

**RANCANG BANGUN PENYERAP GELOMBANG MIKRO BERBENTUK *SQUARE PATCH ARRAY* BERBASIS STRUKTUR AMC MENGGUNAKAN TEKNIK *MULTIPLE SLOT* UNTUK PENINGKATAN *BANDWIDTH***

Zuchra Latifah<sup>1</sup>, Levy Olivia Nur<sup>2</sup>, Trasma Yunita<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[zuchralatifah@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:zuchralatifah@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[levyolivia@telkomuniveristy.ac.id](mailto:levyolivia@telkomuniveristy.ac.id), <sup>3</sup>[trasmayunita@telkomuniversity.ac.id](mailto:trasmayunita@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

Beberapa tahun terakhir, penerapan berbagai aplikasi patch array untuk *microwave absorber* atau penyerap gelombang mikro berkembang luas. Aplikasi tersebut menggunakan *printed circuit board* (PCB) sebagai material penyebarannya. Akan tetapi respon *bandwidth* dari struktur AMC berbasis penyerap gelombang mikro relatif sempit dikarenakan dari struktur AMC itu sendiri yang tersusun dari dielektrik substrat, dimana respon *bandwidth* dari perangkat lain seperti antena tersebar pada dielektrik substrat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan *single patch* atau unit sel dari *patch* persegi karena efek dari *boundary* sehingga hasil untuk *single patch* sama dengan susunan patch tak hingga. Jumlah *slot* dari 1 hingga 21 dengan jumlah ganjil berpusat pada tengah *patch*. *Slot* gradual memiliki nilai *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan *slot* seragam. Penyerap gelombang mikro *square patch array* atau susunan *patch* persegi ini dirancang untuk bekerja pada frekuensi tengah 2,75 GHz menggunakan bahan FR-4 Epoxy dengan nilai permitifitas relatif sebesar 4.4f/m sebagai dielektrik substrat dengan ketebalan 1,6 mm, dengan perhitungan panjang sisi substrat *single patch* 24,5mm dan panjang sisi *patch* 22,5mm. Bangun model dari penyerap gelombang mikro susunan *patch* persegi dengan 17 *slot* gradual dan tanpa *slot* dibuat dan diukur menggunakan simulator PPW (*parallel plate waveguide*) dan selanjutnya hasil pengukuran dilakukan proses *de-embedding* untuk mendapatkan hasil sesungguhnya dari pengukuran.

**Kata kunci:** AMC (*artificial magnetic conductor*), *Bandwidth*, *De-embedding*, *Microwave Absorber*, *square patch array*, PPW(*parallel plate waveguide*).

### Abstract

During the last years, implementation various application for microwave absorber is widely used. The application using printed circuit board (PCB) as the material deployment. Unfortunately bandwidth response of Artificial Magnetic Conductor (AMC) structure based microwave absorber is narrow, due to the characteristic of AMC structure its self which is construct from dielectric substrate as well as the bandwidth response of other devices such as antenna which is deployed on a dielectric substrate. The method used in this research is single patch from square patch array because of effect from boundaries so the result for single patch is same as infinite square patch array. The number of slot is from 1 to 21 slots odd number slot per single square patch and in the center position of patch. Gradual slot shown have larger response bandwidth value than uniform length slots In this microwave absorber is design to work around 2,7 Ghz frequency use FR4 EPOXY with permitifity relative 4,4 f/m as dielectric substrate with 1,6 mm of thickness. It is calculated that length side of single square patch substrate is 24,5 mm and side of patch is 22,5mm. the real model of microwave absorber square patch array with 17 slot gradual has been made and measured using PPW(*parallel plate waveguide*) simulator and then *de-embedding* has done to get the real result of measurement.

**Key word:** AMC (*artificial magnetic conductor*), *Bandwidth*, *De-embedding*, *Microwave Absorber*, *square patch array*, PPW (*parallel plate waveguide*).

## 1. PENDAHULUAN

AMC (*Artificial Magnetic Conductor*) merupakan salah satu contoh bahan metamaterial yang sifatnya mirip PMC (*Perfect magnetic Conductor*) yaitu dapat memantulkan gelombang elektromagnetik yang datang tanpa mengubah fasa pantulannya. Bahan metamaterial itu sendiri adalah material buatan berbentuk suatu struktur periodik yang tersusun atas sel/elemen satuan berjumlah terbatas yang dapat memperlihatkan sifat elektromagnetik tertentu yang tidak dapat di temukan di alam.

Permukaan 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. Sifat lainnya yaitu PMC memiliki impedansi permukaan yang tinggi atau *High Impedance Surface* (HIS) sehingga dapat menekan gelombang permukaan, hal ini menyebabkan pengurangan interferensi antara gelombang permukaan dengan radiasi utama dari antena.

Akan tetapi respon *bandwidth* dari struktur AMC berbasis *absorber* relatif sempit dikarenakan dari struktur AMC itu sendiri yang tersusun dari dielektrik substrat, yang mana respon *bandwidth* dari perangkat lain seperti antenna tersebar pada dielektrik substrat. Sesungguhnya respon *narrowband bandwidth* hampir disebabkan oleh penggunaan dielektrik substrat dengan beberapa permitifitas relatif. Akan tetapi penggunaan dielektrik substrat untuk penyebaran dari AMC tidak bisa dihindari. [2]

Oleh karena itu untuk memperluas respon *bandwidth* dalam tugas akhir ini dibentuk sebuah penyerap elektromagnetik berbentuk susunan *patch* persegi berbasis struktur AMC menggunakan teknik *multiple slot*. *Slot* pada *patch* persegi divariasikan berdasarkan jumlah *slot*, lebar dan jarak antar *slot*. Realisasi penyerap gelombang elektromagnetik dilakukan untuk membuktikan pengaruh teknik *multiple slot* pada susunan *patch* persegi terhadap perluasan *bandwidth* dengan melihat perbandingan terhadap susunan *patch* persegi tanpa *slot*.

## 2. Artificial Magnetic Conductor (AMC)

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

AMC yang berbasis teknologi *textured surface* diterapkan pada material penyerap. Karena 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. [1]

## 3. Penyerap Gelombang Elektromagnetik (Absorber)

*Absorber* 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. Persamaan permitifitas umumnya dirumuskan sebagai

$$\epsilon^* = \epsilon' - j \epsilon''$$

Permitivitas timbul dari polarisasi dielektrik material. Nilai dari  $\epsilon'$  biasa disebut sebagai konstanta dielektrik yang merupakan sesuatu yang keliru bila diterapkan pada absorber,  $\epsilon'$  dapat bervariasi secara signifikan dengan frekuensi. Nilai dari  $\epsilon''$  adalah ukuran atenuasi dari medan listrik yang disebabkan oleh material. Loss tangen listrik material didefinisikan sebagai

$$\tan \delta_e = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

Semakin besar loss tangent material, semakin besar redaman pada gelombang yang melalui materi. Analog dengan permitivitas listrik, permeabilitas magnetik yang ditulis sebagai

$$\mu^* = \mu' - j \mu''$$

Dengan loss tangent magnetik didefinisikan sebagai

$$\tan \delta_m = \frac{\mu''}{\mu'}$$

Semua komponen berkontribusi pada kompresi panjang gelombang didalam material. Selain itu, karena ditambah EM gelombang, rugi-rugi dalam medan magnet atau listrik akan melemahkan energi pada gelombang. Dalam kebanyakan absorber, baik permitivitas dan permeabilitas adalah fungsi dari frekuensi dan dapat bervariasi secara signifikan bahkan terhadap rentang frekuensi kecil. Jika permitivitas kompleks dan permeabilitas diketahui terhadap rentang frekuensi maka efeknya material pada gelombang juga akan diketahui. Satuan permitivitas adalah Farad / meter dan satuan permeabilitas yang henrys / meter. Nilai Sebenarnya untuk sebagian besar material dapat menjadi rumit dalam perhitungan. Untuk itu biasanya dibandingkan dengan permitivitas dan permeabilitas vakum. Nilainya adalah sebagai berikut:  $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$  f/m dan  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  h/m Nilai dari  $\epsilon^*$  dan  $\mu^*$  menjadi tak berdimensi karena  $\epsilon$  independen terhadap polarisasi dielektrik yang selalu berlawanan dengan medan listrik,  $\epsilon$  untuk semua material lebih besar dari ruang bebas dan selalu lebih besar dari 1<sup>[4]</sup>

## 4. Frekuensi Kerja

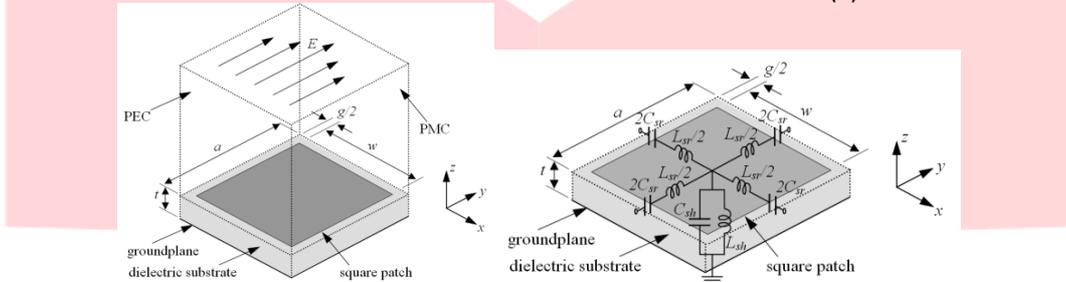
*Property* pertama yang harus ditentukan. Frekuensi kerja dari penyerap bergantung pada struktur pembangun AMC dari sebuah susunan *patch* persegi diatas sebuah pentahan dielektrik substrat yang bisa disebut juga unit sel. Oleh karena itu struktur AMC bekerja berdasarkan frekuensi resonansi dari unit sellnya. Frekuensi resonansi dapat di tentukan secara teoritis dari dimensi dan elemen dari unit sel yaitu dengan menghitung ukuran dari patch, jarak antar patch, ukuran unit sel, ketebalan dielektrik substrat, permitifitas dan permeabilitas dielektrik

substrat. Dimensi dan property dari unit sel akan menghasilkan nilai konduktansi dan induktansi dimana kedua parameter tersebut akan sangat berguna untuk menganalisis struktur AMC menggunakan teori rangkaian.<sup>[6]</sup>

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

dimana nilai variabel didapat dari rumus berikut:

$$L_{sh} = \mu t \quad C_{sh} = \frac{\epsilon w^2}{t} \quad L_{sr} = \frac{\pi w \mu}{2 \cosh^{-1}\left(\frac{a}{g}\right)} \quad C_{sr} = \frac{2\epsilon}{\pi w} \cosh^{-1}\left(\frac{a}{g}\right) \tag{2}$$



Gambar 1 (a) model karakterisasi frekuensi resonansi unit sel pada struktur array <sup>[6]</sup>  
 (b) Model rangkaian ekuivalensi setiap unit sel pada struktur AMC <sup>[6]</sup>

Gambar 1 (b) menunjukkan susunan *patch* persegi memiliki parameter lebar yaitu *w*, periodisiti unit sel yaitu *a*. jarak antar *patch* yaitu *g* dan *t* adalah ketebalan dielektrik substrat. Pada gambar 2.1 (a) merupakan ilustrasi model karakteristik frekuensi resonansi unit sel pada strktur AMC yang digunakan pada software simulasi. Unit sel di bangun pada susunan sebuah susunan *patch* persegi diatas pentanahan dielektrik substrat yang didefinisikan kondisi *bondari* sebagai *perfect electric conductor (PEC)* dan *perfect magnetic conductor* pada sisi dinding dan paralel ke medan elektrik *E* dari gelombang daang. Kondisi *bondari* dibayangkan pada unit sel untuk membentuk sebuah periode array ganda dari perluasan tak berhingga. Dengan parameter yang telah di sebutkan sebelumnya.<sup>[6]</sup>

**3. PEMBAHASAN**

**3.1 Perancangan awal**

Perancangan penyerap gelombang mikro berbentuk susunan *patch* persegi berbasis AMC dengan teknik multiple *slot* guna meningkatkan respon *bandwidth*. Perancangan susunan *patch* persegi ini berdasarkan dari spesifikasi yang telah ditentukan agar didapat hasil yang sesuai dan bekerja pada frekuensi yang diinginkan.

Dalam perancangan dan Realisasi susunan *patch* persegi ini dilakukan beberapa tahapan yaitu;

1. Penentuan dimensi dan karakteristik susunan *patch* persegi

Penentuan dimensi ini berdasarkan pada frekuensi kerja penyerap yang diinginkan dan bahan dielektrik substrat, dengan menggunakan rumus yang dari sumber terkait dapat ditentukan dimensi susunan *patch* persegi itu meliputi ukuran sisi unit sel, ukuran *patch*, jarak antar *patch*, dan ketebalan dielektrik substrat.

2. Perancangan Struktur AMC dengan software simulasi

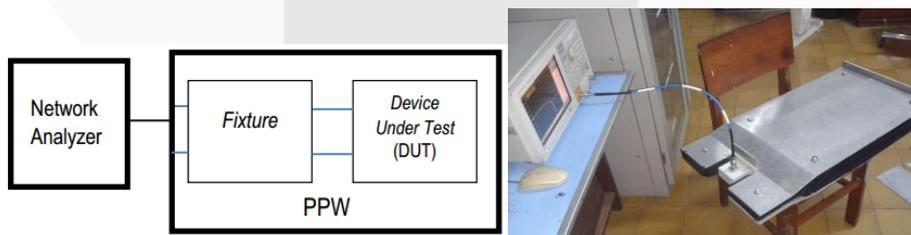
Pada tahap ini dilakukan perancangan awal pada software simulasi, software yang digunakan pada penelitian ini adalah Ansoft HFSS v.13.0. Tujuan perancangan struktur pada simulasi ini adalah mendapatkan gambaran dari spesifikasi ukuran yang telah ditentukan sebelumnya guna mendapatkan hasil yang dituju yaitu *bandwidth improvement* dengan teknik variasi *multiple slot*, sebelum dilakukannya realisasi struktur.

3. Realisasi struktur AMC

Setelah mendapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan pada hasil disimulasi pada software maka selanjutnya dilakukan realisasi struktur AMC sesuai dengan spesifikasi pada simulasi.

4. Pengukuran Penyerap susunan *patch* persegi

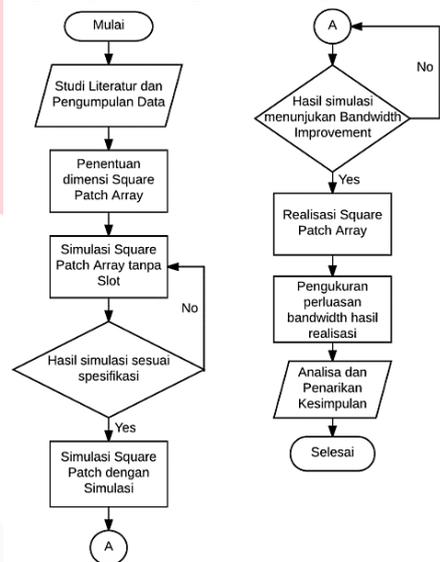
Penyerap diukur menggunakan *Paralel Plate Waveguide (PPW)* Simulator dan *Network Analyzer* berjenis E5062A 300 kHz – 3 GHz. Skema pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 2 Susunan Perangkat Pengukuran <sup>[6]</sup>

Penyerap yang merupakan DUT *Device Under Test* ditempatkan pada salah sisi PPW, sisi lainnya yang terdapat *waveguide* dihubungkan dengan *Network Analyzer* menggunakan kabel koaksial seperti terlihat pada Gambar 3.2. Gelombang elektromagnetik dibangkitkan oleh VNA kemudian dirambatkan di dalam PPW menumbuk penyerap gelombang elektromagnetik, selanjutnya gelombang elektromagnetik merambat lagi di dalam PPW dan ditangkap dan dibaca S11 oleh VNA.

Penempatan perangkat absorber pada PPW simulator di antara dua buah *absorbent* seperti yang terlihat pada Gambar 2 Kemudian ditempelkan pelat aluminium persis dibelakang penyerap gelombang elektromagnetik. Prinsip dari PPW ini adalah bahwa pelat bagian atas dan bawah berfungsi sebagai cermin sehingga struktur seolah-olah memiliki bentuk tak berhingga. Perangkat PPW ini memiliki keuntungan sebagai alat bantu pengukuran skala laboratorium untuk berbagai jenis perangkat gelombang elektromagnetik.



Gambar 3 Diagram alir penelitian

### 3.2 Spesifikasi dan Perancangan Penyerap Gelombang Mikro

Perancangan penyerap gelombang mikro atau microwave absorber bergantung pada spesifikasi yang diinginkan dan substrat yang digunakan. Pada tugas akhir ini spesifikasi dari penyerap gelombang mikro ini bekerja pada frekuensi 2,75 GHz dengan dielektrik substrat Epoxy FR4 dengan ketebalan 1.6 mm menggunakan metode AMC (*Artificial Magnetic Conductor*) bertujuan untuk mendapatkan perluasan *bandwidth* sebesar 5% dengan menggunakan teknik *multiple slot* pada patch persegi. Realisasi dari penyerap gelombang mikro ini berbentuk antenna mikrostrip dengan simensi mendekati 20X10 cm dengan pola single patch persegi berukuran 24,5mm dengan patch berukuran 22,5mm yang disusun dengan pola yang periodik.

Bahan pembuatan penyerap gelombang mikro yang digunakan adalah *epoxy FR4*, dimana *patch* dan *ground plane* terintegrasi dengan substrat maka dimensi substrat mengikuti dimensi dari penyerap gelombang mikro itu sendiri. Konsep dari AMC itu sendiri adalah adalah suatu pola *patch* periodik pada sebuah substrat yang terintegrasi dengan *ground* dimana bahan dari *patch* dan *ground* adalah *copper* atau tembaga dengan ketebalan 0,035 mm. Dimensi penyerap gelombang mikro susunan *patch* persegi yang akan di rancang memiliki ukuran kurang lebih 20x10 cm dikarenakan spesifikasi alat bantu ukur yaitu PPW.

Pada penyerap gelombang mikro dengan basis AMC ini sebuah *single patch* persegi nilainya akan sama dengan sebuah susunan *patch persegi*, oleh karena itu dimensi yang akan di tentukan adalah dimensi dari *single patch* persegi. Dalam perhitungan dimensi *single patch* persegi digunakan pendekatan rumus (2.5)

Dimana nilai yang telah di tetapkan yaitu:

- $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_1$  dimana nilai  $\epsilon_1$  adalah hasil perkalian antara nilai permitifitas tembaga yaitu 1F/m dan permitifitas epoxy FR4 yaitu 4,4 F/m ,maka didapat nilai :  $\epsilon = 3.896 \times 10^{-11}$  F/m
- $\mu = \mu_0 \cdot \mu_1$  dimana nilai  $\mu_1$  adalah hasil perkalian antara nilai permeabilitas tembaga yaitu 1 h/m dan nilai  $\mu_1 = 1.0000004h/m$  maka didapat nilai :  $\mu = 1.257 \times 10^{-6}$  H/m
- $g$  : 2 mm yaitu jarak antar *patch* atau gab
- $t$  : 1.6mm yaitu ketebalan substrat epoxy FR4 sesuai dengan ketebalan yang tersedia di pabrikasi bahan.
- $f_0$  : 2.75 GHz yaitu frekuensi resonansi sesuai dengan spesifikasi penyerap yang diinginkan.
- Panjang sisi substrat unit cell ( $a$ ) dan panjang sisi *patch* persegi ( $w$ ) dapat ditentukan dengan memasukan nilai variabel yang telah ada ke rumus (3.1) dengan memasukan nilai pada rumus (2.5) dan (2.6) terlebih dahulu.

Percobaan beberapa nilai  $a$  dan  $w$  yang sesuai dapat terlihat di tabel 3.1 untuk mendapatkan nilai frekuensi resonansi yang mendekati 2,75GHz.

Tabel 1 Tabel percobaan nilai  $a$  dan  $w$  untuk menentukan nilai  $f_0$

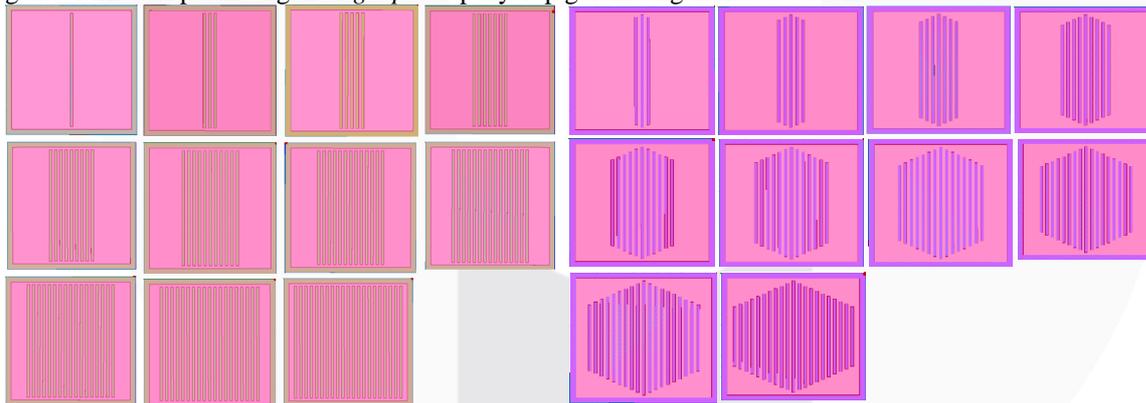
Variabel tetap	sisi substrat (a)	0.0245m	0.0265m	0.0285m	
$\mu_0$	1.25664x10 <sup>-06</sup> F/m	sisi patch (w)	0.0225m	0.0265m	
$\mu_1$	1.0000004 F/m	Csr	1.78x10 <sup>-12</sup>	1.99x10 <sup>-12</sup>	2.201x10 <sup>-12</sup>
$\epsilon_0$	8.854E-12 H/m	Lsr	1.39x10 <sup>-08</sup>	1.476x10 <sup>-08</sup>	1.562x10 <sup>-08</sup>
$\epsilon_1$	4.4 H/m	Csh	1.51x10 <sup>-11</sup>	1.794x10 <sup>-11</sup>	2.099x10 <sup>-11</sup>
$\epsilon_{udara}$	1.0006 H/m	Lsh	2.01x10 <sup>-09</sup>	2.011x10 <sup>-09</sup>	2.011x10 <sup>-09</sup>
$t$	0.0016 m	$f_0$	2.97 GHz	2.79 GHz	2.645 GHz
$g$	0.002 m				
$Lsr Csr + Lsh Csh + Lsr Csh$			2.65x10 <sup>-19</sup>	3.303x10 <sup>-19</sup>	4.044x10 <sup>-19</sup>
$Lsr Lsh Csr Csh$			7.54x10 <sup>-40</sup>	1.06x10 <sup>-39</sup>	1.451x10 <sup>-39</sup>
$\sqrt{(Lsr Csr + Lsh Csh + Lsr Csh)^2 - 4Lsr Lsh Csr Csh}$			2.6x10 <sup>-19</sup>	3.238x10 <sup>-19</sup>	3.972x10 <sup>-19</sup>

Tabel 2 dimensi dan spesifikasi penyerap gelombang mikro susunan patch persegi

Komponen	Ukuran
Panjang sisi substrat ( $a$ )	24.5mm
Panjang sisi patch persegi( $w$ )	22,5mm
Ketebalan patch ( $t$ ) berdasarkan pada gambar	0,0035 mm
Ketebalan dielektrik substrat ( $h$ )pada perhitungan ( $t$ ) epoxy FR4	1,6mm
Panjang slot ( $ls$ )	21,5mm
Lebar slot ( $ws$ ) dan jarak slot ( $gs$ )	0,5mm
Faktor gradual ( $fg$ )	0,5mm

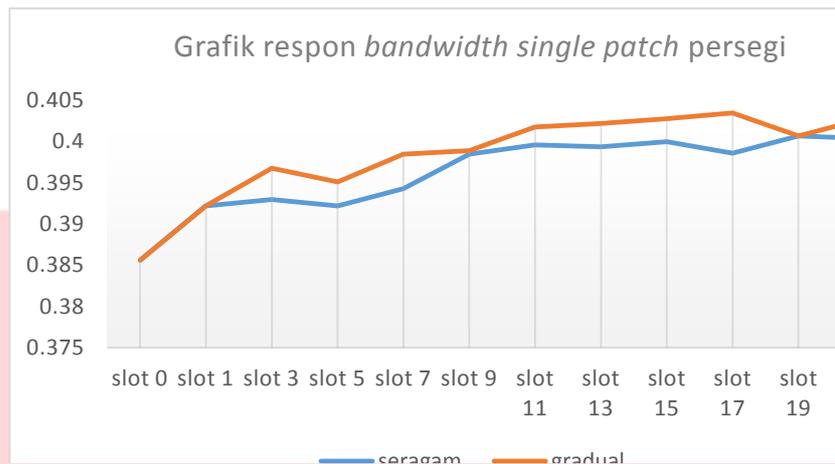
### 3.3 Perancangan single patch penyerap gelombang mikro patch persegi pada simulasi

Seperti yang dijelaskan sebelumnya metode dalam perancangan penyerap gelombang mikro susunan patch persegi menggunakan unit sel atau single patch karena efek dari boundary sehingga hasil untuk single patch sama dengan susunan patch tak hingga. Variasi panjang slot seragam dan gradual atau ukuran berkurang seiring bertambahnya slot. Jumlah slot dari 1 hingga 21 dengan jumlah ganjil berpusat pada tengah patch. Berikut adalah gambar 2D dari perancangan single patch penyerap gelombang mikro beserta hasil simulasi.



Gambar 4 Rancangan 2D single patch dengan slot dengan jumlah slot 1 sampai 21 berpusat di tengah patch dengan variasi panjang slot (kiri) seragam (kanan) gradual

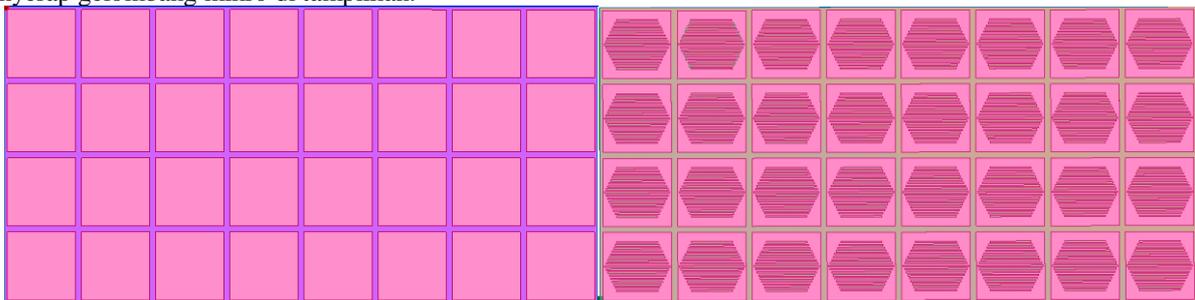
Sesuai dengan perancangan awal simulasi sesuai dengan spesifikasi yang didapat dan dengan variasi teknik multiple slot hasil simulasi yang dimunculkan setelah proses running adalah return loss S(1,1) untuk melihat respon bandwidth dari single patch persegi tanpa slot dan dengan slot yaitu variasi slot seragam dan gradual. Dari grafik hasil simulasi pada gambar 5 dapat terlihat variasi slot gradual memiliki respon bandwidth lebih besar dibanding dengan single patch persegi dengan slot seragam dan nilai respon bandwidth paling besar yaitu 0.4035 GHz yaitu single patch persegi dengan variasi gradual slot berjumlah 17 buah.



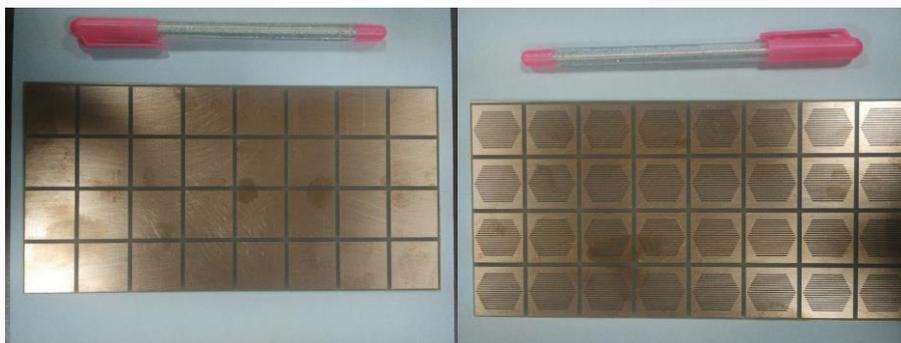
Gambar 5 Grafik hasil simulasi *single patch* persegi

### 3.4 Perancangan penyerap gelombang mikro susunan *patch* persegi

Berdasarkan hasil simulasi *single patch* sebelumnya susunan *patch* persegi yang dirancang yaitu dengan multiple *slot* jenis gradual dan berjumlah 17 buah *slot* dan susunan *patch* persegi tanpa *slot* untuk melihat hasil perbandingan. Berikut adalah rancangan 2D dan hasil *running* simulasi dari susunan *patch* persegi gradual 17 *slot* dan susunan *patch* persegi tanpa *slot* dengan ukuran 19.6cmX9.8cm dengan jumlah *patch* 4X8. Hasil realisasi dari penyerap gelombang mikro di tampilkan.



Gambar 6 2D susunan *patch* persegi 4x8 (kiri) tanpa *slot* (kanan) 17 *slot* gradual



Gambar 7 Realisasi susunan *patch* persegi 4x8 (kiri) tanpa *slot* (kanan) dengan 17 *slot* gradual

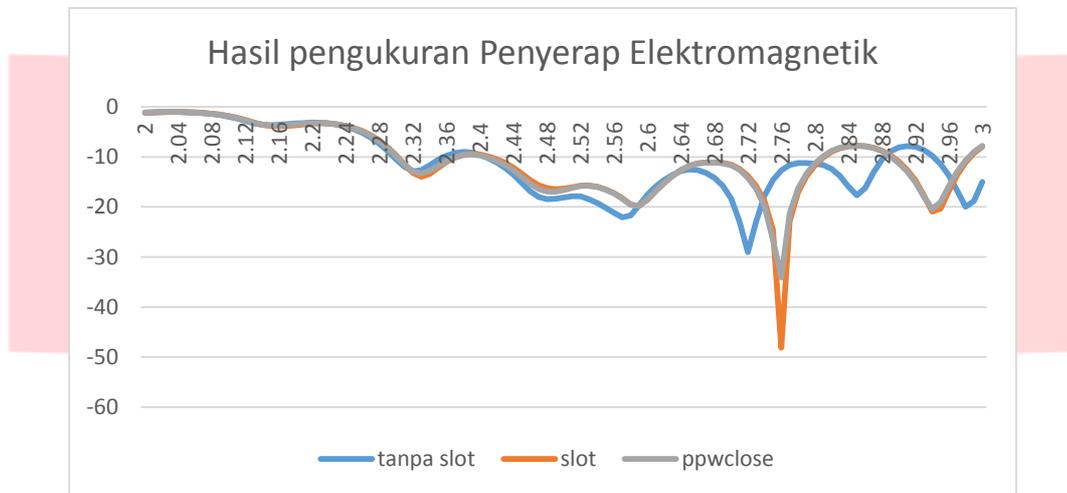
## 5. Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran

Analisis dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi dan pengukuran susunan *patch* persegi tanpa *slot* dengan *slot* untuk melihat pengaruh teknik multiple *slot* pada penyerap gelombang mikro terhadap peningkatan *bandwidth*.

Tabel 5 Hasil simulasi susunan *patch* persegi tanpa dan dengan *slot*

Parameter	Penyerap tanpa slot	Penyerap slot Gradual
Return loss S(1,1)	-5.0708 dB	-4.2924 dB
Frekuensi tengah fC	2.67 Ghz	2.81 Ghz
Frekuensi atas fH	2.8753 Ghz	3.0225 Ghz
Frekuensi bawah fB	2.4948 Ghz	2.6215 Ghz
Bandwidth	0.3805 Ghz	0.4010 Ghz

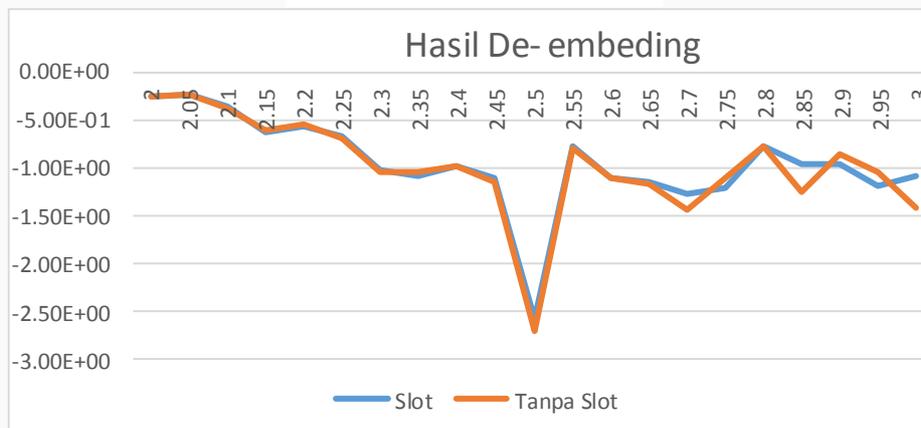
Dari tabel diatas dapat terlihat adanya peningkatan *bandwidth* sebesar 20,5 Mhz atau sebesar 5,01% dengan penggunaan teknik multiple slot. Selanjutnya adalah hasil pengukuran dari penyerap yang telah direalisasikan berbentuk susunan *patch* persegi tanpa *slot* dan dengan *slot*. Data di sampaikan berupa grafik hasil pengukuran DUT yaitu hasil pengukuran sebelum dilakukan proses *de-embedding*.



Gambar 8 Grafik hasil pengukuran nilai S11 amplitudo magnitudo DUT atau penyerap tanpa slot dan dengan slot gradual serta PPWclose

Setelah dilakukan pengukuran didapatkan hasil seperti grafik diatas. Dari grafik dapat terlihat bahwa nilai hasil pengukuran penyerap dengan slot sangat mirip dengan grafik pengukuran PPW close (pengujian alat ukur PPW yang di ujung corongnya tertutup plat logam). Hal ini wajar karena permukaan AMC memiliki impedansi yang sangat besar sehingga hasilnya akan mirip dengan permukaan logam biasa. Sedangkan penyerap tanpa slot memiliki hasil yang berbeda.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan nilai hasil pengukuran bukan merupakan nilai murni dari DUT karena masih terakumulasi dengan pengukuran alat simulator dalam hal ini adalah PPW atau fixture. Oleh Karena itu perlu dilakukan proses *deembedding* untuk mendapatkan nilai hasil pengukuran penyerap saja.



Gambar 9 Hasil pengukuran setelah proses *de-embedding*

Dari gambar 9 dapat terlihat hasil nilai pengukuran setelah dilakukan proses *deembedding* pada penyerap menggunakan slot dan tanpa slot. Dari hasil terlihat bahwa nilai pengukuran tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan dan tidak terlihat adanya penambahan *bandwidth*. Hal ini sangat disayangkan karena tidak terlihat adanya pengaruh slot dalam penambahan lebar *bandwidth*. Beberapa analisis terkait hasil tersebut yaitu:

1. Kemungkinan bahan dalam realisasi penyerap berbeda dengan karakteristik bahan simulasi.
2. Dalam penentuan *bandwidth* pada simulasi digunakan batas return loss pada titik -1 dB karena nilai return lossnya hanya berada pada sekitar -5 dB yang mana tingkat penyerapannya sangat kecil, sehingga hasil realisasi juga mengikuti hasil simulasi bahwa tingkat penyerapan dari square patch array sangat rendah.

Analisis yang dapat disimpulkan yaitu proses perancangan penyerap pada simulasi berhasil karena terlihat penambahan lebar *bandwidth* karena adanya slot pada square patch array. Sedangkan hasil pengukuran pada realisasi rancangan dapat di katakan tidak berhasil karena nilai setelah teknik *deembedding* tidak menunjukkan adanya penambahan lebar *bandwidth* pada square patch array dengan slot terhadap square patch array tanpa slot.

## 6. Kesimpulan

Dari keseluruhan proses perencanaan, simulasi, pembuatan dan pengukuran penyerap gelombang mikro berbentuk susunan *patch* persegi berbasis AMC dengan teknik *multiple slot* maka dapat disimpulkan Variabel peubah dalam menentukan frekuensi resonansi adalah panjang sisi substrat ( $a$ ) dan *patch* ( $w$ ) dengan nilai frekuensi tengah  $f_c=2,75\text{GHz}$  didapat nilai  $a=24,5\text{mm}$  dan  $w=22,5\text{ mm}$  dengan bahan dielektrik substrat EPOXY FR-4. *Bandwidth* pada single *patch* persegi dengan jumlah *slot* 17 jenis gradual memiliki *bandwidth* paling lebar dibanding dengan *slot* seragam dan gradual dengan jumlah *slot* berbeda yaitu sebesar  $0.4035\text{ GHz}$  dimana *bandwidth single patch* persegi tanpa *slot* sebesar  $0,3856\text{ GHz}$ . *Bandwidth* susunan *patch* persegi tanpa *slot* sebesar  $0.3805\text{ MHz}$  dan *bandwidth* susunan *patch* persegi dengan *slot* 17 buah gradual sebesar  $0.4010\text{ MHz}$ . Penggunaan *slot* pada simulasi pada susunan *patch* persegi memperlihatkan hasil respon *bandwidth* yang semakin lebar sebesar  $20,5\text{MHz}$ . Target penambahan *bandwidth* sebesar  $5\%$  dari *bandwidth* susunan *patch* persegi tanpa *slot* berhasil dicapai pada hasil simulasi bernilai  $5.01\%$ . Hasil pengukuran realisasi susunan *patch* persegi tanpa *slot* dan dengan menggunakan *slot* telah dilakukan tetapi hasil pengukuran belum merupakan nilai susunan *patch* persegi yang sebenarnya karena masih terakumulasi dengan pengukuran simulator ppw dalam pengukuran maka diperlukan teknik *de-embedding*. Hasil proses *de-embedding* setelah dilakukan tidak terlihat adanya penambahan *bandwidth* pada hasil pengukuran susunan *patch* persegi dengan *slot* jika dibandingkan dengan susunan *patch* persegi tanpa *slot*. Penyebab utama dari kegagalan proses pengukuran realisasi penyerap karena pada simulasi nilai *return loss* susunan *patch* persegi tidak ada yang berada di bawah nilai  $-10\text{ dB}$  yang berarti tidak ada daya yang diserap oleh penyerap. Penelitian selanjutnya disarankan dalam pemilihan bahan untuk dielektrik substrat perlu diperhatikan dengan baik spesifikasi dari bahan dan kebutuhan pembuatan penyerap. Pengukuran dan perumusan dimensi *patch persegi* pada simulasi digunakan *parametric* dan *animated* untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Pola *slot* pada *patch* kedepannya lebih divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap respon *bandwidth* pada penyerap. Pengukuran dengan alat sebaiknya dilakukan dengan lebih akurat dan di ruangan hampa sehingga didapat hasil tanpa ada pengaruh lain. Memastikan tingkat serap penyerap pada simulasi tinggi sehingga pada realisasi alat dapat diukur nilai parameter penyerap yang dicari.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. O. Nur, A. Munir, Sugihartono, A. Kurniawan, "Perancangan Dan Fabrikasi Penyerap Gelombang Elektromagnetik Patch Segi Enam Berbasis Surface Textured", TEKTRIKA, Januari 2016.
- [2] L. O. Nur, A. Munir, "Bandwidth Improvement of Square Patch Array-based AMC Using Multiple Slots Technique", 3rd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT), 2015.
- [3] Bhattacharya. A., "Modeling and Simulation of Metamaterial-Based Devices for Industrial Applications Application Engineer", (white paper), CST AG, Darmstadt, Germany.
- [4] Hippel. A., "Theory and Application of RF/ Microwave Absorbers", (white paper), Emerson & Cuming Microwave Products, Inc.
- [5] L. O. Nur, A. Kurniawan, Sugihartono, A. Munir, "Theoretical Analysis of Resonant Frequency for AMC-based Absorber Composed of Square Patch Array", International Journal on Electrical Engineering and Informatics, Bandung, 2015.
- [6] A. Munir, "Hybrid De-embedding Technique for Microwave Absorber Characterization" TELKOMNIKA, Bandung, 2011.