

**ANALISIS PEMANTULAN DAN PEMBIASAN GELOMBANG
ELEKTROMAGNETIK TERPOLARISASI-P MELALUI BIDANG BATAS
KANAN BAHAN ANTIFEROMAGNETIK FeF_2 DI DALAM
KONFIGURASI FARADAY**

(Skripsi)

Oleh

DIAH PURWARINI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

ANALISIS PEMANTULAN DAN PEMBIASAN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK TERPOLARISASI-P MELALUI BIDANG BATAS KANAN BAHAN ANTIFEROMAGNETIK FeF_2 DI DALAM KONFIGURASI FARADAY

Oleh

DIAH PURWARINI

Telah dilakukan penelitian teoretis mengenai pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada bidang batas kanan bahan antiferomagnetik FeF_2 pada Konfigurasi Faraday (konfigurasi dengan medan magnet luar (\vec{H}_0) yang konstandipasang 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

ANALYSIS OF REFLECTANCE AND TRANSMITTANCE OF P-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVE AT THE RIGHT SIDE OF ANTIFERROMAGNETIC MATERIAL FeF₂ IN FARADAY'S CONFIGURATION

By

DIAH PURWARINI

A theoretical analysis of reflectance and transmittance of p-polarized electromagnetic wave at the right side of antiferromagnetic material FeF₂ in Faraday's configuration (configuration with a constant magnetic field (H_0) is directed parallel to the incidence plane) has been carried out. This study was conducted to compare the reflectance and transmittance 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 the sign (direction) of the magnetic field (H_0) and the angle of incidence (ϕ) are changed. 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 cm⁻¹) i.e. 3×10^{-5} (at the right side) and 2×10^{-5} (at the left side).

Keywords. *FeF₂, electromagnetic wave, reflectance, transmittance.*

**ANALISIS PEMANTULAN DAN PEMBIASAN GELOMBANG
ELEKTROMAGNETIK TERPOLARISASI-P MELALUI BIDANG BATAS
KANAN BAHAN ANTIFEROMAGNETIK FeF_2 DI DALAM
KONFIGURASI FARADAY**

Oleh

DIAH PURWARINI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **Analisis Pemanulan Dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-P Melalui Bidang Batas Kanan Bahan Antiferomagnetik Fef₂ Di Dalam Konfigurasi Faraday**

Nama : **Diah Purwarini**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517041025

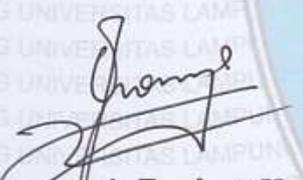
Jurusan : Fisika

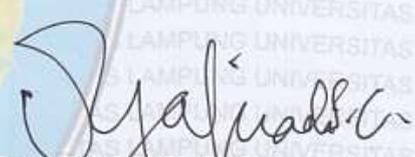
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



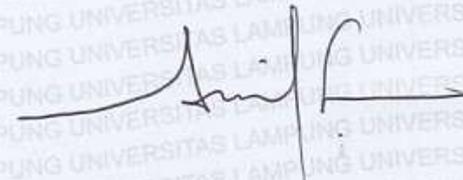
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.
NIP 197703182000121003


Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP 196108211992031002

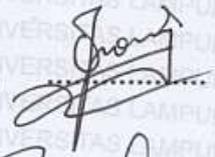
2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtano, M.Si., M.Eng.
NIP 197109092000121001

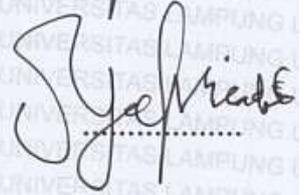
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

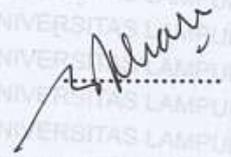
Ketua : Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.



Sekretaris : Drs. Syafriadi, M.Si.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.
NIP 196406041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Desember 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 16 Desember 2019



Diah Purwarini
NPM 1517041025

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Diah Purwarini dilahirkan di Gunung Tiga Kecamatan Batanghari Nuban Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung pada 10 Agustus 1997. Penulis merupakan putri kedua dari dua bersaudara yang lahir dari pasangan Bapak Sunarto dan Ibu Warsilah.

Penulis menempuh pendidikan formal tingkat Sekolah

Dasar di SDN 2 Gunung Tiga pada tahun 2003-2009, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2Pekalongan pada tahun 2009-2012, serta Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Pekalongan pada tahun 2012-2015.

Selanjutnya pada tahun 2015 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai Anggota Dana dan Usaha (Danus). Selain itu, penulis pernah menjadi asisten praktikum fisika eksperimen dengan judul percobaan Osiloskop. Pada tahun 2016 penulis pernah menjadi peserta KWI (Karya Wisata Ilmiah).

Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk dengan judul PKL “Analisis Penambahan Proporsi Abu Terbang (*Fly Ash*) Lampung pada Pembuatan Semen PCC (*Portland Composite*

Cement)". Pada tahun 2019 penulis melaksanakan KKN (Kuliah Kerja Nyata) di desa Toto Mulyo, Kecamatan Gunung Terang, Kabupaten Tulang Bawang Barat selama 32 hari. Kemudian penulis melaksanakan penelitian dengan judul "Analisis Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-P melalui Bidang Batas Kanan Bahan Antiferomagnetik FeF_2 di dalam Konfigurasi Faraday" sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

MOTTO

“Dekati dulu Allahnya, lalu berjuang”

“God will raise people who are faithful
among you and people who are given
some level of knowledge”

(Al-Mujadalah :4)

*“Jadikan kegagalan sebagai pembelajaran untuk
mencapai masa depan yang sukses”*

(Diah Zurwarini)

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah rabbil'alamin kepada ALLAH SWT. Kupersembahkan karya sederhanaku ini kepada:

Kedua Orang tuaku, bapak dan mamaku tersayang yang selalu memberikan do'a, kasih sayang, dan menjadi penyemangatku di setiap langkah, serta keluarga besar yang selalu memberikan bantuan, dukungan dan semangat.

Dengan rasa hormat kepada
Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.
Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. dan Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
serta seluruh Dosen Jurusan Fisika yang telah membimbing dan mendidiku selama menempuh pendidikan di kampus.

Sahabat dan teman-temanku yang telah memberikan warna dan kebahagiaan, serta menemani dan berjuang bersamaku.

Dan almamater tercinta,
Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-P melalui Bidang Batas Kanan Bahan Antiferomagnetik Fe_2O_3 Di Dalam Konfigurasi Faraday”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 16 Desember 2019

Penulis,

Diah Purwarini

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas kuasa-Nya penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr.rer. nat.Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si., selakuDosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang mendukung dari awal sampai akhir penulisan.
2. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si.,selakuDosen Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam mengoreksi skripsi dan memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir penulisan.
3. Bapak Drs. Pulung Karo Karo,M.Si., selakuDosen Pembahas yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Kedua orang tuaku Bapak Sunartodan Ibu Warsilah yang luar biasa selalu menyemangatiku. Terimakasih untuk kehadirannya dalam hidupku yang senantiasa memberikandukungan, do'a dan semangat yang luar biasa, serta kebersamaan sampai penulis menyelesaikan skripsi. Serta Keluargaku terima kasih telah memberikan dukungan, do'a, dan nasihatsehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi.

5. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng., selaku Ketua Jurusan dan para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
6. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, terima kasih atas segala pelajaran, ilmu, pengalaman, dan motivasi yang telah diberikan selama di kampus.
8. Teman-teman satu bimbingan tugas akhir Azizatun Naafi'ah, Nanda Efbriansyah, Ahmad Munawir S, Prinanti, Daffa Cedri K, Yudhi Agung S, Ahmad Risu Zuandara, Lilik Widia, Nuzulia Fitri, Aisyah Putri, Ria Nurfitriani, dan Nadhifatul Fuadyahyang telah banyak membantu dalam berdiskusi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Sahabat-sahabatku "Pance Squad" Atun (Azizatu Naafi'ah), Inces (Listiani), dan Sis (Siska Wulandari). Terimakasih karena kalian aku mampu bertahan, kalian selalu ada saat suka maupun duka, saling berbagi dan menasehati dalam hal apapun.
10. Teruntuk "Keluarga Satu Rasa" Al Arham, Andri Dwi S, Sucita Anggraini, Yomi Mariska, Anissa Fitria Pista, dan Arief Prasetyoterimakasih selalu ada saat suka maupun duka, selalu dengerin keluh kesahku, selalu nyemangatin dan memberi nasehat saat aku salah.
11. Teman-teman fisika angkatan 2015, kakak-kakak tingkat serta adik-adik tingkat yang selama ini memberikan semangat.
12. Almamater tercinta Universitas Lampung

13. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala ketulusan, bantuan, dukungan, dan do'a.

Semoga Allah SWT memberikan nikmat sehat kepada kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 16 Desember 2019

Penulis

Diah Purwarini

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gelombang Elektromagnetik	7
B. Gelombang Elektromagnetik dalam Bidang Perambatan Linier	8
C. Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik	11
D. Bahan Antiferomagnetik FeF_2	12
E. Reflektansi dan Transmittansi.....	14

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	16
B. Alat dan Bahan.....	16
C. Prosedur Penelitian	16
D. Diagram Alir Penelitian	19

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemantulan dan Pembiasan dari Ruang Hampa ke Bahan Antiferomagnetik FeF_2 pada Sisi Kanan.....	20
B. Perhitungan untuk Bahan Listrik Isotrop Linier	29

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	46
B. Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Konfigurasi Voigt	2
1.2. Konfigurasi Faraday	3
1.3. Gelombang Listrik Datang Terpolarisasi-p	3
1.4. Gelombang Listrik Datang Terpolarisasi-s.....	4
1.5. Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-p pada Bahan Antiferomagnetik FeF ₂ dalam Konfigurasi Faraday dengan Gelombang Datang melalui Bidang Batas Kiri.....	4
1.6. Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik dengan Gelombang Listrik Terpolarisasi-p pada Bahan Antiferomagnetik FeF ₂ dalam Konfigurasi Faraday dengan Gelombang Datang melalui Bidang Batas Kanan	5
2.1. Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik di Bidang Batas antara Medium (1) dan Medium (2)	11
2.2. Penyimpangan Magnetisasi Konstan \vec{m}_{01} dan \vec{m}_{02} terhadap Sumbu mudahnya akibat Medan Magnet Konstan \vec{H}_0 dari Luar	13
3.1. Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik dengan gelombang listrik datangnya terpolarisasi-p pada bahan antiferomagnetik FeF ₂ dalam Konfigurasi Faraday dengan bidang batas kanan.....	16
3.2. Diagram Alir Penelitian	19
4.1. Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik dengan gelombang listrik datangnya terpolarisasi-p pada bahan antiferomagnetik FeF ₂ dalam Konfigurasi Faraday dengan bidang batas kanan.....	20

4.2	Grafik R_{pp} versus ω dengan $\phi = 30^0$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kanan.....	32
4.3	Grafik R_{pp} versus ω dengan $\phi = 30^0$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kiri	33
4.4	Grafik R_{ps} versus ω dengan $\phi = 30^0$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kanan.....	33
4.5	Grafik R_{ps} versus ω dengan $\phi = 30^0$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kiri.....	35
4.6	Grafik T_1 versus ω dengan $\phi = 30^0$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kanan	35
4.7	Grafik T_1 versus ω dengan $\phi = 30^0$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kiri	36
4.8	Grafik T_2 versus ω dengan $\phi = 30^0$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kanan	37
4.9	Grafik T_2 versus ω dengan $\phi = 30^0$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kiri	38
4.10	Grafik R_{pp} versus ω dengan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kanan	38
4.11	Grafik R_{pp} versus ω dengan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kiri	39
4.12	Grafik R_{ps} versus ω dengan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kanan	40
4.13	Grafik R_{ps} versus ω dengan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kiri	41
4.14	Grafik T_1 versus ω dengan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kanan	42

4.15	Grafik T_1 versus ω dengan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kiri	43
4.16	Grafik T_2 versus ω dengan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kanan	43
4.17	Grafik T_2 versus ω dengan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday dari sisi kiri	44
4.18	Grafik R_{pp} , R_{ps} , T_1 , T_2 dan Total versus ω dengan $\phi = 30^\circ$ dan $H_0 = 3T$ pada Konfigurasi Faraday.....	45

I. PENDAHULUAN

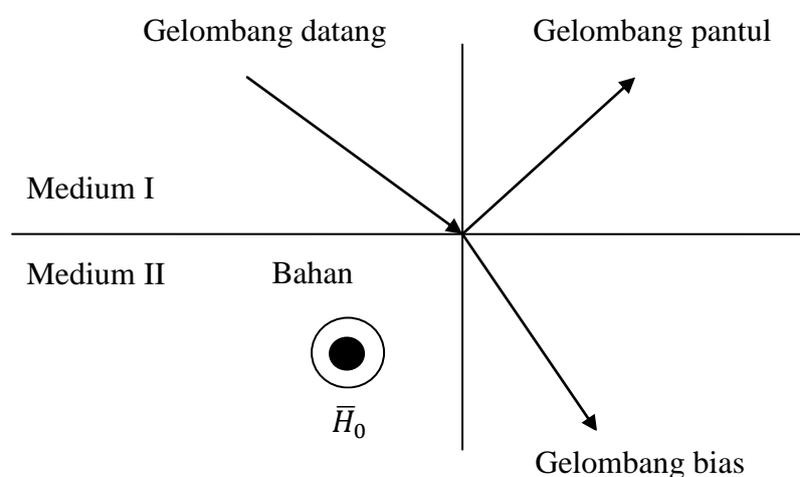
A. Latar Belakang

Optika adalah cabang fisika yang menggambarkan perilaku atau sifat-sifat cahaya dan interaksi cahaya dengan materi (Suwarna, 2010). Selain itu optika adalah pelajaran 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 (Sarojo, 2011). Menurut Persamaan Maxwell, gelombang elektromagnet terdiri dari gelombang listrik dan gelombang magnet yang saling terkait, jadi tidak pernah dijumpai adanya gelombang listrik yang dapat berdiri sendiri dan begitu pula halnya pada gelombang magnet. 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 gelombang magnetnya akan berpengaruh lebih besar daripada gelombang listriknya (Roniyus, 2002).

Perkembangan ilmu optika memberikan banyak kemajuan terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi. Perkembangan ilmu optika banyak dilakukan dalam

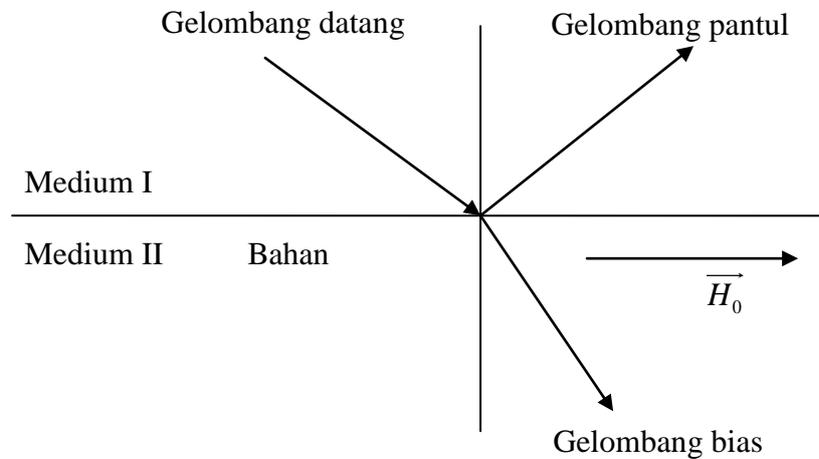
hal penelitian optika linear maupun non linear orde dua pada bahan listrik dan dalam tinjauan medan listriknya, namun penelitian serupa belum begitu lengkap dilakukan pada material magnetik dan dalam tinjauan medan magnetiknya. Penelitian yang telah dilakukan pada bahan magnet adalah karakteristik gelombang elektromagnetik harmonik kedua terpolarisasi-p di bidang batas bahan antiferomagnetik FeF_2 (Besi II Fluorida) dalam Konfigurasi Faraday (Roniyus, 2004). Perhitungan reflektansi dan transmitansi gelombang elektromagnetik harmonik kedua terpolarisasi-s pada bahan antiferomagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday (Roniyus, 2003). Analisis teoretis pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik harmonik kedua terpolarisasi-p pada bahan magnet FeF_2 dalam Konfigurasi Voigt (Roniyus, 2003).

Konfigurasi Voigt adalah suatu konfigurasi yang bahannya diberi medan magnet yang konstan dan homogen dari luar (\vec{H}_0), medan magnet ini terpasang tegak lurus terhadap bidang datang seperti pada Gb.(1.1).



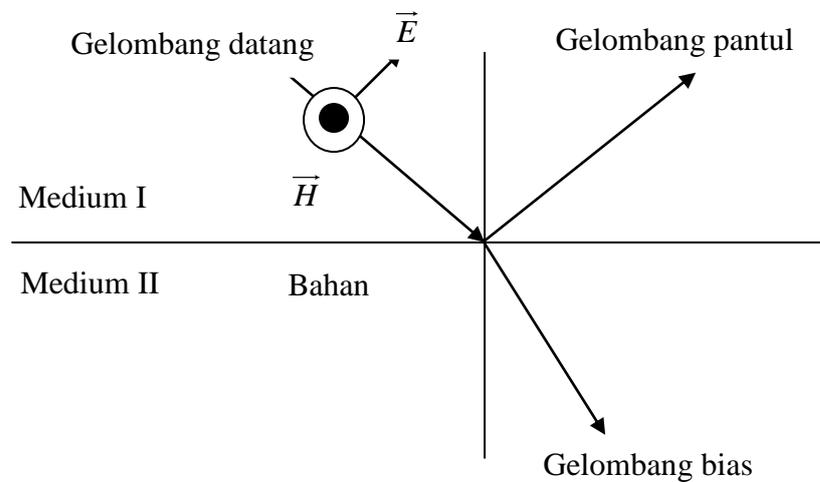
Gambar 1.1. Konfigurasi Voigt

Adapun Konfigurasi Faraday (Gb. 1.2), adalah suatu konfigurasi dengan medan magnet luar (\vec{H}_0) yang konstan dan homogen dipasang sejajar terhadap bidang datang (Roniyus, 2002).



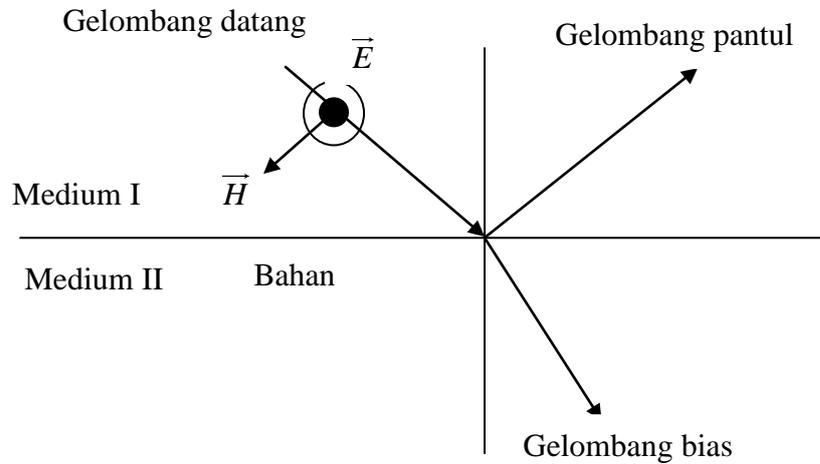
Gambar 1.2.Konfigurasi Faraday

Adapun maksud dari terpolarisasi-p adalah gelombang listrik datang sejajar bidang datang, sebagaimana disajikan pada Gb. (1.3).



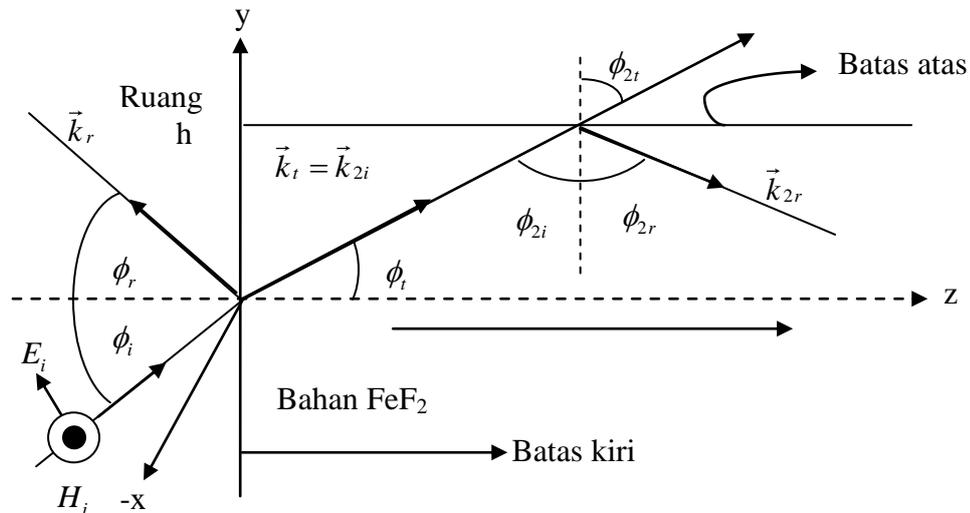
Gambar 1.3. Gelombang Listrik Datang Terpolarisasi-p

Sedangkan terpolarisasi-s (Gb. 1.4) yaitu gelombang listrik datang tegak lurus dengan bidang datang.



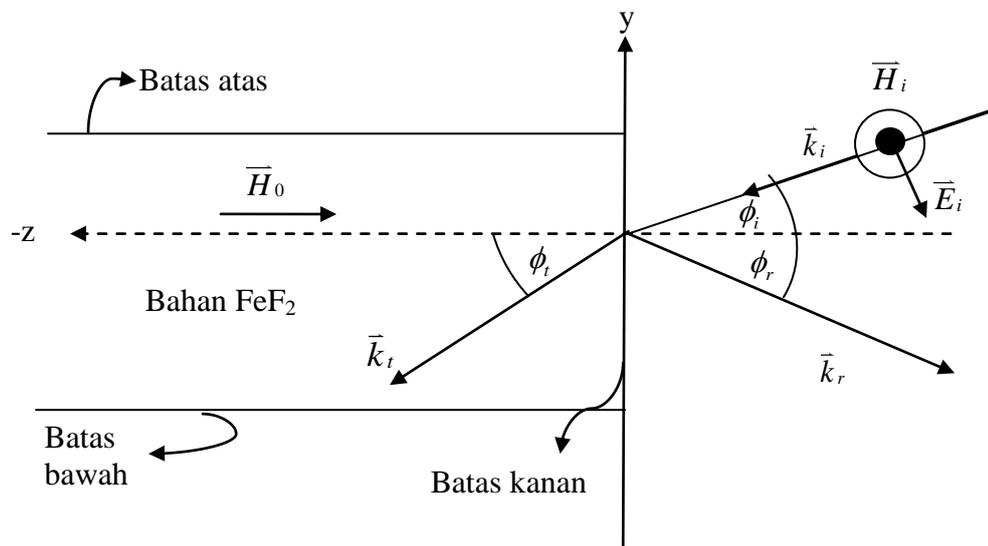
Gambar 1.4. Gelombang Listrik Datang Terpolarisasi-s

Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan adalah analisis gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada bahan antiferomagnetik FeF_2 di dalam Konfigurasi Faraday dengan gelombang datang melalui bidang batas kiri ke atas (Fitriyanto, 2005), seperti ditunjukkan pada Gb. (1.5).



Gambar 1.5. Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p pada bahan antiferomagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday dengan gelombang datang melalui bidang batas kiri.

Namun penelitian mengenai peristiwa pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik yang merambat dari ruang hampa menuju bidang batas kanan (Gb. 1.6.) bahan FeF_2 yang berada dalam Konfigurasi Faraday dengan gelombang listrik datang terpolarisasi-p belum pernah dianalisis, hal ini lah yang menjadi latar belakang dilakukan penelitian ini.



Gambar 1.6. Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik yang datang terpolarisasi-p pada bahan antiferromagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday dengan gelombang datang melalui bidang batas kanan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan masalah yang akan diselesaikan pada penelitian ini. Masalah-masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat reflektansi dan transmitansi dari gelombang elektromagnetik yang gelombang listriknya datang terpolarisasi-p, melalui bidang batas kanan ke arah bawah bahan antiferromagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday?

2. Bagaimana perbandingan antara hasil dari pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p yang datang melalui bidang batas kanan dengan yang datang melalui batas kiri bahan antiferomagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah-masalah tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah

1. Mengetahui sifat reflektansi dan transmitansi dari gelombang elektromagnetik yang gelombang listriknya datang terpolarisasi-p, melalui bidang batas kanan ke arah bawah bahan antiferomagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday
2. Mengetahui perbandingan antara hasil dari pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p yang datang melalui bidang batas kanan dengan yang datang melalui batas kiri bahan antiferomagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian tersebut, maka manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat menjadi salah satu bahasan teoritik dalam pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik yang datang melalui bidang batas kanan dalam bahan antiferomagnetik FeF_2 , dan
2. Selain itu penelitian ini juga dapat menambah wawasan serta ilmu pengetahuan dan teknologi tentang bahan magnet.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dihasilkan dari perubahan medan magnet dan medan listrik secara berurutan, dimana arahgetar vektor medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus (Alonso,1980).Gelombang elektromagnetik tidak lepas dari hipotesis Maxwell yang mengacu pada hubungan kemagnetan dan kelistrikan sesuai dengan beberapa percobaan berikut :

- a. Oersted melakukan percobaan yang berhasil membuktikan bahwa arus listrik menghasilkan medan magnet.
- b. Faraday melakukan percobaan mengenai perubahan fluks magnet pada kumparan dapat menimbulkan arus induksi, kemudian arus induksi tersebut menghasilkan medan listrik.

Mengacu kepada dua percobaan ini, Maxwell mengatakan bahwa, “Jika perubahan fluks magnet dapat menimbulkan medan listrik (seperti bunyi Hukum Faraday) maka perubahan fluks listrik juga dapat menimbulkan medan magnet”.Pernyataan ini sering dikenal sebagai hipotesis Maxwell (Giancoli,2014).

B. Gelombang Elektromagnetik dalam Bidang Perambatan Linier

Pada penelitian ini menggunakan semua persamaan-persamaan Maxwell didalambakan dengan rapat muatan dan rapat arus listrik besarnya sama dengan nol dengan tetapan permitivitas listrik (ε) yang berbentuk skalar, persamaan-persamaan Maxwell tersebut diberikan pada Pers. (2.1) (Wangsness, 1979), dalam bentuk

$$(a) \nabla \cdot \vec{D}(\vec{r}, t) = 0, \quad (2.1a)$$

$$(b) \nabla \cdot \vec{B}(\vec{r}, t) = 0, \quad (2.1b)$$

$$(c) \nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r}, t)}{\partial t}, \quad (2.1c)$$

$$(d) \nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \frac{\partial \vec{D}(\vec{r}, t)}{\partial t}, \quad (2.1d)$$

dengan $\vec{D}(\vec{r}, t)$ adalah medan listrik pergeseran, $\vec{B}(\vec{r}, t)$ adalah medan magnet induksi, $\vec{H}(\vec{r}, t)$ adalah vektor amplitudo gelombang magnet dan $\vec{E}(\vec{r}, t)$ adalah vektor amplitudo gelombang listrik. Kemudian Pers. (2.2) digunakan pada bahan yang mediumnya berbentuk linier,

$$(a) \vec{D}(\vec{r}, t) = \varepsilon \vec{E}(\vec{r}, t), \quad (2.2a)$$

$$(b) \vec{B}(\vec{r}, t) = \mu_0 [\vec{H}(\vec{r}, t) + \vec{M}(\vec{r}, t)] \quad (2.2b)$$

dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m adalah permeabilitas magnet diruang hampa. Magnetisasi linier $\vec{M}(\vec{r}, t)$ untuk bahan magnet dengan parameter kerentanan magnetik $\vec{\chi}(\omega)$ diberikan pada Pers. (2.3) dalam bentuk

$$\vec{M}(\vec{r}, t) = \vec{\chi}(\omega) \vec{H}(\vec{r}, t) \quad (2.3)$$

Kemudian Pers. (2.3) di substitusikan ke Pers. (2.2b) menghasilkan Pers. (2.4) dalam bentuk

$$\vec{B}(\vec{r},t) = \mu \vec{H}(\vec{r},t), \quad (2.4)$$

Untuk mendapatkan persamaan Maxwell gelombang elektromagnetik yang merambat dalam bahan magnet yang linier, maka Pers. (2.2a) dan Pers. (2.4) disubstitusikan ke semua Pers. (2.1) menghasilkan Pers. (2.5) dalam bentuk

$$(a) \nabla \cdot \vec{E}(\vec{r},t) = 0, \quad (2.5a)$$

$$(b) \nabla \cdot \vec{H}(\vec{r},t) = 0, \quad (2.5b)$$

$$(c) \nabla \times \vec{E}(\vec{r},t) = -\mu \frac{\partial \vec{H}(\vec{r},t)}{\partial t}, \quad (2.5c)$$

$$(d) \nabla \times \vec{H}(\vec{r},t) = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}(\vec{r},t)}{\partial t}. \quad (2.5d)$$

Selanjutnya vektor amplitudo gelombang listrik $\vec{E}(\vec{r},t)$ yang merambat dalam medium isotrop akan tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang \vec{k} diberikan pada Pers. (2.6) dalam bentuk

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0 \exp\left[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)\right]. \quad (2.6)$$

Demikian pula untuk gelombang magnetnya diberikan pada Pers. (2.7) dalam bentuk

$$\vec{H}(\vec{r},t) = \vec{H}_0 \exp\left[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)\right] \quad (2.7)$$

Untuk menentukan persamaan diferensial gelombang listriknya Pers. (2.6) disubstitusikan ke Pers. (2.5d), sehingga menghasilkan Pers. (2.8) yang berbentuk

$$\vec{E}(\vec{r},t) = -\frac{1}{\omega \varepsilon} \vec{k} \times \vec{H}(\vec{r},t). \quad (2.8)$$

Demikian untuk persamaan diferensial gelombang magnetnya diperoleh dengan mensubstitusikan Pers. (2.7) ke Pers. (2.5b), sehingga menghasilkan Pers. (2.9) yang berbentuk

$$\bar{H}(\vec{r}, t) = \frac{1}{\omega\mu} \vec{k} \times \bar{E}(\vec{r}, t). \quad (2.9)$$

Kemudian Pers. (2.9) disubstitusikan ke Pers. (2.4) menghasilkan Pers. (2.10) dalam bentuk

$$\bar{B}(\vec{r}, t) = \frac{1}{\omega} \vec{k} \times \bar{E}(\vec{r}, t). \quad (2.10)$$

Lalu Pers. (2.8) disubstitusikan ke Pers. (2.10) menghasilkan Pers. (2.11) dalam bentuk

$$\bar{B}(\vec{r}, t) = \frac{k^2}{\omega^2 \epsilon} \left(\bar{H}(\vec{r}, t) - (\vec{k} \cdot \bar{H}(\vec{r}, t)) \vec{k} \right), \quad (2.11)$$

dari Pers. (2.2b) dan Pers. (2.3) disubstitusikan ke Pers. (2.11) sehingga diperoleh bentuk ungkapan persamaan diferensial gelombang magnetik yang diberikan pada Pers. (2.12) yaitu

$$\delta_{ij} H_{oj} + \chi_{ij}(\omega) H_{oj} - \frac{k^2}{\epsilon \mu_0 \omega^2} \delta_{ij} H_{oj} + \frac{1}{\epsilon \mu_0 \omega^2} k_i k_j H_{oj} = 0 \quad (2.12)$$

dengan δ_{ij} adalah Delta Kronecker yang memiliki nilai

$$\delta_{ij} \begin{cases} 1, & \text{jika } i = j \\ 0, & \text{jika } i \neq j \end{cases}$$

Pers. (2.12) merupakan ungkapan persamaan diferensial gelombang magnetik di dalam bahan magnetik yang menggambarkan interaksi gelombang magnetik dengan bahan yang dicirikan oleh kerentanan magnetik bahan tersebut. Pers. (2.12) digunakan untuk menentukan vektor gelombang terbias di dalam bahan.

C. Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik

Jika sebuah gelombang elektromagnetik ditembakkan dari sebuah medium ke medium lain maka gelombang elektromagnetik akan merambat dari medium satu ke medium dua, sehingga vektor gelombang listrik datangnya diberikan pada Pers. (2.13) (Wangsness, 1979) dalam bentuk

$$\vec{E}_i(\vec{r}, t) = \vec{E}_{0i} \exp[i(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad (2.13)$$

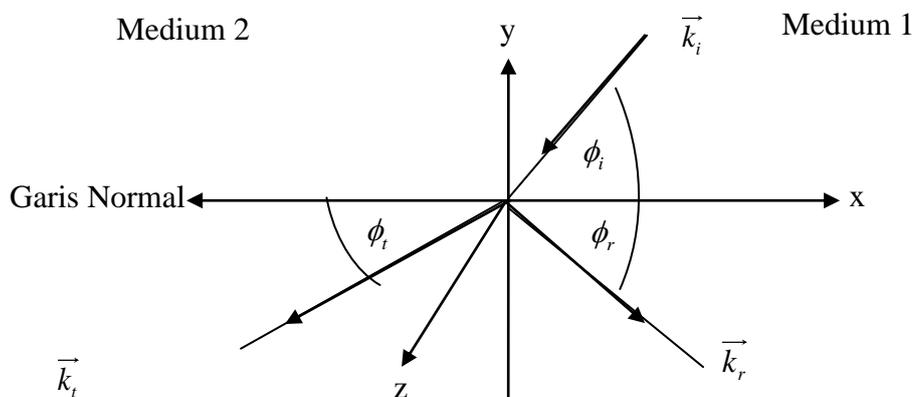
Adapun vektor gelombang listrik terpantulnya diberikan pada Pers. (2.14) dalam bentuk

$$\vec{E}_r(\vec{r}, t) = \vec{E}_{0r} \exp[i(\vec{k}_r \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad (2.14)$$

dan vektor gelombang terbiasnya diberikan pada Pers. (2.15) dalam bentuk

$$\vec{E}_t(\vec{r}, t) = \vec{E}_{0t} \exp[i(\vec{k}_t \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad (2.15)$$

Pada Gb. 2.1 diperlihatkan sebuah gelombang elektromagnetik yang merambat dari satu medium ke medium yang lain. Bidang datangnya adalah xy dengan sumbu z tegak lurus terhadap bidang datang.



Gambar 2.1. Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik di bidang batas antara medium (1) dan medium (2).

Sudut yang dibentuk antara vektor gelombang datang \vec{k}_i dan garis normal disebut sebagai sudut datang (ϕ_i). Sudut yang terbentuk antara vektor gelombang pantul \vec{k}_r dengan garis normal adalah sudut pantul (ϕ_r), sedangkan sudut yang terbentuk antara vektor gelombang bias \vec{k}_t dengan garis normal adalah sudut bias (ϕ_t). Pada perbatasan antara medium berlaku syarat batas untuk vektor gelombang \vec{k} diberikan pada Pers. (2.16) yaitu:

$$k_{iy} = k_{ry} = k_{ty} \quad (2.16)$$

Selanjutnya dari Gb 2.2 diberikan pada Pers. (2.17) dalam bentuk

$$(a) k_{iy} = k_i \sin \phi_i, (b) k_{ry} = k_r \sin \phi_r, (c) k_{ty} = k_t \sin \phi_t \quad (2.17)$$

karena vektor gelombang datang dan vektor gelombang pantul berada dalam satu medium yang sama maka $k_i = k_r$ sehingga Pers. (2.16) berubah menjadi Pers. (2.18) berikut

$$k_i \sin \phi_i = k_i \sin \phi_r = k_t \sin \phi_t, \quad (2.18)$$

sehingga dari Pers. (2.18) dapat disimpulkan seperti Pers. (2.19) dalam bentuk

$$(a) \sin \phi_i = \sin \phi_r \text{ atau } \phi_i = \phi_r,$$

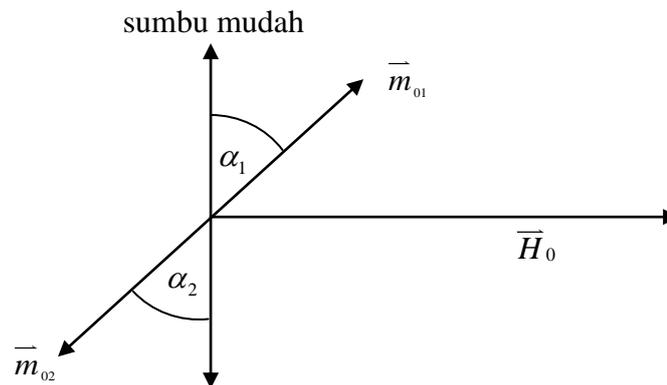
$$(b) \frac{\sin \phi_t}{\sin \phi_i} = \frac{k_t}{k_i} \quad (2.19)$$

Pers. (2.19) yang dikenal sebagai Hukum Snellius.

D. Bahan Antiferomagnetik FeF₂

Bahan FeF₂ 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 (Devis, 2008). Sub kisi adalah sekelompok

atom yang memiliki orientasi arah momen dwikutub magnetik (magnetisasi konstan) yang sama. Dalam keadaan normal (tidak ada medan magnet konstan H_0 dari luar) kedua magnetisasi tersebut berada pada satu garis lurus (satu sumbu) yang disebut sumbu mudah (*easy axis*), ketika medan magnet konstan H_0 dari luar dikenakan pada bahan antiferomagnetik orientasi magnetisasinya akan mengalami perubahan atau menyimpang (Fitriyanto, 2005), seperti ditunjukkan pada Gb. 2.2.



Gambar 2.2 Penyimpangan magnetisasi konstan \vec{m}_{01} dan \vec{m}_{02} terhadap sumbu mudahnya akibat medan magnet konstan \vec{H}_0 dari luar (Abraha, 1996).

Respon bahan FeF_2 terhadap medan magnet dari luar dicirikan dengan kerentanan magnetik $\vec{\chi}(\omega)$ yang berbentuk besaran tensor. Bahan magnet anisotrop FeF_2 dapat memberikan respon linier dengan kerentanan magnetik yang terdiri dari sembilan komponen yang berbentuk matrik dengan masing-masing memiliki nilai tertentu seperti yang diberikan pada Pers. (2.20) berikut

$$\vec{\chi}(\omega) = \begin{pmatrix} \vec{\chi}_{xx}(\omega) & i\vec{\chi}_{xy}(\omega) & 0 \\ -i\vec{\chi}_{yx}(\omega) & \vec{\chi}_{yy}(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & \vec{\chi}_{zz}(\omega) \end{pmatrix}, (2.20)$$

dengan nilai $\overline{\chi}_{xy}(\omega)$ diberikan pada Pers. (2.21) dalam bentuk

$$\chi_{xy}(\omega) = -\chi_{yx}(\omega), \quad (2.21)$$

dengan i adalah bagian imajiner dari kerentanan linier bahan magnet FeF₂ terhadap kehilangan energi gelombang (Abraha,1996).

E. Reflektansi dan Transmittansi

Reflektansi adalah perbandingan antara intensitas dari gelombang terpantul (refleksi) dengan gelombang datang, sedangkan transmittansi adalah perbandingan antara intensitas gelombang transmisi (yang diteruskan atau dibiaskan) dengan gelombang datang. Reflektansi dan transmittansi dapat dihitung dengan menentukan intensitas gelombang rata-rata $\langle \overline{S} \rangle$ yang diberikan pada Pers. (2.22) berikut,

$$\langle \overline{S} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re} \left(\overline{E}(\vec{r}, t) \times \overline{H}^*(\vec{r}, t) \right). \quad (2.22)$$

Selanjutnya gelombang yang dipantulkan atau reflektansi $\langle R \rangle$ dan gelombang yang diteruskan atau transmittansi $\langle T \rangle$ dapat dihitung dengan menggunakan Pers. (2.23) berikut,

$$(a) R = \frac{\left| \langle \overline{S}^{(r)} \rangle \cdot n \right|}{\left| \langle \overline{S}^{(i)} \rangle \cdot n \right|} \quad (b) T = \frac{\left| \langle \overline{S}^{(t)} \rangle \cdot n \right|}{\left| \langle \overline{S}^{(i)} \rangle \cdot n \right|} \quad (2.23)$$

Koefisien pemantulan $\langle r \rangle$ dan pembiasan $\langle t \rangle$ dapat dihitung dengan menyamakan komponen-komponen vektor gelombang listrik maupun gelombang magnetnya di sebelah bidang batas ($y = 0$) diberikan pada Pers. (2.24) dalam bentuk

$$(a) \vec{E}_{i\text{tang}} + \vec{E}_{r\text{tang}} = \vec{E}_{t\text{tang}}, (2.24a)$$

$$(b) \vec{H}_{i\text{tang}} + \vec{H}_{r\text{tang}} = \vec{H}_{t\text{tang}}. (2.24b)$$

Dengan subskrip tang artinya komponen vektor amplitudo gelombang yang sejajar terhadap bidang batas (Wangsness, 1979).

III. METODE PENELITIAN

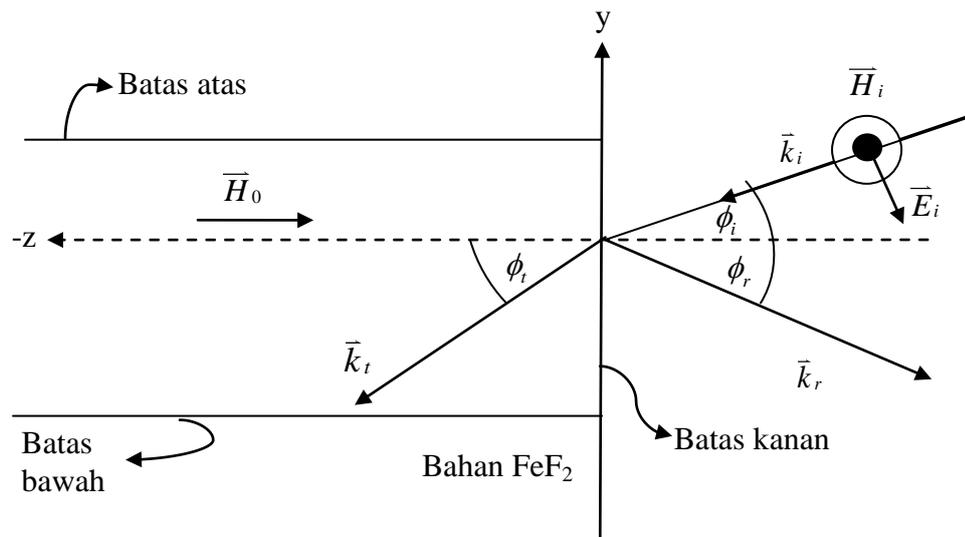
A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung mulai Juni hingga Desember 2019.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah satu unit laptop Asus X441S beserta *software* Matlab.

C. Prosedur Penelitian



Gambar3.1. Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik dengan gelombang listrik datangnya terpolarisasi-p pada bahan antiferomagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday dengan bidang batas kanan.

Pada Gb. (3.1) diperlihatkan bahwa sebuah gelombang elektromagnetik yang merambat dari ruang hampa menuju bidang batas kanan ke bawah bahan FeF_2 yang berada dalam Konfigurasi Faraday dengan gelombang listrik yang datang terpolarisasi-p sedangkan gelombang magnet datangnya tegak lurus bidang datang.

1. Pemantulan dan Pembiasan dari Ruang Hampa ke Bahan FeF_2 pada Sisi Kanan

- a. Pertama vektor gelombang datang diruang hampa dan vektor amplitudo gelombang listrik datang terpolarisasi-p didefinisikan sesuai dengan Gb. (3.1) Kemudian dengan menggunakan Pers. (2.9) didapatkan bentuk vektor amplitudo gelombang magnet datang yang terpolarisasi-p (\vec{H}_i). Selanjutnya intensitas gelombang datang dapat dicari menggunakan Pers. (2.22).
- b. Untuk mendapatkan vektor gelombang terpantulnya (\vec{k}_r) digunakan syarat batas vektor gelombang antar medium/Hukum Snellius di sisi kanan bahan menggunakan Pers. (2.18). Kemudian pemantulan gelombang listrik datang terpolarisasi-p yang menghasilkan gelombang listrik terpolarisasi-p (pemantulan p-p) dengan vektor amplitudo gelombang listrik terpantulnya, berbentuk $E_{r_{pp}} = r_{pp} E_0$ dengan r_{pp} adalah koefisien pemantulan amplitudo gelombang listrik yang terpolarisasi-p. Kemudian untuk vektor amplitudo gelombang magnet terpantulnya ($\vec{H}_{r_{pp}}$) diperoleh menggunakan Pers. (2.9) dan intensitas gelombang pantul untuk pemantulan p-p $\langle \vec{S}_{r_{pp}} \rangle$ diperoleh menggunakan Pers. (2.22). Kemudian pemantulan gelombang listrik datang terpolarisasi-p yang menghasilkan gelombang listrik terpantul dengan

polarisasi-s (pemantulan p-s) vektor amplitudo gelombang listrik terpantulnya berbentuk $E_{r_{ps}} = r_{ps} E_0$, dengan r_{ps} adalah koefisien pemantulan amplitudo gelombang listrik yang memiliki polarisasi-s. Vektor amplitudo gelombang magnet terpantulnya diperoleh menggunakan Pers. (2.9) dan intensitas gelombang pantul untuk pemantulan p-s $\langle \bar{S}_{r_{ps}} \rangle$ diperoleh dengan menggunakan Pers. (2.22).

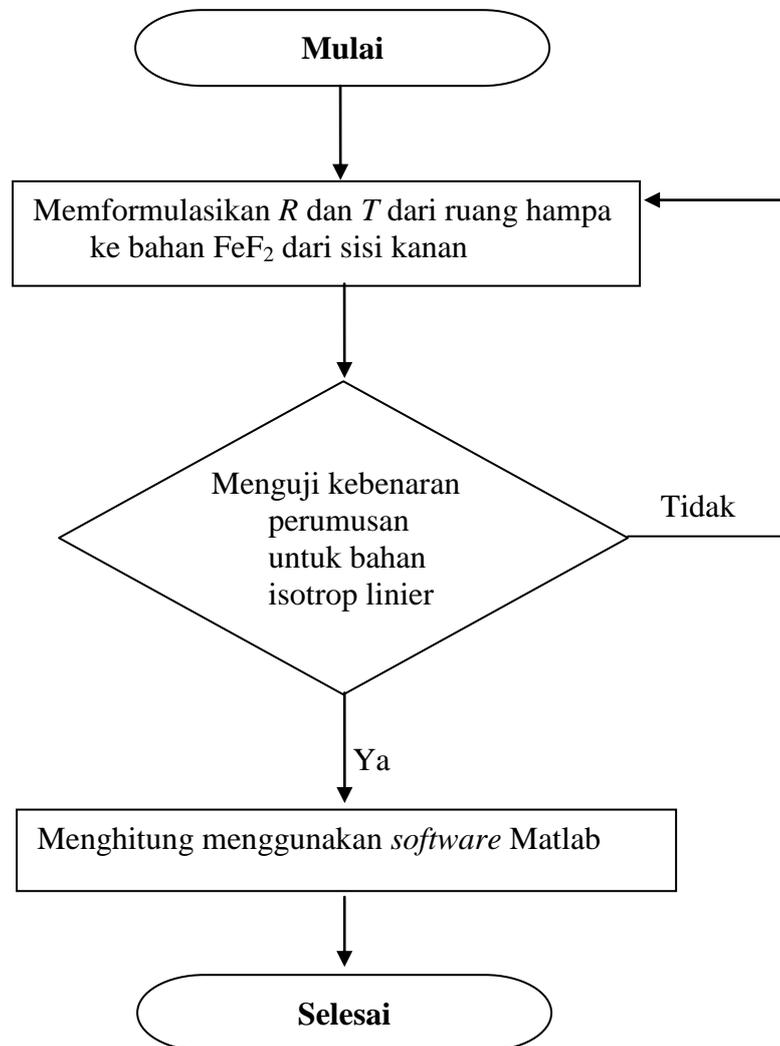
- c. Untuk menentukan vektor gelombang terbias (\bar{k}_t) dalam bahan FeF_2 digunakan Pers. (2.18). Selanjutnya amplitudo gelombang terbiasnya diperoleh dengan Pers. (2.12). Gelombang magnet terbiasnya diperoleh dengan perbandingan amplitudo gelombang magnet dari hasil Pers (2.12) disertai dengan penggunaan Persamaan Maxwell (2.1d) untuk bahan FeF_2 . Intensitas untuk gelombang terbiasnya $\langle \bar{S}_t \rangle$, dapat dicari menggunakan Pers (2.22).
- d. Reflektansi (R) dan transmitansinya (T) dihitung menggunakan persamaan (2.23), dan dievaluasi menggunakan software Matlab R2014a dan hasilnya ditampilkan sebagai fungsi frekuensi (ω).

2. Perhitungan Untuk Bahan Listrik Isotrop Linier

Untuk menguji kebenaran penelitian diatas, digunakan bahan uji yaitu bahan listrik isotrop linier dengan nilai komponen kerentanan magnetiknya sama dengan nol ($\chi(\omega) = 0$).

D. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir yang dilakukan pada penelitian ini di tunjukkan padaGb. 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada peristiwa pemantulan dan pembiasan di bagian sisi kanan bahan magnet FeF_2 bersifat resiprok yang berarti tidak terjadi perubahan nilai ketika perubahan tanda medan magnet dari luar ($\overline{H_0}$) maupun perubahan sudut datang (ϕ) atau dapat dituliskan sebagai $F(H_0) = F(-H_0)$ dan $F(\phi) = F(-\phi)$.
2. Hasil yang diperoleh dari perbandingan pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik terpolarisasi-p yang datang melalui bidang batas kanan dengan yang datang melalui batas kiri bahan antiferomagnetik FeF_2 dalam Konfigurasi Faraday memiliki nilai yang sama (reflektansi R_{pp} , transmitansi T_1 dan T_2), kecuali pada reflektansi R_{ps} pada saat frekuensi resonansi material ($52,45 \text{ cm}^{-1}$). Besarnya nilai reflektansi dari sisi kanan sebesar 3×10^{-5} sedangkan dari sisi kiri sebesar 2×10^{-5} .

B. Saran

Adapun saran-saran dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlunya dilakukan eksperimen yang mendukung tentang penelitian teoretis ini sehingga penelitian ini dapat diverifikasi kebenarannya secara kuantitatif .
2. Perlunya dilakukan eksperimen dengan menggunakan bahan yang berbeda.
3. Perlunya dilakukan penelitian dengan menggunakan metode optika kuantum agar diperoleh hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraha, K, dan Tilley, D. R. 1996. Theory of far Infrared properties of magnetic Surfaces, Film and Supelattices.University of Essex England. *Surface Science Reports*.Hal.129-222.
- Alonso, M, dan Finn, J E. 1980. *University Physics Volume II: Fields and Waves*. Massachussets: Addison-Wesley Publishing Company. 718 hlm.
- Devis, R. 2008. Karakteristik Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-S pada Pemantulan Sempurna dalam Bahan Magnet FeF_2 menggunakan Konfigurasi Faraday.(*Skripsi*). Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
- Fitriyanto A. 2005. Pemantulan Sempurna Gelombang Elektromagnetik Terpolarisasi-P pada Bahan Antiferomagnetik FeF_2 di dalam Konfigurasi Faraday.(*Skripsi*).Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
- Giancoli, Douglas C. 2014. *Physics: Principles with Applications 7th Edition Volume I*. perarson Prentice Hall. United States of Amerika.983 hlm.
- Roniyus M.S. 2002. Analisis Teoretis Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnetik pada Bahan Magnetik Non Linear Orde Dua.(*Tesis*).Jurusan Fisika FMIPA UGM Yogyakarta.
- Roniyus M.S, Muslim dan Abraha, K. 2003. Perhitungan Reflektansi dan Transmitansi Gelombang Elektromagnet Harmonik Kedua Terpolarisasi-s Pada Bahan Antiferomagnet FeF_2 Dalam Konfigurasi Faraday.*Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 5.No. 1.Hal.73 – 77.

Roniyus M.S, Muslim dan Abraha, K. 2003. Analisis Teoretis Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnet Harmonik Kedua Terpolarisasi-P Pada Bahan Magnet FeF₂ Dalam Konfigurasi Voigt.*Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian MIPA dan Pendidikan MIPA*. Universitas Negeri Yogyakarta.Hal.122-128.

Roniyus MS, Muslim dan Abraha, K. 2004. Karakteristik Gelombang Elektromagnet Harmonik Kedua Terpolarisasi-P di Bidang Batas Bahan Antiferomagnet FeF₂ Dalam Konfigurasi Faraday.*Jurnal Sains Teknologi*. Vol. 10.No. 2.Hal.83-90.

Sarojo Ganijanti A. 2011. *Gelombang dan Optika*. Jakarta. Salemba Teknika. Hal. 1-128

Suwarna Iwan P. 2010. *Optik*. Bogor. Duta Grafika. Hal.1-113.

Wangsness, R.K. 1979. *Electromagnetic Fields*.John Willey and Sons, New York, USA.Hal.348-421.