

## **Pengaruh Ketebalan Terhadap Ragam Polariton Magnetik dalam Bahan Logam Antiferromagnet**

**Vincensius Gunawan S. K.**

Laboratorium Fisika Zat Padat, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang

### **Abstract**

*The intention of this research is to study the relation dispersion of magnetic polariton generated in metallic antiferromagnet material with finite thickness numerically. The relation dispersion equation is solved in a various thickness, so that the affect of thickness in relation dispersion structure could be understood more clearly. The method used in solving relation dispersion is finding root by bisection. The results show that the structure of relation dispersion ghraphic for 0,2 cm thickness is the same with the relation dispersion graphic for semi infinite geometri. The bulk polariton became diskret below 0.2 cm thickness, and the quantization tend too decrease if the thickness of material is reduce. The bulk polariton disappear when the thickness of material is reduced to 2  $\mu$ m. The number of surface polariton will have two branches in each direction of propagation when the material thickness is diminished to 20  $\mu$ m. The distance between branches tend to larger if the thickness of materials became thinner.*

### **Intisari**

*Telah dilakukan penelitian untuk mengkaji secara numerik perilaku relasi dispersi polariton magnetik yang dibangkitkan dalam bahan logam antiferromagnetik pada beberapa ketebalan. Penelitian dilakukan dengan menyelesaikan persamaan relasi dispersi secara numerik dengan metode pencarian akar (finding root) menggunakan bisection dengan software MATLAB 5.3. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa grafik relasi dispersi bahan antiferromagnetik dengan ketebalan 0,2 cm memiliki bentuk yang sama dengan grafik relasi dispersi bahan yang bergeometri semi tak hingga. Kurva polariton bulk dengan ketebalan kurang dari 0,2 cm bersifat diskret, dan jumlahnya cenderung akan berkurang dengan semakin tipisnya bahan. Kurva polariton permukaan akan hilang pada ketebalan bahan 2  $\mu$ m. Kurva polariton permukaan akan bercabang dua untuk tiap arah rambat, bila ketebalan bahan berkurang hingga 20  $\mu$ m. Jarak antar cabang cenderung semakin lebar bila ketebalan bahan semakin berkurang.*

### **Pendahuluan**

Penelitian secara numerik terhadap magnetik polariton yang dibangkitkan dalam medium efektif bahan berlapis-lapis (*layered structure*) yang tersusun dari chromium (Cr) sebagai bahan logam antiferromagnet dan bahan isolator non-magnet telah dilakukan [1-4]. Kajian yang dilakukan mencakup bahan dengan geometri semi tak-hingga [1,2] serta geometri lapisan tipis [3,4]. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk geometri semi tak-hingga, kurva polariton *bulk* pada grafik relasi dispersi bersifat kontinu yang ditandai dengan penurunan spektroskopi ATR (*Attenuated Total Reflection*, pemantulan total teredam) yang landai [2]. Pada geometri lapisan tipis dengan ketebalan pada orde  $\mu$ m, polariton *bulk* bersifat diskret yang ditandai dengan penurunan spektroskopi ATR yang tajam [4]. Untuk polariton permukaan pada geometri semi-infinite diperoleh kurva tunggal pada tiap arah rambatan  $\mathbf{k}$  dalam grafik relasi dispersi, sementara untuk geometri lapisan tipis diperoleh dua kurva.

Pada penelitian yang telah dilakukan tersebut mengindikasikan bahwa ketebalan bahan berpengaruh pada sifat ragam polariton magnetik yang dibangkitkan. Jadi jelas diperlukan suatu kajian polariton magnetik terhadap pengaruh ketebalan secara lebih rinci. Pada makalah ini dikaji secara numeris ragam polariton magnetik pada beberapa variasi ketebalan bahan logam antiferromagnet. Kajian yang dilakukan mencakup penyelesaian relasi dispersinya serta penampilan spektroskopi ATR-nya secara numerik. Seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya, untuk membangkitkan polariton magnetik pada bahan logam antiferromagnetik, efek penyekatan (*screening effect*) yang ditimbulkan konduktivitas bahan harus dikurangi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan membuat bahan berlapis-lapis (*layered structure*) dengan bahan yang bersifat isolator non-magnet serta antarmuka lapisan tegak lurus terhadap arah komponen medan  $\mathbf{E}$  gelombang elektromagnetik [1-5]. Selanjutnya, perhitungan dilakukan

menggunakan pendekatan teori medium efektif (*effective medium theory*) terhadap struktur berlapis. Dengan pendekatan tersebut, bahan berlapis dapat digantikan oleh suatu medium efektif dengan tensor dielektrik dan tensor permeabilitas yang bergantung pada fraksi volume bahan logam antiferromagnet [6,7].

**Teori**

Suatu medium efektif bahan berlapis-lapis yang tersusun dari bahan logam antiferromagnet dan bahan isolator non-magnet, memiliki permitivitas efektif yang berbentuk [1-5]

$$\epsilon_{ff} = \begin{pmatrix} \epsilon_1 f_1 + \epsilon_2 f_2 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_1 f_1 + \epsilon_2 f_2 & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{f_1}{\epsilon_1} + \frac{f_2}{\epsilon_2}\right)^{-1} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

dengan  $f_1$  dan  $f_2$  menyatakan fraksi volume bahan logam antiferromagnet dan bahan isolator non-magnet. Parameter  $\epsilon_1$  dan  $\epsilon_2$  menyatakan permitivitas bahan logam antiferromagnet dan bahan isolator non-magnet.

Permeabilitas efektif dengan pendekatan teori medium efektif berbentuk

$$\mu = \begin{pmatrix} \mu_{1m} f_1 + \mu_o f_2 & i\mu_{2m} f_1 & 0 \\ -i\mu_{2m} f_1 & \mu_{1m} f_1 + \mu_o f_2 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_o \end{pmatrix} \quad (2)$$

dengan komponen tensor permeabilitas bahan antiferromagnet berbentuk

$$\mu_{1m} = \mu_o [1 + \mu_o^2 \gamma^2 H_A M_s (Y^+ + Y^-)] \quad (3a)$$

$$\mu_{2m} = \mu_o^3 \gamma^2 H_A M_s (Y^+ - Y^-) \quad (3b)$$

serta

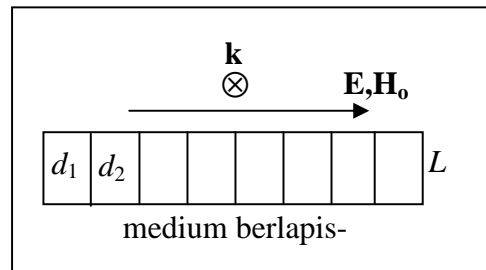
$$Y^\pm = [\omega_r^2 - (\omega \pm \mu_o \gamma H_0)^2]^{-1}. \quad (4)$$

Parameter  $\omega_r$  menyatakan frekuensi resonansi,  $\gamma$  menyatakan factor rasio gyromagnetik,  $H_A$  menyatakan medan anisotropy,  $M_s$  menyatakan magnetisasi subkisi dan  $H_0$

menyatakan medan magnet luar yang diterapkan.

Pada kasus polariton magnetik dengan ketebalan berhingga, gelombang elektromagnetik di dalam sampel material merupakan superposisi dari komponen  $e^{\alpha y}$  dan  $e^{-\alpha y}$ . Tetapan atenuasi bahan dinyatakan dengan  $\alpha$ , sementara  $y$  menyatakan komponen posisi yang berarah ke dalam ketebalan bahan.

Selanjutnya digunakan konfigurasi Voigt, dengan arah medan magnet luar sejajar dengan medan  $\mathbf{E}$  serta tegak lurus terhadap vektor gelombang  $\mathbf{k}$ . Medan listrik  $\mathbf{E}$  dipilih sejajar dengan permukaan namun tegak lurus terhadap batas-batas lapisan, agar maksud pembatasan muatan bebas terpenuhi (lihat Gb.1).



Gambar 1. Konfigurasi Voigt yang digunakan dalam penelitian.

Dengan konfigurasi diatas, maka persamaan relasi dispersi polariton permukaan berbentuk [3]

$$[(\mu_o \alpha)^2 + (\mu_v \alpha_o)^2 - \left(\frac{\mu_{xy}}{\mu_{xx}}\right)^2 \mu_o^2 k^2] \tanh(\alpha L) + 2\mu_o \mu_v \alpha_o \alpha = 0 \quad (5)$$

sementara persamaan untuk relasi dispersi polariton bulk berbentuk [3]

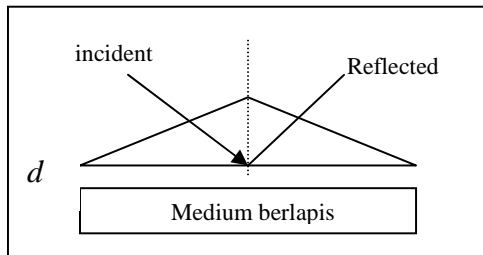
$$[(\mu_o \alpha)^2 + (\mu_v \alpha_o)^2 - \left(\frac{\mu_{xy}}{\mu_{xx}}\right)^2 \mu_o^2 k^2] \tan(\alpha L) + 2\mu_o \mu_v \alpha_o \alpha = 0 \quad (6)$$

**Metode Penelitian**

Penelitian ini pada dasarnya merupakan analisis numerik untuk menyelesaikan persamaan relasi dispersi pers.(pada beberapa nilai ketebalan. Penyelesaian persamaan relasi dispersi selanjutnya dilakukan secara numerik menggunakan MATLAB<sup>®</sup> 5.3. Persamaan

relasi dispersi di atas dibawa ke dalam bentuk  $F(\omega, k) = 0$ , sehingga dapat diselesaikan dengan menentukan nilai frekuensi sudut dan mencari akar vektor gelombang yang terkait. Metode yang digunakan berupa pencarian akar (*finding root*).

Suatu metode yang dapat digunakan untuk verifikasi polariton adalah metode ATR (*attenuated total reflection*; pemantulan total teredam)[8,9]. Pada metode ini, suatu gelombang elektromagnetik yang melewati prisma dengan indeks bias tinggi diterapkan pada material sample. Bila gelombang tersebut memiliki nilai vektor gelombang yang sama dengan yang disyaratkan pada relasi dispersi untuk terciptanya polariton, maka sebagian tenaga gelombang akan diserap untuk membangkitkan polariton tersebut. Jadi pada saat itu reflektansi akan berkurang nilainya.



Gambar 2. Konfigurasi sistem ATR dalam penelitian.

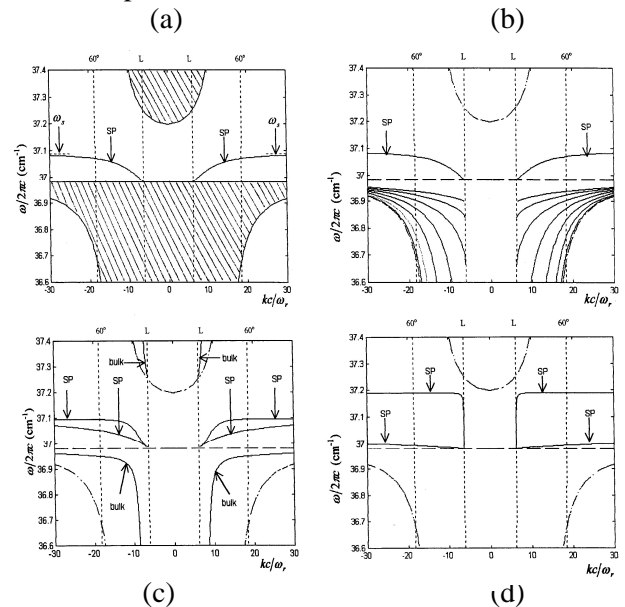
Jadi, pada saat garis ATR memotong kurva polariton *bulk* maupun polariton permukaan diharapkan terjadi penurunan reflektansi. Sementara bagian garis ATR yang tidak memotong kurva polariton akan cenderung reflektansinya bernilai satu.

**Hasil dan Pembahasan**

Hasil diperoleh dengan mengambil chromium (Cr) sebagai sampel bahan logam antiferromagnetik dengan karakteristik  $H_E = 43,4$  T menyatakan medan tukar,  $H_A = 14,9$  T menyatakan medan anisotropi,  $M_s = 0,06$  T menyatakan medan subkisi bahan antiferromagnet dan konduktivitas  $\sigma = 0,78 \times 10^7 \text{ } \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ . Sebagai bahan isolator non-magnet yang digunakan tetapan dielektriknya,  $\epsilon_2 = \epsilon_0$ .

Penyelesaian secara numerik pers.(5) dan pers.(6) tersaji dalam grafik Gb.3. Dari hasil yang diperoleh tersebut tampak bahwa relasi dispersi untuk sampel dengan ketebalan

0,2 cm memiliki sifat seperti relasi dispersi untuk medium dengan tebal tak berhingga. Hal tersebut tampak dari polariton *bulk* yang bersifat kontinu. Spektroskopi ATR yang tersaji pada gambar (4) juga menunjukkan bahwa penurunan reflektansi bersifat landai dan dalam selang waktu relatif lama ketika garis ATR tersebut memotong dan melewati daerah polariton *bulk*, hal ini mengindikasikan bahwa polariton *bulk* bersifat kontinu.



Gambar 3. Relasi dispersi polariton dengan ketebalan : (a) 0,2 cm, (b) 200  $\mu\text{m}$ , (c) 20  $\mu\text{m}$  dan (d) 2  $\mu\text{m}$ . Pada gambar tampak pula garis ATR pada sudut 60°. Simbol ‘L’ menunjukkan garis cahaya (*lightline*), simbol ‘SP’ menunjukkan kurva polariton permukaan dan symbol ‘bulk’ menunjukkan kurva polariton bulk. Garis putus-putus menunjukkan batas daerah polariton bulk yang dibangkitkan pada bahan yang sama namun dengan ketebalan tak hingga (geometri semi tak hingga).

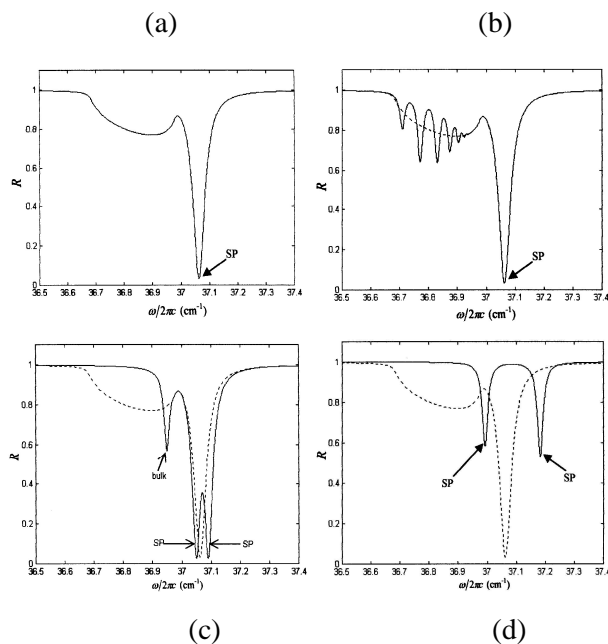
Bila ketebalan medium berkurang hingga 200  $\mu\text{m}$  tampak bahwa polariton permukaan belum terpengaruh dengan perubahan ketebalan, sementara polariton *bulk* menjadi bersifat tak kontinu (diskret). Hal tersebut ditunjukkan juga oleh spektroskopi ATR-nya, dengan munculnya enam turunan tajam pada saat garis ATR memotong kurva polariton *bulk*.

Pada ketebalan 20  $\mu\text{m}$ , tampak bahwa polariton permukaan untuk suatu nilai  $+k_x$  dan  $-k_x$  bercabang dua, sementara polariton

*bulk* tampak berkurang dengan hanya muncul satu kurva saja pada tiap arah rambat  $k$ .

Untuk ketebalan yang lebih tipis lagi, yakni sekitar  $2\ \mu\text{m}$ , tampak bahwa ragam polariton *bulk* polariton menjadi hilang. Hal ini disebabkan pada ketebalan  $2\ \mu\text{m}$ , seolah-olah bahan tersebut tidak memiliki ketebalan dan hanya merupakan lembaran yang mengandung permukaan atas dan permukaan bawah. Sementara jarak percabangan polariton permukaan pada tiap arah rambat menjadi semakin lebar.

Jadi dari penelitian ini tampak adanya pengaruh ketebalan terhadap ragam polariton yang muncul. Ragam polariton *bulk* cenderung berkurang bila ketebalan bahan berkurang. Sementara untuk ragam polariton permukaan cenderung untuk memperlebar percabangan bila ketebalan bahan berkurang.



Gambar 4. Spektroskopi ATR terhadap polariton permukaan dengan tebal medium : (a) 0,2 cm, (b) 200  $\mu\text{m}$ , (c) 20  $\mu\text{m}$  dan (d) 2  $\mu\text{m}$ . Garis putus-putus menunjukkan spektroskopi ATR untuk bahan dengan ketebalan tak-hingga. Garis putus-putus merupakan kurva spektroskopi ATR untuk bahan yang sama namun bergeometri semi tak hingga

### Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan

1. Ketebalan bahan berpengaruh terhadap ragam-ragam polariton yang terbangkitkan dalam bahan.

2. Pada ragam polariton *bulk* cenderung bersifat berkurang bila ketebalan bahan berkurang.
3. Ragam polariton permukaan cenderung memperlebar percabangan bila ketebalan bahan berkurang,

### Daftar Pustaka

- [1]. Gunawan, V., 2003, *Relasi Dispersi Polariton Magnetik dalam Bahan Logam Antiferromagnet*, Berkala Fisika, Vol. 6, 1, 11-18.
- [2]. Gunawan, V., 2003, *Verifikasi Magnon Polariton Bahan Logam Antiferromagnet dengan Metode Pemantulan Total Teredam*, Berkala Fisika, Vol.6, 2, 31-38
- [3]. Gunawan, V., 2004, *Polariton Magnetik dalam Lapisan Tipis Bahan Logam Antiferromagnet*, Berkala Fisika, Vol.7,4, 111-118.
- [4]. Gunawan, V., 2005, *Pantulan Total Teredam untuk Deteksi Magnon Polariton dalam Lapisan Tipis Bahan Logam Antiferromagnet*, Berkala Fisika, Vol. 8, 3.
- [5]. Camley, R.E., Parker, T.J. and Smith, S.R.P., 1996, *Reflection of electromagnetic radiation from structured metallic magnets*, Phys. Rev. B, 53, 9, 5481-5487.
- [6]. Raj, N., and Tilley, D.R., 1989, *The Electrodynamics of Superlattices*, This paper contain in the book with title : *The Dielectric Function of Condensed Systems*, edited by Keldish, L.V., Kirzhnits, D.A. and Maradudin, A.A., Elsevier Science Publisher B.V., 459-507.
- [7]. Abraha, K., and Tilley, D.R., 1996, *Theory of far infrared properties of magnetic surfaces, films and supperlattices*, Surf. Sci. Rep. 24, 5/6.
- [8]. Jensen, M.R.F., Parker, T.J., Abraha, K., and Tilley, D.R., 1995, *Experimental Observation of Magnetic Surface Polaritons in FeF<sub>2</sub> by Attenuated Total Reflection.*, Phys. Rev. Lett. 75, 20, 3756-3759.
- [9]. Jensen, M.R.F., Feiven, S.A., Parker, T.J., Camley, R.E., 1996, *Experimental determination of Magnetic Polariton Dispersion Curve in FeF<sub>2</sub>.*, Phys Rev B 55, 5, 2745-2748