

ARTIKEL RISET

Pemantulan Dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-p Pada Sisi Kiri Bahan Magnet FeF_2 Dengan Konfigurasi Voigt

Nanda Efbriyansyah^{*}, Roniyus Marjunus and Agus Riyanto

Received: 19 Feb., 2020 | Accepted: 6 Mar., 2020 | Published: 17 Aug., 2020 | DOI: 10.22146/jfi.v24i2.54337

Ringkasan

Telah dilakukan telaah teoretis tentang proses pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada sisi kiri bahan magnet FeF_2 dengan Konfigurasi Voigt. Telaah ini dilakukan dengan cara memformulasikan nilai dari gelombang datang, gelombang terpantul dan gelombang terbiasnya kemudian digunakan persamaan isotrop linier untuk membuktikan kebenaran dari persamaan yang didapat setelah itu digunakanlah persamaan tersebut untuk mengetahui grafik nilai dari reflektansi dan transmitansinya dengan bantuan software Matlab. Dari telaah teoretis ini didapatkan informasi bahwa reflektansi (R) dan transmitansi (T) pada bagian sisi kiri bahan magnet FeF_2 bersifat resiprok yang berarti tidak terjadi perubahan nilai ketika terjadi perubahan tanda medan magnet dari luar (H_0) maupun perubahan tanda sudut datang (θ).

Kata Kunci : reflektansi; transmitansi; voigt; terpolarisasi-p; resiprok

Abstract

A theoretical study has been carried out on the process of reflection and refraction of p-polarized electromagnetic waves on the left side of the FeF_2 magnetic material with the Voigt Configuration. This study was carried out by formulating the value of the incident waves, reflected waves and refracted waves and then used a linear isotropic equation to prove the truth of the equation obtained after that equation was used to determine the graph value of the reflectance and transmittance with the help of Matlab software. From this theoretical study, information is obtained that the reflectance (R) and transmittance (T) on the left side of the FeF_2 magnetic material are reciprocal, which means there is no change in value when there is a change in the magnetic field sign from outside (H_0) or the change in the incident angle sign (θ).

Keywords: reflectance; transmittance; voigt; p-polarized; reciprocal

PENDAHULUAN

Menurut elektrodinamika, gelombang elektromagnetik terdiri atas gelombang listrik (\vec{E}) dan gelombang magnet (\vec{H}) yang saling tegak lurus amplitudonya dan tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang (\vec{k}) [1]. Gelombang elektromagnetik yang mengenai suatu bahan dapat mengubah besar dan arah polarisasi atau magnetisasi bahan tersebut. Perubahan tersebut akan menghasilkan gelombang elektromagnetik baru yang bersifat linier dan non

linier [2]. Gelombang elektromagnetik sekunder sebagai hasil ketika suatu gelombang merambat melalui bahan sangat dipengaruhi oleh bentuk tensor kerentanan bahan [3]. Salah satu bahan tersebut adalah antiferomagnetik FeF_2 yang perhitungan secara teoretis untuk kerentanan magnet linier FeF_2 telah diuji kebenarannya [4]. Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian secara teori terkait hal ini diantaranya Analisis Teoretis Pemantulan Sempurna Gelombang Elektromagnetik Berfrekuensi Sudut ω Terpolarisasi-S Dalam Bahan Magnet FeF_2 pada Konfigurasi Voigt [5]. Kemudian Karakterisasi Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-s pada Pemantulan Sempurna dalam Bahan Magnet FeF_2 di dalam Konfigurasi Faraday [6]. Pemantulan Sempurna

^{*}Correspondence: nandaefbriyan0510@gmail.com

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

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

[†]Equal contributor

Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-p pada Bahan Magnet Antiferromagnetik FeF_2 di dalam Konfigurasi Faraday [7].

Penelitian ini memanfaatkan hasil penelitian yang dilakukan oleh abraha mengenai perhitungan secara teoretis kerentanan magnet linier $(\chi)^{(1)}(\omega)$ pada bahan magnet FeF_2 yaitu diperoleh dalam bentuk tensor atau matriks ordo 3 [8]. Untuk menghitung vektor amplitudo gelombang listrik dan gelombang magnetnya digunakan persamaan-persamaan Maxwell dalam satuan SI. Sebagaimana ditunjukkan oleh Persamaan 1 sampai 6 berikut ini.

$$\nabla \cdot \vec{\mathbf{D}} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{\mathbf{B}} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{\mathbf{H}}(\vec{\mathbf{r}}, t) = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{\mathbf{D}}(\vec{\mathbf{r}}, t)}{\partial t} \quad (3)$$

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

$$\vec{\mathbf{D}}(\vec{\mathbf{r}}, t) = \epsilon_0 \vec{\mathbf{E}}(\vec{\mathbf{r}}, t) \quad (5)$$

$$\vec{\mathbf{B}}(\vec{\mathbf{r}}, t) = \mu_0 (\vec{\mathbf{I}} + \check{\chi}(\omega) \vec{\mathbf{H}}(\vec{\mathbf{r}}, t)) \quad (6)$$

Selain itu digunakan pula syarat batas antara gelombang datang, terpantul dan terbias [9], 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 bidang batas, sebagaimana diberikan oleh Persamaan 9 dan 10 berikut ini.

$$\vec{\mathbf{E}}_{tang}^{(i)} + \vec{\mathbf{E}}_{tang}^{(r)} = \vec{\mathbf{E}}_{tang}^{(t)} \quad (9)$$

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

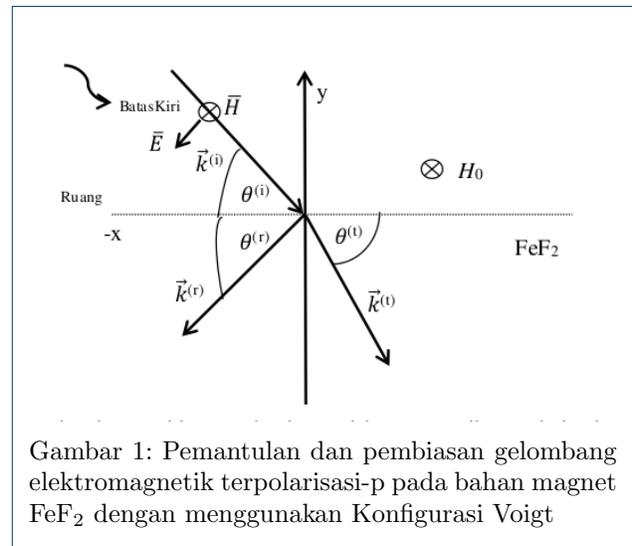
Kemudian reflektansi dan transmitansinya dihitung menggunakan Persamaan 11 dan 12 berikut ini.

$$R = \frac{\left| \langle \vec{\mathbf{S}}^{(r)} \rangle \cdot \hat{\mathbf{n}} \right|}{\left| \langle \vec{\mathbf{S}}^{(i)} \rangle \cdot \hat{\mathbf{n}} \right|} \quad (11)$$

$$T = \frac{\left| \langle \vec{\mathbf{S}}^{(t)} \rangle \cdot \hat{\mathbf{n}} \right|}{\left| \langle \vec{\mathbf{S}}^{(i)} \rangle \cdot \hat{\mathbf{n}} \right|} \quad (12)$$

Penelitian yang dilakukan saat ini dilakukan merupakan kelanjutan dari penelitian yang berjudul analisis teoretis pemantulan sempurna gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada

bahan magnet FeF_2 dengan Konfigurasi Voigt dengan arah gelombang datangnya dari sisi kanan bahan magnet FeF_2 [10]. Hasilnya membuktikan bahwa pemantulan dan pembiasan dari sisi kanan bahan bersifat resiprok. Berdasarkan pemaparan di atas, maka dilakukanlah penelitian lanjutan tentang pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada sisi kiri bahan magnet FeF_2 dengan Konfigurasi Voigt, agar dapat membandingkan hasilnya ketika gelombang datangnya berbeda arah. Reflektansi dan transmitansi akan dihitung menggunakan MATLAB dan ditampilkan dalam bentuk grafik.



Gambar 1: Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada bahan magnet FeF_2 dengan menggunakan Konfigurasi Voigt

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dari analisis gelombang elektromagnet datang, gelombang elektromagnet pantul dan gelombang elektromagnet terbias pada sisi kiri menggunakan Persamaan 1-6. Kemudian koefisien pemantulan dan pembiasannya didapatkan dengan menggunakan Persamaan 9 dan 10. Sedangkan reflektansi dan transmitansinya diperoleh dengan menerapkan Persamaan 11 dan 12. Reflektansi dan transmitansi 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 poynting rata-rata seperti Persamaan 13

berikut

$$\vec{\mathbf{E}}^{(i)} = -E \sin \theta^{(i)} \hat{x} - E \cos \theta^{(i)} \hat{y} \quad (13a)$$

$$\vec{\mathbf{H}} = -\frac{k_{12}^{(i)} E_0}{\mu_0 \omega} \hat{z} \quad (13b)$$

$$\langle \vec{\mathbf{S}} \rangle = \frac{E_0^2 k_{12}^{(i)}}{2\mu_0 \omega} \left(-\cos \theta^{(i)} \hat{x} - \sin \theta^{(i)} \hat{y} \right) \quad (13c)$$

Kemudian, dari Persamaan 1-8 diperoleh persamaan gelombang elektromagnet terpantul terpolarisasi-p dan terpolarisasi-s serta vektor poynting rata-rata sebagaimana ditunjukkan oleh Persamaan 14 berikut

$$\vec{\mathbf{E}}^{(i)} = -r_{pp} E \sin \theta^{(i)} \hat{x} + r_{pp} E \cos \theta^{(i)} \hat{y} \quad (14a)$$

$$\vec{\mathbf{H}} = -\frac{k_{12}^{(i)} r_{pp} E_0}{\mu_0 \omega} \hat{z} \quad (14b)$$

$$\langle \vec{\mathbf{S}} \rangle = \frac{|r_{pp}| E_0^2 k_{12}^{(i)}}{2\mu_0 \omega} \left(-\cos \theta^{(i)} \hat{x} - \sin \theta^{(i)} \hat{y} \right) \quad (14c)$$

$$\vec{\mathbf{E}}^{(rps)} = r_{ps} E_0 \hat{z} \quad (14d)$$

$$\vec{\mathbf{H}} = \frac{r_{ps} k_{12}^{(i)} E_0 \sin \theta_1^{(i)}}{\mu_0 \omega} \hat{y} - \frac{r_{ps} k_{12}^{(i)} E_0 \cos \theta_1^{(i)}}{\mu_0 \omega} \hat{y} \quad (14e)$$

$$\langle \vec{\mathbf{S}} \rangle = \frac{|r_{ps}| E_0^2 k_{12}^{(i)}}{2\mu_0 \omega} \left(-\sin \theta^{(i)} \hat{x} - \cos \theta^{(i)} \hat{y} \right) \quad (14f)$$

r_{pp} dan r_{ps} adalah koefisien pemantulan dan pembiasan yang terpolarisasi-p dan terpolarisasi-s yang didapatkan dengan menerapkan Persamaan 9 dan 10 seperti diberikan pada Persamaan 15 berikut

$$r_{pp} = \frac{(\tau_{1zt_1} + \tau_{2zt_2}) \mu_0 \omega}{k} - 1 \quad (15a)$$

$$r_{ps} = 0 \quad (15b)$$

Persamaan gelombang terbias dan vektor poynting rata-ratanya juga menggunakan Persamaan 1-8

sebagaimana ditunjukkan oleh Persamaan 16 berikut

$$\begin{aligned} E_x^{(t1)} &= E_0 t_1 \sin \theta^{(t)} E_y^{(t1)} \\ &= E_0 t_1 \cos \theta^{(t)} E_z^{(t1)} = 0 \end{aligned} \quad (16a)$$

$$H_x^{(t1)} = 0 H_y^{(t1)} = H_z^{(t1)} = -\frac{E_0 t_1 \epsilon \omega}{k_{12}^{(t1)}} \quad (16b)$$

$$\langle \vec{\mathbf{S}}^{(t1)} \rangle = \frac{|t_1|^2 E_0^2 \epsilon \omega}{2k^{(t1)}} \left(\cos \phi^{(t)} \hat{x} - \sin \phi^{(t)} \hat{y} \right) \quad (16c)$$

$$\begin{aligned} E_x^{(t2)} &= E_0 t_2 \sin \theta^{(t)} E_y^{(t2)} \\ &= E_0 t_2 \cos \theta^{(t)} E_z^{(t2)} = 0 \end{aligned} \quad (16d)$$

$$H_x^{(t2)} = 0 H_y^{(t2)} = H_z^{(t2)} = -\frac{E_0 t_2 \epsilon \omega}{k_{12}^{(t2)}} \quad (16e)$$

$$\langle \vec{\mathbf{S}}^{(t2)} \rangle = \frac{|t_2|^2 E_0^2 \epsilon \omega}{2k^{(t2)}} \left(\cos \phi^{(t)} \hat{x} - \sin \phi^{(t)} \hat{y} \right) \quad (16f)$$

t adalah koefisien pembiasan gelombang elektromagnetik pada bidang batas kiri bahan FeF₂ yang diperoleh dengan menerapkan persamaan 9 dan 10 seperti diberikan pada Persamaan 17

$$t_1 = 0 \quad (17a)$$

$$t_2 = \frac{2k \cos \theta}{(k \xi_{2y} - \cos \theta \tau_{2z} \mu_0 \omega)} \quad (17b)$$

Reflektansi dan transmitansi pada bidang batas kiri diperoleh dengan menerapkan Persamaan 11 dan 12 sebagaimana diberikan pada Persamaan 18

$$R^{(rpp)} = |r_{pp}|^2 \quad (18a)$$

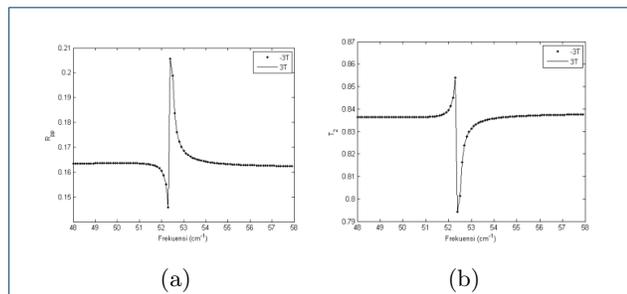
$$R^{(rps)} = |r_{ps}|^2 \quad (18b)$$

$$T_1 = 0 \quad (18c)$$

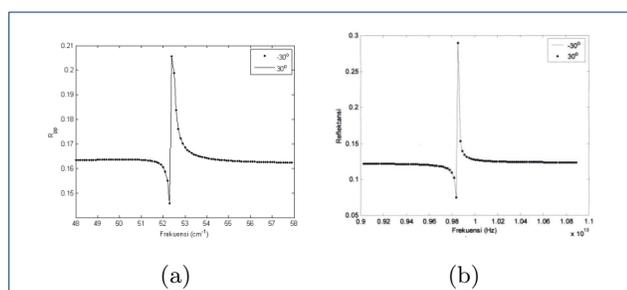
$$T_2 = |t_2|^2 = \left| \frac{\mu_0 \omega (\varphi_{1,2y} \tau_{1,2z} - \varphi_{1,2z} \tau_{1,2y})}{k \cos \theta} \right| \quad (18d)$$

Persamaan 18 ini kemudian dihitung dengan menggunakan MATLAB dan diperoleh dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 2 sampai Gambar 5. Berdasarkan Gambar 2a diperoleh bahwa nilai reflektansi (R_{pp}) pada bidang batas kiri dengan variasi medan magnet $H = 3T$ dan $H = -3T$ bersifat resiprok terhadap perubahan arah medan magnet luar sudut datang. Selain itu nilai transmitansi pada bidang batas kiri dengan variasi medan $H = 3T$ dan $H = -3T$ yang diberikan oleh Gambar 2b juga bersifat resiprok.

Berdasarkan Gambar 3a diperoleh bahwa nilai reflektansi (R_{pp}) pada bidang batas kiri dengan variasi sudut $\theta = 30^\circ$ dan $\theta = -30^\circ$ bersifat resiprok terhadap perubahan arah medan magnet luar dan

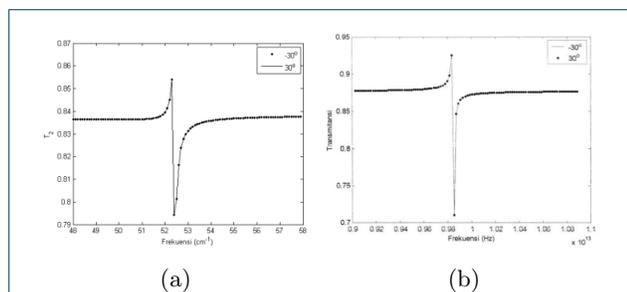


Gambar 2: Grafik R_{pp} (a) dan Grafik T (b) versus ω dengan $\theta = 30^\circ$ pada Konfigurasi Voigt, garis tebal untuk $H_0 = 3T$ dan titik-titik untuk $H_0 = -3T$.



Gambar 3: Grafik R_{pp} versus ω dengan $\theta = 30^\circ$ pada bidang batas kiri (a) dan batas kanan (b) dalam Konfigurasi Voigt, garis tebal untuk $\theta = 30^\circ$ dan titik-titik untuk $\theta = -30^\circ$.

sudut datang. Jika hasil ini dibandingkan dengan hasil reflektansi pada sisi kanan yang telah dilakukan oleh [10] seperti disajikan pada Gambar 3b terlihat adanya kesamaan pola, namun ada sedikit perbedaan dari nilai reflektansi dan juga nilai puncak yang berada pada frekuensi resonansi $52,45 \text{ cm}^{-1}$.

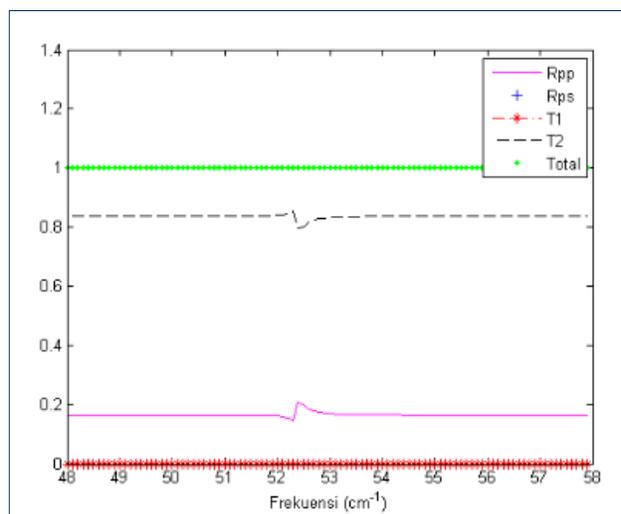


Gambar 4: Grafik T versus ω dengan $\theta = 30^\circ$ pada bidang batas kiri (a) dan batas kanan (b) dalam Konfigurasi Voigt, garis tebal untuk $\theta = 30^\circ$ dan titik-titik untuk $\theta = -30^\circ$.

Sedangkan nilai transmitansi pada bidang batas kiri dengan variasi sudut $\theta = 30^\circ$ dan $\theta = -30^\circ$

yang diberikan oleh Gambar 4a juga bersifat resiprok. Jika hasil transmitansi ini dibandingkan dengan hasil transmitansi pada sisi kanan yang telah dilakukan oleh [10] seperti disajikan pada Gambar 4b terlihat adanya kesamaan pola, namun ada sedikit perbedaan dari nilai reflektansi dan juga nilai puncak yang berada pada frekuensi resonansi $52,45 \text{ cm}^{-1}$.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa total dari reflektansi dan transmitansinya adalah 1 dengan nilai (R_{ps}) dan $(T_1)=0$ sehingga tidak ditampilkan dalam bentuk grafik, artinya perhitungan dari reflektansi dan transmitansi pada bidang batas kiri bahan magnet FeF_2 sudah benar.



Gambar 5: Grafik R_{pp} , R_{ps} , T_1 , T_2 dan Total versus ω dengan $H_0 = 3T$ $\theta = 30^\circ$ pada Konfigurasi Voigt.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan yaitu pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik pada sisi kiri bahan magnet FeF_2 hasil yang diperoleh menginformasikan bahwa reflektansi (R) dan transmitansi (T) di sisi kiri bahan magnet FeF_2 bersifat resiprok yang berarti tidak terjadi perubahan nilai ketika terjadi perubahan tanda medan magnet dari luar (H_0) maupun sudut datang (θ), berdasarkan hasil yang didapat dalam penelitian ini dan dibandingkan dengan hasil penelitian [10] membuktikan bahwa perbedaan arah gelombang datang dapat menyebabkan terjadi perbedaan nilai baik reflektansi, transmitansi dan nilai puncaknya karena sifat kerentanan materialnya (χ_m) yang anisotrop. Saran yang dapat digunakan untuk penelitian-penelitian selanjutnya adalah perlunya dilakukan penelitian secara eksperimen untuk membuktikan kebenarannya secara kuantitatif.

PENULIS

- 1 Nanda Efbriyansyah
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Lampung
- 2 Roniyus Marjunus
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Lampung
- 3 Agus Riyanto
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Lampung

Pustaka

1. Wangsness RK. *Elektromagnetic Fields*. USA: John Willey and Sons; 1979.
2. Marjunus R, Muslim, Abraha K. Telaah Teoritis Kerentanan Magnetik Non Linear Orde Dua. *Jurnal Fisika Indonesia*. 1999;3(9).
3. Marjunus R. Analisis Teoritis Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik pada Bahan Magnet Non Linear Orde Dua. [Thesis]. Universitas Gajah Mada; 2002.
4. Abraha K, Brow TE, Dumelow T, Parker TJ, Tilley DR. Oblique-incidence Far Infrared Reflectivity Study of The Uniaxial Antiferromagnet FeF₂. *Physical Review B*. 1994;50(10):6808–6816.
5. Nurrohman N. Analisis Teoritis Pemantulan Sempurna Gelombang Elektromagnetik Berfrekuensi Sudut ω Terpolarisasi-S Dalam Bahan Magnet FeF₂ pada Konfigurasi Voigt [Skripsi]. Universitas Lampung; 2004.
6. Devis R. Karakterisasi Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-s pada Pemantulan Sempurna dalam Bahan Magnet FeF₂ di dalam Konfigurasi Faraday [Skripsi]. Universitas Lampung; 2008.
7. Fitriyanto A. Pemantulan Sempurna Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-p pada Bahan Magnet Antiferromagnetik FeF₂ di dalam Konfigurasi Faraday [Skripsi]. Universitas Lampung; 2005.
8. Abraha K. *Theory of Surface Polaritons and Far Infrared Reflectivity of Antiferromagnets, Rare Earth Metals and Ferrimagnets* [Thesis]. University Essex; 1995.
9. Bloembergen N, Pershan PS. Light Waves at The Boundary of Nonlinear Media. *Physical Review*. 1962;128(2):606–622.
10. Yuliasuti. Analisis Pemantulan Sempurna Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-P pada Bahan Magnet FeF₂ Dengan Konfigurasi Voigt [Skripsi]. Universitas Lampung; 2008.