

SIFAT ELEKTRON ATOM Mn DI STRUKTUR PEROVSKITE PADA KRISTAL TUNGGAL $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ($x=0,40$)

Agung Imaduddin

Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI

Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 470, Tangerang 15314

E-mail : agungi@gmail.com

Masuk tanggal : 11-10-2012, revisi tanggal : 05-11-2012, diterima untuk diterbitkan tanggal : 19-11-2012

Intisari

SIFAT ELEKTRON ATOM Mn DI STRUKTUR PEROVSKITE PADA KRISTAL TUNGGAL $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ($x=0,40$). Bahan oksida mangan telah lama diketahui mempunyai sifat magnetoresistance yang besar. Perhatian dunia terutama tertuju pada sifat fisika dari elektron di struktur perovskite-nya. Pada $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ (LSMO 327, $n=2$) yang mempunyai lapisan Mn-O yang berdekatan 2 lapis, mempunyai sifat magnetoresistance yang terbesar (Colossal magnetoresistance, CMR) dibandingkan grup $n=1$, maupun $n=\infty$. Untuk menyelidiki sifat CMR ini, kami melakukan analisa sifat kelistrikan dan kemagnetannya dengan mengukur hambatan jenis, magnetisasi dan magnetoresistance-nya. Dari hasil analisa diketahui bahwa sifat magnetoresistance pada sampel terlihat paling besar pada suhu 121 K. Pada suhu di bawah 121 K, material ini memiliki sifat konduktor, dan di atas 121 K memiliki sifat isolator. Pada analisa magnetisasinya, material ini memiliki sifat paramagnetik di atas suhu 200 K, sifat anti feromagnetik pada suhu 121 K – 200 K, dan sifat feromagnetik bersama dengan antiferomagnetik pada suhu di bawah 121 K.

Kata kunci : Magnetoresistance, LSMO 327 $x=0,40$, $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$, Kristal tunggal, Sifat listrik dan magnet

Abstract

ELECTRON PROPERTIES OF Mn ATOM ON PEROVSKITE STRUCTURE OF $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ($x=0,40$) SINGLE CRYSTAL. Mn-oxide materials have long been known to have large magnetoresistance properties. The world's attention increasingly focused on the structure of perovskite especially on the Mn-oxide material, to study the physical properties of the elektron. $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ (LSMO 327, $n=2$) which has 2 layers of Mn-O adjacently having the largest magnetoresistance properties (Colossal magnetoresistance, CMR) than in groups of $n=1$, and $n=\infty$. To investigate the nature of CMR, we analyzed the electric and magnetic properties by measuring resistivity, magnetoresistance and magnetization. According to the results, the sampel is seen to have largest magnetoresistance properties at 121 K. At temperatures below 121 K, this material is seen to be conductor, and to be isolator above 121 K. According to magnetization analysis, this material is seen to be paramagnetic at temperatur above 200 K, anti-ferromagnetic at temperatur 121 K – 200 K, and the mixed of anti-ferromagnetic and ferromagnetic at temperatures below 121 K.

Keywords : Magnetoresistance, LSMO 327 $x=0,40$, $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$, Single crystal, Eelectric and magnetic properties

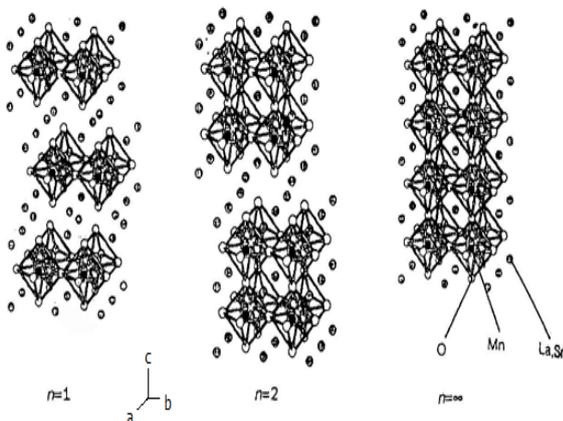
PENDAHULUAN

Bahan oksida mangan (Mn-oxide) telah lama diketahui mempunyai sifat magnetoresistance yang besar. Bahan Mn oxide mempunyai struktur dasar *perovskite*, dimana atom Mn terletak di tengah dikelilingi 6 atom oksigen dan kemudian pada tiap sudut struktur perovskite itu, terletak atom La dan Sr.

Sejak ditemukannya superkonduktor Cu-Oxide tahun 1986, penelitian tentang sifat fisika elektron pada struktur *perovskite* ini semakin banyak dilakukan. Bahan Mn oxide mempunyai rumus umum $(\text{La}, \text{Sr})_{1+n}\text{Mn}_n\text{O}_{3n+1}$ ($n=1, 2, \infty$), dimana n adalah jumlah *layer* Mn-O pada tiap molekulnya, bahan ini telah lama diketahui mempunyai sifat CMR^[1-3]. $(\text{La}, \text{Sr})_3\text{Mn}_2\text{O}_7$

atau disebut LSMO 327, merupakan fasa yang memiliki sifat magnetoresistance terbesar dibandingkan fasa-fasa lainnya. Untuk mempelajari sifat elektron pada struktur provskite ini, maka pada penelitian ini akan dilaporkan analisa sifat listrik dan magnet pada bahan kristal tunggal $La_{2-2x}Sr_{1+2x}Mn_2O_7$ ($x=0.40$). Metoda pembuatan kristal tunggal dan karakterisasinya telah disampaikan pada makalah sebelumnya^[4-7].

Struktur kristal $(La, Sr)_{1+n}Mn_nO_{3n+1}$ ($n = 1, 2, \infty$) bisa dilihat seperti Gambar 1 di bawah ini^[8]. Sampel yang dipakai pada pengukuran ini adalah bahan dengan struktur kristal seperti gambar di tengah (LSMO 327).

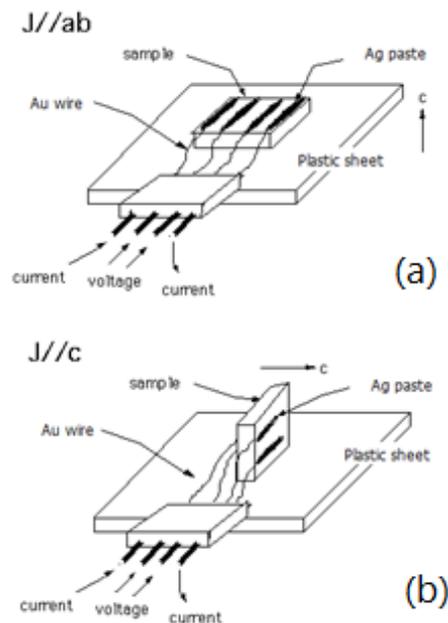


Gambar 1. Struktur kristal $(La, Sr)_{1+n}Mn_nO_{3n+1}$ ($n = 1, 2, \infty$)

PROSEDUR PERCOBAAN

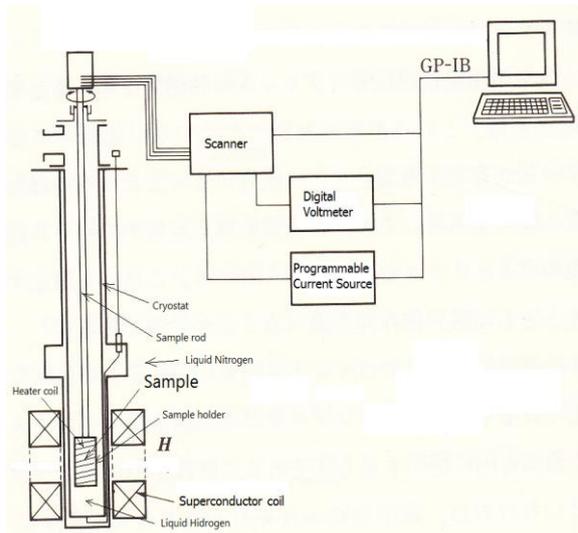
Sampel yang digunakan adalah LSMO 327 ($x=0,40$) dengan nomor sampel #60 dan #44, karakterisasi dari kedua sampel telah menunjukkan bahan kristal tunggal. Kedua sampel memiliki karakteristik yang sama. Pengukuran sifat listrik (hambatan jenis dan magnetoresistance) pada sampel (dimensi sampel sekitar $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$) dilakukan dengan memakai metoda *four point probe*. Gambaran pengukuran dengan metoda *four point probe* dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini. Pada Gambar 2a, pemasangan sampel dilakukan agar arus listrik mengalir sejajar dengan

bidang ab pada sampel. Pada Gambar 2 (b), pemasangan sampel dilakukan agar arus listrik mengalir searah dengan sumbu c pada sampel^[9].



Gambar 2. Pemasangan sampel pada sampel holder dengan memakai pasta Ag dan Kawat Au (metoda *four point probe*) (a) Arus listrik sejajar bidang ab, (b) Arus listrik searah sumbu c

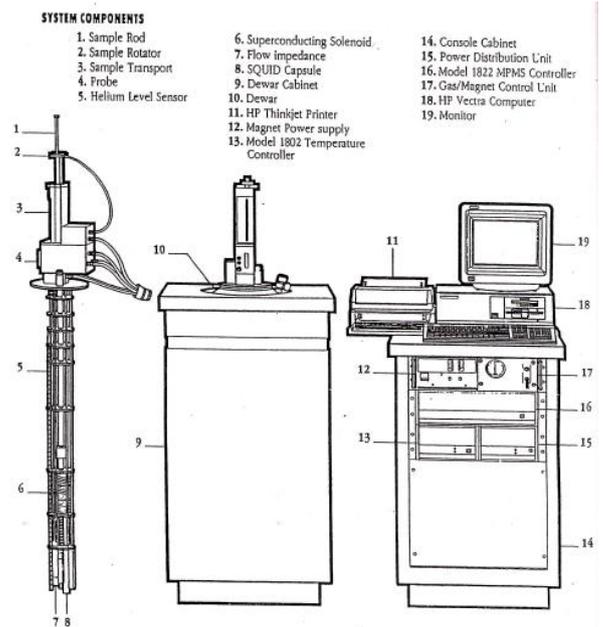
Pada Gambar 2 tersebut, sampel diletakkan dan ditempel di atas *plastic sheet* (ukuran sekitar $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$). *Plastic sheet* memiliki terminal kecil untuk dihubungkan dengan kabel yang terhubung dengan *digital voltmeter* dan *current source*. Antara sampel dan digital voltmeter/current source terdapat scanner yang merupakan *programmable switcher* untuk menginput data dari sampel dan sensor temperatur ke komputer. Terminal sampel dan sampel dihubungkan dengan kawat Au. Kawat Au direkatkan dengan sampel memakai pasta Ag.



Gambar 3. Skema pengukuran hambatan jenis pada suhu (4 – 300 K) dan medan magnet (0 – 80 kOe)

Gambar 3 memperlihatkan skema pengukuran hambatan jenis dan magnetoresistance bahan. Sampel diletakkan dalam sampel holder yang terhubung dengan sampel rod. Sampel rod dan sampel holder dimasukkan dalam wadah cryostat yang kedap udara dan dapat diisi hidrogen cair (titik didih 4K). Cryostat dimasukkan dalam wadah yang berisi nitrogen cair (titik didih 79K). Sampel rod dan sampel holder dimasukkan hingga berada dalam koil superkonduktor. Koil superkonduktor dapat menghasilkan medan magnet 0 – 80 kOe. Dengan pemakaian hidrogen cair dan nitrogen cair, suhu dapat diatur 4K hingga 300K (suhu ruangan). Medan magnet dikontrol dengan mengatur tegangan listrik pada superconducting solenoid. Sampel holder dililit heater coil untuk mengatur temperatur sampel.

Sedangkan pada pengukuran sifat magnet-nya (magnetisasi) dilakukan dengan memakai alat SQUID (superconducting quantum interference device) buatan QUANTUM DESIGN tipe MPMS-5. SQUID ini merupakan alat untuk mengukur magnetisasi suatu bahan dengan ketelitian tinggi pada suhu (4 – 300 K) dan medan magnet (0 – 80 kOe) tertentu^[9].



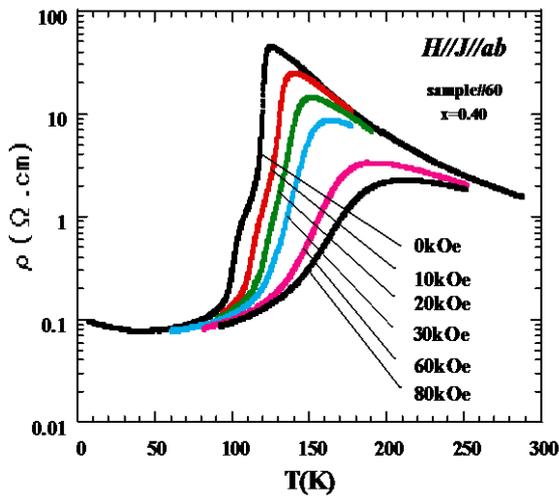
Gambar 4. Alat SQUID (QUANTUM DESIGN tipe MPMS-5) pada pengukuran magnetisasi

Alat SQUID ini merupakan alat untuk mengukur magnetisasi sampel. Pada Gambar 4 diperlihatkan komponen 1 s/d 6 berada didalam dewar (komponen 10). Sampel Rod (komponen 1) merupakan batang logam yang panjang dari permukaan atas hingga ke bagian sekitar superconducting solenoid (komponen 6). Sampel diletakkan di ujung bawah Sampel Rod, di bagian di dalam superconducting solenoid (komponen 6). Saat pengukuran, sampel naik turun dengan memakai Sampel transport (komponen 3).

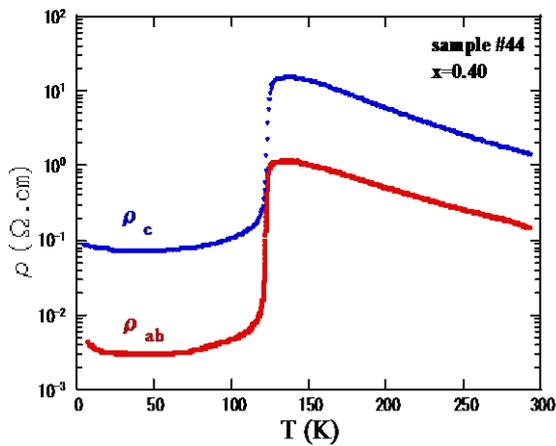
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran hambatan jenis sampel dapat dilihat pada Gambar 5 (sampel #60). Arus listrik dan medan magnet sejajar bidang ab. Pada Gambar 5 terlihat bahwa pada medan magnet 0 kOe, hambatan jenis naik mulai suhu kamar hingga suhu sekitar 126 K, kemudian turun drastis, menandakan pada suhu di atas 126 K sifat bahan ini adalah isolator, pada suhu di bawah 126 K, terjadi penurunan yang tajam yang menandakan adanya penurunan hambatan jenis hingga 1/800 kali lipat

yang menunjukkan sifat konduktor. Penurunan hambatan jenis listrik ini jauh lebih tinggi dari LSMO 327 $x=0,35$, dimana penurunan hambatan jenisnya sekitar 1/200 kali lipat^[10]. Dan dengan bertambahnya medan magnet, titik suhu kritis (T_C) material ini bergeser ke suhu tinggi.



Gambar 5. Nilai hambatan jenis terhadap suhu, dengan arus listrik dan medan magnet sejajar bidang ab (sampel #60)

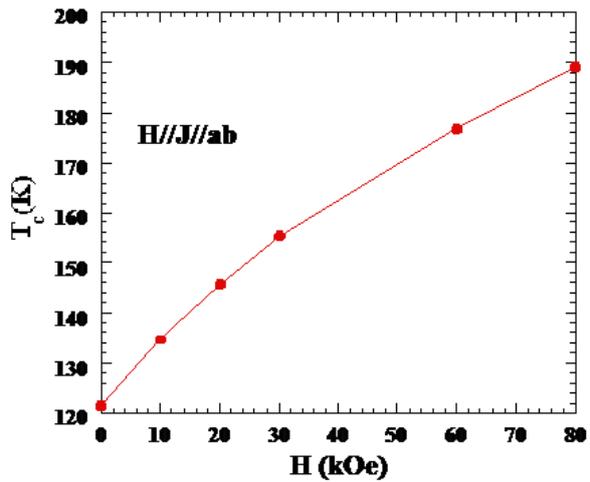


Gambar 6. Nilai hambatan jenis terhadap suhu, dengan arus listrik sejajar sumbu c dibandingkan dengan arus listrik sejajar bidang ab (sampel #44)

Gambar 6 memperlihatkan nilai hambatan jenis terhadap suhu pada sampel #44 (LSMO 327 $x=0,40$). Arus listrik dialirkan sejajar sumbu c (kurva atas) dan sejajar bidang ab (kurva bawah).

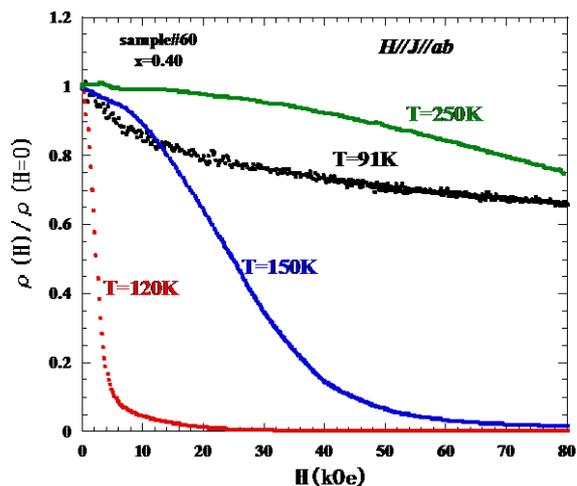
Hambatan jenis pada bidang ab lebih rendah sekitar 1/20 kali dibanding pada sumbu c, yang memperlihatkan bahwa arus listrik mengalir pada bidang ab.

Bila kemudian kita coba melihat pergeseran nilai T_C -nya, maka Gambar 7 memperlihatkan hasil plotting pergeseran nilai T_C akibat adanya medan magnet dari luar. Pada Gambar 7 ini terlihat bahwa nilai T_C bergeser menuju suhu yang lebih tinggi akibat adanya medan magnet dari luar. Pada $H=0$, nilai T_C sekitar 126K, dan semakin besar medan magnet luarnya, maka T_C bergeser ke suhu yang lebih tinggi



Gambar 7. Plotting pergeseran nilai T_C akibat medan magnet. (Medan magnet dan arus listrik sejajar bidang ab)

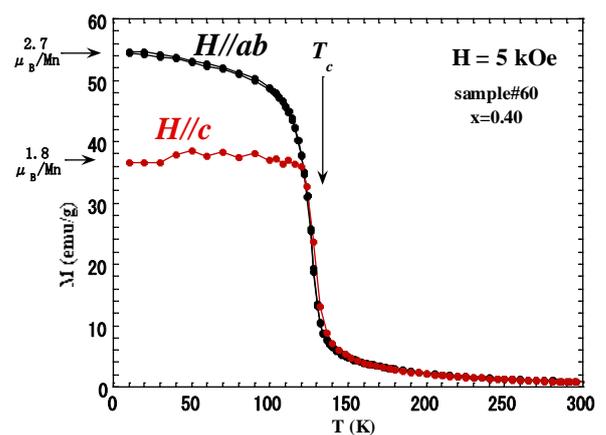
Hasil pengukuran magnetoresistance sampel dapat dilihat pada Gambar 8, dengan arus listrik dan medan magnet sejajar bidang ab. Pada gambar ini terlihat bahwa pada suhu sekitar 120 K, terlihat sifat magnetoresistance yang terbesar dibandingkan suhu di atas dan di bawah 120 K.



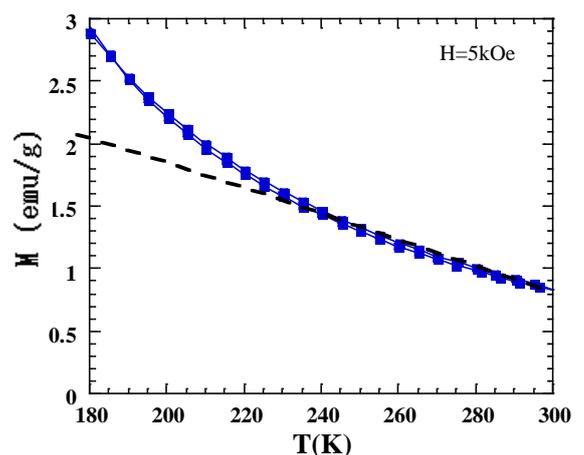
Gambar 8. Sifat magnetoresistane pada sampel dengan medan magnet dan arus listrik sejajar bidang ab

Pada pengukuran sifat magnetoresistance ini terlihat magnetoresistance akan terlihat besar pada suhu 120K. Hal ini memperlihatkan bahwa sifat magnetoresistance terbesar terjadi pada suhu sekitar T_C nya.

Sedangkan Gambar 9a memperlihatkan magnetisasi sampel terhadap perubahan suhu pada medan magnet 5kOe. Dari hasil pengukuran, terlihat pada suhu di atas 121 K, sampel memiliki nilai magnetisasi yang rendah yang menunjukkan bahwa momen magnet sampelnya rendah, sedangkan di bawah suhu 121 K, nilai magnetisasinya naik secara drastis yang menunjukkan momen magnetnya tinggi. Kedua pengukuran dilakukan dengan menurunkan suhu pada saat medan magnet sama dengan nol atau Zero-Field Cooling (ZFC). Pada kedua hasil pengukuran juga terlihat bahwa medan magnet yang sejajar dengan bidang ab memperlihatkan nilai magnetisasi (di bawah suhu 121 K) yang lebih tinggi dari medan magnet yang sejajar sumbu c. Pada Gambar 9b menunjukkan interval suhu 180 – 300K, berdasarkan plotnya terlihat pada suhu di atas 220K sampel menunjukkan sifat paramagnetik.



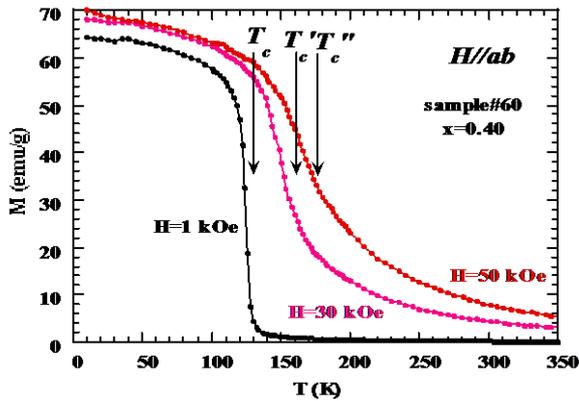
(a) interval suhu 0 – 300K



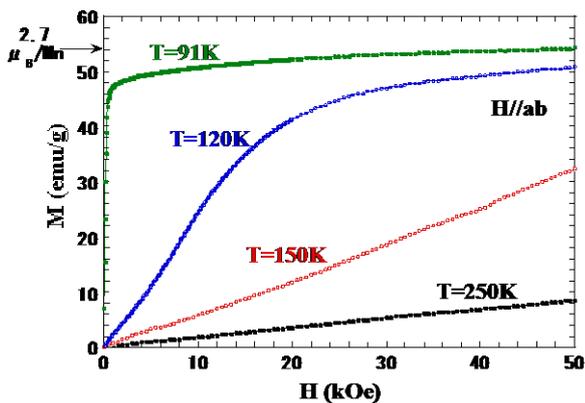
(b) interval suhu 180 – 300K ($H//c$)

Gambar 9. Memperlihatkan magnetisasi LSMO 327 $x=0,4$ terhadap suhu (pada medan magnet $H = 5$ kOe)

Gambar 10 memperlihatkan magnetisasi terhadap suhu pada LSMO 327 $x=0,4$ dengan variasi besar medan magnet. Seperti pada hasil hambatan jenisnya, pada pengukuran ini juga terlihat adanya pergeseran nilai T_C menuju suhu yang lebih tinggi saat medan magnet semakin besar.

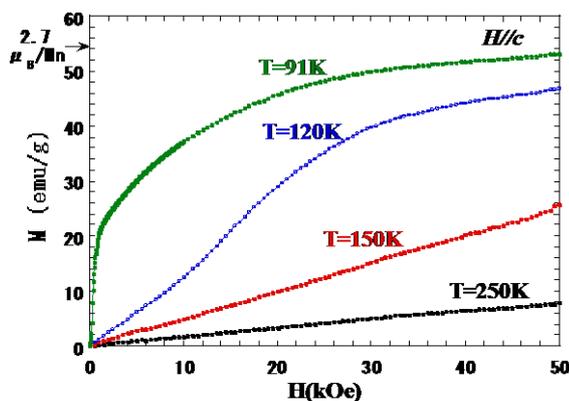


Gambar 10. Magnetisasi sampel terhadap perubahan suhu pada variasi medan magnet



Gambar 11. Magnetisasi terhadap medan magnet

Gambar 11 memperlihatkan magnetisasi material saat medan magnet luar sejajar bidang ab. Dari grafik terlihat pada suhu 91K, bahan ini menunjukkan sifat feromagnetik.

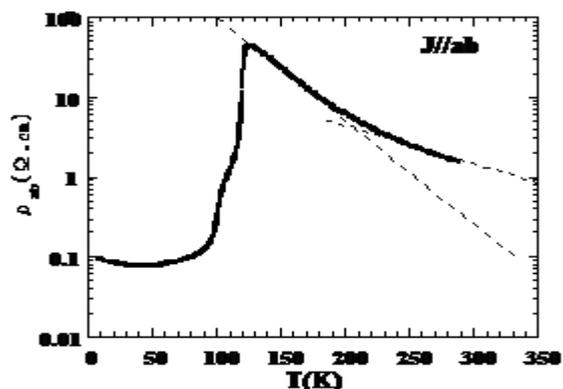


Gambar 12. Magnetisasi sampel terhadap perubahan medan magnet pada suhu tetap (medan magnet sejajar bidang ab)

Gambar 12 memperlihatkan magnetisasi sampel terhadap perubahan medan magnet pada suhu tetap (dimana medan magnet sejajar sumbu c). Hasil pengukuran memperlihatkan grafik yang tidak jauh berbeda dengan Gambar 11, hanya pada suhu di bawah 120K, material ini tidak menunjukkan sifat feromagnetik sempurna. Pada suhu 150K dan 250K, material ini menunjukkan sifat seperti paramagnetik. Tapi bila dibandingkan dengan Gambar 11, pada suhu 91K dan di bawah medan magnet kecil dari 1 kOe, nilai magnetisasi saat medan magnet sejajar bidang ab dan sumbu c perbedaannya terlihat tidak terlalu besar, tapi di atas 1 kOe perbedaannya terlihat cukup besar (sekitar 52%). Pada magnetisasi suhu 91K, terlihat adanya step pada sekitar H=1 kOe, hal ini menunjukkan spin magnetnya pada awalnya adalah *canted* antiferomagnetik yang masih bersifat *canted* hingga H=1 kOe, dan kemudian di atas 1 kOe, arah spinnya sedikit demi sedikit mengikuti arah medan magnet luar. Hal seperti ini tidak terlihat pada sampel LSMO327 $x=0,35$ ^[10]. Selain itu, magnetisasi pada bidang ab memperlihatkan bahwa sifat feromagnetik material ini terjadi pada bidang ab.

ANALISA

Dari Gambar 5, bila kemudian diplot garis lurus pada daerah di atas suhu T_C , maka akan terlihat seperti Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Hambatan jenis listrik terhadap suhu

Gambar 13 memperlihatkan hambatan jenis listrik terhadap suhu ($H = 0$). Berdasarkan plot garis pada suhu di atas 100K, terlihat adanya perubahan kemiringan pada suhu sekitar 200K.

Sedangkan dari hasil magnetisasinya bila dilihat dari persamaan Currie-Weiss pada magnet feromagnetik, maka didapat *magnetic susceptibility* (emu/g), χ adalah:

$$\chi = \frac{g\mu_B J \lambda M_S}{k_B T_B} \quad (1)$$

Dimana :

M_S = spontaneous magnetisasi (emu/g)

g = berat

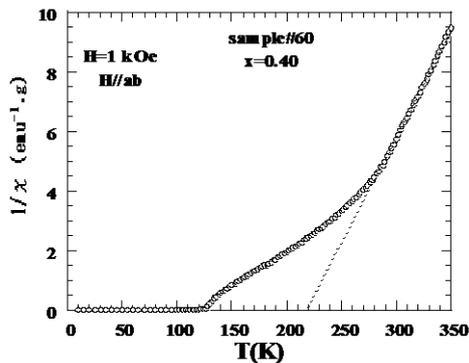
μ_B = Bohr magneton

J = Coefficient of exchange interaction

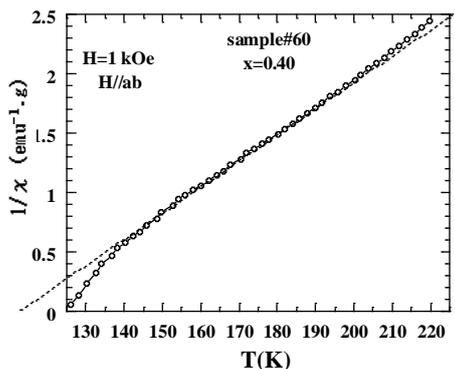
T_B = suhu (K)

λ = koefisien molecular field

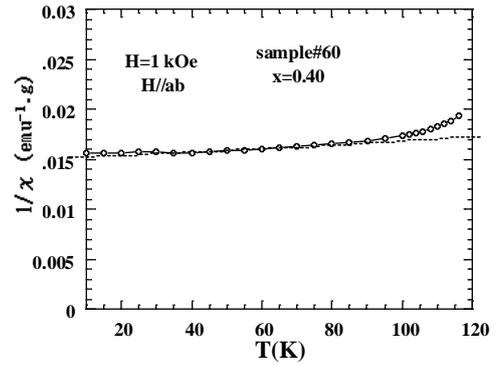
Dari perhitungan magnet feromagnetik ini, $1/\chi$ berbanding lurus dengan suhu T_B (T_B dinyatakan dengan suhu T dikurangi T_C).



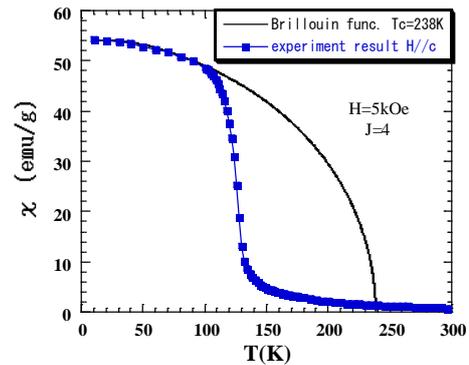
(a) Interval suhu 0-300 K



(b) Interval suhu 125-230K



(c) Interval suhu 10-120K



(d) Interval suhu 0-300K (Plot Brillouin Function)

Gambar 14. Plot magnetic susceptibility χ terhadap suhu

Dari perhitungan pada plot tersebut, menunjukkan bahwa material ini memiliki sifat feromagnetik dengan T_C sekitar suhu 200K, tapi berdasarkan pengukuran magnetisasinya T_C bergeser menjadi 121K.

Pada suhu di bawah T_C terlihat sifat ferromagnetis. Berdasarkan nilai momen magnet pada atom Mn (persamaan (1)), pada $H//ab$ nilai magnetisasinya adalah $2,7 \mu_B$ per atom Mn (μ_B = rata-rata momen magnet yang searah medan magnet luar). Sedangkan untuk $H//c$ nilainya adalah $1,8 \mu_B$ per atom Mn. Hal ini memperlihatkan bahwa momen magnet pada bidang ab lebih besar sekitar 1,5 kali dari momen magnet searah bidang c .

Spontaneous magnetization (M_S , magnetisasi yang terjadi internal, tanpa pengaruh medan magnet luar) dinyatakan dengan :

$$M_S = N g \mu_B J B_J(x) \quad (2)$$

$$B_J(x) \cong [(J+1)/3J] x \quad (3)$$

$$x = \mu_0 M(\lambda M + H)/k_B T \quad (4)$$

Dimana :

N = jumlah atom per berat

$B_J(x)$ = Brillouin Function

Sedangkan Currie constant C , dinyatakan dengan ;

$$C = Ng^2 \mu_B^2 J(J+1)/3k_B \quad (5)$$

Maka suhu kritis suatu bahan feromagnetik adalah :

$$T_C = \lambda C \quad (6)$$

Pada Gambar 14a menunjukkan plot *magnetic susceptibility* χ terhadap suhu. Sedangkan pada Gambar 14b menunjukkan plot pada interval suhu 125K – 200K. Dari plot tersebut terlihat garis plot menyentuh nilai positif pada sumbu y, yang menunjukkan sifat Anti Feromagnetik. Pada Gambar 14c menunjukkan plot pada interval suhu 10K – 120K, yang menunjukkan garis plot menyentuh nilai positif pada sumbu y yang menunjukkan sifat Anti Feromagnetik. Pada Gambar 14d menunjukkan plot Brillouin Function grafik, yang menunjukkan plot yang tepat pada interval 10-120K. Dari Gambar 14c dan 14d disimpulkan bahwa material ini pada interval suhu 10 – 120K, memiliki sifat Anti Feromagnetik dan sifat Feromagnetik.

Tabel 1 memperlihatkan rangkuman sifat listrik dan magnet pada bahan LSMO 327 $x=0,4$ ini.

Tabel 1. Rangkuman sifat listrik dan magnet LSMO 327 ($x=0,40$)

	$T < 121K$	$121K < T < 200K$	$T > 200K$
Sifat listrik	Konduktor	Isolator	Isolator
Sifat magnetik	Feromagnetik dan Anti Feromagnetik	Anti Feromagnetik	Paramagnetik

KESIMPULAN

Pada analisa sifat listrik dan magnet pada kristal tunggal LSMO327 ($x=0.40$), diketahui bahwa fasa ini memiliki suhu kritis $T=121$ K pada sifat listrik dan magnetnya. Pada pengukuran sifat magnetoresistancenya, terlihat fasa ini memiliki magnetoresistance terbesar pada suhu 120 K yaitu 95% (saat $H=10kOe$, arah arus listrik searah bidang ab). Dan dengan adanya medan magnet dari luar menyebabkan nilai T_C bergeser menuju suhu yang lebih tinggi. Sedangkan berdasarkan hasil pengukuran magnetisasinya, memperlihatkan sifat paramagnetis di atas suhu 200K dan sifat anti feromagnetis di bawah suhu 200K, kemudian pada suhu di bawah 121K memperlihatkan sifat feromagnetik yang masih memiliki sifat anti feromagnetik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Prof.Yoshizawa dan seluruh anggota Yoshizawa lab. di Universitas Iwate, Jepang yang telah banyak membantu riset saya pada program doctoral ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Kimura, Y. Tomioka, H. Kuwahara, A. Asamitsu, M. Tamura, Y. Tokura. 1996. „Interplane Tunneling Magnetoresistance in a Layered Manganite Crystal”. *Science*, 274, page : 1698.
- [2] Y. Tomioka, A. Asamitsu, H. Kuwahara, Y. Moritomo, Y. Tokura. 1996. „Magnetic-field-induced metal-insulator phenomena in $Pr_{1-x}Cr_xMnO_3$ with controlled charge-ordering instability”. *Physical Review B*, vol 53, 4, page : R1689.
- [3] A. Urushibara, Y. Moritomo, T. Arima, A. Asamitsu, G. Kido, Y. Tokura. 1995. „Insulator-metal transition and giant

- magnetoresistance in $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ". *Physical Review B*, vol 51, 20, page : 14103.
- [4] A.Imaduddin, H. Kanazawa, N. Yoshimoto, M. Yoshizawa. 2000. „Crystal growth and physical properties of $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ". *Physica B*, 281&282, page : 502-504.
- [5] Agung Imaduddin. 2011. „Metoda FZ Pada Pembuatan Kristal Tunggal $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ", *Metalurgi*, Vol. 26 No. 1, April, hal 1-6.
- [6] Agung Imaduddin. 2011. „Pembuatan Batang Pelet $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ Sebagai Bahan Penumbuhan Kristal Tunggal". *Metalurgi*. : Vol. 26 No. 2, hal 53-58.
- [7] Agung Imaduddin. 2011. „Metoda Foto Back-Reflection Laue Untuk Menentukan Arah Sumbu Kristal Tunggal $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ($x=0,4$)". *Metalurgi*, Vol. 26 No. 3, hal. 117-121.
- [8] J.A.M. van Roosmalen, P. van Vlaanderen, E.H.P. Cordfunke. 1995. „Phase in the perovskite-Type LaMnO_3 + Solid Solution and the La_2O_3 - Mn_2O_3 Phase Diagram". *Journal of Solid State Chemistry*. :114, page : 516-523
- [9] Agung Imaduddin. 2001. „Growth and physical properties of $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ single crystals". Iwate University.
- [10] Agung Imaduddin. 2012. „Pengaruh Konsentrasi $x=0,35$ Terhadap Sifat Listrik dan Magnetik Pada Kristal Tunggal $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ". *Metalurgi*. : Vol. 27 No. 2, hal.59-66

RIWAYAT PENULIS

Agung Imaduddin lahir di Bandung, 29 September 1971. Menamatkan pendidikan *Bachelor* di bidang *Metallurgy* di Iwate University, Iwate-Japan pada tahun 1995. Menamatkan program Master dan Doktor di bidang *Material Science and Engineering* di Iwate University, Iwate-Japan pada tahun 1997 dan 2001. Saat ini aktif bekerja pada Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI, Puspiptek Serpong.

