



LAPORAN PENELITIAN

**SIMULASI PENGARUH MEDAN MAGNET LUAR
TERHADAP PERILAKU SIFAT FISIS POLARITON MAGNETIK
DALAM BAHAN LOGAM ANTIFERROMAGNET**

Oleh:

Vincensius Gunawan Slamet Kadarrisman, MSi

Drs. Indras Marhaendrajaya, MSi

Jatmiko Endro Suseno, MSi

Hendri Widiyandari, MSi

**Dibiayai Oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan
Nasional, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian
Nomor: 031/SPPP/PP/DP3M/IV/2005 tanggal 11 APRIL 2005**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
NOVEMBER, 2005**

**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR
HASIL PENELITIAN DASAR**

1. Judul Penelitian : Simulasi Pengaruh Medan Magnet Luar terhadap Perilaku Sifat Fisis Polariton Magnetik dalam Bahan Logam Antiferromagnet.
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap dan gelar : Vincensius Gunawan S.K., MSi.
 - b. Jenis Kelamin : Pria
 - c. Pangkat / Golongan / NIP : Penata Tk.1/ III B / 132 164 596
 - d. Jabatan Fungsional : Lektor
 - e. Fakultas / Jurusan : MIPA / Fisika
 - f. Univ./Inst./Akad./Sek. Tinggi : Universitas Diponegoro
3. Jumlah Tim Peneliti : 4 orang
4. Lokasi Penelitian : Lab. Fisika Zat Padat, Jur. Fisika, FMIPA, UNDIP
5. Kerja sama dengan Institusi lain : -
6. Masa Penelitian : 8 bulan
7. Biaya yang Diperlukan : Rp. 8.500.000,-
(delapan juta lima ratus ribu rupiah)

Semarang, 12 November 2005

Mengetahui

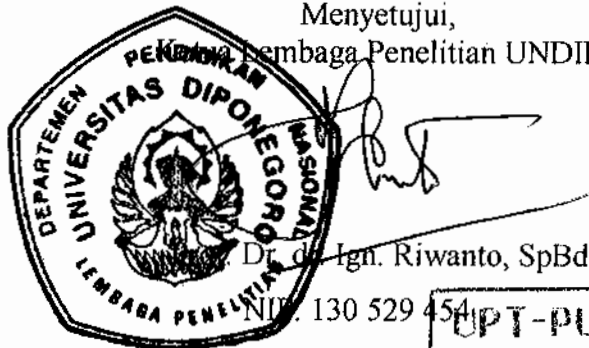
Dekan FMIPA UNDIP



Ketua Peneliti,

Vincensius Gunawan
NIP. 132 164 596

Menyetujui,
Kepala Lembaga Penelitian UNDIP



UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft:	256/K/MPA/C
Tgl.	22-6-06

RINGKASAN

SIMULASI PENGARUH MEDAN MAGNET LUAR TERHADAP PERILAKU SIFAT FISIS POLARITON MAGNETIK DALAM BAHAN LOGAM ANTIFERROMAGNET

(V Gunawan S.K, Indras M, Jatmiko Endro S, Hendry W, 2005, 51 halaman)

Polariton magnetik merupakan suatu keadaan kopling yang terjadi antara gelombang elektromagnet dengan kuantisasi gelombang spin (magnon) bahan antiferromagnet. Kuantisasi gelombang spin bahan antiferromagnet sangat dipengaruhi medan magnet luar yang diterapkan pada bahan, oleh sebab itu sifat polariton magnetik juga akan dipengaruhi oleh medan magnet luar. Sifat polariton antara lain terkandung dalam relasi dispersinya yang mengkaitkan antara frekuensi dengan vektor perambatan. Jadi sifat polariton magnetik dapat dikaji melalui relasi dispersinya yang dapat diturunkan secara analitik dan diselesaikan secara numerik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh medan magnet luar terhadap sifat polariton magnetik melalui grafik relasi dispersinya.

Bahan antiferromagnet yang digunakan dalam pengkajian ini adalah chromium (Cr), satu-satunya bahan antiferromagnet yang terdapat di alam. Namun bahan ini bersifat logam, sehingga memiliki banyak elektron bebas yang bila dikenai gelombang elektromagnet akan sangat mengganggu pembangkitan polariton magnetik. Untuk mengurangi efek penyekatan (*screening effect*) oleh elektron bebas ini, maka bahan antiferromagnet dibuat berlapis-lapis (*layered structure*) dengan bahan isolator nonmagnet. Selanjutnya, digunakan pendekatan teori medium efektif. Pada teori ini bahan berlapis-lapis tersebut dapat dianggap sebagai satu kesatuan medium efektif dengan nilai permitivitas dan permeabilitas bergantung pada fraksi volume bahan penyusun. Medium efektif tersebut kemudian diletakkan di atas substrat nonmagnet.

Geometri yang digunakan berupa lapisan tipis dan geometri semi tak hingga. Secara umum, geometri semi tak hingga terjadi bila medium memiliki ketebalan

bahan yang bernilai tak berhingga. Namun, geometri semi tak hingga dapat dicapai bila medium cukup tebal, sehingga gelombang tidak mampu mencapai dasar medium efektif.

Kajian teoretik terlebih dahulu dilakukan untuk menurunkan perumusan relasi dispersi. Medan E ditentukan, sedangkan medan B dan H diperoleh menggunakan persamaan Maxwell. Selanjutnya dengan menerapkan syarat batas berupa kontinuitas komponen normal medan B dan kontinuitas komponen tangensial medan H pada batas-batas medium efektif, perumusan relasi dispersi dapat diperoleh. Penyelesaian perumusan relasi dispersi diperoleh dengan analisis numerik menggunakan chromium (Cr) sebagai sampel bahan logam antiferromagnet. Metode numerik yang digunakan berupa pencarian akar (*finding root*) dengan *bisection*. Selanjutnya, medan magnet luar divariasikan untuk memperoleh relasi dispersi pada beberapa besaran medan magnet. Hal ini ditujukan untuk melihat perilaku polariton terhadap variasi medan magnet luar yang diterapkan pada bahan.

Untuk geometri lapisan tipis dengan ketebalan $10 \mu\text{m}$ maupun lapisan tebal dengan ketebalan $0,5 \text{ cm}$, diperoleh hasil relasi dispersi ragam polariton permukaan yang bersifat *reciprocal*, $\omega(k) = \omega(-k)$, tanpa keberadaan medan magnet luar. Bentuk relasi dispersi untuk ketebalan $0,5 \text{ cm}$ ternyata sama dengan bentuk relasi dispersi geometri semi tak hingga dengan ketebalan tak berhingga pada penelitian sebelumnya (Gunawan, 2003). Maka dapat disimpulkan bahwa lapisan dengan ketebalan $0,5 \text{ cm}$ ke atas ekuivalen dengan geometri semi tak hingga.

Untuk geometri lapisan tipis diatas substrat, penerapan medan magnet luar menyebabkan timbulnya sifat *nonreciprocal*, dengan $\omega(k) \neq \omega(-k)$, baik untuk polariton permukaan maupun polariton *bulk*. Semakin besar medan magnet luar yang diterapkan akan menyebabkan jumlah polariton permukaan untuk tiap arah rambatan berkurang, dari 2 tanpa medan magnet menjadi 1 untuk medan magnet pada 1 T .

Untuk geometri semi tak hingga dengan ketebalan $0,5 \text{ cm}$ yang diletakkan di atas substrat, penerapan medan magnet luar menyebabkan timbulnya sifat

nonreciprocal, dengan $\omega(k) \neq \omega(-k)$, pada polariton permukaan. Sementara polariton *bulk* tetap bersifat *reciprocal*. Semakin besar medan magnet luar diterapkan sifat nonreciprocalitas akan semakin besar. Jumlah polariton permukaan juga bertambah, dari total 2 pada keadaan tanpa medan magnet menjadi total 3 untuk medan magnet sebesar 3 T. Jumlah pita polariton *bulk* juga bertambah ketika medan magnet diterapkan, dari dua pita pada keadaan tanpa medan menjadi 3 pita bila medan magnet diterapkan, namun sifatnya tak berubah, tetap bersifat *reciprocal*.

SUMMARY

THE SIMULATION OF THE EXTERNAL MAGNETIC FIELD'S INFLUENCE ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE MAGNETIC POLARITON IN METALLIC ANTIFERROMAGNETIC MATERIALS.

(V Gunawan S.K, Indras M, Jatmiko Endro S, Hendry W, 2005, 51 pages)

Polariton magnetic is a couple state between electromagnetic wave and the spin wave of antiferromagnetic material. The spin wave of antiferromagnetic material is affected by external magnetic field which is applied to the material, therefore the properties of magnetic polariton are also affected by the external magnetic field.

Polariton properties are included in its dispersion relation which relates frequency and its wave vector. So, the magnetic polariton properties can be studied through its dispersion relation which can be obtain analytically and solved numerically. This research is aimed to study the influence of external magnetic field to the magnetic polariton properties through the dispersion relation graphic.

The antiferromagnetic material used in this research is chromium (Cr), the only antiferromagnetic material exist in nature. However, this material is metallic, so there are many free electrons which will prevent the electromagnetic waves interacting with the interior of the material. This effect is called screening effect. The screening effect will disturb the generation of magnetic polariton. To reduce the screening effect, the antiferromagnetic material will be made layered (*layered structure*) using the nonmagnetic insulating material. Furthermore, the effective medium theory approach will be used. In this theory, the layered structure can be assumed as a unity which is called an effective medium which has permittivity and permeability value depend on the volume fraction of antiferromagnetic material and nonmagnetic isolator material. Moreover, that material is put on the nonmagnetic substrate. The geometry used is an effective medium which has finite thickness.

Theoretical study had been done to get the formulation of dispersion relation. Field \mathbf{E} is determined, while field \mathbf{B} and \mathbf{H} are obtained using Maxwell equation. Then, by using boundary condition which is a continuity of normal component of the of the \mathbf{B} field and the continuity of tangential component of the \mathbf{H} field in the boundaries of effective medium, the formulation of dispersion relation can be obtained. The solution of the dispersion relation formulation is obtained by numerical analysis using chromium (Cr) as a sample of antiferromagnetic material through finding root method.

External magnetic field is varied to get dispersion relation on some values of magnetic field. This matter is aimed to examine polariton properties on the various external magnetic fields applied to a material.

Without external magnetic field applied, the dispersion relation for the thin effective medium with the thickness of $10 \mu\text{m}$ and also for thick layer with the thickness of $0,5 \text{ cm}$, the results show that the magnetic polaritons of the dispersion are reciprocal, with $\omega(k) = \omega(-k)$. The form of dispersion relation for the thickness of $0,5 \text{ cm}$ is the same with the form of the dispersion relation from the previous research by Gunawan (2003) using the semi infinite geometry with the infinite thickness. Therefore, it can be concluded that the magnetic polaritons of effective medium with the thickness of $0,5 \text{ cm}$ or more put on the non-magnetic substrate are equivalent with magnetic polaritons of effective medium in semi infinite geometry with infinite thickness. So, it can be assumed that an effective medium with the thickness of $0,5 \text{ cm}$ put on non-magnetic substrate is a semi-infinite geometry.

For the thin layer geometry with the thickness of $10 \mu\text{m}$ put on the substrate, result in magnetic polaritons which are *nonreciprocal*, with $\omega(k) \neq \omega(-k)$, both for surface polariton and bulk polariton. The bigger the external magnetic field applied, the number of surface polariton for every propagation direction is decreasing, from 2 without magnetic field to 1 for the magnetic field on the 1 T .

For the effective medium with thickness of 0,5 cm which can be assumed as semi infinite geometry, the application of the external magnetic result in surface polaritons which are *nonreciprocal*, with $\omega(k) \neq \omega(-k)$. Meanwhile, the bulk polariton is still *reciprocal*. The bigger the external magnetic field applied, the nonreciprocity is bigger. The numb magnetic polariton is increasing from the total 2 on the condition without magnetic field to total 3 for the magnetic field of 3 T. The number of bulk polariton band is also increasing when the magnetic field is applied, from 2 band in the condition without magnetic field to 3 band when the magnetic field is applied.

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan yang telah memberikan rahmat dan anugerahNya, sehingga tim peneliti dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Penelitian ini merupakan penelitian di bidang Fisika Zat Padat yang pelaksanaannya dibiayai Proyek Penelitian Ilmu Pengetahuan Dasar, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.

Selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan akhir ini, tim peneliti telah mendapatkan masukan pemikiran dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini tim peneliti ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Wahyu Setia Budi MS, selaku dekan FMIPA UNDIP
2. Drs. Irham Nurwidyanto MT, selaku ketua jurusan Fisika FMIPA UNDIP
3. Seluruh rekan-rekan kelompok studi Fisika Zat Padat FMIPA UNDIP
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu pelaksanaan penelitian ini.

Semoga amal budi bapak, ibu dan rekan-rekan sekalian mendapat balasan dari Tuhan Yang Maha Pengasih.

Tim peneliti menyadari bahwa karya ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran dari pembaca sangat berharga. Harapan tim peneliti, semoga karya ini dapat berguna bagi siapa saja yang membutuhkan.

Semarang, 12 November 2005

Ketua peneliti,



(Vincensius Gunawan)

DAFTAR ISI

	Hal.
Lembar identitas dan pengesahan	ii
Ringkasan	iii
Summary	vi
Prakata	ix
Daftar isi	x
Daftar gambar	xii
Daftar lampiran	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
II.1. Polariton magnetik	3
II.2. Pemantulan total teredam (<i>attenuated total reflection, ATR</i>)	7
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	10
BAB IV. METODE PENELITIAN	
IV.1. Bahan dan alat	11
IV.2. Prosedur penelitian.....	12
IV.2.1. Relasi dispersi	13
IV.2.2. Attenuated total reflection	14

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	
V.1. Lapisan tipis di atas substrat non-magnet	18
V.1.1. Perhitungan analitik	18
V.1.1.1. Relasi dispersi	18
V.1.1.2. Spektroskopi ATR	24
V.1.2. Analisis numerik	28
V.2. Keadaan dengan ketebalan lapisan ekuivalen dengan geometri semi tak hingga	41
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	49
Daftar pustaka	51
Lampiran	52

DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 Skema ATR untuk medium berlapis-lapis	7
Gambar 4.1 Geometri bahan dalam penelitian	11
Gambar 4.2 Diagram alir untuk memperoleh grafik relasi dispersi	13
Gambar 4.3 Konfigurasi ATR untuk thin film pada medium beralur dengan konfigurasi Voigt	15
Gambar 4.4 Diagram alir untuk memperoleh grafik spektroskopi ATR	16
Gambar 5.1 Geometri bahan dalam penelitian	18
Gambar 5.2 Grafik relasi dispersi dan reflektansi ATR dengan $H_0 = 0$	29
Gambar 5.3 Grafik relasi dispersi dan reflektansi ATR dengan $H_0 = 0,01$ T ...	31
Gambar 5.4 Grafik relasi dispersi dan reflektansi ATR dengan $H_0 = 0,05$ T ...	34
Gambar 5.5 Grafik relasi dispersi dan reflektansi ATR dengan $H_0 = 0,1$ T	36
Gambar 5.6 Grafik relasi dispersi dan reflektansi ATR dengan $H_0 = 0,5$ T	38
Gambar 5.7 Grafik relasi dispersi dan reflektansi ATR dengan $H_0 = 1$ T	39
Gambar 5.8 Relasi dispersi dan spektroskopi ATR untuk medium efektif dengan ketebalan 0,5 cm dengan $H_0 = 0$	43
Gambar 5.9 Relasi dispersi dan spektroskopi ATR untuk medium efektif dengan ketebalan 0,5 cm dengan $H_0 = 0,01$ T	44
Gambar 5.10 Relasi dispersi dan spektroskopi ATR untuk medium efektif dengan ketebalan 0,5 cm dengan $H_0 = 0,1$ T	46
Gambar 5.11 Relasi dispersi dan spektroskopi ATR untuk medium efektif dengan ketebalan 0,5 cm dengan $H_0 = 3$ T	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lamp.		Hal.
1	Listing program bisection untuk polariton permukaan	53
2	Listing program bisection untuk polariton bulk	55
3	Listing program reflektansi ATR	57
4	Curriculum vitae	59

BAB I PENDAHULUAN

Polariton didefinisikan sebagai kopling antara gelombang elektromagnetik dengan bentuk eksitasi dasar suatu medium zat padat. Pada suatu bahan antiferromagnet, salah satu bentuk eksitasi dasar yang dominan adalah magnon yang merupakan keadaan gelombang spin bahan yang tereksitasi. Kopling antara gelombang elektromagnetik dengan magnon dalam bahan antiferromagnet menghasilkan magnon polariton atau polariton magnetik.

Frekuensi gelombang spin bahan antiferromagnet memiliki nilai dalam rentang 100 GHz – 2 THz yang berada dalam jangkauan daerah infra merah jauh (*far infrared*). Hal ini berarti bahwa gelombang elektromagnetik yang dapat berinteraksi dengan gelombang spin untuk menghasilkan polariton magnetik juga harus berada dalam rentang frekuensi yang sama. Polariton magnetik yang dihasilkan juga berada dalam rentang frekuensi yang sama, sehingga membuka peluang untuk bahan antiferromagnet dapat diaplikasikan dalam pemrosesan sinyal pada frekuensi yang sangat tinggi. Hal ini yang membuat kajian polariton magnetik dalam bahan logam antiferromagnet dilakukan.

Kajian secara teoretis maupun eksperimen terhadap ragam polariton pada bahan antiferromagnetik dengan menggunakan sampel berupa MnF_2 atau FeF_2 telah dilakukan dan sebagian hasilnya terangkum dalam artikel yang disajikan Abraha dan Tilley (1996). Hasil yang diperoleh menggunakan sampel bahan antiferromagnet dengan ketebalan tak hingga (geometri semi tak hingga) menunjukkan keberadaan sifat *reciprocal*, dengan $\omega(\mathbf{k}) = \omega(-\mathbf{k})$ pada polariton magnetik. Sementara, pemberian medan magnet luar H_n memberikan hasil yang menunjukkan keberadaan sifat *nonreciprocal*, dengan $\omega(\mathbf{k}) \neq \omega(-\mathbf{k})$ pada polariton magnetik. Kajian eksperimen terhadap kurva relasi dispersi ragam polariton magnetik dalam bahan antiferromagnetik FeF_2 juga telah dilakukan oleh Jensen *dkk* (1996).

Bahan antiferromagnet yang selama ini digunakan dalam penelitian adalah bahan campuran MnF_2 atau FeF_2 . Bahan ini bersifat non-hantar (*isolator*) dan merupakan bahan campuran yang tidak terdapat di alam. Satu-satunya bahan alam yang bersifat antiferromagnet adalah chromium (Cr). Chromium merupakan suatu bahan logam yang bersifat penghantar (*conductor*). Kajian tentang polariton magnetik dalam bahan logam antiferromagnet Cr juga telah dilakukan (Gunawan, 2003). Hasil

yang diperoleh menunjukkan keberadaan ragam polariton tercampur, dengan polariton permukaan yang masuk ke dalam daerah polariton *bulk*. Hal ini disebabkan antara lain oleh nilai permitivitas yang bersifat kompleks yang mengandung suku imajiner. Geometri yang digunakan juga berupa geometri semi tak hingga dengan ketebalan yang tak berhingga. Namun geometri yang dipakai ini tidak realistis, sebab dalam penerapannya suatu piranti memiliki ketebalan tertentu.

Agar lebih realistis dan untuk membuka peluang penerapannya lebih lebar, maka pada penelitian ini bahan antiferromagnet yang digunakan memiliki ketebalan tertentu dan bahan antiferromagnet tersebut diletakkan di atas suatu substrat non-magnet. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai sifat polariton dalam bahan logam antiferromagnet. Selanjutnya, untuk mengetahui respon polariton magnetik terhadap medan magnet luar yang diterapkan, maka dicari grafik relasi dispersi pada beberapa nilai medan magnet luar yang diterapkan pada bahan logam antiferromagnet.