

## Rancang Bangun *Bandpass Filter* Frekuensi 1,8 GHz Dengan Perbaikan Resonator Hairpin

Dian Widi Astuti<sup>1</sup> dan Joranto Walesian<sup>1</sup>

**ABSTRACT:** *Band pass filter is a passive component that is used to pass frequencies between  $f_1$  and  $f_2$ . The use of band pass filters in wireless communications are required both at the sender and the receiver as a band pass filter to prevent interference between frequency bandwidth. In this scheme aims to design a filter on LTE devices with frequency from 1.85 to 1.91 GHz. Shape resonator use is an open-loop rectangular resonator. The resonator is actually the same as the hair pin resonator just made in to a square. This filter design using microstrip made Rogers TMM10i. The method used is the transmission zeros, so that the filter has a high selectivity. Shape microstrip resonator made on the number of orders is six. In this design aided by calculation using Matlab, then simulated with Sonnet EM. In the fabrication of filters used technique photo etching PCB, PCB surface which will be etched that will be formed in accordance with the conductor path filter design. In the final stage will be measured using Vector Network Analyzer to get a response graph  $S_{21}$  and  $S_{11}$  of the filter.*

**KEYWORDS:** *Bandpass filter, microstrip lines, transmission zeros, square open loop resonator, LTE.*

**ABSTRAK:** *Bandpass filter* adalah sebuah komponen pasif yang dipergunakan untuk meloloskan frekuensi antara  $f_1$  dan  $f_2$ . Penggunaan *bandpass filter* pada komunikasi *wireless* sangat diperlukan baik di sisi pengirim dan penerima karena *bandpass filter* dapat mencegah terjadinya gangguan interferensi antar *bandwidth* frekuensi. Pada perancangan ini bertujuan untuk merancang filter pada perangkat LTE yaitu dengan frekuensi 1,85 - 1,91 GHz. Bentuk resonator yang dipergunakan adalah *open loop resonator* yang berbentuk persegi panjang. Sebenarnya resonator ini sama saja dengan resonator hairpin hanya saja di buat menjadi persegi. Perancangan filter ini mempergunakan mikrostrip berbahan Rogers TMM10i. Metode yang dipakai adalah *transmission zeros*, agar filter tersebut memiliki selektivitas yang tinggi. Bentuk resonator yang dibuat pada mikrostrip dengan jumlah ordo adalah enam buah. Pada perancangan ini dibantu dengan perhitungan menggunakan *Matlab*, kemudian disimulasikan dengan *EM Sonnet*. Pada fabrikasi filter digunakan teknik *photo etching* PCB, dimana permukaan PCB akan dilarutkan/*etching* sehingga akan terbentuk jalur konduktor sesuai dengan desain filter. Pada tahap akhir akan dilakukan pengukuran mempergunakan *Vector Network Analyzer* untuk mendapatkan grafik respon  $S_{21}$  dan  $S_{11}$  dari filter.

**KATA KUNCI:** *Bandpass filter, saluran mikrostrip, transmission zeros, square open loop resonator, LTE*

### PENDAHULUAN

Untuk merealisasikan filter bisa mempergunakan teknologi *waveguide* merupakan yang paling tepat jika terkait dengan kerugian transmisi (*insertion loss*). Walaupun pada banyak aplikasi tipe teknologi ini telah ditinggalkan, tetapi pada aplikasi-aplikasi tertentu tetap menjadi pilihan yang pertama, misalnya aplikasi berdaya besar atau aplikasi satelit. Filter dengan teknologi *waveguide* mempunyai kelemahan yaitu mahal dan sulit untuk membuatnya sehingga untuk produksi secara massal dan murah tidak mungkin dilakukan. Sementara sebagai alternatif juga dibuat filter dengan teknologi mikrostrip, yang dari elektronika berfrekuensi rendah dikenal sebagai PCB (*Printed Circuit Board*). Kelebihan teknologi ini mudah dan murah untuk membuatnya, terlebih lagi untuk produksi dalam jumlah yang besar. Kekurangan dari filter dengan teknik mikrostrip adalah kerugian pada transmisi yang lebih besar dibandingkan *waveguide* dan transisi dari wilayah lolos yang relatif lebih besar. Masalah yang akan dibahas di penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan *bandpass filter* dengan metode *open loop resonator* untuk aplikasi LTE pada frekuensi tengah 1,88 GHz.
2. Bagaimana menghubungkan teori rangkaian/komponen-komponen diskret seperti induktansi dan kapasitansi dengan struktur diskontinuitas mikrostrip.
3. Bagaimana merealisasikan struktur dasar yang didapat dengan pendekatan rangkaian diskret di atas dengan metoda perhitungan elektromagnetika.
4. Membuat *prototype* filter dengan teknologi mikrostrip.
5. Melakukan validasi pengukuran dengan alat *Vector Network Analyzer* (VNA)

Tujuan penelitian ini adalah melakukan perancangan struktur mikrostrip yang mampu memberikan suatu performansi filter dengan frekuensi tengah 1,88 GHz dan *bandwidth* 60 MHz pada saluran mikrostrip

Adapun batasan dari penelitian adalah:

1. *Bandpass filter* dirancang dan direalisasikan dengan metode *squared open loop resonator* untuk aplikasi LTE yang bekerja pada frekuensi 1850 MHz – 1910 MHz dengan frekuensi tengah 1,88 GHz dan lebar *bandwidth* 60 MHz.
2. Tidak membahas teknologi LTE secara mendalam.

### TEORI DASAR FILTER

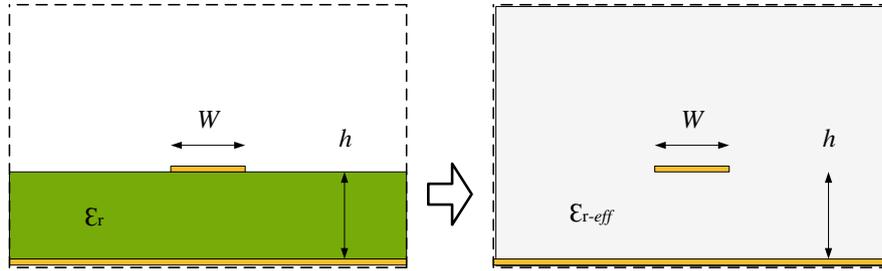
#### Perhitungan Impedansi Gelombang

Tipe gelombang yang merambat di dalam mikrostrip adalah gelombang hybrid. Gelombang yang memiliki medan listrik dan magnet pada komponen axial (longitudinal), disebut juga gelombang *HE* atau *EH*. Sebagai

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro Universitas Mercu Buana Jakarta

pembanding, di dalam *waveguide*, gelombang *E* dan gelombang *H* bisa merambat, tetapi gelombang TEM tidak bisa merambat. Di dalam kabel koaksial, gelombang TEM sebagai mode dasar bisa merambat. Gelombang TEM tidak bisa merambat di mikrostrip. Hal inilah yang mempersulit pembahasan mikrostrip secara eksak.

Tetapi pada prakteknya, sering kali gelombang yang merambat di anggap sebagai gelombang TEM (kuasi TEM), yang mana anggapan ini hanya berlaku pada frekuensi rendah. Pada frekuensi ini komponen axial dari medan listrik dan magnet jauh lebih kecil dibanding dengan komponen transversalnya. Dengan model kuasi TEM, maka pengamatan bisa direduksi menjadi kasus *elektrostatika*, seperti halnya pada kabel koaksial. Tetapi, struktur mikrostrip yang tidak homogen akan diaproksimasikan dengan struktur homogen yang memiliki permitivitas efektif  $\epsilon_{r,eff}$ .



■ **Gambar 1.** Pendefinisian permitivitas relatif sebagai alat bantu analisa.

Untuk kasus strip metal yang sangat tipis ( $t \rightarrow 0$ ) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1, permitivitas efektif dan dengan demikian impedansi gelombang bisa dihitung dengan dua rumus berikut ini, untuk  $u = W/h \leq 1$ ,

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \left( 1 + \frac{12}{u} \right)^{-0,5} + 0,04(1-u)^2 \right] \quad (1)$$

$$Z_0 = \frac{\eta}{2\pi \sqrt{\epsilon_{r,eff}}} \ln \left( \frac{8}{u} + 0,25u \right) \quad (2)$$

yang mana  $\eta = 120\pi$  ohm.

Sedangkan untuk  $u = W/h \geq 1$ ;

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_{r,eff} + 1}{2} + \frac{\epsilon_{r,eff} - 1}{2} \left( 1 + \frac{12}{u} \right)^{-0,5} \quad (3)$$

$$Z_0 = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_{r,eff}}} [u + 1,393 + 0,677 \cdot \ln(u + 1,444)]^{-1} \quad (4)$$

Hammerstad dan Jensen memberikan rumus yang lebih tepat. Hong, J.-S. 2011. *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, 2nd ed*,

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{10}{u} \right)^{-a,b} \quad (5)$$

yang mana

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[ \frac{u^4 + \left( \frac{u}{52} \right)^2}{u^4 + 0,432} \right] + \frac{1}{18,7} \ln \left[ 1 + \left( \frac{u}{18,1} \right)^3 \right] \quad \text{dan} \quad b = 0,564 \left( \frac{\epsilon_r - 0,9}{\epsilon_r + 3} \right)^{0,053}$$

Rumus perhitungan permitivitas efektif ini memiliki akurasi lebih bagus dari 0,2% untuk parameter  $\varepsilon_r \leq 128$  dan  $0,01 \leq u \leq 100$ . Sedangkan impedansi gelombangnya adalah

$$Z_0 = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{r,eff}}} \ln \left( \frac{F}{u} + \sqrt{1 + \left(\frac{2}{u}\right)^2} \right) \quad (6)$$

dengan

$$F = 6 + (2\pi - 6)e^{-\left(\frac{30,666}{u}\right)^{0,7528}}$$

Rumus perhitungan impedansi gelombang memiliki akurasi lebih baik dari 0,01% untuk  $u \leq 1$  dan 0,03% untuk  $u \leq 1000$

Dengan didapatkannya permitivitas relatif efektif, panjang gelombang saluran transmisi bisa dihitung menjadi

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{r,eff}}}$$

di mana  $\lambda_0$  = panjang gelombang yang merambat di udara bebas (m), atau

$$\lambda_g = \frac{300}{f(\text{GHz})\sqrt{\varepsilon_{r,eff}}} \text{ dalam satuan mm} \quad (7)$$

### Perancangan Mikrostrip

Proses perancangan mikrostrip adalah menentukan nilai  $u = W/h$  jika nilai  $Z_0$  dan  $\varepsilon_r$  diberikan.

Hammerstad memberikan cara perhitungan sebagai berikut:

Untuk  $u = W/h \leq 2$

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

Dengan

$$A = \frac{Z_0}{60} \left[ \frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \left[ 0,23 + \frac{0,11}{\varepsilon_r} \right] \quad (9)$$

dan untuk  $u = W/h \geq 2$

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (B-1) - \ln(2B-1) + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\varepsilon_r} \left[ \ln(B-1) + 0,39 - \frac{0,61}{\varepsilon_r} \right] \right\} \quad (10)$$

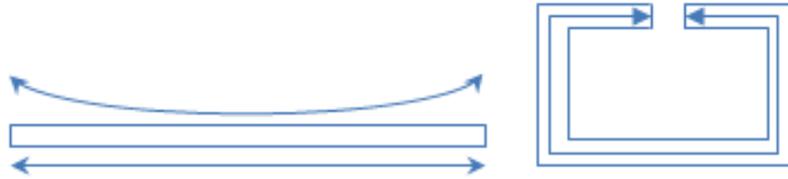
dengan

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (11)$$

Prosedur di atas memiliki akurasi sekitar 1%. Jika diinginkan tingkat akurasi yang lebih, maka digunakan metoda iteratif dengan rumus penentuan impedansi pada bagian sebelumnya atau secara grafis.

### Square Open-loop Resonator

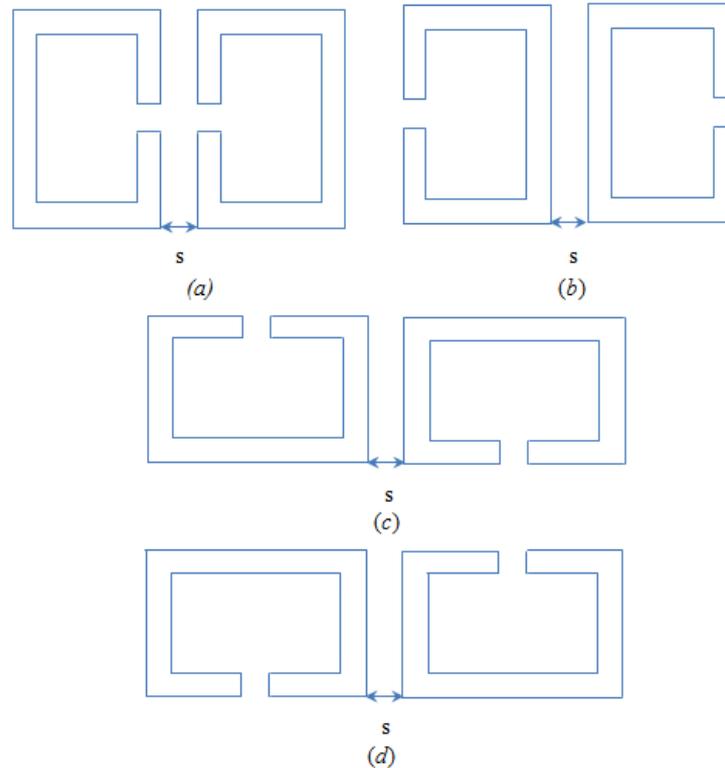
Dalam perancangan dengan media mikrostrip komponen  $L$  dan  $C$  dapat direalisasikan menggunakan bentuk *square open-loop resonator* dengan cara menekuk sebuah resonator lurus tunggal menjadi persegi, seperti di tunjukan pada Gambar 2. Dengan bentuk tekukan sudut  $90^\circ$  akan membentuk sebuah *gap* diantara kedua ujung resonator.



■ Gambar 2. Open loop resonator dapat dibentuk dari sebuah resonator lurus tunggal.

### Kopling Antar Resonator

Didalam pemasangan dua buah resonator akan terbentuk beberapa macam model rancangan pasangan resonator. Dari beberapa model rancangan tersebut secara umum akan diperoleh tiga jenis kopling resonator, yaitu kopling elektrik, kopling magnetik, dan kopling campuran. Beberapa rancangan pemasangan resonator dapat dilihat pada Gambar 3. dibawah:



■ Gambar 3. Ragam struktur tipe kopling dari resonator terkopling dengan (a) kopling elektrik, (b) kopling magnetik, (c) dan (d) kopling campuran.

### SPESIFIKASI RANCANGAN BANDPASS FILTER

#### Spesifikasi Rancangan Bandpass Filter

Prosedur perancangan *Bandpass filter* dimulai dengan menentukan spesifikasi perangkat yang diinginkan. Berdasarkan referensi jurnal perancangan dan implementasi bandpass filter dengan menggunakan metode hairpin berbasis mikrostip pada teknologi LTE (1850 MHz – 1910 MHz) yang dipublikasikan pada Seminar Microwave Antena dan Propagasi tahun 2012, diperoleh spesifikasi filter seperti ditampilkan di Tabel 1.

■ Tabel 1. Spesifikasi rancangan *Bandpass filter*.

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Frekuensikerja	1850 MHz – 1910 MHz
2	Frekuensitengah	1880 MHz
3	Bandwidth 3 dB	60 MHz
4	Bandwidth 30 dB	175 MHz
5	Jenis Filter	Chebyshev
6	Ripple	0,1 dB
7	Insertion loss	≤ 0,2 dB
8	Return loss	≥ 15 dB
9	VSWR	≤ 1,5
10	Impedance	50 ohm

**Pemilihan Bahan Dielektrika**

*Bandpass filter* yang dirancang akan direalisasikan dengan menggunakan *substrat* keramik yaitu dari material PCB Rogers TMM10i.

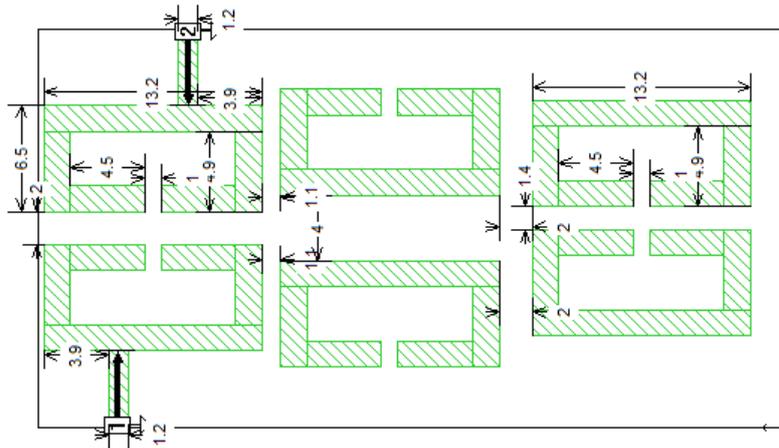
■ **Tabel 2.** Spesifikasi Material PCB Rogers TMM10i

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Konstanta Dielektrik ( $\epsilon_r$ )	9,8
2	<i>Losstan / Faktordisipasi</i>	0.0020
3	Tebal bahandielektrik	1,270 mm
4	Tebal Plat konduktor	0.035 mm

**SIMULASI DAN FABRIKASI FILTER**

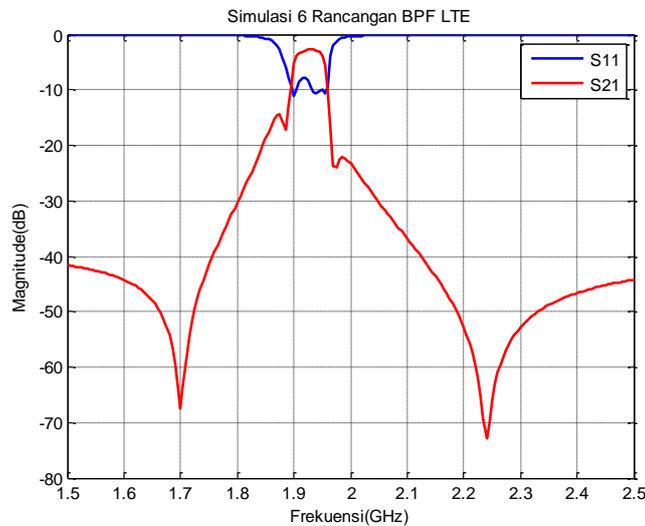
**Hasil Simulasi Rancangan *Band Pass Filter***

Dengan melakukan beberapa simulasi dengan memperhatikan pengamatan terhadap perubahan jarak antara resonator maka didapatkan ukuran resonator yang diperlihatkan pada Gambar 4.



■ **Gambar 4.** Desain *Bandpass filter* material Rogers TMM10

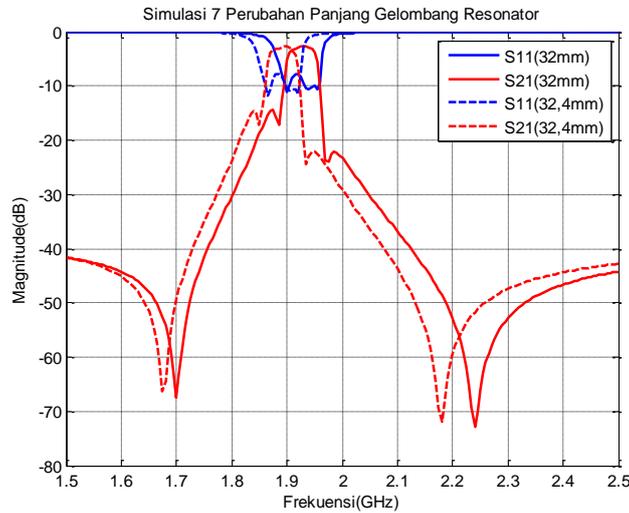
Maka di dapat hasil simulasi sebagai berikut:



■ **Gambar 5.** Simulasi rancangan BPF LTE.

Berdasarkan hasil simulasi didapat lebar *bandwidth* filter adalah 55 MHz, yaitu dari frekuensi 1,9 – 1,955 GHz. Dengan *insertion loss* sebesar 5,5739 dB pada frekuensi 1,9550 GHz dan 5,27485 pada frekuensi 1,900 GHz. *Transmission zeros* sangat terlihat jelas di 4 titik frekuensi yaitu 1,7 GHz, 1,885 GHz, 1,97 GHz dan 2,24 GHz. Karena masih terdapat pergeseran frekuensi maka dilakukan optimasi dengan menambah panjang gelombang resonator dari 32 mm menjadi 32,4 mm karena kita menginginkan frekuensinya bergeser ke kiri (mengurangi frekuensi).

Adapun hasil simulasinya setelah penambahan panjang gelombang adalah sebagai berikut:

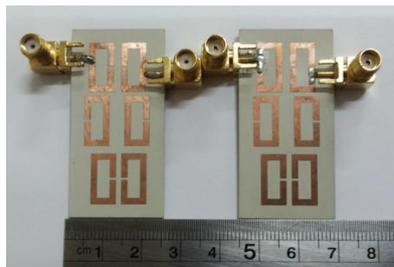


■ **Gambar 6.** Perubahan panjang gelombang resonator BPF LTE.

Terlihat pada Gambar 6 di atas bahwa setelah panjang dari tiap resonator diperpanjang sebesar 0,4 mm maka didapatkan lebar *bandwidth* sebesar 55 MHz dengan *insertion loss* sebesar 5,65924 dB pada frekuensi 1,865 GHz dan 6,8573 dB pada frekuensi 1,920 GHz.

### Fabrikasi *Band Pass Filter*

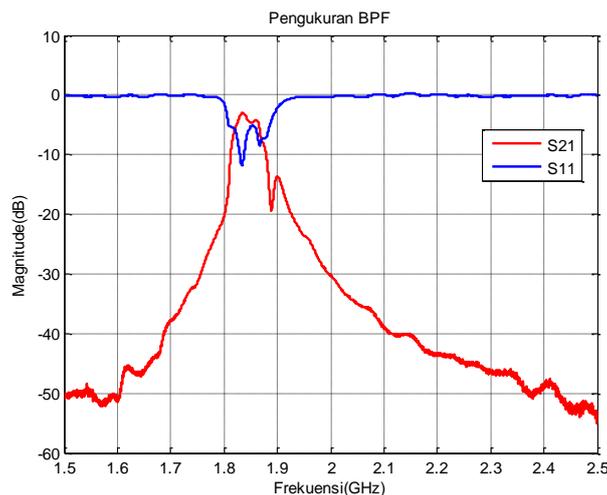
Selanjutnya setelah optimasi filter melalui simulasi selesai dilakukan, maka dengan parameter dan gambar rancangan yang telah diperoleh, langkah berikutnya adalah dibuat *lay-out Bandpass filter* yang akan direalisasikan dalam bentuk film negatif. Dari film negatif yang telah dibuat, akan dicetak pada bahan PCB, melalui proses *photo etching* yang memiliki tingkat ketelitian hingga 10 mikron. Pada proses *photo etching* ini dikerjakan oleh salah satu servis jasa pembuatan PCB. Gambar 7 memperlihatkan fabrikasi dari *bandpass filter* yang dirancang.



■ **Gambar 7.** Realisasi *Bandpass filter* dengan material Rogers TMM10i.

### Data Hasil Pengukuran

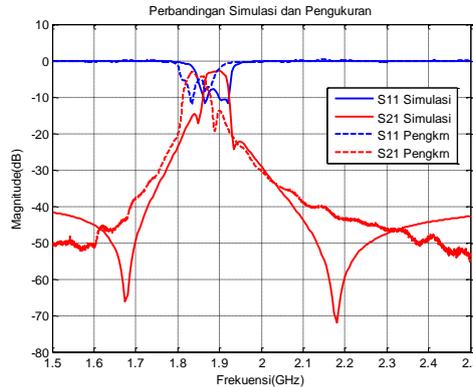
Dari pengukuran yang telah dilakukan terhadap masing-masing filter diperoleh data hasil pengukuran yang diperlihatkan pada Gambar 8.



■ **Gambar 8.** Hasil pengukuran *Bandpass filter* dengan material Rogers TMM10

**Analisa Hasil Pengukuran**

Pada filter yang dibuat menggunakan material *Rogers* TMM10i, dengan hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar di atas. Terdapat hasil *riple* yang beragam dan kurang bagus walau dihasilkan *insertion loss* yang cukup baik yaitu 6,16 dB pada frekuensi 1,819 GHz dan 6,021 dB pada frekuensi 1,867 GHz. *Bandwidth* yang dihasilkan adalah 48 MHz dengan frekuensi kerja 1,819 – 1,867 GHz. Pada hasil pengukuran hanya terdapat 1 buah *transmission zeros* yaitu pada frekuensi 1,89 GHz. Berikut ini adalah hasil perbandingan antara simulasi dan pengukuran:



■ **Gambar 9.** Perbandingan simulasi dan pengukuran *Bandpass filter* dengan material *Rogers* TMM10i.

Pada simulasi didapatkan lebar *bandwidth* sebesar 55 MHz dengan *insertion loss* sebesar 5,66924 dB pada frekuensi 1,865 GHz dan 6,8573 dB pada frekuensi 1,920 GHz. Sedangkan pada pengukuran didapatkan lebar *bandwidth* sebesar 48 MHz dengan *insertion loss* 6,16 dB pada frekuensi 1,819 GHz dan 6,021 dB pada frekuensi 1,867 GHz. Sehingga terdapat pergeseran frekuensi kerja sebesar 46 – 53 MHz.

■ **Tabel 3.** Perbandingan spesifikasi rancangan, simulasi, dan hasil pengukuran *Bandpass filter* dengan material *Rogers* TMM10i.

No.	Parameter	Spesifikasi	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
1	<i>Pass Band</i>	1850 – 1910 MHz	1865 – 1920 MHz	1819 – 1867 MHz
2	<i>Center Frequency</i>	1880 MHz	1892 MHz	1843 MHz
3	<i>Bandwith</i>	60 MHz	55 MHz	48 MHz
4	<i>Insertion loss</i>	0.25 dB nominal	5,67 dB	6,02 dB

**KESIMPULAN**

Dari penelitian perancangan dan realisasi *Band Pass Filter* dengan *Transmission zeros* ini dapat kami tarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut :

1. Ada tiga pendekatan dalam merealisasikan sebuah filter yaitu *Butterworth*, *Chebyshev* dan *Elliptis (Cauer)*. Salah satu pendekatan *Chebyshev* tersebut adalah dengan mempergunakan *transmission zeros*, dimana filter jenis ini memaksa faktor transmisi ( $S_{21}$ ) pada beberapa frekuensi hingga mendekati nilai nol (*zeros*), sehingga didapatkan karakteristik filter yang semakin membaik.
2. Dengan memberikan *transmission zeros* ini akan memberikan efek yang kurang baik pada daerah *rejection band*, yaitu penurunan grafik faktor transmisi pada daerah ini akan lebih lambat dibandingkan pada filter konvensional. Namun pada kenyataannya kekurangan ini masih dapat diterima di dunia industri.
3. Hasil simulasi dan pengukuran filter dengan material *Rogers* TMM10 memberikan hasil yang cukup baik walau terjadi pegeseran *bandwidth* dari spesifikasi yang diinginkan. Hal ini kemungkinan terjadi dikarenakan penggunaan lebar resonator yang lebih besar.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Hong, J.S, Lancaster, M.J. (2001). *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. Wiley, New York.  
 [2] Hong, J.S, Lancaster, M.J. (2011). *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. Wiley, New York.  
 [3] Mudrik Alaydrus (2009). *Saluran Transmisi Telekomunikasi*. Graha Ilmu, Jogjakarta.  
 [4] Dian Widi Astuti, Juwanto dan Mudrik Alaydrus (2013). “Perancangan Filter *Bandpass* 2,448 GHz dengan *Transmission Zeros*” *SMAP* 2013, vol.2 pp 92-95, Oktober 2013.

- [5] Dian Widi Astuti, Juwanto and Mudrik Alaydrus (2013). “2.45 GHz *Bandpass Filter Design With FR-4 Material*” Management, Business, and Environment: A Comprehensive Study in Asian Economy, 29-30 Oktober 2013
- [6] Dian Widi Astuti, Juwanto and Mudrik Alaydrus (2013). “A *Bandpass Filter Based On Square Open Loop Resonators at 2.45 GHz*” 5<sup>th</sup> ICICI-BME, November 7-8, 2013
- [7] Joranto, Mudrik Alaydrus dan Dian Widi Astuti (2014). “Perancangan Perbandingan Jarak Mikrostrip *Bandpass Filter Square Open Loop Resonator* pada aplikasi LTE 1,85 – 1,91 GHz” Tugas Akhir, Universitas Mercu Buana, Juli 2014.
- [8] Desto Rina Ridla Nurwahibah, Uke Kurniawan Usman dan Yuyu Wahyu “Perancangan dan Implementasi Band Pass Filter dengan Menggunakan Metode Hairpin Berbasis Mikrostrip pada Teknologi LTE (1850 MHz – 1910 MHz)” SMAP 2012, vol 1 pp 108-111, Oktober 2012.
- [9] [www.sonetsoftware.com](http://www.sonetsoftware.com) (2011).
- [10] NN (2009). Matlab, [www.matlabwork.com](http://www.matlabwork.com)
- [11] M. Alaydrus, “*Perhitungan Matriks Penggandeng dalam Perancangan Prototip Filter Lowpass*” SMAP 2012, vol. 1 pp 122-125, Oktober 2012.
- [12] Cameron, R.J. C. M. Kudsia, and R. R. Mansour 2007, *Microwave Filters for Communication Systems*. New Jersey: Wiley
- [13] Rhodes, J. D, *A lowpass prototype network for microwave linear phase filters*, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-18*, vol. June, pp. 290–300, 1970.