

## ARTIKEL RISET

# Karakteristik Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-s Pada Bidang Batas Kiri Bahan Antiferomagnetik $FeF_2$ Dalam Konfigurasi Faraday

Azizatun Naafi'ah\*, Roniyus Marjunus and Dwi Asmi

## Ringkasan

Analisis teoretis dan komputasi telah dilakukan tentang pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-s dengan Konfigurasi Faraday (medan magnet luar diarahkan sejajar terhadap bidang datang). Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh perubahan arah medan magnet luar ( $H_0$ ) dan sudut datang ( $\theta$ ) terhadap nilai reflektansi dan transmitansi. Hasil komputasi menunjukkan bahwa reflektansi dan transmitansi gelombang elektromagnetik pada sisi kiri dan bawah bersifat resiprok (tidak terjadi perubahan nilai ketika adanya perubahan arah  $H_0$  dan  $\theta$ ) atau dapat dituliskan  $F(\theta) = F(-\theta)$  dan  $F(H_0) = F(-H_0)$ . Hasil reflektansi dan transmitansi gelombang elektromagnetik terpolarisasi-s pada penelitian ini dengan penelitian Devis (2008)[7] memiliki sifat yang sama tetapi nilai puncak  $R_{sp}$  (reflektansi gelombang elektromagnetik terpolarisasi-s yang menghasilkan gelombang pantul terpolarisasi-p) berbeda di sekitar frekuensi  $52,45 \text{ cm}^{-1}$ . Selain itu, nilai sudut kritis yang dapat menyebabkan terjadinya pemantulan sempurna adalah  $25,23 \text{ deg}$  jika ditinjau di dalam bahan dan  $90 \text{ deg}$  jika ditinjau di luar bahan magnet.

**Kata Kunci** : Gelombang Elektromagnetik;  $FeF_2$ ; Reflektansi; Transmitansi dan Pemantulan Sempurna.

## Abstract

Theoretical and computational analyzing have been carried out about the reflection and transmission of s-polarized electromagnetic waves with the Faraday Configuration (the external magnetic field is directed parallel to the incoming plane). This study is aimed to determine the effect of changes in the direction of the external magnetic field ( $H_0$ ) and ( $\theta$ ) the angle of incidence to the reflectance and transmittance values. The computational results show that the reflectance and transmittance of electromagnetic waves on the left and bottom are reciprocal (there is no change in value when there is a change in direction of  $H_0$  and  $\theta$ ) or can be written as  $F(\theta) = F(-\theta)$  and  $F(H_0) = F(-H_0)$ . The results of reflectance and transmittance of s-polarized electromagnetic waves in this study with Devis research (2008)[7] has the same properties but the peak value of  $R_{sp}$  (the reflectance of s-polarized electromagnetic waves that produce the p-polarized reflected waves) is different around the frequency of  $52,45 \text{ cm}^{-1}$ . In addition, the critical angle value that can causes total reflection is  $25,23 \text{ deg}$  measured from the inside material and  $90 \text{ deg}$  measured from the outside material.

**Keywords**: Electromagnetic wave;  $FeF_2$ ; Reflectance; Transmittance and Total Reflection.

## PENDAHULUAN

Optika mempelajari tentang cahaya atau gelombang elektromagnetik, karena cahaya termasuk gelombang

elektromagnetik. Apabila seberkas cahaya atau sinar (gelombang elektromagnetik[9]) mengenai suatu medium atau berpindah dari medium satu ke medium yang lain, maka akan mengalami dua gejala yaitu pembiasan dan pemantulan[2]. Medium tersebut akan memberi respon terhadap gelombang elektromagnetik yang mengenainya. Respon ini disebut kerentanan

\*Correspondence: [azizahnaafiah.26@gmail.com](mailto:azizahnaafiah.26@gmail.com)

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, 35141, Bandar Lampung, Indonesia

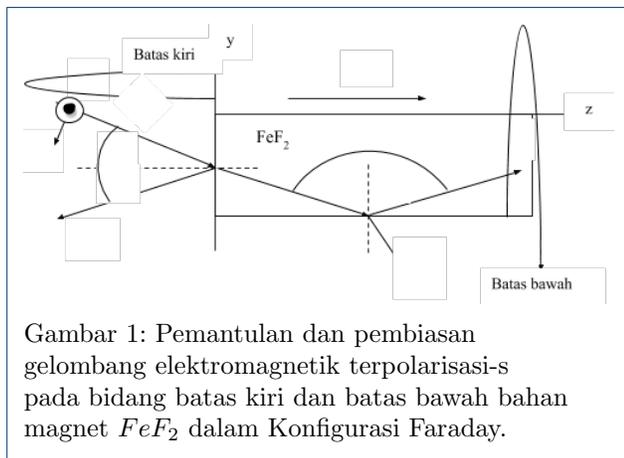
Full list of author information is available at the end of the article

†Equal contributor

bahan dan terbagi menjadi dua yaitu kerentanan listrik ( $\chi_{listrik}$ ) dan kerentanan magnet ( $\chi_{magnet}$ )[10].

Hingga kini, telaah yang telah dilakukan pada bahan magnetik antara lain pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik pada bahan  $FeF_2$  menggunakan sinar infra merah jauh pada Konfigurasi Faraday[3], telaah teoretis kerentanan magnetik non linear orde dua[4], kajian teoretis pemantulan sempurna gelombang elektromagnetik terpolarisasi-s pada bahan magnet  $FeF_2$  dalam Konfigurasi Voigt[5], serta kajian teoretis pemantulan sempurna gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada bahan magnet  $FeF_2$  dalam Konfigurasi Faraday[6].

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Devis mengenai karakteristik gelombang elektromagnetik terpolarisasi-s pada pemantulan sempurna dalam bahan magnet  $FeF_2$  menggunakan Konfigurasi Faraday yang membuktikan bahwa reflektansi dan transmitansi di bagian sisi kanan dan bagian atas bersifat resiprok serta terjadi pemantulan sempurna pada sisi atas bahan magnet  $FeF_2$ [7]. Sehingga pada penelitian ini dilakukan modifikasi dengan mengubah arah gelombang datang yaitu dari sisi kiri bahan antiferomagnetik  $FeF_2$  untuk melihat perbedaan karakteristik pemantulan dan pembiasan antara sisi kiri dan kanan serta antara batas atas dan bawah bahan antiferomagnetik  $FeF_2$ . Reflektansi dan transmitansi akan dihitung menggunakan MATLAB[[11] serta ditampilkan dalam bentuk grafik[8].



Gambar 1: Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-s pada bidang batas kiri dan batas bawah bahan magnet  $FeF_2$  dalam Konfigurasi Faraday.

## 1 DASAR TEORI

Penelitian ini memanfaatkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Abraha mengenai perhitungan secara teoretis mengenai kerentanan magnet linier ( $\overleftarrow{\chi}^{(1)}(\omega)$ ) pada bahan magnet  $FeF_2$  yaitu diperoleh

dalam bentuk tensor atau matriks ordo 3[3]. Untuk menghitung vektor-vektor amplitudo gelombang listrik dan gelombang magnet pada masing-masing medium digunakan persamaan-persamaan Maxwell dalam satuan SI, sebagaimana diberikan oleh Persamaan (1) sampai Persamaan (6) berikut ini[1]

$$\nabla \cdot D(r, t) = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot B(r, t) = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \overrightarrow{H}(\overrightarrow{r}, t) = \frac{\partial D(r, t)}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \overrightarrow{E}(\overrightarrow{r}, t) = -\frac{\partial B(r, t)}{\partial t} \quad (4)$$

$$D(r, t) = \epsilon E(r, t) \quad (5)$$

$$B(\overrightarrow{r}, t) = \mu_0(1 + \overleftarrow{\chi}^{(1)}(\omega))H(\overrightarrow{r}, t) \quad (6)$$

Selain itu digunakan pula syarat batas antara vektor gelombang datang, terpantul dan terbias, yaitu

$$k_{iy} = k_{ry} = k_{ty} \quad (7)$$

$$\theta_i = \theta_r \quad (8)$$

untuk menghitung koefisien pemantulan dan pembiasannya, digunakan syarat batas untuk kuat medan antar medium di bidang batas, sebagaimana diberikan oleh Persamaan (9) dan Persamaan (10) berikut ini[1]

$$E_{i\ tang} + E_{r\ tang} = E_{t\ tang} \quad (9)$$

$$H_{i\ tang} + H_{r\ tang} = H_{t\ tang} \quad (10)$$

Kemudian reflektansi dan transmitansinya dihitung menggunakan Persamaan (11) dan Persamaan (12) berikut ini[1]

$$R = \left| \frac{S_r \cdot \hat{n}}{S_i \cdot \hat{n}} \right| \quad (11)$$

$$T = \left| \frac{S_t \cdot \hat{n}}{S_i \cdot \hat{n}} \right| \quad (12)$$

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dari analisis gelombang elektromagnet datang, gelombang elektromagnet pantul dan gelombang elektromagnet terbias pada sisi kiri dan bawah menggunakan persamaan (1)–(6). Kemudian, koefisien pemantulan dan pembiasannya didapatkan dengan menggunakan persamaan (9) dan (10). Sedangkan reflektansi dan transmitansi diperoleh dari persamaan 11 dan 12. Reflektansi dan tranmitansi ini dihitung menggunakan MATLAB dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 1 serta analisis Persamaan (1)-(4), diperoleh persamaan gelombang elektromagnet datang serta vektor pointing rata-rata seperti Persamaan (13) berikut

$$E_{1i} = -E_0 \hat{x} \quad (13a)$$

$$\vec{H}_{1i} = \frac{1}{\omega \mu_0} (-E_0 k \cos \theta \hat{y} - E_0 k \sin \theta \hat{z}) \quad (13b)$$

$$\langle \vec{S}_i \rangle = \frac{E_0^2}{2\omega \mu_0} (-k \sin \theta \hat{y} + k \cos \theta \hat{z}) \quad (13c)$$

Kemudian, dari Persamaan (1)-(8) didapatkan persamaan gelombang elektromagnet terpantul yang terpolarisasi-s dan terpolarisasi-p serta vektor pointing rata-rata sebagaimana diberikan oleh Persamaan (14) berikut

$$E_{1r_{ss}} = -E_0 r_{ss} \hat{x} \quad (14a)$$

$$\vec{H}_{1r_{ss}} = \frac{1}{\omega \mu_0} (E_0 r_{ss} k \cos \theta \hat{y} - E_0 r_{ss} k \sin \theta \hat{z}) \quad (14b)$$

$$\langle \vec{S}_{r_{ss}} \rangle = \frac{E_0^2 |r_{ss}|^2}{2\omega \mu_0} (-k \sin \theta \hat{y} - k \cos \theta \hat{z}) \quad (14c)$$

$$E_{1r_{sp}} = -r_{sp} E_0 \cos \theta \hat{y} + r_{sp} E_0 \sin \theta \hat{z} \quad (14d)$$

$$\vec{H}_{1r_{sp}} = -\frac{1}{\omega \mu_0} (E_0 k r_{sp} \hat{x}) \quad (14e)$$

$$\langle \vec{S}_{r_{sp}} \rangle = \frac{E_0^2 |r_{sp}|^2}{2\omega \mu_0} (-k \sin \theta \hat{y} - k \cos \theta \hat{z}) \quad (14f)$$

$r_{ss}$  dan  $r_{sp}$  adalah koefisien pemantulan gelombang elektromagnetik yang terpolarisasi-s dan terpolarisasi-p yang diperoleh dengan menerapkan Persamaan (9)-(10) seperti diberikan pada Persamaan (15) berikut

$$r_{ss} = (\zeta_{1x} t_1 + \zeta_{2x} t_2) - 1 \quad (15a)$$

$$r_{sp} = -\frac{\zeta_{1y} t_1 + \zeta_{2y} t_2}{\cos \theta} \quad (15b)$$

Persamaan gelombang terbiasnya dan vektor pointing rata-ratanya juga menggunakan Persamaan (1)-(8)

sebagaimana diberikan pada Persamaan 16

$$E_{t1} = (-\zeta_{1x} + \zeta_{1y} + \zeta_{1z}) E_0 t_1 \quad (16a)$$

$$H_{t1} = -(\sigma_{1x} + \sigma_{1y} + \sigma_{1z}) E_0 t_1 \quad (16b)$$

$$\begin{aligned} \langle \vec{S}_{t1} \rangle = & \frac{E_0^2 |t_1|^2}{2} \text{Re} [(-\zeta_{1y} \sigma_{1z}^* + \zeta_{1z} \sigma_{1y}^*) \hat{x} \\ & - (\zeta_{1z} \sigma_{1x}^* + \zeta_{1x} \sigma_{1z}^*) \hat{y} \\ & + (\zeta_{1x} \sigma_{1y}^* + \zeta_{1y} \sigma_{1x}^*) \hat{z}] \end{aligned} \quad (16c)$$

$$E_{t2} = (-\zeta_{2x} + \zeta_{2y} + \zeta_{2z}) E_0 t_2 \quad (16d)$$

$$H_{t2} = -(\sigma_{2x} + \sigma_{2y} + \sigma_{2z}) E_0 t_2 \quad (16e)$$

$$\begin{aligned} \langle \vec{S}_{t2} \rangle = & \frac{E_0^2 |t_2|^2}{2} \text{Re} [(-\zeta_{2y} \sigma_{2z}^* + \zeta_{2z} \sigma_{2y}^*) \hat{x} \\ & - (\zeta_{2z} \sigma_{2x}^* + \zeta_{2x} \sigma_{2z}^*) \hat{y} \\ & + (\zeta_{2x} \sigma_{2y}^* + \zeta_{2y} \sigma_{2x}^*) \hat{z}] \end{aligned} \quad (16f)$$

$t$  adalah koefisien pembiasan gelombang elektromagnetik pada bidang batas kiri bahan  $F_1 F_2$  yang diperoleh dengan menerapkan Persamaan (9)-(10), seperti diberikan pada Persamaan (17). Sedangkan  $\zeta$  adalah besaran yang diperoleh pada perhitungan.

$$\begin{aligned} t_1 = & -2k \cos \theta (\mu_0 \omega \cos \theta \sigma_{2x} + k \zeta_{2y}) \\ & ((\mu_0 \omega \sigma_{2y} + k \cos \theta \zeta_{2x}) \\ & (k \zeta_{1y} + \mu_0 \omega \cos \theta \sigma_{1x}) \\ & - (\mu_0 \omega \sigma_{1y} + k \cos \theta \zeta_{1x}) \\ & (\mu_0 \omega \cos \theta \sigma_{2y} + k \zeta_{2y}))^{-1} \end{aligned} \quad (17a)$$

$$\begin{aligned} t_2 = & -t_1 (\sigma_{1x} \mu_0 \omega \cos \theta + k \zeta_{1y}) \\ & ((\sigma_{2x} \mu_0 \omega \cos \theta + k \zeta_{2y}))^{(-1)} \end{aligned} \quad (17b)$$

Reflektansi dan Transmittansi pada bidang batas kiri diperoleh dengan menggunakan Persamaan (11)-(12), sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (18) berikut

$$R_{ss} = |r_{ss}|^2 \quad (18a)$$

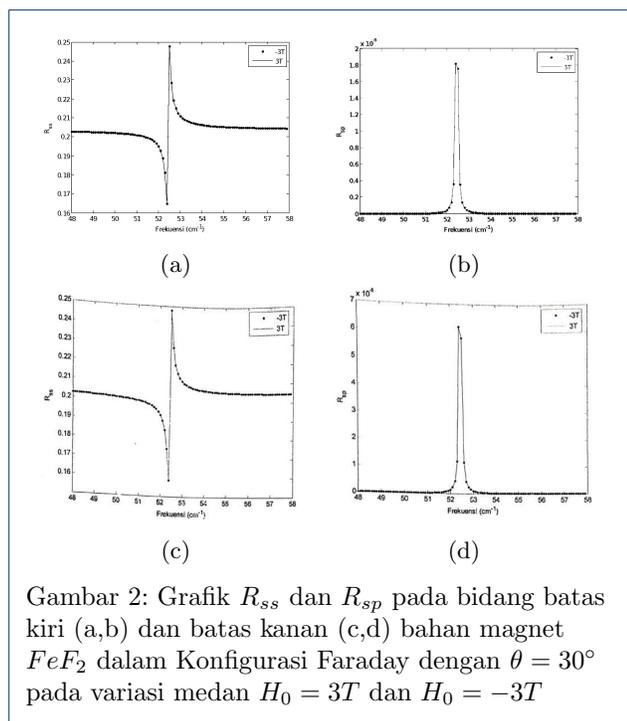
$$R_{sp} = |r_{sp}|^2 \quad (18b)$$

$$T_1 = |t_1|^2 \left| \frac{\mu_0 \omega (\sigma_{1y}^* + \zeta_{1y} \sigma_{1x}^*)}{k \cos \theta} \right| \quad (18c)$$

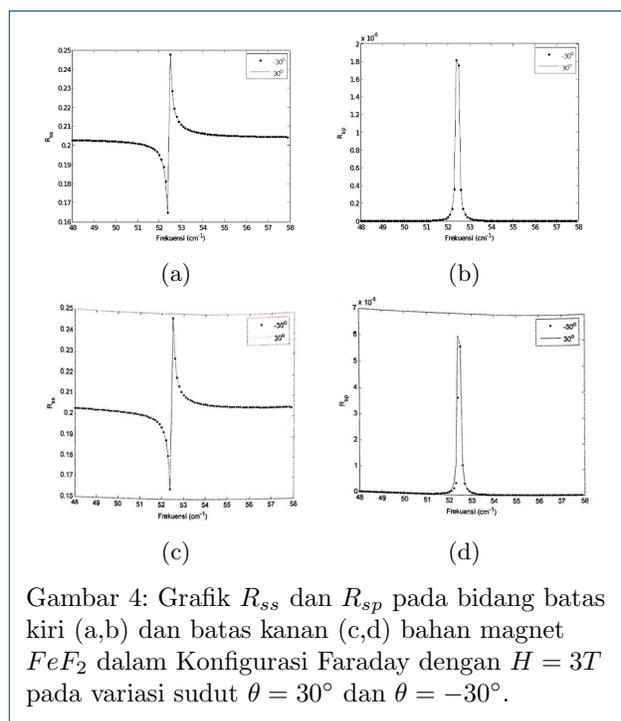
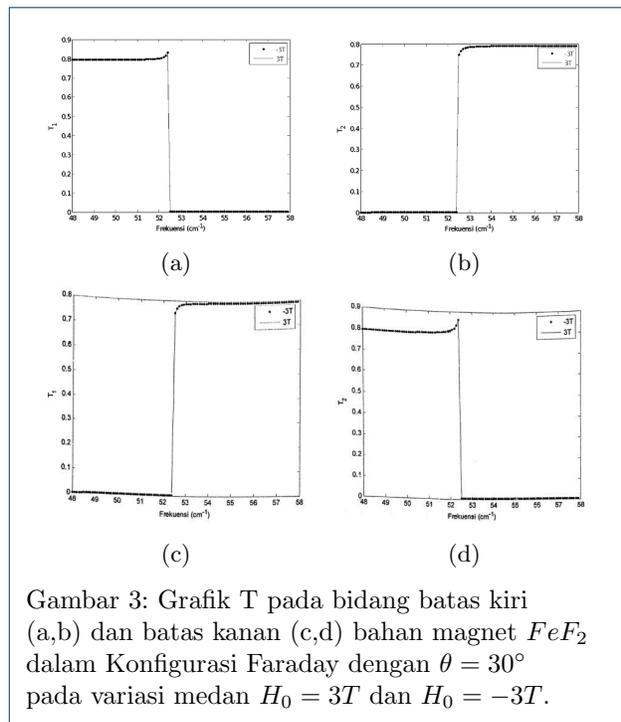
$$T_2 = |t_2|^2 \left| \frac{\mu_0 \omega (\sigma_{2y}^* + \zeta_{2y} \sigma_{2x}^*)}{k \cos \theta} \right| \quad (18d)$$

Persamaan (18) ini kemudian dihitung menggunakan MATLAB dan diperoleh dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 2 sampai Gambar 6. Berdasarkan Gambar 2a diperoleh bahwa nilai reflektansi ( $R_{ss}$ ) pada bidang batas kiri dengan variasi medan  $H = 3T$  dan  $H = -3T$  bersifat resiprok terhadap perubahan arah medan magnet luar dan

sudut datang. Jika hasil ini dibandingkan dengan hasil reflektansi pada batas kanan yang telah dilakukan oleh Devis (2008)[7] seperti disajikan pada Gambar 2c, terlihat adanya kesamaan pola dan juga nilai reflektansinya. Selain itu, nilai reflektansi ( $R_{sp}$ ) pada bidang batas kiri seperti diberikan pada Gambar 2b yang dipeoleh juga bersifat resiprok. Jika hasil ini dibandingkan dengan hasil reflektansi pada batas kanan yang telah dilakukan oleh Devis (2008)[7] seperti disajikan pada Gambar 2d, terlihat adanya kesamaan pola akan tetapi memiliki nilai puncak yang berbeda di sekitar frekuensi resonansi  $52,45 \text{ cm}^{-1}$ .

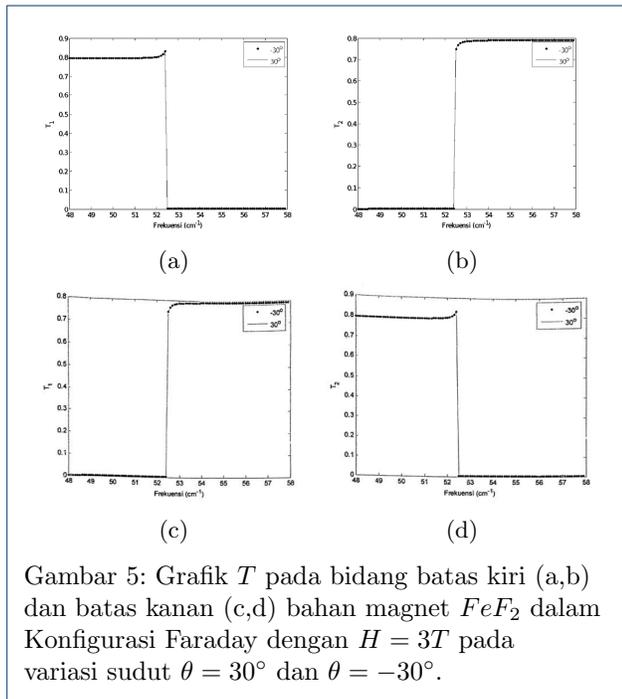


Sedangkan nilai transmitansi pertama pada bidang batas kiri dengan variasi medan  $H = 3T$  dan  $H = -3T$  yang diberikan oleh Gambar 3a juga bersifat resiprok. Jika hasil transmitansi ini dibandingkan dengan hasil transmitansi pertama pada sisi kanan yang telah dilakukan oleh Devis (2008)[7] seperti disajikan pada Gambar 3c, terlihat adanya kesamaan sifat serta nilainya. Selain itu, nilai transmitansi kedua pada bidang batas kiri seperti diberikan pada Gambar ?? yang dipeoleh juga bersifat resiprok. Jika hasil transmitansi ini dibandingkan dengan hasil transmitansi kedua pada batas kanan yang telah dilakukan oleh Devis (2008)[7] seperti disajikan pada Gambar 3d juga memiliki sifat dan nilai yang sama. Terdapat perbedaan penulisan simbol antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya, sehingga hasil transmitansi terlihat berbeda. Namun pada dasarnya hasil di kedua sisi ini adalah sama.



Berdasarkan Gambar 4a diperoleh bahwa nilai reflektansi ( $R_{ss}$ ) pada bidang batas kiri dengan variasi sudut  $\theta = 30^\circ$  dan  $\theta = -30^\circ$  bersifat resiprok terhadap perubahan arah medan magnet luar dan sudut datang. Jika hasil ini dibandingkan dengan hasil reflektansi pada sisi kanan yang telah dilakukan

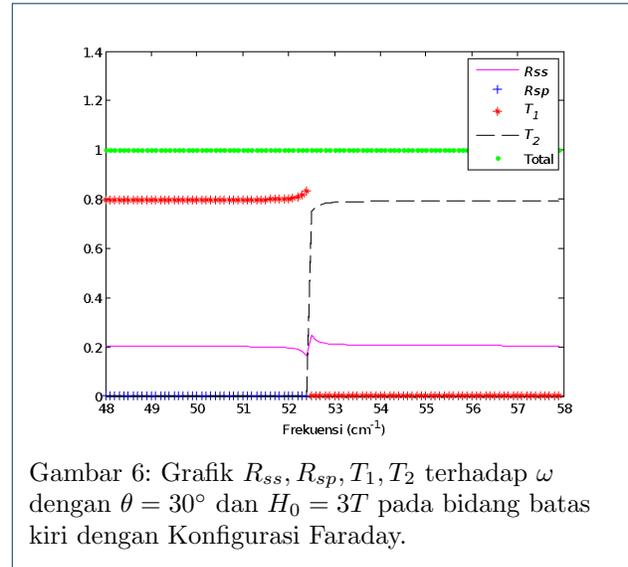
oleh Devis (2008)[7] seperti disajikan pada Gambar 4c, terlihat adanya kesamaan pola dan juga nilai reflektansinya. Selain itu, nilai reflektansi ( $R_{sp}$ ) pada bidang batas kiri seperti diberikan pada Gambar 4b yang dipeorleh juga bersifat resiprok. Jika hasil ini dibandingkan dengan hasil reflektansi pada sisi kanan yang telah dilakukan oleh Devis (2008)[7] seperti disajikan pada Gambar 4d, terlihat adanya kesamaan pola akan tetapi memiliki nilai puncak yang berbeda di sekitar frekuensi resonansi  $52,45 \text{ cm}^{-1}$ .



Gambar 5: Grafik  $T$  pada bidang batas kiri (a,b) dan batas kanan (c,d) bahan magnet  $FeF_2$  dalam Konfigurasi Faraday dengan  $H = 3T$  pada variasi sudut  $\theta = 30^\circ$  dan  $\theta = -30^\circ$ .

Sedangkan nilai transmitansi pertama pada bidang batas kiri dengan variasi sudut  $\theta = 30^\circ$  dan  $\theta = -30^\circ$  yang diberikan oleh Gambar 5a juga bersifat resiprok. Jika hasil transmitansi ini dibandingkan dengan hasil transmitansi pertama pada sisi kanan yang telah dilakukan oleh Devis (2008)[7] seperti disajikan pada Gambar 5c, terlihat adanya kesamaan sifat serta nilainya. Selain itu, nilai transmitansi kedua pada bidang batas kiri seperti diberikan pada Gambar 5b yang diperoleh juga bersifat resiprok. Jika hasil transmitansi ini dibandingkan dengan hasil transmitansi kedua pada batas kanan yang telah dilakukan oleh Devis (2008)[7] seperti disajikan pada Gambar 5d juga memiliki sifat serta nilai yang sama.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa total dari reflektansi dan transmitansinya adalah 1, artinya perhitungan dari reflektansi dan transmitansi pada bidang batas kiri bahan magnet  $FeF_2$  sudah benar.



Gambar 6: Grafik  $R_{ss}, R_{sp}, T_1, T_2$  terhadap  $\omega$  dengan  $\theta = 30^\circ$  dan  $H_0 = 3T$  pada bidang batas kiri dengan Konfigurasi Faraday.

## KESIMPULAN

Hasil analisis dan komputasi menunjukkan bahwa reflektansi dan transmitansi gelombang elektromagnetik pada bidang batas kiri bersifat resiprok (tidak terjadi perubahan nilai ketika adanya perubahan arah medan magnet luar ( $H_0$ ) dan sudut datang ( $\theta$ )) atau dapat dituliskan  $F(\theta) = F(-\theta)$  dan  $F(H_0) = F(-H_0)$ . Hasil reflektansi dan transmitansi gelombang elektromagnetik terpolarisasi-s pada penelitian ini dengan penelitian Devis (2008)[7] memiliki sifat yang sama tetapi nilai puncak  $R_{sp}$  (reflektansi gelombang elektromagnetik terpolarisasi-s yang menghasilkan gelombang pantul terpolarisasi-p) berbeda di sekitar frekuensi  $52,45 \text{ cm}^{-1}$ .

## PENULIS

- 1 Azizatun Naafi'ah  
Dari :  
(1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- 2 Roniyus Marjunus  
Dari :  
(1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- 3 Dwi Asmi  
Dari :  
(1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

**Pustaka**

1. Wangsness R. K. Electromagnetic Fields 2nd Edition. USA: John Wiley and Sons Inc, 587 hlm, 1979.
2. Soetrisno, Fisika Dasar Seri Gelombang dan Optik. Bandung :ITB Press, 156 hlm, 1979.
3. Abraha K.. Theory of Surface Polarisation and Far Infrared reflectivity of Antiferromagnetic, Rare Earth Metals and Ferrimagnet. *Thesis*, University of Essex, England, 1995.
4. Roniyus, Muslim dan Abraha K. Telaah Teoretis Kerentanan Magnetik Non Linear Orde Dua. *Jurnal Fisika Indonesia*. 3(9):37-60, 1999.
5. Nurrohman T. Analisis Teoretis Pemantulan Sempurna Gelombang Elektromagnetik Berfrekuensi  $\omega$  Terpolarisasi-p Pada Bahan Magnet  $FeF_2$  dalam Konfigurasi Voigt. *Skripsi*, Universitas Negeri Lampung, Bandar Lampung, 2004.
6. Fitriyanto A. Pemantulan Sempurna Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-p Pada Bahan Magnet  $FeF_2$  dalam Konfigurasi Faraday. *Skripsi*, Universitas Negeri Lampung, Bandar Lampung, 2005.
7. Devis R. Karakteristik Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-s pada Pemantulan Sempurna dalam Bahan Magnet  $FeF_2$  Menggunakan Konfigurasi Faraday. *Skripsi*, Universitas Negeri Lampung, Bandar Lampung, 2008.
8. Caesarendra A. dan Ariyanto M. *Panduan Belajar Mandiri: MATLAB*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 37 hlm, 2011.
9. Saroyo, G. A. *Gelombang dan Optika*. Jakarta: Salemba Teknik, 336 hlm, 2011.
10. Husein A. S., Roniyus, dan Suciwati S. W. Theoretical Analysis of Reflection and Refraction of Electromagnetic Waves on an Anisotropic, Inhomogeneous and Linear Medium. *Physics-Optics*. 1:1-12. 2012.
11. Cahyono B. Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) dalam Pembelajaran Aljabar Linier. *Jurnal Phenomenon*. 1(1):45-62, 2013.