

ANALISIS SELEKTIVITAS GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK PADA S-BAND, C-BAND, DAN X-BAND

SELECTIVITY ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC WAVE ABSORBER IN S-BAND, C-BAND, AND X-BAND

Agus Mulyana¹, Budi Syihabbudin², Trasma Yunitas

^{1,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹agusmlyn@student.telkomuniversity.ac.id, ²budisyihab@telkomuniversity.co.id,
³trasmayunita@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penyerap gelombang elektromagnetik (*absorber*) memiliki banyak kegunaan, diantaranya mengatasi interferensi, melemahkan energi gelombang yang tidak diinginkan, dapat digunakan untuk membuat *anechoic chamber*, mengurangi *radar cross section* dari suatu objek dan masih banyak lagi. Hal ini menarik perhatian dari berbagai pihak untuk meneliti, mengembangkan, dan mengaplikasikan *absorber* dalam bidang-bidang tertentu.

Pada Tugas Akhir ini, proses analisis selektivitas dari *absorber* pada *S-Band*, *C-Band*, dan *X-Band* dengan bentuk pola persegi dan *L-Shaped Diagonal* telah dirancang menggunakan metode pendekatan dengan perhitungan dimensi pola persegi. Selektivitas tersebut dianalisis berdasarkan nilai faktor Q dengan menggunakan parameter *bandwidth* dan frekuensi resonansi. Analisis terhadap penyerapan juga dilakukan dengan meninjau nilai *return loss*. Karakterisasi dilakukan dengan mengubah satu variabel secara linear sedangkan variabel lainnya tetap guna melihat tren dari *absorber*. Penambahan resistor, kapasitor, dan induktor pada pola *L-Shaped Diagonal* akan dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performansi penyerap gelombang elektromagnetik. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan *software 3D Electromagnetic Design*.

Pada penelitian ini diperoleh penyerapan yang lebih baik dengan pola persegi pada *S-Band* memperoleh *return loss* -27,41 dB. Sedangkan pada *C-Band*, pola *L-Shaped Diagonal* lebih baik dengan *return loss* -20,8 dB. Kemudian pada *X-Band* pola *L-Shaped Diagonal* memperoleh *return loss* yang lebih baik senilai -20,8 dB. Resistor berpengaruh terhadap penyepadan impedansi, sedangkan kapasitor lebih efektif digunakan sebagai penggeser frekuensi resonansi dibandingkan induktor.

Kata kunci : Penyerap Gelombang Elektromagnetik, faktor Q, *bandwidth*, *return loss*, frekuensi resonansi

Abstract

Electromagnetic wave absorber (*absorber*) has many uses, including overcoming interference, weakening unwanted wave energy, can be used to create *anechoic chamber*, reduce *radar cross section* of an object and much more. This has attracted the attention of various parties to research, develop, and apply absorber in certain fields.

In this Final Project, the selectivity analysis process of the absorber on *S-Band*, *C-Band*, and *X-Band* in the form of square and *L-Shaped Diagonal* patterns has been designed using an approach method with the calculation of the dimensions of a square pattern. The selectivity was analyzed based on the Q factor value using *bandwidth* and resonant frequency parameters. Analysis of absorption is also carried out by reviewing the value of *return loss*. Characterization is done by changing one variable linearly while the other variables are still in order to see the trend of the absorber. The addition of resistors, capacitors, and inductors to the *L-Shaped Diagonal* pattern will be analyzed to determine the effect on the performance of the electromagnetic wave absorber. The simulation process is carried out using *3D Electromagnetic Design* software.

In this study a better absorption with a square pattern on the S-Band obtained a loss loss of -27.41 dB. Whereas on C-Band, L-Shaped Diagonal pattern is better with return loss of -20.8 dB. Then on X-Band L-Shaped Diagonal patterns get a better return loss of -20.8 dB. Resistors have an effect on impedance matching, while capacitors are more effectively used as resonant frequency shifts than inductors.

Keywords: Electromagnetic wave absorber, Q factor, bandwidth, return loss.

1. Pendahuluan

Penyerap gelombang elektromagnetik (*absorber*) pada *Radio Frequency* (RF) dapat digunakan untuk menyerap, melemahkan, atau meniadakan energi gelombang elektromagnetik [1]. Adapun fungsi lain dari *absorber* adalah mengurangi interferensi, membuat ruangan bebas pantulan (anechoic chamber), mengurangi *Radar Cross Section* (RCS) dari suatu objek, dan rompi anti-radiasi [1]. Karena pemanfaatannya yang semakin meluas, *absorber* menjadi salah satu bidang yang menarik perhatian para peneliti untuk melakukan penelitian lebih lanjut. Beberapa tahun terakhir *absorber* pada *S-Band*, *C-Band*, dan *X-Band* sering digunakan pada perangkat-perangkat komunikasi tanpa kabel dan komunikasi radar untuk meminimalisir ketidaksesuaian operasi dari perangkat tersebut yang dapat menyebabkan kebocoran informasi [2].

Material yang memiliki nilai impedansi permukaan mendekati nilai impedansi udara dapat menyerap gelombang elektromagnetik dengan baik [3]. Salah satu cara yang digunakan untuk mengatur nilai impedansi permukaan tersebut adalah dengan mengatur bentuk dan ukuran konduktor menggunakan pola periodik tertentu. Meskipun *absorber* mulai diimplementasikan pada bidang yang luas, untuk bidang tertentu kinerja absorber kurang baik sehingga diperlukan *absorber* yang *reconfigurable*. Beberapa penelitian seperti [4], [5], dan [6] telah dilakukan untuk merancang *reconfigurable absorber*.

Pada penelitian ini penulis akan mengamati selektivitas (faktor Q) dari *absorber* pada *S-Band* (2-4 GHz), *C-Band* (4-8 GHz) dan *X-Band* (8-12 GHz) dengan pola persegi dan pola *L-Shaped Diagonal* berdasarkan parameter frekuensi dan *bandwidth*. Pola persegi akan dijadikan sebagai acuan untuk merancang *L-Shaped Diagonal* dengan *return loss* < -10 dB. Kemudian menganalisis perubahan nilai faktor Q terhadap perubahan dimensi serta perubahan respon frekuensi terhadap penyisipan komponen pasif (RLC) sebagai rangkaian *reconfigurable* pada pola *L-Shaped Diagonal*.

2. Dasar Teori dan Metodologi

2.1. Penyerap Gelombang Elektromagnetik

Penyerap gelombang elektromagnetik (*absorber*) dapat dibuat dengan berbagai bentuk fisik seperti elastomer fleksibel, busa, atau plastik yang membuatnya tahan terhadap cuaca dan suhu ekstem sehingga banyak digunakan dalam penelitian, pertahanan, dan perangkat-perangkat elektromagnetik. *Absorber* tersusun atas lapisan *ground plane* pada bagian dasarnya, kemudian substrat dielektrik, dan *patch* yang berada diatas substrat dielektrik. Karena bagian *ground plane* sepenuhnya dilapisi oleh konduktor, maka penyerapan dari suatu *absorber* dapat dihitung dengan persamaan berikut [7].

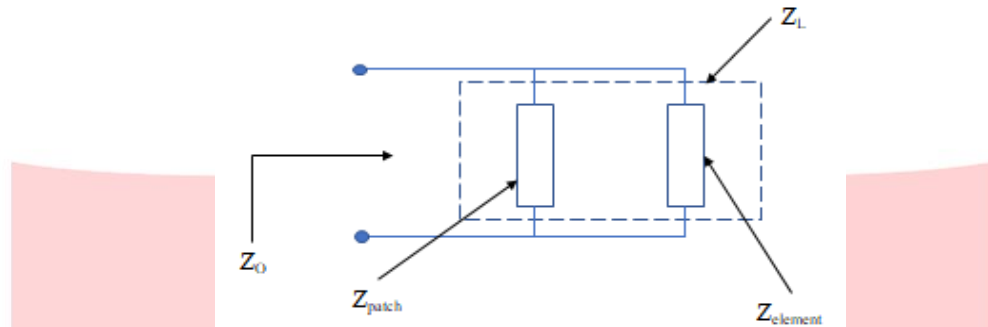
$$A(\omega) = 1 - \Gamma(\omega) \quad (1)$$

2.2. Penyepadanan Impedansi

Agar *absorber* dapat menyerap gelombang elektromagnetik dengan baik, maka diperlukan penyepadanan impedansi. Penyepadanan dilakukan karena gelombang elektromagnetik merambat melalui medium yang berbeda. Kondisi penyepadanan dikatakan *match*, jika $Z_L = Z_0$ [7]. Dimana Z_L merupakan impedansi beban dan Z_0 merupakan impedansi udara. Ketika kondisi penyepadanan tidak *match*, maka akan ada bagian dari gelombang datang yang dipantulkan dipantulkan. Hal ini sesuai dengan konsep koefisien pantul yang dapat dilihat pada persamaan berikut.

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

Adapun ilustrasi rangkaian penyepadanan impedansi pada *absorber* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Penyepadanan impedansi.

Berdasarkan rangkaian tersebut, Impedansi beban (Z_L) merupakan hasil dari impedansi *patch* (Z_{patch}) yang dipasang parallel dengan impedansi element eksternal ($Z_{element}$) dan Z_0 merupakan impedansi udara [8]. Dimana kondisi $\Gamma = 0$ didekati, untuk memperoleh pantulan yang paling minimum sehingga dapat menghasilkan penyerapan *absorber* yang optimal. maka gambar 1 secara matematis dapat dituliskan sebagai persamaan 3.

$$\frac{1}{Z_{patch}} = \frac{1}{Z_0} - \frac{1}{Z_{element}} \quad (3)$$

2.3. Return Loss

Return Loss (RL) juga dapat didefinisikan sebagai ukuran daya yang diserap *absorber*. Secara matematis dirumuskan seperti pada persamaan 4 [7].

$$RL = 20 \log|\Gamma| \quad (4)$$

2.3. Pola Periodik

Pola periodik merupakan metode untuk memperoleh impedansi tinggi serta mengeliminasi gelombang elektromagnetik yang diimplementasikan pada *patch*. Keunggulan lain dari penerapan pola periodik adalah dapat menghasilkan ukuran yang tipis dan dapat dimodelkan menggunakan rangkaian resonansi. Beberapa pola yang telah diteliti adalah segi delapan [9], segi enam [8], dan persegi [10]. Berdasarkan penelitian [10], dihasilkan suatu metode pendekatan dengan menggunakan rangkaian ekuivalen untuk memodelkan pola persegi sehingga dapat menentukan frekuensi kerja *absorber* dengan menggunakan persamaan 8.

$$C_{sr} = \frac{2\epsilon}{\pi w} \cosh^{-1}\left(\frac{a}{g}\right) \quad (4)$$

$$L_{sr} = \frac{\pi w \mu}{2 \cosh^{-1}\left(\frac{a}{g}\right)} \quad (5)$$

$$C_{sh} = \frac{\epsilon w^2}{t} \quad (6)$$

$$L_{sh} = \mu t \quad (7)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(L_{sr}C_{sr} + L_{sh}C_{sh} + L_{sr}C_{sh}) + \sqrt{(L_{sr}C_{sr} + L_{sh}C_{sh} + L_{sr}C_{sh})^2 - 4L_{sr}L_{sh}C_{sr}C_{sh}}}{2L_{sr}L_{sh}C_{sr}C_{sh}}} \quad (8)$$

2.4 Selektivitas

Selektivitas direpresentasikan oleh faktor Q yang merupakan indikator ukuran *loss* dari suatu rangkaian. Semakin besar nilai faktor Q semakin kecil ukuran *loss* tersebut sehingga penyerapan *absorber* semakin selektif Selektivitas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 9 [7].

$$Q = \frac{f_0}{f_H - f_L} \quad (9)$$

3. Perancangan Absorber

3.1. Tahapan Perancangan

Adapun proses perancangan *absorber* pola *L-Shaped Diagonal* adalah sebagai berikut.

- Menentukan spesifikasi *absorber*
- Menghitung dimensi pola persegi menggunakan persamaan 4 – 8, kemudian dilakukan perancangan menggunakan *software 3D electromagnetic design*. Hasil yang diperoleh akan dioptimasi. Hasil optimasi pola persegi dijadikan sebagai metode pendekatan atau acuan untuk merancang pola *L-Shaped Diagonal*.
- Inisiasi pola *L-Shaped Diagonal* dilakukan, kemudian dioptimasi agar memperoleh hasil yang sesuai dengan spesifikasi.

- d. Analisis selektivitas (faktor Q) dilakukan dengan menggunakan parameter frekuensi resonansi dan *bandwidth*.
- e. Pola *L-Shaped Diagonal* disisipkan komponen pasif (RLC) untuk melihat pengaruhnya terhadap frekuensi.

3.2. Menentukan Spesifikasi dan Bahan

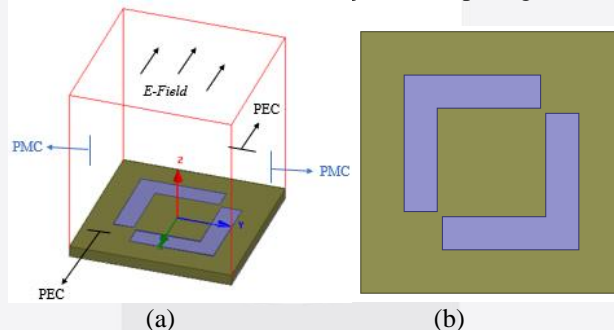
Sebagai tahap awal perancangan penyerap gelombang elektromagnetik (*absorber*), menentukan spesifikasi yang ingin dicapai serta penentuan bahan menjadi hal yang utama agar penelitian dan pembahasan tidak meluas. Spesifikasi dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi dan bahan *absorber*

Frekuensi	S-Band (2-4) GHz, C-Band (4-8) GHz, dan X-Band (4-12) GHz
Bentuk <i>patch</i>	Persegi & <i>L-Shaped Diagonal</i>
<i>Return Loss</i>	≤ -10 dB
Substrat Dielektrik	FR4 Epoxy
<i>Ground Plane</i> dan <i>Patch</i>	Tembaga (<i>Copper</i>)

3.2. Merancang *Absorber*

Setelah spesifikasi dan bahan ditentukan, maka dapat dilanjutkan ke tahap perancangan. *Absorber* dirancang dengan susunan konsep susunan *microstrip*. Dengan melakukan modifikasi ukuran dimensi dan tebal substrat dari penelitian [11] serta menggunakan pola persegi yang telah dirancang untuk dijadikan acuan perancangan *absorber* pola *L-Shaped Diagonal*. Adapun konfigurasi *boundary* yang digunakan adalah PEC pada sumbu x yang sejajar dengan polarisasi gelombang datang. Kemudian PMC pada sumbu y yang tegak lurus terhadap polarisasi gelombang datang. Ilustrasi *absorber* dan konfigurasi *boundary* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. (a) Konfigurasi *boundary* (b) *absorber* pola *L-Shaped Diagonal*.

Dengan menggunakan pola yang sama, *absorber* diatur sedemikian rupa agar mampu beroperasi pada frekuensi *S-Band*, *C-Band*, dan *X-Band*. Sehingga diperoleh dimensi dari pola *L-Shaped Diagonal* seperti pada tabel 2.

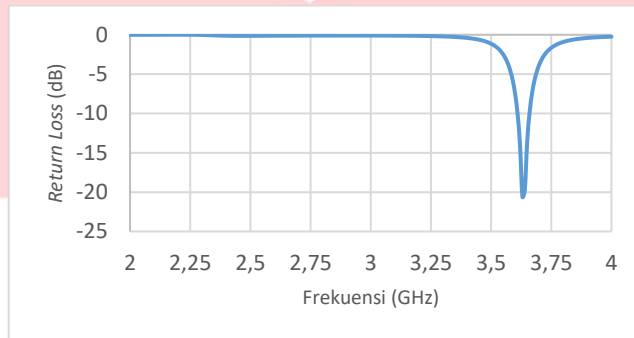
Tabel 2. Dimensi *absorber* pada *S-Band*, *C-Band*, dan *X-Band*.

Variabel	Nilai (mm)			Keterangan
	<i>S-Band</i>	<i>C-Band</i>	<i>X-Band</i>	
a	24	21,5	16	Panjang <i>Ground Plane</i>
w _r	3,4	2,5	0,95	Panjang <i>Patch</i>
l _r	12,5	7	5,1	Panjang Resonator
h	1,6	1,6	1,6	Tebal <i>Substrat</i>

4. Analisis Absorber

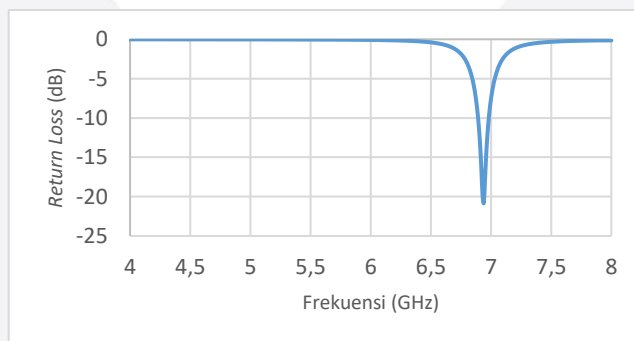
4.1. Analisis Performa Absorber

Berdasarkan dimensi yang diperoleh seperti yang tertera pada tabel 2, maka selanjutnya adalah melihat hasil simulasinya. Dari pola *L-Shaped Diagonal* pada *S-Band* satu sel diperoleh *return loss* -20,57 dB pada frekuensi 3,63 GHz. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.



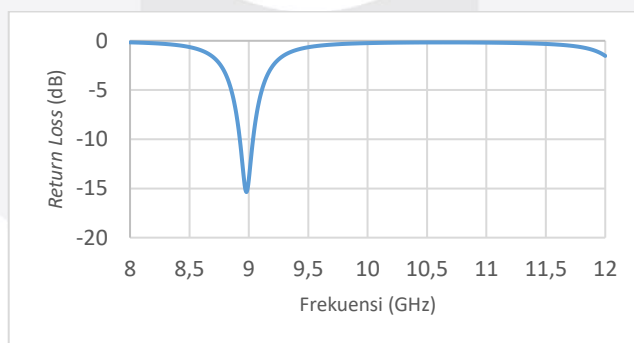
Gambar 4. Grafik *return loss* S-Band.

Selanjutnya, pada pola *L-Shaped Diagonal C-Band* satu sel diperoleh *return loss* -20,8 dB pada frekuensi 6,94 GHz. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik *return loss* C-Band.

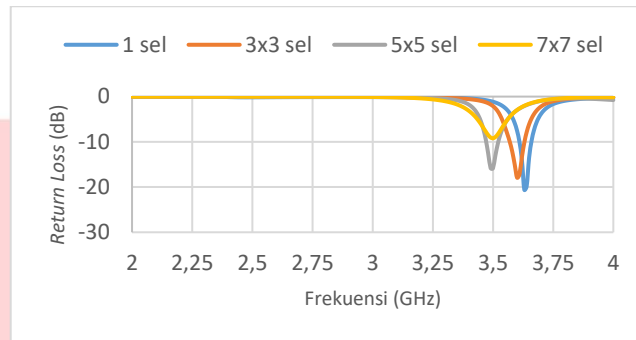
Kemudian pada pola *L-Shaped Diagonal X-Band* satu sel diperoleh *return loss* -15,38 dB pada frekuensi 8,98 GHz. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik *return loss* X-Band.

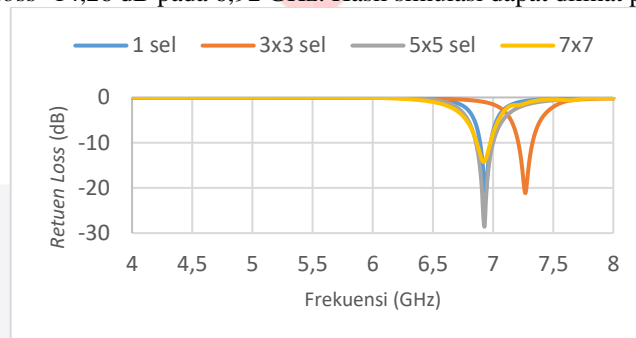
Setelah diperoleh hasil simulasi dari satu sel *absorber*, maka akan dilakukan verifikasi untuk melihat konsistensi performa penyerapan. Proses verifikasi dilakukan dengan 3x3 sel, 5x5 sel, dan 7x7 sel. Pada *S-Band* 3x3 sel diperoleh *return loss* -17,92 dB dengan frekuensi 3,6 GHz. Selanjutnya pada 5x5 sel diperoleh *return loss* -15,82 dB dengan frekuensi 3,5 GHz. Kemudian pada 7x7 sel

diperoleh *return loss* -9,2 dB dengan frekuensi 3,5 GHz. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 7.



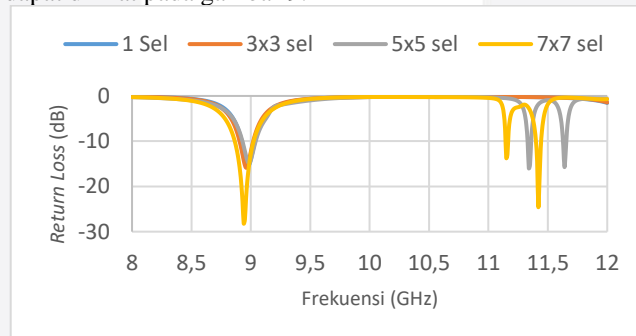
Gambar 7. Grafik verifikasi *S-Band*.

Kemudian pada *C-Band*, 3x3 sel memperoleh *return loss* -21,15 dB pada frekuensi 7,27 GHz. Selanjutnya 5x5 sel memperoleh *return loss* -28,51 dB pada frekuensi 6,93 GHz. Kemudian 7x7 sel memperoleh *return loss* -14,26 dB pada 6,92 GHz. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik verifikasi *C-Band*.

Lalu pada *X-Band*, 3x3 sel diperoleh *return loss* -15,88 dB dengan frekuensi 8,96 GHz. Selanjutnya 5x5 sel pada respon pertama diperoleh *return loss* -14,76 dB dengan frekuensi 8,99 GHz. Kemudian 7x7 sel pada respon pertama diperoleh *return loss* -28,19 dB dengan frekuensi 8,94 GHz. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 9.

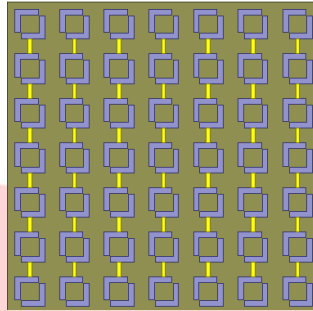


Gambar 9. Grafik verifikasi *X-Band*.

Dari gambar gambar 7, 8, dan 9 dapat disimpulkan bahwa diperoleh respon penyerapan yang berdekatan. Setelah mengetahui *bandwidth* dan frekuensi pada saat penyerapan terjadi, maka dengan menggunakan persamaan 9 nilai selektivitas dapat diinvestigasi. Pada *S-Band* diperoleh faktor Q senilai 72,6. Lalu pada *C-Band* diperoleh faktor Q senilai 77,11. Kemudian pada *X-Band* diperoleh 81,64.

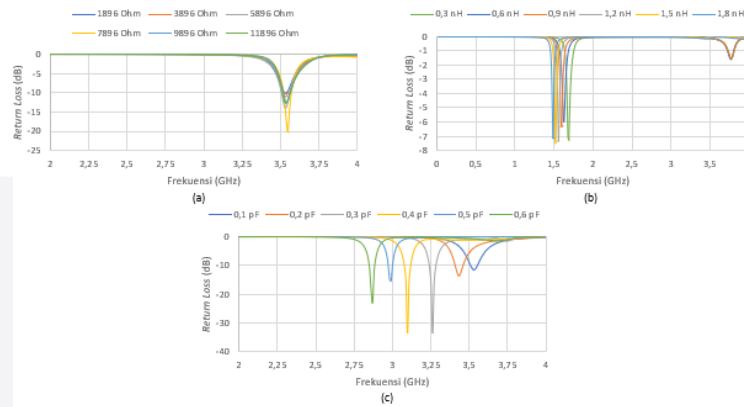
4.2. Analisis Pengaruh Komponen Pasif (RLC)

Selanjutnya akan dilakukan analisis *absorber* dengan penyisipan komponen pasif (RLC) terhadap pergeseran frekuensi pada 7x7 sel. Adapun penyisipan komponen pasif dapat dilihat pada gambar 10.



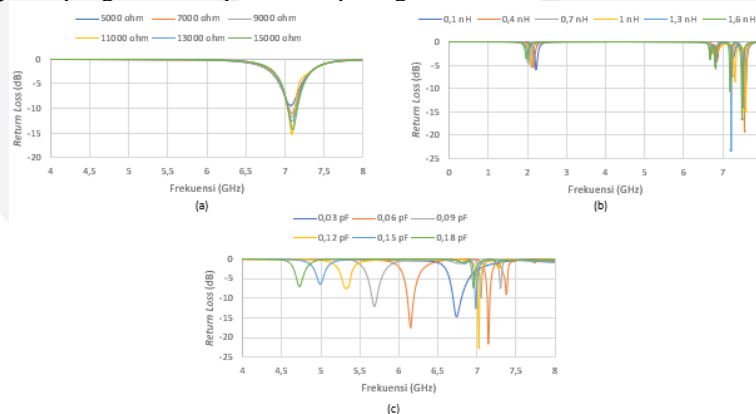
Gambar 10. Penyisipan komponen pasif pada pola *L-Shaped Diagonal*.

Penyisipan resistor pada pola *L-Shaped Diagonal S-Band* tidak berpengaruh signifikan terhadap pergeseran frekuensi resonansi namun mempengaruhi penyepadanan impedansi. Nilai *return loss* terbaik yang diperoleh adalah -20,02 dB pada 7896 Ohm. Selanjutnya penyisipan induktor menggeser frekuensi dengan nilai 0,3 nH menjadi 1,69 GHz hingga 1,49 GHz pada nilai 1,8 nH. Kapasitor mampu menggeser dengan nilai 0,1 pF menjadi 3,53 GHz hingga 2,87 GHz pada 0,6 pF. Adapun grafik pengamatan dapat dilihat pada gambar 11.



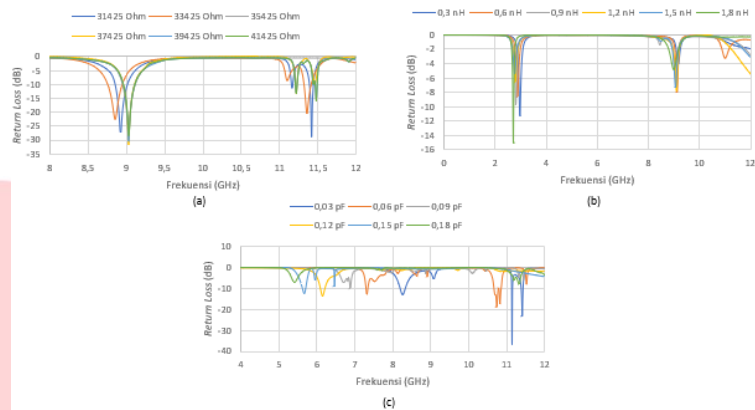
Gambar 11. (a) Resistor, (b) induktor, (c) kapasitor

Penyisipan resistor pada pola *L-Shaped Diagonal C-Band* tidak berpengaruh signifikan terhadap pergeseran frekuensi resonansi namun mempengaruhi penyepadanan impedansi. Nilai *return loss* terbaik yang diperoleh adalah -15,20 dB pada 11000 Ohm. Selanjutnya penyisipa induktor menggeser frekuensi dengan nilai 0,1 nH menjadi 2,23 GHz hingga 1,98 GHz pada nilai 1,6 nH. Kapasitor mampu menggeser dengan nilai 0,03 pF menjadi 6,74 GHz hingga 4,73 GHz pada 0,18 pF. Adapun grafik pengamatan dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. (a) Resistor, (b) induktor, (c) kapasitor

Penyisipan resistor pada pola *L-Shaped Diagonal X-Band* tidak berpengaruh signifikan terhadap pergeseran frekuensi resonansi namun mempengaruhi penyepadanan impedansi. Nilai *return loss* terbaik yang diperoleh adalah -31,78 dB pada 37425 Ohm. Selanjutnya penyisipan induktor menggeser frekuensi dengan nilai 0,3 nH menjadi 2,97 GHz hingga 2,71 GHz pada nilai 1,8 nH. Kapasitor mampu menggeser dengan nilai 0,03 pF menjadi 8,27 GHz hingga 5,41 GHz pada 0,18 pF. Adapun grafik pengamatan dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. (a) Resistor, (b) induktor, (c) kapasitor

5. Kesimpulan

Telah dirancang *absorber* dengan pola *L-Shaped Diagonal* yang dimodifikasi dan beroperasi pada frekuensi *S-Band*, *C-Band*, dan *X-Band* dengan menggunakan pola persegi sebagai inisiasi perancangan. Penyerapan dari absorber telah memenuhi spesifikasi dimana nilai *return loss* < -10 dB. Dari ketiga rancangan tersebut, penyerapan pada frekuensi *C-Band* paling baik dengan nilai *return loss* 20,8 dB diikuti *S-Band* dengan *return loss* -20,57 dB dan *X-Band* dengan *return loss* -15,38 dB. Variabel yang paling berpengaruh terhadap selektivitas adalah tebal substrat. Karena berpengaruh signifikan terhadap *bandwidth*. Semakin tinggi frekuensi dan semakin sempit *bandwidth* maka selektivitas yang dihasilkan pun semakin tinggi, sehingga nilai selektivitas tertinggi diperoleh pada *X-Band*. Penyisipan resistor lebih berpengaruh terhadap penyempitan impedansi dibandingkan pergeseran frekuensi. Induktor menggeser frekuensi resonansi secara eksponensial terhadap frekuensi awal sedangkan kapasitor mampu menggeser frekuensi resonansi secara linear.

6. Daftar Pustaka:

- [1] P. Dixon, "Theory and Application of Rf/Microwave Absorbers," *Emerson Cuming Microw. Prod. Inc.*, p. 19, 2012.
- [2] J. L. Drewniak and S. Sop, "Electromagnetic Interference (EMI) of," no. May, 2004.
- [3] S. Duggal and G. Deep Aul, "Review on Effect of Electric Permittivity and Magnetic Permeability over Microwave Absorbing Materials at Low Frequencies," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, no. 3, pp. 2249–8958, 2014.
- [4] H. Zhai, C. Zhan, L. Liu, and Y. Zang, "Reconfigurable wideband metamaterial absorber with wide angle and polarization stability," *Electron. Lett.*, vol. 51, no. 21, pp. 1624–1626, 2015.
- [5] H. Jeong and S. Lim, "Broadband Frequency Reconfigurable Metamaterial Absorber using Switchable Ground Plane," *2018 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. Usn. Natl. Radio Sci. Meet. APSURSI 2018 - Proc.*, no. 2017, pp. 2325–2326, 2018.
- [6] H. Zhai, B. Zhang, K. Zhang, and C. Zhan, "A stub-loaded reconfigurable broadband metamaterial absorber with wide-angle and polarization stability," *J. Electromagn. Waves Appl.*, vol. 31, no. 4, pp. 447–459, 2017.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering 4th Edition*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [8] L. O. Nur, A. Munir, S. Sugihartono, and A. Kurniawan, "PERANCANGAN DAN FABRIKASI PENYERAP GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK PATCH SEGI ENAM BERBASIS SURFACE TEXTURED," *TEKTRIKA - J. Penelit. dan Pengemb. Telekomun. Kendali, Komputer, Elektr. dan Elektron.*, vol. 1, no. 1, Sep. 2016.
- [9] A. Munir, "RANCANG BANGUN MATERIAL ANTIDETEKSI RADAR BERBASIS TEKNOLOGI TEXTURE SURFACE UNTUK PLATFORM KENDARAAN TEMPUR," pp. 14–20, 2012.
- [10] L. O. Nur, A. Kurniawan, Sugihartono, and A. Munir, "Theoretical analysis of resonant frequency for AMC-based absorber composed of square patch array," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 7, no. 2, pp. 284–296, 2015.
- [11] S. Bhattacharyya, S. Ghosh, D. Chaurasiya, and K. V. Srivastava, "A broadband wide angle metamaterial absorber for defense applications," in *2014 IEEE International Microwave and RF Conference (IMaRC)*, 2014, pp. 33–36.

