

Analisis Kinerja dan Karakterisasi *Axially Asymmetric SRR* sebagai Penyerap GEM C-Band

(*Performance Analysis and Characterization of Axially Asymmetric SRR for C-Band EM Wave Absorber*)

Rasheed Abdurrahman Mulyadi¹, Muhammad Agy Ramdhan², Budi Syihabuddin³, Levy Olivia Nur⁴

Abstract—In the last decade, planar electromagnetic (EM) wave absorbers began to be widely studied. This type of EM wave absorber is thin, flexible, and easy to fabricate, which allows absorber to be used in new future applications. Split Ring Resonators (SRR) are one of many forms of absorber that is known to have an excellent absorbance performance. In this paper, square patch absorber, Axial Symmetric SRR (AS-SRR), and Axially Asymmetric SRR (AAS-SRR) are designed and observed in C-Band. From the simulation results, we obtained a square cell size of 30 mm, AS-SRR of 20 mm, and AAS-SRR of 18 mm. The three forms can reach absorption rates above 92%, with a bandwidth of 0.055 GHz, 0.076 GHz, and 0.081 GHz, respectively. Furthermore, the AAS-SRR design parameters were characterized, and the main parameters that influence the bandwidth and resonant frequency are the resonator length and resonator thickness. The maximum bandwidth of the characterization is 0.087 GHz.

Intisari—Penyerap gelombang elektromagnetik (GEM) berbentuk *planar* mulai banyak diteliti dalam dekade terakhir. Dengan bentuknya yang tipis, fleksibel, dan mudah untuk difabrikasi membuat penyerap GEM berpotensi untuk digunakan pada teknologi baru di masa depan. Salah satu bentuk yang memiliki penyerapan yang baik adalah menggunakan *Split Ring Resonator* (SRR). Pada makalah ini, *absorber* berbentuk *patch* persegi, *Axially Symmetric SRR* (AS-SRR), dan *Axially Asymmetric SRR* (AAS-SRR) didesain dan diamati pada *C-Band*. Dari hasil simulasi didapatkan ukuran sel persegi sebesar 30 mm, AS-SRR sebesar 20 mm, dan AAS-SRR sebesar 18 mm. Ketiga bentuk tersebut menghasilkan penyerapan di atas 92% dengan *bandwidth* masing-masing 0,055 GHz, 0,076 GHz, dan 0,081 GHz. Selanjutnya, dilakukan karakterisasi terhadap parameter desain AAS-SRR dan didapatkan parameter yang paling memengaruhi *bandwidth* dan frekuensi resonansi adalah panjang resonator dan tebal resonator. *Bandwidth* maksimal dari karakterisasi sebesar 0,087 GHz.

Kata Kunci—Penyerap Gelombang Elektromagnetik (GEM), *Absorber*, SRR, *Axially Symmetric SRR*, *Axially Asymmetric SRR*.

I. PENDAHULUAN

Penyerap gelombang elektromagnetik (GEM) adalah material yang memiliki kemampuan menyerap GEM. Pada umumnya, penyerap GEM berbentuk konikal dan digunakan sebagai lapisan ruang bebas pantulan (*anechoic chamber*).

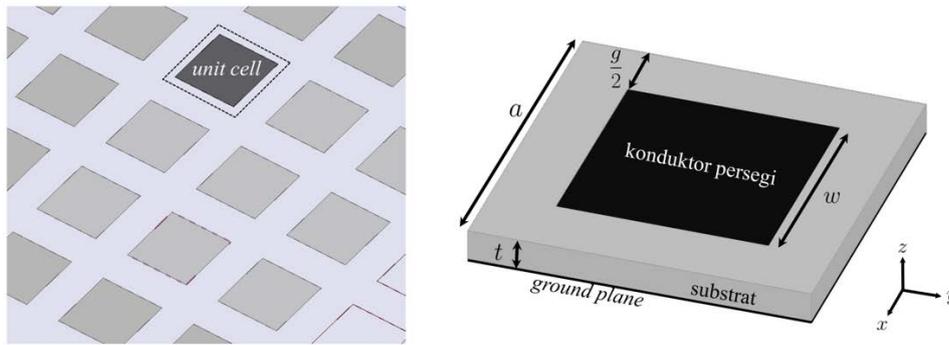
^{1,2,3,4} Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu, Bandung, 40257 INDONESIA (tlp: 022-7564108; e-mail: {rasheed, agyramdhan} @student.telkomuniversity.ac.id, {budisyihab, levyolivia} @telkomuniversity.ac.id)

Dalam dekade terakhir, telah banyak dilakukan penelitian untuk mengembangkan penyerap GEM dalam bentuk *planar*. Dengan berbentuk *planar*, penyerap GEM memiliki potensi untuk digunakan dalam teknologi terkini, seperti sensor, bahan anti radar, pengindraan dengan elektromagnetik, dan energi terbarukan [1]–[3].

Penyerap GEM dapat menggunakan bentuk SRR dengan modifikasi berupa tambahan lapisan udara dan kawat tipis untuk meningkatkan daya serap serta menghasilkan komponen *metasurface* [4]. *Metasurface* merupakan bagian dari *metamaterial* yang dapat dihasilkan dengan menggunakan geometri atau pola periodik tertentu untuk menghasilkan permitivitas dan permeabilitas negatif pada permukaan suatu material. Faktor inilah yang memungkinkan adanya penyerapan terhadap GEM pada frekuensi tertentu [5]–[7].

Artificial Magnetic Conductor (AMC) adalah metode merekayasa sifat magnetik dari suatu permukaan dan dapat direalisasikan dengan memanfaatkan susunan konduktor secara periodik. Susunan ini telah diteliti dan menunjukkan penyerapan GEM yang baik [8]. Selain itu, beberapa penelitian lain menunjukkan kinerja penyerap GEM dengan bentuk *planar* memiliki penyerapan yang baik [9]–[11]. Salah satu bentuk yang digunakan sebagai penyerap GEM adalah *Split Ring Resonator* (SRR). SRR pertama kali diamati oleh Pendry, dkk. pada tahun 1999. SRR memiliki sifat kemagnetan yang unik dan dapat beresonansi pada frekuensi tertentu. Hal ini diakibatkan oleh adanya kapasitans dan induktans pada SRR [12]. SRR adalah susunan resonator berbentuk potongan cincin. Bentuk ini dapat menghasilkan penyerap GEM dengan dimensi yang fleksibel dan bentuk yang tipis [13]. Beberapa penelitian terakhir menunjukkan penyerap GEM SRR telah memberikan kinerja penyerapan GEM yang baik pada beberapa rentang frekuensi [4], [14]–[16].

Referensi [4] membahas penelitian tentang pengaruh yang didapatkan dari penggunaan lapisan dielektrik dengan beberapa variasi bahan dan ketebalan yang berbeda pada permukaan penyerap GEM, sehingga diketahui bahwa dengan mengatur bahan dengan ketebalan tertentu, dihasilkan penyerap GEM dengan tingkat penyerapan yang baik pada frekuensi yang diinginkan. Pada penelitian lain, pola SRR yang dirancang dapat menghasilkan penyerapan dalam beberapa rentang frekuensi [14]–[16]. Pola SRR dengan bentuk heksagonal yang diteliti memiliki dua rentang frekuensi penyerapan, dengan tingkat penyerapan lebih dari 98% [14]. Pada [15], pola SRR dirancang dan memiliki kinerja penyerapan pada rentang frekuensi THz. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa SRR yang dirancang dapat memiliki tiga rentang frekuensi resonansi



Gbr. 1 Penyerap GEM berpola persegi.

dengan tingkat penyerapan sampai 95%. Sedangkan pada [16], penyerap GEM dengan pola SRR dirancang untuk teknologi WiMAX pada frekuensi 3,5 GHz dan WLAN pada frekuensi 5,8 GHz dengan ukuran sel 13 mm. Didapatkan tingkat penyerapan di atas 95%.

Pada makalah ini, penyerap GEM berpola *Axially Symmetric SRR* (AS-SRR) dan *Axially Asymmetric SRR* (AAS-SRR) didesain dan disimulasikan. Penyerap GEM berpola persegi dijadikan dimensi acuan untuk merancang kedua penyerap GEM tersebut. Kemudian ketiga desain dibandingkan dan dianalisis kinerjanya sebagai penyerap GEM. Bentuk AAS-SRR merupakan modifikasi dari bentuk AS-SRR, sehingga karakterisasi dilakukan untuk mendapatkan perubahan frekuensi resonansi dan *bandwidth* akibat perubahan dimensi. Karakterisasi ini dapat digunakan sebagai landasan sistem penyerap GEM yang dapat direkonfigurasi (*reconfigurable absorber*).

II. PERANCANGAN PENYERAP GEM AAS-SRR

Pada makalah ini, dimensi penyerap GEM berpola AS-SRR yang bekerja pada *C-band* dihitung dengan persamaan unit sel AMC persegi. Susunan konduktor secara periodik akan beresonansi dengan GEM pada frekuensi tertentu. Hal ini terjadi karena adanya kapasitans dan konduktans yang ada pada konduktor. Nilai induktans dan kapasitans yang dihasilkan dipengaruhi oleh susunan dan dimensi konduktor. Pada (1)–(7) dapat dilihat pengaruh dimensi terhadap frekuensi resonansi sel AMC persegi [8].

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(A) + \sqrt{A^2 - 4B}}{2B}} \quad (1)$$

dengan nilai A dan B adalah

$$A = L_{sr}C_{sr} + L_{sh}C_{sh} + L_{sr}C_{sh} \quad (2)$$

$$B = L_{sr}L_{sh}C_{sr}C_{sh} \quad (3)$$

$$C_{sr} = \frac{2\varepsilon}{\pi w} \cosh^{-1}\left(\frac{a}{g}\right) \quad (4)$$

$$L_{sr} = \frac{\pi w \mu}{2 \cosh^{-1}\left(\frac{a}{g}\right)} \quad (5)$$

$$C_{sh} = \frac{\varepsilon w^2}{t} \quad (6)$$

$$L_{sh} = \mu t \quad (7)$$

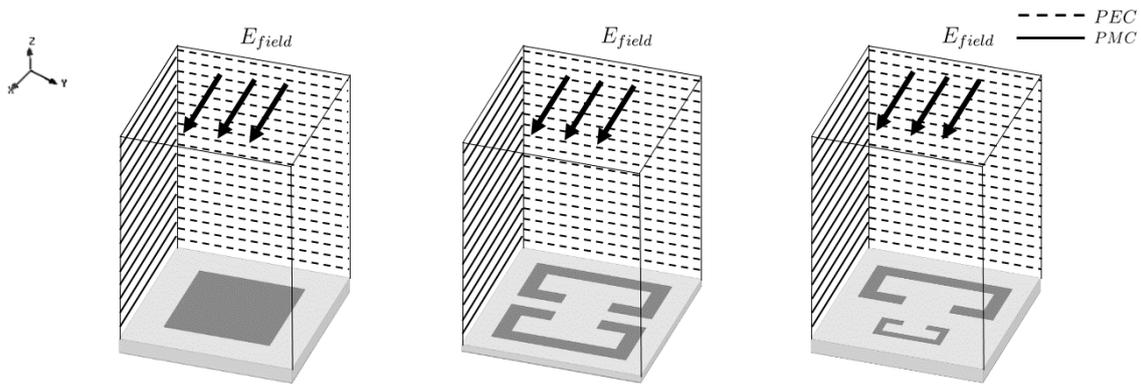
dengan variabel a adalah ukuran unit sel, w adalah ukuran *patch* persegi, g adalah jarak antara unit sel, serta t adalah tebal dielektrik. Nilai C_{sr} dan L_{sr} adalah nilai kapasitans dan induktans seri serta nilai C_{sh} dan L_{sh} adalah nilai kapasitans dan induktans paralel.

Gbr. 1 adalah penyerap GEM persegi dengan susunan periodik. Satu unit sel penyerap GEM persegi terdiri atas konduktor persegi, yang di bawahnya terdapat substrat berbahan dielektrik dengan *ground plane* konduktor yang menutupi permukaan bahan dielektrik secara penuh. Nilai a , g , dan w merupakan variabel dimensi seperti pada Gbr. 1. Nilai permitivitas, permeabilitas, dan tinggi bahan (t) adalah variabel desain berupa tembaga sebagai konduktor dan bahan FR-4 sebagai dielektrik.

Untuk mendapatkan hasil penyerapan yang ideal, dilakukan simulasi untuk unit sel dengan jumlah tak hingga. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur *boundary* sebagai *Perfect Electric Conductor* (PEC) yang sejajar dengan polarisasi gelombang datang dan *Perfect Magnetic Conductor* (PMC) yang paralel dengan polarisasi gelombang datang, sehingga efek dari satu unit sel seakan-akan dicerminkan secara tak hingga. Konfigurasi *boundary* untuk tiga bentuk desain penyerap GEM diperlihatkan pada Gbr. 2.

Setelah dilakukan perhitungan, nilai dimensi yang didapat digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan nilai dimensi penyerap GEM persegi yang bekerja pada *C-band*. Kemudian dilakukan penyesuaian terhadap dimensi dan didapatkan ukuran optimal untuk pola persegi seperti pada Tabel I. Dimensi penyerap GEM persegi ini digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan ukuran awal dari penyerap GEM dengan pola AS-SRR, kemudian dimensi awal dari AS-SRR dioptimasi untuk mendapatkan frekuensi kerja yang sesuai. Selanjutnya, dimensi optimal dari AS-SRR digunakan sebagai dimensi awal dari AAS-SRR yang selanjutnya dilakukan optimasi untuk mendapatkan frekuensi resonansi yang sesuai.

Desain penyerap GEM berpola AS-SRR ditunjukkan pada Gbr. 3. Ukuran satu unit sel penyerap GEM AS-SRR (L_r) adalah 20 mm, dengan lebar resonator (L_r) sebesar 13,5 mm. Bentuk satu unit sel AS-SRR adalah persegi. Namun, karena AS-SRR terdiri atas dua konduktor yang dicerminkan, ukuran area konduktor akan menjadi persegi panjang. Dalam desain penyerap GEM AAS-SRR, digunakan faktor skala 0,5. Skala ini digunakan secara konsisten pada setiap desain resonator, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 4. Dimensi dari variabel L_{r2} ,



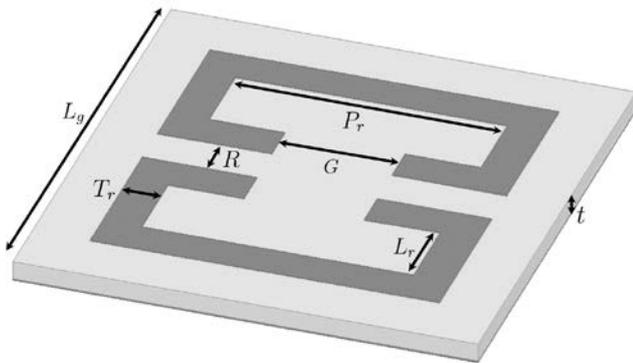
Gbr. 2 Konfigurasi *boundary* untuk tiap penyerap GEM.

TABEL I
UKURAN PENYERAP GEM PERSEGI

Variabel	Deskripsi	Dimensi (mm)
t	Tebal substrat	1,6
a	Panjang sisi substrat	30
w	Panjang sisi konduktor	10,7
g	Jarak antar unit sel	19,3

TABEL II
UKURAN PENYERAP GEM AS-SRR DAN AAS-SRR

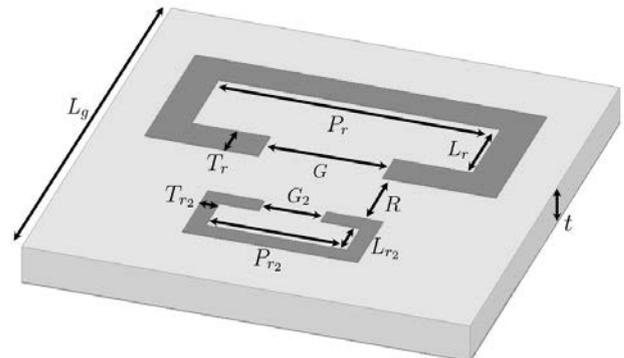
Variabel	Keterangan	AS-SRR (mm)	AAS-SRR (mm)
T_r	Tebal resonator	1,5	1,4
G	Panjang gap resonator	5	5
R	Spasi antara resonator	1,87	3
S	Skala resonator	1	0,5
t	Tebal substrat	1,6	1,6
L_g	Lebar <i>ground plane</i>	20	18
L_r	Lebar resonator	13,5	11,3
P_r	Panjang resonator	1,5	3,3



Gbr. 3 Satu unit sel AS-SRR.

P_{r2} , T_{r2} , dan G_2 merupakan setengah kali dari variabel L_r , P_r , T_r , dan G . Ukuran satu unit sel penyerap GEM AAS-SRR (L_g) adalah sebesar 18 mm, dengan lebar resonator (L_r) sebesar 11,3 mm. Kedua jenis penyerap GEM memiliki frekuensi resonansi yang sama, tetapi dapat dilihat dimensi AAS-SRR lebih kecil dengan selisih 2 mm dari AS-SRR. Tebal substrat dielektrik kedua penyerap GEM memiliki ketebalan yang sama, yaitu sebesar 1,6 mm. Tabel II menunjukkan ukuran setiap variabel desain AS-SRR dan AAS-SRR.

Nilai dimensi penyerap GEM AS-SRR dan AAS-SRR merupakan nilai dimensi yang menghasilkan tingkat penyerapan paling optimum pada frekuensi resonansi 6,18 GHz. Simulasi kedua penyerap GEM tersebut dilakukan dengan kondisi *boundary* yang sama dan arah perambatan gelombang datang yang sama, seperti yang diperlihatkan pada Gbr. 2. Selanjutnya, dilakukan analisis pada kinerja penyerapan GEM dengan melihat parameter S_{11} dari kedua penyerap GEM. Pada bagian selanjutnya dibahas perbandingan kinerja yang dihasilkan dari penyerap GEM persegi, AS-SRR, dan AAS-SRR.

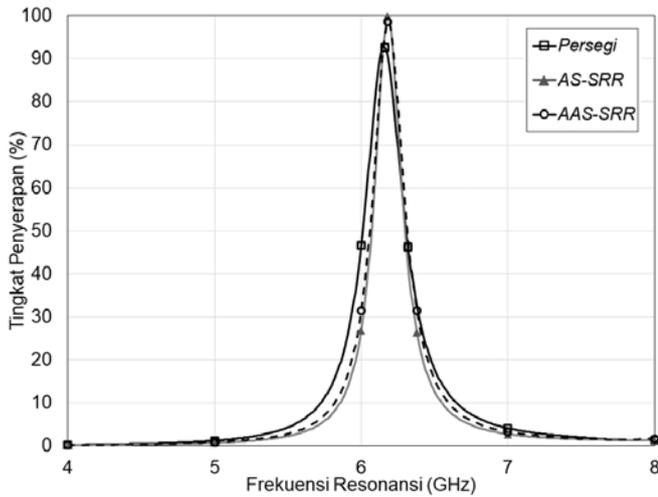


Gbr. 4 Satu unit sel AAS-SRR.

III. ANALISIS KINERJA PENYERAP GEM

Penyerap GEM pada makalah ini didesain dengan *full ground*. Hal ini membuat GEM yang diserap masuk oleh penyerap GEM tidak ada yang diteruskan ke belakang penyerap GEM, sehingga kinerja penyerap GEM dapat diukur hanya menggunakan parameter S_{11} sebagai ukuran daya GEM yang diserap oleh penyerap.

Dari hasil simulasi terlihat bahwa penyerap GEM persegi memiliki frekuensi resonansi pada 6,16 GHz dengan *bandwidth* 0,055 GHz. Penyerap GEM AS-SRR dan AAS-SRR memiliki frekuensi resonansi yang sama, 6,18 GHz, dengan *bandwidth* masing-masing sebesar 0,076 GHz dan 0,081 GHz. Perbandingan tingkat penyerapan dari ketiga penyerap GEM diperlihatkan pada Gbr. 5 dan tertuang pada Tabel III.



Gbr. 5 Tingkat penyerapan.

TABEL III
PERBANDINGAN KINERJA

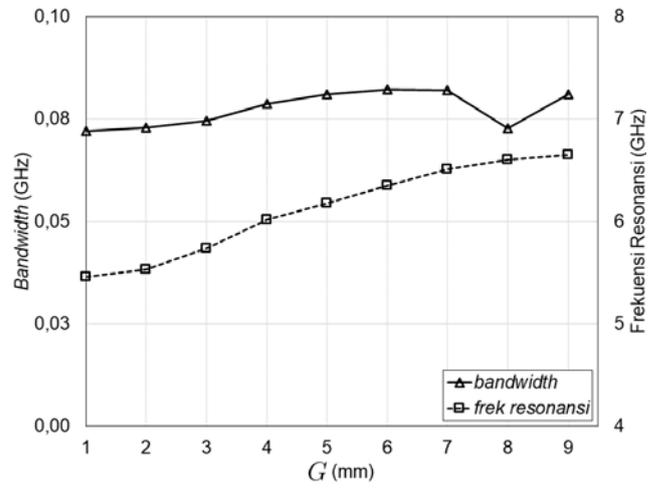
Hasil Pengukuran	Persegi	AS-SRR	AAS-SRR
Bandwidth	55 MHz	76 MHz	81 MHz
Tingkat penyerapan maksimal	92,6 %	99,9 %	98,5 %
Ukuran sel	30 mm	20 mm	18 mm

Dari hasil simulasi dapat dilihat juga bahwa penyerap GEM AS-SRR memiliki tingkat penyerapan paling tinggi di antara ketiga penyerap yang dirancang. Namun, AAS-SRR memiliki *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan bentuk penyerap GEM lainnya. Dimensi satu sel dari penyerap GEM persegi merupakan dimensi terbesar dibanding ketiga lainnya, dan dimensi penyerap GEM terkecil adalah AAS-SRR. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan bentuk yang asimetris pada sisi resonator lainnya dapat memperkecil dimensi dan mendapatkan tingkat penyerapan yang hampir sama dengan *bandwidth* yang lebih lebar. Dapat dikatakan bahwa penyerap GEM AAS-SRR yang dirancang pada makalah ini memiliki kinerja terbaik dibandingkan kedua penyerap GEM lainnya.

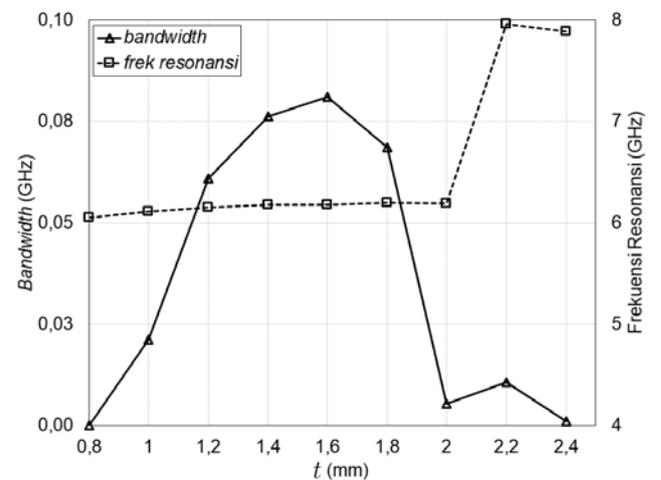
IV. KARAKTERISASI PENYERAP GEM AAS-SRR

Pada makalah ini, dilakukan karakterisasi terhadap setiap variabel dimensi penyerap GEM AAS-SRR. Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan dimensi variabel desain terhadap frekuensi resonansi dan *bandwidth* penyerap GEM AAS-SRR. Karakterisasi dilakukan dengan mengubah dimensi satu variabel secara linear dengan kondisi ukuran variabel lain tetap sama, lalu mengamati pengaruh perubahan frekuensi resonansi dan *bandwidth* dari hasil simulasi. Karakterisasi dilakukan pada tiap variabel dan menggunakan ukuran dimensi optimum pada Tabel II sebagai nilai tengah.

Gbr. 6 menunjukkan karakterisasi pada ukuran panjang *gap* resonator (*G*). Dari sembilan sampel yang diambil, terjadi kenaikan nilai frekuensi resonansi yang konsisten seiring bertambahnya panjang *gap* resonator. Saat panjang *gap*



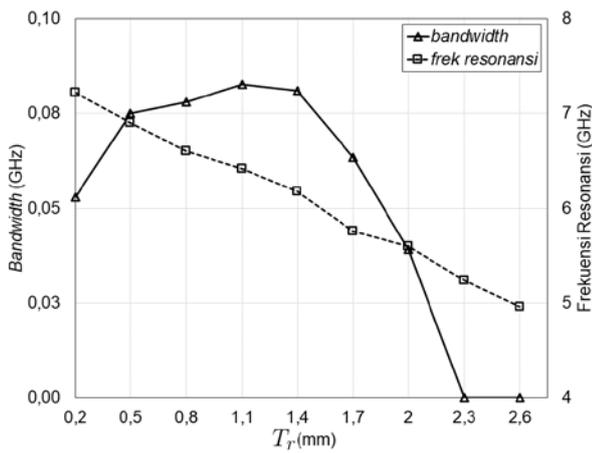
Gbr. 6 Karakterisasi panjang *gap* resonator (*G*).



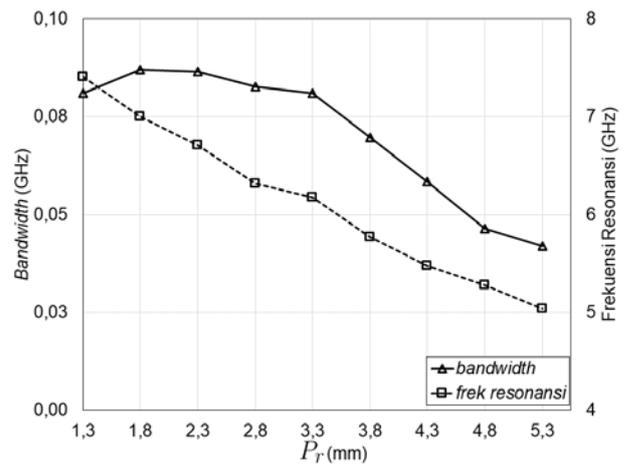
Gbr. 7 Karakterisasi tebal substrat dielektrik (*t*).

resonator 1 mm, didapatkan frekuensi resonansi pada 5,46 GHz dan nilai frekuensi resonansi terus bertambah sampai data sampel terakhir diambil, yaitu saat panjang *gap* resonator 9 mm, dengan frekuensi resonansi 6,65 GHz. Sedangkan dampak perubahan panjang *gap* resonator terhadap *bandwidth* sedikit berbeda. Respons *bandwidth* juga meningkat dengan panjang *gap* yang membesar dan diperoleh *bandwidth* tertinggi saat panjang *gap* resonator 6 mm, yaitu sebesar 0,0822 GHz.

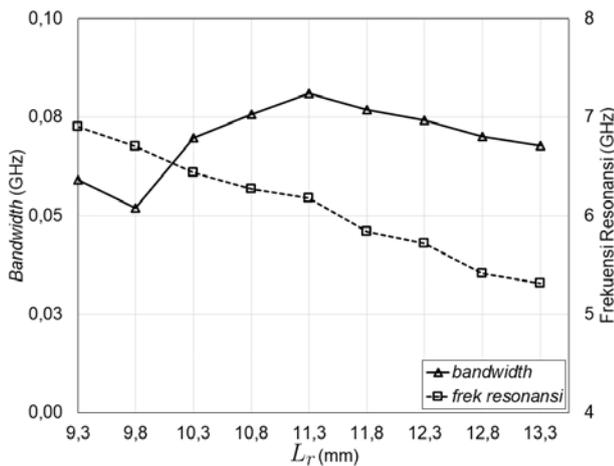
Gbr. 7 menunjukkan karakterisasi tebal substrat. Perubahan tebal substrat dari 0,8 mm sampai 2 mm tidak memberikan perubahan yang signifikan pada frekuensi resonansi penyerap GEM, tetapi frekuensi resonansi menjadi lebih tinggi saat ketebalan substrat di atas 2,2 mm. Saat ketebalan substrat 2,2 mm didapatkan nilai frekuensi resonansi pada 7,96 GHz dan saat ketebalan substrat 2,4 mm, didapatkan nilai frekuensi resonansi pada 7,89 GHz. Ketebalan substrat sangat berpengaruh pada besarnya *bandwidth*. Dapat dilihat pada Gbr. 7, *bandwidth* yang didapatkan dari ketebalan substrat 0,8 mm naik sampai ketebalan 1,6 mm dengan *bandwidth* sebesar 0,0811 GHz, sedangkan kenaikan ketebalan substrat di atas 1,6 mm menyebabkan penurunan nilai *bandwidth*.



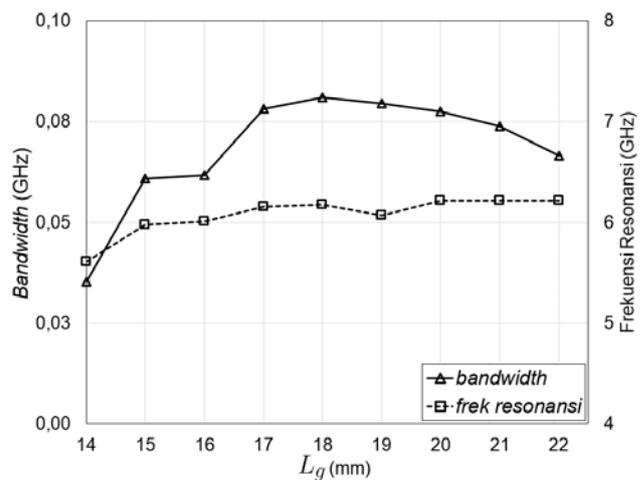
Gbr. 8 Karakterisasi tebal resonator (T_r).



Gbr. 10 Karakterisasi panjang resonator (P_r).



Gbr. 9 Karakterisasi lebar resonator (L_r).



Gbr. 11 Karakterisasi lebar *ground plane* (L_g).

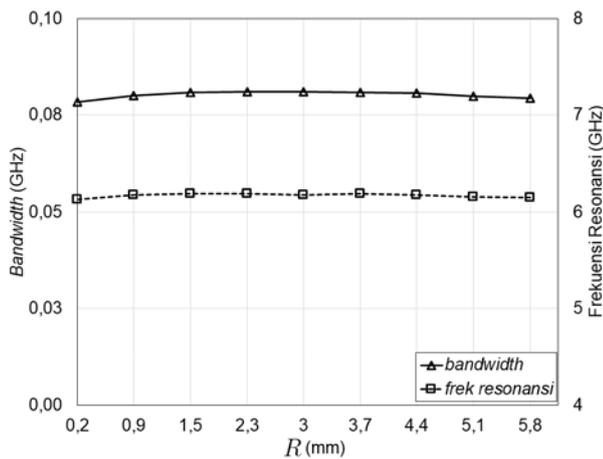
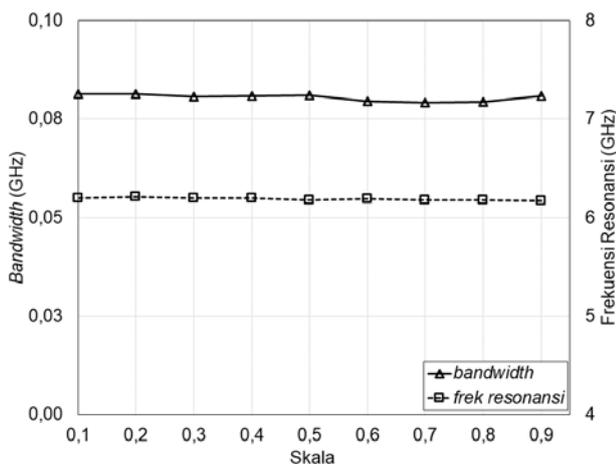
Gbr. 8 memperlihatkan pengaruh perubahan pada tebal resonator terhadap perubahan frekuensi resonansi dan *bandwidth*. Dari sembilan sampel yang diambil, terjadi penurunan frekuensi resonansi secara konsisten. Nilai frekuensi resonansi yang didapatkan semakin mengecil seiring dengan bertambahnya tebal resonator. Dapat diamati pada Gbr. 8, frekuensi resonansi tertinggi didapatkan pada 7,22 GHz, saat tebal resonator sebesar 0,2 mm. Nilai *bandwidth* terbesar didapatkan saat nilai tebal resonator sebesar 1,1 mm, yaitu sebesar 0,0827 GHz. Dari ketebalan resonator sebesar 1,1 mm, seiring bertambahnya nilai tebal resonator, *bandwidth* yang didapatkan semakin mengecil.

Pada Gbr. 9 dapat dilihat penurunan frekuensi resonansi. Semakin besar lebar resonator, nilai frekuensi resonansi semakin mengecil. Nilai frekuensi resonansi terkecil didapatkan pada nilai sampel terkecil, saat nilai lebar resonator sebesar 13,3 mm, dengan frekuensi resonansi 5,31 GHz. Sedangkan frekuensi resonansi terbesar didapatkan saat nilai lebar resonator sebesar 9,3 mm, dengan frekuensi resonansi senilai 6,9 GHz. Pengaruh lebar resonator pada *bandwidth* dapat dilihat pada kenaikan *bandwidth* yang didapatkan saat lebar resonator bertambah dari 9,8 mm sampai 11,3 mm. Didapatkan *bandwidth* terbesar yaitu 0,081 GHz saat lebar resonator sebesar 11,3 mm.

Pada Gbr. 10 diperlihatkan frekuensi resonansi terus menurun seiring bertambahnya nilai panjang resonator. Didapatkan nilai frekuensi tertinggi pada sampel pertama, saat panjang resonator sebesar 1,3 mm dengan frekuensi resonansi senilai 7,41 GHz. Sedangkan nilai frekuensi terendah didapatkan pada sampel terakhir, saat panjang resonator sebesar 5,3 mm dengan frekuensi resonansi senilai 5,04 GHz. *Bandwidth* terbesar didapatkan pada sampel kedua, saat panjang resonator bernilai 1,8 mm, yaitu sebesar 0,087 GHz. Dari panjang resonator sebesar 1,8 mm, nilai *bandwidth* yang didapatkan terus mengalami penurunan, sampai sampel terakhir pada panjang resonator sebesar 5,3 mm didapatkan nilai *bandwidth* terendah, yaitu sebesar 0,042 GHz.

Pada Gbr. 11 dapat dilihat karakterisasi ukuran *ground plane*. Karena digunakan *full-ground*, maka ukuran bahan dielektrik sama dengan ukuran *ground plane*. Dapat dilihat bahwa efek yang diberikan ukuran *ground plane* terhadap frekuensi resonansi tidak terlalu signifikan. Ukuran *ground plane* yang lebih besar cenderung menghasilkan nilai frekuensi resonansi yang lebih besar. Nilai *bandwidth* terbesar yang didapatkan adalah 0,081 GHz, saat lebar *ground plane* bernilai 18 mm.

Pada Gbr. 12 dapat dilihat karakterisasi terhadap spasi antar resonator. Variabel ini adalah jarak yang diberikan antara

Gbr. 12 Spasi antar resonator (R).Gbr. 13 Faktor skala resonator (S).

resonator satu dengan resonator dua yang merupakan hasil skala dan pencerminan sumbu dari resonator satu. Dapat diamati bahwa perubahan besar spasi antar resonator tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap perubahan frekuensi resonansi maupun *bandwidth* yang didapatkan. Pada Gbr. 13 ditunjukkan hasil pengamatan pengaruh perubahan skala terhadap frekuensi resonansi dan *bandwidth*. Dapat dilihat bahwa perubahan skala tidak memengaruhi frekuensi resonansi dan *bandwidth* secara signifikan. Frekuensi resonansi yang didapatkan masih berkisar pada frekuensi resonansi desain awal, yaitu 6,18 GHz dengan *bandwidth* sebesar 0,081 GHz.

Karakterisasi pada pola AAS-SRR dilakukan dengan cara mengubah dimensi dan mengamati perubahan pada respons frekuensi dan *bandwidth* penyerap GEM. Perubahan dimensi mengakibatkan perubahan nilai kapasitans dan induktans AAS-SRR. Perubahan nilai kapasitans dan induktans tersebut memengaruhi respons frekuensi dari AAS-SRR.

V. KESIMPULAN

Penyerap GEM AS-SRR dan AAS-SRR memiliki kinerja yang lebih baik dari penyerap GEM persegi dan memiliki dimensi yang lebih kecil. Kinerja penyerapan AS-SRR dan

AAS-SRR tidak berbeda jauh, *bandwidth* yang didapatkan masing masing adalah senilai 0,076 GHz dan 0,081 GHz. Kedua penyerap gelombang yang dirancang memiliki frekuensi resonansi pada 6,18 GHz, dengan AAS-SRR memiliki dimensi yang lebih kecil dari AS-SRR. Dari karakterisasi yang telah dilakukan pada AAS-SRR, dapat dilihat bahwa semakin bertambah T_r , L_r , P_r , dan L_g , nilai frekuensi resonansi akan berkurang. Setiap variabel berdampak pada pergeseran frekuensi resonansi dan besarnya *bandwidth*, kecuali untuk nilai spasi antar resonator (R) dan faktor skala (S). Kedua variabel desain tersebut tidak memiliki dampak yang signifikan terhadap frekuensi resonansi maupun *bandwidth*.

REFERENSI

- [1] B. Wang, X. Zhai, G. Wang, W. Huang, dan L. Wang., "A Novel Dual-band Terahertz Metamaterial Absorber for a Sensor Application," *Journal of Applied Physics*, Vol. 117, No. 1, hal. 1-5, 2015.
- [2] M.S. Sim, K.Y. You, F.B. Esa, dan Y.L. Chan, "Broadband Metamaterial Microwave Absorber for X-Ku Band Using Planar Split Ring-slot Structures," *2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium - Fall (PIERS -FALL)*, 2017, hal. 215-221.
- [3] E. Ameri, S.H. Esmali, dan S.H. Sedighy, "Ultra Wide Band Radar Cross Section Reduction Using Multilayer Artificial Magnetic Conductor Metasurface," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol. 51, No. 28, hal. 285-304, 2018.
- [4] B. Syihabuddin, A.H. Gunawan, M.R. Effendi, dan A. Munir, "Study on Multilayer EM Wave Absorber Composed of Metasurface for X-band Application," *2019 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Commnetsat)*, 2019, hal. 14-17.
- [5] N. Engheta dan R.W. Ziolkowski, *Electromagnetic Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*, 1st Ed., New Jersey, USA: Wiley-IEEE Press, 2006.
- [6] N.I. Landy, S. Sajuyigbe, J.J. Mock, D.R. Smith, dan W.J. Padilla, "Perfect Metamaterial Absorber," *Physical Review Letters*, Vol. 100, hal. 1-4, Mei 2008.
- [7] A. Mahmood, G. Ögücü, dan C. Sabah, "Design and Fabrication of a Novel Wideband DNG Metamaterial with the Absorber Application in Microwave X-Band," *Advances in Condensed Matter Physics*, Vol. 2017, hal. 1-8, 2017.
- [8] L.O. Nur, A. Kurniawan, Sugihartono, dan A. Munir, "Theoretical Analysis of Resonant Frequency for AMC-based Absorber Composed of Square Patch Array," *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, Vol. 7, No. 2, hal. 284-296, 2015.
- [9] Y. Wu, X. Ding, Z. Wang, dan B.Z. Wang, "Design of a Metamaterial Absorber With Ultra-Wide Angle Incidence," *2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*, Juli 2019, hal. 1333-1334.
- [10] V. A. H. Libi Mol dan C. K. Aanandan, "Wideband Radar Cross Section Reduction Using Artificial Magnetic Conductor Checkerboard Surface," *Progress In Electromagnetics Research M*, Vol. 69, hal. 171-183, 2018.
- [11] Y. Fang, Y. Jiang, K. Pan, dan Z. Hu, "On the Design of Metamaterial Radar Absorber Applying AMC by Controlling Surface Resistance," *2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*, 2019, hal. 1327-1328.
- [12] J.B. Pendry, A.J. Holden, D.J. Robbins, dan W.J. Stewart, "Magnetism from Conductors and Enhanced Nonlinear Phenomena," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 47, No. 11, hal. 2075-2084, Nov. 1999.
- [13] R. Marqués, F. Martín, dan M. Sorolla, *Metamaterials with Negative Parameters: Theory, Design, and Microwave Applications*, Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [14] H.B. Baskey dan M.J. Akhtar, "A Dual-band Hexagonal Ring Based Polarization-insensitive Metamaterial Absorber," *IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference*, 2013, hal. 1-4.

- [15] B.X. Wang, H.X. Zhu, dan W.Q. Huang, "Multiple-Band Ultra-Thin Perfect Metamaterial Absorber Using Analogy Split-Ring Resonators," *Plasmonics*, Vol. 19, hal. 1789-1800, 2019.
- [16] G. Sen, A. Ghosh, M. Kumar, S.N. Islam, dan S. Das, "A Co-Polarized Microwave Absorber with Dual Mode Resonance Based on Dual Split Ring Geometry for Wi-MAX and WLAN Applications," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 86, hal. 145-152, 2019.