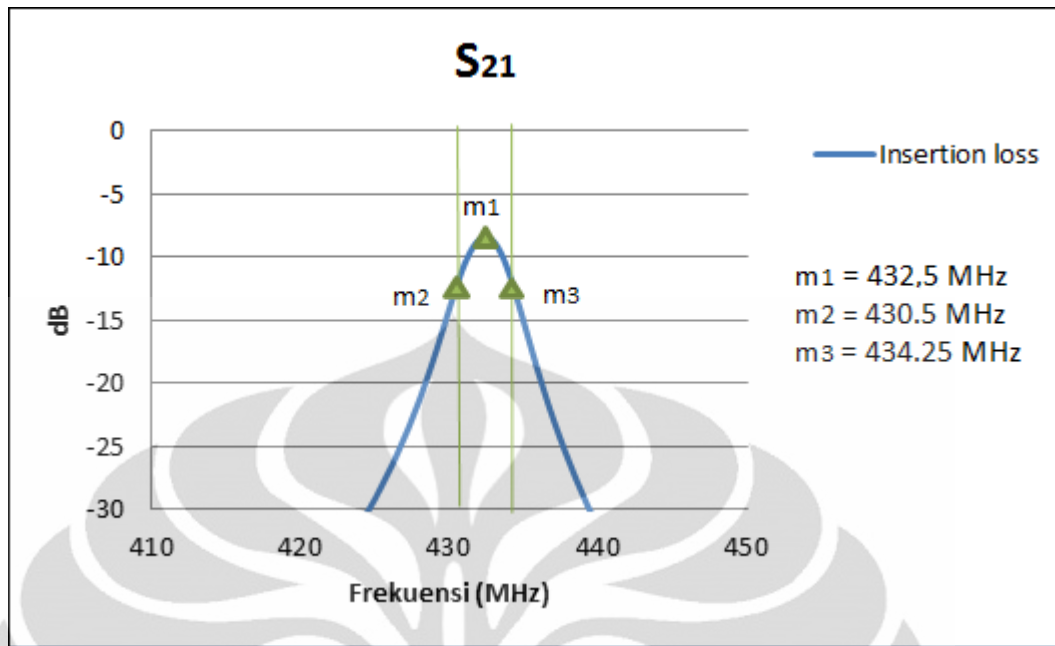


Gambar 4.4 Bagian struktur rancangan filter yang diubah

Setelah dilakukan penyesuaian ukuran rancangan filter, yaitu dengan mengubah panjang lengan resonator dari 60,7 menjadi 60 mm, dilakukan fabrikasi dan diukur hasilnya. Gambar 4.5 merupakan gambar grafik hasil pengukuran filter setelah dilakukan penyesuaian panjang resonator.



(a)

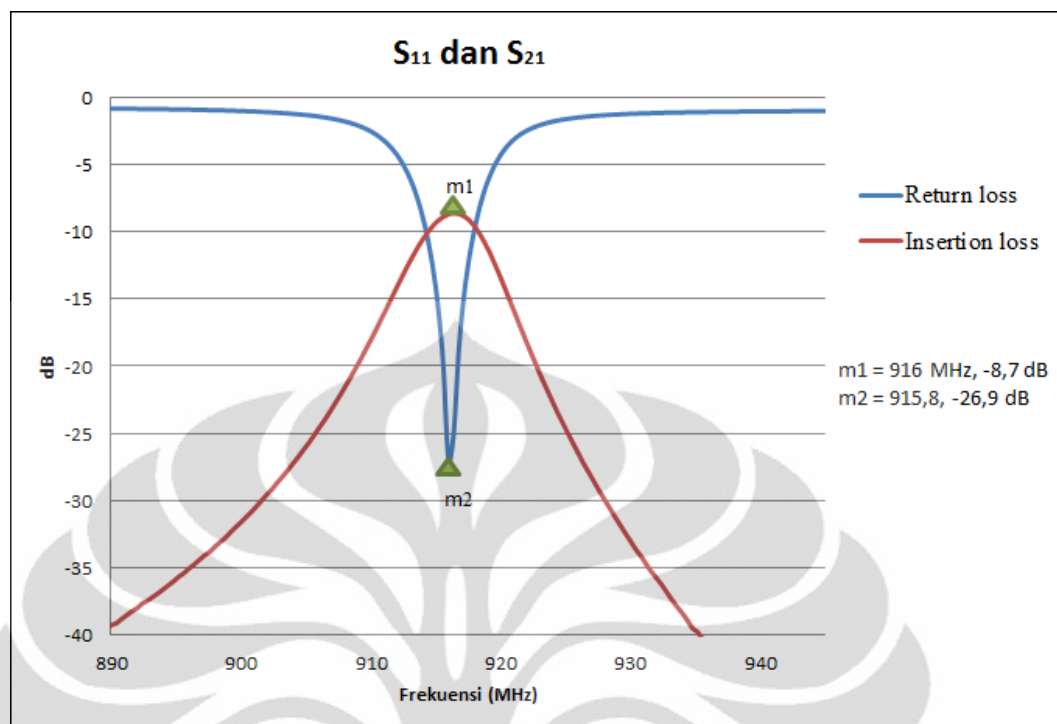


(b)

Gambar 4.5 Grafik S-parameter filter 433 MHz (a) S<sub>21</sub> dan S<sub>11</sub> (b) S<sub>21</sub>

Dari Gambar 4.5(a) dapat dilihat filter 433 MHz memiliki nilai maksimum *return loss* sebesar 19,4 dB yaitu di frekuensi 433,25 MHz sedangkan nilai minimum *insertion loss*-nya adalah 8,4 dB yaitu di frekuensi 432,5 MHz. Dari Gambar 4.5(b) dapat dilihat *bandwidth* filter tersebut adalah 3,75 MHz, *fractional bandwidth* filter tersebut adalah  $FBW = \frac{434,25-430,5}{432,5} = 0,0086$  atau sebesar 0,86 %.

Hasil pengukuran dari filter 923 MHz dengan menggunakan ukuran hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 4.6.

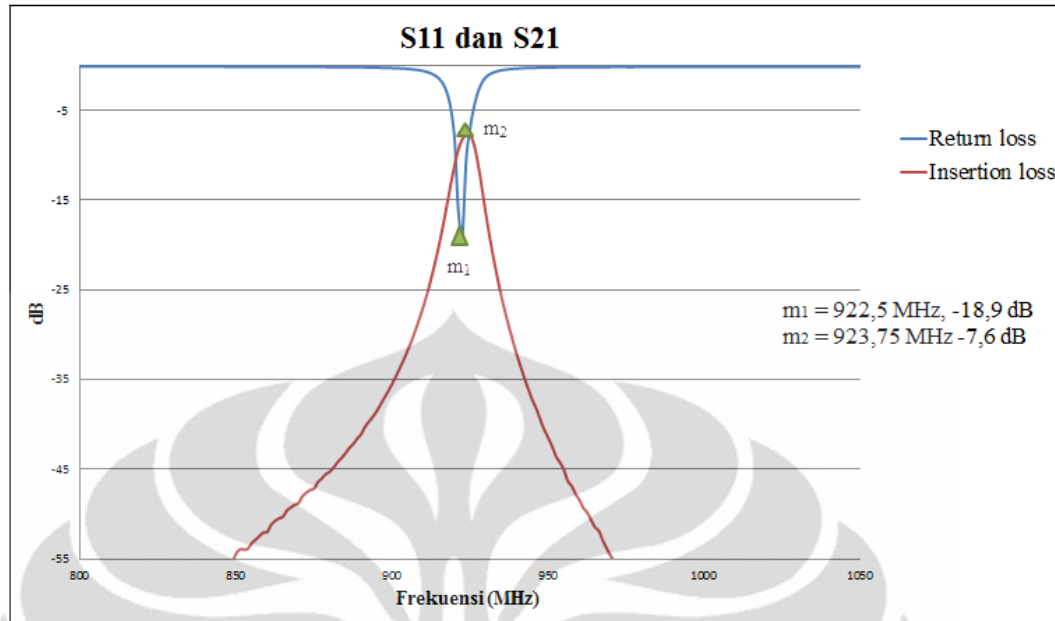


Gambar 4.6 Hasil pengukuran filter 923 MHz dengan ukuran sesuai rancangan

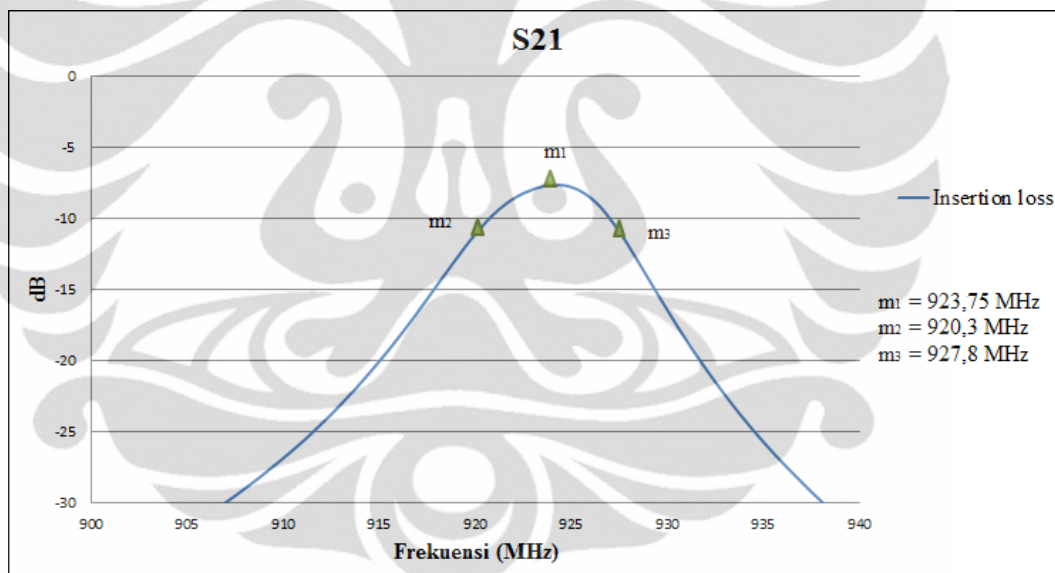
Pada pengukuran filter 923 MHz juga terjadi pergeseran frekuensi kerja sebesar 6 MHz. Untuk membuat filter bekerja pada frekuensi kerja 923 MHz, perlu dilakukan karakterisasi sama seperti yang dilakukan pada filter 433 MHz yaitu dengan memperpendek ukuran panjang resonator.

Setelah dilakukan penyesuaian ukuran rancangan filter, yaitu dengan mengubah panjang lengan resonator dari 25,7 menjadi 24,9 mm, dilakukan fabrikasi dan diukur hasilnya. Gambar 4.7 merupakan gambar grafik hasil pengukuran filter setelah dilakukan penyesuaian panjang resonator.





(a)



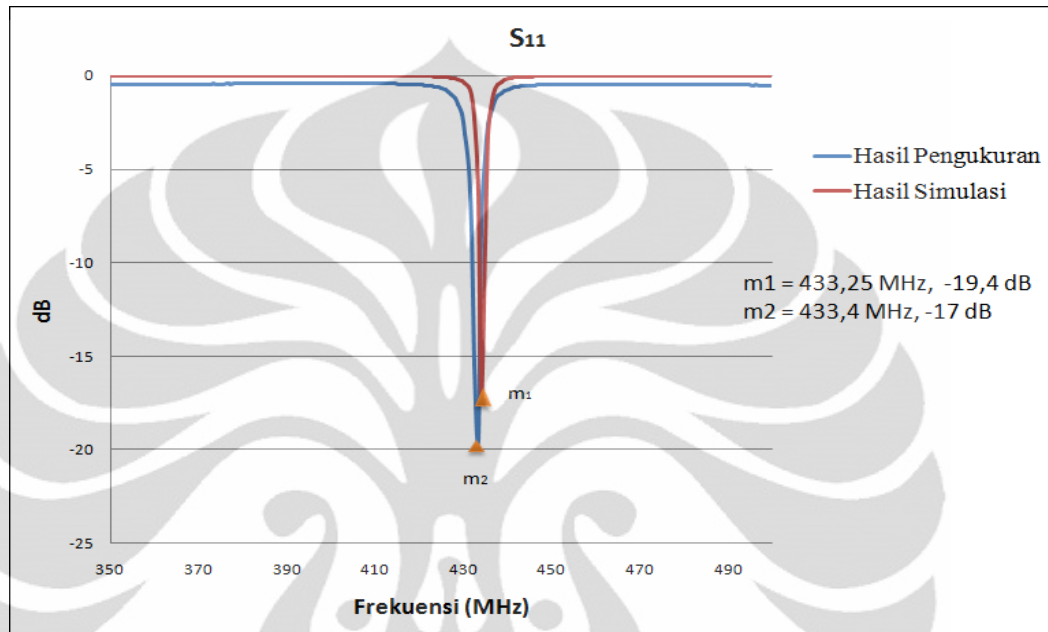
(b)

Gambar 4.7 Grafik S-parameter filter 923 MHz (a)  $S_{21}$  dan  $S_{11}$  (b)  $S_{21}$ 

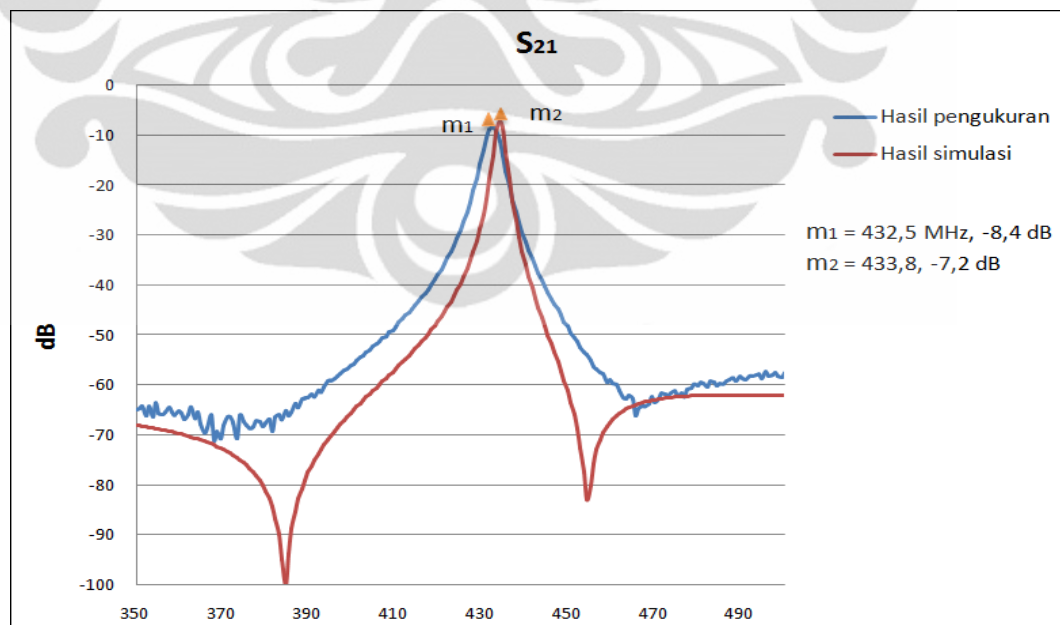
Dari Gambar 4.7(a) dapat dilihat filter 923 MHz memiliki nilai maksimum *return loss* sebesar 18,9 dB yaitu di frekuensi 922,5 MHz sedangkan nilai minimum *insertion loss*-nya adalah 7,6 dB yaitu di frekuensi 923,75 MHz. Dari Gambar 4.7(b) dapat dilihat dapat dilihat *bandwidth* filter tersebut adalah 7,5 MHz *fractional bandwidth* filter tersebut adalah  $FBW = \frac{927,8-920,3}{923,75} = 0,0081$  atau sebesar 0,81 %

#### 4.4 Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Hasil Simulasi

Hasil pengukuran filter setelah dikarakterisasi menunjukkan terjadi sedikit pergeseran dan pelebaran *bandwidth* filter jika dibandingkan dengan simulasi. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8 untuk filter 433 MHz dan Gambar 4.9 untuk filter 923 MHz.



(a)

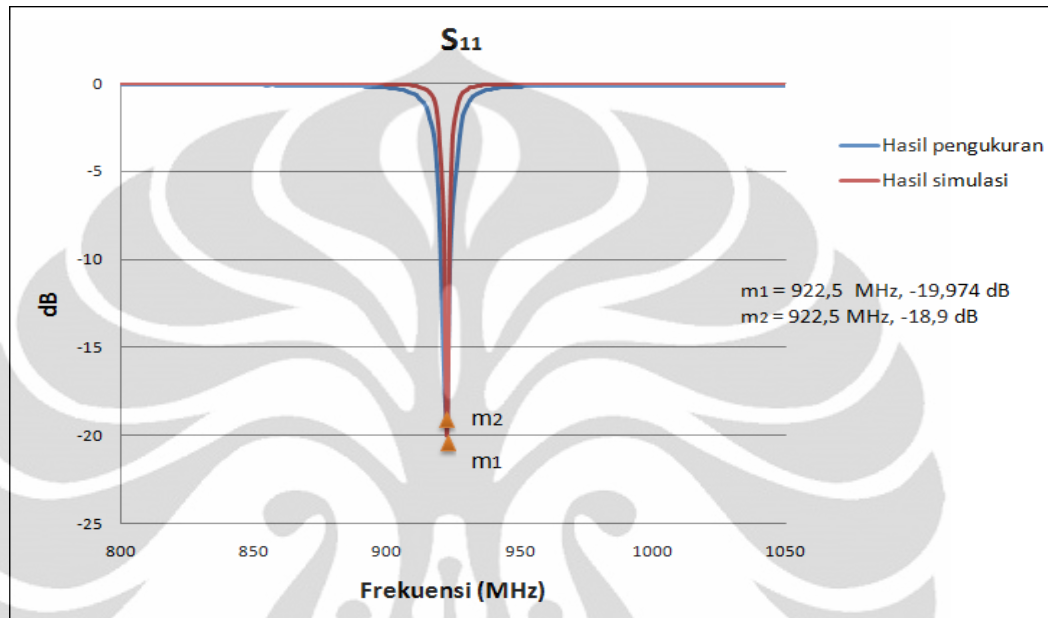


(b)

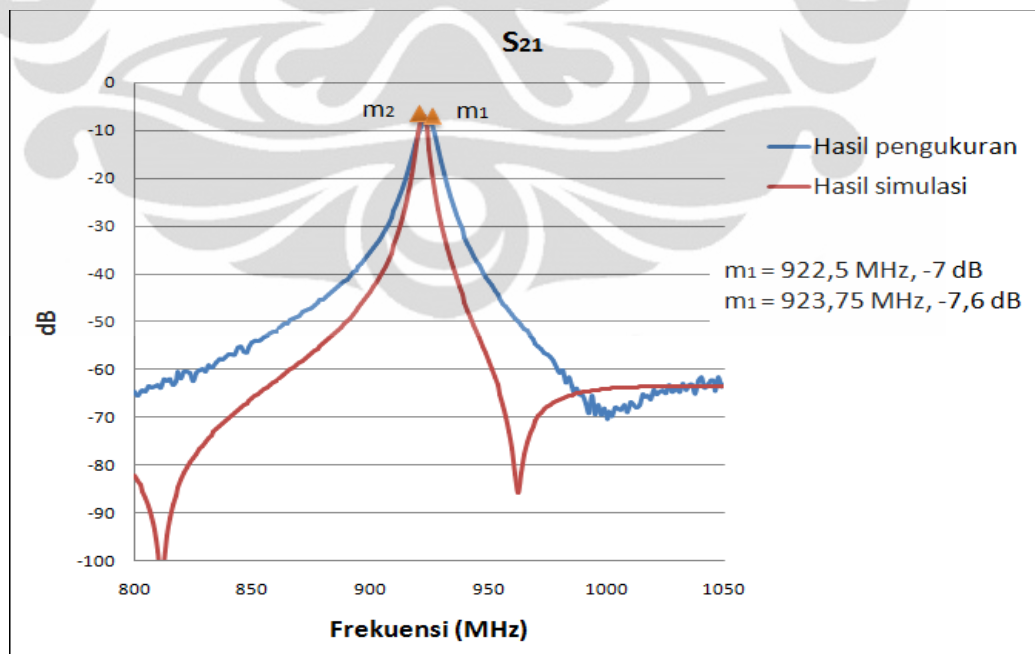
Gambar 4.8 Perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi filter 433 MHz

(a)  $S_{11}$  (b)  $S_{21}$

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi, baik  $S_{11}$  maupun  $S_{21}$  menunjukkan grafik yang hampir mirip, hanya terjadi sedikit pergeseran sebesar 1,3 MHz pada grafik  $S_{21}$ -nya. Sedangkan untuk grafik  $S_{11}$  hanya terjadi pergeseran sebesar 0,15 MHz.



(a)



(b)

Gambar 4.9 Perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi filter 923 MHz

(a)  $S_{11}$  (b)  $S_{21}$

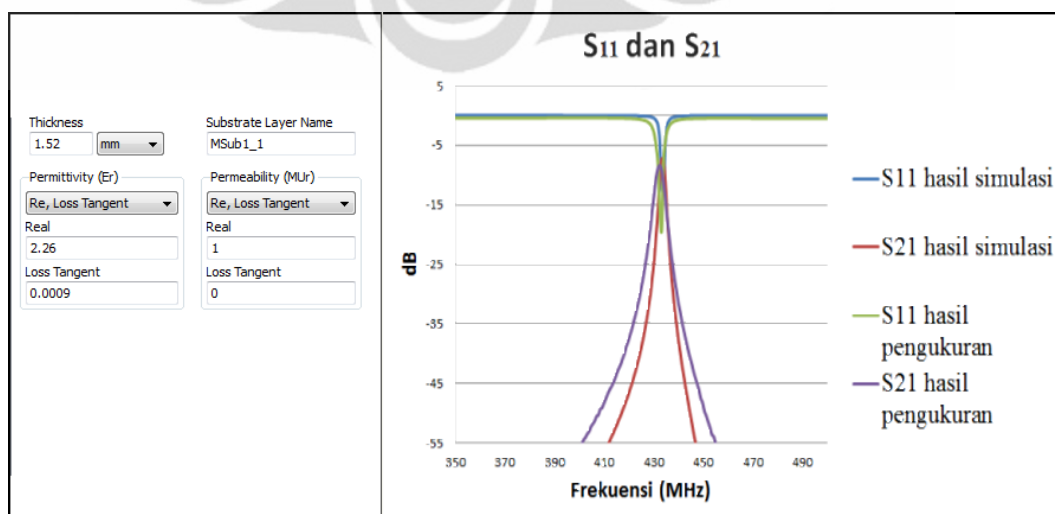
Dari Gambar 4.9 dapat dilihat grafik  $S_{11}$  hasil pengukuran dengan hasil simulasi berada pada frekuensi kerja yang sama, sedangkan untuk grafik  $S_{21}$  terjadi pergeseran frekuensi sebesar 1,25 MHz, dan pelebaran *fractional bandwidth* pada  $S_{21}$  hasil pengukuran.

## 4.5 Analisa Hasil Pengukuran

### 4.5.1 Analisa Pergeseran Frekuensi Kerja

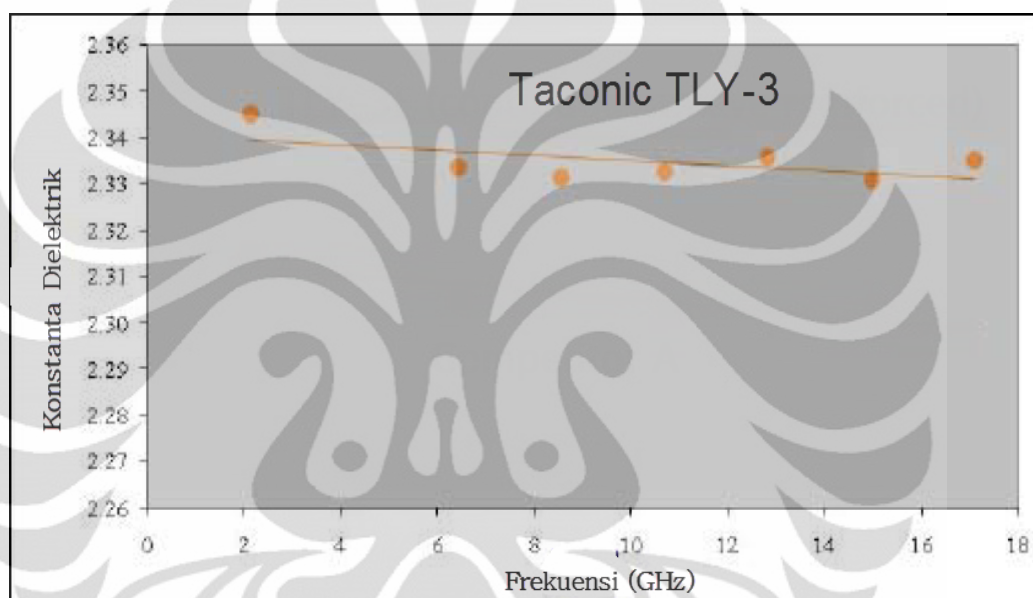
Dari kedua grafik hasil pengukuran filter dengan ukuran mengikuti ukuran rancangan (Gambar 4.3 dan 4.6) dapat dilihat pola pergeseran frekuensi kerja ke arah negatif sekitar 6 sampai dengan 7 MHz dibandingkan dengan hasil simulasi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketidaksesuaian konstanta dielektrik yang dipakai antara simulasi dengan fabrikasi. Pada simulasi digunakan konstanta dielektrik 2,2, konstanta dielektrik tersebut tercantum pada *datasheet* substrat yang digunakan (Taconic TLY-5). Namun pada *datasheet* tersebut konstanta dielektrik 2,2 diuji pada frekuensi 10 GHz, sedangkan frekuensi lainnya tidak jauh berbeda dari nilai 2,2. Untuk frekuensi 433 MHz dan 923 MHz kemungkinan sudah mengalami sedikit pergeseran nilai konstanta dielektrik.

Untuk mengetahui berapa dielektrik konstan yang tepat digunakan pada fabrikasi ini maka dilakukan percobaan secara simulasi. Gambar 4.10 menunjukkan spesifikasi substrat yang digunakan serta hasil simulasinya.



Gambar 4.10 hasil simulasi ketika konstanta dielektrik diubah

Gambar 4.10 menunjukkan konstanta dielektrik yang digunakan untuk fabrikasi telah bergeser dari 2,2 menjadi 2,26. Dengan demikian berarti semakin kecil frekuensi kerja dari suatu filter mikrostrip, semakin besar konstanta dielektriknya. Hal ini dapat dibuktikan dengan karakteristik konstanta dielektrik substrat yang terdapat pada *datasheet* substrat Taconic TLY. Untuk grafik ini diperlihatkan substrat Taconic dengan tipe TLY-3 yang merupakan masih satu golongan Taconic TLY dengan yang digunakan dalam fabrikasi ini.



Gambar 4.11 Karakteristik substrat terhadap frekuensi kerjanya [18]

Dapat dilihat pada Gambar 4.11, semakin kecil frekuensi kerja yang digunakan, semakin besar konstanta dielektriknya. Sehingga untuk perancangan suatu mikrostrip yang tepat, perlu diperhatikan berapa konstanta dielektriknya ketika digunakan pada frekuensi kerja alat tersebut.

Selain permasalahan konstanta dielektrik yang tidak sesuai tersebut, pergeseran frekuensi juga bisa disebabkan oleh ketidakakuratan hasil fabrikasi dengan ukuran rancangan. Karena pergeseran ukuran 0,05 mm saja dapat mempengaruhi hasil fabrikasi dengan cukup signifikan, mengingat rentang frekuensi kerja yang digunakan dalam filter ini cukup kecil. Oleh karena itu keakuratan hasil fabrikasi juga menjadi masalah yang harus diperhatikan.

#### 4.5.2 Analisa Kenaikan *Insertion Loss*

Pada Gambar 4.5 dan 4.7 dapat dilihat terjadi kenaikan besar *insertion loss* antara grafik hasil simulasi, hasil fabrikasi sebelum di karakterisasi dan hasil fabrikasi setelah difabrikasi. Pada hasil simulasi *insertion loss* yang terjadi sekitar 7 dB namun setelah difabrikasi *insertion loss*-nya meningkat sekitar 1 sampai dengan 2 dB. Hal itu tersebut kemungkinan terjadi karena faktor pensolderan konektor SMA. Pada simulasi tidak diperhitungkan rugi-rugi yang disebabkan oleh timah hasil solderan ka atas PCB namun setelah difabrikasi dan ditempelkan konektor SMA dengan pensolderan, terjadi rugi-rugi yang disebabkan oleh timah yang menempel di atas substrat.

#### 4.6 Reduksi Dimensi Filter

Pada bagian ini, akan diperbandingkan ukuran filter yang menggunakan *via ground hole* dengan filter yang tidak menggunakan *via ground hole*. Karena untuk membentuk *bandwidth* filter yang kecil dibutuhkan jarak antar resonator yang lebar pada filter, maka untuk membentuk *bandwidth* filter tanpa *via ground hole* yang sama dengan filter dengan *via ground hole* dimana filter dengan *via ground hole* memiliki *bandwidth* sekitar 3 - 7 MHz, dibutuhkan jarak antar resonator yang sangat lebar, yaitu sekitar 7 sampai 9 mm untuk satu celah antar resonatornya. Akibatnya dimensi filter juga akan menjadi sangat besar untuk filter tanpa *via ground hole*.

Oleh karena itu pada bagian ini, yang dibandingkan hanyalah ukuran terhadap frekuensi kerjanya saja tanpa mempertimbangkan *bandwidth* pada masing-masing filter. Karena yang berpengaruh terhadap frekuensi kerja filter hanya panjang resonatornya saja, untuk itu yang dibandingkan hanyalah panjang lengan resonatornya saja. Pada Gambar 4.19 diperlihatkan perbandingan ukuran filter antara filter yang menggunakan *via ground hole* dengan filter yang tidak menggunakan *via ground hole*. Dari Gambar 4.19 terlihat bahwa filter dengan *via ground hole* memiliki ukuran yang lebih kecil daripada filter tanpa *via ground hole*. Untuk filter 433 MHz, panjang lengan resonator filter dengan *via ground hole* adalah 60,7 mm sedangkan pada filter tanpa *via ground hole* 128 mm. Artinya untuk membentuk frekuensi 433 MHz, filter dengan *via ground hole*

hanya memerlukan ukuran panjang resonator 47% dari ukuran panjang resonator filter tanpa *via ground hole*. Sedangkan Untuk filter 923 MHz, panjang lengan resonator filter dengan *via ground hole* adalah 25,7 mm sedangkan pada filter tanpa *via ground hole* 58 mm. Artinya untuk membentuk frekuensi 923 MHz, filter dengan *via ground hole* hanya memerlukan ukuran panjang resonator 44% dari ukuran panjang resonator filter tanpa *via ground hole*.

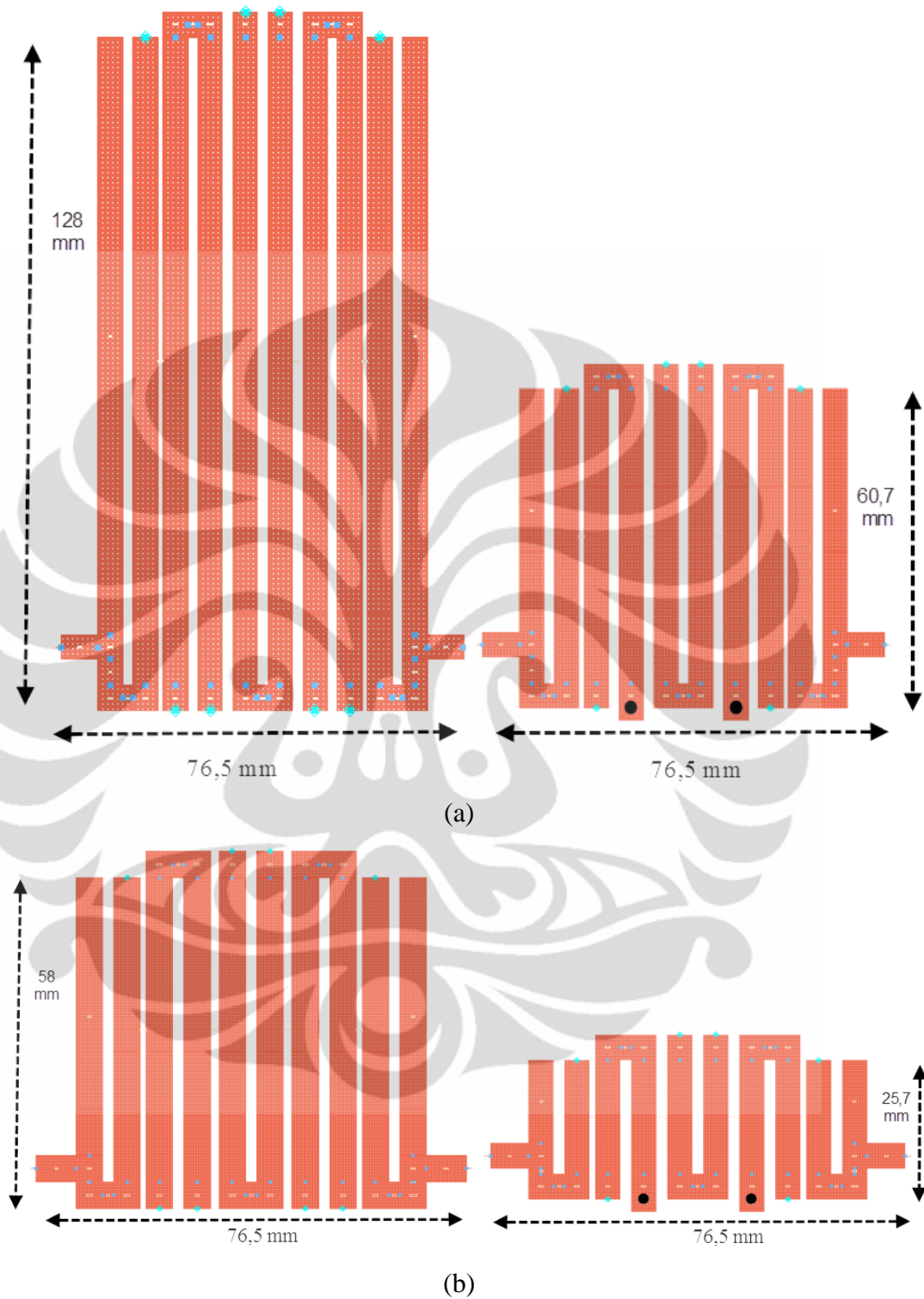
Secara keseluruhan, ukuran filter 433 MHz dan 923 MHz beserta rasio reduksinya dirangkum dalam tabel 4.1

Tabel 4.1 Perbandingan ukuran keseluruhan filter

Dimensi	Filter 433 MHz	Filter 923 MHz
Dengan <i>via ground hole</i>	60,7 X 76,5 mm	25,7 X 76,5 mm
Tanpa <i>via ground hole</i>	128 X 76,5 mm	58 X 76,5 mm
Rasio ukuran filter dengan <i>via ground hole</i> terhadap filter tanpa <i>via ground hole</i>	47.42 %	44.31 %

Pada tabel 4.1 dibandingkan ukuran keseluruhan filter antara filter dengan *via ground hole* dengan filter tanpa *via ground hole*, filter yang dibandingkan memiliki frekuensi kerja yang sama, namun *bandwidth* masing-masing filter tidak ikut diperhatikan karena tanpa *via ground hole* sulit untuk dibuat filter dengan *bandwidth* yang sesempit filter dengan *via ground hole*.





Gambar 4.12 Perbandingan ukuran filter tanpa *via ground hole* dan dengan *via ground hole* (a) filter 433 MHz (b) filter 923 MHz

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Filter hairpin memiliki kelebihan dimensi yang kecil. Namun *bandwidth* yang dibuat oleh filter ini cukup lebar.
2. Penambahan *via ground hole* pada filter mikrostrip dapat mempersempit *bandwidth filter*. Jika tanpa *via ground hole fractional bandwidth* yang dapat dibentuk filter adalah lebih besar dari 10%, dengan penambahan *via ground hole fractional bandwidth* filter yang dapat dibentuk bisa lebih kecil dari 1%.
3. Penambahan *via ground hole* pada filter mikrostrip hairpin dapat memperkecil dimensi filter. Filter 433 MHz dengan *via ground hole* memiliki ukuran 47,42 % dari keseluruhan ukuran filter tanpa *via ground hole*. Filter 923 MHz dengan *via ground hole* memiliki ukuran 44,31 % dari keseluruhan ukuran filter tanpa *via ground hole*.
4. Faktor disipasi substrat berpengaruh terhadap pembentukan filter mikrostrip dengan *bandwidth* yang sempit, semakin kecil faktor disipasinya, semakin kecil *insertion loss*-nya. Namun nilai *insertion loss* juga dipengaruhi oleh *bandwidth filter*. Semakin kecil *bandwidth filter* semakin besar *insertion loss* yang terbentuk.
5. Hasil ukur fabrikasi filter yaitu : filter pertama bekerja pada frekuensi 430,5 - 434,25 MHz dengan *fractional bandwidth* 0,86 % dan filter kedua bekerja pada frekuensi 920,3 – 927,8 MHz dengan *fractional bandwidth* 0,81 %.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Henlie “Mengenal RFID”. Internet:  
<http://www.lib.itb.ac.id/~mahmudin/makalah/ict/ref/RFID.pdf> [10 Juni 2011]
- [2] “Peraturan Direktur Jenderal Pos dan Telekomunikasi Tentang Penggunaan Frekuensi Radio yang Termasuk Dalam Izin Kelas” internet:  
<http://www.postel.go.id/content/ID/regulasi/frekuensi/kepdirek/frek%20izin%20kelas.doc> [11 Juni 2011]
- [3] “NFC RF Standard” Internet:  
[www2.rohde-schwarz.com/en/technologies/Wireless\\_Connectivity/rfid](http://www2.rohde-schwarz.com/en/technologies/Wireless_Connectivity/rfid) [11 Juni 2011]
- [4] Toledo, Nikholas., “Practical Tehcniques for Designing Microstrip Tapped Hairpin Resonator Filter on FR4 Laminates”, *PJICTM Vol 1 No 2*, Communications Engineering Division, Advanced Science and Technology Institute, 2003.
- [5] Salamat , Carlota D., Maria Abigail D. Lorenzo and Eusebio Jaybee B. Roxas Jr., “Design of a Narrowband Hairpin Filter on PTFE Laminate”, *PJICTM Vol 1 No 2*, Communications Engineering Division, Advanced Science and Technology Institute, 2003.
- [6] Greco, Luigi.dan Stephan Schmidt, “A 2.6 GHz Microstrip Hairpin Filter Design Using CAD and EDA Tools”, LPKF Laser and Electronics, 2001
- [7] Brady, Dana, “The Design, Fabrication and Measurement of Microstrip Filter and Coupler Circuits”, *High Frequency Electronic*, Summit Technical Media, 2002

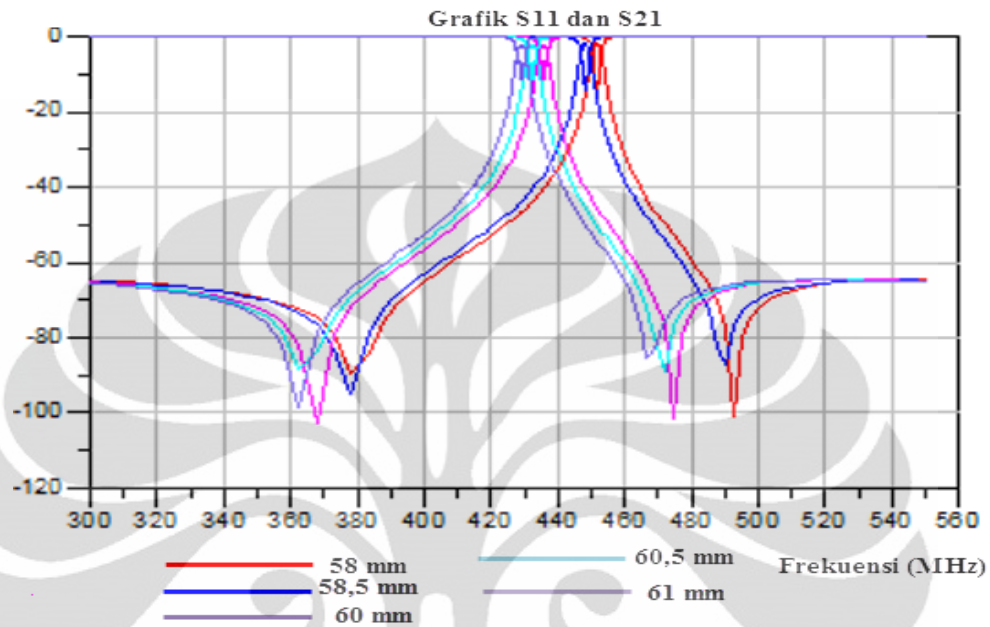
- [8] Hasan, A dan A.E. Nadeem, "Novel Microstrip Hairpinline Narrowbandpass Filter Using Via Ground Holes", *Progress in Electromagnetic Research, PIER* 78, 393-419, 2008
- [9] "RFID". Wikipedia" Internet :  
<http://id.wikipedia.org/wiki/RFID> [15 Desember 2010]
- [10] Dobkin , Daniel M. " RFID Frequency Bands ". Enigmatic Consulting, 2005. Internet :  
[http://www.enigmaticconsulting.com/Communications\\_articles/RFID/RFID\\_frequencies.html](http://www.enigmaticconsulting.com/Communications_articles/RFID/RFID_frequencies.html) [15 Desember 2010]
- [11] Wijaya, Kusuma Sastra, "Filter Pasif". *Diktat Elektronika I*, Fisika FMIPA UI
- [12] Mansour, Rafaat R, "High-Q Tunable Dielectric Resonator". IEEE Microwave Magazine vol 10, 2009
- [13] Hilmi, Irfan, "Metode Hairpin-Line", Ensiklopedia ITTELKOM, Institut Teknologi Telkom , 2010. Internet :  
[http://www.ittelkom.ac.id/library/index.php?view=article&catid=22:elektronika-komunikasi&id=704:hairpinline&option=com\\_content&Itemid=15](http://www.ittelkom.ac.id/library/index.php?view=article&catid=22:elektronika-komunikasi&id=704:hairpinline&option=com_content&Itemid=15) [15 Desember 2010]
- [14] Hong, Jia-Sheng, M.J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Willey and Sons, 2001
- [15] "Q factor". Wikipedia.  
< [http://en.wikipedia.org/wiki/Q\\_factor](http://en.wikipedia.org/wiki/Q_factor) >  
Diakses pada tanggal 15 Desember 2010
- [16] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Willey and Sons, 2003.

[17] Goldfarb, Marc.E dan Robert A.Pucel, “Modelling Via Hole Grounds in Microstrip”,*IEEE Microwave And Guided Wave Letters*,V 1 No 6 ,Juni 1991

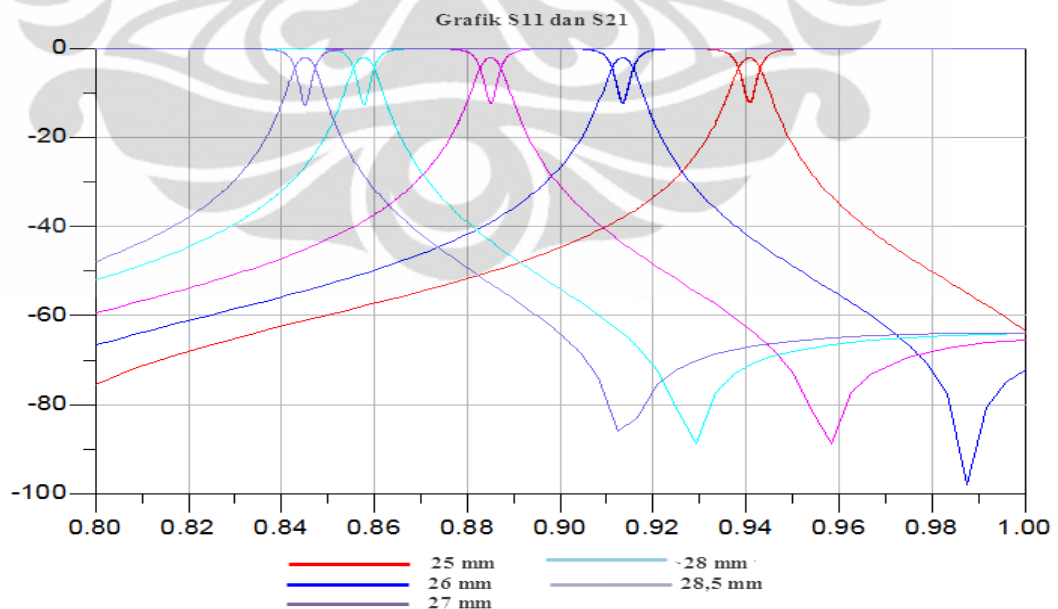
[18] “Taconic TLY Datasheet” Internet:  
<http://www.taconic-add.com/pdf/tly.pdf> [11 Juni 2011]



## LAMPIRAN A DATA ITERASI SIMULASI

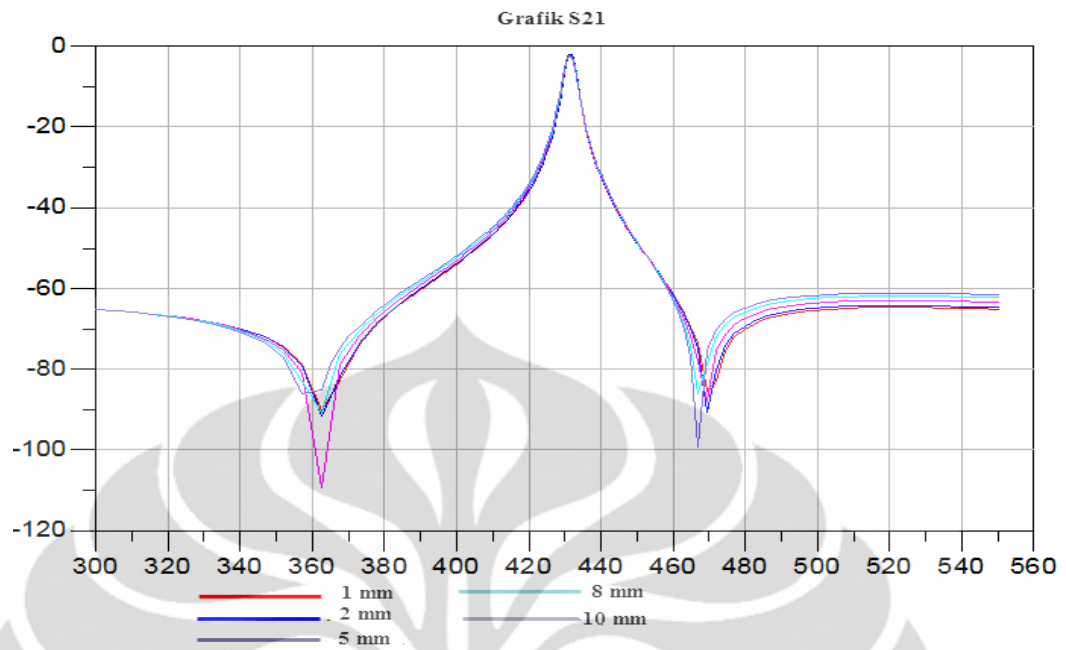


Gambar A1 Grafik pengaruh panjang lengan resonator terhadap frekuensi kerja 433 MHz pada filter hairpin dengan *via ground hole*

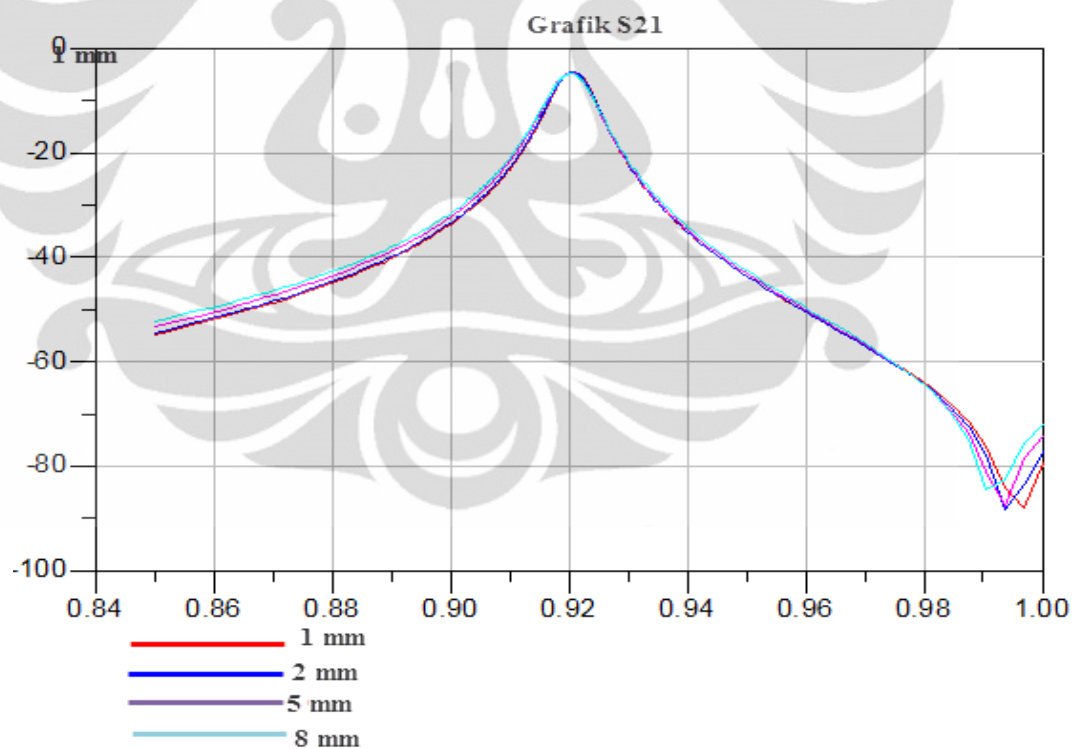


Gambar A2 Grafik pengaruh panjang lengan resonator terhadap frekuensi kerja 433 MHz pada filter hairpin dengan *via ground hole*





Gambar A3 Grafik pengaruh posisi pencatu terhadap respon  $S_{21}$  filter 433 MHz



Gambar A4 Grafik pengaruh posisi pencatu terhadap respon  $S_{21}$  filter 923 MHz