

ANALISIS PENGARUH KAPASITOR PADA PENYERAP GELOMBANG MIKRO BERBASIS AMC

ANALYSIS EFFECT OT THE CAPASITORS ON MICROWAVE ABSORBER BASED AMC

I Made Santanu Wiryawan¹, Levy Olivia Nur², Trasma Yunita³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

¹santanuwiryawan@gmail.com ²levyolivia@telkomuniversity.ac.id ³trasmayunita@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada era globalisasi sekarang ini kemajuan teknologi sudah sangat berkembang. Contohnya dalam bidang penelitian tentang Absorber microstrip yang berbasis AMC (*Artificial Magnetic Conductor*). Pada penelitian ini ingin mengembangkan penelitian dengan cara menambahkan kapasitor *chip* pada penyerap gelombang yang berbasis AMC (*Artificial Magnetic Conductor*) itu sendiri sehingga hasil yang didapatkan dapat membuat frekuensi daerah kerjanya dapat bergeser dan dapat memaksimalkan penyerap gelombang mikrostrip. Penelitian penyerap gelombang yang dilakukan akan dirancang dengan bantuan *software 3D* untuk mempermudah proses perancangan dan perhitungan dalam proses analisis data. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penyerap bekerja dengan sangat baik dan frekuensi dapat bergeser yaitu, pada frekuensi 3 – 2,1 GHz dengan nilai *return loss* dikisaran -20 dB. Penyerap yang direalisasikan memberikan hasil yang cukup baik, dengan nilai rata-rata *return loss* -18 dB pada frekuensi 3 – 2,1 GHz. Penyerap yang dirancang memang belum cukup baik bekerja sesuai spesifikasi yang diharapkan, namun hasil pengukuran pada penyerap *full* resitor memiliki nilai *bandwidth* 100 MHz, pada penyerap satu baris kapasitor memiliki nilai *bandwidth* 200 MHz, pada penyerap tiga baris dan lima baris memiliki nilai *bandwidth* 150 MHz dan 100 MHz, sedangkan nilai yang didapat dari simulasi adalah pada penyerap *full* resitor memiliki nilai *bandwidth* 430 MHz, pada penyerap satu baris kapasitor memiliki nilai *bandwidth* 196 MHz, pada penyerap tiga baris dan lima baris memiliki nilai *bandwidth* 250 MHz dan 100 MHz. Hal ini dimungkinkan karena proses pengukuran penyerap gelombang tidak berada pada kondisi ideal, sehingga hasil BW dan *retun loss* pada realisasi tidak sebagus dari hasil simulasi.

Kata Kunci : *AMC (Artificial Magnetic Conductor), Penyerap gelombang, Kapasitor Chip.*

Abstract

In this era of globalization technological advancement has been highly developed. For example in the field of research on Absorber microstrip-based AMC (Artificial Magnetic Conductor). In this research, we want to develop the research by adding capacitor chip in AMC based absorber (Artificial Magnetic Conductor) itself so that the result obtained can make the frequency of the working area can be shifted and can maximize the microstrip wave absorber. The wave absorbing research will be designed with the help of 3D software to simplify the design process and calculation in the process of data analysis. The simulation results show that the absorber works very well and the frequency can be shifted ie, at a frequency of 3 - 2.1 GHz with a value of *return loss* -20 dB range. Reabsorbed reagents provide good results, with a mean value of *return loss* -18 dB at a frequency of 3 - 2.1 GHz. The absorber designed is not good enough to work as expected, but the results of the measurement on the absorber of the full resitor have a value of 100 MHz bandwidth, the one-line absorbent capacitor has a value of 200 MHz bandwidth, the absorber three lines and five lines have a bandwidth value of 150 MHz and 100 MHz, while the value obtained from the simulation is on the absorber full resitor has a value of 430 MHz bandwidth, the absorbent one line capacitor has a value of 196 MHz bandwidth, the absorber three lines and five lines have a value of bandwidth of 250 MHz and 100 MHz. This is possible because the wave absorber measurement process is not in ideal condition, so the result of BW and *retun loss* on realization is not as good as from the simulation result.

Keyword : *AMC (Artificial Magnetic Conductor), Absorber, Capacitor Chip*

1. Pendahuluan

Dalam dekade ini, teknologi metamaterials *device* telah menarik banyak perhatian peneliti karena sifat uniknya untuk berbagai keperluan *device* elektromagnetik [1] – [3]. Dalam banyak kasus, penggunaan konduktor listrik dapat memengaruhi kinerja perangkat elektromagnetik terutama yang menggunakan frekuensi radio. Salah satu teknik yang telah menarik banyak peneliti untuk meningkatkan sifat elektromagnetik adalah modifikasi tekstur dari permukaan logam [4]-[7]. Saat ini, pengguna modifikasi tekstur dapat menghasilkan lebih beragam 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* [8]-[9]. Teknologi *device* elektromagnetik saat ini membutuhkan karakteristik material yang dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan. Salah satu contoh dari metamaterial adalah AMC (*Artificial Magnetic Conductor*) merupakan bahan komposit yang sifatnya mirip PMC (*Perfect Magnetic Conductor*). *Artificial Magnetic Conductor* (AMC) baru – baru ini telah menarik para peneliti dan praktisi komunitas elektromagnetik untuk berkontribusi dalam mendesain penyerap gelombang yang sangat efisien dan *low-profile* [4] – [5], [8] – [9]. Pada dasarnya, AMC memiliki perkiraan karakter seperti PMC (*Perfect Magnetic Conductor*). Karena dalam kenyataan PMC sangat sulit untuk diimplementasikan, sehingga medium yang mampu mendekati sifat dari PMC sangat menarik untuk dieksplorasi. Dalam penelitian ini, akan dilakukan penambahan kapasitor untuk 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*[10]. Perancangan dilakukan dengan bantuan simulator 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

A. Metamaterial

Metamaterial atau sering juga disebut dengan *artificial material* adalah suatu struktur periodik yang tersusun atas sel/eleman satuan berjumlah terbatas yang dapat memperlihatkan sifat elektromagnetik tertentu yang tidak ditemukan di alam. Penerapan metamaterial pada rancangan perangkat industri memiliki potensial yang besar dalam bidang elektronik dan optik.[11]

Para peneliti telah mengusulkan sejumlah besar *device* menggunakan metamaterial, yaitu berkisar pada memperkecil ukuran (miniaturized), versi *low-noise* dari komponen yang telah ada seperti *waveguide*, filter dan antena sampai kepada perangkat baru yang sebelumnya dianggap tidak mungkin seperti *cloaks* dan *superlenses*, yang mampu mengatasi batasan difraksi. Berikut adalah beberapa bahan yang digolongkan sebagai bahan metamaterial.[11]

- *Double Negative* (DNG) material yaitu material yang memiliki sifat seolah-olah nilai permitifitas dan permeabilitas negatif, sehingga memiliki indeks *refractive negative*.
- *Electromagnetic Band Gap* (EBG) struktur yaitu material dengan pita frekuensi yang tidak mendukung propagasi gelombang elektromagnetik.
- *Artificial Magnetic Conductor* (AMC) yaitu material yang memiliki sifat konduktor dengan nilai tangensial magnetik yang sangat kecil walaupun dengan elektrik field yang besar diseluruh permukaan bidang.

B. Parameter Pengukuran Penyerap Gelombang Mikro

Parameter dalam penyerap gelombang mikro yang digunakan sebagai hasil dari pengukuran tingkat efektifitas sebuah penyerap yang di rancang sesuai dengan karakteristik yang dibutuhkan. Parameter tersebut yaitu frekuensi kerja, *bandwidth*, dan penyepadanan impedansi yang di representasikan oleh nilai koefisien refleksi.

C. Frekuensi Kerja

Dalam merancang penyerap berbasis AMC, frekuensi kerja dari penyerap merupakan variabel 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 selnya.

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

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

$$L_{sr} = \frac{\pi w \mu}{2 \cosh^{-1} \left(\frac{a}{g} \right)} \quad (3)$$

$$C_{sh} = \frac{\epsilon w^2}{t} \quad (4)$$

$$L_{sh} = \mu t \quad (5)$$

D. Returnloss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang. Kerugian kembali bisa terjadi karena adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (tidak serasi), besarnya return loss bervariasi tergantung pada frekuensi seperti yang oleh:

$$return\ loss = 20 \log_{10} |r| \quad (6)$$

Nilai dari return loss yang baik adalah di bawah -9,54 dB, untuk nilai VSWR ≤ 2 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 [9].

E. Teknik De-embedding

Teknik *de-embedding* 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.[12]

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*. [12]

Teknik yang dilakukan adalah menggunakan persamaan (7) dan (8) untuk mensimulasikan parameter T dan kemudian diubah ke parameter S.

$$[T_{total}] = [T_{fixture}][T_{DUT}] \quad (7)$$

$$[T_{DUT}] = [T_{fixture}]^{-1}[T_{total}] \quad (8)$$

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 (2.9). [12]:

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{S_{12}} \begin{bmatrix} -(S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}) & S_{12} \\ S_{22} & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Untuk mendapatkan parameter T dari penyerap gelombang elektromagnetik, dapat menggunakan persamaan (10).

$$[T_{DUT}] = [T_{fixture \text{ simulasi}}]^{-1}[T_{DUT}][T_{fixture \text{ simulasi}}] \quad (10)$$

Kemudian, konversikan kembali dari parameter T ke parameter S menggunakan persamaan (11) untuk mendapatkan nilai parameter S dari penyerap gelombang elektromagnetik saja.[12]

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

3. Perancangan Penyerap

A. Tahapan Perancangan

Proses perancangan Absorber ini dilakukan dengan metode eksperimental, dengan tahapan sebagai berikut:

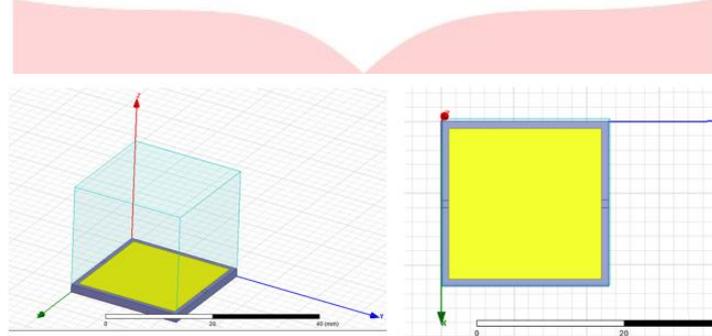
- Penentuan spesifikasi: Langkah awal dalam pembuatan Absorber dengan menentukan bentuk Absorber, frekuensi kerja, pola radiasi, *bandwidth*, *gain*, polarisasi dll. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan dimensi fisik dari Absorber mikrostrip yang bisa didapatkan dari perhitungan secara teoritis.
- Perancangan dengan *software*: Penggunaan *software* ini untuk memvisualisasikan dan mensimulasikan tahap sebelumnya. Visualisasi berupa gambar tiga dimensi dengan spesifikasi jenis bahan, ukuran, dan letak pencatutan agar bisa disimulasikan. Jenis bahan sesuai spesifikasi, seperti FR-4 untuk bagian substratnya.
- Fabrikasi sesuai model simulasi : Fabrikasi merupakan proses realisasi model simulasi ke dalam bentuk *Absorber*.

B. Desain Satu Sel Penyerap AMC

Setelah melakukan penentuan spesifikasi, penentuan bahan, penentuan geometri, dan perhitungan dimensi, selanjutnya semua hasil tadi akan dijalankan pada *software* simulasi Ansys HFSS. Pada gambar 3.2 dapat terlihat sebuah sel segi empat AMC dengan *groundplane* di bagian paling bawah dan substrat berada diantaranya. AMC tadi kemudian diberikan sebuah ruang vakum yang disebut *boundary*.

Boundary ini berukuran sama dengan *groundplane* hanya saja jauh lebih tinggi. Tinggi *boundary* haruslah lebih tinggi dari medan jauh, yaitu seperempat panjang gelombang dari frekuensi simulasi terendahnya [Ansoft guidance]. Frekuensi terendah simulasinya adalah 2,7 GHz, sehingga seperempat panjang gelombangnya adalah $\approx 25\text{mm}$. Jadi diperoleh tinggi *boundary*-nya adalah 25mm.

Boundary selanjutnya akan diatur sehingga memenuhi persyaratan pengukuran seperti yang telah dibahas pada bab 2



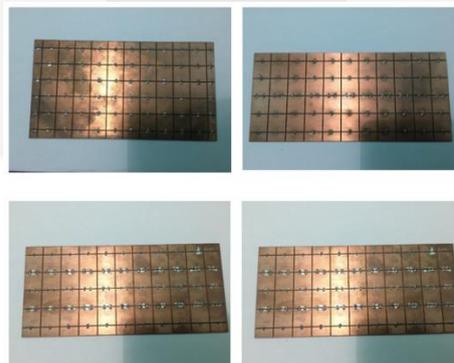
Gambar 1 Satu Sel Penyerap AMC

4. Hasil dan Pengukuran

A. Hasil Pabrikasi Penyerap

Realisasi diperlukan untuk memperoleh *prototype* AMC yang akan diuji kemampuannya. Setelah melalui proses perancangan dan simulasi yang panjang, selanjutnya adalah merealisasikan hasil yang terbaik dan cocok untuk diukur. PPW yang digunakan sebagai alat ukur memiliki moncong corong sebesar 200mm x 75mm sehingga harus dirancang AMC yang pas dengan ukuran corongnya atau bisa juga lebih besar dari moncong corongnya. Untuk itu dipilih penyerap hasil simulasi yang mendekati prasyarat pengukuran alat ukurnya, yaitu penyerap AMC 20cm x 9,5cm sebagai penyerap AMC yang akan direalisasikan.

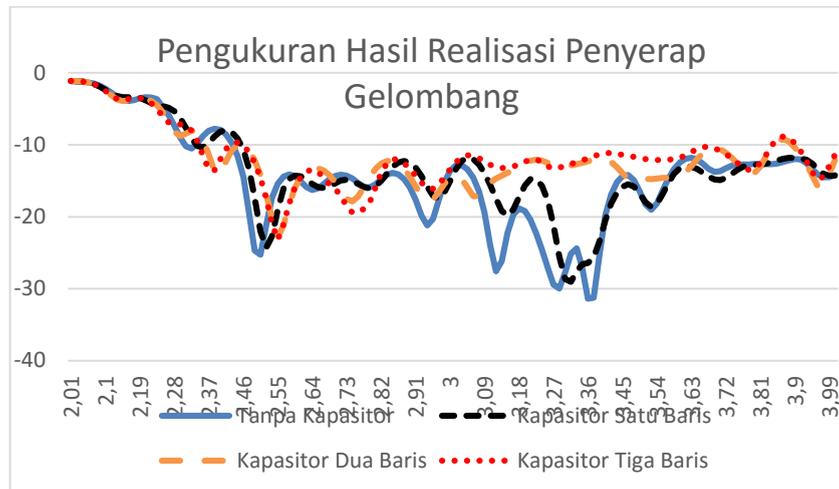
Setelah menentukan hasil simulasi yang akan direalisasikan, selanjutnya adalah memasuki proses realisasinya. Realisasi dilakukan pada tempat pencetak PCB (Spectra). Gambar dibawah ini menunjukkan penyerap AMC yang telah direalisasikan:



Gambar 2 Penyerap Gelombang Hasil Realisasi

B. Hasil Pengukuran

Setelah melakukan pengujian dengan kondisi-kondisi yang ada, selanjutnya dilakukan pengukuran pada empat penyerap yang akan diujikan. Berikut adalah perbandingan antara penyerap tanpa kapasitor, dengan satu baris kapasitor, dua baris kapasitor dan tiga baris kapasitor.



Gambar 3 Grafik S_{11} pada Plat logam pada kondisi DUT

Terlihat pada gambar diatas bahwa grafik S_{11} yang diujikan pada ke-4 buah penyerap gelombang tidak terlalu berbeda, itu dikarenakan hasil pengukuran ini tidak murni milik penyerap karena PPWnya memiliki kemungkinan untuk meloloskan sinyal ataupun menyerap sinyal juga sehingga yang S_{11} yang terbaca pada VNA adalah campuran antara penyerap dan PPWnya. Untuk itu diperlukan sebuah teknik yang dapat memisahkan hasil penyerap dari hasil PPWnya. Sebuah teknik bernama teknik *de-embedding* digunakan untuk mengatasi masalah ini.

C. Hasil Pengukuran Setelah *De-embedding*

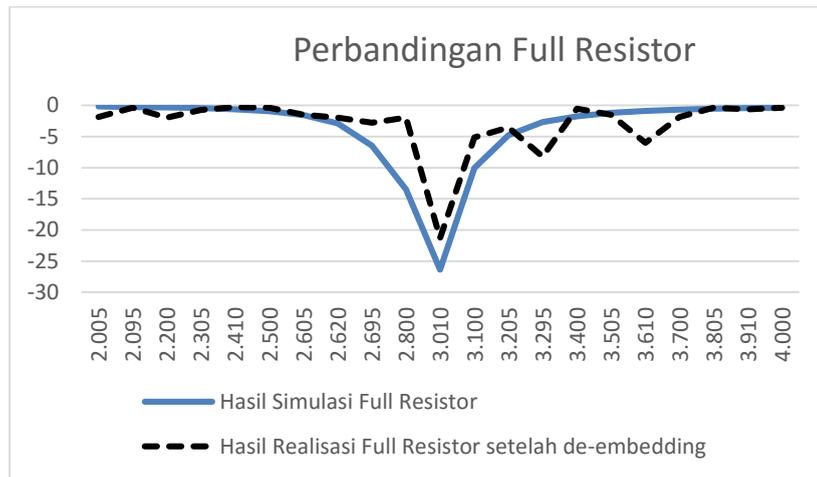
Pada pengujian yang sebelumnya, S_{11} yang ditampilkan di VNA bukan merupakan hasil murni dari Peyerap gelombang melainkan hasil dari perpaduan antara penyerap gelombang dan alat ukurnya yaitu PPW. Untuk itu, diperlukan suatu metode yang lain untuk memisahkan hasil penyerap gelombang dari *fixture*. Metode *de-embedding* pada penyerap gelombang elektromagnetik adalah proses memisahkan karakteristik perangkat pengukuran dari hasil pengukuran penyerap gelombang elektromagnetik untuk memperoleh hasil pengukuran yang sebenarnya. Data diproses menggunakan kalkulasi matriks parameter S atau parameter T.

Teknik *de-embedding* dilakukan setelah hasil pengukuran diperoleh. Namun untuk melakukannya diperlukan juga data hasil pengukuran *fixture* tanpa DUT. Data tersebut dapat diperoleh dengan cara melakukan pengukuran tanpa memberikan DUT di ujung corong PPWnya. Hasil tersebut kemudian dikombinasikan sehingga diperoleh data penyerap yang murni (tanpa campuran PPWnya).

D. Perbandingan Hasil Simulasi Penyerap Gelombang Array dengan *de-embedding*

AMC yang akan diujikan disini adalah AMC dengan dimensi 20 cm x 9,5 cm dengan tambahan elemen resistif & kapasitif. Tujuan dari penambahan elemen resistif ini adalah untuk memperbaiki respon S_{11} -nya sedangkan tujuan dari elemen kapasitif untuk menggeser frekuensinya. Elemen resistif bekerja dengan cara menambahkan nilai resistansi pada permukaan penyerap AMC sehingga nilai impedansi pun akan berubah. Setelah disimulasikan, dipilih resistor SMD dengan nilai resistansi 610 ohm untuk direalisasikan ke penyerap AMC. Tetapi untuk mendapatkan resistor SMD yang memiliki nilai resistansi 610 ohm dipasaran tidak didapatkan sehingga diganti resistor dengan nilai resistansi 620 ohm.

Jika impedansi permukaan AMC *matching* dengan impedansi udara, maka akan terjadi transfer daya maksimum dari udara menuju ke dalam AMC sehingga sinyal dapat diserap dengan sangat baik oleh AMC dan mencegahnya untuk tembus. Gambar 4.6 dibawah menunjukkan grafik hasil pengukurannya. Penyerap AMC diletakkan pada corong PPW, kemudian gelombang elektromagnetik memancar dari VNA menuju *fixture* dan merambat menuju penyerap AMC. VNA akan membaca seberapa besar daya sinyal yang kembali dibandingkan dengan daya sinyal yang telah dipancarkan. Hasilnya adalah nilai S_{11} dalam rentang frekuensi tertentu.



Gambar 4 Grafik S_{11} Perbandingan Simulasi Full Resistor dengan *de-embedding*

Pada gambar 4 di atas juga terlihat penyerap hasil simulasi memiliki *bandwidth* yang lebih besar dari penyerap hasil realisasi. Grafik biru memiliki *bandwidth* sebesar 115 MHz relatif terhadap -5 dB. Nilai tersebut sudah bisa dikatakan bagus karena sudah bisa melebihi 100 MHz sehingga hasil simulasi dapat dikatakan berhasil. Hasil realisasi memiliki *bandwidth* yang tidak mencapai 100 MHz sehingga hasil realisasi belum memenuhi spesifikasi. Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa frekuensi kerjanya berada pada frekuensi 3,010 GHz dan *bandwidth*-nya kurang dari 100 MHz. Frekuensi kerjanya bergeser sekira 0,10 MHz dari hasil simulasi.

Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil realisasi mungkin terjadi pada saat proses fabrikasi yang tidak sempurna. Proses pengukuran juga memiliki beberapa kerumitan yang juga sangat mungkin menyebabkan hasil realisasi berbeda dengan hasil simulasinya. Namun meskipun demikian, hasil realisasi dapat dikatakan berhasil mendekati hasil simulasi. Sekalipun juga dapat dikatakan belum cukup baik karena tidak bekerja pada frekuensi yang diinginkan.

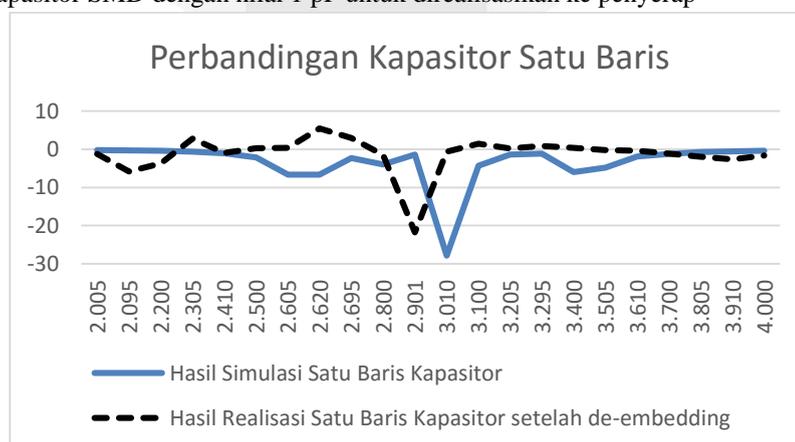
Tabel 1 Pengaruh *Full resistor* terhadap frekuensi kerja penyerap

Pengujian	Frekuensi	S_{11}	BW
Simulasi	3 GHz	-26,3927 dB	430 MHz
Realisasi	3 GHz	-21,3073 dB	100 MHz

Pada tabel diatas dapat dilihat perbedaan antara hasil simulasi dan hasil realisasi. Pada hasil realisasi dan simulasi menunjukkan bahwa hasil *return loss* dari simulasi lebih bagus daripada realisasi dapat dilihat pada tabel diatas nilai *return loss* dari simulasi -26,3927 dB sedangkan realiasi -21,3073 dB. Selain *return loss* BW yang didapatkan pada saat simulasi lebih bagus daripada realisasi dapat dilihat pada tabel diatas nilai BW dari simulasi 430 MHz sedangkan realisasi 100 MHz.

E. Perbandingan Hasil Simulasi Penyerap Gelombang *Array* kapasitor satu baris 1pF dengan *de-embedding*

AMC yang akan diujikan disini adalah AMC dengan dimensi 20 cm x 9,5 cm dengan tambahan elemen kapasitif tujuan dari penambahan elemen kapasitif satu baris adalah untuk menggeser frekuensi. elemen kapasitif bekerja dengan cara menambahkan nilai kapasitansi pada penyerap gelombang AMC sehingga frekuensi dari penyerap bergeser. Setelah disimulasikan, dipilih kapasitor SMD dengan nilai 1 pF untuk direalisasikan ke penyerap



Gambar 5 Grafik S_{11} Perbandingan Simulasi Kapasitor Satu Baris dengan *de-embedding*

Pada gambar 5 diatas terlihat penyerap hasil simulasi memiliki pergeseran frekuensi sebesar 100 MHz. Grafik biru pada gambar diatas memiliki frekuensi 3,010 GHz dengan nilai *return loss* -27,8523 dB. Nilai tersebut sudah bisa dikatakan bagus karena sudah bisa melebihi 20 GHz sehingga simulasi bisa dikatakan berhasil. Hasil realisasi memiliki pergeseran nilai frekuensi sebanyak 200 MHz sehingga frekuensi kerja pada hasil realisasi berubah menjadi 2,9 GHz dengan nilai *return loss* -21,7367 dB.

Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil realisasi mungkin terjadi pada saat proses fabrikasi yang tidak sempurna. Proses pengukuran juga memiliki beberapa kerumitan yang juga sangat mungkin menyebabkan hasil realisasi berbeda dengan hasil simulasinya. Namun meskipun demikian, hasil realisasi dapat dikatakan berhasil mendekati hasil simulasi. Sekalipun juga dapat dikatakan belum cukup baik karena tidak bekerja pada frekuensi yang diinginkan.

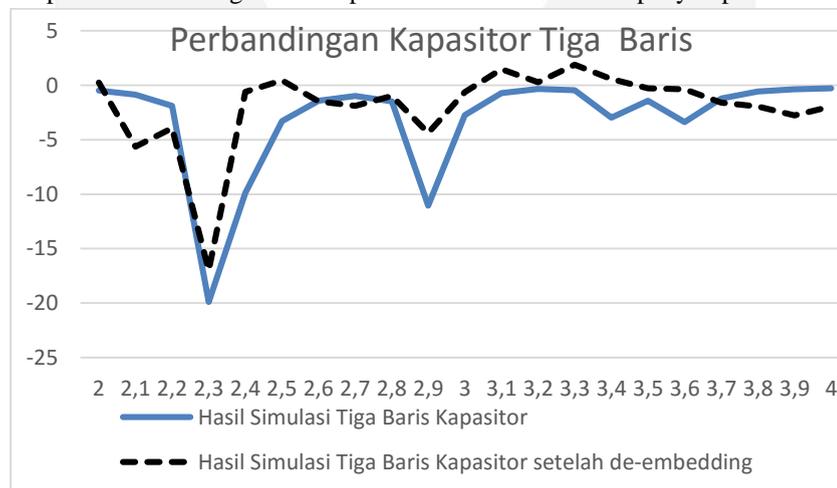
Tabel 2 Pengaruh Kapasitor Satu baris terhadap frekuensi kerja penyerap

Pengujian	Frekuensi	S_{11}	BW
Simulasi	3 GHz	-27,8523 dB	196 MHz
Realisasi	2,9 GHz	-21,7367 dB	200 MHz

Pada tabel diatas dapat dilihat perbedaan antara hasil simulasi dan hasil realisasi. Pada hasil realisasi dan simulasi menunjukkan bahwa hasil *return loss* dari simulasi lebih bagus daripada realisasi dapat dilihat pada tabel diatas nilai *return loss* dari simulasi -27,8523 dB sedangkan realiasi -21,7367 dB. Selain *return loss*, BW yang didapatkan pada saat realisasi memiliki nilai yang lebih bagus yaitu 200 MHz dan realisasi yaitu 196 MHz.

F. Perbandingan Hasil Simulasi Penyerap Gelombang Array kapasitor Dua baris 1pF dengan *de-embedding*

AMC yang akan diujikan disini adalah AMC dengan dimensi 20 cm x 9,5 cm dengan tambahan elemen kapasitif tujuan dari penambahan elemen kapasitif dua baris adalah untuk menggeser frekuensi. elemen kapasitif bekerja dengan cara menambahkan nilai kapasitansi pada penyerap gelombang AMC sehingga frekuensi dari penyerap bergeser. Setelah disimulasikan, dipilih kapasitor SMD dengan nilai 1 pF untuk direalisasikan ke penyerap.

**Gambar 6** Grafik S_{11} Perbandingan Simulasi Kapasitor Tiga Baris dengan *de-embedding*

Pada gambar 6 diatas terlihat penyerap hasil simulasi memiliki pergeseran frekuensi yang cukup signifikan sebanyak 700 MHz dari frekuensi semula yaitu 3 GHz menjadi 2,3 GHz itu di karenakan faktor penggunaan kapasitor dua baris yang memberikan nilai kapasitansi pada penyerap gelombang *array* yang besar. Grafik biru pada gambar diatas memiliki frekuensi 2,3 GHz dengan nilai *return loss* -19,894 dB. Hasil realisasi juga memiliki pergeseran frekuensi menjadi 2,3 GHz dengan nilai *return loss* -17,0023 dB

Perbedaan *return loss* antara hasil simulasi dan hasil realisasi mungkin terjadi pada saat proses fabrikasi yang tidak sempurna. Proses pengukuran juga memiliki beberapa kerumitan yang juga sangat mungkin menyebabkan hasil realisasi berbeda dengan hasil simulasinya. Namun meskipun demikian, hasil realisasi dapat dikatakan berhasil karna sudah bekerja pada frekuensi yang sama, yaitu 2,3 GHz.

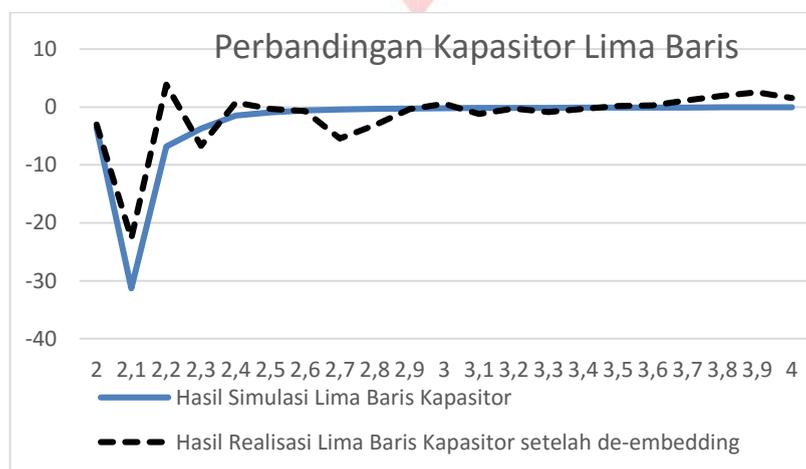
Tabel 3 Pengaruh Kapasitor Tiga baris terhadap frekuensi kerja penyerap

Pengujian	Frekuensi	S_{11}	BW
Simulasi	2,3 GHz	-19,8784 dB	250 MHz
Realisasi	2,3 GHz	-17,0023 dB	150 MHz

Pada tabel diatas dapat dilihat perbedaan antara hasil simulasi dan hasil realisasi. Pada hasil realisasi dan simulasi menunjukkan bahwa hasil return loss dari simulasi lebih bagus daripada realisasi dapat dilihat pada tabel diatas nilai *return loss* dari simulasi -19,8784 dB sedangkan realiasi -17,0023 dB. Selain *return loss* BW yang didapatkan pada saat simulasi lebih bagus yaitu 250 MHz dan realisasi memiliki nilai yaitu 150 MHz.

G. Perbandingan Hasil Simulasi Penyerap Gelombang Array kapasitor tiga baris 1pF dengan *de-embedding*

AMC yang akan diujikan disini adalah AMC dengan dimensi 20 cm x 9,5 cm dengan tambahan elemen kapasitif tujuan dari penambahan elemen kapasitif dua baris adalah untuk menggeser frekuensi. elemen kapasitif bekerja dengan cara menambahkan nilai kapasitansi pada penyerap gelombang AMC sehingga frekuensi dari penyerap bergeser. Setelah disimulasikan, dipilih kapasitor SMD dengan nilai 1 pF untuk direalisasikan ke penyerap.

**Gambar 7.** Grafik S_{11} Perbandingan Simulasi Kapasitor Lima Baris dengan de-embedding

Pada gambar 7 diatas terlihat penyerap hasil simulasi memiliki pergeseran frekuensi sebesar 200 MHz nilai tersebut tidak terlalu signifikan seperti pada penggunaan kapasitor dua baris. Itu di karenakan faktor penggunaan kapasitor tiga baris yang memberikan nilai kapasitansi tidak jauh berbeda dengan penggunaan kapasitor dua baris, sehingga pergeseran frekuensi yang dihasilkan tidak berubah terlalu signifikan. Grafik biru pada gambar diatas memiliki frekuensi 2,1 GHz dengan nilai *return loss* -22,675 dB. Hasil realisasi juga memiliki pergeseran frekuensi menjadi 2,1 GHz dengan nilai *return loss* -31,306 dB. Kedua hasil tersebut bisa dikatakan bagus karna memiliki nilai return loss dibawah -20 dB.

Perbedaan *return loss* antara hasil simulasi dan hasil realisasi mungkin terjadi pada saat proses fabrikasi yang tidak sempurna. Proses pengukuran juga memiliki beberapa kerumitan yang juga sangat mungkin menyebabkan hasil realisasi berbeda dengan hasil simulasinya. Namun meskipun demikian, hasil realisasi dapat dikatakan berhasil karna sudah bekerja pada frekuensi yang sama, yaitu 2,3 GHz.

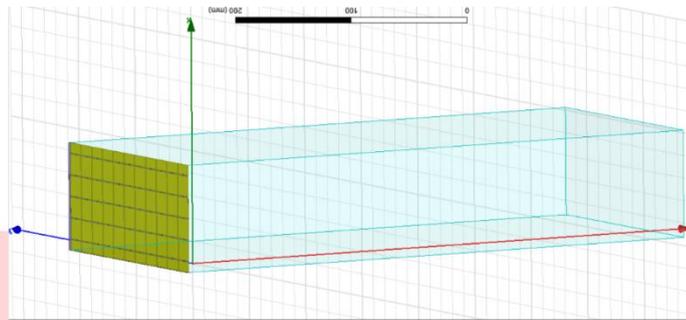
Tabel 4 Pengaruh Kapasitor Lima baris terhadap frekuensi kerja penyerap

Pengujian	Frekuensi	S_{11}	BW
Simulasi	2,1 GHz	-31,3060 dB	100 MHz
Realisasi	2,1 GHz	-22,675 dB	100 MHz

Pada tabel diatas dapat dilihat perbedaan antara hasil simulasi dan hasil realisasi. Pada hasil realisasi dan simulasi menunjukkan bahwa hasil return loss dari simulasi lebih bagus daripada realisasi dapat dilihat pada tabel diatas nilai *return loss* dari simulasi -31,3060 dB sedangkan realiasi -22,675 dB. Selain *return loss* BW yang didapatkan pada saat simulasi dan realisasi memiliki nilai sama yaitu 100 MHz

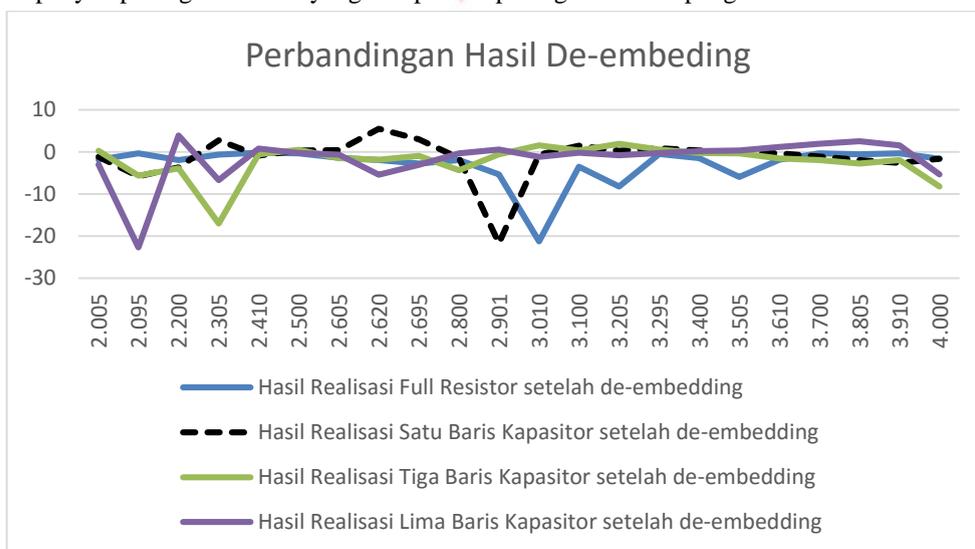
H. Analisis

Pengukuran yang telah dilakukan ternyata memiliki masalah. Hasil realisasi ternyata cukup berbeda dengan hasil simulasi yang diharapkan. Maka perlu dilakukan analisis mendalam untuk mengetahui mengapa hasil realisasinya berbeda dengan hasil simulasi.



Gambar 8. Simulasi penyerap dengan *boundary* yang disesuaikan dengan PPW pengukur

Gambar di atas menunjukkan simulasi dengan menggunakan *boundary* yang disesuaikan dengan kondisi PPW aslinya. Bidang di atas dan di bawah menggunakan konfigurasi *boundary perfect-E* yang mewakili PPW di pengukuran. Sedangkan bidang di samping kiri dan kanannya menggunakan konfigurasi *perfect-H*. Kondisi ini membuat kita dapat mensimulasikan penyerap dengan kondisi yang hampir mirip dengan kondisi pengukuran realisasi.



Gambar 9. Grafik S_{11} Hasil pengukuran setelah proses *de-embedding*

Dari gambar 8 dapat terlihat hasil nilai pengukuran setelah dilakukan proses deembedding pada penyerap menggunakan resistor saja dengan penyerap yang menggunakan resistor dan kapasitor satu baris, penyerap yang menggunakan resistor dan kapasitor tiga baris, penyerap yang menggunakan resistor dan kapasitor lima baris. Dari hasil terlihat bahwa nilai pengukuran terdapat perbedaan yang cukup signifikan dan terlihat adanya pergeseran frekuensi. . dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 5 Perbandingan pengaruh kapasitor terhadap simulasi dan realisasi penyerap

Pengujian	Simulasi		Realisasi	
	S_{11}	BW	S_{11}	BW
Full Resistor	-26,3927 dB	430 MHz	-21,3073 dB	100 MHz
Satu Baris Kapasitor	-27,8523 dB	196 MHz	-21,7367 dB	200 MHz
Tiga Baris Kapasitor	-19,8784 dB	250 MHz	-17,0023 dB	150 MHz
Lima Baris Kapasitor	-31,3060 dB	100 MHz	-22,675 dB	100 MHz

Hal ini dapat sangat membuktikan bahwa adanya pengaruh penggunaan kapasitor dalam penyerap gelombang *array*. Semakin besar nilai kapasitor akan berpengaruh sangat besar juga terhadap pengaruh pergeseran frekuensi. Tetapi terdapat perbedaan antara hasil realisasi dengan hasil simulasi. Beberapa analisis terkait hasil tersebut yaitu:

1. Kemungkinan bahan dalam realisasi penyerap berbeda dengan karakteristik bahan simulasi.
2. Perbedaan *return loss* antara hasil simulasi dan hasil realisasi mungkin terjadi pada saat proses fabrikasi yang tidak sempurna. Proses pengukuran juga memiliki beberapa kerumitan yang juga sangat mungkin menyebabkan hasil realisasi berbeda dengan hasil simulasinya.

Analisis yang dapat disimpulkan yaitu proses perancangan penyerap pada simulasi berhasil karena terlihat pergeseran frekuensi karena adanya pengaruh kapasitor pada susunan *patch* persegi. Sedangkan hasil pengukuran pada realisasi rancangan dapat dikatakan berhasil walaupun tidak sama seperti hasil simulasi karena nilai setelah teknik *deembedding* tidak menunjukkan adanya pergeseran frekuensi yang sedikit beda dengan simulasi pada susunan *patch* persegi dengan penyerap yang menggunakan resistor saja dengan penyerap yang menggunakan resistor dan kapasitor satu baris, penyerap yang menggunakan resistor dan kapasitor tiga baris, penyerap yang menggunakan resistor dan kapasitor lima baris.

5. KESIMPULAN

Penyerap gelombang yang dirancang dan direalisasikan dapat bekerja pada rentang frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yaitu 3- 2,1 GHz dengan *Return loss* ≤ -27 dB untuk simulasi, dengan *Return loss* ≤ -18 dB untuk realisasi. Penambahan resistor pada AMC dari 250 ohm - 800 ohm dapat memperbaiki nilai *return loss* penyerap. Semakin besar nilai resistansi resistor, maka semakin baik nilai *return loss* yang diperoleh. Namun ketika nilai resistansinya telah mencapai titik tertentu, sehingga membuat impedansi permukaan AMC *match* dengan impedansi udara, maka nilai *return loss*-nya tidak akan turun lagi sekalipun resistansinya terus diperbesar. Titik tertentu yang didapatkan pada penggunaan resistor 610 ohm pada simulasi dan 620 ohm pada penyerap yang direalisasikan. Peningkatan nilai resistansi tidak membawa perubahan yang cukup signifikan pada frekuensi kerja penyerap dan tidak membawa perubahan yang terlalu mencolok pada besarnya *bandwidth* penyerap. Artinya, nilai resistansi bukanlah fungsi dari frekuensi operasi dan BW. Ketebalan substrat mempengaruhi BW dari penyerap AMC. Semakin tebal substrat, semakin besar BWnya. Penggunaan kapasitor 1 pF dapat memberikan efek pergeseran frekuensi. Semakin banyak jumlah nilai kapasitansi kapasitor, maka semakin bergeser ke kiri frekuensi kerja pada penyerap gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Caloz and T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications, 1st Edition, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2005*
- [2] N. Engheta and R. W. Ziolkowski, *Electromagnetic Metamaterials: Physics and Engineering Explorations, 1st Edition, New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2006.*
- [3] 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*
- [4] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. Broas, N. G. Alexopolous, and E. Yablonovitch, "High impedance Electromagnetic surface with forbidden frequency band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.47, no.11, pp. 2059-2074, Nov. 1999.
- [5] G. Goussetis, A.P. Feresidis, and J. C. Vardaxoglou, "Tailoring the AMC and EBG characteristics of periodic metallic arrays printed on grounded dielectric substrate," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 54, no. 1, pp. 82-89, Jan. 2006.
- [6] 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.
- [7] V. Fusco, A. Munir and M. Euler, "Planar two-bit phase encoded transpolarising reflector using textured surface technology," *3rd European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) Proc.*, pp. 1386-1389, Berlin, Germany, Mar. 2009
- [8] 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.
- [9] 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

- [10] Levy Olivia Nur, Adit Kurniawan, Sugihartono, and Achmad Munir. “Theoretical Analysis of Resonant Frequency for AMC-based Absorber Composed of Square Patch Array”2015, International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Volume 7, Number 2, June 2015
- [11] Bhattacharya. A., “Modeling and Simulation of Metamaterial-Based Devices for Industrial Applications Application Engineer”, (white paper), CST AG, Darmstadt, Germany.
- [12]L.O. Nur, M. Achmad, Sugihartono, K. Adit, Januari 2016, “Perancangan Dan Fabrikasi Penyerap Gelombang Elektromagnetik *Patch* Segi Enam Berbasis *Surface Textured*”, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika (TEKTRIKA) - Vol 1, No 1.

