

DESAIN DAN REALISASI WIDEBAND ABSORBER MEGGUNAKAN TEKNIK FRAKTAL AMC

DESIGN AND REALIZATION OF WIDEBAND ABSORBER USING AMC FRACTAL TECHNIQUES

Azmi Muhammad Zaini¹, Bambang Setia Nugroho², Levi Olivia Nur³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹azmimz@student.telkomuniversity.ac.id, ²bambangsetia@telkomuniversity.ac.id,
³levyolivia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kemajuan teknologi saat ini berkembang sangat pesat. Terutama pada bidang penyerap gelombang elektromagnetik mikrostrip yang berbasis Konduktor Mag-netik Buatan (AMC). Penyerap gelombang elektromagnetik memiliki peran penting untuk perlindungan perangkat - perangkat elektromagnetik yang terutama perangkat yang rentan terhadap radiasi dari gelombang elektromagnetik. Maka dari itu, dilakukan penelitian gelombang elektromagnetik yang dapat bekerja dengan baik sesuai spesifikasi. Pada tugas akhir ini dirancang sebuah penyerap gelombang elektromagnetik (wideband) yang berbasis AMC dan menggunakan teknik fraktal pada frekuensi 3,5 GHz. Tugas Akhir ini melakukan studi penyerap gelombang elektromagnetik untuk diterapkan di perangkat yang menggunakan frekuensi textit ISM Band, Teknik Frak-tal yang merupakan salah satu teknik yang dicoba diterapkan untuk pengembangan penyerap gelombang elektromagnetik diharapkan akan membuat perkembangan dalam edisi terakhir ini. Pada aplikasi penyerap gelombang elektromagnetik, teknologi ini mampu mengurangi ukuran perangkat sehingga dapat memperbaiki material yang lebih kecil. Secara prinsip, teknik ini menggunakan lapisan AMC (Artificial Magnetic Conductor) yang memiliki Bandwidth yang lebih besar. Untuk mendapatkan tingkat perolehan yang tinggi yang dapat dilakukan pada frekuensi yang diinginkan, patch logam dari penyerap yang dibuat dengan bentuk tertentu. Pada penelitian ini, dilakukan investigasi bentuk patch segi empat sama sisi yang dilengkapi di atas substrat dielektrik FR4 Epoxy dengan ketebalan 3,2 mm. Ukuran substrat dielektrik sel satuan yang diperoleh untuk bentuk segi empat 17 mm. Se-lanjutnya untuk mendapatkan hasil yang baik dilakukan literasi pada teknik fraktal dan menambah tebal Substrat. Dapatkan frekuensi kerja yang lebar atau sekitar 3,5GHz.

Kata kunci: absorber, patch, fractal.

Abstract

Technological advances are currently developing very rapidly. Especially in the absorbent field microstrip electromagnetic waves based on Artificial Magnetic Conductors (AMC). Electromagnetic wave absorbers have an important role for the protection of electromagnetic devices, especially devices that are vulnerable to radiation from electromagnetic waves. Therefore, research on electromagnetic waves that can work well according to specifications. In this final project, an AMC-based electromagnetic wave absorber is designed and uses fractal technique at a frequency of 3.5 GHz. This Final Project conducts an electromagnetic wave absorber study to be applied in devices that use the frequency of textit ISM Band, Fractal Technique which is one of the techniques that is tried to be applied for the development of wave absorbers. Electromagnetism is expected to make developments in this last edition. In electromagnetic wave absorber applications, this technology is able to reduce the size of the device so that it can improve smaller material. In principle, this technique uses a layer of AMC textit (artificial magnet conductor) which has textit bandwidth greater. To get a high rate of acquisition which can be carried out at the desired frequency, a metal patch of absorbent is made with a certain form. In this study, an investigations into the rectangular patch form of an equilateral were performed. Equipped on a FR4 Epoxy dielectric substrate with a thickness of 3.2 mm. Size of cell dielectric substrate the unit obtained for the rectangular shape is 17 mm. Next to get good results done literacy in fractal techniques and add thickness to the substrate. Get a wide working frequency around 3.5 GHz.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi metamaterial telah berkembang pesat sehingga banyak dilakukan penelitian dikarenakan sifat uniknya untuk berbagai keperluan dan penelitian tentang penyerap gelombang elektromagnetik. Hal ini terjadi karena perkembangan dunia telekomunikasi yang sangat pesat, seperti sistem radar dan telepon seluler. Dengan perkembangan yang pesat maka diperlukan frekuensi – frekuensi kerja untuk menunjang kinerjanya. Hal tersebut mengakibatkan terganggunya sistem berbasis elektronik dan sistem keamanan yang rentan dengan gelombang elektromagnetik, ini menjadi salah satu dasar bagi banyak peneliti mengembangkan penelitian-penelitian sebelumnya dalam membuat penyerap gelombang elektromagnetik yang diharapkan bekerja optimal dan

membuat dampak negatif seminimal mungkin. Peran penyerap gelombang elektromagnetik sangat penting dalam melindungi alat elektronik yang sensitif terhadap interferensi elektromagnetik dengan cara menyerap energi gelombang datang dan juga mengurangi pantulan atau transmisi yang tidak diinginkan. Besarnya level radiasi dari sebuah gelombang mikro, akan meninggalkan kerusakan cukup besar di sebuah alat elektronik. Solusi terbaiknya dari masalah ini adalah dengan memasang penyerap di sekitar alat yang sensitif. Penyerap ini terdiri dari komponen lossy yang dapat menghilangkan energi. Karena alasan ini, penggunaan penyerap mengarah pada bagaimana mengurangi interferensi EM[1] Proses penyerapannya dibantu oleh bahan metamaterial dan sering juga disebut artificial material, salah satu contohnya ialah AMC (*Artificial Magnetic Conductor*) yang merupakan bahan komposit bersifat mirip dengan PMC (*Perfect Magnetic Conductor*)[2]. Teknik yang dilakukan untuk merealisasikan absorber berbasis AMC adalah teknik fraktal AMC.

Pada penelitian sebelumnya penyerap gelombang berbentuk patch segi empat yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Hasilnya penyerap gelombang bekerja dengan baik dan pada penelitian tersebut juga membandingkan apakah penyerap tersebut bekerja baik dengan element resistif tambahan atau tanpa element resistif tambahan[2].

Penelitian ini, penyerap gelombang yang akan dibuat diharapkan mempunyai *bandwidth* lebar (*wideband*) dan bekerja pada frekuensi 3.5 GHz dimana substrat yang digunakan adalah FR4 epoxy dan bentuk patch yang digunakan yaitu patch persegi empat yang ditambah dengan metode fraktal.

2. Konsep Dasar

A. Artificial Magnetic Conductor

Artificial Magnetic Conductor (AMC) merupakan salah satu contoh dari metamaterial atau bahan komposit yang sifatnya mirip PMC (*Perfect Magnetic Conductor*). PMC dapat memantulkan gelombang elektromagnetik yang datang dan tanpa mengubah fasa pantulannya. Permukaan PMC dapat memberikan dua sifat dominan, pertama image current adalah permukaan PMC in-phase dengan original current, yang dapat memungkinkan pemantul antenna ditempatkan sangat dekat dengan elemen peradiasinya, sehingga akan mengubah ukuran antenna menjadi lebih kecil. Sifat lainnya dari PMC yaitu PMC memiliki impedansi permukaan tinggi sehingga akan mampu menekan gelombang permukaan, hal ini yang akan menyebabkan pengurangan interferensi di antara gelombang permukaan dengan radiasi utama dari antenna. AMC dapat memberikan perbaikan di system antenna dan memungkinkan berbagai aplikasi pada antenna, groundplane, reflector, resonator, absorber, dan komponen antenna lainnya.

B. Penyerap gelombang elektromagnetik

Penyerap gelombang elektromagnetik ialah material yang dapat melemahkan energi dari sebuah gelombang elektromagnetik. Absorber dapat dibedakan berdasarkan permitifitas listrik dan permeabilitas magnet. Permitifitas adalah ukuran dari dampak material pada medan listrik dalam gelombang elektromagnetik dan permeabilitas adalah ukuran dari dampak material pada komponen magnetik. Absorber juga dapat diterapkan dalam berbagai bentuk fisik berbeda yaitu *flexible elastomers*, busa *epoxy* atau plastik dan dibuat untuk menahan suhu dan cuaca yang ekstrem dan menjadi elemen penting dalam sebuah sistem untuk menghilangkan *interferensi* di antara komponen sirkuit[3].

C. Metamaterial

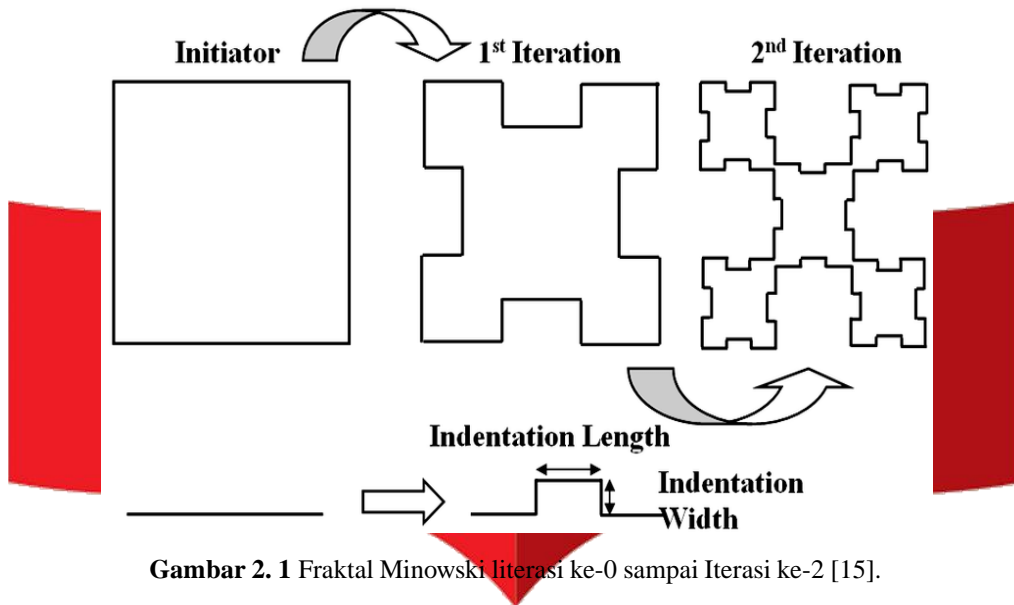
Metamaterial atau disebut dengan artificial material merupakan suatu struktur periodik yang tersusun oleh sel dan elemen sel satuan berjumlah terbatas yang memiliki sifat elektromagnetik tertentu dan tidak ditemukan di alam. Penerapan metamaterial pada rancangan perangkat industri memiliki potensial yang besar dalam bidang elektronik dan optik. Berikut adalah beberapa bahan yang digolongkan sebagai bahan metamaterial [10].

D. Fraktal

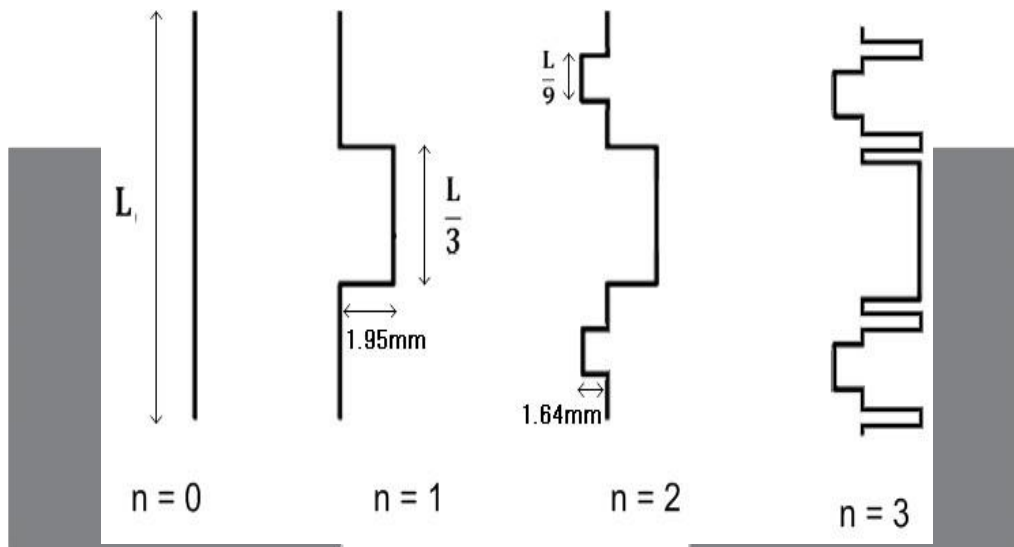
Fraktal antenna memiliki bagian - bagian kesamaan bentuk apabila dilakukan proses pembesaran pada bentuk geometrinya. Bentuk Fraktal memiliki sifat self- similarity yang berarti pengukuran terhadap dirinya sendiri. Fraktal memiliki kelebihan berupa bentuk lebih kecil dibanding patch biasa sehingga membantu mengecilkan dimensi antenna, impedansi input baik, dan performa stabil dalam rentang frekuensi yang lebih besar. Namun Fraktal ini juga memiliki kekurangan berupa desain dan fabrikasi yang rumit untuk literasi orde tinggi, gain yang kecil untuk beberapa kasus, dan performansi turun untuk beberapa literasi. Salah satu jenis fraktal yaitu fraktal minkowski yang diusulkan pada perancangan ini[11]. Literasi pertama di gunakan untuk mencari sisi *patch* persegi Dengan Menggunakan Rumus.

$$- = \frac{2}{5} \quad (1)$$

$$\Rightarrow ? = \frac{1}{4} \quad (2)$$



Gambar 2. 1 Fraktal Minowski literasi ke-0 sampai Iterasi ke-2 [15].



Gambar 2. 2 Perubahan Fraktal Minowski iterasi ke-0 sampai iterasi ke-2[16] .

$$W_p = \frac{2c}{25^{\frac{n_A+1}{2}}} \tag{3}$$

Dimana W_p adalah besar sisi *patch*, c adalah cepat rambat medium $3 \times 10^8 </math> m/s, f adalah frekuensi resonansi (GHz), n_A adalah permitivitas relatif dari suatu bahan .$

$$W_p = \frac{4}{3} \tag{4}$$

Pada iterasi ke-1, Persegi dibagi menjadi empat bagian dengan ukuran yang sama panjang. Pembagian tersebut merupakan pembagian dari 1/3 panjang sisi mula-mula. s adalah besar panjang pembagiannya. Geometri awal dari fraktal, disebut inisiator masing-masing empat segmen lurus dari struktur awal diganti dengan generator. *Patch* dibuat dengan menghasilkan model initial generator awal pada setiap sisi dari sebuah square patch, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Ketinggian initial generator yang disebut dengan indentation depth (W_p) seperti yang digambarkan dalam Gambar 2.2 Konfigurasi *Patch* yang akan dibuat, seperti pada Gambar 2.2, adalah geometri fraktal Minkowski yang dimodifikasi pada iterasi ke-2 .

E. ISM Band

ISM adalah singkatan dari *Industrial, Scientific and Medical*. ITU (*International Telecommunication Union*) pada awalnya sebagian alokasi dari spektrum RF secara global untuk aplikasi industri, ilmiah dan medis pada

awalnya, namun selama bertahun-tahun, penggunaan *ISM* band menjadi lebih luas untuk sistem komunikasi nirkabel jarak pendek, daya rendah seperti telepon nirkabel, WiFi, Bluetooth, NFC dan sejumlah aplikasi nirkabel jarak pendek lainnya[9].

F. Return Loss

Return loss didefinisikan sebagai perbandingan antara amplitudo gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang. Parameter ini digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang dapat menghilang pada beban dan tidak akan kembali sebagai pantulan. Kerugian bisa kembali terjadi karena adanya diskontinuitas antara saluran transmisi dan impedansi masukan (antena). *Return loss* atau (S_{11}) bisa terjadi karena impedansi saluran transmisi dan penyerap belum sesuai (*match*). Besarnya *return loss* yang bervariasi tergantung pada frekuensi terdapat pada persamaan (2.12)

$$RL = 20 \log_{10} |S_{11}| \quad (5)$$

Nilai dari *return loss* yang baik pada penyerap gelombang elektromagnetik adalah di bawah -10 dB yang didefinisikan 90% sinyal dapat diserap, dan 10% persennnya terpantulkan kembali. Artinya, penyerap yang baik akan mempunyai nilai *return loss* yang semakin mendekati minus tak hingga ($-\infty$) [14], sehingga bisa dikatakan gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dengan gelombang yang penuh atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah sesuai. Nilai parameter ini menjadi salah satu referensi untuk melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak [12].

G. Bandwidth

Pada tugas akhir ini bandwidth didefinisikan sebagai rentang frekuensi kerja yang dibatasi oleh frekuensi –frekuensi pada magnitude tertentu. Hal ini dikarenakan fokus dari penyerap gelombang mikro ini bukan pemantulan frekuensi tanpa perubahan fasa, namun lebih kepada fungsi penyerapan sehingga bandwidth yang didapat dari komponen fasa tidak relevan. *Bandwidth* yang digunakan adalah frekuensi pada magnitude –10dB Untuk keperluan data tugas akhir ini *bandwidth* yang perlukan adalah 500 Mhz diharapkan dengan *bandwidth* yang dimiliki penyerap gelombang elektromagnetik bisa dimanfaatkan dibanyak hal.

Untuk selanjutnya diambil satu titik amplitudo pada (S_{11}) yaitu pada -10 dB untuk melihat lebar bandwidth susunan patch persegi. Nilai bandwidth tersebut dapat dilihat pada persamaan (2.13).

$$BW = f_D - f; \quad (6)$$

Dimana f_D adalah frekuensi atas pada magnitude -10dB dan f adalah frekuensi bawah yang berada pada magnitude -10dB yang berada pada sekitar frekuensi tengah [14].

H. Parameter Pengukuran Absorber

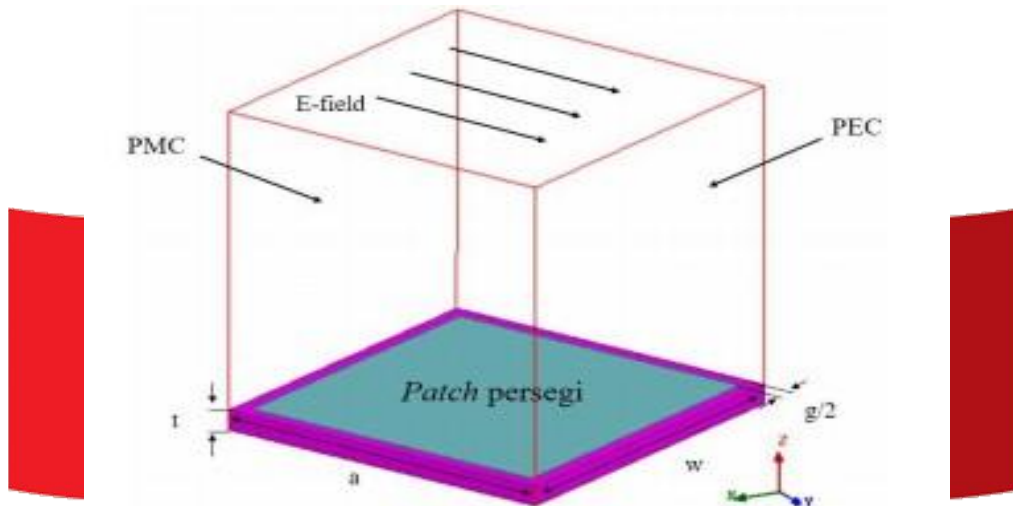
Parameter penyerap gelombang elektromagnetik yang ditinjau dalam penelitian kali ini adalah frekuensi kerja, pengaruh literasi terhadap bandwidth. Dari hasil pengukuran penyerap gelombang elektromagnetik dapat diketahui tingkat efektifitas sebuah penyerap gelombang elektromagnetik yang telah dirancang sesuai dengan karakteristik yang dibutuhkan.

I. Boundry

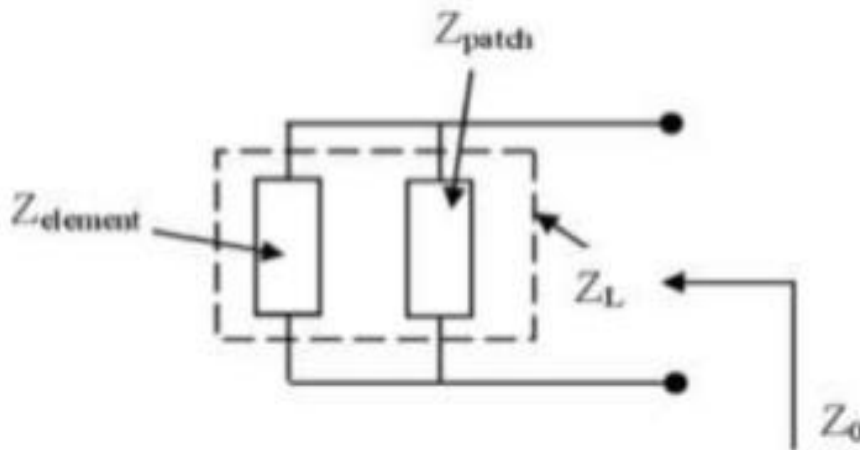
Pada bagian ini distribusi medan di susunan *patch* di hitung pada gelombang yang datang dengan metode FDTD (*Finite Difference Time Domain*), pemodelan tidak perlu mensimulasikan struktur sampai tak hingga. Akan tetapi dilakukan distribusi medan pada susunan *patch* yang dihitung di gelombang bidang datang. Untuk struktur tersebut digunakan dengan penerapan kondisi boundary seperti cermin di sekitar *patch* tunggal, pemodelan elemen tunggal dapat digunakan untuk mensimulasikan struktur tak hingga. Pendekatan serupa digunakan pada gambar (2.3). Gambar 2.3 Adalah ilustrasi model karakteristik frekuensi resonansi unit sel pada AMC yang digunakan pada software simulasi susunan *patch* persegi memiliki parameter lebar, jarak antar unit sel, jarak antar *patch*, dan ketebalan dielektrik substrat. Unit sel dibangun pada susunan *patch* persegi di atas yang didefinisikan kondisi boundary sebagai perfect electric conductor (PEC) dan perfect magnetic conductor (PMC) pada sisi dinding dan paralel kemedan elektrik E dari gelombang datang. Kondisi boundary dibayangkan pada unit sel untuk membentuk sebuah periode array ganda dari perluasan tak berhingga [7].

J. Matching Impedence

Tingkat penyerapan sebuah penyerap gelombang elektromagnetik sangat bergantung dari penyesuaian impedansinya (*matching impedance*). Jalur transmisi dikatakan *matched* saat nilai $Z_0 = Z_L$. Ini dilakukan untuk memperkuat tingkat penyerapan dari sebuah penyerap gelombang. Model penyesuaian dapat dilihat pada gambar 2.4 [1], [2].



Gambar 2. 3 Boundry.



Gambar 2. 4 Model penyesuaian impedansi.

Penyesuaian impedansi dari saluran transmisi untuk memenuhi syarat tersebut maka dapat menggunakan persamaan 7 dan 8 dari koefisien refleksi ().

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{7}$$

$$\frac{1}{Z_{in}} = \frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_L - Z_0} \tag{8}$$

Dari persamaan Z_{in} adalah impedansi udara bebas (50Ω), sedangkan Z_L adalah impedansi beban yang terdiri dari Z_{0c2} yang ditempatkan parallel dengan $Z_{4;4<4=c}$. Seperti yang telah disampaikan diatas agar mencapai posisi matched atau koefisien pantul bernilai nol maka nilai $Z_0 = Z_L$. Kondisi dipenuhi dengan membuat impedansi element eksternal $Z_{4;4<4=c}$ lebih rendah dari impedansi permukaan bertekstur Z_{0c2} karena impedansi permukaan bertekstur jauh lebih besar dari impedansi udara. Jika nilai impedansi permukaan bertekstur dapat ditentukan maka nilai dari elemen eksternal yang dihubungkan dengan impedansi permukaan bertekstur dapat dicari[4].

Dari persamaan 2.15 ketika $Z_{in} = Z_0$ dapat yang ditentukan maka nilai dari elemen eksternal akan dihubungkan pada struktur permukaan bertekstur ($Z_{4;4<4=c}$). *Matching Impedance* ini sangat dibutuhkan dalam *interface* pada *transmitter* dan *receiver*. Jika rangkaian telah matching, daya akan ditransferkan secara maksimum dan memiliki losses kecil. *Impedansi matching* adalah hal yang penting dalam rentang frekuensi gelombang mikro. Suatu saluran transmisi yang akan diberi beban sama dengan impedansi karakteristiknya mempunyai *Standing Wave Ratio* (SWR)

Tabel 3. 1 Spesifikasi FR4 (loss free).

Indikator	Nilai
Permitivitas relatif dielektrik (n_A)	4,3
Tebal dielektrik (h)	3,2 mm
Loss tangent ($\tan X$)	0,02

Tabel 3. 2 Spesifikasi *copper(pure)*

Indikator	Nilai
Permitivitas relatif dielektrik (n_A)	4,3
Tebal konduktor (t)	0,035 mm
Loss tangent ($\tan X$)	0

bernilai satu, sehingga didalam pentransmisian dayanya tidak ada gelombang yang terpantul. Hal ini menyebabkan efesiensi transmisi akan menjadi optimum [11].

3. Model Sistem dan Perancangan

A. Pemilihan Bahan Penyerap AMC

Dalam merancang perangkat penyerap gelombang elektromagnetik pemilihan bahan akan menentukan seperti apa kualitas perangkat penyerap gelombang elektromagnetik yang dibuat. Telah banyak fabrikasi penyerap AMC menggunakan printed circuit board seperti FR-4 dan duroid, penelitian ini mencari bahan yang cukup fleksibel namun dapat digunakan untuk membuat sebuah penyerap AMC. Setelah melakukan beberapa studi literatur terhadap berbagai penelitian ditentukan bahan penyerapnya, yaitu FR-4 (loss free) dan *copper (pure)*.

B. Perhitungan Dimensi Absorber

Penentuan dimensi absorber bentuk persegi dilakukan dengan pendekatan menggunakan persamaan dibawah . Dalam perhitungan dimensi bentuk persegi, *fraktal iterasi ke-1*, *fraktal iterasi ke-2* dan penentuan untuk nilai variabel dari absorbernya di mulai dari perhitungan dimensi persegi digunakan persamaan:

$$- = \frac{2}{5} = \frac{3 \times 10^9}{3,5 \times 10^9} = 0.85 <$$

$$!> = \frac{0.85 <}{4} = \frac{0.85 <}{4} = 0.215 < = 21.5 <<$$

$$!> = !? \frac{4^0}{3}$$

dan untuk perhitungan dimensi *fraktal absorber iterasi ke-1* digunakan persamaan:

$$!> = !? \frac{4^1}{3}$$

$$! ? = !> \frac{3^1}{4} = 21.5 << \frac{3^1}{4} = 16, 125 <<$$

$$0_1 = \frac{! ?}{3} = \frac{16.125}{3} = 5.3 <<$$

dan untuk perhitungan dimensi *fraktal absorber iterasi ke-2* digunakan persamaan:

$$!> = !? \frac{4^2}{3}$$

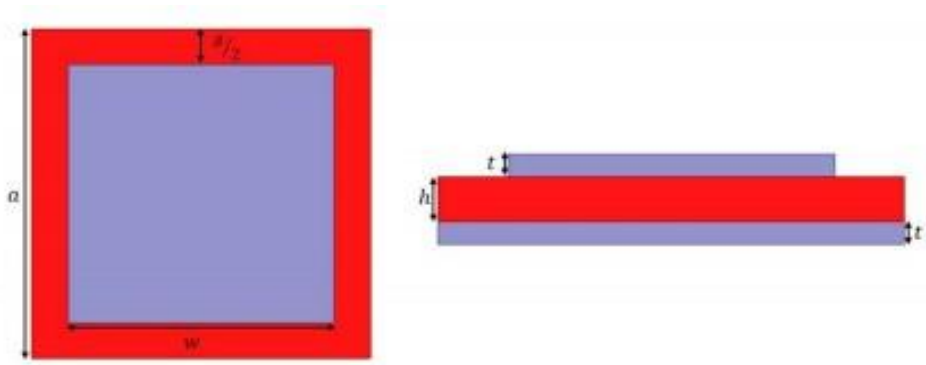
$$3^2 \quad \frac{3^2}{4}$$

$$! ? = !> \frac{3^2}{4} = 16.125 << \frac{3^2}{4} = 9 <<$$

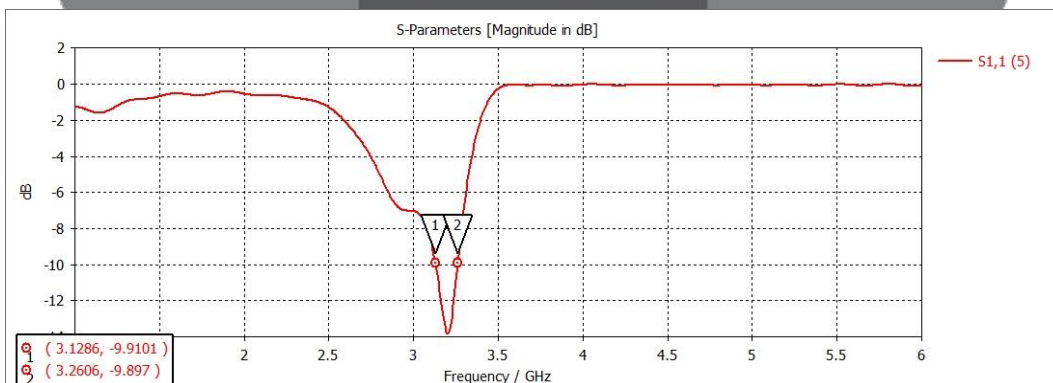
$$0_1 = \frac{! ?}{3} = \frac{9}{3} = 3 <<$$

Tabel 3. 3 Dimensi Awal *Fraktal absorber*

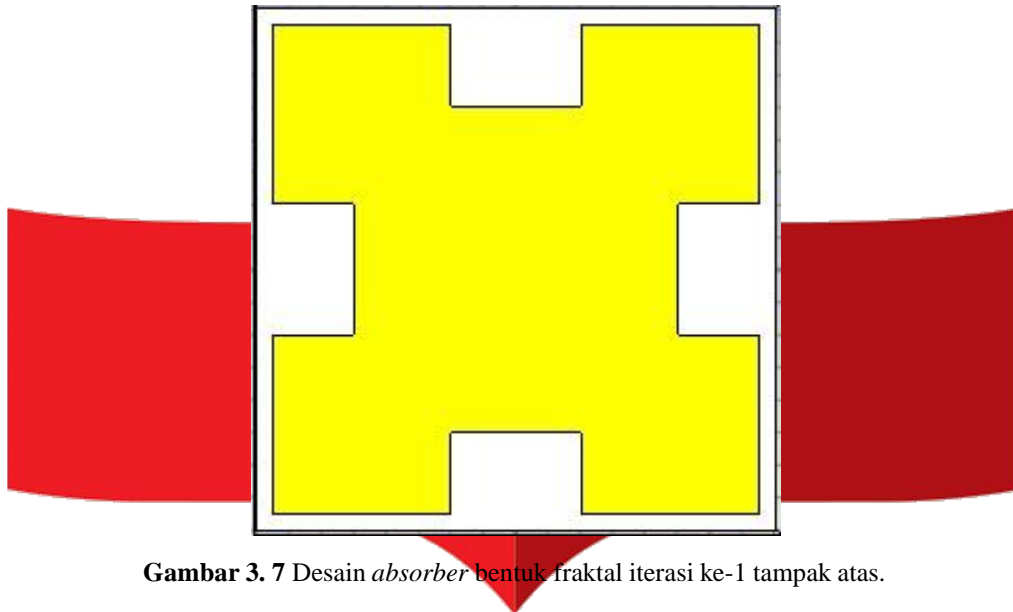
Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
Wg	17 mm	Lebar Groundplane
Lg	17 mm	Panjang Groundplane
t	0.035	Tebal Konduktor
h	3.2 mm	Tebal Substrat
Lo	21.5 mm	Panjang Awal Persegi
Tper	16,125 mm	Panjang Awal Persegi Iterasi ke-0
Tper1	5.3 mm	Panjang Awal Persegi Iterasi ke-1
Tper2	3 mm	Panjang Awal Persegi Iterasi ke-2



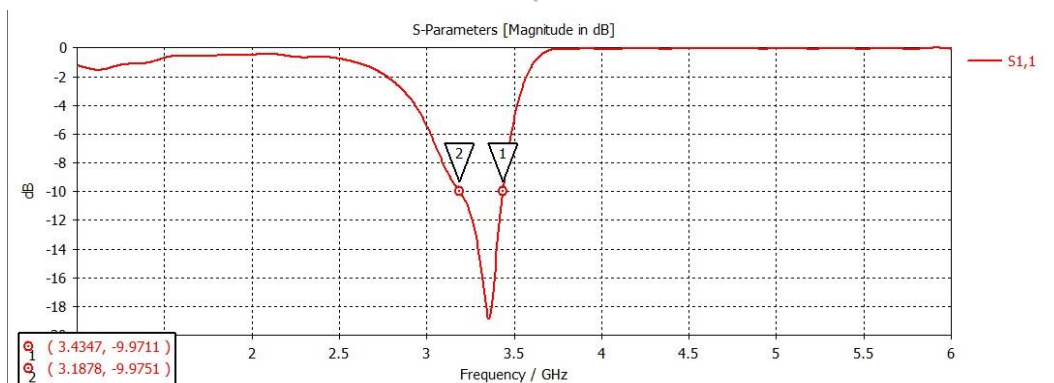
Gambar 3. 5 Desain *absorber* persegi tampak atas dan tampak samping[19].



Gambar 3. 6 Hasil simulasi *absorber* bentuk persegi.



Gambar 3.7 Desain *absorber* bentuk fraktal iterasi ke-1 tampak atas.



Gambar 3.8 Hasil simulasi *absorber* bentuk fraktal iterasi ke-1.

C. Simulasi Absorber Persegi

Desain simulasi absorber persegi dapat dilihat pada gambar 3.5. Berikut ini adalah hasil simulasi awal absorber sebelum optimasi melalui hasil yang diawali perhitungan rumus pada tabel 3.3. Pada hasil simulasi didapatkan nilai return loss pada frekuensi 3.2 GHz sebesar -13,8 dB. Hasil tersebut belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan karena bandwidth yang didapatkan dari hasil simulasi cukup sempit yaitu sebesar 120 MHz, maka perlu dilakukan optimasi pada dimensi *absorber*, dengan cara mengubah ukuran dari *patch*, *substrate*, *groundplane*, atau dengan menambahkan metode *fraktal* untuk mendapatkan bandwidth yang lebar.

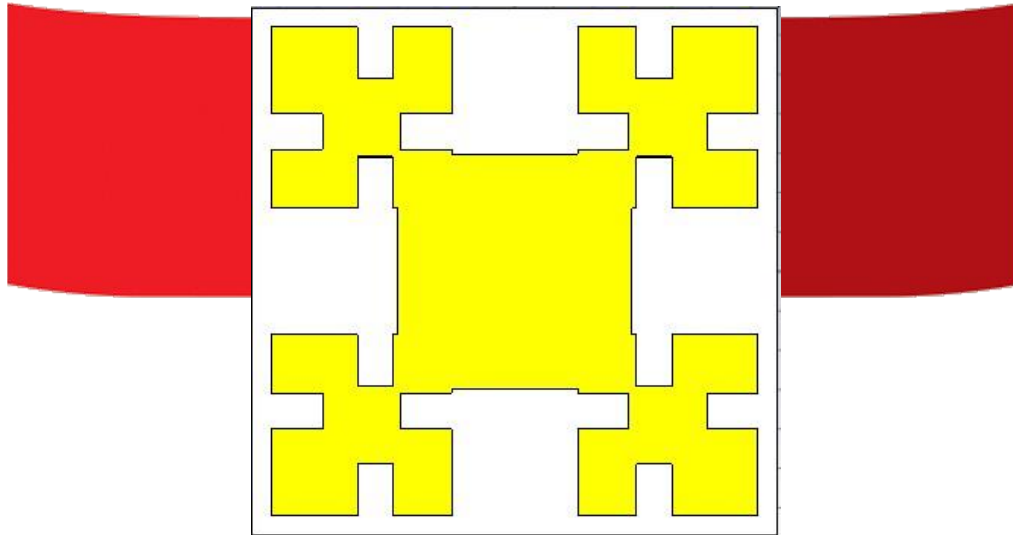
D. Simulasi Absorber bentuk Fraktal iterasi ke-1

Desain simulasi absorber persegi dapat dilihat pada gambar 3.2. Berikut ini adalah Hasil simulasi *absorber* bentuk fraktal iterasi ke-1 sesudah optimasi setelah hasil optimasi bentuk persegi pada tabel 3.3. Pada hasil simulasi didapatkan nilai return loss pada frekuensi 3.35 GHz sebesar -18,83 dB. Hasil tersebut belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan karena bandwidth yang didapatkan dari hasil simulasi cukup sempit yaitu sebesar 250 MHz, maka perlu dilakukan optimasi pada dimensi *absorber*, dengan cara mengubah ukuran dari *patch*, *substrate*, *groundplane*, atau dengan menambahkan metode *fraktal* iterasi ke-2 untuk mendapatkan bandwidth yang lebar.

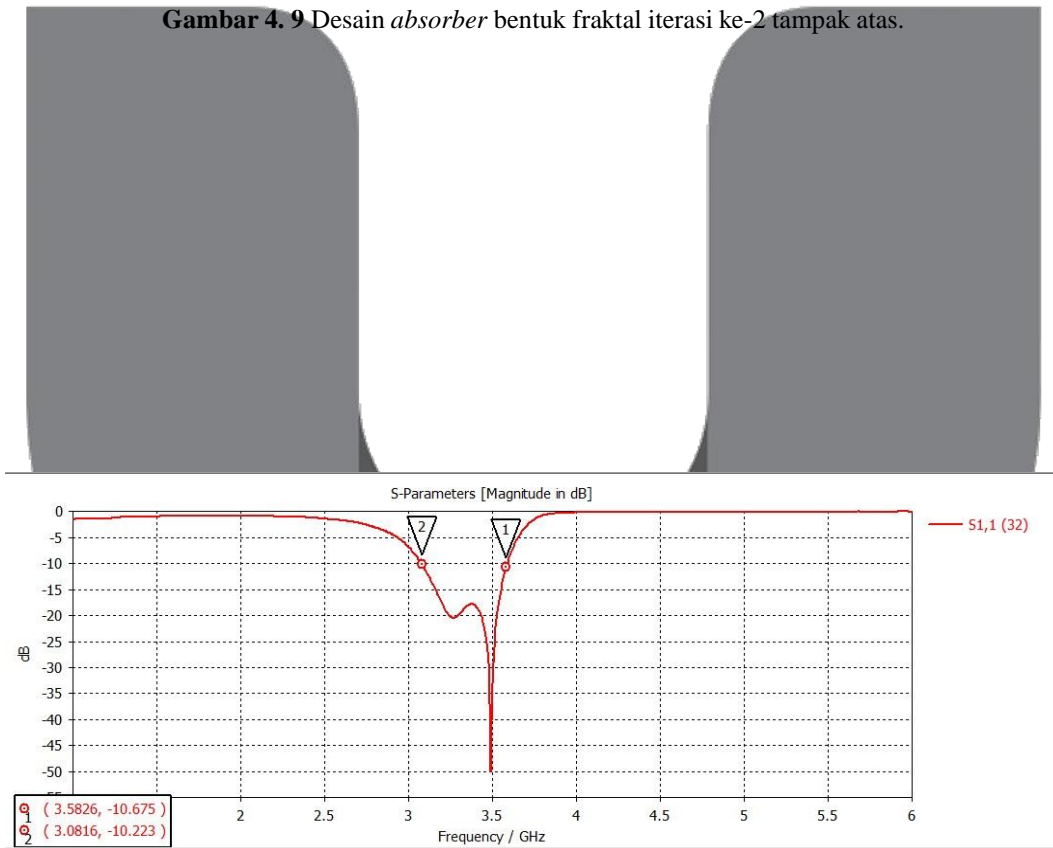
4. Analisis

A. Simulasi Absorber bentuk Fraktal iterasi ke-2

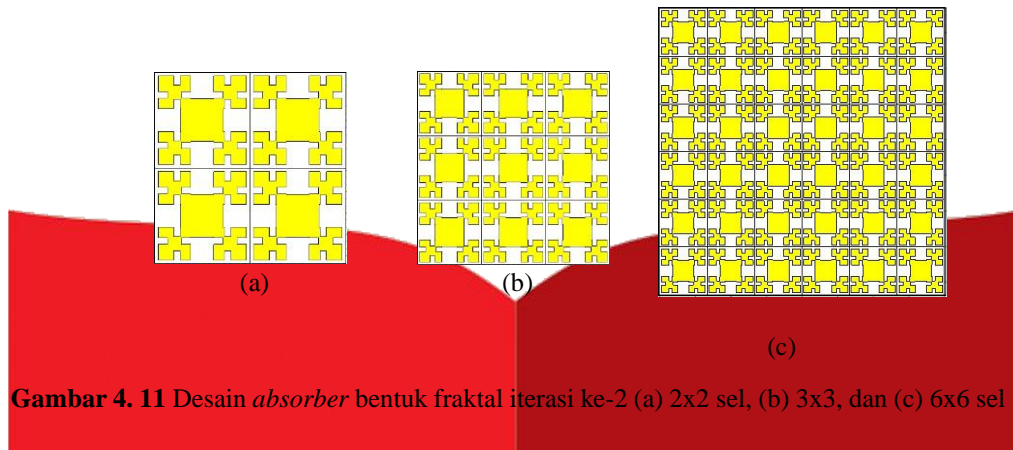
Desain simulasi absorber persegi dapat dilihat pada gambar 3.2. Berikut ini adalah Hasil simulasi *absorber* bentuk fraktal iterasi ke-2 sesudah optimasi setelah hasil optimasi bentuk fraktal iterasi ke-2 pada tabel 3.7. Pada hasil simulasi didapatkan nilai return loss pada frekuensi 3.5 GHz sebesar -50 dB. Hasil tersebut sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan karena bandwidth yang didapatkan dari hasil simulasi sudah melebihi 500 Mhz yaitu sebesar 506 MHz, maka tidak perlu dilakukan optimasi pada dimensi absorber.



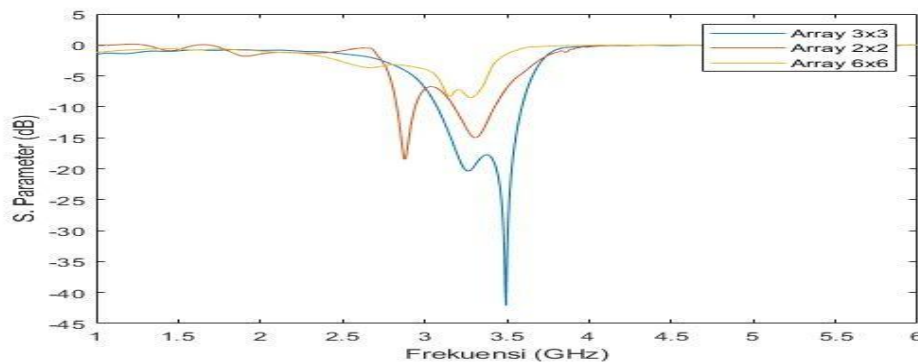
Gambar 4. 9 Desain absorber bentuk fraktal iterasi ke-2 tampak atas.



Gambar 4. 10 Hasil simulasi absorber bentuk fraktal iterasi ke-2.



Gambar 4. 11 Desain absorber bentuk fraktal iterasi ke-2 (a) 2x2 sel, (b) 3x3, dan (c) 6x6 sel .



Gambar 4. 12 Hasil absorber bentuk fraktal iterasi ke-2 (a) 2x2 sel, (b) 3x3, dan (c) 6x6 sel .

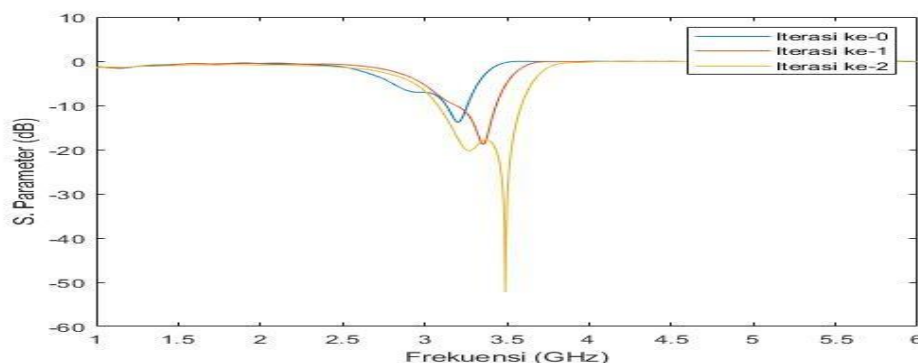
B. Simulasi Array Absorber bentuk Fraktal iterasi ke-2

Kemudian berdasarkan hasil simulasi absorber bentuk fraktal iterasi ke-2 satu sel yang telah didapatkan, kembali dilakukan simulasi absorber dengan menambahkan ukuran sel menjadi 2x2, 3x3, dan 6x6. bentuk fraktal iterasi ke-2 2x2, 3x3, dan 6x6 dapat dilihat pada gambar 3.8.

Simulasi absorber bentuk fraktal iterasi ke-2 NxN sel menghasilkan hasil yang berbeda beda seperti pada gambar 3.9. Penambahan jumlah sel mengakibatkan frekuensi resonansinya bergeser. Pada simulasi absorber 2x2 sel didapatkan frekuensi resonansi 2.7 GHz dan 3.4 GHz dengan nilai return loss -20 dB dan -16 dB. Simulasi absorber 3x3 sel menghasilkan frekuensi resonansi 3.5 GHz dengan nilai return loss -42,9 dB. Sedangkan untuk simulasi absorber 6x6 sel didapatkan frekuensi resonansi 3.28 GHz dengan nilai return loss -9,52 dB.

C. Pengaruh Tiap Iterasi

Bandwidth adalah rentang frekuensi dimana absorber dapat bekerja . Dalam laporan Tugas Akhir ini, nilai rentang bandwidth dilihat dari grafik B_{11} . Tabel 4.1 merupakan perbandingan tiap literasi pada fraktal absorber ,



Gambar 4. 13 Hasil simulasi absorber bentuk fraktal iterasi ke-0 sampai iterasi ke-2.

Tabel 4. 4 Perbandingan hasil simulasi tiap iterasi.

No.	Jumlah literasi	Return Loss	Bandwidth	Frekuensi Resonansi
1.	Iterasi Ke-0	-13 dB	120 MHz	3,2 GHz
2.	Iterasi Ke-1	-18 dB	250 MHz	3,35 GHz
3.	Iterasi Ke-2	-45 dB	506 Mhz	3,5 GHz

Tabel 4. 5 Dimensi hasil karakterisasi Fraktal Iterasi Ke-2.

Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
wg	13,35 mm	Panjang Groundplane
wp	12,35 mm	Panjang Patch
h	3,2 mm	Tebal Substrat
wgap	3.2 mm	Panjang Gap-1
wr	3.2 mm	Panjang Resonator-1
wgap2	0.9 mm	Panjang Gap2
wr2	1,3 mm	Panjang Resonator2

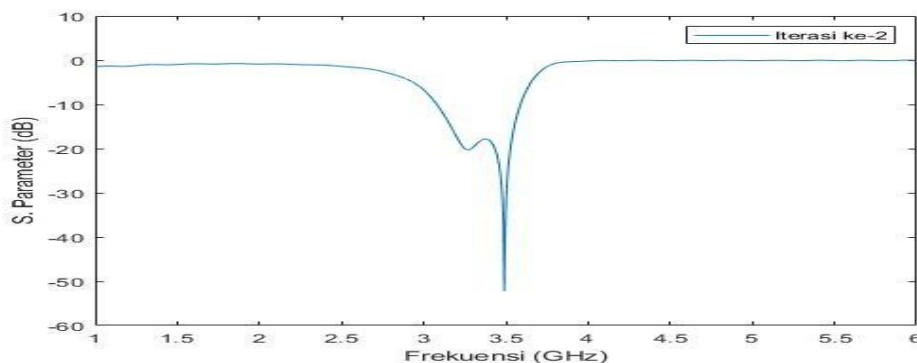
dapat dilihat dari iterasi ke-0 naik ke iterasi ke-1, nilai bandwidth mengalami peningkatan sebesar 130 MHz yaitu dari 140 MHz ke 250 MHz. Kemudian, dari iterasi-1 naik ke iterasi ke-2, nilai bandwidth mengalami kenaikan sebesar 256 MHz yaitu dari 250 – 506 MHz. Namun, untuk B_{11} , dan jika dilihat dari iterasi ke-0 ke iterasi ke1 mengalami peningkatan dari -13 db ke -18 db dan dari iterasi ke-1 ke iterasi ke-2 mengalami peningkatan nilai gain dari -18 dB menjadi -50 dB. Dan ketika dilihat dari frekuensi resonansi iterasi ke-0 sampai iterasi ke-2 mengalami perbedaan di karenakan perbedaan dimensi oleh karena itu mengalami pergeseran.

Dan untuk Dimensi terbaik dari Absorber di tunjukan pada Tabel 4.2 yang memakai metode Fraktal Iterasi ke-2 dan untuk grafik terbaik dari hasil karakterisasi Fraktal Iterasi ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.16

5. Kesimpulan

Absorber AMC yang dirancang dapat bekerja pada frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yaitu 3GHz dengan nilai return loss -16,48 dB. Penambahan Iterasi ke-1 dan Iterasi ke-2 membawa perubahan yang cukup signifikan pada *Bandwidth*. Ketebalan substrat mempengaruhi lebar bandwidth dari absorber AMC. Semakin tebal substrat maka semakin besar bandwidthnya. Nilai Gap-1 mempengaruhi pergerakan frekuensi dari absorber AMC dan besar *Bandwidth*.

Hasil Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa imensi *Patch* mempengaruhi pergerakan frekuensi dari absorber AMC. Semakin Besar Dimensi *Patch* maka semakin kecil nilai frekuensinya, nilai Gap-1 mempengaruhi pergerakan frekuensi dari absorber AMC dan besar *Bandwidth*, nilai Resonator-1 mempengaruhi pergerakan frekuensi dari absorber AMC dan besar *Bandwidth*, nilai Resonator-2 mempengaruhi besar *Bandwidth* dari absorber AMC dan nilai C_{11} .



Gambar 4. 14 Hasil simulasi terbaik dari Karakterisasi Iterasi ke-2.

Reference

- [1] Y. Manurun, B. S. Nugroho, and L. O. Nur, "Perancangan dan Realisasi Penyerap Gelombang Elektromagnetik Fleksibel Pada Frekuensi 2,4 GHz Untuk Melindungi Perangkat Tanam Medis," pp. 1–8, 2017.
- [2] L. O. Nur, A. Munir, Sugihartono, and A. Kurniawan, "Perancangan dan Fabrikasi Penyerap Gelombang Elektromagnetik," *J. Penelit. dan Pengembangan Telekomun. Kendali, Komputer, Elektr. dan Elektron.*, pp. 40–45, 2016.
- [3] D. H. Werner, "Advancements in Artificial Magnetic Conductor Design for Improved Performance and Antenna Applications," no. August, p. 98, 2009.
- [4] L. O. Nur and A. Munir, "Thin EM Wave Absorber Composed of Octagonal Patch Array and Its Characteristic Measurement," 2015 3rd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICoICT 2015, pp. 604–607, 2015.
- [5] D. Sievenpiper and E. Yablonovitch, "High-Impedance Electromagnetic Surfaces," *Mod. Radio Sci.* 1999, pp. 151–169, 1999.
- [6] J. D. Kraus and R. J. Marhefka, "Antennas For All Applications", 3rd ed. New York: Elizabeth A. Jones, 2002.
- [7] Simms, S. dan V. F. Fusco, "Tunable Thin Radar Absorber Using Artificial Magnetic Ground Plane with Variable Backplane," *Electronic Letter.*, vol. 43, no. 31, Okt. 2006.
- [8] Z. Latifah, L. O. Nur and T. Yunita, "Rancang Bangun Penyerap Gelombang Mikro Berbentuk Square Patch Array Berbasis Struktur AMC Menggunakan Teknik Multiple Slot Untuk Peningkatan Bandwidth ", Vol.4, No.3 Desember 2017 .
- [9] "ISM Frequency Bands", www.everythingrf.com, 2108.
- [10] S. Dhar, R. Ghatak, B. Gupta, D. R. Poddar, "A Wideband Minkowski Fractal Dielectric Resonator Antenna ", AP1205-0742, 2013.
- [11] A. Bhattacharya, "Modeling and Simulation of Metamaterial-Based Devices for Industrial Applications Application Engineer", (white paper), CST AG, Darmstadt, Germany.
- [12] A. Hippel, "Theory and Application of RF Microwave Absorbers", (white paper), Emerson Cuming Microwave Products, Inc.
- [13] Y. Zhang, J. Von Hagen, M. Younis, C. Fischer and W Wiesbeck, "Planar artificial magnetic conductors and patch antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no.10, pp. 2704-2712, Oct. 2003.
- [14] A. Munir and V. Fusco, "Effect of surface resistor loading on high impedance surface radar absorber return loss and bandwidth," *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 51, no. 7, pp. 1773-1775, Jul. 2009
- [15] Ali and A. Lotfi, M. Naser, L. Pooi, "Novel hairpin-line microstrip bandpass filter with 2nd and 3rd Spurious Passbands Suppression," 2011 (white paper).
- [16] S. Sankaralingam and A. Bag, D. Sayantan, K. Ardhendu, "Use of Minkowski Fractal Geometry for the Design of Wearable Fully Fabric Compact Antenna," 2014 .
- [17] D. Sievenpiper, "High-Impedance Electromagnetic Surfaces", PhD Thesis, UCLA, 1999.
- [18] A. Munir and V. Fusco, "Characterization of microwave anisotropic thin radar absorber using artificial magnetic groundplane," 2008 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) Proc., pp. 1-4, Hongkong, China, Dec. 2008.
- [19] P. Banyu, S. Budi, and L. O. Nur, "Analisis Perbandingan Kinerja Penyerap Gelombang Elektromagnetik Bentuk Broadside SRR DAN S-RING SRR Pada C-BAND", 2020.