

STUDI ORIENTASI MOMEN MAGNETIK ION Fe PADA SUHU 10K SENYAWA ErFe_6Sn_6 MENGGUNAKAN TEKNIK DIFRAKSI NEUTRON

Suharyana

Jurusan Fisika, FMIPA - Universitas Sebelas Maret
Surakarta 57126

School of Physics The University of New South Wales
Sydney 2052 Australia

ABSTRAK

STUDI ORIENTASI MOMEN MAGNETIK ION Fe PADA SUHU 10K SENYAWA ErFe_6Sn_6 MENGGUNAKAN TEKNIK DIFRAKSI NEUTRON. Teknik difraksi neutron telah digunakan untuk menentukan posisi atom di dalam sel satuan serta orientasi momen magnetik ion Fe senyawa ErFe_6Sn_6 pada suhu 10 K. Pola difraksi neutron dianalisis menggunakan metode Rietveld GSAS. Hasil analisis menunjukkan bahwa senyawa ErFe_6Sn_6 memiliki struktur kristal ortorombik dengan grup ruang $Cmcm$ tipe ErFe_6Sn_6 . Orientasi momen magnetik subkisi Fe bersifat antiferromagnetik mengarah ke sumbu a kristal ortorombik dengan grup ruang magnetik $C_p m \bar{c} c \bar{m} \bar{c}$. Semua ion Fe memiliki momen magnetik sebesar $(2,3 \pm 0,2)m_B$.

Kata kunci: Senyawa ErFe_6Sn_6 , difraksi neutron, antiferromagnetik, Rietveld GSAS

ABSTRACT

STUDY ON MAGNETIC MOMENT ORIENTATION OF Fe ION ON 10K TEMPERATURE OF THE ErFe_6Sn_6 COMPOUND USING NEUTRON DIFFRACTION TECHNIQUE. Neutron diffraction technique have been used to determine deposition of atom in the single cell and magnetic moment orientation of Fe ion of the ErFe_6Sn_6 compound at temperature 10K. The neutron diffraction pattern was analyzed by using Rietveld GSAS Method. The result showed that the ErFe_6Sn_6 compound have structure of orthorombic crystal with space group of $Cmcm$ type ErFe_6Sn_6 . The magnetic moment orientation of Fe sub lattice have antiferromagnetic properties directed to a axis of orthorombic crystal with magnetic space of $C_p m \bar{c} c \bar{m} \bar{c}$ the whole Fe ion have magnetic moment of $(2,3 \pm 0,2)m_B$.

Key words: ErFe_6Sn_6 compound, neutron diffraction, antiferromagnetic, Rietveld GSAS

PENDAHULUAN

Senyawa logam tanah jarang (R)-besi (Fe) dan stanida (Sn) dengan rumus kimia $R\text{Fe}_6\text{Sn}_6$ telah diketahui hanya terbentuk apabila R = logam tanah jarang berat Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm dan Lu. Senyawa $R\text{Fe}_6\text{Sn}_6$ mengkristal dengan struktur heksagonal tipe YCo_6Ge_6 (grup ruang $P6/mmm$). Tetapi senyawa kelompok $R\text{Fe}_6\text{Sn}_6$ mengkristal dengan tipe berbeda-beda, bergantung kepada suhu dan jama aniling, yaitu tipe YFe_6Sn_6 (kelompok ruang $Immm$ untuk $R=Y$), tipe TbFe_6Sn_6 ($Cmcm$, $R=\text{Gd}$, Tb dan Dy), tipe DyFe_6Sn_6 ($Cmcm$, $R=\text{Dy}$), tipe HoFe_6Sn_6 ($Immm$, $R=Y$ dan Ho) serta tipe ErFe_6Sn_6 ($Cmcm$, $R=\text{Er}$). Sedangkan TmFe_6Sn_6 dan LuFe_6Sn_6 memiliki struktur kristal heksagonal bertipe HfFe_6Ge_6 ($P6/mmm$) [1,2,3].

Walaupun senyawa kelompok $R\text{Fe}_6\text{Sn}_6$ telah diketahui sejak tahun 1986, tetapi sifat-sifat magnetiknya baru diketahui ketika dipublikasi hasil penelitian efek ^{57}Fe Mössbauer pada $R\text{Fe}_6\text{Sn}_6$. Semua senyawa $R\text{Fe}_6\text{Sn}_6$ bersifat antiferromagnetik pada suhu kamar. Tetapi tidak

dilaporkan suhu Néel (T_N) antiferromagnetik $R\text{Fe}_6\text{Sn}_6$ [2]. Informasi tentang sifat magnetik senyawa kelompok ini semakin lengkap setelah kelompok riset material magnetik di School of Physics The University of New South Wales berhasil menunjukkan bahwa subkisi Fe dan R memiliki suhu transisi magnetik yang berlainan. Orientasi momen magnetik subkisi Fe pada semua $R\text{Fe}_6\text{Sn}_6$ bersifat antiferromagnetik dengan $T_N \sim 550$ K. Hal ini cukup menarik karena T_N tidak bergantung pada unsur logam tanah jarang penyusun senyawa tersebut bersifat magnetik atau tidak. Sedangkan subkisi R memiliki suhu transisi magnetik yang sangat jauh berbeda, sekitar 30-2 K.

Orientasi momen magnetik subkisi Fe pada senyawa YFe_6Sn_6 , TbFe_6Sn_6 dan HoFe_6Sn_6 telah diketahui dari analisis difraksi neutron [3-6]. Di dalam makalah ini hasil analisis difraksi netron ($l=1,5138\text{\AA}$) oleh ErFe_6Sn_6 pada suhu 10K dilaporkan.

METODE PERCOBAAN

Cuplikan ErFe_6Sn_6 sebanyak ~5 gram dibuat dengan cara melebur unsur-unsur Er, Fe dan Sn yang memiliki kadar kemurnian > 99,5% menggunakan teknik las lucutan di dalam reaktor yang diisi gas argon. Atisipasi hilangnya Er akibat menguap selama proses peleburan dilakukan dengan cara menambahkan sekitar 2% logam Er sebelum peleburan. Untuk memastikan tidak ada unsur yang hilang, *ingot* hasil peleburan ditimbang dan dibandingkan dengan massa total sebelum proses peleburan.

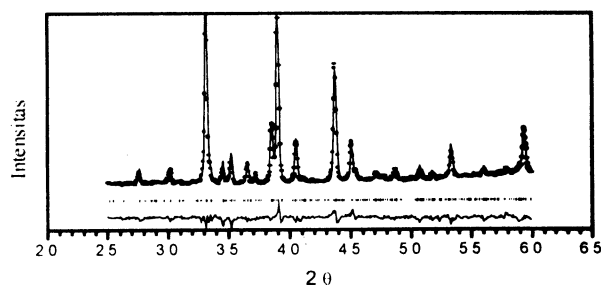
Ingot hasil peleburan kemudian dibungkus dengan foil tantalum, dimasukkan ke dalam kapsul vakum quartz kemudian dianil pada suhu 1073 K selama 10 hari. Di akhir aniling, kapsul quartz panas tersebut segera dimasukkan kedalam air. *Ingot* kemudian digerus menggunakan mortar dan pestle.

Karakterisasi struktur kristal dilakukan dengan teknik difraksi sinar X Cu-K_α menggunakan difraktometer SIEMENS D500. Difraksi neutron dilakukan di Berlin Neutron Scattering Centre Hahn Meier Institute Berlin pada suhu 10K dan panjang gelombang neutron 1,5138Å. Data difraksi sinar-X serta neutron dianalisis menggunakan metode Rietveld dengan perangkat lunak General Structure Analysis System GSAS [7].

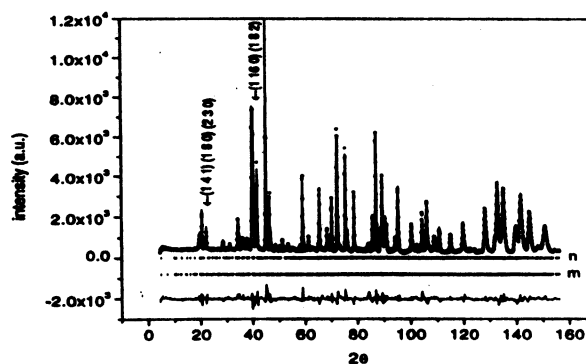
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil difraksi sinar X cuplikan ErFe_6Sn_6 yang telah dianil dan analisis Rietveld ditunjukkan pada Gambar 1. Puncak-puncak difraksi semuanya dapat diidentifikasi apabila digunakan model struktur kristal ortorombik kelompok ruang $Cmcm$ bertipe ErFe_6Sn_6 . Dengan kata lain, tidak teramati adanya fasa pengotor di dalam cuplikan.

Data difraksi neutron ErFe_6Sn_6 pada suhu 10K dan hasil *fitting* diperlihatkan di Gambar 2. Telah diketahui bahwa subkisi Fe pada senyawa ErFe_6Sn_6 bersifat antiferomagnetik dengan $T_N = (585 \pm 5)\text{K}$ [3]. Dengan demikian puncak-puncak difraksi neutron pada Gambar 2 diakibatkan oleh interaksi antara neutron dengan inti atom Er, Fe serta Sn dan juga dengan momen magnetik ion Fe.



Gambar 1. Data difraksi sinar X (Cu-K_α) cuplikan ErFe_6Sn_6 dan hasil fittingnya beserta selisih keduanya.



Gambar 2. Data difraksi neutron ($\lambda = 1,5138\text{Å}$) cuplikan ErFe_6Sn_6 pada suhu 10 K, hasil *fitting* beserta selisih keduanya. Huruf-huruf n dan m di sisi kanan masing-masing menunjukkan posisi Bragg untuk difraksi oleh nukleus dan momen magnetik ion Fe. Tanda panah menunjukkan posisi puncak-puncak difraksi magnetik.

Telah dikemukakan di atas bahwa senyawa ErFe_6Sn_6 mengkristal dengan struktur ortorombik kelompok ruang $Cmcm$. Syarat terjadi interferensi konstruktif untuk kisi C adalah $h + k = 2n$ (genap). Dari pola difraksi Gambar 2 dapat dilihat dengan jelas puncak difraksi yang terletak pada $2\theta = 22,2^\circ$ atau pada jarak antar bidang kristal $d = 4,12676\text{Å}$ dan pada $2\theta = 41,2^\circ$ atau $d = 2,25149\text{Å}$. Puncak difraksi pertama berasal dari difraksi neutron oleh bidang (1 4 1), (1 8 0) dan (2 3 0) sedangkan puncak difraksi pada $2\theta = 41,2^\circ$ adalah (1 1 6 0), (1 8 2), (2 3 2) dan (3 8 1). Kedua puncak difraksi ini memiliki indeks Miller $h + k \neq 2n$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa puncak-puncak tersebut berasal dari difraksi neutron oleh konfigurasi antiferomagnetik momen magnet ion Fe dengan vektor gelombang (0, 1, 0). Hal ini juga berarti ErFe_6Sn_6 memiliki kisi magnetik C_p , artinya momen magnetik Fe yang dihubungkan dengan translasi $C + (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$ adalah antiparalel.

Data difraksi neutron cuplikan ErFe_6Sn_6 dapat difitting dengan hasil memuaskan apabila digunakan model kelompok ruang magnetik $C_p m' m' m'$. Nilai residu $R_{wp} = 9,5\%$, $R_p = 7,5\%$ dan $\chi^2 = 7,6$ dan semua puncak-puncak difraksi dapat diidentifikasi. Konstanta kisi hasil penghalusan adalah $a = 8,8847(2)\text{Å}$, $b = 37,2351(2)\text{Å}$ dan $c = 5,3842(3)\text{Å}$. Momen magnetik ion Fe mengarah ke sumbu a kisi ortorombik dengan momen magnetik sebesar $(2,3 \pm 0,3) m_B$. Hasil penghalusan posisi atom dalam sel satuan dan faktor suhu isotropik U_i/U_e diperlihatkan pada Tabel 1.

Struktur magnetik subkisi Fe dapat dianalisis menggunakan pendekatan teori group. Senyawa ErFe_6Sn_6 mengkristal dengan struktur ortorombik $Cmcm$ (No. 63) tipe ErFe_6Sn_6 . Terdapat 16 grup ruang magnetik berkaitan dengan grup ruang $Cmcm$ [8,9]. Keluarga grup ruang magnetik untuk $Cmcm$ dan grup titik untuk masing-masing posisi ditunjukkan pada Tabel 2. Dapat dilihat bahwa hanya 8 dari 16 grup ruang magnetik yang mungkin diadopsi oleh subkisi Fe pada ErFe_6Sn_6 karena

Tabel 1. Hasil penghalusan posisi atom-atom dalam sel satuan $ErFe_6Sn_6$. Angka-angka di dalam kurung adalah galat sedangkan U_i/U_e adalah faktor suhu.

Atom	Letak	Simetri	x	y	z	$U_i/U_e * 100$
Er-1	4c	$m2m$	0,0	0,8069(8)	0,25	2,60(5)
Er-2	4c	$m2m$	0,0	0,0627(7)	0,25	0,71(5)
Fe-1	8d	1	0,25	0,25	0,0	0,76(5)
Fe-2	8e	2	0,2461(8)	0,0	0,0	1,61(2)
Fe-3	8g	$.m$	0,2470(2)	0,1867(6)	0,25	0,85(1)
Fe-4	8g	$.m$	0,2537(2)	0,4377(6)	0,25	1,00(2)
Fe-5	16h	1	0,2455(2)	0,1266(2)	0,0020(4)	0,10(3)
Sn-1	4c	$m2m$	0,0	0,2301(2)	0,25	0,74(4)
Sn-2	4c	$m2m$	0,0	0,7275(9)	0,25	0,09(4)
Sn-3	4c	$m2m$	0,0	0,1480(2)	0,25	0,12(3)
Sn-4	4c	$m2m$	0,0	0,6474(2)	0,25	0,02(2)
Sn-5	4c	$m2m$	0,0	0,8949(2)	0,25	0,32(5)
Sn-6	4c	$m2m$	0,0	0,3947(2)	0,25	1,25(5)
Sn-7	4c	$m2m$	0,0	0,4789(2)	0,25	0,77(5)
Sn-8	4c	$m2m$	0,0	0,9801(2)	0,25	1,01(2)
Sn-9	8g	$.m$	0,3421(2)	0,8122(5)	0,25	0,11(2)
Sn-10	8g	$.m$	0,3326(21)	0,0606(7)	0,25	1,62(3)

subkisi Fe harus bersifat *anti-C*. Disamping itu, atom Fe pada posisi 8d memiliki arti penting karena grup titik untuk posisi ini adalah '1, sedangkan point group '1 bersifat *inadmissible*. Dengan demikian sub kisi Fe tidak mungkin memiliki grup ruang magnetik $C_p mcm$, $C_p m'c'm$, $C_p m'cm$ dan $C_p mc'm$ karena semua grup ruang magnetik tersebut mengandung '1. Akibatnya hanya tinggal 4 grup ruang magnetik yang mungkin, yaitu $C_p m'cm$, $C_p mc'm$, $C_p mcm$ dan $C_p m'c'm$. Mode-mode magnetik untuk masing – masing posisi Fe ditunjukkan pada Tabel 3. Oleh karena momen magnetik Fe bersifat kolinier, dari tabel tersebut dapat dilihat dengan jelas bahwa grup ruang magnetik yang paling mungkin adalah $C_p m'c'm$ dengan arah momen magnetik sejajar sumbu x atau sisi a kristal ortorombik tipe $ErFe_6Sn_6$, sesuai dengan hasil analisis difraksi neutron.

Tabel 2. Grup ruang magnetik keluarga $Cmcm$ (Prandl, 1978).

	4a	4b	4c	8d	8e	8f	8g	16h
$Cmcm$	$2/m_x$	$2/m_x$	$m, m, 2_y$	1	2_x	m_x	m_y	1
$Cm'cm$	$2/m'$	$2/m'$	$mm'2'$	1'	2	m'	m	1
$Cmc'm$	$2'/m$	$2'/m$	$mm2$	1'	2'	m	m	1
$Cmcm'$	$2'/m'$	$2'/m'$	$m'm'2'$	1'	2'	m'	m'	1
$Cm'c'm$	$2'/m'$	$2'/m'$	$mm'2'$	1'	2'	m'	m	1
$Cmc'm'$	$2'/m$	$2'/m$	$m'm'2'$	1'	2'	m	m'	1
$Cm'cm'$	$2'/m'$	$2'/m'$	$m'm'2'$	1'	2'	m'	m'	1
$C_p mcm$	$2/m$	$2/m$	$mm2$	1	2	m	m	1
$C_p m'cm$	$2'/m'$	$2'/m'$	$mm'2'$	1'	2'	m'	m	1
$C_p mc'm$	$2'/m$	$2'/m$	$mm2$	1'	2'	m	m	1
$C_p mcm'$	$2'/m'$	$2'/m'$	$m'm'2'$	1'	2'	m	m'	1
$C_p m'c'm$	$2'/m'$	$2'/m'$	$mm'2'$	1'	2'	m'	m	1
$C_p mc'm'$	$2'/m$	$2'/m$	$m'm'2'$	1'	2'	m	m'	1
$C_p m'cm'$	$2'/m'$	$2'/m'$	$m'm'2'$	1'	2'	m'	m'	1
$C_p m'c'm'$	$2'/m'$	$2'/m'$	$m'm'2'$	1'	2'	m'	m'	1

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada AUSAid yang telah memberikan beasiswa, Prof. J. M. Cadogan, School of Physics The University of New South Wales serta Dr. M. Hoffmann, Berlin Neutron Scattering Center BENSCH Hahn Meier Institute atas fasilitas yang diberikan kepada penulis.

DAFTAR ACUAN

- [1]. CHAFIK EL IDRISI B, VENTURINI G AND MALAMAN B, *Materials Resources Bulletin*. **26** (1991) 1331
- [2]. RAO X L AND COEY J M D, *Journal of Applied Physics* **81** (1997) 5181

Tabel 3. Mode magnetik untuk masing-masing posisi Fe pada keluarga grup ruang $Cmcm$ (Prandl, 1978)

Atom	$C_p m'cm$	$C_p mc'm$	$C_p mcm'$	$C_p m'c'm'$
xyz+Cp				
Fe 8(d)				
1/4, 1/4, 0	x y z	x y z	x y z	x y z
1/4, 1/4, 1/2	-x -y z	-x -y z	x y -z	x y -z
3/4, 1/4, 0	-x y z	x -y -z	x -y -z	-x y z
3/4, 1/4, 1/2	x y z	-x y -z	x -y z	-x y -z
Fe 8(e)				
x, 0, 0	x	y z	y z	x
-x, 0, 0	-x	-y -z	-y -z	-x
x, 0, 1/2	-x	-y z	y z	x
-x, 0, 1/2	x	y -z	-y z	-x
Fe 8(g)				
x, y, 1/4	z	z	x y	x y
-x, -y, 3/4	-z	-z	-x -y	-x -y
x, -y, 3/4	-z	z	-x y	x -y
-x, y, 1/4	z	-z	x -y	-x y

- [3]. SUHARYANA, PhD thesis, The University of New South Wales, (2000).
- [4]. CADOGAN, J M, SUHARYANA, RYAN D H, MOZE O and KOCKELMANN W, *Journal of Applied. Physisc* 87 (2000) 6046.
- [5]. CADOGAN, J M, SUHARYANA, RYAN D H, MOZE O and KOCKELMANN W, *IEEE Transactions on Magnetics* 37 (4), (2001)2606.
- [6]. CADOGAN J M, RYAN D H, MOZE O, SUHARYANA and HOFMANN H, *Journal of Condensed Matter* 15 (2003) 1757.
- [7]. LARSON A C and VON DREELE R B, *GSAS: General Structure Analysis System*, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545 (1994).
- [8]. OPECHOWSKI W and Guccione R, *Magnetism IIA*, editor G. T. RADO and H. SUHL, Academic Press, New York (1965)
- [9]. PRANDL W, *Neutron Diffraction*, editor H. DACHS, Berlin Springer, Berlin, (1978).