

# INVESTIGASI KINERJA ANTENA BERDASARKAN DISPERSI ANOMALI METAMATERIAL STRUKTUR HEKSAGONAL *SPLIT RING RESONATOR*

Yan Soerbakti<sup>1,\*</sup>, Romi Fadli Syahputra<sup>1</sup>, Saktioto<sup>1</sup>, Moh. Danil Hendry Gamal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

<sup>2</sup>Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [yansoerbakti2@gmail.com](mailto:yansoerbakti2@gmail.com)

## ABSTRACT

*Metamaterial (MTM) anomaly dispersion characteristics have a great interest to be analyzed in the potential for increasing antenna performance. Dispersion material with a simple structure is able to cover the weaknesses of the antenna parameters. Characterization and optimization need to be applied to the MTM antenna design to obtain more effective antenna performance. Antenna operation is performed at 0-9 GHz microwave frequency with four SRR-H MTM structures varying in three radii of 2.5 mm, 2.7 mm, and 2.9 mm. The highest MTM characteristics occurred at four SRR-H radii of 2.9 mm with a refractive index of -8.5 which resulted in antenna parameters RL - 48.8 dB, 5.98 dBi, and working frequency of 1.09-9.00 GHz. Antenna radiation occurs precisely in all MTM structures with an isotropic pattern or in all directions of 4.63 dBi at a frequency of 5.976 GHz.*

**Keywords:** MTM, Antenna, SRR-H, Refractive index, Performance

## ABSTRAK

*Karakteristik dispersi anomali metamaterial (MTM) memiliki ketertarikan besar untuk dianalisis dalam potensi peningkatan kinerja antena. Material dispersi dengan struktur sederhana mampu menutupi kelemahan parameter antena. Karakterisasi dan optimasi perlu diterapkan pada rancangan antena MTM untuk memperoleh kinerja antena lebih efektif. Pengoperasian antena dilakukan pada frekuensi gelombang mikro 0-9 GHz dengan struktur MTM empat SRR-H yang divariasikan tiga radius 2,5 mm, 2,7 mm, dan 2,9 mm. Karakteristik MTM tertinggi terjadi pada empat SRR-H radius 2,9 mm dengan indeks bias -8,5 yang menghasilkan parameter antena RL - 48,8 dB, 5,98 dBi, dan frekuensi kerja 1,09-9,00 GHz. Radiasi antena tepat terjadi pada struktur MTM dengan pola isotropik atau kesegala arah sebesar 4,63 dBi pada frekuensi 5,976 GHz.*

**Kata kunci:** MTM, Antena, SRR-H, Indeks bias, Kinerja

Diterima 27-04-2020 | Disetujui 06-06-2020 | Dipublikasi 30-07-2020

## PENDAHULUAN

Perhatian terhadap metamaterial (MTM) semakin banyak diminati oleh para peneliti di dunia pada dekade terakhir. Sifat unik MTM berupa dispersi anomali menjadikan respon terhadap lingkungan sekitar menjadi lebih sensitif [1]. Penerapan MTM telah banyak dilakukan dalam berbagai aplikasi antena dalam bidang industri, keamanan, dan kesehatan [2]. Penggunaan struktur MTM telah terbukti dapat meningkatkan kinerja

antena berupa daya dipantulkan sedikit dan penguatan semakin tinggi. Selain itu, penggunaan MTM dapat memperkecil biaya fabrikasi dan mereduksi ukuran antena [3].

MTM *Split Ring Resonator* (SRR) telah banyak diterapkan karena mampu menghasilkan resonansi tinggi untuk peningkatan karakterisasi indeks bias negatif [4]. Struktur MTM memiliki ukuran lebih kecil dari panjang gelombang minimum yang bekerja pada objek. Identifikasi karakteristik MTM dapat dilakukan menggunakan

parameter-S (*Scattering*) dengan metode Nicolson-Ross-Weir (NRW) yang telah dimodifikasi [5]. Struktur MTM memberikan respon sensitivitas lebih besar akibat pengaruh lingkungan [6]. Beberapa penerapan teknologi antena MTM seperti peningkatan sinyal [7], deteksi kadar asam-basa [8], pencitraan pada tumor [9], dan lainnya. Kinerja antena dipengaruhi beberapa parameter antara lain *Return Loss* (RL), *Bandwidth* (BW), penguatan (*Gain*), pola sebaran radiasi, dan sebagainya. Karakterisasi dan optimasi terhadap struktur diperlukan untuk memperoleh parameter antena lebih tinggi [10]. Beberapa penelitian telah dilakukan pada antena MTM bentuk lingkaran [5], persegi [11], dan heksagonal [8].

Struktur MTM SRR-H (heksagonal) yang pernah diteliti oleh saktioto *et al.* (2016) digunakan dalam penerapan antena dengan tiga variasi radius cincin [13]. Struktur antena oleh Islam *et al.* (2015) digunakan dalam penelitian ini [5]. Analisis karakteristik MTM dan antena dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap kombinasi empat SRR-H dengan tiga variasi radius.

## METODE PENELITIAN

### Simulasi dan Karakterisasi MTM

Struktur MTM yang digunakan dalam bentuk heksagonal dengan dua cincin logam terpisah dan terletak pada titik pusat yang sama [12] seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (a). Rancangan dan simulasi struktur MTM menggunakan *Computer Simulation Technology* (CST). Bahan yang digunakan terdiri dari FR4 ( $\epsilon = 4,3$ ) sebagai substrat dan tembaga sebagai inklusi logam ( $\epsilon = 1$ ). Ukuran geometri dan radius cincin struktur MTM ditunjuk pada Tabel 1. Rancangan yang digunakan memiliki kombinasi empat sel MTM SRR-H dengan tiga variasi selisih radius 0,2 mm dari 2,5 mm hingga 2,9 mm. Ukuran Subtrat  $L_1$  sama untuk semua variasi empat SRR-H kecuali  $W_1$  masing-masing 24,99 mm, 25,51 mm, dan 26,03 mm.

**Tabel 1.** Ukuran struktur MTM SRR-H.

Parameter	Dimensi (mm)	Parameter	Dimensi (mm)
$H_1$	2.9	$X_2$	0.6
$H_2$	2.2	$L_1$	7.4
$H_3$	1.7	$W_1$	7.4
$H_4$	1.0	$T_z$	1.6
$X_1$	0.43	$T_p$	0.035

Ukuran  $X_3$  untuk radius 2,5 mm, 2,7 mm, dan 2,9 mm masing-masing adalah 1,54 mm, 1,36 mm, dan 1,19 mm. Penempatan input dan output gelombang EM, batas PEC (*Perfect Electric Conductor*) dan PMC (*Perfect Magnetic Conductor*) pada struktur MTM diterapkan untuk memperoleh parameter-S. Saluran input dan output terletak di sepanjang arah sumbu x dengan jarak 5,55 mm dari ujung kiri dan kanan struktur MTM. Batas PEC dan PMC masing-masing berada pada arah sumbu y dan z [13] yang dapat dilihat pada Gambar 1 (b).

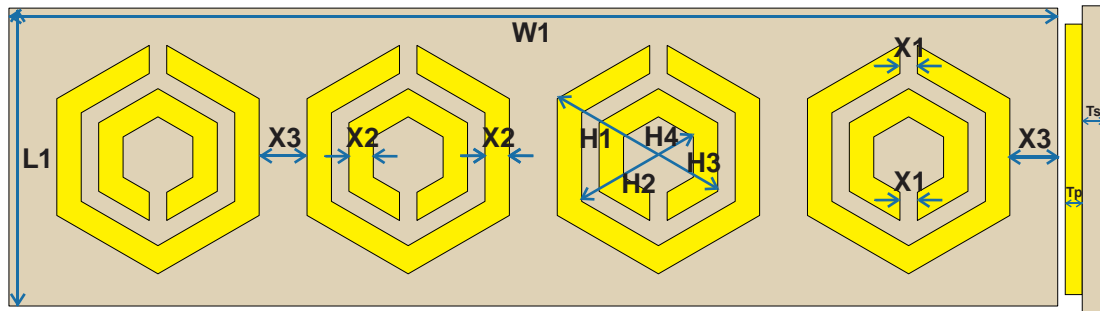
Karakterisasi MTM dapat diperoleh dengan metode NRW yang telah dimodifikasi [5]. Hasil parameter-S terdiri dari  $S_{11}$  (refleksi) dan  $S_{21}$  (transmisi) yang terbagi menjadi absolut dan fasa. Selanjutnya pengolahan  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  tersebut menjadi bilangan kompleks dari persamaan  $S_{11} = |S_{11}|e^{i\theta_{11}}$  dan  $S_{21} = |S_{21}|e^{i\theta_{21}}$ . Perhitungan  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ , dan  $n$  dilakukan menggunakan MATLAB dengan persamaan NRW sebagai berikut.

$$\mu_r = \frac{2}{jk_0 t_m} \frac{1 - V_2}{1 + V_2} \quad (1)$$

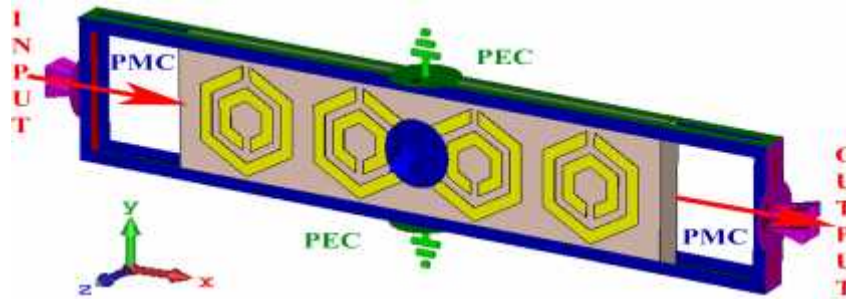
$$\epsilon_r = \frac{2}{jk_0 t_m} \frac{1 - V_1}{1 + V_1} \quad (2)$$

$$n = \pm \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (3)$$

dimana  $V_1 = S_{21} + S_{11}$  dan  $V_2 = S_{21} - S_{11}$ . Bilangan propagasi gelombang  $k_0 = 2\pi f/c$ , dengan  $f$  adalah frekuensi gelombang dan  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s).  $t_m$  merupakan jarak dari saluran input hingga output di antara struktur MTM SRR-H.



(a)

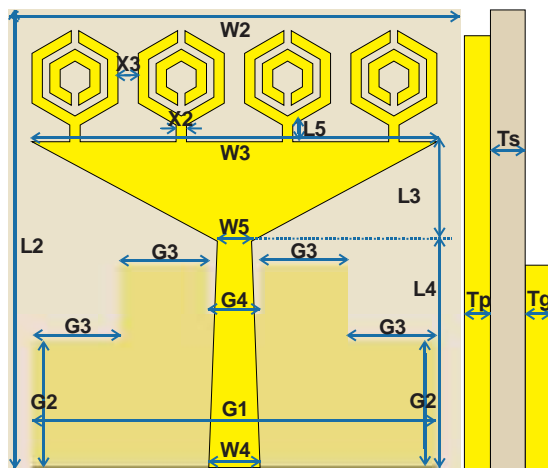


(b)

**Gambar 1.** (a) Struktur MTM SRR-H bagian depan (kiri) dan samping (kanan); (b) Pemasangan syarat batas PEC dan PMC dan saluran eksitasi.

### Rancangan dan Optimasi Antena MTM

Perancangan dan simulasi antena dengan struktur MTM empat SRR-H dengan tiga variasi radius dilakukan dengan bantuan *software* CST untuk memperoleh parameter antena. Rancangan struktur antenna MTM dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Struktur Antena MTM SRR-H; (a) bagian depan dan belakang (kiri) dan samping (kanan).

Ukuran geometri struktur antena MTM dapat dilihat pada Tabel 2. Bahan yang

digunakan terdiri dari tembaga (*patch* dan *ground*) dan FR4 (substrat). Struktur antena MTM tersebut ditentukan berdasarkan proses optimasi untuk mencapai kinerja antena yang tinggi.

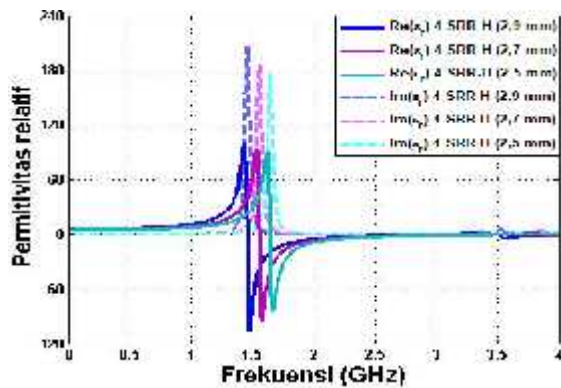
**Tabel 2.** Ukuran struktur antena MTM.

Parameter	Dimensi (mm)	Parameter	Dimensi (mm)
$X_2$	0.6	$W_5$	1.5
$L_2$	26.4	$G_1$	24
$L_3$	5.8	$G_2$	7.4
$L_4$	13.2	$G_3$	5.25
$L_5$	0.8	$G_4$	3
$W_2$	26	$T_s$	1.6
$W_3$	24	$T_p$	0.035
$W_4$	3	$T_g$	0.035

### HASIL DAN PEMBAHASAN

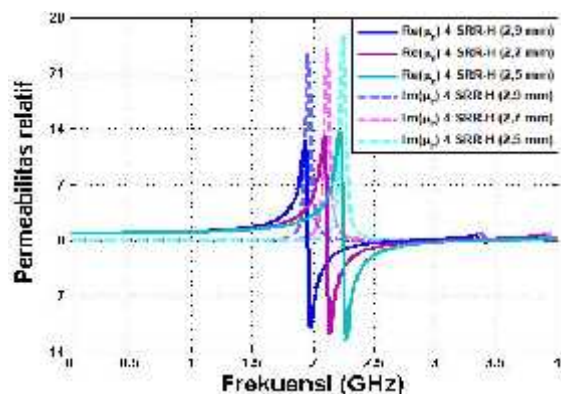
#### Karakteristik Dispersi Anomali MTM

Respon struktur MTM empat SRR-H dengan tiga variasi radius menghasilkan banyak resonansi parameter  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  [14]. Pengolahan data  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  menghasilkan karakteristik MTM  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ , dan  $n$  yang dapat dilihat pada Gambar 3, 4, dan 5.



**Gambar 3.** pergeseran frekuensi resonansi permitivitas relatif real dan imajiner.

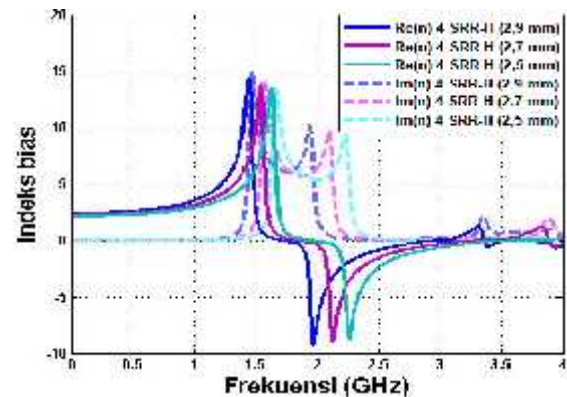
Dispersi anomali  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ , dan  $n$  bernilai negatif menandakan karakteristik MTM. Hal ini disebabkan karena perubahan polarisasi permitivitas material yang mula-mula positif meningkat ketika diberikan induksi medan listrik dan magnet menjadi menurun tajam menuju negatif pada frekuensi resonansi yang terjadi pada struktur MTM. Pergeseran frekuensi resonansi  $\epsilon_r$  terjadi akibat perbedaan volume dielektrik yang berbanding lurus terhadap penghambat medan listrik pada medium menghasilkan Peningkatan  $\epsilon_r$  dari 95,5 sampai 105,5 menuju frekuensi rendah 1,70-1,47 GHz yang dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 4.** Pergeseran frekuensi resonansi permeabilitas relatif real dan imajiner.

Gambar 4 menunjukkan dispersi anomali  $\mu_r$  hal yang sama terjadi pada permitivitas. Permeabilitas semakin menurun dengan pertambahan volume dielektrik yang menunjukkan peluang untuk melewati medan magnet dalam medium semakin

berkurang dari 12,3 hingga 11,2 menuju frekuensi lebih rendah 2,27-1,98 GHz yang ditunjukkan pada Gambar 4.

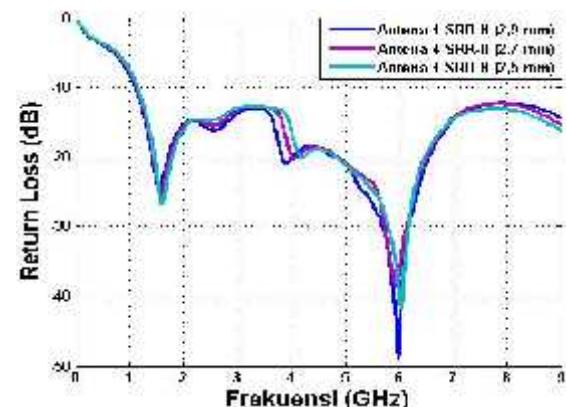


**Gambar 5.** pergeseran frekuensi resonansi indeks bias real dan imajiner.

Dispersi Anomali indeks bias negatif berasal dari frekuensi resonansi  $\epsilon_r$  dan  $\mu_r$ . Hal lain dari sifat optik material adalah perubahan arah propagasi gelombang berlawanan dengan kondisi semula ketika dikenakan pada MTM. Ukuran lebih kecil dari panjang gelombang menyebabkan peristiwa ini terjadi atau difraksi. Sehingga gelombang akan dipantulkan dengan propagasi gelombang terbalik dan bernilai negatif pada indeks bias.

### Kinerja Antena Kombinasi MTM

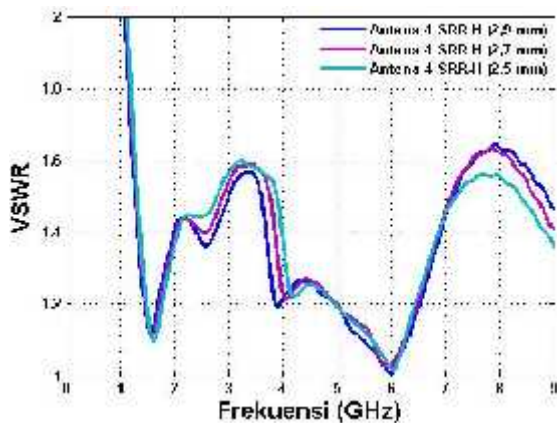
Kinerja antenna dari variasi tiga radius MTM 4 SRR-H memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada pergeseran pola karakteristik parameter antenna berupa *return loss* (RL), VSWR, *gain*, dan pola radiasi.



**Gambar 6.** Perbandingan *Return Loss* antenna MTM 4 SRR-H variasi radius.

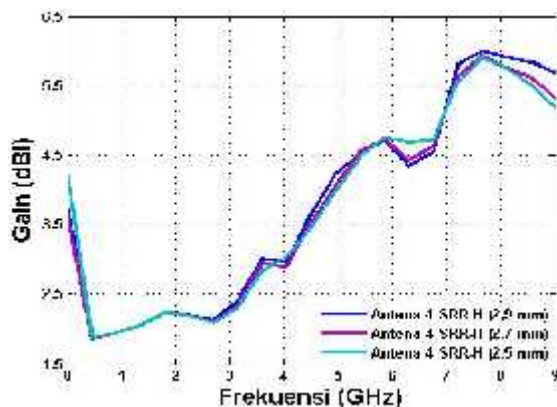


Perubahan RL pada antenna variasi tiga radius MTM empat SRR-H terlihat cukup signifikan. Resonansi RL antenna terjadi pada frekuensi 5,98-6,02 GHz dengan perbedaan 0,4%. RL negatif tertinggi terjadi pada antenna MTM radius 2,9 mm sebesar -48,8 dB yang dapat dilihat pada Gambar 6. Hal ini menandakan daya yang hilang akibat dipantulkan sangat sedikit dan menunjukkan kinerja antenna lebih efektif dibandingkan dengan MTM radius 2,5 mm dan 2,7 mm.



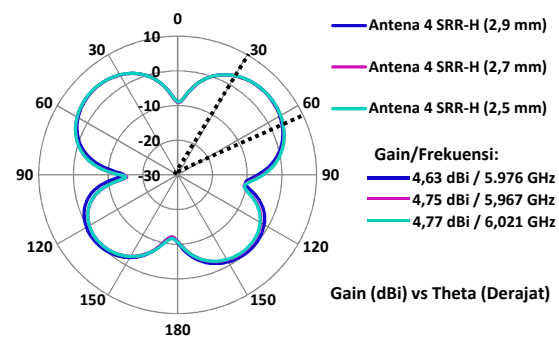
**Gambar 7.** Perbandingan VSWR antenna MTM 4 SRR-H variasi radius.

VSWR pada Gambar 7 menunjukkan rentang frekuensi kerja pada kondisi daya yang direfleksikan 10% dari daya semula diinputkan pada antenna. VSWR ditunjukkan dalam indeks nilai 1 – 2 yang didapatkan dari perbandingan jumlah dan selisih satuan terhadap koefisien refleksi. Antena MTM empat SRR-H ketiga radius memiliki frekuensi kerja yang hampir sama 98,89% dalam rentang 1,09-9 GHz.



**Gambar 8.** Perbandingan Gain (penguatan) antenna MTM 4 SRR-H variasi radius.

Gambar 8 menunjukkan karakteristik Gain pada antenna MTM empat SRR-H dengan variasi radius memiliki perbedaan sangat signifikan pada frekuensi 0-3 GHz yang terjadi pada bagian *port*. Perubahan yang cukup signifikan adanya pergeseran terjadi setelah melewati struktur tengah dan MTM pada antenna. Hal ini menandakan perbedaan intensitas radiasi yang ditimbulkan dari setiap struktur MTM dengan tiga variasi radius. Gain tertinggi terjadi pada frekuensi yang sama pada 7,68 GHz sebesar 5,98 dBi dan yang terendah 5,78 dBi.



**Gambar 9.** Perubahan pola radiasi antenna MTM 1 – 4 SRR-H.

Pola radiasi yang terbentuk pada antenna MTM empat SRR-H memiliki sifat isotropik yaitu sebaran radiasi hampir kesegala arah. Perbedaan yang timbul cukup signifikan antara struktur SRR-H dengan tiga variasi radius. Radiasi tertinggi tepat terjadi pada struktur MTM pada *return loss* negatif tertinggi.

## KESIMPULAN

Kinerja antenna dengan struktur MTM memiliki pengaruh yang cukup signifikan dengan perubahan radius cincin MTM. Karakteristik MTM memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap parameter antenna. MTM empat SRR-H dengan radius 2,9 mm memperoleh karakteristik MTM tertinggi dibandingkan dengan radius 2,5 mm dan 2,7 mm. Karakteristik MTM tertinggi menghasilkan parameter antenna tertinggi dengan RL -48,8 dB, gain 5,98 dBi, frekuensi kerja 1,09-9,00 GHz, dan radiasi antenna memiliki pola isotropic atau ke segala arah.

## REFERENSI

1. Lott, M., Roux, P., Garambois, S., Guéguen, P., & Colombi, A. (2020). Evidence of metamaterial physics at the geophysics scale: the METAFORÉT experiment. *Geophysical Journal International*, **220**(2), 1330-1339.
2. Alsharif, F. & Kurnaz, C. (2018). Wearable microstrip patch ultra wide band antenna for breast cancer detection. *ieeexplore, IEEE*, **1**, 456-459.
3. Mahmud, M. Z., Islam, M. T., Misran, N., Singh, M. J., & Mat, K. (2017). A negative index metamaterial to enhance the performance of miniaturized uwb antenna for microwave imaging applications. *Applied Sciences*, **7**(1149), 1-16.
4. Shi, L., Zhou, Q., Liang, W., Li, G., Sun, J., & Zhang, C. (2019). Effect of the broken symmetry on the electromagnetic properties in the terahertz ring resonators. *Optics Communications*, **445**, 136-141.
5. Islam, M. M., Islam, M. T., Faruque, M. R. I., Samsuzzaman, M., Misran, N., & Arshad, H. (2015). Microwave imaging sensor using compact metamaterial uwb antenna with a high correlation factor. *Material*, **8**, 4621-4651.
6. Choudhury, S. R., Rawat, V., Jalal, A. H., Kale, S. N., & Bhansali, S. (2016). Recent advances in metamaterial split-ring-resonator circuits as biosensors and therapeutic agents. *Biosensors and Bioelectronics*, **86**, 595-608.
7. Schmidt, R. & Webb, A. (2017). Metamaterial combining electric- and magnetic-dipole-based configurations for unique dual-band signal enhancement in ultrahigh-field magnetic resonance imaging. *ACS Applied Materials and Interfaces*, **9**(40), 34618-34624.
8. Islam, M. T., Ashraf, F. B., Alam, T., Misran, N., & Mat, K. B. (2018). A Compact Ultrawideband antenna based on hexagonal split-ring resonator for pH sensor application. *Sensors*, **18**(2959), 1-16.
9. Tao, Y., Yang, E., & Wang, G. (2017). Left-handed metamaterial lens applicator with built-in cooling feature for superficial tumor hyperthermia. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, **32**(11), 1029-1034.
10. Saeidi-Manesh, H. & Zhang, G. (2017). Characterization and optimization of cylindrical polametric array antenna patterns for multi-mission applications. *Progress in Electromagnetics Research*, **158**, 49-61.
11. Karaaslan, M., Ba manci, M., Ünal, E., Akgol, O., & Sabah, C. (2017). Microwave energy harvesting based on metamaterial absorbers with multi-layered square split rings for wireless communications. *Optics Communications*, **392**, 31-38.
12. Saktioto, T., Syahputra, R. F., Punthawanunt, S., Ali, J., & Yupapin, P. (2016). GHz frequency filtering source using hexagonal metamaterial splitting ring resonators. *Microwave and Optical Technology Letters*, **59**(6), 1337-1340.
13. Ali, T., Saadh, M. A. W., & Biradar, R. C. (2017). A Novel metamaterial rectangular CSRR with pass band characteristics at 2.95 and 5.23 GHz. *2nd IEEE International Conference On Recent Trends in Electronics Information & Communication Technology (RTEICT), IEEE Advanced Technology for Humanity*, May 19-20, 2017, India, 256-260.
14. Syahputra, R. F., Soerbakti, Y., Syech, R., Taer, E., & Saktioto, S. (2020). Effect of stripline Number on Resonant Frequency of Hexagonal Split Ring Resonator Metamaterial. *Journal pf Aceh Physics Society*, **9**(1), 26-30.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)