

PENGARUH UKURAN GAP ANTAR RESONATOR PADA PERANCANGAN *COUPLED EDGE BANDPASS FILTER*

Ayudya Tri Lestari ¹⁾, Dharu Arseno, S.T., M.T. ²⁾, Dr. Ir. Yuyu Wahyu, M.T. ³⁾

^{1),2)}Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi No. 1, Terusan Buah Batu, Sukapura, Dayeuh Kolot, Bandung, Jawa Barat 40257

³⁾Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pegetahuan Indonesia Bandung

Jl. Sangkuriang, Komplek LIPI, Gd. 20, Cisit, Dago, Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat, 40135

Email : ayudyatrilestari@gmail.com

Abstrak. Untuk meloloskan sinyal pada rentang frekuensi tertentu dibutuhkan suatu filter sebagai perangkat penyaringnya. Filter adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewatkan sinyal dengan rentang frekuensi tertentu (*passband*) dan menghilangkan atau memperlemah sinyal dengan frekuensi diluar frekuensi tersebut (*stopband*). Pada makalah ini akan dilakukan perancangan filter *bandpass* (BPF) pada frekuensi tengah 1.842,5 MHz. Filter yang dirancang menggunakan metode *Coupled Edge* yang mana resonatornya disusun paralel. Penyusunan resonator yang sederhana yaitu berbentuk paralel memberikan keuntungan bagi metode *coupled edge* yaitu proses pabrikan yang tidak terlalu rumit.

Perancangan filter dilakukan pada software CST. Pada proses perancangan, ukuran jarak antar resonator (*gap*) berpengaruh pada respon filter yang dihasilkan. Respon filter dapat dilihat dari hasil *S-Parameter* filter yang mana dapat menunjukkan nilai *insertion loss*, *return loss*, frekuensi kerja serta nilai *bandwidth* filter yang dibuat. Perubahan jarak antar resonator berkaitan dengan perubahan nilai koefisien kopling filter. Semakin kecil ukuran *gap* maka nilai koefisien kopling semakin besar sehingga nilai transfer dayanya semakin besar. Namun, jika ukuran *gap* semakin besar maka transfer daya semakin kecil karena nilai koefisien kopling kecil. Dari hasil perancangan filter yang dibuat, filter bekerja pada frekuensi tengah 1.842,5 MHz dengan nilai *VSWR* ≤ 2 , *insertion loss* kurang dari 3 dB dan *return loss* ≤ -10 dB.

Kata kunci : *bandpass filter, coupled edge.*

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan teknologi, komunikasi *wireless broadband* membutuhkan filter *microwave* yang memiliki ketentuan-ketentuan khusus seperti kinerja yang semakin handal, ukuran semakin kecil dengan bobot ringan serta biaya pembuatan yang murah. Untuk memenuhi hal tersebut, saat ini banyak filter yang dibuat dengan teknik mikrostrip. Filter digunakan untuk memilah sinyal RF/*microwave* pada spektral frekuensi yang terbatas [1]. *Bandpass Filter* (BPF) adalah filter yang dapat melewatkan sinyal pada rentang frekuensi tertentu di antara frekuensi *cut off* pertama dan frekuensi *cut off* kedua [2]. Perancangan BPF mikrostrip dapat menggunakan beberapa metode seperti *Hairpin* [3], *Comblin* [4], *Square Open Loop* [5], *Inter Digital* [6], *Coupled Edge* dan lainnya. Pada makalah ini dibuat perancangan filter menggunakan metode *coupled edge*. Metode *coupled edge* adalah perancangan filter dengan resonator $\frac{1}{2} \lambda$ yang topologinya disusun secara paralel. Keunggulan penggunaan metode *Coupled Edge* adalah tingkat kompleksitasnya yang tidak rumit karena topologi resonator yang sederhana, sehingga mudah direalisasikan.

Pada saluran mikrostrip terkopel, resonator saling berpasangan (*coupled*) dan tersusun secara paralel. Antara satu resonator dengan resonator lainnya saling mengkopling daya. Besarnya transfer daya tersebut dipengaruhi oleh jarak antar resonator itu sendiri. Semakin besar jarak antar resonator (*gap*) maka koefisien kopling semakin kecil sehingga daya transfernya kecil. Begitupun sebaliknya, semakin kecil ukuran *gap* resonator maka nilai kopling semakin besar dan transfer daya yang terjadi pun semakin besar [4][7].

Tujuan dari pembuatan makalah ini adalah agar dapat melakukan perancangan filter dan mensimulasikannya pada software CST sesuai spesifikasi filter yang diinginkan. Selain itu, pada makalah ini diharapkan dapat dilakukan analisa terhadap pengaruh ukuran *gap* antar resonator pada proses perancangan, yang mana hasilnya dapat membuktikan teori bahwa ukuran *gap* benar memiliki pengaruh terhadap nilai transfer daya filter. Metodologi yang dilakukan adalah studi literatur, perancangan dan simulasi, serta analisis.

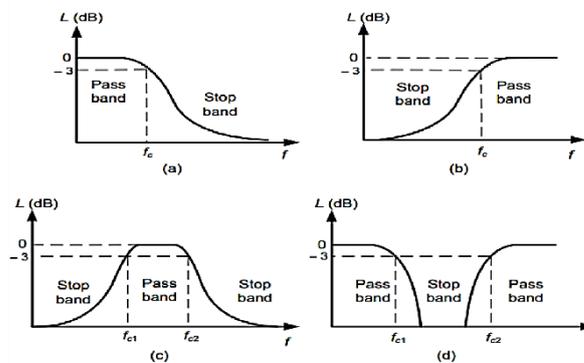
2. Pembahasan

2.1. Filter

Filter adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewatkan sinyal dengan rentang frekuensi tertentu (*passband*) dan menghilangkan atau memperlemah sinyal dengan frekuensi diluar frekuensi tersebut (*stopband*) [2]. Daerah *passband* dibatasi oleh frekuensi *cut off*, yaitu frekuensi sinyal dimana pada frekuensi tersebut daya turun setengah kali dari sinyal atau sebesar 3 dB dari frekuensi *passband*. Berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkannya, filter dibagi menjadi: (Gambar 1)

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

Band Pass Filter (BPF) adalah filter yang dapat melewatkan sinyal pada rentang frekuensi tertentu di antara frekuensi *cut off* pertama dan frekuensi *cut off* kedua. Diluar frekuensi tersebut sinyal akan diredam. BPF merupakan penggabungan dari *low pass filter* dan *high pass filter*.



Gambar 5. Jenis Filter Berdasarkan Daerah Frekuensi Yang Dilewatkannya^[2]

2.2. Parameter Filter

1. *Bandwidth*, adalah daerah frekuensi saat sinyal yang melewati filter dapat diteruskan dengan redaman sekecil mungkin.
2. S-Parameter atau Parameter *Scattering*, pada rangkaian two-port yang mempunyai dua port yaitu port 1 input dan port 2 output dapat dinyatakan dalam variabel gelombang [2]. Dalam analisa filter, S-Parameter digunakan untuk mengetahui nilai *Return Loss* (L_R) dan *Insertion Loss* (L_A).
3. *Return loss*, merupakan perbandingan antara daya pada sumber dengan daya yang dipantulkan kembali oleh beban.

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

4. *Insertion loss* adalah perbandingan antara daya pada beban dengan daya keluaran filter ke beban.

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

5. VSWR, adalah rasio perbandingan antara amplitudo tegangan maksimum terhadap amplitudo tegangan minimum.

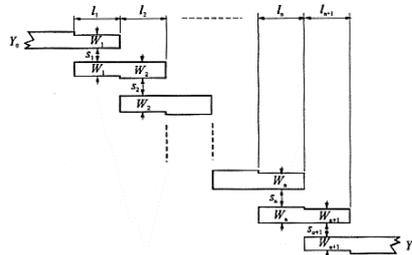
$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (3)[2]$$

6. Nilai impedansi karakteristik, dipengaruhi oleh lebar strip penghantar, tebal bahan dielektrik dari permukaan sampai bidang tanah (*ground plane*) dan homogenitas bahan dielektrik.
7. Q-Factor, adalah faktor kualitas yang merupakan rasio frekuensi tengah rangkaian resonan yang berpengaruh terhadap *bandwidth*.

2.3. Filter *Bandpass* Mikrostrip Metode *Coupled Edge*

Mikrostrip adalah suatu saluran transmisi yang terdiri dari strip konduktor dan *ground plane* yang antara keduanya dipisahkan oleh dielektrik. *Edge coupled* dan *parallel coupled* memiliki topologi resonator yang sederhana sehingga mudah direalisasikan, namun mempunyai dimensi fisik yang besar.

Metode *Parallel (edge) coupled* menggunakan resonator setengah gelombang yang diposisikan paralel satu sama lain dengan jarak pemisah (*adjacent*) setengah dari panjangnya dan menggunakan faktor kopling tertentu seperti Gambar 2.



Gambar 6. Filter Metode Coupled Edge^[1]

Mencari nilai ϵ_e atau konstanta dielektrik relatif didapat dari persamaan Bahl, yaitu:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10}{W/d} \right]^{-1.6c} \quad (4)^{[1]}$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{\left(\frac{W}{d}\right)^4 + \left(\frac{W/d}{52}\right)^2}{\left(\frac{W}{d}\right)^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + \left(\frac{W/d}{18.1}\right)^3 \right] \quad (5)^{[1]}$$

$$c = 0.564 \left(\frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 3} \right)^{0.053} \quad (6)^{[1]}$$

Dalam menghitung dimensi patch dari resonator digunakan persamaan dari penurunan *quarter wave transformer* (transformator $\frac{1}{4} \lambda$). Panjang dan lebar saluran transmisi pada mikrostrip dapat dicari dengan persamaan:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{c}{f_0 \sqrt{\epsilon_e}} \quad (7)^{[1]}$$

$$L_n = \frac{\lambda_g}{4} \quad (8)^{[1]}$$

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^{-A}}{e^{2A} - 2} & \text{untuk } \frac{W}{d} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left\{ (B - 1 - \ln(2B - 1)) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} & \text{untuk } \frac{W}{d} > 2 \end{cases} \quad (9)^{[1]}$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (10)^{[1]}$$

$$B = \frac{377\pi}{2 \cdot Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)^{[1]}$$

L_n adalah panjang saluran transmisi (resonator) pada *section* n sedangkan W adalah lebar saluran transmisinya (resonator). Berikut pula beberapa persamaan dalam menghitung jarak antar resonator atau *gap* (S):

$$\theta_1 = \frac{\pi \cdot \omega}{2 \cdot \omega_0} \quad (12)^{[8]}$$

$$Q = \tan \theta_1 \quad (13)^{[8]}$$

$$\omega'_1 = \cos \left(\frac{\pi \cdot \omega}{2 \cdot \omega_0} \right) \cdot \sqrt{n \left| \sin \left(\frac{\pi \cdot \omega}{2 \cdot \omega_0} \right) \right|} \quad (14)^{[8]}$$

$$\frac{K_{n,n+1}}{Z_0} = \frac{1}{\sqrt{g_n \cdot g_{n+1} \cdot \omega'_1}} \quad (15)^{[8]}$$

$$P = \sqrt{\frac{Q(Q^2 + 1)}{Q + \frac{1}{2 \left(\frac{K_{n,n+1}}{Z_0} \right)^2}}} \quad (16)^{[8]}$$

$$S_{n,n+1} = Z_0 \left(\frac{P_{n,n+1} \cdot \sin \theta_1}{\frac{K_{n,n+1}}{Z_0}} \right) \quad (17)^{[8]}$$

2.4. Perancangan Filter

Filter yang dirancang memiliki respon frekuensi *Chebyshev* dengan *ripple* 0,1 dB. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan orde filter sebesar $n=4$ dengan nilai *stopband* 40 dB. Nilai g_n filter yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai gn orde n=4 *Chebyshev ripple* 0.1 dB

Orde	g ₀	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅
4	1	1,10923	1,30617	1,77083	0,81818	1,35574

Berdasarkan persamaan (6-8) didapatkan nilai $\epsilon_e = 3,331$, serta berdasarkan persamaan (9-19) didapatkan ukuran panjang, lebar resonator, dan *gap* antar resonator seperti Tabel (2-3). Tabel 2 menunjukkan pula ukuran rancangan simulasi setelah dilakukan optimasi pada bagian panjang dan lebar resonator guna didapatkan hasil respon filter yang baik. Sedangkan, Tabel 3 menunjukkan nilai koefisien kopling ($K_{n,n+1}$) serta ukuran *gap* antar resonator ($S_{n,n+1}$).

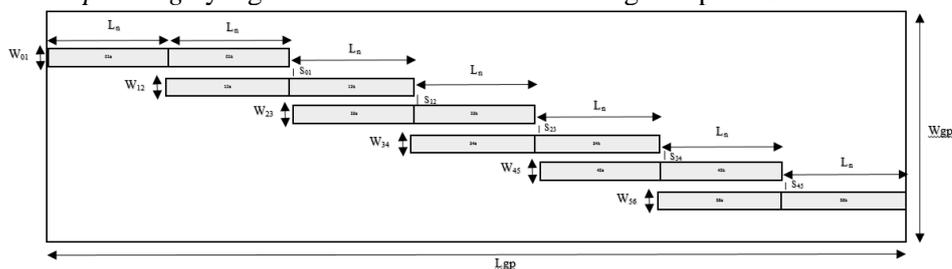
Tabel 2. Rincian Ukuran Rancangan Simulasi Awal serta Optimasi Panjang dan Lebar Resonator

Simulasi Awal		Optimasi Panjang dan Lebar Resonator	
Jenis	Ukuran (mm)	Jenis	Ukuran (mm)
L _n	22,303	L _n	21,5
W _{(01,12, 23, 34, 45, 56)a,b}	3,135	W _{01(a, b)}	3,1 dan 1,7
S ₀₁	0.322	W _{12 (a, b)}	1,7 dan 3,1
S ₁₂	0.326	W _{23(a, b)}	3,1
S ₂₃	0.332	W _{34 (a, b)}	3,1
S ₃₄	0.326	W _{45 (a, b)}	3,1
S ₄₅	0.322	W _{56 (a, b)}	1,7 dan 3,1

Tabel 3. Rincian Ukuran Jarak Antar Resonator

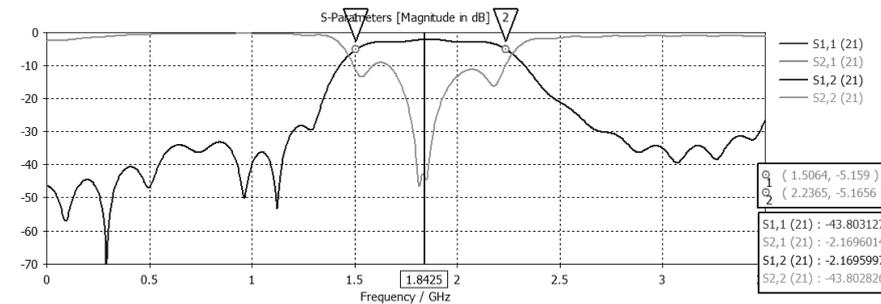
K _{01/Z₀}	1.476	S ₀₁	0.322 mm
K _{12/Z₀}	1.291	S ₁₂	0.326 mm
K _{23/Z₀}	1.022	S ₂₃	0.332 mm
K _{34/Z₀}	1.291	S ₃₄	0.326 mm
K _{45/Z₀}	1.476	S ₄₅	0.322 mm

Filter metode *coupled edge* yang dibuat memiliki model rancangan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Model Rancangan *Bandpass Filter* Metode *Coupled Edge* Orde 4

Adapun hasil S-Parameter pada simulasi setelah dilakukan optimasi panjang dan lebar resonator terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. S-Parameter Hasil Simulasi

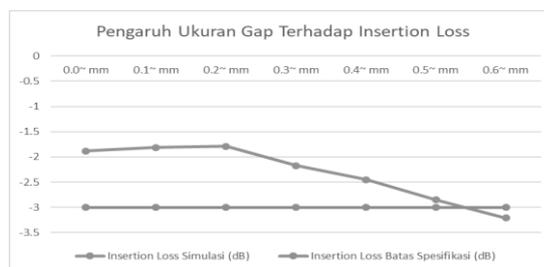
Dari Gambar 4 diketahui bahwa filter hasil optimasi panjang dan lebar resonator sudah bekerja pada frekuensi tengah 1.842,5 MHz. Nilai *insertion loss* dan *return loss* pada frekuensi tersebut sebesar -43,8 dB dan -2,17 dB. Didapatkan pula nilai VSWR sebesar 1,01 dengan *bandwidth* 3 dB sebesar 730,1 MHz. Kedua nilai tersebut sudah menunjukkan filter yang dibuat memiliki respon frekuensi baik dan sudah sesuai dengan spesifikasi awal.

2.5. Optimasi Ukuran Jarak Antar Resonator (*Gap*)

Perubahan ukuran *gap* berpengaruh terhadap nilai *insertion loss*, *return loss*, serta *bandwidth* yang dapat terlihat pada hasil S-Parameter. Pengaruh optimasi ukuran jarak antar resonator terhadap nilai *bandwidth*, nilai S_{11} , dan nilai S_{21} dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh Optimasi Ukuran *Gap* Antar Resonator

No.	Ukuran <i>Gap</i> [mm]			Bandwidth [MHz]	S_{11} (<i>Return Loss</i>) [dB]	S_{12} (<i>Insertion Loss</i>) [dB]	Ket.
	S_{01} & S_{45}	S_{12} & S_{34}	S_{23}				
1.	0,322	0,326	0,332	730,1	-43,8	-2,17	Baik
2.	0,222	0,226	0,232	1.114,8	-18,79	-1,79	BW lebar
3.	0,122	0,126	0,132	1.463	-13,16	-1,81	BW lebar
4.	0,022	0,026	0,032	~	-9,06	-1,88	BW lebar
5.	0,422	0,426	0,432	620,4	-21,8	-2,45	Baik
6.	0,522	0,526	0,532	543	-15,96	-2,85	Baik
7.	0,622	0,626	0,632	480,3	-13,25	-3,21	IL tidak memenuhi



Gambar 5. Grafik Pengaruh Ukuran *Gap* Terhadap *Insertion Loss*

Berdasarkan Tabel 4. dapat dianalisa bahwa semakin kecil jarak antar resonator maka semakin baik nilai dari *insertion loss* sedangkan semakin besar jarak antar resonator maka semakin tidak baik nilai *insertion loss*. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin kecil jarak antar resonator maka semakin besar transfer daya yang terjadi, begitupun sebaliknya. Transfer daya ditunjukkan oleh nilai *insertion loss*, karena *insertion loss* merupakan *loss* daya sistem yang merupakan selisih antara daya output dengan daya input. Semakin baik nilai *insertion loss* (kurang dari 3 dB) maka semakin baik transfer daya yang terjadi. Gambar 5 menunjukkan grafik pengaruh ukuran *gap* terhadap *insertion loss*. Namun, semakin baik nilai *insertion loss* tidak sebanding dengan nilai *bandwidth* yang dihasilkan. Nilai *bandwidth* dipengaruhi oleh nilai *return loss* dan *insertion loss*. *Bandwidth* akan berukuran kecil jika kedua nilai *return loss* dan *insertion loss* baik dan tajam.

Nilai *insertion loss* ditampilkan pada S-Parameter S_{12} . Perubahan hasil S-Parameter akibat dari optimasi ukuran *gap* disebabkan oleh berubahnya nilai kopling antar resonator yang saling berpasangan pada saluran mikrostrip terkopel. Semakin besar nilai kopling maka semakin besar juga daya transfer yang terjadi, dengan ukuran *gap* antar resonator yang semakin kecil. Sedangkan transfer daya akan semakin kecil apabila nilai koping kecil dan ukuran *gap* besar atau jauh. Dilihat dari Tabel 4, optimasi perubahan ukuran *gap* antar resonator paling optimal yaitu pada skema No. 6 dengan nilai *insertion loss* dan *return loss* yang didapat sebesar -2,85 dB dan -15,96 dB, serta *bandwidth* yang dihasilkan sebesar cukup sempit dibandingkan dengan yang lainnya yaitu sebesar 480,3 MHz. VSWR yang didapat sebesar 1,37.

3. Simpulan

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Optimasi *gap* antar resonator dilakukan dengan mengubah ukuran *gap* menjadi lebih kecil dan lebih besar. Pengaruh perubahan ukuran *gap* berdampak pada nilai *insertion loss*.
- b. Semakin kecil atau dekat jarak antar resonator (*gap*) maka semakin kecil (baik) nilai *insertion loss* dan transfer daya yang terjadi semakin besar. Namun, semakin jauh ukuran jarak antar resonator (*gap*) maka semakin besar (buruk) nilai *insertion loss*.
- c. Ukuran jarak antar resonator (*gap*) dipengaruhi oleh nilai koefisien kopling filter. Semakin besar nilai koefisien kopling, maka semakin dekat jarak antar resonator. Namun semakin kecil nilai koefisien kopling, maka semakin jauh ukuran jarak antar resonator.
- d. Hasil akhir optimasi didapatkan nilai *insertion loss* dan *return loss* sebesar -2,85 dB dan -15,96 dB, *bandwidth* yang dihasilkan cukup sempit dibandingkan dengan hasil lainnya, yaitu sebesar 480,3 MHz, serta VSWR sebesar 1,37.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan makalah ini.

Daftar Pustaka

- [1] Hong, Jia-Sheng, Lancaster, M J. 2001. *Microstrip Filters for RF / Microwave*.
- [2] Bowick, Chris. 1982. *RF Circuit Design*.
- [3] Gusnium, Anrisam. 2016. *Perancangan dan Realisasi Bandpass Filter Hairpin Line Dengan Open Stub Untuk LTE 2.3 GHz*. Universitas Telkom.
- [4] Afrianto, Nori. 2011. *Perancangan dan Realisasi Bandpass Filter Berbasis Mikrostrip Untuk Aplikasi LTE*. Institut Teknologi Telkom.
- [5] Maulana, Ifwan Nul. 2016. *Perancangan dan Realisasi Bandpass Filter Pada Frekuensi 1857.5 MHz – 1880 MHz Untuk LTE Downlink Menggunakan Metode Square Open-Loop Ring Resonator*. Universitas Telkom.
- [6] Sari, Vivin Eka Putri. 2013. *Perancangan dan Realisasi Bandpass Filter Dengan DGS (Defected Ground Structure) Untuk Aplikasi Komunikasi Nanosatelit Pada Frekuensi 2.4-2.45 GHz*. Institut Teknologi Telkom.
- [7] Aditya, Rendy Yudha. 2016. *Perancangan Microstrip Band Pass Filter Pada Frekuensi 3.3 GHz dengan Menggunakan Defected Ground Structure*. Universitas Mercubuana.
- [8] Maulana, M. Ilham. 2016. *Perancangan dan Realisasi Bandpass Filter Dengan Menggunakan Metode Coupled Line Compact Untuk Frekuensi Kerja 3300 MHz – 3400 MHz*. Universitas Telkom.