STUDI RSE PADA ANISOTROPI INTERAKSI SPIN DALAM NH_4CuCl_3

Iwan Sugihartono dan Budhy Kurniawan
Departemen Fisika, Universitas Indonesia, Depok 16424
E-mail : iwan@fisika.ui.ac.id dan bkuru@fisika.ui.ac.id

ABSTRAK

STUDI RSE PADA ANISOTROPI INTERAKSI SPIN DALAM NH_4CuCl_3. Telah diamati sifat-sifat magnetik dari senyawa NH_4CuCl_3. NH_4CuCl_3 memiliki struktur kristal yang sama dengan $KCuCl_3$ dan termasuk dalam model kristal monoklinik dengan *space group* $P2_1/c$. Struktur utama dari kristal ini berupa rantai ganda yang memiliki susunan oktahedral $CuCl_6$ pada bagian tepi sepanjang sumbu-a. Rantai ganda tersebut berada pada sudut dan pusat dari sel satuan dalam bidang bc dan dibatasi oleh ion-ion NH^{4+}. Senyawa NH_4CuCl_3 memiliki tiga jenis interaksi antar tetangga terdekat J_1, J_2, dan J_3. Sehingga pada temperatur ruang NH_4CuCl_3 dapat dimodelkan dalam sistem spin satu dimensi. Telah diukur pula harga Faktor Lande (g) dalam senyawa rantai ganda NH_4CuCl_3. Nilai g telah diukur menggunakan spektrometer RSE pada temperatur ruang dengan pengaruh medan magnet hingga 1 T. Dalam pengukuran ini ditemukan indikasi fenomena anisotropi nilai g untuk pemutaran sumbu-a dan sumbu-b kristal. Secara teoritis anisotropi ini diprediksikan berasal dari interaksi pertukaran antisimetri pada model satu dimensi senyawa NH_4CuCl_3.

Kata kunci : NH_4CuCl_3, faktor Lande (g), interaksi pertukaran antisimetri.

ABSTRACT

ESR STUDY OF ANISOTROPY SPIN INTERACTION IN NH_4CuCl_3. It has been investigated the magnetic properties of NH_4CuCl_3. NH_4CuCl_3 is isostructural with $KCuCl_3$ and belongs to the monoclinic space group $P2_1/c$. The main feature of the crystal structure is the double chain of edge sharing $CuCl_6$ octahedral along the a-axis. The double chains are located at the corners and center of the unit cell in the bc plane and are separated by NH^{4+} ions. For NH_4CuCl_3 there are kinds of nearest neighbour interaction J_1, J_2, and J_3. Thus, at high temperature the NH_4CuCl_3 may be regarded as one-dimensional spin system. It has been measured the Lande Factor g in the double chains compound NH_4CuCl_3. The g value were measured by ESR at high temperature and under magnetic field up to 1 T. It is found that measurements indicate anisotropy phenomena in the g value for rotating a-axis and b-axis.Theoretically, the anisotropy is predicted due to antisymmetric interaction in one dimension model of NH_4CuCl_3.

Key words : NH_4CuCl_3 , Lande factor g, ,antisymmetric interaction.

PENDAHULUAN

NH_4CuCl_3 merupakan suatu senyawa yang termasuk ke dalam keluarga ABX_3. Pada temperatur ruang NH_4CuCl_3 memiliki struktur kristal yang sama dengan $KCuCl_3$. Ciri-ciri dari struktur kristalnya memiliki rantai ganda pada bagian tepi yang berbentuk oktahedral $CuCl_6$ sepanjang arah a dari sumbu kristalnya. Sistem tersebut dapat digambarkan sebagai sistem rantai ganda model *Heisenberg* dengan spin ½ [1].

Model sistem spin rantai ganda tersebut baru-baru ini dikenal dengan istilah sistem tangga (*the ladder system*). Dalam sistem ini dapat terjadi berbagai jenis interaksi antar spin. Fenomena tersebut merupakan fenomena yang menarik karena dapat didekati dengan sistem kuantum spin, efek ini mampu menjelaskan sifat-sifat fisis dari senyawa NH_4CuCl_3.

Dalam sistem kuantum spin pada dimensi rendah interaksi pertukaran dimodelkan oleh bentuk *Hamiltonian Heisenberg*,

$$H = -\sum_{i=1}^{N} 2J\hat{S}_i.\hat{S}_{i+1} \qquad [1]$$

Volume 3 No. 2, Pebruari 2001, hal : 47- 49
ISSN : 1411-1098

dimana J adalah konstanta kopling Antiferomagnetik ($J < 0$) dan S_i adalah operator spin untuk keadaan ke-i. Di sini kita asumsikan untuk kondisi batas yang periodik memenuhi syarat $S_{i+1}=S_1$.

Pembahasan lebih lanjut mendapatkan bahwa bila $J_1=J_2=J_3=J=1$ maka interaksi pertukarannya bersifat simetri isotrop. Namun, interaksi pertukaran tidak selalu bersifat simetri isotrop, sehingga perlu untuk menyatakan J sebagai sebuah tensor yang secara umum tidak harus selalu bersifat simetri. Sifat simetri tensor tersebut dapat didekati dengan menganggap bahwa matrik dari tensor J dapat diuraikan menjadi tiga bagian, yaitu [2] :

1. Bagian simetri isotrop (memiliki nilai yang dominan dan bersifat mempersempit kurva, dengan *Hamiltonian*nya :

$$H_e^{si} = -J\Sigma_{i,j} S_i . S_j \qquad [2]$$

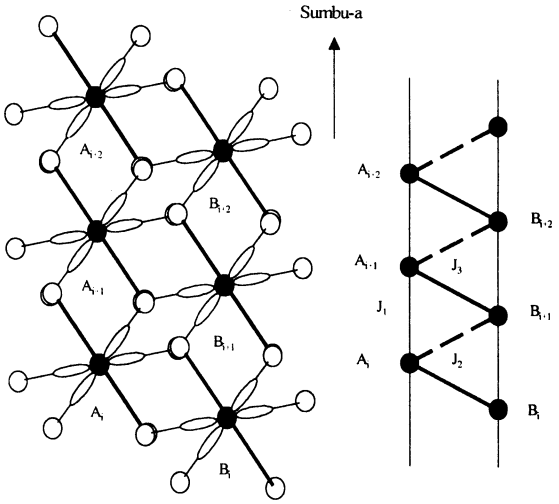
2. Bagian simetri anisotrop (memiliki nilai yang lebih rendah dari simetri isotrop dan bersifat memperlebar kurva), dengan *Hamiltonian*nya :

$$H_e^{sa} = \Sigma_{i,j} - S_i . J_{ij}^{sa} . S_j \qquad [3]$$

3. Bagian antisimetri (memiliki nilai yang lebih rendah dari simetri isotrop dan bersifat memperlebar kurva), dengan *Hamiltonian*nya :

$$H_e^{A} = \Sigma_{i,j} d_{ij} . \left(S_i \times S_j \right) \qquad [4]$$

Dalam pengukuran dijelaskan mengenai sifat fisis berdasarkan nilai Faktor Lande g yang diperoleh dengan menggunakan spektrometer RSE pada temperatur ruang. Pengukuran ini berada dalam pengaruh medan magnet hingga 1 T, dengan lebar sapuan 500 mT pada frekuensi 9,47 GHz. Secara teoritis anisotropi ini diprediksikan berasal dari interaksi pertukaran antisimetri pada model satu dimensi senyawa NH_4CuCl_3.

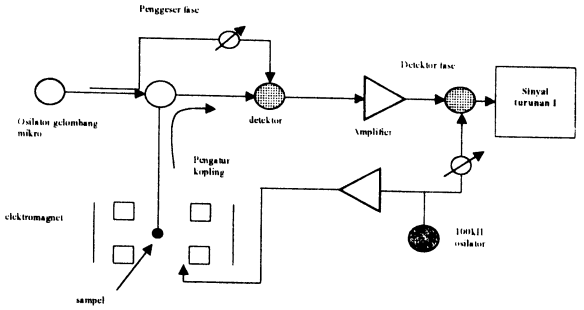


Gambar 1. Struktur kristal keluarga $KCuCl_3$

METODA PERCOBAAN

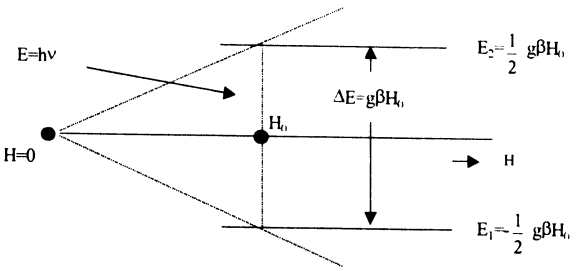
Dalam penelitian ini kami menggunakan seperangkat peralatan RSE buatan JEOL tipe JES-RE2X, adapun digram blok dari RSE adalah:

Prinsip dasar yang digunakan dalam pengukuran RSE adalah terjadinya resonansi ketika sampel diberikan medan magnet, sehingga timbul efek yang dinamakan efek *Zeeman*, kemudian diradiasi dengan energi gelombang elektromagnetik (gelombang mikro).



Gambar 2. Diagram blok Spektrometer RSE

Apabila energi gelombang mikro yang mengenai sampel sama dengan selisih tingkat energi elektron yang mengalami efek *Zeeman*, maka gelombang mikro tersebut akan diserap oleh sampel. Fenomena inilah yang dinamakan resonansi, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Prinsip efek *Zeeman* dan terjadinya Resonansi

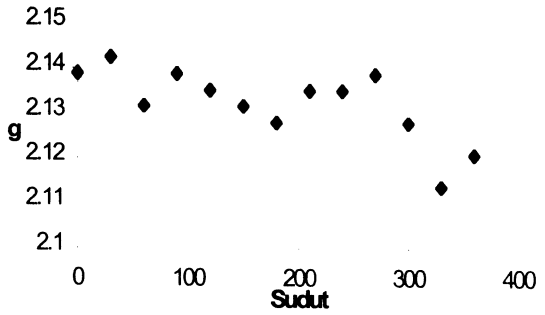
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran telah dilakukan dengan memberikan medan magnet H rendah ($H < 1$ T) yang sejajar dengan sumbu kristal a (H//a) dan yang sejajar sumbu kristal b (H//b) dilakukan pada temperatur ruang dengan frekuensi gelombang mikro sebesar 9,47 GHz. Pengukuran pun dilakukan dengan pemutaran arah sumbu kristal a terhadap arah medan magnet H. Hal yang sama dilakukan pula terhadap arah sumbu kristal b.

Hasil pengukuran faktor Lande (g) ternyata memberikan fenomena seperti yang ditampilkan pada grafik variasi g terhadap sudut. Sudut θ_a adalah sudut antara medan magnet H dengan arah sumbu kristal a. Sudut θ_b adalah sudut antara medan magnet dengan arah sumbu kristal b.



Gambar 4. Grafik g terhadap q_a



Gambar 5. Grafik g terhadap q_b

Faktor Lande (g) diperoleh dari perhitungan yang ditunjukkan oleh hubungan:

$$g = \frac{h\nu}{\beta H}$$

Pada sampel NH_4CuCl_3 faktor Lande (g) menunjukkan fenomena anisotropi. Fenomena ini terjadi karena pada sampel NH_4CuCl_3 sinyal RSE-nya berasal dari ion Cu^{2+}. Ion Cu^{2+} memiliki konfigurasi elektronik d^9 dan berada dalam keadaan ^2D. Pada struktur ini dapat terjadi kopling spin orbit yang kuat (interaksi pertukaran yang simetri isotrop), dan menyebabkan anisotropi faktor g. Anisotropinya dapat dinyatakan dalam persamaan:

Hasil pengukuran harga g pada temperatur rendah adalah g_a=2,17 pada H//a dan g_b=2,06 pada H//b[4]. Sementara itu hasil pengukuran pada temperatur ruang diperoleh harga g pada variasi arah medan magnet H

$$g(\theta) = \left(g_{//}^2 \cos^2\theta + g_{\perp}^2 \sin^2\theta\right)^{\frac{1}{2}} \qquad [5]$$

terhadap sumbu-a mendekati 2,19 dan harga g pada variasi arah medan magnet H terhadap sumbu-b mendekati 2,13. Harga-harga tersebut tersebut merupakan harga g total yang secara tidak langsung telah melibatkan efek dari harga $g_{//}$ dan $g\perp$. Terlihat bahwa ada kenaikan harga g_a dan g_b pada saat temperaturnya dinaikkan. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan tersebut terjadi secara konsisten untuk kedua harga g_a dan g_b.

Selain oleh kopling spin-orbit yang kuat (interaksi pertukaran simetri isotropi), anisotropi faktor g dapat juga disebabkan oleh interaksi pertukaran simetri anisotrop yang nilainya sebanding dengan $(\Delta g/g)^2$ dan interaksi pertukaran antisimetri yang nilainya sebanding dengan $(\Delta g/g)$. Δg adalah pergeseran harga g rata-rata ion Cu^{2+} terhadap g elektron bebas g_e, yaitu : $\Delta g = |\, g - g_e \,|$. Hanya saja kami masih belum bisa memastikan dari ketiga interaksi pertukaran tadi mana yang paling dominan. Namun bila dilihat dari karakteristik pelebaran kurva RSE-nya, dimana interaksi pertukaran simetri isotrop cenderung mempersempit lebar kurva maka secara kualitatif yang paling dominan adalah dua interaksi yang terakhir yaitu simetri anisotrop dan antisimetri. Kedua interaksi ini dapat memperlebar kurva RSE. Berdasarkan hasil pengukuran RSE dicurigai bahwa interaksi Dzyaloshinki-Moriya yang merupakan interaksi pertukaran antisimetri memegang peranan penting dalam anisotropi harga g [4].

KESIMPULAN

Berdasarkan data pengukuran RSE ternyata interaksi Dzyaloshinki-Moriya atau yang sering disebut sebagai interaksi pertukaran antisimetri memegang peranan penting dalam anisotropi harga Faktor Lande g. Sehingga untuk pemutaran sumbu-a kristal anisotropi harga g berkisar pada nilai 2,17-2,20 dan pada sumbu-b kristal anisotropi harga g berkisar 2,11-2,14.

DAFTAR ACUAN

[1]. B. KURNIAWAN., *Novel Static and Dynamic Magnetik Properties in Quantum Spin Sistem NH_4CuCl_3* , Disertasi Doktor, Dept.of Physics, Faculty of Sciences, Tokyo Institute of Technology, (1999).

[2]. G.E. PAKE,*Paramagnetik Resonance*,W.A. Benjamin. Inc, (1962).

[3]. JOHN E. HARRIMAN, *Theoretical Foundations of Elektron Spin Resonance*, vol.7,. Academic Press, Inc. (1978).

[4]. B. KURNIAWAN, H. TANAKA, K. TAKATSU, W. SHIRAMURA, T. FUKUDA, H. NOJIRI and M. MOTOKAWA : *RSE study of the Opening and Closing OF the Field-Induced Gap in NH_4CuCl_3*; Phys.Rev. Lett. **82** (1999) 1281-1284

[5]. W. SHIRAMURA., *Ground State and Energy Gap of Double Chain Sistem: $KCuCl_3$ Family*, Disertasi Doktor, Dept.of Physics, Faculty of Sciences, Tokyo Institute of Technology. (1999)

[6]. B. KURNIAWAN, H. TANAKA, K. TAKATSU, W. SHIRAMURA, T. FUKUDA, H. NOJIRI and M. MOTOKAWA : *RSE study of the Opening and Closing OF the Field-Induced Gap in NH_4CuCl_3*; Phys.Rev. Lett. **82** (1999) 1281-1284