

# KARAKTERISASI DAYA SERAP *TUNABLE ABSORBER* BERBASIS *ARTIFICIAL MAGNETIC CONDUCTOR* (AMC ) MENGGUNAKAN DIODA VARAKTOR DAN KAPASITOR

## *ABSORPTION CHARACTERIZATION OF TUNABLE ABSORBER BASED ON ARTIFICIAL MAGNETIC CONDUCTOR (AMC USING VARACTOR DIODE AND CAPACITOR*

Muthia Hanifah<sup>1</sup>, Levy Olivia Nur<sup>2</sup>, Achmad Munir<sup>3</sup>

<sup>1, 2</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, <sup>3</sup>Sekolah Teknik Elktro dan Informatika, Universitas Institut Teknologi Bandung

<sup>1</sup>mutiahhanifah@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>levyolivia@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>munir@ieee.com

### Abstrak

Kemajuan teknologi saat ini berkembang sangat pesat. Terutama pada bidang penyerap gelombang elektromagnetik mikrostrip yang berbasis *artificial magnetic conductor* (AMC). Teknik yang dilakukan pada perkembangan penyerap gelombang elektromagnetik pada AMC tersebut ialah menggunakan teknologi *surface textured* yang memiliki impedansi permukaan tinggi yang terdiri dari susunan metal patch periodik sebagai sel satuan yang berhubungan. Untuk dapat menghasilkan frekuensi kerja yang dapat bergeser serta dapat memaksimalkan penyerap gelombang elektromagnetik, penelitian kali ini dilakukan dengan adanya penambahan kapasitor chip dan dioda varaktor. Pergeseran frekuensi yang dihasilkan pada penambahan kapasitor chip diletakkan pada diantara kedua patch, kapasitor yang digunakan bernilai 0,5pF, 1pF, 1,5pF, 2pF, dan 3pF. Sedangkan penambahan dioda varaktor dengan nilai tegangan 0V, 1V, 3V, 5V, dan 10V. Selanjutnya untuk mendapatkan tingkat penyerapan yang baik dilakukan penambahan resistor pada patch. Penambahan resistor perancangan polos dengan diode varaktor bernilai 470 ohm dengan tingkat penyerapan 37,89dB, sedangkan penambahan resistor dengan kapasitor bernilai 510 ohm.

Hasil simulasi yang telah dirancang menggunakan software 3D saat penggunaan kapasitor dengan resistor 0,5pF dapat bergeser ke frekuensi 3,16 GHz dengan S11-20,83dB, 1pF di frekuensi 2,96 GHz dengan S11 -21,90 dB, 1,5pF di frekuensi 2,76 GHz dengan S11-22,84 dB, 2pF di frekuensi 2,58 GHz dengan S11-18,55 dB, dan 3pF di frekuensi 2,24 GHz dengan S11-18,67 dB. Sedangkan saat penambahan dioda varaktor dengan tegangan 0V dapat bergeser ke frekuensi 2,2 GHz dengan S11 -21,6 dB, 1V di frekuensi 2,46 GHz dengan S11 -19,03 dB, 3V di frekuensi 2,64 GHz dengan nilai S11-17,7844 dB, 5V di frekuensi 2,78 GHz dengan S11 -17,5039 dB, dan 10V di frekuensi 3,02 GHz dengan S11 -16,58 dB.

**Kata kunci :** Penyerap Gelombang Elektromagnetik, *Artificial Magnetic Conductor* (AMC), teknologi permukaan bertekstur (*textured surface*), *Tuning Frequency*, Dioda Varaktor dan Kapasitor

### Abstract

Technological advances are currently developing very rapidly. Based on the field of absorbing electromagnetic wave microstrip based on artificial magnetic conductor (AMC). The technique carried out in the development of electromagnetic wave absorber at AMC uses a textured surface technology that has a high surface impedance which consists of a periodic metal patch arrangement as a unit cell that uses. To be able to produce a shifting work frequency and be able to maximize the absorption of electromagnetic waves, this research was conducted by comparing chip capacitors and varactor diodes. The resulting rotation of the chip capacitors is placed between the two patches, the capacitors used are 0.5pF, 1pF, 1.5pF, 2pF, and 3pF. While the diode value is greater with the voltage values of 0V, 1V, 3V, 5V and 10V. Next to get the level of activation done with a resistor on the patch. The addition of a plain design resistor with a diode is worth 470 ohms with a gain rate of 37.89dB, while the resistor requires a capacitor worth 510 ohms.

The simulation results show that have been designed using 3D software when using capacitors with 0.5pF resistors can shift to a frequency of 3.16 GHz with S11-20.83dB, 1pF at a frequency of 2.96 GHz with S11 -21.90 dB, 1.5pF at frequency of 2.76 GHz with S11-22.84 dB, 2pF at a frequency of 2.58 GHz with S11-18.55 dB, and 3pF at a frequency of 2.24 GHz with S11-18.67 dB. Whereas when adding a varactor diode with a voltage of 0V can shift to a frequency of 2.2 GHz with S11 -21.6 dB, 1V at a frequency of 2.46 GHz with S11 -19.03 dB, 3V at a frequency of 2.64 GHz with a value of S11- 17.7844 dB, 5V at frequencies 2.78 GHz with S11 -17.5039 dB, and 10V at frequencies 3.02 GHz with S11 -16.58 dB.

**Keywords:** Absorbers of Electromagnetic Waves, Artificial Magnetic Conductor (AMC), Textured surface technology (*textured surface*), *Tuning Frequency*, Varactor Diode and Capacitor

## 1. Pendahuluan

Dalam penelitian ini, dilakukan penambahan kapasitor dan diode varaktor untuk membandingkan dan menganalisis bentuk efek pelebaran *bandwidth* dari penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yang berjudul *Theoretical Analysis of Resonant Frequency for AMC-based Absorber Composed of Square Array*[3]. Perancangan dilakukan dengan bantuan *software* 3D kemudian direalisasikan. Setelah itu hasil dari pengukuran dari realisasi tersebut dibandingkan dengan hasil simulasi dan formulasi yang bertujuan untuk menunjukkan kemampuan dan akurasi pendekatan. Dewasa ini, teknologi *metamaterial device* telah berkembang pesat sehingga menarik banyak perhatian para penelitian dikarenakan sifat uniknya untuk berbagai keperluan. Pada dasarnya *metamaterial* atau disebut juga *artificial magnetic* merupakan suatu struktur periodik yang tersusun oleh sel atau elemen sel satuan yang dapat memiliki sifat elektromagnetik yang tidak ditemukan di alam [1]. Salah satu contoh material tersebut adalah *artificial magnetic conductor* (AMC) yang didefinisikan sebagai bahan komposit yang memiliki sifat serupa dengan konduktor magnetik sempurna atau *perfect magnetic conductor* (PMC) yang dapat memantulkan gelombang elektromagnetik yang datang tanpa merubah fasa pantulannya [2].

Teknik yang dapat merealisasikan AMC adalah penggunaan teknologi permukaan bertekstur (*textured surface*). Pada penelitian ini, AMC yang berbasis teknologi *textured surface* akan digunakan pada material penyerap gelombang elektromagnetik. Beberapa aplikasi dari penyerap tersebut yang biasa digunakan diantaranya untuk mengurangi interferensi gelombang elektromagnetik, melindungi gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan, *anechoic chambers* dan sebagainya. Penyerap yang berbasis *metamaterial* menunjukkan absorptivitas yang hampir sempurna. Saat ini pengguna modifikasi tekstur yang dapat menghasilkan beberapa aplikasi termasuk *wave guide*, *absorber*, radar, dan yang lainnya. Bahan unik yang terdapat dalam *metamaterials* memiliki kinerja yang lebih baik dalam mengendalikan penyebaran gelombang elektromagnetik sehingga membuat bahan mampu memecahkan masalah *absorber* dan perangkat *microwave* [3][4].

Dalam penelitian ini, dilakukan fabrikasi *absorber* microstrip agar mendapatkan tingkat penyerapan yang tinggi pada frekuensi yang diinginkan. Penyerap AMC yang direalisasikan berkerja pada frekuensi 3GHz. Frekuensi operasi dari *absorber* yang dihasilkan tetap yang berarti bahwa tidak mungkin untuk mengubah frekuensi setelah pembuatan. Oleh karena itu, lebih banyak penelitian difokuskan pada desain *tunable metamaterial absorber* (TMA) karena penting untuk memperluas frekuensi operasi [5-7]. Jika impedansi dari satu atau lebih lapisan absorber dapat diubah sesuai dengan yang diinginkan, maka akan mungkin untuk mewujudkan desain penyerap yang baik.

Namun, penelitian TMA berfokus pada mekanisme penyerapan pada frekuensi gelombang mikro. Dalam merubah frekuensi tersebut dilakukan penambahan dioda varaktor atau kapasitor yang akan dirancang dan dianalisis pada konfigurasi penyerap. Perancangan dilakukan dengan bantuan *software* 3D kemudian direalisasikan. Setelah itu hasil dari pengukuran dari realisasi tersebut dibandingkan dengan hasil simulasi dan formulasi yang bertujuan untuk menunjukkan kemampuan dan akurasi pendekatan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Penyerap Gelombang Elektromagnetik

*Absorber* atau penyerap gelombang elektromagnetik dalam bidang *RF/microwave* merupakan material yang dapat melemahkan energi dalam sebuah gelombang elektromagnetik atau meminimalkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dan dipantulkan. Beberapa aplikasi dari *absorber* yang biasa ditemui diantaranya untuk mengurangi interferensi dari elektromagnetik, pelindung dari gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan yang dapat mengganggu sebuah operasi sistem, dapat digunakan eksternal untuk mengurangi refleksi transmisi dari atau ke objek tertentu dan dapat juga digunakan *internal* untuk mengurangi osilasi yang disebabkan oleh rongga resonansi, juga digunakan untuk membuat lingkungan ruang bebas dengan menghilangkan refleksi dalam ruang tanpa gema (*anechoic chamber*) [8].

### 2.2 Artificial Magnetic Conductor

*Artificial Magnetic Conductor* (AMC) merupakan salah satu contoh dari metamaterial yang didefinisikan sebagai bahan komposit yang sifatnya serupa dengan *Perfect Magnetic Conductor* (PMC) dalam hal karakteristik refleksi. PMC dapat memantulkan gelombang elektromagnetik yang masuk tanpa mengubah fasa refleksi pada semua rentang frekuensi. Sedangkan AMC memiliki sifat refleksi di nol derajat hanya dalam pita frekuensi yang sempit. PMC memberikan dua sifat dominan, pertama *image current*, yaitu permukaan PMC in-phase dengan original current, yang memungkinkan pemantul.

Antena ditempatkan sangat dekat dengan elemen peradiasinya, sehingga ukuran antena menjadi lebih kecil. AMC memiliki impedansi permukaan yang tinggi yang dapat digunakan untuk menekan gelombang permukaan,

sehingga mampu menurunkan interferensi antara gelombang permukaan dan radiasi utama dari antena. Oleh karena itu, AMC dapat memperbaiki sistem antena dan memiliki berbagai aplikasi yang potensial pada antena, *groundplane*, *reflector*, penyerap, resonator, dan komponen antena lainnya[9].

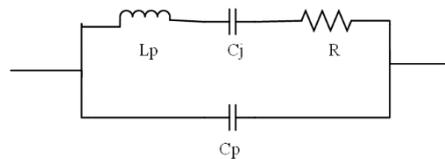
### 23 Teknologi permukaan Bertekstur

Teknik yang dapat dilakukan untuk merealisasikan AMC adalah penggunaan teknologi permukaan bertekstur (*textured surface*). Teknik ini diperkenalkan oleh Sievenpiper berupa suatu struktur yang mendekati impedansi permukaan tinggi terdiri dari susunan metal patch periodik sebagai sel satuannya yang dihubungkan oleh konduktor vertikal (*via*) dengan *groundplane*. Akan tetapi, karena dihubungkan oleh konduktor vertikal (*via*) sehingga cukup menyulitkan untuk direalisasikan. Maka dari itu beberapa penelitian selanjutnya sehingga memotivasi beberapa penelitian berikutnya untuk menghilangkan *via* sehingga menjadi suatu struktur yang planar [10].

Material penyerap diterapkan pada AMC yang berbasis teknologi *textured surface*, pada dasarnya AMC merupakan suatu struktur permukaan berimpedansi tinggi, dengan menempatkan lapisan tersebut di bawah lapisan lain yang bersifat resistif, maka ruang berjarak  $\lambda/4$  yang sebelumnya digunakan pada teknik *Salisbury Screen* dapat dihilangkan. Hal tersebut memungkinkan untuk merealisasikan material penyerap dengan struktur yang tipis dan kompak [11].

### 24 Dioda Varaktor

Dioda varaktor adalah dioda yang mempunyai sifat kapasitas yang berubah-ubah sesuai dengan tegangan yang diberikannya. Sesuai dengan sifatnya yang disebut dioda kapasitas variabel atau varicap diode (*Variable Capacitance Diode*). Semakin tinggi tegangan terbalik (*Reverse Bias*) yang diberikan pada dioda varaktor, semakin lebar pula daerah deplesi pada sambungan semikonduktor tersebut yang mengakibatkan semakin rendahnya nilai kapasitansi. Sebaliknya, jika Dioda Varaktor menerima tegangan terbalik atau *reverse bias* yang rendah, maka deplesi akan menyempit sehingga nilai kapasitansi menjadi lebih tinggi. Dioda varaktor yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu STMD 3001[12]. Rangkaian pengganti diode pada simulasi yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian pengganti dioda varaktor STMD 3001 SOD 328

Berdasarkan gambar 2.4 terdapat komponen kapasitor ( $C_j$ ), Induktor ( $L_p$ ), dan resistor ( $R$ ) yang dipasang secara seri lalu dipararelkan dengan kapasitor ( $C_p$ ). Yang mana nilai kapasitansi yang diubah ubah yaitu terletak pada *capacitor junction* ( $C_j$ ). Nilai dari komponen tersebut dapat dilihat pada tabel 1 [13].

Tabel 1 Nilai rangkaian pengganti diode varaktor STMD 3001

VR (V)	$C_j$ (pF)	$L_p$ (nH)	R(Ohm)	$C_p$ (pF)
0	2,2	1,5	0,7	0,1
1	1,5	1,5	0,7	0,1
3	1,15	1,5	0,7	0,1
5	0,92	1,5	0,7	0,1
10	0,71	1,5	0,7	0,1

## 3. Perancangan

Dalam perancangan absorber AMC ini, terdapat beberapa proses yang dilalui agar absorber dapat berkerja dengan baik. Tahap awal untuk merancanginya ialah menentukan frekuensi kerja yang akan digunakan, kemudian menentukan karakteristik dari absorber yang akan dirancang, lalu tahap pemilihan substrat sebagai elemen pengganti. Setelah semua parameter diketahui, dilakukan perhitungan untuk menentukan ukuran dimensi absorber yang akan dirancang.

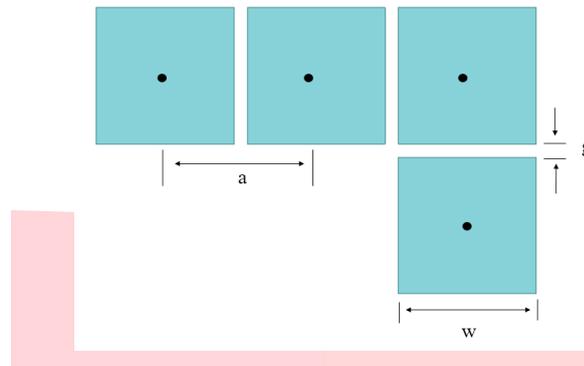
### 3.1 Spesifikasi Absorber

Dalam perancangan absorber perlu adanya memperhatikan parameter kerja dari absorber. Tujuan menentukan spesifikasi absorber agar hasil yang didapati sesuai dengan target serta arah yang jelas. Terdapat beberapa tahap yang dilalui agar mendapatkan hasil yang sesuai karakteristik yang sudah ditentukan. Adapun spesifikasi absorber yang akan dirancang yang dapat dilihat pada tabel 2:

Tabel 2 Spesifikasi penyerap gelombang elektromagnetik

No.	Parameter	Keterangan
1.	Jenis Absorber	Mikrostrip
2.	Frekuensi	3 GHz
3.	<i>Return loss</i>	-10 dB
4.	Bentuk <i>patch</i>	Persegi

**32 Perancangan Dimensi Penyerap Gelombang Elektromagnetik**



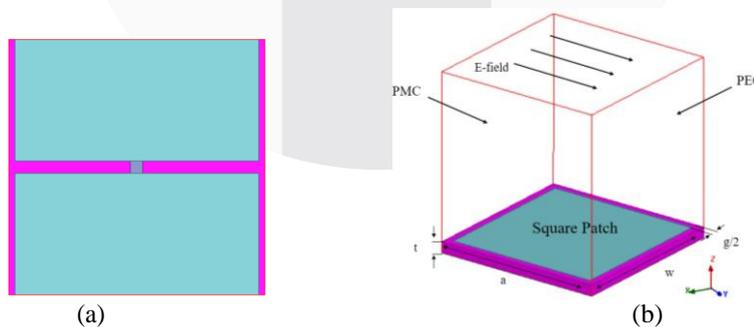
Gambar 2 Parameter dimensi penyerap gelombang elektromagnetik

Penentuan dimensi (gambar 2) penyerap gelombang elektromagnetik dimulai dari perhitungan menentukan *gap* (*g*), lalu jarak antar patch dari titik tengah (*a*), dan panjang sisi penyerap (*w*). Setelah mendapatkan dimensi penyerap, dilakukan simulasi satu *patch* penyerap (gambar 3) lalu *array* 5x5 sel. Parameter dari dimensi penyerap dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3 Dimensi penyerap gelombang elektromagnetik

Parameter	Nilai
<i>w</i>	20,8 mm
<i>a</i>	19,8 mm
<i>g</i>	1 mm

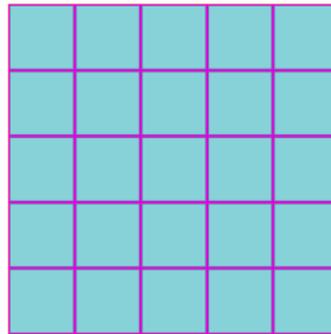
Setelah didapatkan dimensi penyerap gelombang elektromagnetik dilakukan simulasi menggunakan *software* 3D. *Boundary* atau batas penyerap disimulasi dapat dilihat pada gambar 3 dimana medan listrik datang searah dengan *Perfect Magnetic Conductor* (PMC), namun tegak lurus terhadap bidang *Perfect Electrical Conductor* (PEC).



Gambar 3 satu sel penyerap AMC (a) *Boundary* sel unit (b)

**33 Simulasi Array 5x5 Sel Absorber**

Simulasi pada sebuah sel *absorber* AMC dilakukan dengan *boundary* radiasi yang mana pengukuran dilakukan secara *open space* dengan menggunakan antenna horn. Penyerap yang akan disimulasikan memiliki *patch* 5x5 sel yang memiliki dimensi 10,4 cm×10,4cm dengan nilai *w* pada setiap sel 19,8 mm. Rancangan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.



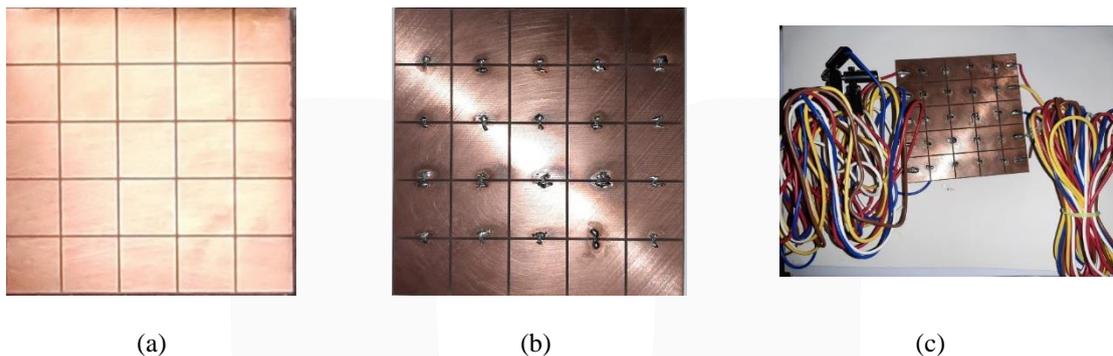
Gambar 4 Array 5X5 sel

#### 4 Realisasi, Pengukuran, dan Analisis

Eksperimen untuk menguji absorber dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro (LTRGM) ITB. Pengukuran akan menggunakan Vector Network Analyzer (VNA), Anechoic Chamber, Antenna Horn (S-Band), dan DC Power Supply untuk memasukkan tegangan pada dioda varaktor. Adapun spesifikasi absorber AMC yang diukur adalah *return loss* ( $S_{11}$ ) dan frekuensi kerja.

##### 4.1 Realisasi

Setelah melakukan perancangan desain dan simulasi dengan *software* 3D, selanjutnya absorber AMC tersebut direalisasikan atau difabrikasi dengan menggunakan bahan substrat FR4 dengan tebal 1,6mm, groundplane dan patch menggunakan bahan cooper dengan tebal 0,035mm. Hasil fabrikasi absorber yang telah difabrikasi dapat dilihat pada Gambar . Absorber AMC memiliki dimensi 10,4cm x 10,4cm



(a)

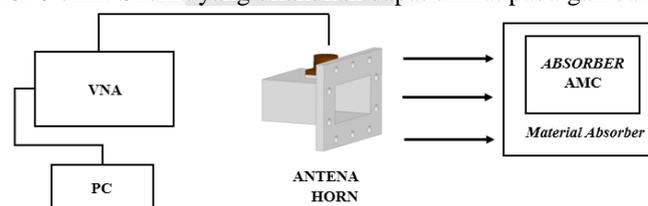
(b)

(c)

Gambar 5 Polos (a), Penambahan Kapasitor (b), dan Penambahan Dioda Varaktor

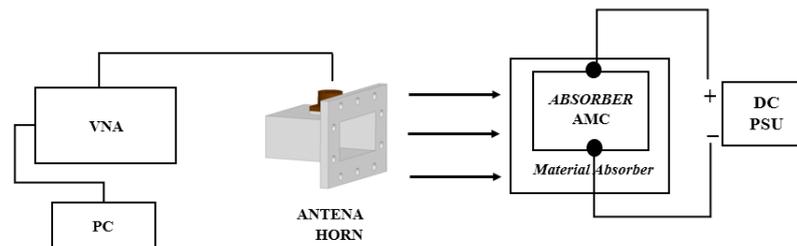
##### 4.2 Mekanisme Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan yaitu meletakkan absorber yang telah di fabrikasi pada anechoic chamber lalu diberi pancaran oleh waveguide atau antenna horn yang dihubungkan pada VNA yang akan dibaca oleh PC. Kegiatan tersebut dilakukan saat pengukuran absorber polos, dengan penambahan R 470 ohm, penambahan C, dan dengan penambahan C dan R 510 ohm. Skema yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Skema pengukuran tanpa Dioda Varaktor

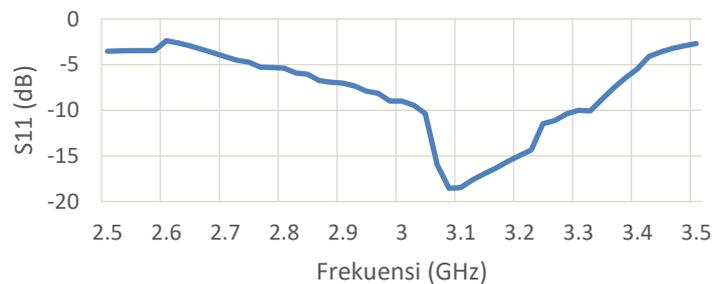
Sedangkan pengukuran yang dilakukan saat mengukur absorber yang terpasang dioda varaktor hampir sama proses mekanisme pengukurannya, namun absorber yang dipasang dioda varaktor memiliki kabel pada sisi katoda dengan anodanya yang akan terhubung ke DC Power Supply. Lalu tegangan yang diberi diubah-ubah secara periodic dari nilai 0V, 1V, 3V, 5V, dan 10V. Skema yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 7



Gambar 7 Skema pengukuran dengan Dioda Varaktor

#### 43 Hasil Pengukuran dengan penambahan resistor 470 ohm

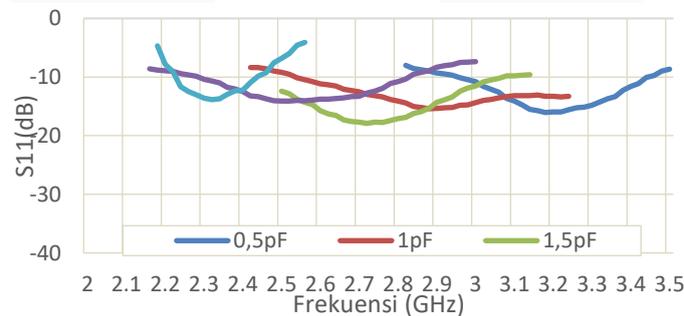
Setelah melakukan pengukuran terhadap *absorber* AMC polos tanpa menggunakan komponen apapun, selanjutnya ialah melakukan pengukuran *absorber* AMC array 5x5 dengan menggunakan resistor. Hasil dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada gambar 8. Hasil dari pengukuran tersebut mendapatkan nilai *return loss* yang cukup baik dengan nilai -18,55 dB, dan berkerja pada frekuensi 3,1GHz.



Gambar 8 Grafik S11 Pengukuran dengan penambahan R 470 ohm

#### 44 Hasil Pengukuran Penambahan Kapasitor

Peneliti ingin melihat pengaruh saat terjadi penambahan kapasitor pada *absorber* dengan sel 5x5 yang diletakin pada antar *patch* dengan nilai kapasitansi sebesar 0,5pF, 1pF, 1,5pF, 2pF, dan 3pF. Hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 9.

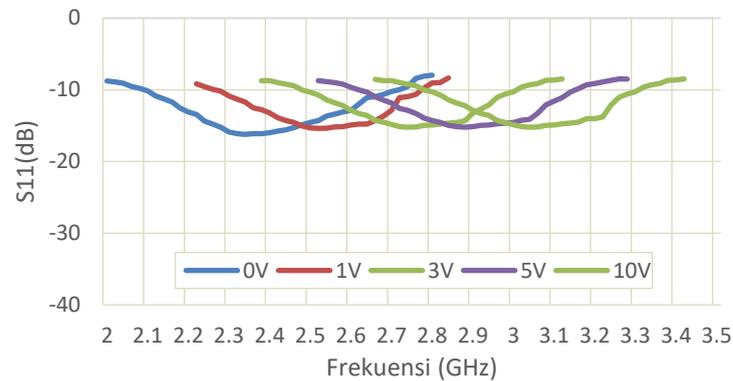


Gambar 9 Grafik S11 pengukuran dengan penambahan C dan R

Dapat dilihat bahwa penggunaan kapasitor 0,5pF dapat bergeser ke frekuensi kerja 3,21 GHz dengan nilai *return loss* -18,078dB, 1pF bergeser di frekuensi 2,9 GHz dengan nilai *return loss* -17,143 dB, 1,5pF di frekuensi 2,8 GHz dengan nilai *return loss* -17,509 dB, 2pF di frekuensi 2,52 GHz dengan nilai *return loss* -18,37dB, dan 3pF di frekuensi 2,32 GHz dengan nilai *return loss* -16,67dB.

#### 45 Hasil Pengukuran Penambahan Dioda Varaktor

Peneliti ingin melihat pengaruh saat terjadi penambahan diode varaktor pada *absorber* dengan sel 5x5 yang diletakin pada antar *patch* dengan nilai tegangan yang diberi yaitu 0V, 1V, 3V, 5V, dan 10V. Hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Grafik S11 pengukuran dengan penambahan DV dan R

Dapat dilihat bahwa penggunaan dioda varaktor saat diberi tegangan bernilai 0V dapat bergeser ke frekuensi kerja 2,26 GHz dengan nilai *return loss* -21,5 dB, 1V bergeser di frekuensi 2,4 GHz dengan nilai *return loss* -19,35 dB, 3V bergeser di frekuensi 2,7 GHz dengan nilai *return loss* -18,83 dB, 5V bergeser di frekuensi 2,86 GHz dengan nilai *return loss* -19,65 dB, dan 10V di frekuensi 3,01 GHz dengan nilai *return loss* -19,75 dB.

#### 4.6 Analisis

Pengujian pada saat pengukuran dengan simulasi akan dilakukan proses penyeteraan yang mana hasil yang akan menjadi patokan ialah pada saat pengukuran. Pada hal tersebut mengakibatkan perlunya proses simulasi kembali dengan cara mensimulasikan antenna horn atau *waveguide* kearah *absorber* dengan jarak 20cm mengikuti proses pengukuran fabrikasi berlangsung. Dari hasil pada kedua penguji tersebut belum bisa dibandingkan secara keadaan yang bersamaan namun dapat dilihat pada saat pengukuran fabrikasi hasil *bandwidth* yang didapati jauh lebih lebar dari hasil simulasi dikarenakan daya serap tersebut yang diterima oleh antenna

#### 5. Kesimpulan

Dari melakukan seluruh proses penelitian Tugas Akhir ini mulai dari perancangan desain, simulasi menggunakan *software* 3D, dan pengukuran. Ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil, yaitu:

1. *Absorber* AMC yang dirancang dan direalisasikan dapat bekerja pada frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yaitu 3GHz dengan
2. Penambahan resistor pada *absorber* dari nilai 50 ohm – 800 ohm dapat memperbaiki nilai *return loss* pada *absorber* AMC. Pada nilai resistansi tertentu mencapai nilai *return loss* terbaik mengakibatkan impedansi permukaan AMC *match* dengan impedansi udara sehingga dapat terjadi transfer daya maksimum dengan penyerapan yang maksimum. Nilai resistor yang terbaik saat disimulasi berada pada nilai 500 ohm. Menyesuaikan dengan yang berada di pasaran, nilai 470 ohm merupakan nilai *return loss* terbaik digunakan saat kondisi *absorber* polos dengan diode varaktor. Namun nilai resistansi 510 ohm menghasilkan nilai *return loss* terbaik saat menggunakan kapasitor
3. Penambahan resistor tidak membawa perubahan yang cukup signifikan pada frekuensi kerja
4. Ketebalan substrat mempengaruhi lebar BW dari *absorber* AMC. Semakin tebal substrat maka semakin besar BWnya
5. Penggunaan kapasitor dapat memberikan efek pergerakan frekuensi yang mana semakin besar nilai kapasitor yang diberikan maka frekuensi tersebut akan bergeser jauh dari frekuensi center kearah frekuensi kecil
6. Penggunaan diode varaktor diberi tegangan yang kecil maka akan menghasilkan nilai kapasitansi yang besar sehingga mengakibatkan frekuensi tersebut akan bergeser jauh dari frekuensi center kearah frekuensi kecil

#### Daftar Pustaka:

- [1] R. Marqués, F. Martín and M. Sorolla, “Metamaterials with Negative Parameters: Theory, Design and Microwave Applications,” *1st Edition, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.* 2008.
- [2] Y. Zhang, J. Von Hagen, dan W. Wiesbeck, “Patch Array as Artificial Magnetic Conductors for Antenna Gain Improvement,” *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 35, pp. 172–175, 2002.
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] N. Behdad and K. Sarabandi, “Dual-Band Reconfigurable Antenna With a Very Wide Tunability Range,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.54, no.2, pp. 409-416, Feb. 2006.

- [6] Andrew R. Brown and Gabriel M. Rebeiz, "A Varactor-Tuned RF Filter," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques.*, vol.48, no.7, pp.1157-1160, Jul. 2000.
- [7] Yu. N. Kazantsev, G. A. Kraftmakher, and V. P. Mal'tsev, "Tuning the Operating Band of an Artificial Magnetic Conductor," *Radiotekhnika I Elektronika.*, vol.64, no.6, pp. 543-548, 2019.
- [8] Hippel. A, "Theory and Application of RF Microwave Absorbers ", (white paper), Emerson & Cuming Microwave Products, Inc.
- [9] 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.
- [10] Engheta, N., "Thin Absorbing Screens Using Metamaterial Surfaces," *IEEE AP-S International Symposium, San Antonio, Texas.*, pp. 392-395, Jul. 2002.
- [11] 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.
- [12] J. Zhao, Q. Cheng, J. Chen, M. Qing Qi, W. Xiang, and T. Jun Cui, " A Tunable metamaterial Absorber using Varactor," *Ltd and Deutsche Physikalische Gesellschaft.*, vol. 15, pp. 11-20, Apr. 2013
- [13] M. A. Alkanhal and A. F. Sheta, "A Novel Dual-Band Reconfigurable Square-Ring Mikrostrip Antenna," *Progress In Electromagnetics Research.*, vol. 70, pp. 337–349, 2007