

# PERANCANGAN DAN FABRIKASI PENYERAP GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK PATCH SEGI ENAM BERBASIS *SURFACE TEXTURED*

Levy Olivia Nur<sup>1</sup>, Achmad Munir<sup>2</sup>, Sugihartono<sup>3</sup>, Adit Kurniawan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>2,3,4</sup>Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

<sup>1</sup>[levyolivia@telkomuniversity.ac.id](mailto:levyolivia@telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[munir@ieee.com](mailto:munir@ieee.com), <sup>3</sup>[sugihartono@stei.itb.ac.id](mailto:sugihartono@stei.itb.ac.id), <sup>4</sup>[adit@stei.itb.ac.id](mailto:adit@stei.itb.ac.id)

## Abstrak

Teknologi *surface textured* yang merupakan salah satu teknik untuk pengembangan penyerap gelombang elektromagnetik telah mengalami perkembangan yang cukup pesat dalam dekade terakhir ini. Pada aplikasi penyerap, teknologi ini mampu mengurangi ketebalan material sehingga memungkinkan realisasi material yang lebih tipis. Secara prinsip, teknik ini menggunakan lapisan AMC (*artificial magnetic conductor*) yang mempunyai *high impedance surface*. Untuk mendapatkan tingkat penyerapan yang tinggi yang dapat bekerja pada frekuensi penyerapan yang diinginkan, *metal patch* dari penyerap tersebut dibuat dengan bentuk tertentu. Pada penelitian ini, dilakukan investigasi bentuk *patch* segi enam sama sisi yang dicetak di atas substrat dielektrik FR4 Epoxy dengan ketebalan 3,2 mm. Ukuran substrat dielektrik sel satuan yang didapatkan untuk bentuk segi enam 30 mm × 26,5 mm, sedangkan lebar sisi *patch* yang diperoleh 14 mm. Selanjutnya untuk mendapatkan tingkat penyerapan yang baik dilakukan penambahan elemen resistif pada *patch*. Nilai resistor yang perlu ditambahkan pada *patch* saat perancangan adalah 514 Ω dengan tingkat penyerapan pada frekuensi kerjanya sebesar 47 dB. Pengukuran telah dilakukan dengan menggunakan alat bantu PPW simulator. Kemudian dilakukan proses pemisahan karakteristik penyerap dari alat pengukurannya. Penambahan resistor sebesar 487 Ω memberikan pengaruh karakteristik penyerapan hingga 34 dB lebih baik sekitar 7 dB pada frekuensi resonansi 2,78 GHz bila dibandingkan dengan pengukuran tanpa R.

**Kata Kunci:** AMC, penyerap, karakterisasi, *patch*, *surface textured*, sel satuan

## Abstract

The surface textured technology is one of electromagnetic wave absorption techniques that has been developed significantly in the last decades. In the application of absorption, the surface textured technique can reduce the thickness of materials so that less material is needed in many applications. Principally, this technique is actually using the artificial magnetic conductor (AMC) layer that has high impedance surface. The metal patch of the absorber was formed in the certain pattern to get high absorption level that can work on the desired absorption frequency. In this article the hexagonal patch fabricated on the dielectric substrate of FR4 Epoxy with the 3.2 mm of the thickness has been investigated. It is calculated that the dielectric substrate of the unit cell has dimension at 30 mm × 26.5 mm. The patch width is obtained at 14 mm. Moreover the resistive elements have been added to the patch to improve the absorption. According to the simulation process, the addition of the resistive elements of 514 Ω on the patch can yield the absorption as many as 47 dB. The real model has also been measured using paralel plate waveguide (PPW) simulator. The effects of unwanted portions of the structure that are embedded in the measured data were removed by subtracting their contribution. It is obtained that the addition of the resistive elements at 487 Ω on the 2.78 GHz of frequency can yield the absorption as many as 34 dB which is 7 dB better compared to the patch without R.

**Keywords:** AMC, absorber, characterization, *patch*, *surface textured*, unit cell

## 1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian bidang material elektromagnetik menunjukkan tren perkembangan yang cukup pesat, salah satunya adalah *metamaterial*. Pada dasarnya, *metamaterial* atau sering juga disebut dengan *artificial material* adalah suatu struktur periodik yang tersusun atas

sel/elemen satuan berjumlah terbatas yang dapat memperlihatkan sifat elektromagnetik tertentu yang tidak ditemukan di alam. Salah satu contoh dari metamaterial adalah 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 [13]. 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 dapat menekan gelombang permukaan, hal ini menyebabkan pengurangan interferensi antara gelombang permukaan dengan radiasi utama dari antenna. AMC ini memberikan perbaikan untuk sistem antenna dan memungkinkan berbagai aplikasi yang potensial pada antenna, *groundplane*, *resonator*, *reflector*, *absorber*, dan komponen antenna lainnya [1, 2, 11, 12, 14].

Teknik yang dapat dilakukan untuk merealisasikan AMC adalah penggunaan teknologi permukaan bertekstur (*textured surface*). Teknik ini diperkenalkan oleh Sievenpiper berupa suatu struktur yang memiliki impedansi permukaan tinggi terdiri dari susunan *metal patch* periodik sebagai sel satuannya yang dihubungkan oleh konduktor vertikal (*via*) dengan *groundplane* [8, 9]. Namun kehadiran *via* ini cukup menyulitkan dalam proses implementasinya sehingga memotivasi beberapa penelitian berikutnya untuk menghilangkan *via* sehingga menjadi suatu struktur yang *planar* [1, 2, 14].

Pada penelitian ini, AMC yang berbasis teknologi *textured surface* diterapkan pada material penyerap. Seperti sudah diketahui bahwa penelitian yang terkait penyerap gelombang elektromagnetik beserta radiasinya, akhir-akhir ini telah banyak menarik perhatian para peneliti. Beberapa aplikasi dari penyerap gelombang elektromagnetik yang biasa ditemui diantaranya untuk mengurangi interferensi dari elektromagnetik, pelindung dari gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan, *anechoic chambers* dan sebagainya. Pada *tracking radar application*, material penyerap dapat digunakan untuk mengurangi *radar cross section* (RCS) dari suatu objek. 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 [3 – 7, 10].

Dalam penelitian ini, usaha untuk mendapatkan tingkat penyerapan yang tinggi pada frekuensi penyerapan yang diinginkan dilakukan dengan menginvestigasi bentuk *metal patch* segi enam yang dicetak di atas sebuah substrat dielektrik. Koefisien refleksi dipakai sebagai indikator tingkat penyerapan. Penambahan elemen eksternal pada *patch* juga diinvestigasi dalam penelitian ini untuk mendapatkan tingkat penyerapan yang lebih tinggi. Realisasi dengan fabrikasi penyerap gelombang elektromagnetik juga dilakukan untuk membuktikan

pengaruh perubahan dimensi terhadap frekuensi resonansi dan pengaruh penambahan elemen resistif kepada *metal patch*.

## 2. Penyerap Berbasis Patch Segi Enam

Gambar 1 menunjukkan bentuk *patch* sel satuan penyerap gelombang elektromagnetik menggunakan lapisan AMC. Komposisi penyerap dengan *patch* segi enam yang dicetak pada sebuah substrat dielektrik yang mempunyai lebar substrat ( $a$ ) 30 mm  $\times$  26,5 mm dan lebar sisi *patch* ( $w$ ) 14 mm.

Pada disertasi Sievenpiper yang berjudul “*High Impedance Electromagnetic Surface*”, diperkenalkan persamaan (1) dan (2) yang dapat digunakan untuk menentukan nilai  $L$  dan  $C$  dengan mengatur dimensi, ketebalan dan permitivitas dari suatu *patch* [6]. Dari persamaan (1) dan (2), kita akan mendapatkan persamaan (3) untuk menentukan frekuensi resonansi dari *patch* tersebut.

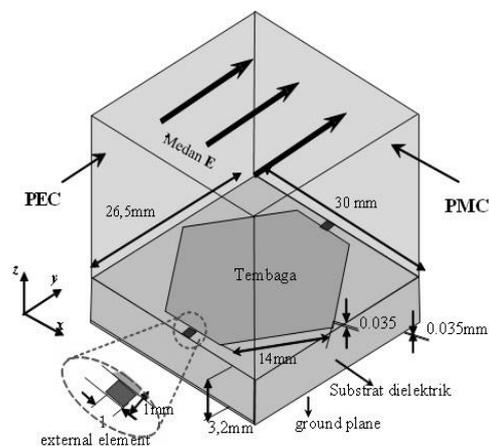
$$C = \frac{w}{\pi} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \cosh^{-1} \left( \frac{a}{g} \right) \quad (1)$$

$$L = \mu_0 t \quad (2)$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

$\mu_0$  adalah permeabilitas dari ruang bebas,  $\varepsilon_1$  permitivitas ruang bebas dan  $\varepsilon_2$  permitivitas substrat.

Model penyesuaian impedansi dari saluran transmisi seperti yang terlihat pada Gambar 2 digunakan untuk menganalisa sifat-sifat pantulan pada struktur permukaan bertekstur dari sel satuan tersebut. Pendekatan analisis ini dimungkinkan karena sel satuan mempunyai dimensi yang jauh lebih kecil dari panjang gelombangnya ( $\lambda$ ). Koefisien refleksi ( $\Gamma$ ) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (4).

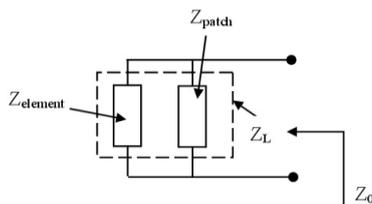


Gambar 1. Sel Satuan Patch Segi Enam

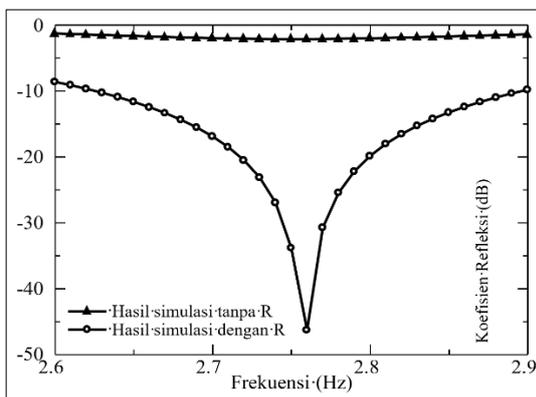
$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (4)$$

Dari persamaan (4),  $Z_0$  adalah impedansi udara bebas ( $120\pi \Omega$ ) dan  $Z_L$  adalah impedansi beban yang terdiri dari impedansi permukaan bertekstur ( $Z_{patch}$ ) yang ditempatkan secara paralel dengan impedansi elemen eksternal yang dipasangkan pada permukaan bertekstur ( $Z_{element}$ ). Agar koefisien pantul dapat diminimalisir atau bahkan bernilai nol, nilai impedansi beban ( $Z_L$ ) harus mendekati atau sama dengan impedansi udara bebas ( $Z_0$ ). Kondisi ini dipenuhi dengan membuat impedansi elemen eksternal ( $Z_{element}$ ) lebih rendah dari impedansi permukaan bertekstur ( $Z_{patch}$ ) karena biasanya impedansi permukaan bertekstur jauh lebih besar dari impedansi udara bebas. Bila kondisi ini terjadi maka jumlah energi yang dikembalikan dari struktur permukaan bertekstur dapat ditekan secara maksimal, sehingga berefek pada peningkatan penyerapan energi yang diterima.

Hubungan antara impedansi udara bebas ( $Z_0$ ) dengan impedansi permukaan bertekstur ( $Z_{patch}$ ) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2, dapat dituliskan dalam persamaan (5).



**Gambar 2. Model Penyesuaian Impedansi dari Saluran Transmisi**



**Gambar 3. Perbandingan Antara Hasil Simulasi dengan R dan Tanpa R**



**Gambar 4. Susunan Perangkat Pengukuran**

$$\frac{1}{Z_{patch}} = \frac{1}{Z_0} - \frac{1}{Z_{element}} \quad (5)$$

Dari persamaan (5), jika nilai impedansi permukaan bertekstur ( $Z_{patch}$ ) dapat ditentukan maka nilai dari elemen eksternal yang dihubungkan pada struktur permukaan bertekstur ( $Z_{element}$ ) dapat dicari.

### 3. Hasil Perancangan

Perancangan bentuk *patch* sel satuan penyerap gelombang elektromagnetik dilakukan secara numerik berbahan substrat dielektrik FR4 Epoxy dengan permitivitas relatif 4,4. Rugi-rugi substrat dielektrik dan rugi-rugi *metal patch* juga tidak diperhitungkan dalam karakterisasi tersebut. Koefisien refleksi hasil karakterisasi dari *patch* berbentuk segi enam sama sisi ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat dari hasil karakterisasi tersebut dengan penambahan elemen resistif  $R = 514 \Omega$  frekuensi kerja untuk *patch* segi enam berada di sekitar 2,76 GHz dan koefisien refleksi yang didapatkan adalah -47 dB. Tingkat penyerapannya lebih baik sekitar 45 dB dari hasil tanpa penambahan elemen resistif.

Elemen eksternal berupa resistor yang ditambahkan memiliki sifat resistif yang dapat mengatur besarnya impedansi permukaan agar bersesuaian dengan besarnya impedansi udara bebas tanpa secara signifikan menggeser frekuensi kerjanya.

### 4. Eksperimen

Pengukuran dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro (LTRG) ITB. Penyerap diukur menggunakan *Parallel Plate Waveguide (PPW) Simulator* dan *Network Analyzer* berjenis E5062A 300 kHz – 3 GHz. Skema pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.

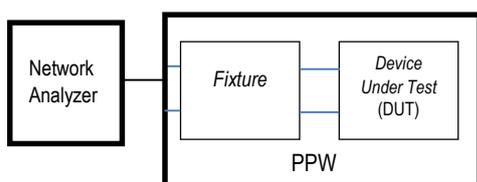
Penyerap yang merupakan DUT ditempatkan pada salah sisi PPW, sisi lainnya yang terdapat *waveguide* dihubungkan dengan *Network Analyzer* menggunakan kabel koaksial seperti terlihat pada Gambar 5. Gelombang elektromagnetik dibangkitkan oleh VNA kemudian dirambatkan di dalam PPW menumbuk penyerap gelombang elektromagnetik, selanjutnya gelombang elektromagnetik merambat lagi di dalam PPW dan ditangkap dan dibaca  $S_{11}$  oleh VNA.

Penempatan perangkat *absorber* pada PPW *simulator* di antara dua buah *absorbent* seperti yang terlihat pada Gambar 5. 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-oleh memiliki bentuk tak berhingga. Perangkat PPW ini memiliki keuntungan sebagai alat bantu pengukuran skala laboratorium

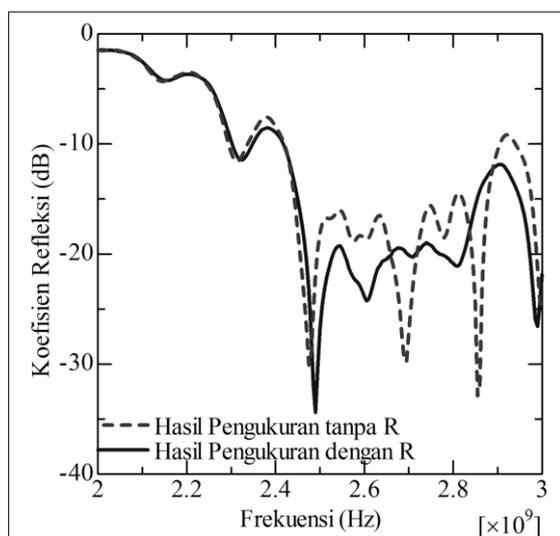
untuk berbagai jenis perangkat gelombang elektromagnetik.

Hasil pengukuran yang didapatkan dari proses pengukuran yang dilakukan seperti diagram Gambar 4 terlihat pada grafik Gambar 6. Hasil pengukuran tersebut bukan menunjukkan koefisien refleksi dari penyerap gelombang elektromagnetik sesungguhnya, karena  $S_{11}$  yang terbaca pada VNA masih perpaduan antara penyerap gelombang elektromagnetik dengan *fixture* PPW. Sehingga, untuk mendapatkan karakteristik penyerap gelombang elektromagnetik yang sesungguhnya harus digunakan metode lain untuk memisahkan antara penyerap gelombang elektromagnetik dengan PPW-nya.

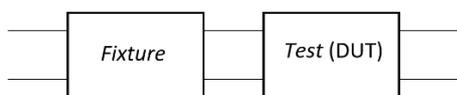
Teknik *deembedding* pada *penyerap gelombang elektromagnetik* adalah teknik memisahkan karakteristik perangkat pengukuran dari hasil pengukuran penyerap gelombang elektromagnetik. Teknik yang dilakukan dengan menggabungkan hasil pengukuran perangkat pengukuran dengan model simulasi 3D EM. Data diproses menggunakan kalkulasi matriks parameter  $S$  atau parameter  $T$ .



**Gambar 5. Penempatan Penyerap Gelombang Elektromagnetik pada PPW**



**Gambar 6. Hasil Pengukuran Patch Segi Enam FR4 Epoxy dengan dan tanpa R Menggunakan PPW**



**Gambar 7. Skema Pengukuran Penyerap Gelombang Elektromagnetik**

Teknik ini mengasumsikan perangkat pengukuran seperti saluran transmisi sempurna yang memiliki respon fasa linier, tidak memiliki rugi-rugi, dan impedansinya konstan. Objek yang diukur pada penelitian ini adalah penyerap gelombang elektromagnetik yang kemudian dikenal sebagai DUT (*Device Under Test*) sementara perangkat pengukuran disebut kemudian sebagai *fixture*.

Skema pengukuran penyerap gelombang elektromagnetik menggunakan perangkat pengukuran terlihat pada Gambar 5. Teknik yang dilakukan adalah menggunakan persamaan (6) dan (7) untuk mensimulasikan parameter  $T$  dan kemudian diubah ke parameter  $S$ .

$$[T_{Total}] = [T_{Fixture}] [T_{DUT}] \quad (6)$$

$$[T_{DUT}] = [T_{Fixture}]^{-1} [T_{Total}] \quad (7)$$

$T_{total}$  dan  $T_{fixture}$  diperoleh dari pengukuran fisik. Proses pemisahan  $T_{fixture}$  dari  $T_{total}$  dapat dilakukan dengan mengalikan invers  $T_{fixture}$  pada  $T_{total}$ . Sehingga menghasilkan parameter  $T_{DUT}$  yang merupakan karakteristik penyerap gelombang elektromagnetik (DUT) terlepas dari komponen  $T$  perangkat pengukuran. Selanjutnya untuk mendapatkan model perangkat pengukuran dilakukan proses simulasi struktur perangkat pengukuran dalam parameter  $S$  atau  $T$ . Kemudian mengkonversikan parameter  $S$  ke parameter  $T$ , baik dari hasil simulasi maupun pengukuran menggunakan persamaan (8).

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{S_{21}} \begin{bmatrix} -(S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}) & S_{11} \\ -S_{22} & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Untuk mendapatkan parameter  $T$  dari penyerap gelombang elektromagnetik, dapat menggunakan persamaan (9):

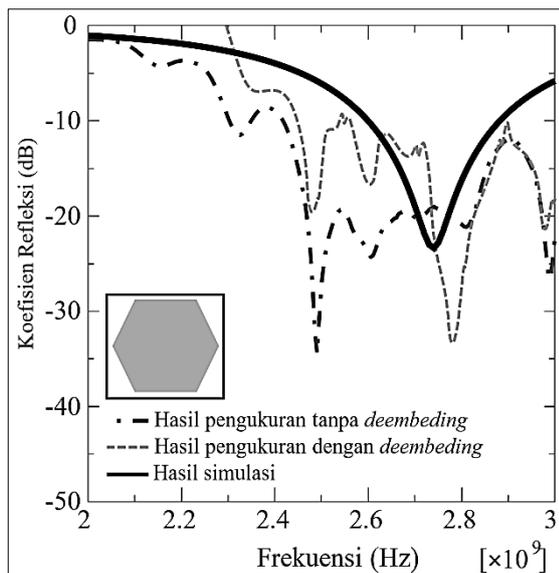
$$[T_{DUT}] = [T_{Fixture}]_{simulasi}^{-1} [T_{DUT}] [T_{fixture}]_{simulated} \quad (9)$$

Kemudian, konversikan kembali dari parameter  $T$  ke parameter  $S$  menggunakan persamaan (10) untuk mendapatkan nilai parameter  $S$  dari penyerap gelombang elektromagnetik saja.

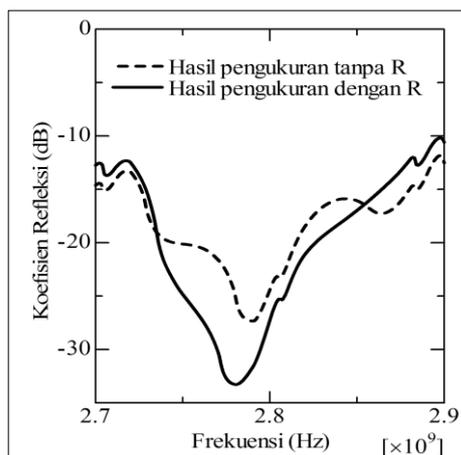
$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{T_{22}} \begin{bmatrix} T_{12} & T_{11}T_{22} - T_{12}T_{21} \\ 1 & -T_{21} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Gambar 8 memperlihatkan hasil pengukuran menggunakan proses *deembedding* dibandingkan dengan hasil pengukuran tanpa proses *deembedding*. Dari Gambar 8 tersebut, terlihat bahwa karakteristik grafik pengukuran menggunakan proses *deembedding* memiliki kecenderungan mendekati grafik simulasi dibandingkan dengan grafik hasil pengukuran tanpa proses *deembedding*. Grafik hasil pengukuran dengan

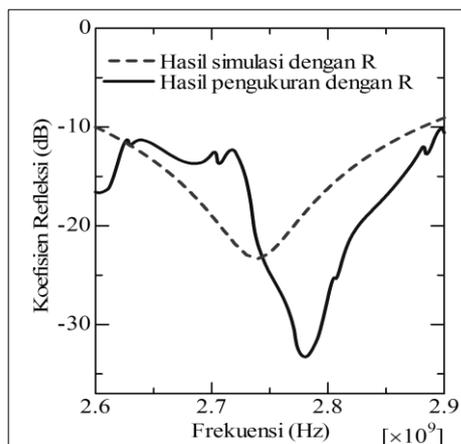
*deembedding* merupakan hasil pemisahan karakterisasi penyerap dari pengaruh PPW.



**Gambar 8. Karakteristik Hasil Pengukuran Sebelum dan Setelah Proses *Deembedding***



**Gambar 9. Perbandingan Hasil Pengukuran FR4 dengan dan tanpa R Setelah Proses *Deembedding***



**Gambar 10. Perbandingan Antara Hasil Simulasi dengan Pengukuran Setelah Proses *Deembedding***

Adapun grafik hasil pengukuran tanpa *deembedding* memiliki karakteristik *fixture* yang ikut serta dalam proses pengukuran. Sementara itu grafik hasil simulasi hanya mengkarakterisasi penyerap saja. Itulah sebabnya mengapa grafik hasil pengukuran dengan *deembedding* memiliki kecenderungan yang serupa dengan hasil simulasi.

Perbandingan hasil pengukuran setelah melalui proses *deembedding* diperlihatkan oleh Gambar 9 dan 10. Gambar 9 menunjukkan karakterisasi *patch* segi enam dengan  $R = 487 \Omega$  pada frekuensi resonansi sekitar 2,78 GHz memiliki tingkat penyerapan hingga 34 dB lebih baik sekitar 7 dB bila dibandingkan dengan struktur tanpa penambahan elemen resistif. Penambahan elemen resistif sebesar  $487 \Omega$  dikarenakan ketersediaan di pasaran yang paling mendekati resistor hasil pemilihan simulasi. Dari gambar tersebut juga terlihat lebar frekuensi kerja yang hampir menyerupai antara penyerap *patch* segi enam dengan dan tanpa penambahan  $R$ .

Sesuai dengan hasil perencanaan bahwa penambahan elemen resistif dapat meningkatkan daya serap penyerap gelombang elektromagnetik karena impedansi permukaan menjadi sesuai dengan impedansi udara.

Gambar 10 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dengan pengukuran. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa hasil pengukuran mengalami pergeseran frekuensi resonansi sekitar 50 MHz. Bila kita menggunakan dimensi yang sama antara prancangan dan simulasi, perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh pengaruh konstanta dielektrik yang berbeda dari simulasi. Dari *datasheet* FR4 Epoxy yang ada di pasaran konstanta dielektriknya antara 3,8 – 4,7 sementara pada proses simulasi yang dilakukan menggunakan konstanta dielektrik 4,4.

Dari Gambar 10 juga terlihat perbedaan koefisien refleksi kemungkinan hal ini terjadi karena rugi-rugi tangensial yang berhubungan dengan disipasi daya pada struktur pada proses realisasi berbeda dengan simulasi. Selain itu, juga terdapat kemungkinan pengaruh dari perubahan lingkungan antara simulasi dan proses eksperimen, masalah pabrikasi dan keterbatasan perangkat pengukuran. Namun, secara keseluruhan proses pengukuran memiliki kecenderungan yang sesuai dengan apa yang telah didapatkan pada proses perancangan. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan untuk memperoleh *bandwidth* yang lebih lebar.

## 5. Kesimpulan

Karakterisasi penyerap gelombang elektromagnetik berbasis teknologi *surface textured* telah dilakukan untuk bentuk *patch* segi enam sama sisi. Dari hasil karakterisasi diperoleh bahwa tingkat penyerapan dapat diperbaiki dengan menambahkan elemen resistif pada *patch* sehingga struktur permukaan bertekstur mempunyai impedansi yang sama dengan impedansi udara bebas. Proses fabrikasi

telah dilakukan. Dari hasil pengukuran terdapat peningkatan penyerapan sekitar 7 dB dibandingkan tanpa penambahan elemen resistif. Pada penyerap gelombang elektromagnetik yang diteliti ternyata frekuensi resonansi dipengaruhi oleh dimensi struktur penyerap, karakteristik bahan penyerap, dan kondisi lingkungan yang mempengaruhi pada saat pengukuran.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Riset Insentif SINas tahun 2012 dengan nomor kontrak: 1.26/SEK/IRS/PPK/I/2012.

### Daftar Pustaka

- [1] Engheta, N., "Thin Absorbing Screens Using Metamaterial Surfaces," IEEE AP-S International Symposium, San Antonio, Texas, pp. 392-395, Juli 2002.
- [2] Feresidis, A. P., dkk., "Artificial Magnetic Conductor Surfaces and Their Application to Low-Profile High-Gain Planar Antennas," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 53, no.1, pp. 209-215, Januari 2005.
- [3] Fusco, V. F., R. Cahill, W. Hu, dan V. Sims, "Ultra-Thin Tunable Microwave Absorber Using Liquid Crystals," Electronic Letter, vol.44, no.1, Januari 2008.
- [4] Fusco, V. F. dan S. Simms, "Textured Surface Slot Antenna with Reduced Radar Cross-Section," Electron. Lett., vol. 43, no. 8, pp. 438-440, April 2007.
- [5] Goussetis, G. dan A. P. Feresidis, "Improved Thin Absorbers Using Perturbed Artificial Magnetic Conductors," IEEE Antenna Propag. Symp. Dig., pp835-856, Juli 2007.
- [6] Munir, A. dan V. Fusco, "Characterization of Microwave Anisotropic Thin Radar Absorber Using Artificial Magnetic Ground Plane," Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) Proc., Hongkong, China, Desember 2008.
- [7] Munir, A. dan 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, Juli 2009.
- [8] Sievenpiper, D., "High-Impedance Electromagnetic Surfaces", PhD Thesis, UCLA, 1999.
- [9] Sievenpiper, D., L. Zhang, R. Broas, N. G. Alexopolous, dan E. Yablonovitch, "High-Impedance Electromagnetic Surface with Forbidden Frequency Band," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, November 1999.
- [10] Simms, S. dan V. F. Fusco, "Tunable Thin Radar Absorber Using Artificial Magnetic Ground Plane with Variable Backplane," Electronic Letter, vol. 43, no. 31, Oktober 2006
- [11] Tennant, A. dan B. Chambers, "A Single-Layer Tuneable Microwave Absorber Using an Active FSS," IEEE Microwave Wireless Component Lett., vol.14, no.1, Januari 2004
- [12] Tennant, A. dan B. Chambers, "Adaptive Radar Absorbing Structure with PIN Diode Controlled Active Frequency Selective Surface," Smart Mater. Struct., vol. 13, pp. 122-125, 2004.
- [13] 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.
- [14] Y. Zhang, J. Von Hagen, M. Younis, C. Fischer, dan W. Wiesbeck, "Planar Artificial Magnetic Conductors and Patch Antennas," IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 51, no. 10, pp. 2704-2712, Oktober 2003.