P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

METODA SPLIT RING RESONATOR UNTUK PERFORMANSI BANDPASS FILTER PADA APLIKASI PEMANEN ENERGI BERBASIS RADIO FREKUENSI

Kusmadi[1], Taufik Mulyana[2]

[1,2]Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana
[1]e-mail korespondensi: kusmadi@usbypkp.ac.id

ABSTRACT

One of the ways to improve performance of the microstrip bandpass filter is to use the Split Ring Resonator (SRR) method, in addition to other methods, namely by considering the microstrip material and the physical dimensions of the device. In this research, a filter design and implementation based on SRR is carried out which can be used in energy harvesting systems that are sourced from radio frequency signals at a frequency of 1.8 GHz. A microstrip bandpass filter based on SRR with a certain pattern, arrangement, type, and gap distance will be designed to obtain the most optimal filter frequency characteristics with a relatively small size. This microstrip bandpass filter design was fabricated on a Rogers RT/duroid 5880(tm) dielectric substrate with a relative permittivity parameter value of 1.3 and a physical dimension of 25 mm x 25 mm x 1.6 mm. The maximum response for the return loss parameter generated by this filter is 21 dB, the minimum insertion loss response is 0.9 dB with a wide bandwidth of 900 MHz spanning a frequency of 1.76 GHz to 1.85 GHz at a center frequency of 1.8 GHz.

Keywords: *microstrip bandpass filter, split ring resonator, energy harvester*

ABSTRAK

Salah satu cara untuk mendapatkan performansi bandpass filter mikrostrip yang lebih baik adalah dengan menggunakan metoda Split Ring Resonator (SRR), disamping metoda lainnya yaitu dengan pertimbangan bahan microstrip maupun dimensi fisik perangkat tersebut. Pada penelitian ini dilakukan sebuah desain dan implementasi filter yang berbasis SRR yang kan digunakan pada sistem pemanen energi yang bersumber dari sinyal frekuensi radio pada frekuensi 1,8 GHz. Sebuah bandpass filter mikrostrip berbasis SRR dengan pola, susunan, jenis, serta jarak celah tertentu akan dirancang untuk mendapatkan karakteristik respon frekuensi filter paling optimal dengan ukuran yang relatif kecil. Desain bandpass filter mikrostrip ini difabrikasi di atas subtrat dielektrik Rogers RT/duroid 5880(tm) dengan nilai parameter permitivitas relatif 1,3 dan dimensi fisik sebesar 25 mm x 25 mm x 1,6 mm. Respon maksimum untuk parameter return loss yang dihasilkan filter ini sebesar 21 dB, respon minimum insertion loss sebesar 0,9 dB dengan lebar bandwidth sebesar 900 MHz terbentang antara frekuensi 1,76 GHz sampai dengan 1,85 GHz pada frekuensi tengah 1,8 GHz.

Kata Kunci: bandpass filter microstrip, split ring resonator, pemanen energi

PENDAHULUAN

Implementasi filter dengan Split Ring Resonator (SRR) digunakan sebagai struktur tambahan buatan untuk implementasi teknologi planar dan aplikasi pada komponen compact microwave. Sebuah SRR terdiri dari sepasang lintasan tertutup yang dipisahkan pada ujung yang berlawanan dan memiliki jarak pemisah antara lintasan tersebut. SRR biasanya terbuat dari bahan logam. Bentuk lintasan pada SRR dapat berupa lingkaran ataupun persegi. Jarak antara 2 lintasan pada sebuah SRR menghasilkan nilai kapasitansi yang besar sehingga dapat menurunkan frekuensi iresonansi. SRR biasanya digunakan untuk meningkatkan performansi dari perangkat teknologi informasi dan komunikasi, khususnya, filter atau antena tanpa mengubah karakteristik dasar dari perangkat ataupun menambah dimensi dari

P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

perangkat tersebut. Pengaruh yang dihasilkan bergantung pada jenis, pola, susunan serta jarak gap dari SRR yang digunakan.

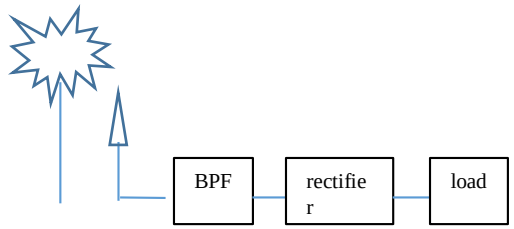
Energy Harvesting adalah suatu proses pengambilan energi dari lingkungan sekitar yang dapat digunakan sebagai sumber daya untuk mengoperasikan perangkat berdaya rendah [1]. Energi yang dimaksud berupa gelombang elektromagnetik dari frekuensi radio atau gelombang mikro yang berasal dari sumber transmisi telekomunikasi seperti pemancar radio, sensor, atau seluler. Namun energi yang dapat dipanen dari gelombang elektromagnetik tersebut masih relatif kecil jika dibandingkan dengan baterai [2].

Pemanen Energi Frekuensi Radio

Dikenal juga dengan istilah Energy Harvesting adalah suatu proses pengambilan energi dari lingkungan sekitar yang dapat digunakan sebagai sumber daya untuk mengoperasikan perangkat berdaya rendah. Energi yang dimaksud berupa gelombang elektromagnet dari frekuensi radio atau gelombang mikro yang berasal dari sumber transmisi telekomunikasi seperti pemancar radio, sensor, atau seluler. Namun sayangnya energi yang dapat dipanen dari gelombang elektromagnetik tersebut masih relatif kecil jika dibandingkan dengan baterai.

Besarnya energi yang dapat dipanen bergantung pada karakteristik antena yang digunakan. Antena harus memiliki gain yang tinggi dan dimensi yang kecil. Antena microstrip cocok digunakan karena memiliki ukuran yang kecil dan tipis, dengan panjang berkisar antara sentimeter dan milimeter untuk frekuensi kerja di sekitar ratusan MHz hingga puluhan GHz, mudah difabrikasi, serta memiliki kebebasan dalam menentukan gain dan proses pembuatan antena untuk daya yang rendah. Sinyal yang digunakan sebagai energy harvesting untuk setiap tempat sangatlah berbeda, tergantung dalam lingkungan seperti apa tempat tersebut berada [2].

Konsep sistem *energy harvesting* yang akan dirancang dan dibangun terdiri dari tiga bagian : antena *microstip*, *bandpass* filter, dan rectifier. Sinyal seluler dari BTS akan diserap oleh antena, disaring pada rentang frekuensi tertentu oleh bandpass filter, kemudian diubah keluarannya ke dalam tegangan DC. Skema tersebut ditunjukan pada gambar 1 [3].



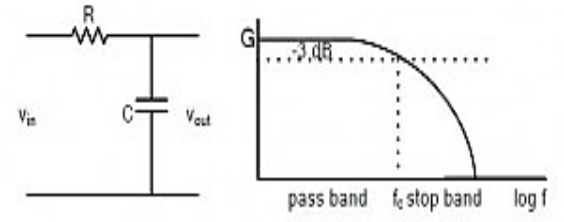
Gambar 1: Skema sinyal seluler dari BTS

Karakteristik Filter

Filter merupakan salah satu rangkaian listrik yang dirancang untuk memiliki karakteristik selektivitas frekuensi yang spesifik. Filter akan melewatkan sinyal dengan frekuensi yang berada pada rentang frekuensi lewatnya (bandpass) dan meredam sinyal pada frekuensi yang lain (stop band). Beberapa klasifikasi filter berdasarkan respon frekuensinya, yaitu [4]:

1. Filter *Lowpass*

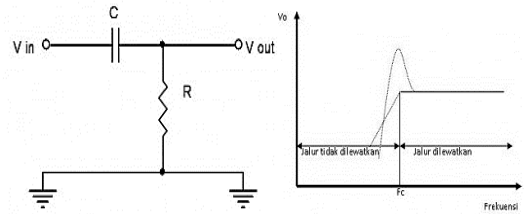
   Merupakan jenis filter yang melewatkan sinyal dengan frekuensi lebih rendah dari nilai frekuensi *cut-off*, seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2: Rangkaian dan karakteristik *Low-pass Filter.*

2. Filter *Highpass*

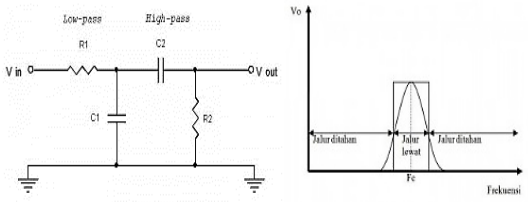
   Merupakan jenis filter yang melewatkan sinyal dengan frekuensi lebih tinggi dari nilai frekuensi *cut-off*, seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3: Rangkaian dan karakteristik filter *highpass*

3. Filter *Bandpass*

   Merupakan jenis filter yang melewatkan sinyal dengar frekuensi di antara 2 nilai frekuensi *cut-off* atau dengan kata lain meneruskan sinyal yang frekuensinya berada dalam rentang *passband*, seperti diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4: Rangkaian dan karakteristik *bandpass* filter

Magnitude Response

Magnitude response parameter-parameter yang dilakukan pengukuran adalah *insertion loss dan return loss* [5].

InsertionLoss

Rugi-rugi sisipan adalah kehilangan daya akibat penyisipan alat/filter diantara sumber dan beban (alat ukur). Rugi-rugi ini diberikan dalam bentuk perbandingan daya rugi-rugi terhadap daya yang datang (*Power Loss Ratio* / (PLR). PLR dinyatakan sebagai berikut, jika daya yang datang adalah P_i, maka daya yang dipantulkan adalah P_i, dan daya yang diserap beban $P_i(1-|\Gamma|^2)$.

$$P_{LR} = \frac{Pi}{Pi(1-|\Gamma|^2)} = \frac{1}{(1-|\Gamma|^2)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

dengan Γ adalah koefisien pantul, yaitu perbandingan antara tegangan yang dipantulkan dengan yang datang. Jika impedansi karakteristik saluran adalah Z_O sedangkan impedansi beban adalah Z_L maka koefisien pantul dapat dihitung dengan Persamaan

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Koefisien refleksi (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya *magnitude* dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka:

- Γ = -1: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- Γ = 0: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan sesuai,

P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

- Γ = +1: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Rugi-rugi sisipan (*insertion loss)* dinyatakan dalam desibel.

$IL = 10\ Log\ P_{LR}(dB)$ …….. (3)

Pada *passband,* PLR harus berharga 1, sedangkan pada daerah lain harus lebih dari 1. Dengan demikian pada *passband* tidak ada rugi-rugi daya, sedangkan pada frekuensi lain rugi-rugi daya harus ada dan besarnya sesuai dengan respon yang diinginkan. Pada rangkaian pasif, daya yang dipantulkan lebih kecil dari daya yang datang Γ≤1. Jika impedansi masukan pada rangkaian adalah Z_{in}, maka koefisien refleksi (Γ) dapat dihitung pada Persamaan

$\Gamma = \frac{Z_{in}-1}{Z_{in}+1}$ …….. (4)

Sementar itu, dari sisi *power loss ratio* yang sering digunakan pada perancangan filter berdasarkan karakteristik respon *passband*-nya, yaitu filter yang memiliki respon frekuensi rata (tanpa *ripple*) yang dikenal dengan respon *butterworth* atau *maximally flat,* dan filter yang responnya mempunyai *ripple* sama (*equal-ripple*) yang disebut respon *Chebyshev,* adapun bentuk respon frekuensi dari filter tergantung dari jumlah elemen atau orde filter. Semakin banyak jumlah elemen filter, maka bentuk respon semakin curam dan sebaliknya apabila jumlah elemen sedikit, bentuk respon menjadi landai.

Return Loss

Return Loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) dibanding dengan gelombang yang dikirim (V_0^+). *Return Loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantar saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *Return Loss* bervariasi tergantung pada frekuensi *Return Loss* dapat dihitung seperti pada persamaan.

$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$ …….. (5)

Return Loss = 20 Log_{10} |Γ ……...…….. (6)

Split Ring Resonator (SRR)

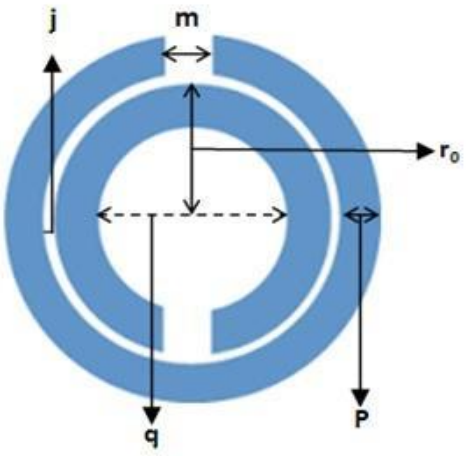
Split Ring Resonator (SRR) adalah suatu struktur buatan yang umum digunakan sebagai struktur tambahan buatan untuk implementasi teknologi planar dan aplikasi pada komponen komponen *compact microwave*. SRR digunakan untuk menghasilkan respon magnetik pada berbagai jenis struktur buatan hingga mencapai frekuensi 200 THz. SRR dapat menghasilkan kekuatan kopling magnetik pada medan elektromagnetik sesuai kebutuhan, tidak seperti yang terdapat pada material konvensional.

P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

Sebuah SRR terdiri dari sepasang lintasan tertutup yang dipisahkan pada ujung yang berlawanan dan memiliki jarak pemisah antara lintasan tersebut. SRR biasanya terbuat dari bahan metal. Bentuk lintasan pada SRR dapat berupa lingkaran maupun persegi. SRR dapat digunakan untuk meningkatkan performansi perangkat komunikasi seperti filter atau antenna tanpa perlu menambah dimensi dari perangkat tersebut.

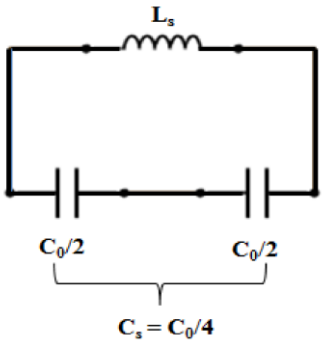
Resonansi Pada Split Ring Resonator

Resonansi dari medan magnet dapat diperoleh melalui suatu susunan logam yang membentuk induktor sekaligus kapasitor sehingga menjadi resonator [6].



Gambar 5: Bentuk Lingkaran SRR

Pada gambar 5 dapat dilihat bentuk SRR lingkaran dan berdasarkan pada gambar 6 dapat terlihat SRR bertindak sebagai rangkaian yang terdiri dari induktor (*L*) dan kapasitor (*C*).



Gambar 6: Rangkaian ekivalen SRR

Sebagai resonator *LC*, SRR dapat tereksitasi oleh fluks medan magnet eksternal. Adapun nilai C_0, sedangkan C_s dapat dinyatakan dalam persamaan.

$$C_0 = 2\pi r_0 C_{pul} \quad \text{..... (7)}$$

dengan,

C_0 = kapasitansi total antara ring dalam dan luar.

C_{pul} = kapasitansi per unit panjang antara dua *ring* pada SRRsaat diluruskan.

r_0 = jari-jari rata-rata SRR.

$$C_s = \frac{C_0}{4} \quad \text{..... (8)}$$

Frekuensi resonansi SRR (f_0) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad \text{..... (9)}$$

Pada SRR, semakin kecil gappada *ring* (*m*) dan jarak spasi antara ring dalam dan luar (*j*), maka nilai kapasitansinya akan semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat hubungannya dari Persamaan.

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \quad \text{..... (10)}$$

dimana,

C = kapasitansi (F)

ε = konstanta dielektrik

P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

A = luas penampang masing-masing ring (m^2)

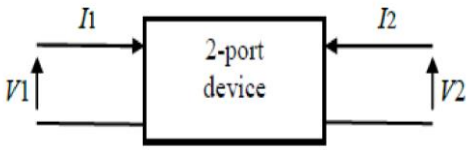
d = jarak antar *ring* pada SRR saat diluruskan (m).

Komponen induktor pada rangkaian ekivalen SRR (L_s) dapat diartikan sebagai induktansi dari suatu *ring* dengan lebar p dan jari-jari r_0. Semakin besar jari-jari dan lebar *ring* pada SRR menyebabkan induktansi meningkat.

Parameter S (Scattering)

Pada dasarnya, sebuah rangkaian linier yang beroperasi dengan sinyal masukan cukup kecil sehingga sistem dapat memberikan respon yang linier, dapat dikarakterisasi secara lengkap dengan parameter yang diukur pada *port* suatu desain. Apabila jenis parameter telah ditentukan, maka respon suatu rangkaian terhadap masukan yang diberikan dapat diamati dan diprediksi. Parameter yang umum digunakan untuk sistem yang beroperasi pada frekuensi rendah adalah parameter Y, H, Z, dan ABCD. Parameter-parameter tersebut didapatkan dengan melakukan hubungan singkat (*short circuit*) atau hubungan terbuka (*open circuit*) pada salah satu *port*-nya. Tetapi, kondisi tersebut tidak dapat diterapkan pada frekuensi tinggi/gelombang mikro karena dapat menimbulkan gelombang berdiri yang akan berakibat kepada ketidakakuratannya pengukuran yang dihasilkan.

Lebih jauh lagi, kondisi hubung singkat dan terbuka bahkan dapat sampai merusak komponen. Ada satu jenis parameter yang dapat digunakan untuk mengatasi sistem yang bekerja pada frekuensi tinggi, yakni parameter *scattering*. Parameter *scattering* biasa disebut parameter S memanfaatkan karakteristik gelombang datang dan gelombang pantul pada *port* rangkain kutub 4 [7-8].



Gambar 7: Jaringan 2 port

Pada gambar 7 diperlihatkan arah arus dan tegangan di jaringan 2 port pada parameter S. Beberapa parameter bisa digunakan untuk memberikan karakteristik rangkaian. Masing-masing parameter direlasikan dengan empat variabel yang berasosiasi dengan model dua terminal. Dua dari empat variabel ini mewakili eksitasi rangkaian (variabel independent) dan dua variabel lainnya mewakili respon rangkaian terhadap eksitasi yang diberikan (variabel dependent) [9].

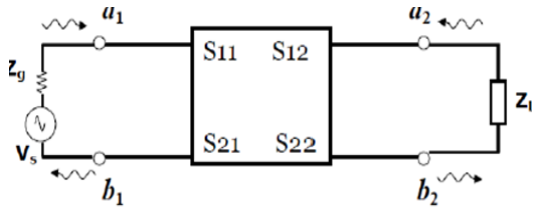
Parameter *S* menjabarkan inter-relasi dari satu variabel ($a_1 b_1$) yang merupakan gelombang tegangan kompleks yang ternormalisasi yang datang dan dipantulkan dari terminal ke-*i* dari rangkaian. Variabel ini didefinisikan dengan tegangan terminal V_i, arus terminal I_i dan suatu impedansi referensi Z_i, seperti diperlihatkan pada persamaan.

$$a_i = \frac{V_i + Z_i I_i}{2\sqrt{|\sqrt{R_e Z_i}}} \quad \text{..... (11)}$$

$$b_i = \frac{V_i - + Z_i * I_i}{2\sqrt{|\sqrt{R_e Z_i}}} \quad \text{..... (12)}$$

P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

Tanda asterisk (Z_i*) menyatakan konjugasi kompleks, umumnya Z_i bernilai real positif dan dinyatakan dengan Z_0. Fungsi gelombang yang digunakan untuk menentukan parameter *S* pada suatu rangkaian dua terminal ditunjukkan berikut ini:



Gambar 8: Parameter *S* jaringan 2-*port*

Rangkaian dua terminal menunjukkan gelombang datang/*incident* (a_1,a_2) dan gelombang pantul (b_1,b_2). Variabel independena_1 dan a_2 adalah tegangan datang ternormalisasi [10].

$$a_1 = \frac{V_1 - I_1 Z_0}{2\sqrt{Z_0}} = \frac{gel.datang\ port\ 1}{\sqrt{Z_0}} = \frac{V_{i1}}{\sqrt{Z_0}} \ldots (13)$$

$$a_2 = \frac{V_2 - I_2 Z_0}{2\sqrt{Z_0}} = \frac{gel.datang\ port\ 2}{\sqrt{Z_0}} = \frac{V_{i2}}{\sqrt{Z_0}} \ldots (14)$$

Variabel dependen b_1 dan b_2 adalah tegangan pantul ternormalisasi, seperti diperlihatkan pada Persamaan.

$$b_1 = \frac{V_1 - I_1 Z_0}{2\sqrt{Z_0}} = \frac{gel.pantul\ port\ 1}{\sqrt{Z_0}} = \frac{V_{r1}}{\sqrt{Z_0}} \ldots (15)$$

$$b_2 = \frac{V_2 - I_2 Z_0}{2\sqrt{Z_0}} = \frac{gel.pantul\ port\ 2}{\sqrt{Z_0}} = \frac{V_{r2}}{\sqrt{Z_0}} \ldots (16)$$

Persamaan linear yang menyatakan rangkaian dua terminal menjadi seperti pada Persamaan

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

Masing-masing persamaan memberi hubungan antara gelombang maju dan gelombang pantul pada masing-masing terminal 1 dan 2. Jika *port* 2 diterminasi beban yang sama dengan impedansi sistem (Z_0), maka berdasar teori transfer daya maksimum, b_2 akan total diserap dan membuat a_2 sama dengan nol, oleh karena itu nilai S_{11} dapat dihitung pada Persamaan.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1}|a_{2=0} = S_{11} = \frac{V_1^-}{V_1^+} \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

Koefisien pantul *input* dengan *output* diberi beban yang sesuai, Z_L=Z_0 dengan a_2= 0, seperti pada Persamaan.

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1}|a_{2=0} = S_{21} = \frac{V_2^-}{V_1^+} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

Penguatan transmisi maju dengan terminal *output* diberi beban yang sesuai. Dengan cara serupa, jika *port* 1 diterminasi sesuai dengan impedansi system Z_0 maka a_1 menjadi nol, seperti pada Persamaan.

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2}|a_{1=0} = S_{12} = \frac{V_1^-}{V_2^+} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (21)$$

Penguatan transmisi balik dengan terminal *input* diberi beban yang sesuai, menghasilkan Persamaan

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2}|a_{1=0} = S_{22} = \frac{V_2^-}{V_2^+} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

Koefisien pantul *output* dengan *input* diberi beban yang sesuai (*matched*); Z_S=Z_0 *dengan* V_S=*0*.

METODE

Perancangan filter *bandpass* ini dibagi ke dalam 3 bagian.

1. Pada bagian ini, dilakukan simulasi rancangan filter *bandpass* berbasis *split ring resonator* menggunakan perangkat lunak 3D.

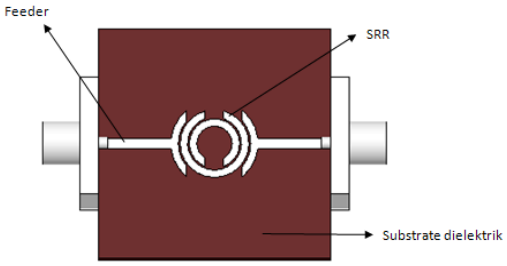
P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

2. Hasil Simulasi dan Analisis, pada bagian ini, dilakukan pengamatan dan menganalisis pengaruh dari perubahan nilai diameter, lebar gap, jarak, lebar ring pada SRR, dan permitivitas relatif terhadap hasil simulasi.
3. Desain Akhir, Pada bagian ini, dilakukan pengambilan keputusan berdasarkan hasil simulasi dan analisis sebagai rancangan akhir simulasi untuk proses fabrikasi.

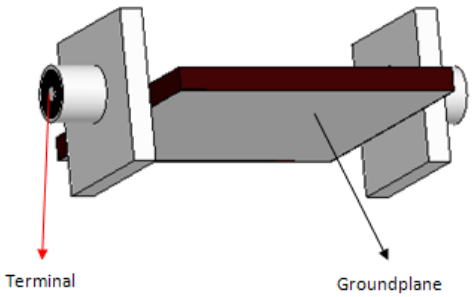
Pemodelan dan Skenario Simulasi

Pemodelan skenario simulasi desain filter *bandpass* yang akan diusulkan sebagai penelitian adalah sebagai berikut:

- Komponen split ring memiliki 3 buah dengan ukuran diameter lingkar yang berbeda beda.
- Untuk masing masing *ring* memiliki gap dengan ukuran tertentu.
- Jarak antar *ring* sebesar 0,2mm.



Gambar 9: Pemodelan *filter microstrip* berbasis SRR (tampak atas)



Gambar 10: Pemodelan *filter microstrip* berbasis SRR (tampak samping).

Untuk lebih jelas gambar 9 dan gambar 10 merupakan desain yang akan disimulasikan

Tabel 1 berikut merupakan detail parameter awal yang diperlukan pada desain filter bandpass menggunakan SRR. Menggunakan formula perhitungan yang telah disampaikan pada pembahasan sebelumnya maka nilai awal akan dilakukan penyesuaian sampai mendapatkan hasil simulasi yang ideal

Tabel 1: Parameter awal desain filter

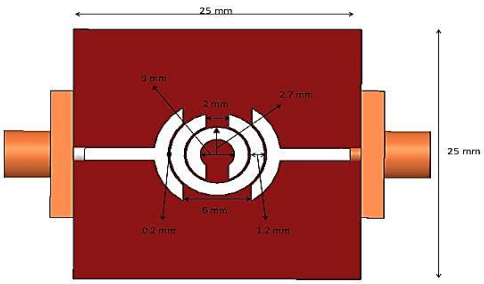
No.	Parameter	BPF 2,4 GHz berbasis SRR
1.	Panjang Substrat (*l*)	25 mm
	Lebar Substrat	25 mm
2.	Tebal Substrat	1,9 mm
3.	Panjang Feeder	7,8 mm
4.	Lebar Feeder	1,2 mm
5.	Lebar *ring* pada SRR (*p*)	1,2 mm

P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

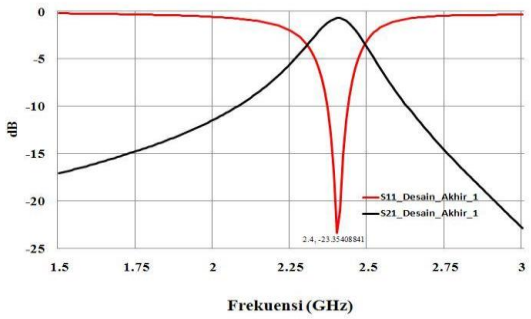
6.	Jarak antar *ring* dalam dan luar (*j*)	0,2 mm
7.	Diameter dalam *ring* (*q*)	3 mm
8.	Lebar *gap* pada *ring* (*m*)	2 mm
9.	Permitivitas Relatif Substrat	11,35

Pada gambar 11 dilakukan beberapa perubahan variable, sedangkan gambar 12 merupakan grafik hasil simulasi dari kondisi awal.

Adapun parameter yang dibuat tetap untuk seluruh kondisi yakni tebal substrat dielektrik (*h*) sebesar 1,9 mm, tebal jalur (*t*) sebesar 0,035 mm, panjang substrat sebesar 25 mm, lebar substrat sebesar 25 mm, dan bahan substrat dielektrik adalah *Rogers RT/duroid 6010/6010LM* (tm).



Gambar 11: Bentuk *bandpass* filter Split Ring Resonator pada kondisi awal



Gambar 12: Grafik simulasi pada kondisi awal

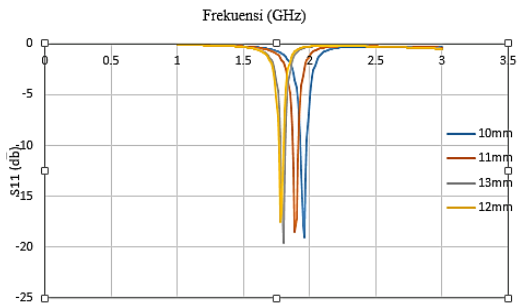
Berikut skenario yang dilakukan dalam simulasi.

1. Perubahan diameter dalam *ring* (*q*)
2. Perubahan lebar *gap* pada *ring* (*m*)
3. Perubahan jarak antara *ring* dalam dan luar (*j*)
4. Perubahan lebar *ring* pada SRR (*p*).

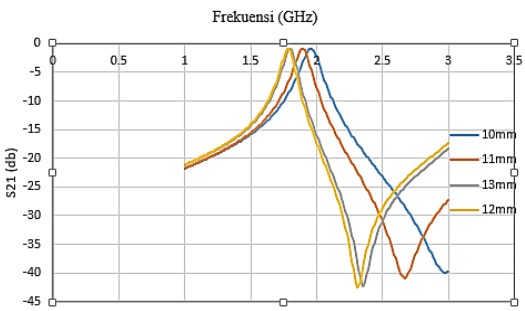
Simulasi Desain Filter

Urutan simulasi dilakukan sesuai dengan skenario yang telah ditetapkan. Seluruh hasil simulasi diamati dalam bentuk parameter hamburan S_{11} dan S_{21}.

Pada gambar 13 ditunjukan grafik hasil simulasi berdasarkan variasi parameter diameter dalam ring (q) dengan nilai 10 mm sampai dengan 12 mm. Gambar 13 (a) menunjukan grafik parameter S_{11} sedangkan (b) merupakan grafik parameter S_{21}.



(a)

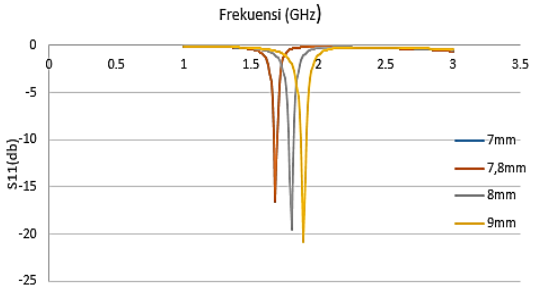


P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

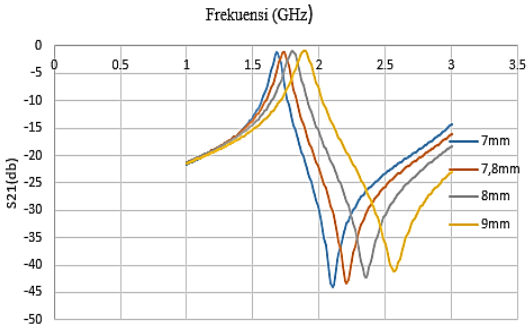
(b)

Gambar 13: Grafik simulasi variasi q (a) S_{11} (b) S_{21}

Pada gambar 14 ditunjukan grafik hasil simulasi berdasarkan variasi lebar gap pada ring (m) dengan nilai 7 mm sampai dengan 9 mm. Gambar 14 (a) menunjukan grafik parameter S_{11} sedangkan (b) merupakan grafik parameter S_{21}.



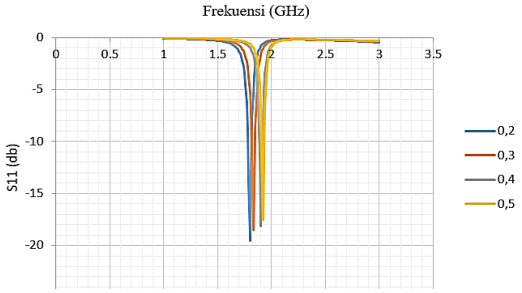
(a)



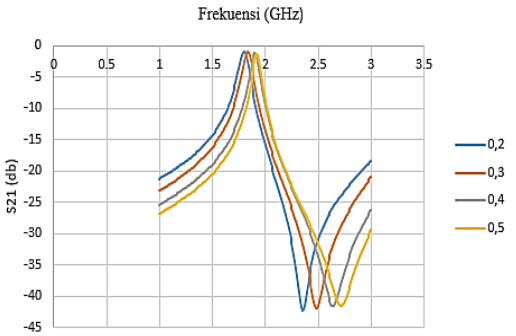
(b)

Gambar 14: Grafik simulasi variasi lebar *gap* pada *ring* (a) S_{11} (b) S_{21}

Pada gambar 15 ditunjukan grafik hasil simulasi berdasarkan variasi jarak antara ring dalam dan luar (*j*) dengan nilai 0,2 mm sampai dengan 0,5 mm. Gambar 15 (a) menunjukan grafik parameter S_{11} sedangkan (b) merupakan grafik parameter S_{21}.



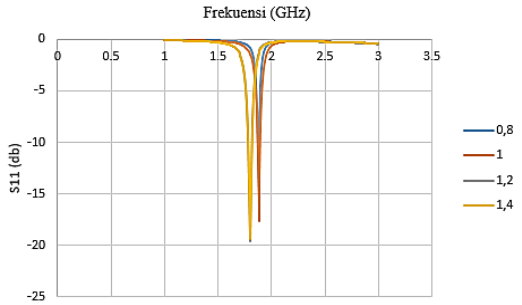
(a)



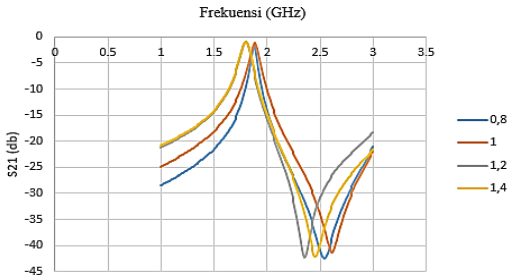
(b)

Gambar 15: Grafik simulasi variasi jarak antara ring dalam dan luar (a) S_{11} (b) S_{21}

Pada gambar 16 ditunjukan grafik hasil simulasi berdasarkan variasi lebar ring pada SRR dengan nilai 0,8 mm sampai dengan 1,4 mm. Gambar 16 (a) menunjukan grafik parameter S_{11} sedangkan (b) merupakan grafik parameter S_{21}.



(a)



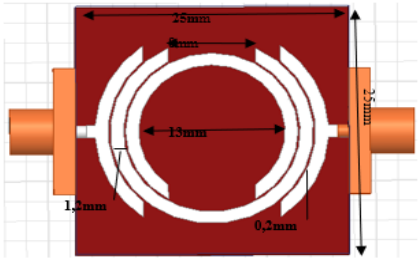
P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

(b)

Gambar 16: Grafik simulasi variasi lebar ring pada SRR (a) S_{11} (b) S_{21}

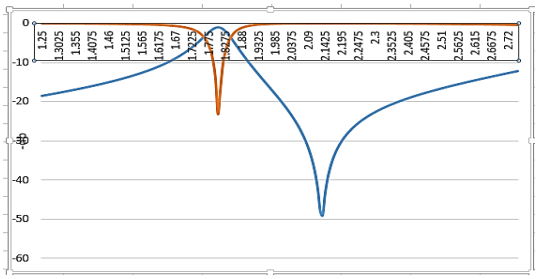
Desain Akhir *Bandpass* Filter

Setelah melakukan tahapan skenario dan dengan mempertimbangkan seluruh hasil pengamatan, desain akhir filter *bandpass* berbasis SRR pada Frekuensi 1,8 GHz seperti yang terlihat pada Gambar 13. Pada gambar 17 diperlihatkan nilai *q*, *p*, *j*, dan *m* pada SRR untuk desain akhir filter *bandpass.*



Gambar 17: desain akhir BPF berbasis SRR aplikasi RF *Energi Harvesting*

Dari desain akhir tersebut, diperoleh hasil *bandpass* filter berbasis Split Ring Resonator untuk aplikasi RF *energi harvesting* pada frekuensi 1,8 GHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 18: Hasil simulasi desain akhir BPF berbasis SRR untuk nilai S_{11} dan S_{21}

Pada gambar 18 dapat terlihat nilai S_{11} hasil simulasi desain akhir untuk fabrikasi sudah cukup rendah yaitu -23dB. Terutama pada frekuensi resonansi yang diinginkan untuk aplikasi *energi harvesting* yaitu pada frekuensi tengah 1,8 GHz. Nilai S_{21} sudah cukup mendekati 0 dB yaitu pada nilai –0,9dB.

Tabel 2: Parameter akhir desain filter

No	Parameter	BPF 1,8 GHz berbasis SRR
1	Panjang Substrat (*l*)	25 mm
2	Lebar Substrat	25 mm
3	Tebal Substrat	1,6 mm
4	Panjang Feeder	1,9 mm
5	Lebar Feeder	1,2 mm
6	Lebar *ring* pada SRR (*p*)	1,2 mm
7	Jarak antar *ring* dalam dan luar (*j*)	0,2 mm
8	Diameter dalam *ring* (*q*)	13 mm
9	Lebar *gap* pada *ring* (*m*)	8 mm
10	Permitivitas Relatif Substrat	1,3

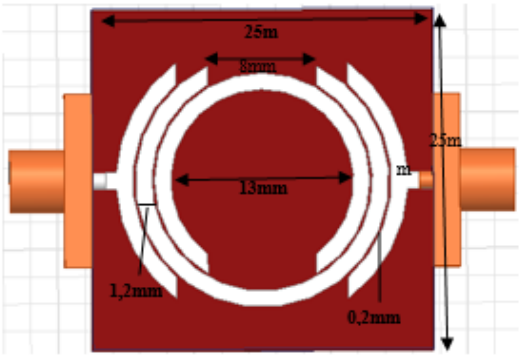
HASIL DAN PEMBAHASAN

Fabrikasi Bandpass Filter

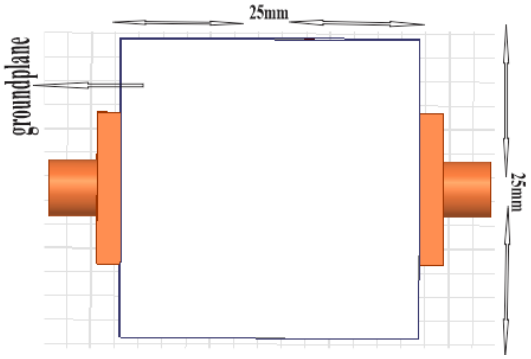
Hasil fabrikasi *bandpass filter* berbasis *Split Ring Resonator (SRR)* yang telah di simulasi

P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758

kan menggunakan aplikasi Ansoft HFSS, dengan material *Rogers RT/duroid 5880* (tm), nilai permitivitas 1,3 ketebalan substrat 1,6 pada frekuensi tengah 1,8GHz.

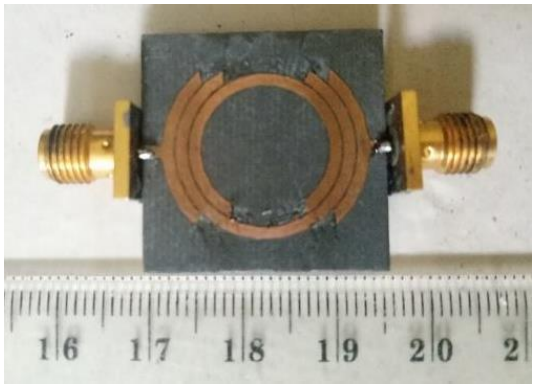


(a)

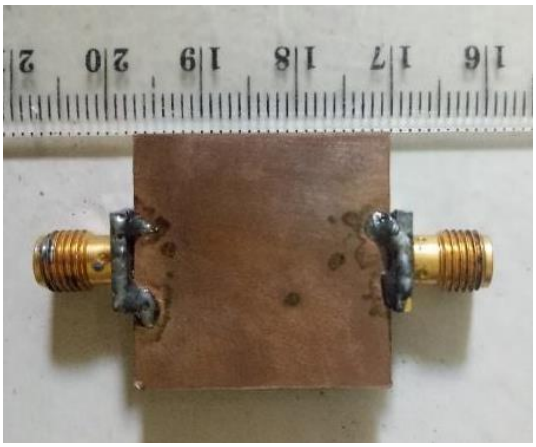


(b)

Gambar 19: Desain akhir filter *bandpass* (a) tampak atas (b) tampak bawah



(a)



(b)

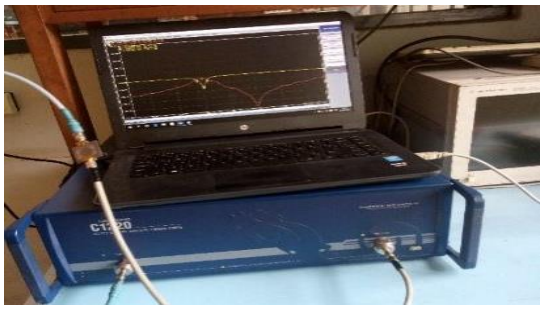
Gambar 20: Hasil fabrikasi *bandpass* filter desain akhir berbasis SRR

Hasil fabrikasi *bandpass* filter desain akhir berbasis *split* ring resonator dapat dilihat pada gambar 20. Gambar (a) menunjukan tampak atas, sedangkan pada gambar (b) adalah tambak bawah dari hasil implementasi desain filter *bandpass*. Implementasi port SMA berbahan kuningan menggunakan tipe capit papan PCB yang diaplikasikan pada port input dan output.

Pengukuran *Bandpass* Filter

Band Pass Filter (BPF) berbasis *Split Ring Resonator* (SRR) yang telah difabrikasi diukur di Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro (LTRGM) STEI-ITB. Parameter yang diukur adalah nilai dari koefisien refleksi (S_{11}), koefisien transmisi (S_{21}). Pengukuran dilakukan dalam rentang frekuensi 1,25 GHz – 2,75 GHz dengan *step* 7,5MHz dan menggunakan Cobalt Series C1220 Vector Network Analyzer 100 kHz – 20 GHz.

P-ISSN: 2548-1932
e-ISSN: 2549-7758



(a)



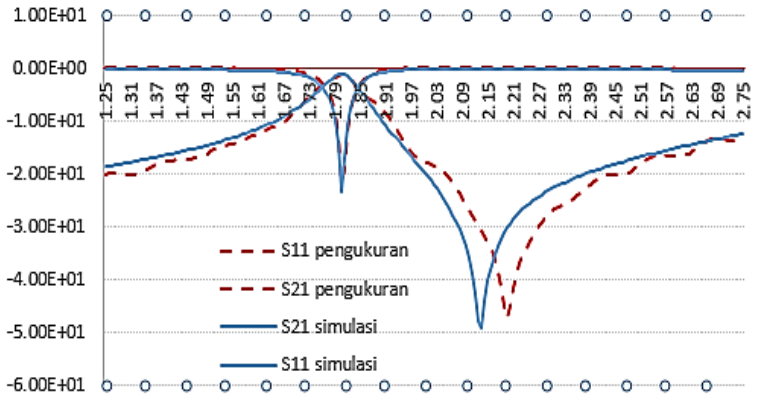
(b)

Gambar 21: Pengukuran bandpass filter dengan *cobalt series C1220 Vector Network Analyzer* (a) Skema pengukuran (b) grafik hasil pengukuran

Hasil pengukuran dan proses *Bandpass* filter berbasis *Split Ring Resonator* (SRR) yang telah di simulasi dan di fabrikasi dapat dilihat melalui gambar 21. Pada tersebut dapat dilihat hasil pengukuran fabrikasi *bandpass* filter dengan nilai S_{11} yaitu -21dB dan nilai S_{21} yaitu -0,9dB pada frekuensi tengah 1,8GHz.

Perbandingan Hasil Simulasi *Bandpass* Filter dan Hasil Pengukuran

Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi S_{11} dan S_{21} dari *bandpass* berbasis *Split Ring Resonator* yang telah difabrikasi dapat diamati pada Gambar 22. Dari grafik tersebut dapat diamati filter yang telah dirancang pada simulasi dan kemudian difabrikasi telah memiliki kesesuaian baik itu pada nilai S_{11} maupun S_{21} nya. Perbedaan terlihat pada S_{21} simulasi yang lebih tajam dibanding S_{21} pengukuran dan S_{11} simulasi yang lebih tajam dari S_{11} pengukuran. Perbedaan ini dimungkinkan oleh nilai permitivitas material dielektrik yang digunakan tidak tepat sama dengan yang disimulasikan. Namun dapat diamati perbedaan tersebut tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada implementasi *filter* desain akhir karena hasil simulasi dan pengukuran menunjukan frekuensi kerja yang dihasilkan filter tepat sama yakni 1,8 GHz. Frekuensi ini telah memenuhi spesifikasi *filter* untuk digunakan pada aplikasi *energi harvesting*.



Gambar 22: Perbandingan karakterisasi hasil simulasi dan pengukuran *Bandpass* filter berbasis *Split Ring Resonator*.

SIMPULAN

1. *Split Ring Resonator* terbukti dapat digunakan untuk desain filter pada frekuensi tertentu dengan mengatur permitivitas bahan.
2. Semakin besar diameter dalam ring akan menyebabkan frekuensi resonansi filter bergeser menjadi lebih besar.
   a. Semakin besar lebar gap pada ring yang digunakan, akan menyebabkan frekuensi resonansi filter bergeser menjadi lebih besar.
   b. Semakin besar spasi antara ring dalam dan luar akan menyebabkan frekuensi resonansi filter menjadi lebih kecil.
3. Hasil implementasi filter memiliki frekuensi tengah 1,8 GHz dan terbentang pada frekuensi 1,76GHz – 1,85GHz dengan *bandwidth* 900 MHz.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Shameli, A. Safarian, A. Rofougaran, M. Rofougaran, and F. De Flaviis, "Power Harvester Design for Passive UHF RFID Tag Using a Voltage Boosting Technique," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 55, no. 6, pp. 1089–1097, Jun. 2007, doi: 10.1109/TMTT.2007.896819.

[2] C. Sauer, M. Stanacevic, G. Cauwenberghs, and N. Thakor, "Power harvesting and telemetry in CMOS for implanted devices," *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, vol. 52, no. 12, pp. 2605–2613, Dec. 2005, doi: 10.1109/TCSI.2005.858183.

[3] M. S. Khan and H. Deng, "Design and implementation of a highly efficient UHF energy harvesting antenna," in *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, Jun. 2016, pp. 611–612, doi: 10.1109/APS.2016.7696014.

[4] K. Bazaka and M. Jacob, "Implantable Devices: Issues and Challenges," *Electronics*, vol. 2, no. 4, pp. 1–34, Dec. 2012, doi: 10.3390/electronics2010001.

[5] T. Triprijooetomo and T. Supriyanto, "Perancangan Wideband Band Pass Filter (BPF) dengan Metamaterial Mikrostrip Frekuensi 1, 78 GHz–3, 38 GHz," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 18–23, 2016.

[6] F. Falcone, T. Lopetegi, J. D. Baena, R. Marques, F. Martin, and M. Sorolla, "Effective negative-/spl epsiv/ stopband microstrip lines based on complementary split ring resonators," *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, vol. 14, no. 6, pp. 280–282, Jun. 2004, doi: 10.1109/LMWC.2004.828029.

[7] F. T. Ulaby and U. Ravaioli, *Fundamentals of Applied Electromagnetics, ISBN: 978-0-13-335681-6*. 2015.

[8] F. Y. Zulkifli, "Studi Tentang Antena Mikrostrip dengan Defected Ground Structure (DGS)," Universitas Indonesia, 2008.

[9] J. D. Baena *et al.*, "Equivalent-circuit models for split-ring resonators and complementary split-ring resonators coupled to planar transmission lines," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, no. 4, pp. 1451–1461, Apr. 2005, doi: 10.1109/TMTT.2005.845211.

[10] J.-S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.