

ARTIKEL RISET

Pemantulan Dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-p Pada Bidang Batas Kanan Bahan Antiferromagnetik FeF_2 Di Dalam Konfigurasi Faraday

Diah Purwarini*, Roniyus Marjunus and Syafriadi

Ringkasan

Telah dilakukan penelitian teoretis mengenai pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada bidang batas kanan bahan antiferromagnetik FeF_2 pada Konfigurasi Faraday (konfigurasi dengan medan magnet luar (H_0) yang konstan dan homogen dipasang sejajar terhadap bidang datang). Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan reflektansi dan transmitansi antara sisi kiri yang telah diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan yang dilakukan dalam penelitian ini. Dari penelitian teoretis ini diperoleh hasil bahwa reflektansi dan transmitansi di sisi kanan bahan bersifat resiprok yang berarti tidak terjadi perubahan nilai ketika terjadi perubahan tanda (arah) medan magnet dari luar (H_0) maupun sudut datang (ϕ). Pada penelitian teoretis ini, reflektansi dan transmitansi gelombang elektromagnetik pada bidang batas kanan dan kiri bahan memiliki nilai dan sifat yang sama, kecuali pada reflektansi R_{ps} saat frekuensi resonansi ($52,45 \text{ cm}^{-1}$) yaitu sebesar 3×10^{-5} (pada sisi kanan) dan 2×10^{-5} (pada sisi kiri).

Kata Kunci : FeF_2 , gelombang elektromagnetik, reflektansi, transmitansi.

Abstract

A theoretical analysis of p-polarized electromagnetic wave at the right side of antiferromagnetic material FeF_2 in Faraday's configuration (configuration with a constant and homogeneous magnetic field (H_0) mounted parallel to the incoming field) has been carried out. This study was conducted to compare the reflection and transmission at the left side which has been obtained from previous studies and this study. From this theoretical study it was found that reflectance and transmittance at the right side of the material are reciprocal which means that there is no change of their values when sign (direction) the magnetic field (H_0) and the angle of incidence (ϕ). In this theoretical study, the reflectance and transmittance of electromagnetic waves at the right and left side of the material have the same values and properties except for the reflectance R_{ps} at the resonance frequency ($52,45 \text{ cm}^{-1}$) i.e. 3×10^{-5} (at the right side) and 2×10^{-5} (at the left side).

Keywords: FeF_2 ; electromagnetic wave; reflectance; transmittance.

PENDAHULUAN

Optika adalah cabang fisika yang menggambarkan perilaku atau sifat-sifat cahaya dan interaksi cahaya dengan materi [1]. Selain itu optika adalah ilmu tentang cahaya, atau lebih luas lagi tentang spektrum gelombang elektromagnetik.

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terdiri dari gelombang magnet dan listrik yang merambat tegak lurus terhadap amplitudo kedua gelombang tersebut [2]. Jika suatu gelombang elektromagnet mengenai bahan listrik, maka gelombang listriknya akan berpengaruh lebih besar dalam menginduksi bahan tersebut, sehingga energi gelombang listriknya akan berkurang dari semula karena telah mengalami suatu proses induksi di dalam bahan, demikian pula halnya jika gelombang elektromagnet mengenai bahan magnet maka

*Correspondence: diahpurwarini12@gmail.com

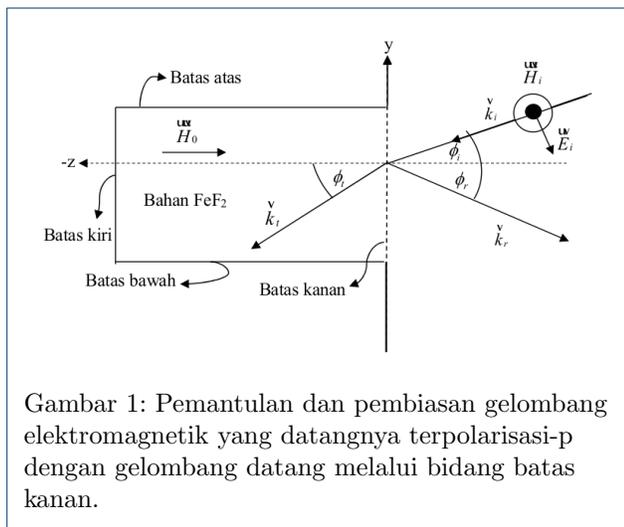
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1, 35141, Bandar Lampung, Indonesia

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

†Equal contributor

gelombang magnetnya akan berpengaruh lebih besar dari pada gelombang listriknya [3]. Bahan FeF_2 adalah bahan antiferomagnetik dengan arah momen dwikutub anti sejajar atau berlawanan arah antara satu sama lain, sehingga kristal dalam bahan ini dapat dibagi menjadi dua sub kisi [4].

Perkembangan ilmu optika memberikan banyak kemajuan terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi. Perkembangan ilmu optika banyak dilakukan dalam hal penelitian optika linier maupun non linier orde dua pada bahan listrik dan dalam tinjauan medan listriknya, namun penelitian serupa belum begitu lengkap dilakukan pada material magnetik dan dalam tinjauan medan magnetiknya [5]. Salah satu penelitian yang telah dilakukan pada bahan magnet adalah karakteristik gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p di bidang batas kiri bahan antiferomagnet FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday [6]. Perhitungan reflektansi dan transmisi gelombang elektromagnet harmonik kedua terpolarisasi-s pada bahan antiferomagnet FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday [7]. Analisis teoretis pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnet harmonik kedua terpolarisasi-p pada bahan magnet FeF_2 dalam Konfigurasi Voigt [8]. Permasalahan yang diselesaikan dalam penelitian ini yaitu membandingkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh [6], dengan pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p melalui bidang batas kanan (**Gambar 1**).



DASAR TEORI

Jika sebuah gelombang elektromagnetik ditembakkan dari sebuah medium ke medium lain maka gelombang elektromagnetik akan merambat dari medium

satu ke medium dua [9]. Untuk menghitung vektor-vektor amplitudo gelombang listrik dan gelombang magnet di dalam masing-masing medium, digunakan persamaan-persamaan Maxwell untuk medium tanpa rapat muatan dan tanpa rapat arus listrik dengan tetapan peremittivitas (ϵ), sebagaimana diberikan oleh **Persamaan (1)** dan **Persamaan (7)** berikut ini

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

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

$$\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r}, t)}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \frac{\partial \vec{D}(\vec{r}, t)}{\partial t} \quad (4)$$

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

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \mu_0 [\vec{H}(\vec{r}, t) + \vec{M}(\vec{r}, t)] \quad (6)$$

$$\vec{M}(\vec{r}, t) = \chi(\omega) \vec{H}(\vec{r}, t) \quad (7)$$

Selain itu digunakan syarat batas antara vektor gelombang datang (\vec{k}_i), terpantul (\vec{k}_r) dan terbias (\vec{k}_t), yaitu

$$k_{iy} = k_{ry} = k_{ty} \quad (8)$$

$$\phi_i = \phi_r \quad (9)$$

Untuk menghitung koefisien pemantulan dan pembiasannya, digunakan syarat batas untuk kuat medan antar medium di bidang batas, sebagaimana diberikan oleh **Persamaan (10)**-**(11)** berikut ini

$$\vec{E}_{tang}^{(i)} + \vec{E}_{tang}^{(r)} = \vec{E}_{tang}^{(t)} \quad (10)$$

$$\vec{H}_{tang}^{(i)} + \vec{H}_{tang}^{(r)} = \vec{H}_{tang}^{(t)} \quad (11)$$

Kemudian reflektansi dan transmitansinya dihitung menggunakan **Persamaan (12)** dan **Persamaan (13)** berikut ini

$$R = \frac{\left[\langle \vec{S}^{(r)} \rangle \cdot \hat{n} \right]}{\left[\langle \vec{S}^{(i)} \rangle \cdot \hat{n} \right]} \quad (12)$$

$$T = \frac{\left[\langle \vec{S}^{(t)} \rangle \cdot \hat{n} \right]}{\left[\langle \vec{S}^{(i)} \rangle \cdot \hat{n} \right]} \quad (13)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan mendefinisikan vektor gelombang datang, terpantul dan terbias selanjutnya menentukan vektor amplitudo gelombang listrik datang, terpantul dan terbias kemudian dengan

menggunakan **Persamaan (1)-(7)** diperoleh vektor amplitudo gelombang magnet datang, terpantul dan terbias selanjutnya menentukan intensitas gelombang datang, terpantul dan terbias. Kemudian, koefisien pemantulan dan pembiasannya didapatkan dengan menggunakan **Persamaan (10)** dan **Persamaan (11)**, sehingga besarnya reflektansi dan transmitansinya diperoleh dengan menggunakan **Persamaan (12)** dan **Persamaan (13)**. Reflektansi dan transmitansi yang diperoleh kemudian dihitung menggunakan MATLAB dan kemudian disajikan dalam bentuk grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan **Gambar 1** serta analisis **Persamaan (1)-(4)** didapatkan vektor gelombang datang (\vec{k}_i), vektor amplitudo gelombang listrik datang ($\vec{E}^{(i)}$), vektor amplitudo gelombang magnet ($\vec{H}^{(i)}$), serta vektor Poynting $\langle \vec{E}^{(i)} \rangle$ rata-rata diberikan oleh **Persamaan (14)** berikut ini

$$\vec{k}_i = -k \sin \phi \hat{y} - k \cos \phi \hat{z} \quad (14a)$$

$$\vec{E}^{(i)} = -E_0 \cos \phi \hat{y} + E_0 \sin \phi \hat{z} \quad (14b)$$

$$\vec{H}^{(i)} = -\frac{E_0 k}{\mu_0 \omega} \hat{x} \quad (14c)$$

$$\langle \vec{S}^{(i)} \rangle = -\frac{1}{2} \frac{E_0^2 k}{\mu_0 \omega} (\cos \phi \hat{z} + \sin \phi \hat{y}) \quad (14d)$$

Kemudian dengan menggunakan **Persamaan (1)-(9)** didapatkan vektor gelombang terpantul (\vec{k}_r), vektor amplitudo gelombang listrik terpantul yang terpolarisasi-p ($\vec{E}^{(r_{pp})}$), vektor amplitudo gelombang magnet terpantul yang terpolarisasi-p ($\vec{H}^{(r_{pp})}$), serta vektor Poynting rata-rata yang terpolarisasi-p ($\langle \vec{E}^{(r_{pp})} \rangle$) diberikan oleh **Persamaan (15)** berikut ini

$$\vec{k}_r = -k \sin \phi \hat{y} + k \cos \phi \hat{z} \quad (15a)$$

$$\vec{E}^{(r_{pp})} = -r_{pp} E_0 (\cos \phi \hat{y} + \sin \phi \hat{z}) \quad (15b)$$

$$\vec{H}^{(r_{pp})} = -\frac{E_0 r_{pp} k}{\mu_0 \omega} \hat{x} \quad (15c)$$

$$\langle \vec{S}^{(r_{pp})} \rangle = \frac{k E_0^2 |r_{pp}|^2}{2 \mu_0 \omega} (\cos \phi \hat{z} - \sin \phi \hat{y}) \quad (15d)$$

Selain itu dengan menggunakan **Persamaan (1)-(9)** didapatkan vektor gelombang terpantul (\vec{k}_r), vektor amplitudo gelombang listrik terpantul yang terpolarisasi-s ($\vec{E}^{(r_{ps})}$), vektor amplitudo gelombang magnet terpantul yang terpolarisasi-s ($\vec{H}^{(r_{ps})}$), serta vektor Poynting rata-rata yang terpolarisasi-s

$\langle \vec{E}^{(r_{ps})} \rangle$ diberikan oleh **Persamaan (16)** berikut ini

$$\vec{k}_r = -k \sin \phi \hat{y} + k \cos \phi \hat{z} \quad (16a)$$

$$\vec{E}^{(r_{ps})} = -r_{ps} E_0 \hat{x} \quad (16b)$$

$$\vec{H}^{(r_{ps})} = -\frac{E_0 r_{ps} k}{\mu_0 \omega} (\sin \phi \hat{z} + \cos \phi \hat{y}) \quad (16c)$$

$$\langle \vec{S}^{(r_{ps})} \rangle = \frac{k E_0^2 |r_{ps}|^2}{2 \mu_0 \omega} (\cos \phi \hat{z} - \sin \phi \hat{y}) \quad (16d)$$

dengan r_{pp} dan r_{ps} adalah koefisien pemantulan gelombang listrik yang terpolarisasi-p dan terpolarisasi-s yang diperoleh dengan menggunakan **Persamaan (10)** dan **Persamaan (11)** seperti yang diberikan pada **Persamaan (17)** berikut

$$r_{pp} = \frac{(\tau_{1x} t_1 + \tau_{2y} t_2) \mu_0 \omega}{k} - 1 \quad (17a)$$

$$r_{ps} = -\xi_{1x} t_1 - \xi_{2x} t_2 \quad (17b)$$

Berdasarkan **Gambar 1** vektor gelombang terbias diberikan pada **Persamaan (18)** berikut ini

$$\vec{k}_t = -k \sin \phi \hat{y} - k \cos \phi \hat{z} \quad (18)$$

Kemudian dengan menggunakan **Persamaan (1)-(9)** diperoleh vektor amplitudo gelombang listrik terbias ($\vec{E}^{(t_1)}$) dan ($\vec{E}^{(t_2)}$), vektor amplitudo gelombang magnet terbias ($\vec{H}^{(t_1)}$) dan ($\vec{H}^{(t_2)}$) serta vektor Poynting rata-rata yang $\langle \vec{S}^{(t_1)} \rangle$ dan $\langle \vec{S}^{(t_2)} \rangle$ diberikan oleh **Persamaan (19)** berikut ini

$$\vec{E}^{(t_1)} = (\xi_{1x} + \xi_{1y} + \xi_{1z}) t_1 E_0 \quad (19a)$$

$$\vec{E}^{(t_2)} = (\xi_{2x} + \xi_{2y} + \xi_{2z}) t_2 E_0 \quad (19b)$$

$$\vec{H}^{(t_1)} = -(\tau_{1x} + \tau_{1y} + \tau_{1z}) t_1 E_0 \quad (19c)$$

$$\vec{H}^{(t_2)} = -(\tau_{2x} + \tau_{2y} + \tau_{2z}) t_2 E_0 \quad (19d)$$

$$\langle \vec{S}_1^{(t_1)} \rangle = \frac{1}{2} t_1^2 E_0^2 \Re_e (\xi_{1y} \tau_{1x} - \xi_{1x} \tau_{1y}) \hat{z} \quad (19e)$$

$$+ (\xi_{1x} \tau_{1z} + \xi_{1z} \tau_{1x}) \hat{y} - (\xi_{1y} \tau_{1z} + \xi_{1z} \tau_{1y}) \hat{x}$$

$$\langle \vec{S}_2^{(t_2)} \rangle = \frac{1}{2} t_2^2 E_0^2 \Re_e (\xi_{2y} \tau_{2x} - \xi_{2x} \tau_{2y}) \hat{z} \quad (19f)$$

$$+ (\xi_{2x} \tau_{2z} + \xi_{2z} \tau_{2x}) \hat{y} - (\xi_{2y} \tau_{2z} + \xi_{2z} \tau_{2y}) \hat{x}$$

dengan ξ dan τ adalah besaran-besaran yang didapatkan dari perhitungan. Sedangkan t_1 dan t_2 adalah koefisien pembiasan gelombang elektromagnet untuk gelombang terbias 1 dan terbias 2 yang diperoleh dengan menggunakan **Persamaan (10)-(11)**, seperti yang diberikan pada **Persamaan**

(20) berikut ini

$$t_1 = k_{12} \cos \phi (\xi_{2x} k_{12} \cos \phi + \tau_{2y} \mu_0 \omega) \quad (20a)$$

$$\begin{aligned} & ((\tau_{1x} \mu_0 \omega \cos \phi - \xi_{1y} k_{12}) (\xi_{2x} k_{12} \cos \phi + \tau_{2y} \mu_0 \omega) \\ & + (\tau_{1y} \mu_0 \omega + \xi_{1x} k_{12} \cos \phi) (\xi_{2y} k_{12} - \tau_{2x} \mu_0 \omega \cos \phi))^{-1} \\ t_2 = -t_1 & \frac{(\tau_{1y} \mu_0 \omega + \xi_{1x} k_{12} \cos \phi)}{(\xi_{2x} k_{12} \cos \phi + \tau_{2y} \mu_0 \omega)} \end{aligned} \quad (20b)$$

Kemudian dengan menggunakan **Persamaan (12)-(13)**, diperoleh reflektansi dan transmitansi pada bidang batas kanan seperti yang diberikan pada **Persamaan (21)** berikut ini

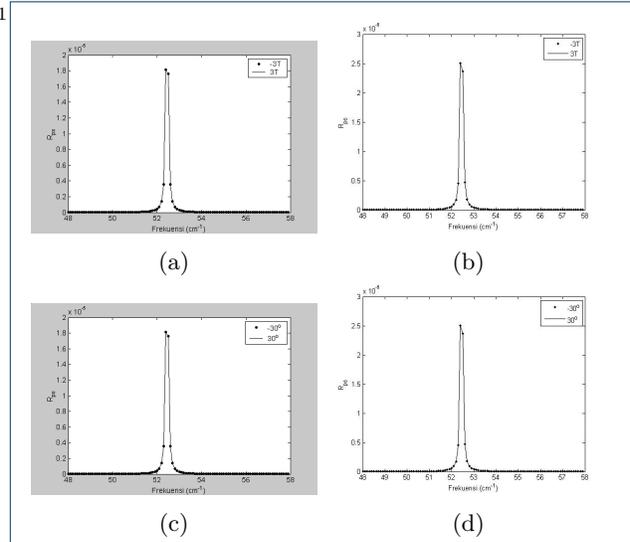
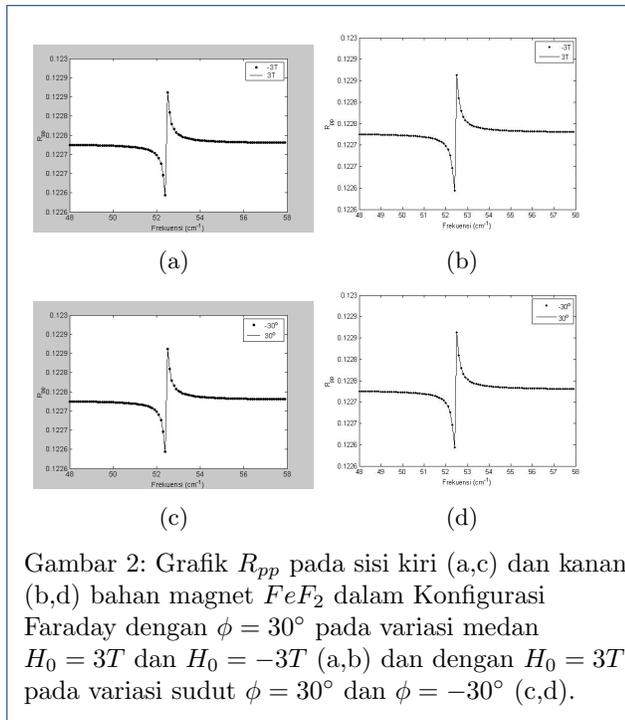
$$R_{pp} = |r_{pp}|^2 \quad (21a)$$

$$R_{ps} = |r_{ps}|^2 \quad (21b)$$

$$T_1 = \frac{\mu_0 \omega^* t_1^2 (\xi_{1y} \tau_{1x}^* - \xi_{1x} \tau_{1y}^*)}{k^* \cos \phi} \quad (21c)$$

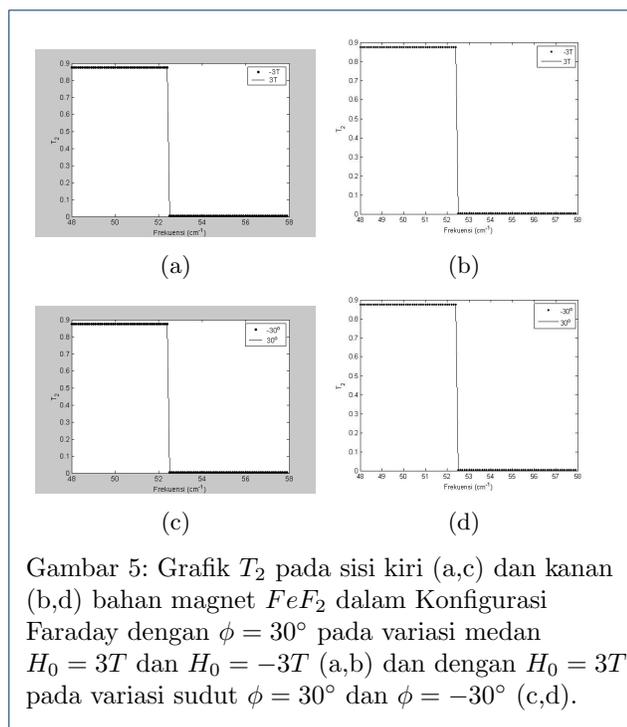
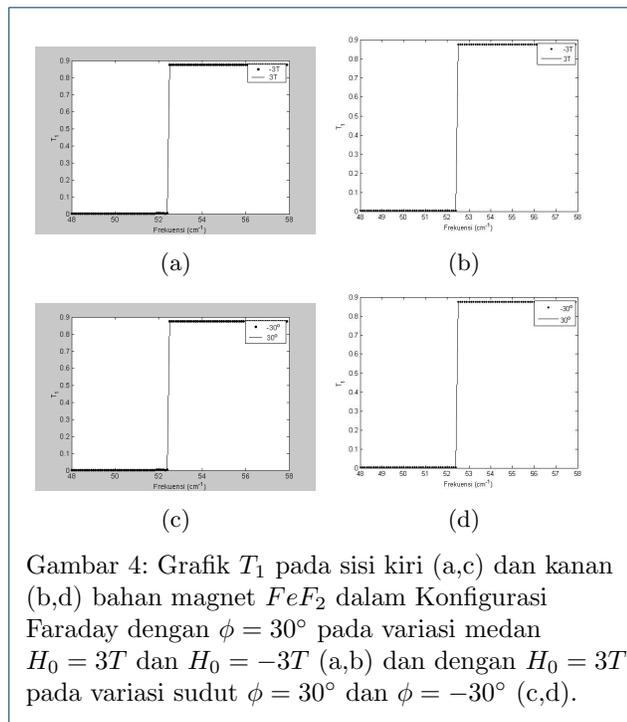
$$T_2 = \frac{\mu_0 \omega^* t_2^2 (\xi_{2y} \tau_{2x}^* - \xi_{2x} \tau_{2y}^*)}{k^* \cos \phi} \quad (21d)$$

Kemudian hasil yang diperoleh dari **Persamaan (21)** ini dihitung menggunakan MATLAB dan disajikan dalam bentuk grafik seperti pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** berikut.



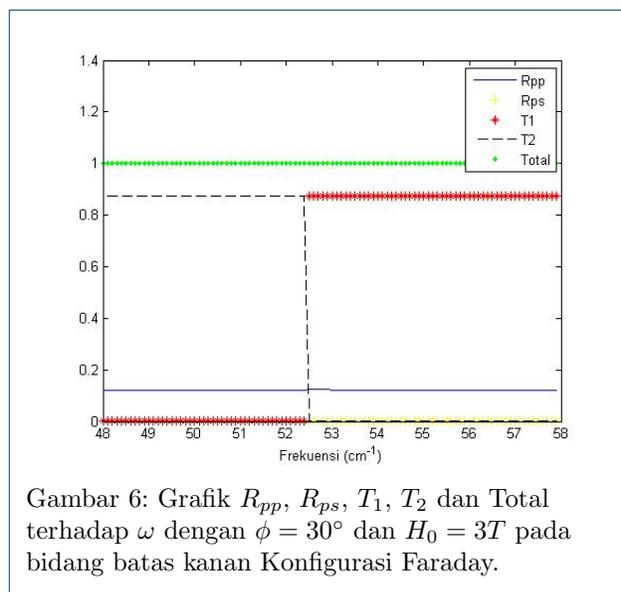
Gambar 3: Grafik R_{ps} pada sisi kiri (a,c) dan kanan (b,d) bahan magnet FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday dengan $\phi = 30^\circ$ pada variasi medan $H_0 = 3T$ dan $H_0 = -3T$ (a,b) dan dengan $H_0 = 3T$ pada variasi sudut $\phi = 30^\circ$ dan $\phi = -30^\circ$ (c,d).

Bedasarkan gambar tersebut, diperoleh bahwa nilai reflektansi pada bidang batas kanan dengan variasi medan $H_0 = 3T$ dan $H_0 = -3T$ (**Gambar 2c** dan **Gambar 3c**) dengan variasi sudut dan (**Gambar 2d** dan **Gambar 3d**) bersifat resiprok terhadap perubahan arah medan magnet luar dan sudut. Sedangkan nilai reflektansi pada bidang batas kiri yang dilakukan oleh Fitriyanto dengan variasi medan $H_0 = 3T$ dan $H_0 = -3T$ disajikan pada **Gambar 2a** dan **Gambar 3a** dengan variasi sudut $\phi = 30^\circ$ dan $\phi = -30^\circ$ disajikan pada **Gambar 2c** dan **Gambar 3c** juga bersifat resiprok terhadap perubahan arah medan magnet luar dan sudut. Jadi, reflektansi pada bidang batas kanan ini jika dibandingkan dengan hasil reflektansi pada bidang batas kiri yang dilakukan oleh [6], terlihat memiliki sifat dan nilai yang sama kecuali, pada reflektansi (R_{ps}) di sekitar frekuensi resonansi $52,45 \text{ cm}^{-1}$. Sedangkan nilai transmitansinya disajikan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** berikut ini



Selanjutnya, nilai transmitansi pada bidang batas kanan dengan variasi medan $H_0 = 3T$ dan $H_0 = -3T$ (Gambar 4b dan Gambar 5b) dengan variasi sudut $\phi = 30^\circ$ dan $\phi = -30^\circ$ (Gambar 4d dan Gambar 5d) bersifat resiprok terhadap perubahan arah medan magnet luar dan sudut. Sedangkan nilai transmitansi

pada bidang batas kiri yang dilakukan oleh [6], dengan variasi medan $H_0 = 3T$ dan $H_0 = -3T$ (Gambar 4a dan Gambar 5b) dengan variasi sudut $\phi = 30^\circ$ dan $\phi = -30^\circ$ (Gambar 4c dan Gambar 5c) juga bersifat resiprok terhadap perubahan arah medan magnet luar dan sudut. Jadi, transmitansi pada bidang batas kanan ini jika dibandingkan dengan hasil transmitansi pada bidang batas kiri yang dilakukan oleh [6], terlihat memiliki nilai dan sifat yang sama di sekitar frekuensi resonansi $52,45 \text{ cm}^{-1}$.



Kemudian, pada Gambar 6 terlihat bahwa total energi dari reflektansi dan transmitansi sama dengan satu. Hal ini berarti bahwa tidak ada energi yang hilang selama proses reflektansi dan transmitansi serta perhitungan dari reflektansi dan transmitansi pada bidang batas kanan bahan FeF_2 sudah benar.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis peristiwa pemantulan dan pembiasan di bagian sisi kanan bahan bersifat resiprok yang berarti tidak terjadi perubahan nilai ketika perubahan tanda medan magnet dari luar (\vec{H}_0) maupun perubahan sudut datang (ϕ) selain itu, memiliki nilai dan sifat yang sama kecuali, pada reflektansi R_{ps} saat frekuensi resonansi material ($52,45 \text{ cm}^{-1}$).

PENULIS

- 1 Diah Purwarini

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 Syafriadi

Dari :

(1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Pustaka

1. Suwarna IP. *Optik*. Bogor: Duta Grafika; 2010.
2. Sarojo GA. *Gelombang dan Optika*. Jakarta: Salemba Teknika; 2011.
3. Roniyus MS. Analisis Teoretis Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik pada Bahan Magnetik Non Linear Orde Dua [Thesis]. Universitas Gadjah Mada; 2002.
4. Devis R. Karakteristik Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-S pada Pemantulan Sempurna dalam Bahan Magnet FeF₂ menggunakan Konfigurasi Faraday [Skripsi]. Universitas Lampung; 2008.
5. Abraha K, Tilley DR. Theory of far Infrared properties of magnetic Surfaces, Film and Supelattices. *Surf Sci Rep*. 1996;p. 129–222.
6. A F. Pemantulan Sempurna Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-P pada Bahan Antiferomagnetik FeF₂ di dalam Konfigurasi Faraday [Skripsi]. Universitas Lampung; 2005.
7. Roniyus MS, Muslim, Abraha K. Perhitungan Reflektansi dan Transmittansi Gelombang Elektromagnet Harmonik Kedua Terpolarisasi-s Pada Bahan Antiferomagnet FeF₂ Dalam Konfigurasi Faraday. *J Sains Mater Indones*. 2003;5(1):73–77.
8. Roniyus MS, Muslim, Abraha K. Analisis Teoretis Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnet Harmonik Kedua Terpolarisasi-P Pada Bahan Magnet FeF₂ Dalam Konfigurasi Voigt. In: *Prosiding Semin. Nas. Has. Penelit. MIPA dan Pendidik. MIPA*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta; 2003. p. 122–128.
9. Wangsness RK. *Electromagnetic Fields*. New York, USA: John Willey and Sons; 1979.