

---

---

## INVESTIGASI KARAKTERISTIK ANOMALI INDEKS BIAS NEGATIF METAMATERIAL ARRAY STRUKTUR *SPLIT RING RESONATOR*

Moh. Danil Hendry Gamal, Yan Soerbakti\*, Zamri, Romi Fadli Syahputra, Saktioto  
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: yansoerbakti2@gmail.com

### ABSTRACT

*Metamaterials have unique properties for research. Its trademark has scientists confused and disbelieving it. Several studies have been conducted to examine the structure of one and more metamaterials. Linear sequence metamaterial was carried out in this study. Then analyzed the changes in the optical properties of the metamaterial. The operating frequency used is 0-9 GHz. The structure of the Hexagonal Split Ring Resonator (SRR) metamaterial is designed with a radius of 2.9 mm and is combined from one to four hexagonal SRRs. The results showed that the highest negative refractive index value was obtained from the SRR hexagonal metamaterial structure with four combinations of -9.33.*

**Keywords:** Negative refractive index, Metamaterial, Split Ring Resonator, Hexagonal.

### ABSTRAK

*Metamaterial memiliki sifat yang unik untuk diteliti. Karakteristik yang berbeda dimilikinya membuat para ilmuwan bingung dan tidak percaya akan hal itu. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meneliti struktur metamaterial berjumlah satu dan lebih. Metamaterial dengan susunan seri dilakukan dalam penelitian ini. Kemudian dianalisa perubahan sifat optik yang dimiliki oleh metamaterial. Operasi frekuensi kerja yang digunakan sebesar 0-9 GHz. Struktur metamaterial Split Ring Resonator (SRR) heksagonal dirancang dengan jari-jari 2,9 mm dan dikombinasikan satu hingga empat. Hasil dari penelitian menunjukkan nilai indeks bias negatif tertinggi diperoleh dari struktur metamaterial SRR heksagonal dengan empat kombinasi sebesar -9,33.*

**Kata kunci:** Indeks bias negatif, Metamaterial, Split Ring Resonator, Heksagonal.

### PENDAHULUAN

Metamaterial adalah bahan elektromagnetik yang direayasa dan tersusun dari beberapa elemen logam individual secara berkala. Metamaterial memiliki struktur yang dirancang dengan ukuran lebih kecil dengan panjang gelombang elektromagnetik (EM) datang minimum [1]. Kemampuan metamaterial dalam memanipulasi gelombang elektromagnetik yang tidak terealisasi terjadi perubahan sifat pada propagasi mundur, efek Doppler terbalik, dan sifat tersebut sangat tergantung pada geometri metamaterial dari pada komposisi atau bahannya [2]. Untuk metamaterial dengan permitivitas dan permeabilitas negatif, beberapa nama dan terminologi telah disarankan, seperti media LH bertangan kiri [3]; media dengan indeks bias

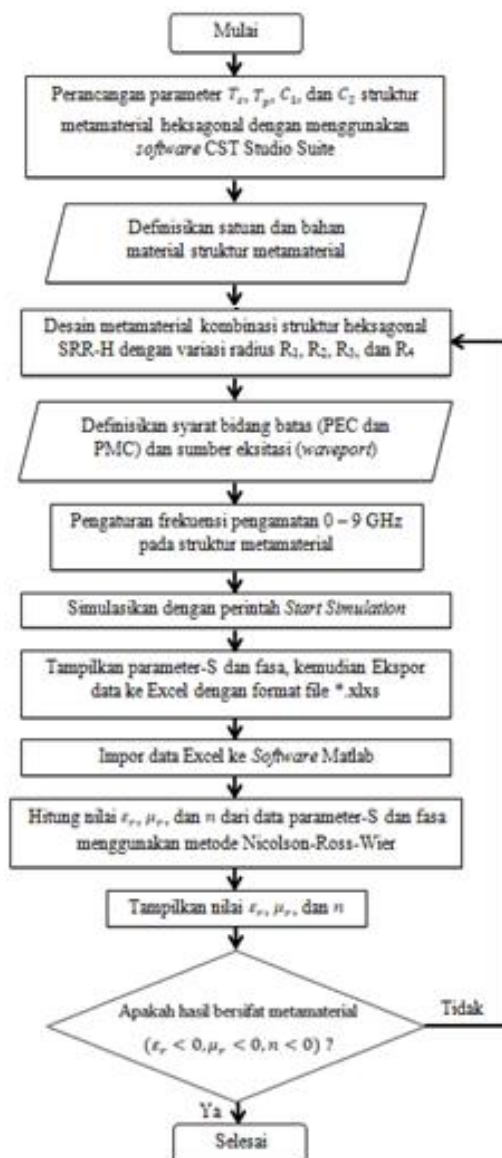
negatif; dan metamaterial *Double-Negative* (DNG) [4].

Sifat-sifat pada material mempunyai ciri khas yang unik berdasarkan konfigurasi atomnya yang khas dan hampir semua bahan yang ada secara alami memiliki nilai permitivitas  $\epsilon$  dan permeabilitas  $\mu$  positif di seluruh spektrum elektromagnetik pada logam. Material dengan salah satu parameter negatif akan menghambat perambatan gelombang karena indeks bias menjadi imajiner. Bahan dengan permitivitas  $\epsilon$  dan permeabilitas  $\mu$  negatif memiliki indeks bias bernilai nyata tetapi negatif dan juga perambatan gelombangnya [5].

Operasi prinsip dasar dari penginderaan metamaterial didasarkan pada perubahan koefisien transmisi dan refleksi dari parameter-S (*Scattering*) dalam hal frekuensi. Perubahan yang

terjadi dalam parameter disebabkan karena variasi dalam permitivitas  $\epsilon$  dan permeabilitas  $\mu$  atau indeks bias resonator metamaterial. Metode lain untuk penginderaan didasarkan pada fase koefisien refleksi dan transmisi [6]. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau anomali yang timbul dari dispersi indeks bias pada metamaterial. Pengukuran indeks bias negatif pada metamaterial menggunakan data transmisi dan refleksi parameter-S dengan metode Nicolson-Ross-Weir. Metode ini telah dimodifikasi untuk menentukan nilai permitivitas  $\epsilon$  dan permeabilitas  $\mu$  dari parameter-S [6], dengan bantuan *software* CST Studio Suite dan aplikasi Matlab.

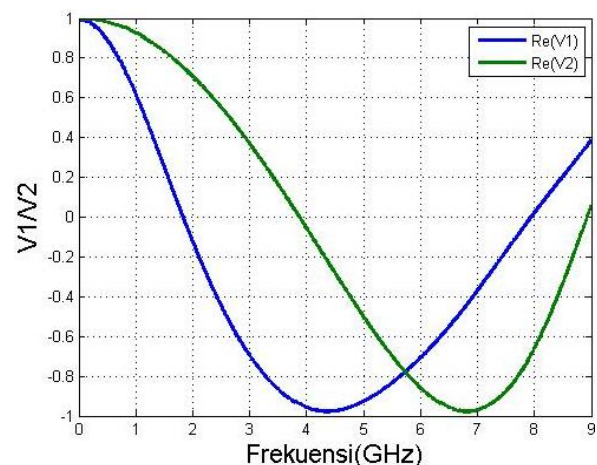
## METODE PENELITIAN



**Gambar 1.** Alur penelitian.

Langkah awal dari tahap simulasi adalah menentukan parameter struktur metamaterial dalam dengan  $T_s$  (ketebalan *substrate*),  $T_p$  (ketebalan *patch*),  $c_1$  (celah dan jarak pisah antar cincin), dan  $c_2$  (lebar *patch*) bentuk struktur heksagonal yang akan disimulasikan dengan menggunakan *software* CST Studio Suite. Selanjutnya penentuan bahan struktur berupa tembaga sebagai *patch* (komponen peradiasi) dan *ground* (komponen petanahan) serta bahan FR-4 sebagai *substrate* (bahan dielektrik) dan ukuran dimensi dalam satuan milimeter (mm) untuk perancangan struktur metamaterial tersebut. Proses desain struktur metamaterial SRR-H dilakukan dengan variasi radius  $R_1, R_2, R_3, \text{ dan } R_4$ . Struktur metamaterial dengan beberapa kombinasi SRR-H akan disimulasi dengan memberikan terlebih dahulu syarat bidang batas dan sumber eksitasi. Pengaturan frekuensi pengamatan dilakukan dan memulai simulasi dengan perintah *Start Simulation*. Hasil simulasi yang ditampilkan berupa data parameter-S kemudian data tersebut diekspor ke Excel dengan ekstensi \*.xlsx. Selanjutnya impor data ke matlab untuk menghitung dan menampilkan nilai permitivitas, permeabilitas dan indeks bias dari data tersebut dalam bentuk data dan grafik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN



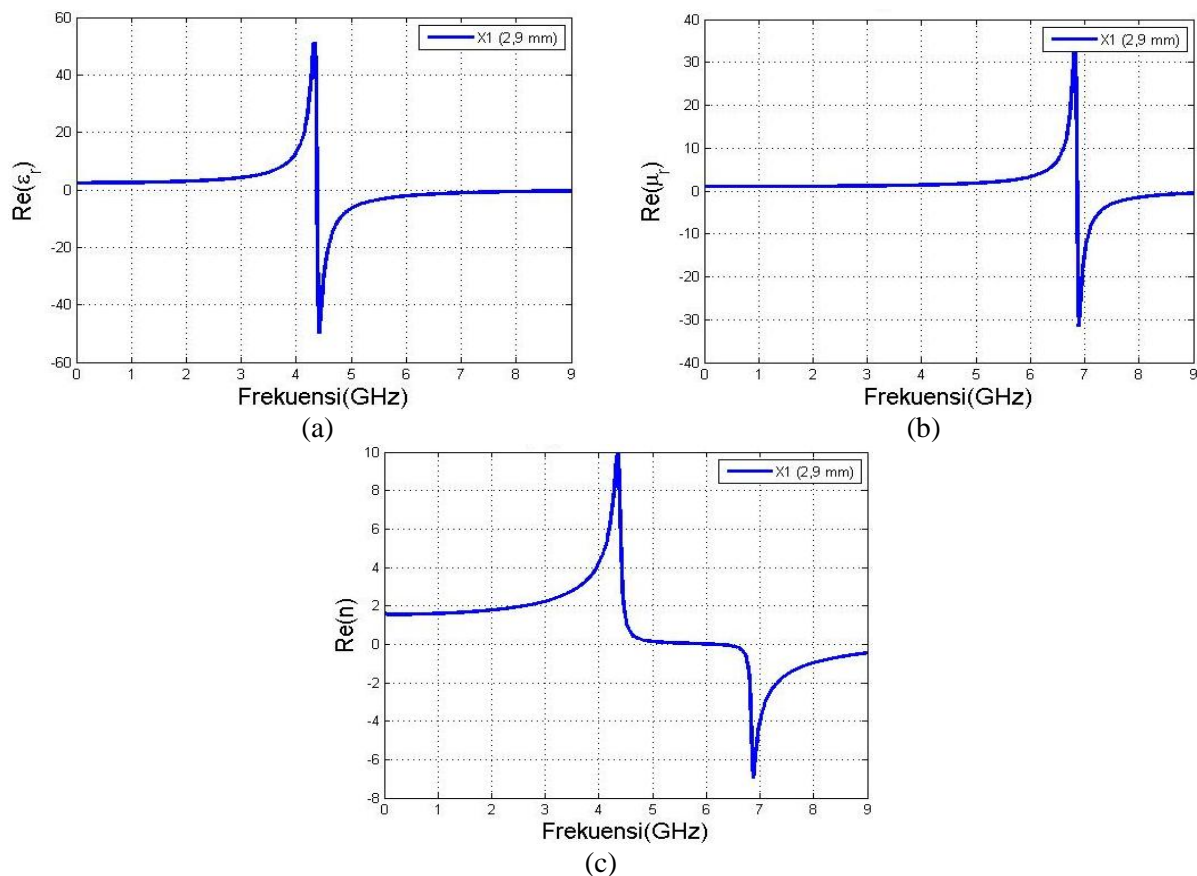
**Gambar 2.** Grafik bagian *real* V1 dan V2 substrat FR4.

Analisa ini dilakukan untuk melihat perbedaan hasil karakteristik yang didapatkan dari dua jenis struktur metamaterial dengan dan tanpa inklusi

logam. Pengolahan data parameter-S (*scattering*) berupa S11 (refleksi) dan S21 (transmisi) dengan menggunakan metode NRW menghasilkan material DNG (*double negative*) atau bernilai negatif ( $\epsilon_r < 0$ ,  $\mu_r < 0$ ,  $n < 0$ ) pada bahan metamaterial tanpa inklusi logam. Karakteristik metamaterial bernilai negatif tersebut diambil dari bagian *real* pada frekuensi resonansi ke bawah.

Pembelokan arah polarisasi elektron yang menerima sejumlah energi gelombang EM

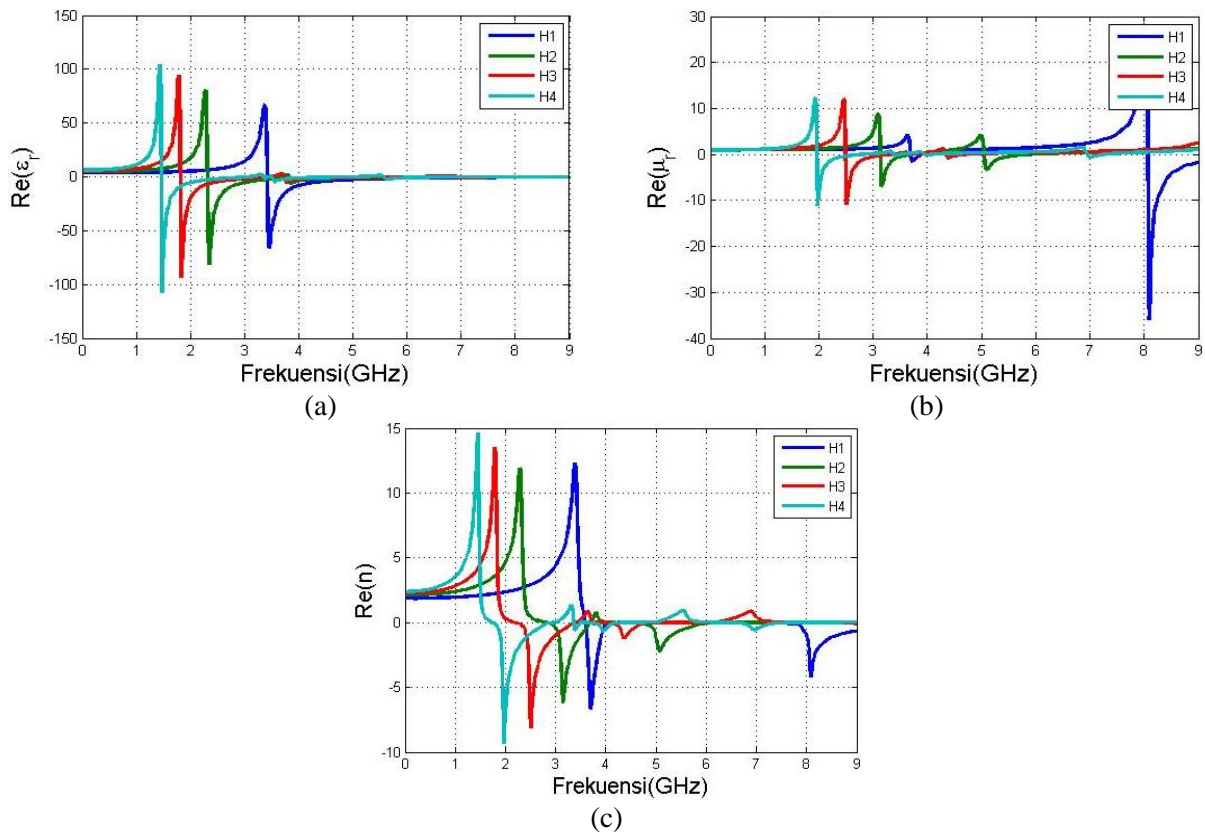
menyebabkan resonansi dispersi material pada struktur terjadi pada frekuensi tertentu. Pada Gambar 2 terlihat nilai frekuensi resonansi  $\text{Re}(V1)$  dan  $\text{Re}(V2)$  masing-masing menunjukkan kesamaan frekuensi resonansi terhadap  $\epsilon_r$  dan  $\mu_r$  atau dapat dilihat pada Gambar 3 (a) dan (b). Indeks bias  $n$  yang merupakan akar kuadrat dari  $\epsilon_r$  dan  $\mu_r$  menyebabkan Grafik frekuensi resonansi indeks bias  $n$  seperti pada Gambar 3 (c) memiliki kesamaan dengan frekuensi resonansi  $\epsilon_r$  dan  $\mu_r$  pada 4,45 GHz dan 6,94 GHz.



**Gambar 3.** Kombinasi satu SRR heksagonal: (a) Permittivitas; (b) Permeabilitas; dan (c) Indeks bias.

Hasil analisa pada Gambar 4 (a), (b), dan (c) menunjukkan kombinasi empat SRR heksagonal menghasilkan  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ , dan  $n$  bernilai negatif lebih besar pada frekuensi resonansi pertama dibandingkan dengan metamaterial kombinasi satu hingga tiga. Hal ini terjadi karena penambahan material medium dielektrik menyebabkan kemampuan untuk mempolarisasi elektron oleh momen medan E dan B yang dihasilkan menjadi semakin kecil [6]. Sehingga pengaruh terhadap perubahan relatif permittivitas

dan permeabilitas material menjadi lebih besar. Nilai negatif indeks bias  $n$  maksimum -9,33 pada frekuensi 1,97 GHz. Pergeseran frekuensi semakin ke bawah menuju frekuensi rendah dengan bertambahnya kombinasi struktur metamaterial SRR heksagonal. Pergeseran frekuensi resonansi tidak lepas dari kontribusi penambahan SRR heksagonal yang menyebabkan perubahan induksi medan E dan B lebih rendah untuk masing-masing struktur.



**Gambar 4.** Kombinasi SRR heksagonal: (a) Permittivitas; (b) Permeabilitas; dan (c) Indeks bias.

## KESIMPULAN

Frekuensi resonansi yang dihasilkan oleh  $\epsilon_r$  dan  $\mu_r$  masing-masing sepenuhnya berasal dari bagian *real* V1 dan V2. Penambahan inklusi logam dan radius struktur metamaterial SRR-H pada substrat menyebabkan resonansi semakin meningkat dan bergeser ke frekuensi lebih rendah. Indeks bias  $n$  negatif yang dihasilkan semakin meningkat dengan bertambahnya kombinasi 1 – 4 struktur metamaterial SRR-H sebesar 50% dari  $-6,64$  menjadi  $-9,33$ .

## REFERENSI

1. Caloz, C. and Itoh, T. (2006). *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications*. Wiley-Interscience publication, The Engineering Approach. University of California at Los Angeles.
2. Chen, T., Li, S., and Sun, H. (2012).

Metamaterials Application in Sensing, *Sensors (Basel)*. 12, pp. 2742–2765.

3. Caloz, C., Okabe, H., Iwai, T., and Itoh, T. (2002). Transmission Line Approach of Left-Handed Materials, *IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting*, San Antonio, TX, , abstract, URSI Digest, pp. 39.
4. Iyer, A. K. and Eleftheriades, G. V. (2002). Negative Refractive Index Metamaterials Supporting 2-D Waves, *IEEE MTT International Microwave Symposium (IMS) Digest*, Seattle, WA, pp. 1067–1070.
5. Smith, D.R. and Kroll, N. (2000). Negative Refractive Index in Left-Handed Materials, *Phys. Rev. Lett.* 85, pp. 2933–2946.
6. Soerbakti, Y., Syahputra, R. F., Saktioto, S., & Gamal, M. D. G. (2020). Investigasi kinerja antenna berdasarkan dispersi anomali metamaterial struktur heksagonal split ring resonator. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 17(2), 74-79.



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