

Rancang Bangun Bandpass Filter untuk aplikasi *Long Term Evolution* (LTE) Frekuensi 1,8 GHz

Teguh Firmansyah, Herudin, Damar K Wardhana

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

Informasi Artikel

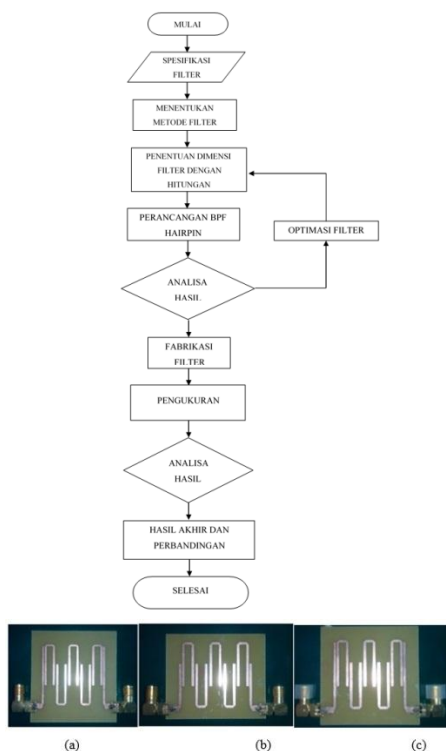
Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :
teguhfirmansyah@untirta.ac.id
herudin@untirta.ac.id
damarkunn@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Filter is a device to pass a particular frequency by passing wanted frequency and reduce unwanted frequencies. The frequency that used is depend on the applications used. Based on the frequency regions that are passed, the filter is divided into several type: Lowpass Filter (LPF), Bandpass Filter (BPF), Highpass Filter (HPF), and Bandstop Filter (BSF). This script was aimed to realized Bandpass Filter (BPF) at frequency 1,8 GHz for long term evolution (LTE). The filter is a hairpin filter, which is one method of designing a distributed element filter with $\lambda/2$ length of resonators that is parallel coupled and have resonators topology as 'U' shape. Realization of this filters was using microstrip with FR4-Epoxy material as a transmission channel. The information filter performance was measured by using network analyzer. In this BPF designing and realizing, some of the parameters measured are frequency response, bandwidth, insertion loss, return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). The result of BPF characteristics measurements are: center frequency at 1,8 GHz with 360 MHz bandwidth, insertion loss 8,4 dB, return loss 11,42 dB, VSWR 1,14.

Keywords: Bandpass filter, microstrip, bandpass filter hairpin, chebyshev, LTE

Abstrak

Filter merupakan suatu perangkat untuk melewatkan frekuensi tertentu dengan meloloskan frekuensi yang diinginkan dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan. Frekuensi yang digunakan akan berbeda-beda tergantung dengan aplikasi yang digunakan. Berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, filter dibagi menjadi beberapa jenis yaitu: Lowpass Filter (LPF), Bandpass Filter (BPF), Highpass Filter (HPF), dan Bandstop Filter (BSF). Pada skripsi ini direalisasikan Bandpass Filter (BPF) pada frekuensi 1,8 GHz untuk Long Term Evolution (LTE). Filter berupa BPF hairpin yang merupakan salah satu metode perancangan filter elemen terdistribusi dengan panjang resonator $\lambda/2$ yang terkopel secara paralel dan mempunyai topologi resonator seperti huruf 'U'. Perealisasi filter menggunakan mikrostrip berbahan FR-4 Epoxy sebagai saluran transmisinya. Informasi kinerja filter diukur dengan menggunakan network analyzer. Beberapa parameter yang diukur dalam perancangan BPF ini adalah respon frekuensi filter, bandwidth, insertion loss, return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). Adapun hasil pengukuran dari karakteristik BPF ini adalah frekuensi tengah 1,8 GHz dengan bandwidth 360 MHz, insertion loss 8,4 dB, return loss 11,42 dB, VSWR 1,14.

Kata kunci: Bandpass filter, microstrip, bandpass filter hairpin, chebyshev, LTE

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan teknologi akses nirkabel terus berkembang dengan pesat sesuai dengan tuntutan para pengguna jasa telekomunikasi. Pengguna jasa telekomunikasi menginginkan kebutuhan layanan data yang cepat yang dapat diakses di setiap waktu agar komunikasi dapat berjalan dengan lancar setiap saat [1].

Dengan adanya teknologi *Long Term Evolution* (LTE) maka keinginan pengguna jasa telekomunikasi akan kebutuhan layanan data dapat terwujud dengan kemampuan pengiriman data mencapai kecepatan 100 Mbit/s. LTE akan berjalan dengan optimal jika menggunakan frekuensi yang ideal. Frekuensi yang ideal untuk LTE adalah 1,8 GHz. Hal ini terbukti oleh berbagai negara di Asia, Eropa, Australia, Afrika dan Amerika bagian selatan menggunakan frekuensi 1,8 GHz untuk sistem komunikasi *downlink* LTE[1].

Untuk mengikuti pertumbuhan teknologi nirkabel saat ini, maka pada skripsi ini dilakukan perancangan dan perealisasiian *Band Pass Filter* (BPF) yaitu filter yang dapat melewatkan sinyal pada frekuensi 1,8 GHz untuk aplikasi LTE. BPF ini dirancang dengan menggunakan metode *hairpin*. Perealisasiian BPF menggunakan elemen yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya yaitu mikrostrip berbahan FR-4 Epoxy sebagai saluran transmisinya [1].

Spesifikasi Filter yang dirancang bangun adalah sebagai berikut :

- a) Bandwidth Filter : 360 MHz
- b) Jenis Filter : *Chebyshev*
- c) Ripple : 0.2 dB
- d) VSWR $\leq 1,5$
- e) Impedansi Terminal : 50 Ω
- f) Level frekuensi *Stop Band* : 40 dB
- g) *Insertion Loss* ≤ 0.2 dB
- h) *Return Loss* ≥ 14 dB

2. BANDPASS MIKROSTRIP FILTER

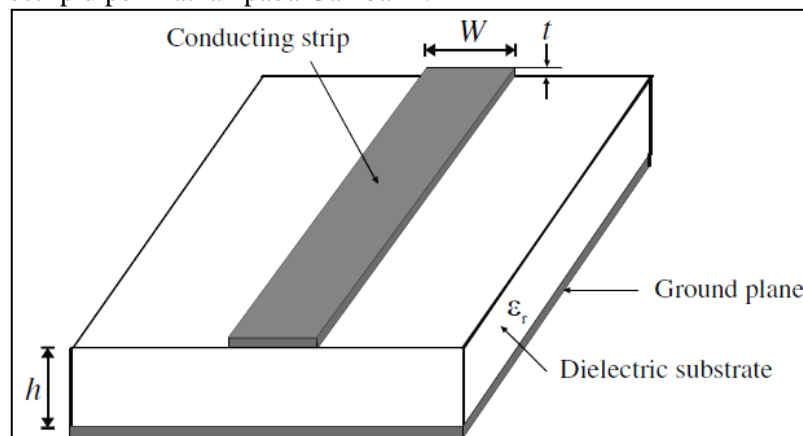
Filter *bandpass* mikrostrip memiliki beberapa metode perancangan yaitu diantaranya : *edge coupled*, *parallel coupled*, *hairpin* dan *interdigital* . Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. *Edge Coupled* dan *Parallel Coupled* memiliki topologi resonator yang sederhana sehingga mudah direalisasikan, namun mempunyai dimensi fisik yang besar.

2.2 Filter Mikrostrip *Hairpin*

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

- a) 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 1.



Gambar 1. Struktur umum mikrostrip

Untuk mendapatkan nilai lebar saluran resonator (W) dapat digunakan persamaan 2-1 sampai dengan 2-4 [9][22]

Untuk $w/h < 2$

$$\frac{w}{H} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \left(\text{untuk } \frac{w}{h} < 2 \right) \quad (2-1)$$

$$\text{Dengan } A = \frac{Z_c}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{0.5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2-4)$$

Untuk $w/h > 2$

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

$$\text{Dengan } B = \frac{60\pi^2}{Z_c \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2-2}$$

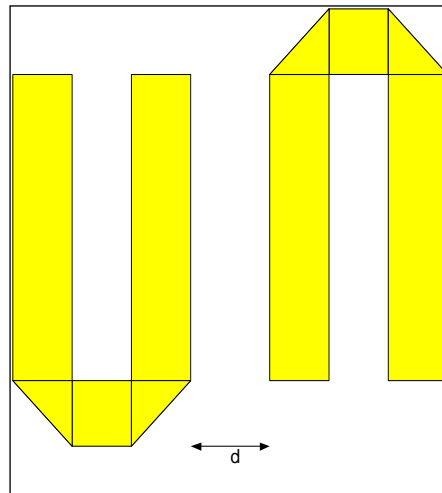
Kemudian untuk mendapatkan nilai L (panjang saluran resonator) dapat digunakan persamaan 2-7 sampai dengan 2-8

$$L = \frac{(\beta l) \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right)}{\sqrt{B} k_0} \tag{2-3}$$

$$\text{Dengan } k_0 = \frac{2\pi f}{c} \tag{2-4}$$

b) Koefisien Kopling

Koefisien 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.



Gambar 2. Kopling diantara dua buah resonator hairpin

Dapat dilihat pada gambar 3, jarak antara dua buah resonator dilambangkan dengan d. Semakin besar d, semakin kecil pengaruh koplingnya.

$$K_n = \frac{FBW}{\sqrt{g_n \cdot g_{n+1}}} \tag{2-5}$$

Persamaan 2-10 [13] digunakan untuk mencari koefisien kopling

$$L = \frac{FBW}{\sqrt{g_i \cdot g_{i+1}}} \tag{2-6}$$

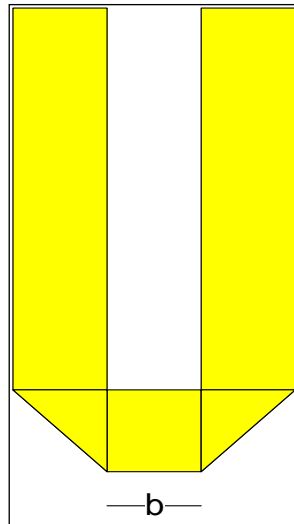
Dengan :

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

g_i = elemen *chebyshev* untuk orde ke-i

c) Slide factor

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

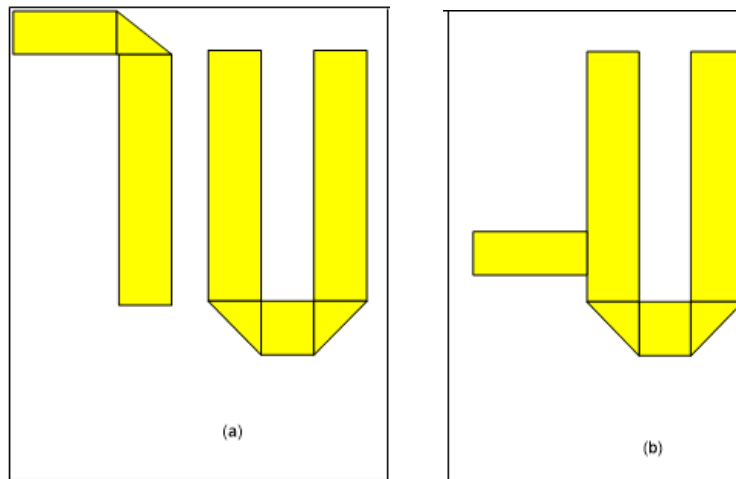


Gambar 3. Slide factor

d) Saluran input

Terdapat dua metode pencatuan 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 50Ω . Sedangkan *tap* merupakan saluran dengan impedansi 50Ω yang langsung dihubungkan dengan saluran filter. Pemakaian jenis saluran input ini tergantung kepada topologi filter yang digunakan.

Perbedaan kedua metode pencatuan pada resonator *hairpin* dapat dilihat pada gambar 4. Gambar sebelah kiri merupakan resonator *hairpin* dengan metode pencatuan *feed-line* dan gambar sebelah kanan merupakan resonator *hairpin* dengan metode pencatuan *tap*.



Gambar 4. Input hairpin dengan *feed line* dan dengan *tap*

Posisi pencatuan berpengaruh terhadap faktor kualitas yang dihasilkan, persamaan 2-7 dapat digunakan untuk mendapatkan faktor kualitas yang diinginkan, kemudian dengan mengatur posisi pencatu akan didapat spesifikasi filter yang sesuai dengan yang diinginkan.

$$Q = \frac{g_0 g_1}{FBW} \quad (2-7)$$

Dengan :

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

g_i = elemen *chebyshev* untuk orde ke- i

Q = faktor kualitas dari rangkaian resonator



3. METODE PENELITIAN

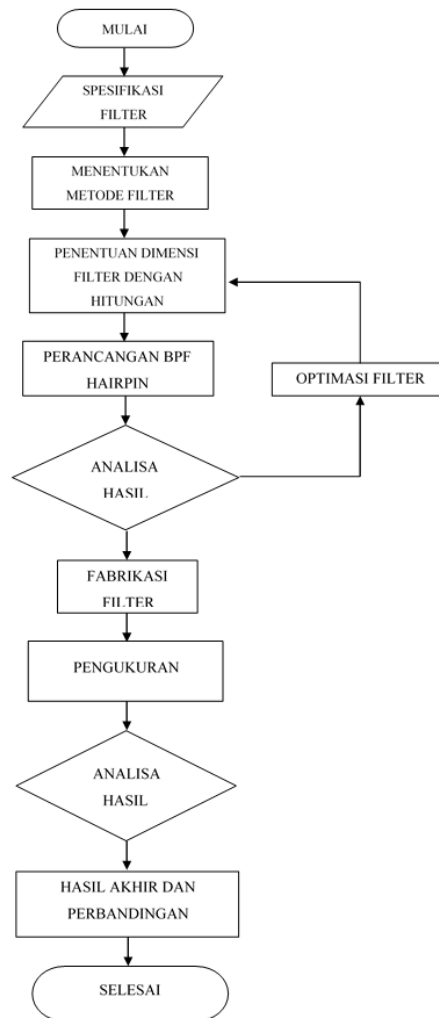
Filter hairpin ini dirancang dengan menggunakan respon Chebyshev ber-orde 5. Sesuai dengan alokasi *band* frekuensi, maka frekuensi *uplink* memiliki *cutoff* bawah sebesar 1620 MHz dan *cutoff* atas sebesar 1980 MHz. Dengan menggunakan persamaan 2-1, frekuensi tengah diperoleh sebesar :

$$f_{01} = \sqrt{f_{c1} \times f_{c2}} = \sqrt{1620 \times 1980} = 1790,977 \text{ MHz}$$

Fungsi frekuensi (ω/ω_c) ternormalisir diperoleh dengan cara mentransformasi fungsi frekuensi *Lowpass Filter* ke fungsi frekuensi *Band Pass Filter*.

$$\left| \frac{\omega}{\omega_c} \right| = \frac{1}{\Delta} \times \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

$$\left| \frac{\omega}{\omega_c} \right| = \frac{1}{0,020} \times \left(\frac{1800}{1790,977} - \frac{1790,977}{1800} \right) = 1.833$$



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

3.1 Perancangan dimensi resonator

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

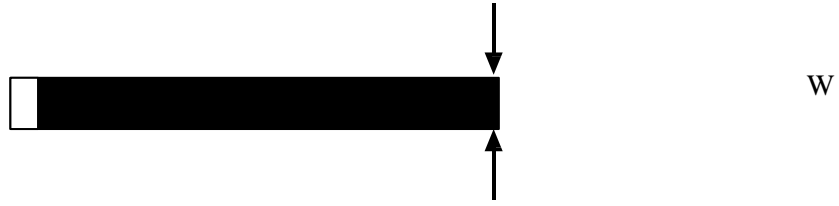
Berikut perhitungan Fractional Bandwidth sebelum melakukan perhitungan lebar resonator

$$FBW = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{1.62 - 1.98}{1.80} = 0.2 = 3.6$$



3.2 Lebar saluran resonator (W)

Lebar saluran resonator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-1 sampai dengan 2-4. Berikut perhitungan lebar saluran resonator dengan spesifikasi filter yang telah disebutkan sebelumnya.



Gambar 6. Lebar saluran resonator

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

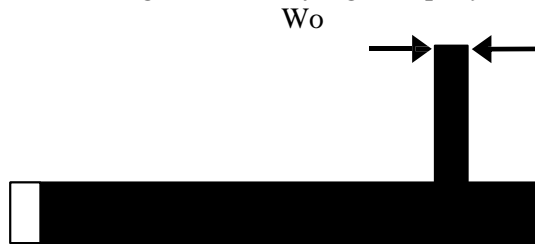
$$= \frac{75}{60} \sqrt{\frac{4.4+1}{2} + \frac{4.4-1}{4.4+1}} \left(0.23 + \frac{0.11}{4.4}\right) = 2.214$$

$$W = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} * h = \frac{8e^{2.214}}{e^{2(2.214)} - 2} * 1.52$$

= 1.361 mm, setelah dilakukannya optimasi maka didapatkan nilai W= 1.15 mm

3.2.2 Panjang Tap (Wo)

Tap berfungsi sebagai saluran pencatu. Saluran ini menggunakan impedansi karakteristik sebesar 50 Ω, disesuaikan dengan konektor yang mempunyai impedansi karakteristik yang sama.



Gambar 7. Panjang saluran tap

$$B = \frac{377\pi}{2.50\sqrt{4.4}} = 5.646$$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (5.646 - 1) - \ln(2 \times 5.646 - 1) + \frac{4.4 - 1}{2 \times 4.4} \left[\ln(5.646 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.4} \right] \right\}$$

$$\frac{w}{h} = 1.913$$

$$W_o = 1.913 \times 1.52 = 2.91 \text{ mm}$$

3.2.3 Menentukan impedansi karakteristik saluran terkopel

Impedansi karakteristik pada saluran terkopel terdiri dari dua buah mode yaitu impedansi karakteristik mode genap (Z_{0e}) dan impedansi karakteristik mode ganjil (Z_{0o}). Persamaan (2.8 dan 2.9) adalah persamaan untuk mencari nilai impedansi karakteristik mode genap dan ganjil kemudian hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.5.

$$(Z_{0e})_{j,j+1} = Z_0 \left[\frac{1 + J_{j,j+1} Z_0 \cos ec \theta + J_{j,j+1}^2 Z_0^2}{1 - J_{j,j+1}^2 Z_0^2 \cot^2 \theta} \right] \quad (2.8)$$

$$(Z_{0o})_{j,j+1} = Z_0 \left[\frac{1 - J_{j,j+1} Z_0 \cos ec \theta + J_{j,j+1}^2 Z_0^2}{1 - J_{j,j+1}^2 Z_0^2 \cot^2 \theta} \right] \quad (2.9)$$

Tabel 1. Impedansi karakteristik mode genap dan ganjil tiap resonator (FR-4 Epoxy)

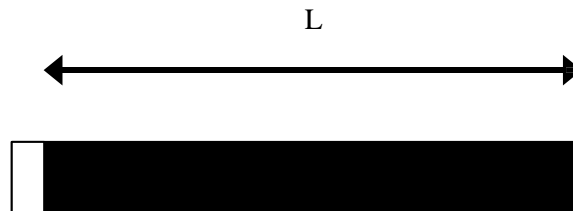
Resonator	$Z_{0e} (\Omega)$	$Z_{0o} (\Omega)$
01	80,67	37,75
12	67,42	40,06
23	63,72	41,30
34	63,72	41,30
45	67,42	40,06
56	80,67	37,75

3.2.4 Panjang saluran resonator (L)

Panjang saluran resonator dapat dihitung dengan menggunakan 2-5 sampai dengan 2-6. Berikut perhitungan panjang resonator.

$$\begin{aligned} \epsilon_e &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + 12(\frac{h}{W})}} \\ &= \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + 12(\frac{1.6}{1.15})}} = 3.570 \end{aligned}$$

$$L = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{c}{4f_0\sqrt{\epsilon_e}}$$



Gambar 8 Panjang Saluran Resonator

Kemudian dapat dicari panjang saluran untuk masing frekuensi kerja.

$$L = \frac{3 * 10^8}{4 * 1.8 * 10^6 \sqrt{3.570}} = 22 \text{ mm}$$

Setelah dilakukannya optimasi maka didapatkan nilai $L = 21.67 \text{ mm}$

4. HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

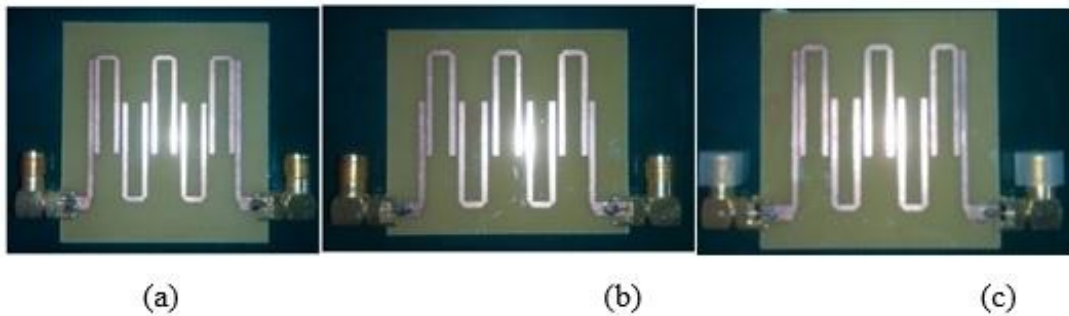
Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data mengenai kinerja *Bandpass Filter* Mikrostrip 1.8 GHz yang telah direalisasikan yang meliputi pengukuran respon frekuensi, *insertion loss*, *return loss*.

4.1 Hasil Fabrikasi

a. FR-4 Epoxy

Fabrikasi ke bahan dielektrik (PCB) ini tidak bisa dilakukan secara manual karena memerlukan keakuratan yang tinggi sehingga dilakukan dengan bantuan mesin *etching*. Namun pada kenyataannya, ketelitian yang tinggi tetap sulit diperoleh yaitu hanya sekitar 0,25 milimeter. hasil desain yang telah difabrikasi ditunjukkan pada Gambar 9 (a), (b) dan (c).





Gambar 9.(a), (b) dan (c) Realisasi PCB FR-4 Epoxy dengan Copper Layer sebagai pembedanya

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran adalah sebagai berikut :

1. *Network Analyzer*
2. *VSWR Bridge*
3. Adapter N to N
4. Beban terminasi 50 Ω
5. Kabel koaksial

Pengukuran respon frekuensi dilakukan untuk memperoleh data parameter-parameter filter, yaitu frekuensi tengah, frekuensi *cutoff*, *bandwidth*, frekuensi stop, *Insertion Loss*, dan *fractional bandwidth*.

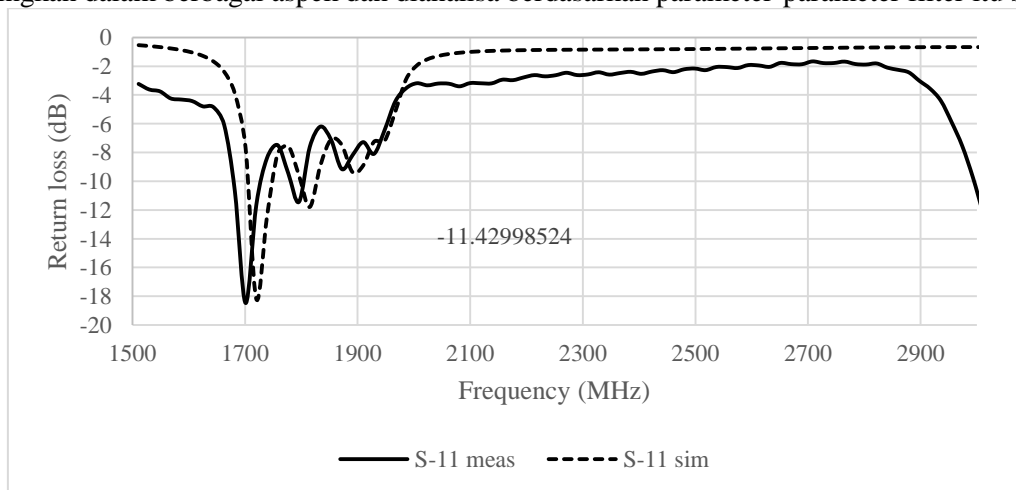
4.2 Simulasi dan hasil pengukuran filter pertama

Prosedur pengukuran :

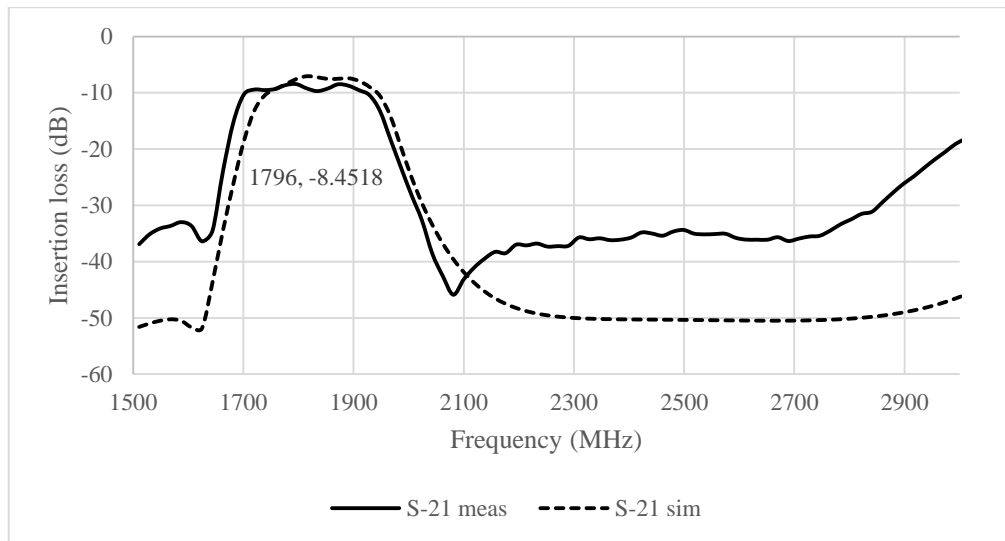
1. Melakukan *set-up* peralatan.
2. Mengkalibrasi *network analyzer* dengan terlebih dahulu mengatur *center frequency*, *start frequency*, *stop frequency* dan lebar *span* yang diinginkan; dengan cara menghubungkan port RF input dengan port generator output.
3. Menghubungkan input *bandpass filter* Mikrostrip ke port Generator output dan output *bandpass filter* Mikrostrip ke port RF input.
4. Membaca hasil pengukuran respon frekuensi yang ditampilkan pada *network analyzer*.

A. Perbandingan simulasi terhadap hasil pengukuran

Berikut ini adalah hasil pengukuran respon frekuensi Bandpass filter mikrostrip terhadap simulasi yang telah direalisasikan, yaitu FR-4 Epoxy filter pertama. Hasil pengukuran ditampilkan dalam span untuk memperoleh pengamatan yang akurat. Kemudian hasil parameter pengukuran ini dibandingkan dalam berbagai aspek dan dianalisa berdasarkan parameter-parameter filter itu sendiri



Gambar 10. Perbandingan parameter S-11 pada filter pertama



Gambar 11. Perbandingan parameter S-21 pada filter pertama

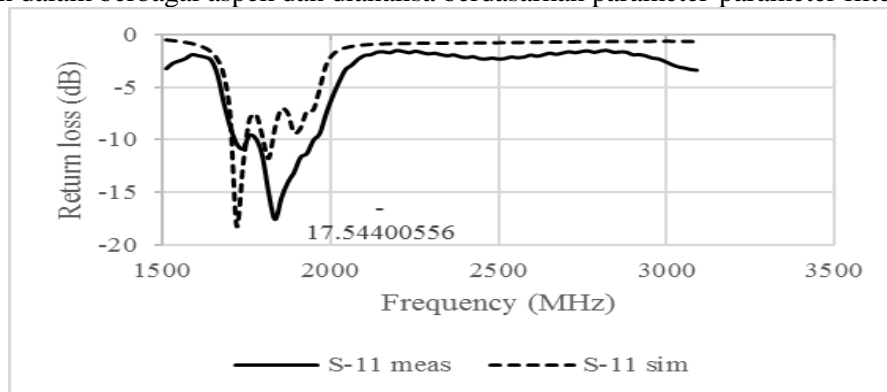
4.3 Simulasi dan hasil pengukuran filter kedua

Prosedur pengukuran :

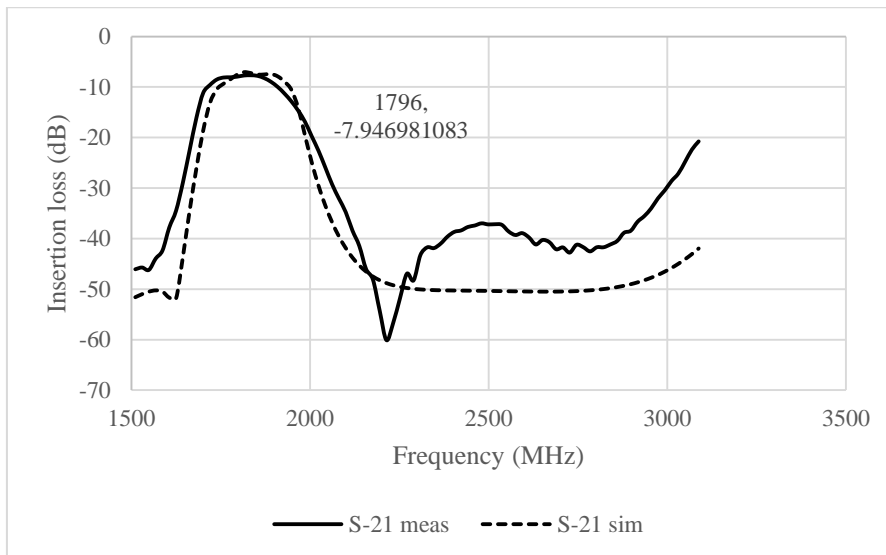
1. Melakukan *set-up* peralatan.
2. Mengkalibrasi *network analyzer* dengan terlebih dahulu mengatur *center frequency*, *start frequency*, *stop frequency* dan lebar *span* yang diinginkan; dengan cara menghubungkan port RF input dengan port generator output.
3. Menghubungkan input *bandpass filter* Mikrostrip ke port Generator output dan output *bandpass filter* Mikrostrip ke port RF input.
4. Membaca hasil pengukuran respon frekuensi yang ditampilkan pada *network analyzer*.

A. Perbandingan simulasi terhadap hasil pengukuran

Berikut ini adalah hasil pengukuran respon frekuensi *bandpass filter* mikrostrip terhadap simulasi yang telah direalisasikan, yaitu *FR-4 Epoxy* filter kedua. Hasil pengukuran ditampilkan dalam *span* untuk memperoleh pengamatan yang akurat. Kemudian hasil parameter pengukuran ini dibandingkan dalam berbagai aspek dan dianalisa berdasarkan parameter-parameter filter itu sendiri.



Gambar 13. Perbandingan parameter S-11 filter kedua



Gambar 14. Perbandingan parameter S-21 filter kedua

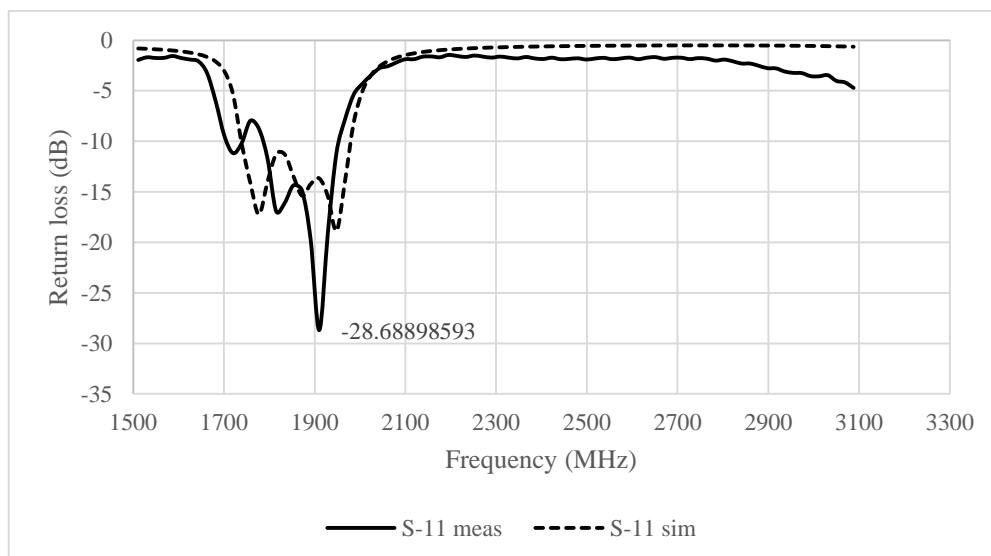
4.4 Simulasi dan hasil pengukuran filter ketiga

Prosedur pengukuran :

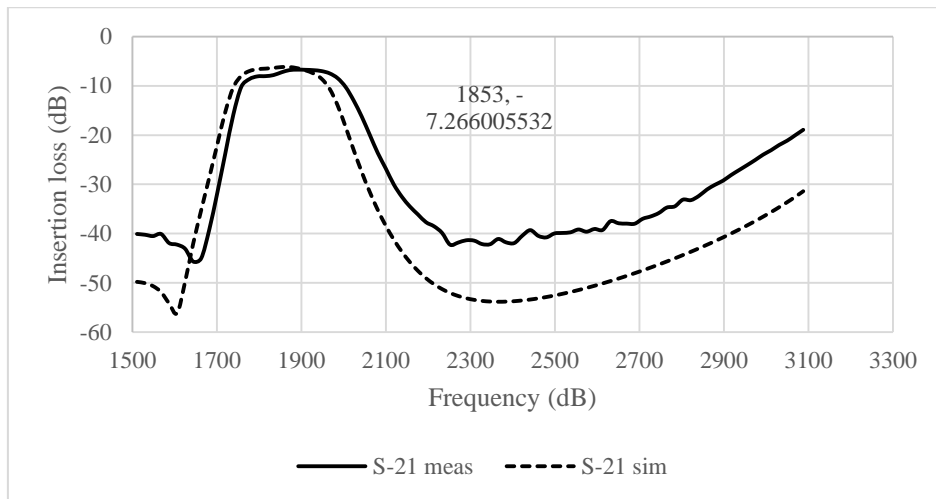
1. Melakukan *set-up* peralatan.
2. Mengkalibrasi *network analyzer* dengan terlebih dahulu mengatur *center frequency*, *start frequency*, *stop frequency* dan lebar *span* yang diinginkan; dengan cara menghubungkan port RF input dengan port generator output.
3. Menghubungkan input *bandpass filter* mikrostrip ke port generator output dan output *bandpass filter* Mikrostrip ke port RF input.
4. Membaca hasil pengukuran respon frekuensi yang ditampilkan pada *network analyzer*.

A. Perbandingan simulasi terhadap hasil pengukuran

Berikut ini adalah hasil pengukuran respon frekuensi *bandpass filter* mikrostrip terhadap simulasi yang telah direalisasikan, yaitu *FR-4 Epoxy* filter ketiga. Hasil pengukuran ditampilkan dalam *span* untuk memperoleh pengamatan yang akurat. Kemudian hasil parameter pengukuran ini dibandingkan dalam berbagai aspek dan dianalisa berdasarkan parameter-parameter filter itu sendiri.



Gambar 15. Perbandingan parameter S-11 filter ketiga



Gambar 1. Perbandingan parameter S-21 filter ketiga

Tabel 3. Data hasil pengukuran respon frekuensi resonansi

Parameter	Perancangan (Simulasi)	Pengukuran (FR-4 Epoxy)		
		Filter Pertama	Filter Kedua	Filter Ketiga
Frekuensi tengah	1845 MHz	1796 MHz	1796 MHz	1853 MHz
Frekuensi <i>cutoff</i> bawah	1740 MHz	1701 MHz	1701 MHz	1758 MHz
Frekuensi <i>cutoff</i> atas	1950 MHz	1929 MHz	1929 MHz	2005 MHz
Bandwidth	210 MHz	128 MHz	128 MHz	247 MHz

4.5 Analisa hasil pengukuran

Pergeseran nilai frekuensi tengah merupakan akibat dari fabrikasi pada PCB yang kurang teliti sehingga dimensi panjang dan lebar saluran berubah.

Tabel Error! No text of specified style in document.. Perbandingan hasil perancangan dan realisasi lebar saluran filter

Parameter	Lebar Saluran (W)
	Resonator
Perancangan	1,15 mm
Realisasi	1,2 mm

Bandwidth resonansi yang lebih kecil maupun yang lebih besar dibandingkan dengan spesifikasi perancangan disebabkan oleh :

1. Ketidakpresisian dalam fabrikasi *layout* saluran yang menyebabkan jarak antar saluran tidak sesuai dengan perancangan sehingga kopling antar resonator tidak tentu lagi.

Tabel 5. Perbandingan hasil perancangan dan realisasi jarak antar saluran

Parameter	Jarak antar Saluran (S)					
	S ₀₁	S ₁₂	S ₂₃	S ₃₄	S ₄₅	S ₅₆
Perancangan	0,384 mm	0,8 mm	0,96 mm	0,96 mm	0,8 mm	0,384
Realisasi	0,4 mm	0,9 mm	1 mm	1 mm	0,9 mm	0,4 mm

2. Panjang saluran terkopel dan besarnya kopling antar resonator yang berubah diakibatkan oleh fabrikasi yang tidak akurat.
3. *Insertion loss* yang relatif besar karena dimensi PCB yang tidak sesuai juga dapat mengurangi

bandwidth yang dihasilkan.

4. *Return loss* yang baik akan menghasilkan nilai $VSWR = 1$. Berdasarkan hasil pengukuran *return loss*, harga $VSWR$ pada *Bandpass filter* ini dihitung dengan menggunakan persamaan 2-22 dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 6. Data hasil perhitungan $VSWR$

BPF	VSWR
	Frekuensi Resonansi
Filter Pertama	1,73
Filter Kedua	1,3
Filter Ketiga	1,07

Tabel diatas menunjukkan bahwa $VSWR$ *Bandpass filter FR4-Epoxy* yang dihasilkan kurang baik. Hal ini antara lain disebabkan karena :

1. Ketidakpresisian pada saat fabrikasi *layout* saluran yang menyebabkan lebar saluran tidak sesuai dengan perancangan sehingga impedansi saluran tidak lagi 50Ω dan terjadi *missmatch* dengan impedansi konektor.
2. Pemasangan port SMA pada saluran akan menimbulkan efek kapasitif sehingga mempengaruhi besarnya impedansi karakteristik saluran.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya realisasi dan pengukuran *Bandpass filter* mikrostrip 1,8 GHz, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. *Bandpass filter* mikrostrip berhasil direalisasikan dengan metoda *Chebyshev*.
2. *Bandpass filter* mikrostrip ini memiliki frekuensi tengah filter pertama 1796 GHz (bergeser 4 MHz), frekuensi tengah filter kedua sebesar 1796 GHz (bergeser 4 MHz) dan frekuensi tengah filter ketiga sebesar 1853 GHz (bergeser 53 MHz).
3. Bandwidth sebesar 360 MHz mampu bekerja pada LTE 1,8 GHz (1620 MHz sampai dengan 1980 GHz).
4. Frekuensi 1,8 GHz yang merupakan frekuensi *stopband* berhasil diredam >30 dB.
5. *Insertion loss* yang dihasilkan pada frekuensi tengah filter pertama, kedua, dan ketiga masing-masing sebesar 8,4 dB, 8,4 dB dan 7,6 dB.
6. *Return loss* yang dihasilkan pada frekuensi tengah filter pertama, kedua, dan ketiga masing-masing adalah 11,42 dB ($VSWR = 1,7$), 17,54 dB ($VSWR = 1,3$), 28,68 dB ($VSWR = 1,07$).

5.2 Saran

Ada beberapa saran yang bisa dijadikan pedoman untuk merealisasikan filter terutama menggunakan metoda yang sama, yaitu :

1. Perancangan filter frekuensi tinggi memerlukan ketelitian yang sangat besar karena kesalahan kecil dalam perhitungan dimensi ukuran akan berpengaruh terhadap kinerja filter.
2. Sebaiknya dilakukan percobaan berulang terlebih dahulu untuk mendapatkan desain yang paling optimal, karena perhitungan teori tidak sepenuhnya sesuai dengan praktek.
3. Letak pemasangan konektor harus tepat berada ditengah saluran untuk menjaga kecocokan impedansi saluran terhadap impedansi beban.
4. Untuk pengembangan lebih lanjut, dapat dicoba mengganti *FR-4 Epoxy* dengan bahan lainnya.

REFERENSI

- [1] Nori, A., *Perancangan Dan Realisasi Bandpass Filter Berbasis Mikrostrip*. 2008.
- [2] Fallis, A., *Rancang Bangun Bandpass Interdigital Filter mikrostrip*. 2013.
- [3] Yulyanthy, D. R., *Perancangan Dan Realisasi Bandpass Filter Berbasis Mikrostrip Pada*

- Frekuensi 2.6-2.7 GHz untuk aplikasi LTE*. 2012.
- [4] Toto, S., *Perancangan Bandpass Filter Untuk Cpe M-Wimax Menggunakan Filter Aktif Mikrostrip Hairpin*. 2010.
- [5] Angga, H.Y , Heroe, W., & Yuyu, W., *Perancangan dan Realisasi Filter Band Pass Hairpin Line Pada Frekuensi 2.425 Ghz menggunakan Substrat Rogers Duroid 5880 untuk Satelit Nano*. 2009.
- [6] Rianto, M. H., *Perancangan Simulasi dan Realisasi BPF Mikrostrip Hairpin untuk Aplikasi WiFi Pada Frekuensi 5.725 – 5.875 GHz*. 2011.
- [7] Hapsari, N. R., *Perancangan dan Realisasi BPF berbasis Mikrostrip pada Frekuensi 1930-1990 MHz*. 2011.
- [8] Brady, Dana., *The Design, Fabrication and Measurement of Microstrip Filter and Coupler Circuits, High Frequency Electronic, Summit Technical Media*. 2002.
- [9] Fauzi, Y., *Rancang Bangun Bandpass Filter Untuk Aplikasi Radar X-Band Menggunakan Resonator Hairpin*. 2012.
- [10] Ikkal, T. M., *Perancangan Filter Band Pass Compline Pada Frekuensi 5.21 GHz*. 2016.
- [11] Setiawan, A., Hariyadi, T., & Mulyanti, B., *Rancang Bangun Band Pass Filter Mikrostrip Hairpin Dengan Open Stub Dan Defected Ground Structure (DGS) Untuk Frekuensi UMTS 3G (1920-1980 MHz)*. 2014.
- [12] Golio, M., & Golio, J., *RF and Microwave Handbook Second Edition*. 2007.
- [13] Makimoto, M., & Yamashita, S., *Bandpass Filters Using Parallel Coupled Stripline Stepped Impedance Resonators*. 1980. vol. 28, no. 12, pp. 1413–1417.
- [14] Saputra, R., *Rancang Bangun Bandpass Filter Mikrostrip Untuk Aplikasi Sistem RFID Multiband Pada Frekuensi Kerja 433 MHz Dan 923 MHz*. 2011.
- [15] Gunawan. Wibisono, Firmansyah. Teguh, "Concurrent multiband low noise amplifier with multisection impedance transformer " . Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC), 2012, 914-916
- [16] Wibisono. Gunawan, Firmansyah, Teguh, "Design of dielectric resonators oscillator for mobile WiMAX at 2, 3 GHz with additional coupling $\lambda/4$ ", IEEE Region 10 Conference TENCON 2011-2011, 489-493.
- [17] Wibisono, Gunawan; Firmansyah, Teguh; Priambodo, Purnomo S,et al Multiband Bandpass Filter (BPF) base on Folded Dual Crossed Open Stub", International Journal of Technology (IJTech), vol. 5, No. 1, 2014.
- [18] Firmansyah, Teguh; Purnomo, Sabdo; Fatonah, Feti; Nugroho, Tri Hendarto Fajar; " Antena Mikrostrip Rectangular Patch 1575, 42 MHz dengan Polarisasi Circular untuk Receiver GPS", Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), Vol. 4, No. 4, 2015.
- [19] Firmansyah. Teguh; Harsojo, Dwi; Fatonah, Feti; Aziz, Abdul. "Rancangan Dual Band Cascode Band Pass Filter Frekuensi 119, 7 MHz dan 123, 2 MHz untuk Perangkat Tower Set Bandara Budiarto". Jurnal Ilmiah Setru. Vol.4, No. 1, 2015.
- [20] Firmansyah. Teguh, Alfanz, Rocky. "Rancang Bangun Low Power Elektric Surgery (Pisau Bedah Listrik) pada Frekuensi 10 KHz", Jurnal Nasional Teknik Elektro, vol 5, No. 1. 20
- [21] Wibisono. Gunawan, Firmansyah. Teguh, Syafraditya. Tierta, "Design of triple-band bandpass filter using cascade tri-section stepped impedance resonators", Journal of ICT Research and Applications, vol. 10, no.1, pp. 43-56. 2016.
- [22] Hong, J., & Lancaster, M. J., *Microstrip Filters for RF / Microwave*. 2001. vol. 7.