

PERANCANGAN DUALBAND BANDPASS FILTER DENGAN METODE SQUARE OPEN LOOP RESONATOR PADA FREKUENSI 2100 MHz

Agnes Yora Gracia Simatupang^{*}, Teguh Prakoso, dan Imam Santoso

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}Email: agnes_yora@hotmail.com

Abstrak

Tapis (*filter*) merupakan komponen yang berperan penting dalam suatu sistem telekomunikasi. Tapis digunakan untuk menyeleksi frekuensi yang akan dilewatkan dalam melakukan telekomunikasi. Perkembangan sistem telekomunikasi membuat penggunaan *band* frekuensi yang semakin meluas, sehingga frekuensi yang digunakan juga frekuensi yang tinggi pula. Tapis dapat dirancang secara sederhana menggunakan *lumped element* yang terdiri dari kapasitor, resistor, dan juga induktor. Namun tapis ini mempunyai keterbatasan yaitu hanya dapat digunakan pada frekuensi rendah saja dan tidak efektif untuk frekuensi tinggi. Tapis yang dapat digunakan pada frekuensi tinggi dapat dirancang menggunakan mikrostrip. Bentuk-bentuk tapis mikrostrip pun beranekaragam, salah satunya adalah *square open loop resonator*. Penelitian ini akan membahas tentang perancangan tapis *dualband* dengan metode *square open loop resonator* pada frekuensi 2100 MHz menggunakan *software* CST Studio Suite 2016. Respon frekuensi yang dihasilkan oleh desain akhir dari tapis ini dapat meloloskan frekuensi pada rentang 1927 MHz-2175 MHz dan 3021 MHz – 3296 MHz. Nilai *insertion loss* yang dihasilkan sebesar 1,4283 dB pada *band* bawah dan *return loss* sebesar 19,707 dB pada *band* bawah.

Kata Kunci : tapis, *dualband bandpass filter*, *square open loop resonator*, *insertion loss*, *return loss*

Abstract

Filter is an important component on the telecommunication system. Filter is used to select a certain range of frequency in communication process. The development of telecommunication system has been spread in frequency usage, the higher frequency is used to communicate. In simple form, filter can be designed using lumped component which consist of resistor, capacitor, and inductor. However, this form of filter can only be used in lower frequency and can't be effectively used in higher frequency range. Filter for higher frequency can be designed using microstrip. There are varieties of microstrip filter, one of them is square open loop resonator. This final project will discuss about the design of dualband bandpass filter on the form of square open loop resonator in 2100 MHz using CST Studio Suite 2016. The frequency response of the final design can pass the frequency in the range of 1927MHz-2175 Mhz and 3021 MHz-3296 MHz. The insertion loss value is 1,4283 dB in lower band and return loss value is 19,707 dB in lower band.

Keywords : filter, *dualband bandpass filter*, *square open loop resonator*, *insertion loss*, *return loss*

1. Pendahuluan

Tapis (*filter*) merupakan salah satu komponen yang berperan penting dalam sistem komunikasi saat ini. Sistem telekomunikasi bekerja pada rentang frekuensi tertentu. Tapis berfungsi untuk melewatkan sinyal informasi yang berada pada wilayah frekuensi kerja yang dikehendaki [1-2]. Pada saat ini, frekuensi yang digunakan untuk melakukan komunikasi berada pada rentang yang tinggi. Tapis mikrostrip merupakan salah satu jenis tapis yang sering digunakan pada frekuensi tinggi [3]. Desain stub resonator populer untuk tapis frekuensi tinggi [4-5]. Beberapa desain telah diajukan untuk frekuensi sekitar 2100 MHz untuk komunikasi

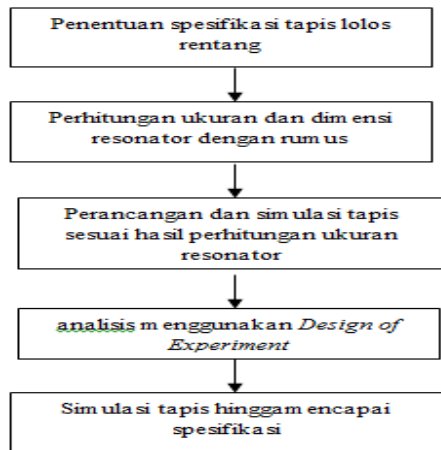
selular, antara lain [6], namun gainnya masih cukup rendah, ataupun pada [7], namun dengan ukuran yang kurang kompak. Desain *square open loop* diajukan sebagai pendekatan lain yang dianggap cukup memadai [8-9].

Pada penelitian ini dibahas mengenai perancangan sebuah tapis mikrostrip. Tapis yang dirancang menggunakan resonator dengan bentuk *square open loop*. Tapis ini dirancang untuk melewatkan frekuensi pada wilayah kerja 2100 MHz yang berada pada rentang 1920-2170 MHz dan juga *band* frekuensi atas yang berada pada rentang 3100 MHz. Terdapat 4 parameter desain yang digunakan dalam merancang tapis ini yaitu L_1 , L_2 , g_1 , g_2 . Parameter L_1 ditentukan melalui perhitungan sebelumnya, sementara

parameter L_2 , g_1 , g_2 merupakan nilai yang dipilih sendiri oleh penulis dengan mempertimbangkan hasil simulasi. Nilai *insertion loss* dan *return loss* yang dihasilkan juga akan diperhatikan dalam perancangan tapis.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Langkah Perancangan Tapis

Pada penelitian ini dijelaskan tentang proses perancangan tapis mikrostrip *square open loop resonator*. Perangkat lunak yang akan di gunakan adalah *CST Studio Suite 2016*. Secara umum langkah penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.

2.2. Penentuan Spesifikasi Tapis

Spesifikasi tapis *square open loop resonator* yang dirancang ditunjukkan pada Tabel 1. Sementara itu, material yang digunakan dalam perancangan tapis adalah *Rogers 3210*. Material tersebut mempunyai spesifikasi seperti pada Table 2.

Tabel 1. Spesifikasi Tapis

No	Parameter	Spesifikasi
1	Center Frequency	2045 (band bawah), band atas mengikuti
2	Bandwidth	250 MHz band bawah, band atas mengikuti
3	Insetion Loss	1 dB nominal
4	Return Loss	≥15 dB
5	Out of band rejection	1920<f<2170 pada band bawah, band atas mengikuti
6	Impedance	50 ohm

Tabel 2. Spesifikasi Rogers 3210 [10]

Parameter	Spesifikasi
Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	10,8
Faktor Disipasi	0,0027
Tebal dielektik (h)	0,64 mm
Tebal konduktor (t)	0,035 mm

2.3. Dimensi Resonator pada Tapis

Tapis yang dirancang adalah tapis lolos rentang dengan metode *square open loop resonator* yang bekerja pada *dualband* yaitu 1920-2170 MHz, di mana frekuensi resonansinya berada pada frekuensi tengah yaitu 2045 MHz. Pada perancangan awal dilakukan perhitungan saluran transmisi yang meliputi:

- Lebar saluran transmisi (W) :

Untuk dapat menentukan lebar dari saluran transmisi mikrostrip, dapat digunakan persamaan berikut [9]:

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (1)$$

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

$\epsilon_r = 10,8$

sehingga diperoleh :

$$A = 2,169814 \approx 2,17$$

Kemudian nilai A disubstitusi ke dalam persamaan

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

Sehingga diperoleh nilai $\frac{W}{h} = 0,937874$

h (ketebalan) dari substrat *Rogers 3210* adalah 0,64 mm, sehingga diperoleh nilai :

$$W = 0,600239 \text{ mm} \approx 0,6 \text{ mm}$$

- Permittivitas bahan dielektrik efektif (ϵ_{reff})

Untuk mencari nilai permittivitas bahan dielektrik efektif dari bahan *substrat*, dapat digunakan persamaan [2]:

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10}{u} \right)^{-a.b} \quad (3)$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{u^4 + \left(\frac{u}{\sqrt{2}} \right)^2}{u^4 + 0,432} \right] + \frac{1}{18,7} \ln \left[1 + \left(\frac{u}{18,1} \right)^3 \right] \quad (4)$$

$\frac{W}{h} = u$, sehingga diperoleh :

$$a = 0,990963$$

$$b = 0,564 \left(\frac{\epsilon_r - 0,9}{\epsilon_r + 3} \right)^{0,053} \quad (5)$$

$$b = 0,553628$$

Kemudian nilai a dan b disubstitusikan ke dalam persamaan sehingga diperoleh nilai:

$$\epsilon_{r,eff} = 6,795339$$

- Panjang gelombang (λ_g)

Untuk menentukan λ_g dalam saluran transmisi mikrostrip digunakan Persamaan 2.35 [9].

$$\lambda_g = \frac{300}{f \text{ resonansi (GHz)} \sqrt{\epsilon_{r,eff}}} \quad (6)$$

$$\lambda_g = \frac{300}{2,045 \sqrt{6,795339}}$$

$$\lambda_g = 56,27589 \approx 56 \text{ mm}$$

- Panjang resonator (*a*)

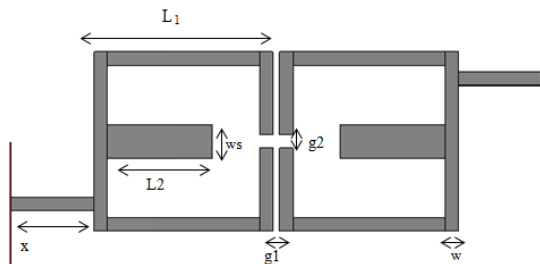
Untuk menentukan panjang resonator (*a*) pada saluran transmisi mikrostrip digunakan persamaan:

$$a = \frac{\frac{1}{2}\lambda_g + gap}{4} + w \tag{7}$$

Nilai *gap* yang digunakan dalam perancangan tapis adalah 0.6 dan nilai *w* adalah 0.6. Kemudian nilai *gap* dan *w* disubstitusikan ke dalam persamaan menjadi :

$$a = \frac{\frac{1}{2}(56) + 0.6}{4} + 0.6$$

$$a = 7.75 \text{ mm}$$



Gambar 2. Tapis *square open loop resonator* dan elemen penyusunnya

3. Hasil dan Analisis

Perancangan tapis dilakukan dengan metode *Design of Experiment* (DOE). Metode DOE digunakan dengan menghasilkan sebuah rumus yang dapat digunakan untuk memprediksi hasil simulasi yang dihasilkan. Metode *Design of Experiment* dilakukan dengan cara melakukan simulasi sebanyak 2^n , di mana *n* adalah jumlah parameter yang akan divariasikan dalam simulasi.

Terdapat 4 parameter yang divariasikan sehingga simulasi dilakukan sebanyak 16 kali. Awalnya simulasi dilakukan dengan penambahan dan pengurangan sebesar 0,5 mm pada *L1* dan *L2*, serta penambahan dan pengurangan sebesar 0,5% pada *g1* dan *g2*. 4 parameter yang divariasikan tersebut merupakan faktor yang akan dilihat pengaruhnya pada parameter desain. Parameter desain terdiri atas 4 jenis yaitu *F1* (frekuensi tengah *band* bawah), *F2* (frekuensi tengah *band* atas), *B1* (*bandwidth* pada *band* bawah), dan *B2* (*bandwidth* pada *band* atas). Nilai dari parameter faktor dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Desain

Faktor	Ukuran awal (mm)	Variasi mm	%	Ukuran setelah ditambah (mm)	Ukuran setelah dikurangi (mm)
<i>L1</i>	7,75	0,5	-	8,25	7,25
<i>L2</i>	4,7	0,5	-	5,2	4,2
<i>g1</i>	0,6	-	0,5	0,63	0,57
<i>g2</i>	0,6	-	0,5	0,63	0,57

3.1. Penentuan Rumus untuk Prediksi

Setelah melakukan simulasi sebanyak 16 kali, maka akan dicari nilai koefisien dari rumus yang akan dibuat. Penentuan nilai koefisien dilakukan pada parameter *F1, F2, B1, B2*. Penentuan nilai koefisien dilakukan dengan mencari *slope* dari nilai rata-rata *F1, F2, B1, B2* saat *L1, L2, g1, g2* bernilai positif atau negatif, seperti ditunjukkan pada Tabel 4-7.

Rumus perhitungan nilai *slope* adalah sebagai berikut:

$$slope = \frac{\text{rerata nilai positif} - \text{rerata nilai negatif}}{2} \tag{8}$$

a. Penentuan Koefisien pada *F1*

Tabel 4. Contoh Penentuan Koefisien pada *F1*

Kondisi	Nilai Rata-rata <i>F1</i>	Koefisien
<i>L1</i> +1	2,0459625	-0,16321875
<i>L1</i> -1	2,3724	
<i>L2</i> +1	2,210575	0,00139375
<i>L2</i> -1	2,2077875	

b. Penentuan Koefisien pada *F2*

Tabel 5. Contoh Penentuan Koefisien pada *F2*

Kondisi	Nilai Rata-rata <i>F2</i>	Koefisien
<i>L1</i> +1	3,1822	-0,17804375
<i>L1</i> -1	3,5382875	
<i>L2</i> +1	3,2696	-0,09064375
<i>L2</i> -1	3,4508875	

c. Penentuan Koefisien untuk *B1*

Tabel 6. Koefisien dan rata-rata *B1*

Kondisi	Nilai Rata-rata <i>B1</i>	Koefisien
<i>L1</i> +1	0,130625	-0,010175
<i>L1</i> -1	0,150975	
<i>L2</i> +1	0,1399375	-0,0008625
<i>L2</i> -1	0,1416625	

d. Penentuan Koefisien untuk *B2*

Tabel 7. Koefisien dan rata-rata *B2*

Kondisi	Nilai Rata-rata <i>B2</i>	Koefisien
<i>L1</i> +1	0,1042375	-0,01003125
<i>L1</i> -1	0,1243	
<i>L2</i> +1	0,1286125	0,01434375
<i>L2</i> -1	0,099925	

3.2. Penggunaan Rumus untuk Memprediksi Hasil Simulasi

Rumus yang dihasilkan dari simulasi sebelumnya mempunyai nilai koefisien. Nilai koefisien dapat digunakan untuk menunjukkan parameter faktor yang besar pengaruhnya terhadap parameter respon. Semakin besar nilai koefisien, maka semakin besar pengaruhnya

terhadap respon yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya. Hubungan antara parameter faktor yang paling mempengaruhi respon dapat ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Penentuan Parameter Desain yang mempengaruhi Respon

Respon	Nilai Koefisien Terbesar	Parameter Desain
F ₁	0,034366071	L ₁ *L ₂ *g ₂
F ₂	0,031926786	L ₂ *g ₁ *g ₂
B ₁	0,002389286	L ₁ *L ₂ *g ₁
B ₂	0,01434375	L ₂

Berdasarkan Tabel 8, diketahui bahwa respon F₁ dipengaruhi oleh kombinasi ketiga parameter desain yaitu L₁, L₂, dan g₂. Respon F₂ dipengaruhi oleh parameter desain L₂,g₁,dan g₂. Respon B₁ dipengaruhi oleh parameter desain L₁,L₂, dan g₁. Respon B₂ dipengaruhi oleh parameter desain L₂. Setelah itu, dilakukan kembali prediksi rumus dengan mengubah nilai dari keempat parameter tersebut. Pertama-tama akan dilakukan prediksi rumus untuk 16 kali simulasi. Prediksi rumus yang pertama akan dilakukan dengan mengubah nilai parameter desain terlebih dahulu. Data perubahan parameter desain dapat ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Parameter tapis setelah perubahan L₁, L₂,g₁,g₂.

No.	Faktor	Ukuran awal (mm)	Ukuran setelah ditambah (mm)	Ukuran setelah dikurangi (mm)
1.	L ₁	7,75	8,3	7,2
2.	L ₂	4,7	5,25	4,15
3.	g ₁	0,6	0,612	0,588
4.	g ₂	0,6	0,612	0,588

Setelah didapatkan data seperti pada Tabel 9 maka akan dilakukan prediksi hasil simulasi terlebih dahulu. Setelah dilakukan prediksi, maka akan dilakukan juga simulasi sebanyak 16 kali. Data hasil prediksi rumus dan data hasil simulasi dapat ditunjukkan pada Tabel 10-11.

Tabel 10 Data hasil prediksi rumus (dalam GHz)

L ₁	L ₂	g ₁	g ₂	F ₁	F ₂	B ₁	B ₂
+	+	+	+	2,653	3,388	0,139	0,375
+	+	+	-	2,624	3,446	0,141	0,377
+	+	-	+	2,573	3,457	0,139	0,385
+	+	-	-	2,579	3,335	0,138	0,383
+	-	+	+	2,239	3,166	0,117	0,283
+	-	+	-	2,212	3,145	0,115	0,287
+	-	-	+	2,209	3,137	0,118	0,286
+	-	-	-	2,183	3,117	0,116	0,290
-	+	+	+	2,569	3,410	0,137	0,342
-	+	+	-	2,536	3,378	0,137	0,345
-	+	-	+	2,539	3,388	0,135	0,347
-	+	-	-	2,507	3,357	0,135	0,350
-	-	+	+	2,206	3,111	0,117	0,264
-	-	+	-	2,218	3,119	0,119	0,266
-	-	-	+	2,220	3,126	0,117	0,267
-	-	-	-	2,194	3,101	0,118	0,269

Tabel 11. Data hasil simulasi

L ₁	L ₂	g ₁	g ₂	F ₁	F ₂	B ₁	B ₂
+	+	+	+	1,978	2,999	0,125	0,123
+	+	+	-	1,977	2,999	0,132	0,131
+	+	-	+	1,975	2,998	0,124	0,123
+	+	-	-	1,974	2,997	0,133	0,132
+	-	+	+	1,981	3,164	0,125	0,066
+	-	+	-	1,981	3,163	0,133	0,088
+	-	-	+	1,974	3,163	0,123	0,055
+	-	-	-	1,978	3,163	0,132	0,087
-	+	+	+	2,330	3,365	0,148	0,146
-	+	+	-	2,329	3,362	0,155	0,150
-	+	-	+	2,326	3,359	0,147	0,144
-	+	-	-	2,327	3,361	0,155	0,150
-	-	+	+	2,315	3,582	0,159	0,150
-	-	+	-	2,316	3,584	0,167	0,162
-	-	-	+	2,331	3,605	0,141	0,116
-	-	-	-	2,309	3,581	0,168	0,162

Berdasarkan hasil simulasi diatas dapat disimpulkan bahwa belum ada simulasi yang menghasilkan respon sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Tetapi berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa semakin panjang L₁ maka frekuensi yang dihasilkan akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Demikian juga pada L₂, namun perubahan L₂ dari nilai + ke - tidak berpengaruh signifikan pada frekuensi yang dihasilkan. Selain itu, pada g₁ dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai g₁ maka lebar bandwidth akan semakin besar. Sementara pada parameter faktor g₂ dapat dilihat bahwa semakin besar nilai g₂, maka bandwidth akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka dilakukan kembali simulasi sebanyak 4 kali. Pada simulasi ini L₁,L₂, dan g₁ akan bernilai sama sementara pada g₂ akan dibuat variasi sebanyak 4 buah. Data perubahan nilai L₁, L₂, g₁, g₂ dapat ditampilkan pada Tabel 12.

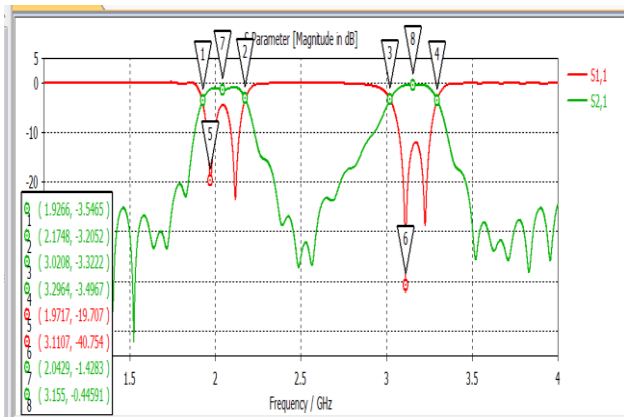
Tabel 12. Parameter tapis setelah perubahan L₁, L₂,g₁,g₂.

No.	Faktor	Variasi 17 (mm)	Variasi 18 (mm)	Variasi 19 (mm)	Variasi 20 (mm)
1.	L1	8	8	8	8
2.	L2	4,7	4,7	4,7	4,7
3.	g1	0,588	0,588	0,588	0,588
4.	g2	0,45	0,4	0,35	0,3

Tabel 13. Hasil Simulasi Variasi 17 – Variasi 20

Variasi	Band bawah				Band atas			
	F _{L1}	F _{L1}	F _{L1}	B _{L1}	F _{L2}	F _{L2}	F _{L2}	B _{L2}
17	1,969	2,145	2,057	0,176	3,076	3,264	3,170	0,187
18	1,956	2,154	2,055	0,198	3,060	3,274	3,167	0,214
19	1,943	2,165	2,054	0,222	3,040	3,284	3,162	0,245
20	1,927	2,175	2,051	0,248	3,021	3,296	3,159	0,276

Simulasi pada Variasi 17-19 belum menghasilkan respon sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Tetapi pada simulasi variasi 20 respon yang dihasilkan sudah mendekati spesifikasi yang ditetapkan yaitu pada frekuensi 1920-2170 MHz. Sehingga, desain akhir tapis yang telah memenuhi spesifikasi adalah desain pada variasi 20 (Tabel 13). Simulasi S11 dan S21 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain akhir tapis sesuai dengan Variasi 20.

3.3. Evaluasi Desain Akhir Tapis

Tabel 14 adalah perbandingan antara spesifikasi dan simulasi. Frekuensi kerja, *bandwidth*, *insertion loss*, *return loss* sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

Tabel 14 Perbandingan hasil simulasi dan spesifikasi tapis pada band bawah

Parameter	Spesifikasi	Simulasi
Frekuensi kerja (MHz)	1920-2170	1927-2175
Bandwidth (MHz)	250	248,2
Insertion Loss (dB)	1 dB nominal	1,4 dB
Return Loss (dB)	≥ 15 dB	19,7 dB

4. Kesimpulan

Penggunaan metode *Design of Experiment* (DOE) dilakukan untuk mengetahui efek dari penambahan dan pengurangan panjang dan persentase dari 4 parameter desain yaitu L_1 , L_2 , g_1 , dan g_2 . Setelah dilakukan pengurangan panjang pada parameter L_1 dan g_2 , penambahan persentase pada parameter g_1 dan L_2 dengan nilai yang tetap, diperoleh frekuensi kerja yang mendekati spesifikasi yaitu pada rentang 1927 MHz – 2175 MHz untuk *band* bawah dan 3021 MHz - 3296 MHz untuk *band* atas. Prediksi hasil simulasi juga dilakukan dengan menggunakan rumus. Rumus yang dihasilkan pada untuk memprediksi F_1 mempunyai rata-rata galat relatif sebesar 12 %, F_2 sebesar 7%, B_1 sebesar 12,6%, dan B_2 sebesar 214%. *Error* terbesar terdapat pada prediksi rumus pada B_2 . Penambahan dan pengurangan parameter desain berpengaruh pada respon frekuensi yang dihasilkan.

Pengurangan panjang L_1 akan menggeser frekuensi ke bawah. Penambahan besar g_1 akan memperlebar *bandwidth* dari tapis yang dihasilkan. Penambahan nilai pada g_2 akan memperkecil *bandwidth* yang dihasilkan. Penggunaan rumus dalam perhitungan dimensi resonator belum mendekati spesifikasi dari respon yang dikehendaki. Masih diperlukan simulasi sampai puluhan kali untuk dapat memperoleh hasil respon yang dapat memenuhi spesifikasi yang dikehendaki.

Referensi

- [1]. Astuti, Dian Widi, dan Mudrik Alaydrus. "A bandpass filter based on square open loop resonators at 2.45 GHz." *3rd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME)*, 2013, hal. 147-151.
- [2]. Pozar, David M. *Microwave Engineering*. Edisi keempat. New Jersey: John Wiley & Sons.2012.
- [3]. Jia-Seng Hong. M.J Lancaster. *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. New York: John Wiley & Sons.2001.
- [4]. Jian Xin Chen, Xiu Yin Zhang, Quan Xue. "Dualband Bandpass Filter Using Stub Loaded Resonator". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Vol. 17, NO. 8, August 2007.
- [5]. Mudrik Alaydrus, Dian Widiastuti. "Studi Parameter Dualband Bandpass Filter Stub Loaded Square Open Loop Resonator". *IncomTech, Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 7, no.3, Februari 2017.
- [6]. Subiyanto. "Perancangan dan Realisasi Dual-Band Band Pass Filter Frekuensi Uplink 3G (1920 MHz) Dan Downlink 3G (2110 MHz) dengan Metode Square Open Loop Resonator". *Tugas Akhir*. Universitas Mercubuana Jakarta. 2013.
- [7]. Moradi, Khatereh, and Saeid Nikmehr. "A dual-band dual-polarized microstrip array antenna for base stations." *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 123, 2012, hal. 527-541.
- [8]. Maharjan, R. K., B. Shrestha, and N. Y. Kim. "Compact microstrip square open-loop bandpass filter using open stub." *Electronics Letters* vol. 48, no. 6, 2012, hal. 333-334.
- [9]. Pozar, David.M. *Microwave and RF Wireless System*. New York: John Wiley & Sons.2001.
- [10]. <https://www.rogerscorp.com> [diakses 30 Agustus 2017]