

**STUDI PENGARUH MEDAN MAGNET PADA PANAS JENIS
TEMPERATUR RENDAH UNTUK $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$
($x = 0,05; 0,15; 0,2$)**



TESIS

**Nama : TRI INDRASTUTI
NPM : 6305220432**

**PROGRAM PASCA SARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH MEDAN MAGNET PADA PANAS JENIS
TEMPERATUR RENDAH UNTUK $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$
($x = 0,05; 0,15; 0,2$)**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Sains

**Nama : TRI INDRASTUTI
NPM : 6305220432**

**Kekhususan Murni dan Terapan
Program Studi Magister Fisika
Fakultas Matematika Magister Fisika
Universitas Indonesia
Depok, 2008**

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Tri Indrastuti
NPM : 6305220432
Program Studi : Pasca Sarjana Fisika
Judul Tesis : Studi Pengaruh Medan Magnet pada Panas Jenis
Temperatur Rendah untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$
($x = 0,05; 0,15; 0,2$)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Pasca Sarjana Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Ketua : Dr. Dedi Suyanto _____

Pembimbing : Dr. Budhy Kurniawan _____

Penguji I : Dr. M. Hikam _____

Penguji II : Dr. Bambang Soegijono _____

Penguji III : Dr. Imam Fachruddin _____

Depok, 23 Juni 2008

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur yang sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan kurnia serta rahmatNya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **Studi Pengaruh Medan Magnet pada Panas Jenis Temperatur Rendah untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) .”** Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk meraih gelar Magister Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Penulisan Tesis ini membahas mengenai karakteristik panas jenis dari bahan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) pada temperatur rendah. Hasil dari penelitian ini sangatlah bermanfaat bagi penulis karena banyak pengalaman yang diperoleh dari pengolahan data dengan menggunakan beberapa persamaan mengenai panas jenis. Merupakan suatu kebanggaan tersendiri bagi penulis yang telah dapat bekerja sama dengan teman-teman dalam group Manganat, karena penulis bisa menyelesaikan pembuatan laporan tesis meskipun banyak kendala dan hambatan yang harus dihadapi. Tapi semua dapat dilampaui karena adanya semangat untuk meraih keberhasilan dalam mencapai tujuan.

Penulisan tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak baik material maupun spiritual. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Yohanes Edi Gunanto M.Si, yang telah membantu dalam pembuatan sampel sampai pengukuran sampel di Jepang tanpa bantuan Bapak penulis tidak dapat menyelesaikan laporan.
2. Anak-anakku (Tyas dan Sandra), Suamiku (Satrio), Mertua (Bpk & Ibu Sumarjo yang telah memberikan ijin untuk melanjutkan sekolah kembali), Orang Tua (Bpk & Ibu Diyono), Kakak-kakak & Adik-adikku, dan Keponakkan, yang penuh pengertian dan kesabaran untuk selalu memberi dukungan dan membantu dengan tulus dalam menyelesaikan kuliah dan penyusunan ini.
3. Bapak Dr. Budhy Kurniawan, selaku pembimbing yang telah sabar memberi bimbingan, masukan dan semangat.

4. Bapak Dr. Muhammad Hikam, selaku penguji I yang telah memberikan masukan dan koreksi mengenai judul.
5. Bapak Dr. Bambang Soegiyono, selaku penguji II yang telah memberikan masukan.
6. Bapak Dr. Imam Fachruddin, selaku penguji III yang telah memberikan masukan dan berdiskusi.
7. Bapak Dr. Dedi Suyanto, selaku ketua sidang dan Departemen Fisika yang telah menyediakan waktu untuk menyelesaikan sidang serta fasilitas.
8. Bapak Suparman, selaku administasi yang telah membantu penulis membereskan administrasi.
9. Sahabat-sahabatku team Manganat angkatan 2005 yang telah memberi semangat dan dorongan. Terutama Ibu Kori yang di akhir-akhir ini kita selalu berdua untuk menyelesaikan penyusunan dan penulisan tesis.

Penulis tidak dapat membalas bantuan yang Bapak/Ibu berikan. Semoga ALLAH BAPA di Surga memberikan kurnia, berkat, rahmat serta rejekiNya, kepada Bapak/Ibu sekalian. Amin

Penulis menyadari bahwa tesis ini jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan kontribusi terhadap riset magnetik selanjutnya.

Depok, 23 Juni 2008

Penulis

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tri Indrastuti
NPM : 6305220432
Program Studi : Pasca Sarjana Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Studi Pengaruh Medan Magnet pada Panas Jenis Temperatur Rendah untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$)

beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 23 Juni 2008
Yang menyatakan

(Tri Indrastuti)

"Mintalah maka akan diberikan kepadamu;
Carilah maka kamu akan mendapat;
Ketuklah maka pintu akan dibukakan bagimu".



Dipersembahkan buat :

Suamiku Tercinta

–Richardus Satrio Mubyarto

Anak-anakku Tersayang

–Stephanus Indrasto Tyas Murjanto

–Maria Regina Indraswari Sandra Kumala

Bapak & Ibu

Bapak & Ibu Mertua

Kakak-kakak dan Adik-adik

ABSTRAK

Nama : Tri Indrastuti
Program Studi : Pasca Sarjana Fisika
Judul Tesis : Studi Pengaruh Medan Magnet pada Panas Jenis
Temperatur Rendah untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$
($x = 0,05; 0,15; 0,2$)

Analisa panas jenis pada temperature rendah untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) dilakukan dengan menggunakan PPMS (Physical Properties Measurement System) SQUID Quantum Design di Tanaka Lab, Department of Physics, Tokyo Institute of Technology Jepang. Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$), merupakan campuran dari bahan dasar La_2O_3 , CaCO_3 , MnO_2 dan CuO dalam bentuk serbuk dibuat sesuai dengan perhitungan reaksi kimia. Cara membuat sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) dengan penggerusan secara *ball mill*. Setelah di *ball mill* diuji dengan XRD (X-Ray Difraktometer) untuk mengetahui struktur kristalnya. Hasil dari pengujian XRD masing-masing sampel memiliki struktur kristal orthorombik dan space group Pnma. Panas jenis pada sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) menunjukkan suatu anomali pada temperatur 144 K ketika medan magnetik 0 dan 9 T. Untuk menganalisis panas jenis digunakan suhu kisaran 3 K – 31 K. Suhu Debye dari sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$ sebesar 364,8890 K sedangkan sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,15$ dan $0,20$) sebesar 459,7314 K. Energi fermi dari sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) masing-masing sebesar $3,5256 \times 10^{24}$ /eV.mol, $1,1267 \times 10^{25}$ /eV.mol, dan $1,7117 \times 10^{25}$ /eV.mol tanpa medan magnetik sedangkan yang dipengaruhi medan magnetik 9 T sebesar $1,1216 \times 10^{25}$ /eV.mol dan $1,5457 \times 10^{25}$ /eV.mol. Dengan nilai x semakin besar maka energi ferminya juga semakin besar. Dari hasil pencocokan persamaan panas jenis diperoleh bahwa kontribusi lattice sangat mempengaruhi. Di bawah 51 K, diperoleh data panas jenis untuk sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) dapat diterapkan hukum exponential decay. Hasil dari exponential diperoleh energi gap sebesar 5,178 meV.

Kata kunci :

Panas jenis, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$), SQUID

ABSTRACT

Name : Tri Indrastuti
Study Program : Pasca Sarjana Fisika
Title : Magnetic field Influence Study at Specific Heat
Temperature Low for $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$)

Specific heat analysis at low temperature for $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) has been done by using PPMS (Physical Properties Measurement System) SQUID QUANTUM DESIGN in Tanaka Lab, Department of Physics, Tokyo Institute of Technology Jepang. Sample $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$), be mixture from base material La_2O_3 , CaCO_3 , MnO_2 and CuO in the form of powder is made as according to calculation of chemical reaction. The sample $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) is mode by Ball Mill. After that, the sample is tested with XRD (X-Ray Diffractometer) to know the crystal structure. Result from assaying of XRD show that each sample has crystal structure of orthorhombic and space group of Pnma. Sample $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) shows an anomaly at 144 K when magnetic field 0 and 9 T are induced. We analyze specific heat at temperature range of 3 K - 31 K. Debye temperature of sample $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$ is 364,8890 K of sample $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,15$ and $0,20$) is 459,7314 K. Fermi dissociation energy of diatomic of sample $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) are $3,5256 \times 10^{24}$ /eV.mol, $1,1267 \times 10^{25}$ /eV.mol, and $1,7117 \times 10^{25}$ /eV.mol without magnetic field while influenced by magnetic field 9 T are $1,1216 \times 10^{25}$ /eV.mol and $1,5457 \times 10^{25}$ /eV.mol. With greater x value hence the Fermi dissociation energy of diatomic is also greater. From specific heat theoretical analysis it is obtained that contribution lattice is hardly dominated. Below 51 K, specific heat of $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) show an exponential decay. Resulting from dissociation energy of diatomic 5,178 meV.

Keyword :

Specific heat, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$), SQUID

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
PERSEMBAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Metodologi Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
2. DASAR TEORI.....	5
2.1. Senyawa – senyawa Induk	5
2.2. Specific Heat	6
2.3. Suhu Debye	7
2.4. Rapat Keadaan	8
3. METODOLOGI.....	9
3.1. Bahan dan Tempat Penelitian	9
3.2. Peralatan	9
3.3. Preparasi Sampel	10
3.4. Proses Pemanasan Sampel	12
3.5. Dipraktometer X – Ray	13
3.6. SQUID PPMS XL Magnetometer	14
3.7. Alur Penelitian	17
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1. Hasil XRD	18
4.2. Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$	21
4.3. Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$	24
4.4. Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$	28
4.5. Gabungan dari Nilai x	31
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
5.1. Kesimpulan	42
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur-struktur Orbital pada $x = 0$ sebagai Fungsi dari Interaksi Interaksi Antiferromagnetik J_s antara Spin-spin t_{2g} . Sketsa-sketsa Bawah Menggambarkan Bagaimana $x^2 - z^2$ dan $y^2 - z^2$ Dihubungkan ke Representasi-representasi Umum dari Orbital d . Dari Maezono et al., 1998b.....	2
Gambar 2.2. Spesifik Heat dari Charge-Ordered $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{MnO}_3$ Dengan dan Tanpa Medan Magnetic	6
Gambar 2.3. Kurva dari C vs T untuk $\text{LaMnO}_{3+\delta}$	7
Gambar 3.1. Ball Mill	11
Gambar 3.2. Vial	11
Gambar 3.3. Alat PPMS SQUID	11
Gambar 3.4. Alat MPMS SQUID	12
Gambar 3.5. Tabung Helium Cair.....	12
Gambar 3.6. Kompaksi	13
Gambar 3.7. Furnace	13
Gambar 3.8. Diagram Blok dari Pengukuran Susceptibilitas Magnet	15
Gambar 3.9. Letak dari Sampel Dalam Konfigurasi SQUID	16
Gambar 4.1 Grafik Hasil XRD dari Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; \text{ dan } 0,20$)	20
Gambar 4.2. (a). Kurva C_p Terhadap T Pada Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$ Tanpa Medan Magnet ($H = 0 \text{ T}$). (b). Grafik Perkiraan Temperatur Neel (T_N). (c). Grafik C_p Terhadap T untuk Temperatur Rendah	22
Gambar 4.3. C_p/T Terhadap T^2 untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$	23
Gambar 4.4.(a). Grafik C_p Terhadap T Pada Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,015}\text{O}_3$ Tanpa Medan Magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan Medan Magnet 9 T. (b). Grafik Perkiraan Temperatur Neel (T_N). (c). Grafik C_p Terhadap T Untuk Temperatur Rendah.....	25
Gambar 4.5. C_p/T Terhadap T^2 Untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$	27
Gambar 4.6. (a). Kurva C_p Terhadap T Pada Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3$ Tanpa Medan Magnet ($H = 0 \text{ T}$).	

(b). Grafik Perkiraan Temperatur Neel (T_N).	
(c). Grafik C_p Terhadap T Untuk Temperatur Rendah.....	29
Gambar 4.7. C_p/T Terhadap T^2 Untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3$	30
Gambar 4.8. (a). Grafik C_p Terhadap T Pada Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ Tanpa Medan Magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan Medan Magnet 9 T.	
(b). Grafik Perkiraan Temperatur Neel (T_N).	
(c). Grafik C_p Terhadap T Untuk Temperatur Rendah.....	33
Gambar 4.9. Grafik C_p/T Terhadap T^2 Untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ Tanpa Medan Magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan Medan Magnet 9 T.....	34
Gambar 4.10. (a) dan (b) Kurva pencocokkan $C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2}$	38
Gambar 4.11. Data untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ pada temperatur di bawah 11 K..	39
Gambar 4.12. Penghitungan Kembali Data Panas Jenis Pada Interval Temperatur Rendah (Dibawah 51 K) Untuk Kristal-kristal $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Bahan-bahan Dasar	9
Tabel 3.2 : Massa Bahan Dasar	10
Tabel 4.1 : Hasil XRD Untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$	18
Tabel 4.2 : Hasil Analisis Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$	28
Tabel 4.3 : Hasil Analisis Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3$	31
Tabel 4.4 : Hasil Analisis Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$	35
Tabel 4.5. Hasil dari Pencocokan Hukum $C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2}$, Dengan n dari 0 ke 4, Untuk Ketiga Kristal Tunggal yang Dipelajari Dengan H = 0 dan 9 T. Unit-unitnya adalah J/mol.K^3	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material manganat saat ini sudah sangat berkembang dalam dunia penelitian, sejak diketemukannya material Lanthanum oleh Carl Monsander tahun 1839 dan material manganat oleh Ignites Kaim pada tahun 1774. Material $LaMnO_3$, $CaMnO_3$ dan $La_xCa_{1-x}MnO_3$ merupakan material yang dikembangkan sejak tahun 1950. Perkembangan material yang berbasis manganat ini sudah berkembang dengan pesat, manganat tanah jarang (La, Nd, Gd, \dots) dengan rumus umum $Ln_{1-x}A_xMnO_3$ ($Ln = \text{trivalent rare earth}$ dan $A = \text{divalent alkaline earth}$) memiliki karakteristik yang menarik, yaitu anomali magnetik, transport properties seperti magnetoresistansi, transisi insulator – metal, karakteristik pada fenomena listrik, sifat-sifat kemagnetan, struktur kristal, pengaruh suhu terhadap sifat kemagnetan, dan lain-lain.^[1,2,14]

Manganese merupakan campuran dari komposisi $AMnO_3$ ($A = La, Ca, Ba, Sr, Pb, Nd, Pr$) yang mengkristal di dalam struktur mineral perovskit berbentuk kubus $CaTiO_3$.^[2] Campuran komposisi $AMnO_3$ yang mengkristal tadi selanjutnya akan lebih dikenal sebagai manganat. Hasil dari komposisi tersebut dapat menunjukkan adanya berbagai peristiwa listrik dan magnetis yang mencakup ferromagnetik, antiferromagnetik, muatan dan spin orbital. Jika lokasi A secara parsial diduduki oleh dua atom yang berbeda, satu atom yang bervalensi tiga, seperti La dan satu atom yang bervalensi dua sebagai contoh Ca, maka Mn^{+3} dan Mn^{+4} berada pada waktu yang sama ternyata campuran komposisi itu menunjukkan reaksi berbeda saat temperatur diubah. Campuran manganat menunjukkan adanya peralihan fase yang berbeda, sehingga campuran manganat tersebut sangat peka terhadap parameter luar seperti medan magnet dan tekanan.^[2]

Colossal Magnetoresistance (CMR) yang telah ditemukan mendekati suhu keteraturan ferromagnetik T_c dari spin-spin Mn dalam oksida-oksida. Perubahan sifat magnet ini ditunjukkan dengan adanya perubahan fase magnetik dari paramagnetik menjadi ferromagnetik sebagai fungsi konsentrasi pendopingan tanah jarang pada *parental compound* $AmnO_3$.^[11]

Transport elektronik, ferromagnetik dan CMR sangat tergantung pada konsentrasi ion-ion Mn^{4+} yang dikreasikan dengan penggantian ion-ion trivalent R dengan ion-ion divalent A. Oksida-oksida ini memperlihatkan perilaku semihantar dalam bahan paramagnet dan perilaku logam dalam bahan ferromagnetik. Transisi dari semihantar terjadi dekat T_c .^[1,8,9]

Hasil dari mempelajari manganat diharapkan muncul adanya aneka ragam fase-fase pada temperatur rendah. Rangkaian dari $RMnO_3$ dan $DMnO_3$ dimana R adalah atom yang jarang ditemukan di bumi dan D adalah sebuah pengganti atom divalent seperti Ca dan Sr, merupakan penyekat antiferromagnetik. Pencampuran dari keduanya menunjukkan bermacam-macam keadaan dasar magnetik dan charge-ordered.^[2]

Dalam penelitian ini hanya ingin mengetahui pengaruh kalor jenis $La_{0,5}Ca_{0,5}Mn_{x-1}Cu_xO_3$ ($x = 0,05; 0,15; \text{ dan } 0,2$) terhadap sifat termal dan medan magnet dengan model $C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2}$.^[6]

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan PPMS (Physical Properties Measurement System) SQUID Quantum Design di Tanaka Lab, Department of Physics, Tokyo Institute of Technology Jepang. Hasil dari pengukuran hanya difokuskan pada perubahan nilai panas jenis $La_{0,5}Ca_{0,5}Mn_{x-1}Cu_xO_3$ ($x = 0,05; 0,15; \text{ dan } 0,2$) jika tanpa medan magnet ($H = 0$) dan diberikan medan magnet sebesar 9 T.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1. Karakteristik panas jenis untuk temperatur rendah dari $La_{0,5}Ca_{0,5}Mn_{1-x}Cu_xO_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) tanpa pengaruh medan magnet.
2. Karakteristik panas jenis untuk temperatur rendah dari $La_{0,5}Ca_{0,5}Mn_{1-x}Cu_xO_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) dengan pemberian medan magnet 9 T.
3. Menganalisis nilai panas jenis dengan pendekatan model

$$C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2} \text{.}^{[6]}$$

1.4. Metodologi Penelitian

Untuk melakukan penelitian ini penulis memulainya dengan studi literatur. Setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$). Proses pembuatan sampel dilakukan dengan mencampur La_2O_3 , CaCO_3 , CuO dan MnO_3 sesuai dengan perhitungan stokiometri. Sampel yang sudah jadi di uji dengan XRD untuk mengetahui struktur kristalnya sudah terbentuk atau belum. Dari pembuatan sampel sampai dengan uji XRD dilakukan di laboratorium Puspitek-Serpong gedung 40 dan 43 Serpong-Tangerang. Hasil dari uji XRD sudah menunjukkan adanya struktur baru. Setelah itu sampel tersebut diukur dengan PPMS (Physical Properties Measurement System) SQUID Quantum Design di Tanaka Lab, Department of Physics, Tokyo Institute of Technology Jepang. Data dari PPMS dianalisis dengan pendekatan model

$$C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2} \quad (6)$$

1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan Thesis ini terdiri dari 5 bab dengan rincian sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II Dasar Teori

Bab ini menjelaskan tentang teori bahan manganat $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$), specific heat (panas jenis), suhu Debye, dan rapat keadaan (Energi Fermi) yang berkaitan dengan penelitian dan pengetahuan yang menunjang analisa hasil penelitian.

Bab III Metodologi

Bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan dalam penelitian untuk membuat bahan manganat $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$). Pada bab ini pula menjelaskan bahan dan tempat yang digunakan untuk penelitian, alat-alat yang digunakan untuk mencari data, pembuatan sampel, cara kerja XRD dan PPMS SQUID, dan alur penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan dan menganalisa data hasil pengujian dengan XRD dan SQUID Quantum Design di Tanaka Lab, Department of Physics, Tokyo Institute of Technology Jepang

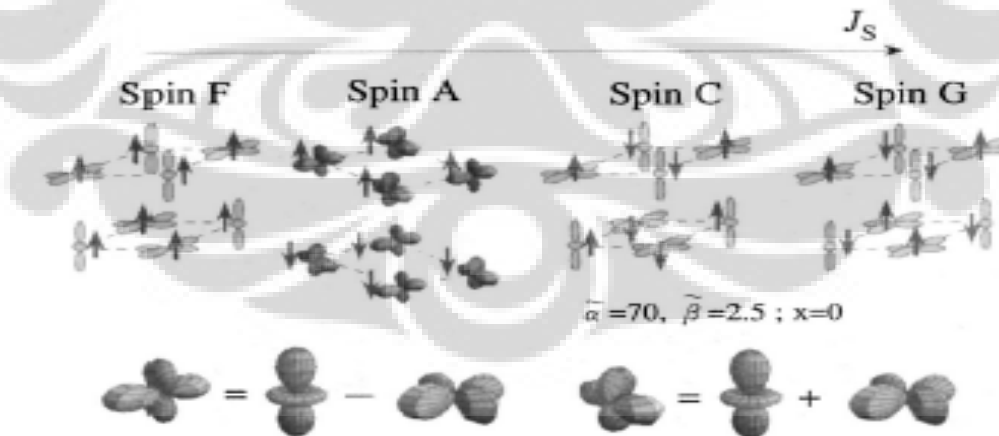
Bab V Kesimpulan dan Saran



BAB II DASAR TEORI

2.1. Senyawa-senyawa Induk

Motivasi utama untuk mempelajari manganites adalah munculnya aneka-ragam fase-fase pada temperatur rendah. Rangkaian anggota manganites yang terakhir, $RMnO_3$ dan $DMnO_3$, dimana R adalah atom yang jarang ditemukan di bumi dan D adalah sebuah pengganti divalent seperti Ca atau Sr, ini merupakan penyekat antiferromagnetik. Campuran keduanya dapat menunjukkan bermacam-macam keadaan dasar magnetik dan charge-ordered. Rangkaian kedua anggota manganites tersebut adalah $LaMnO_3$ dan $CaMnO_3$. Hasil dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Yael (1955)^[2] tentang difraksi sinar-X menunjukkan bahwa struktur kristal $LaMnO_3$ stoichiometric adalah orthorhombic, termasuk dalam kelompok ruang (space group) $Pnma$, sedangkan $CaMnO_3$ adalah cubic, kelompok ruang (space group) $Pm3m$. Ground states magnetic dari $LaMnO_3$ adalah antiferromagnetik dan dinamakan tipe A. $CaMnO_3$ juga tersusun secara antiferromagnetik dan dinamakan tipe C.^[2]



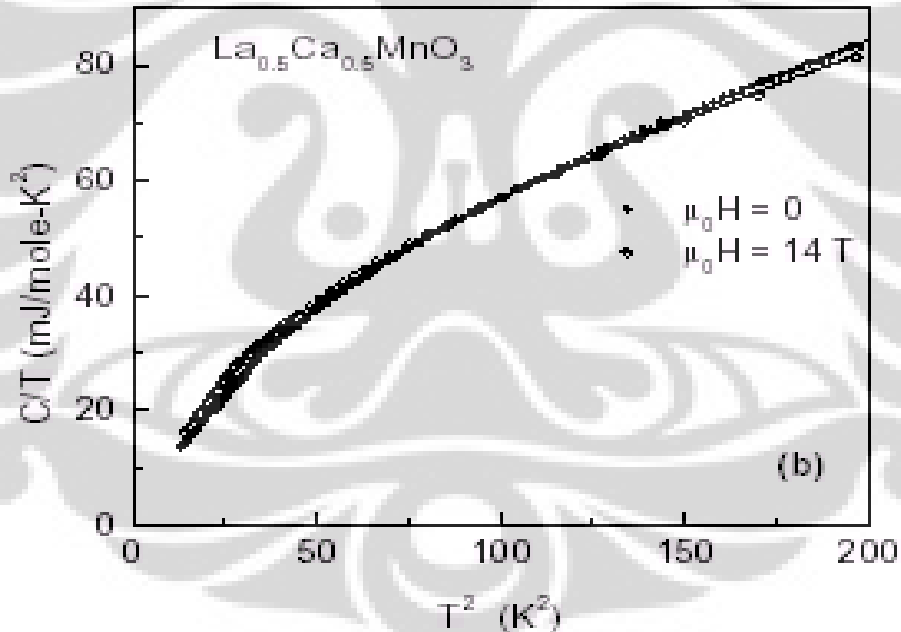
Gambar 2.1. Struktur-struktur Orbital pada $x = 0$ sebagai Fungsi dari Interaksi Antiferromagnetik J_s antara Spin-spin t_{2g} ; Sketsa-sketsa Bawah Menggambarkan Bagaimana $x^2 - z^2$ dan $y^2 - z^2$ Dihubungkan ke Representasi-representasi Umum dari Orbital d . Dari Maezono et al., 1998b.^[2]

2.2. Specific Heat

Sifat kapasitas kalor dari hasil percobaan Potassium menunjukkan banyak temperatur di bawah temperatur Debye dan temperatur Fermi. Kapasitas kalor merupakan jumlahan dari elektron dan phonon : $C = \gamma T + \beta T^3$, dimana γ dan β merupakan konstanta dari bahan. Elektron akan linear di daerah T dan dominan pada suhu rendah. Hal ini sangat mudah untuk memperlihatkan sifat nilai-nilai C dari suatu percobaan dengan membuat grafik C/T versus T^2 .^[12]

$$C/T = \gamma + \beta T^2 \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

Dari persamaan (2.1) akan diperoleh garis linear untuk suhu rendah pada grafik C/T versus T^2 dibawah ini

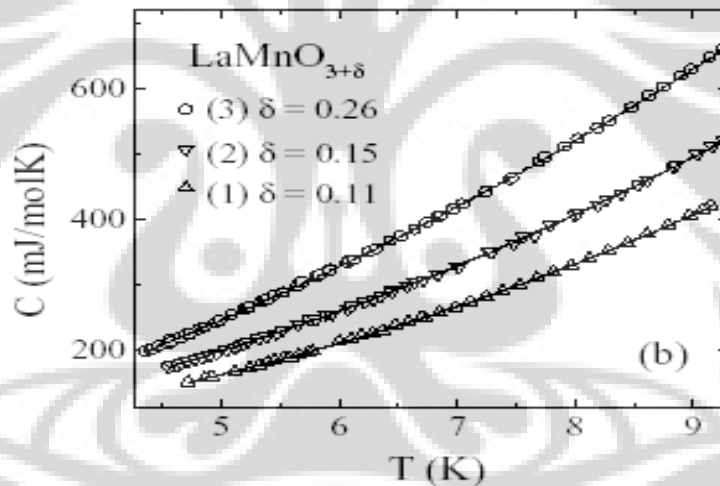


Gambar 2.2. Spesifik Heat dari Charge-Ordered $La_{0.5}Ca_{0.5}MnO_3$ Dengan dan Tanpa Medan Magnetic.^[8]

Untuk nilai C dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :^[6]

$$C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2} \quad \dots \quad (2.2)$$

Dimana βT merupakan kontribusi hyperfine (pembawa muatan) muncul karena medan magnet lokal pada nukleus Mn karena elektron-elektron pada kulit yang tak terisi. Koefisien β diketahui sebagai γ yang digunakan untuk mencari Energi Fermi. $\beta_3 T^3$, $\beta_5 T^5$, $\beta_7 T^7$, dan $\beta_9 T^9$ merupakan kontribusi lattice pada specific heat, timbul akibat phonons. Bagian dari kontribusi T^3 terhadap Cp dapat terjadi dari gelombang kumparan Antiferromagnetik (AFM). Kontribusi T^3 untuk dinaikkan sampai di atas kontribusi Debye, karena adanya gelombang kumparan Antiferromagnetik, $\beta_{3/2} T^{3/2}$ adalah suatu kontribusi spin-wave ferromagnetik, dan βT^3 adalah kontribusi spin-wave antiferromagnetik.^[6]



Gambar 2.3. Kurva dari C vs T untuk $\text{LaMnO}_{3+\delta}$.^[9]

2.3. Suhu Debye

Untuk mengetahui suhu Debye harus dicari nilai β dengan menggunakan persamaan $C = \gamma T + \delta T^{3/2} + \beta T^3$, maka suhu Debye dapat dihitung.^[1,9,12,16]

$$\theta_D = \left(\frac{12 \pi^4 \rho R}{5 \beta} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana R adalah konstanta gas ideal dan ρ adalah banyaknya atom per satuan rumus.

2.4. Rapat Keadaan

Jika pembawa muatan dapat membuat kalor jenis linier, maka pembawa muatan dapat digunakan untuk menghitung rapat keadaan $N(E)$ pada energi Fermi $E=E_F$ yang sesuai dengan persamaan (3).^[1,2,12]

$$\gamma = \frac{\pi^2}{3} k_B^2 N(E_F) \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana k_B adalah konstanta Boltzmann.

BAB III METODOLOGI

3.1. Bahan dan tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Puspitek Serpong gedung 40 dan 43 Serpong Tangerang untuk pembuatan sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15; 0,2$) dan PPMS (Physical Properties Measurement System) SQUID Quantum Design di Tanaka Lab, Department of Physics, Tokyo Institute of Technology Jepang.

Bahan-bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 : Bahan-bahan Dasar

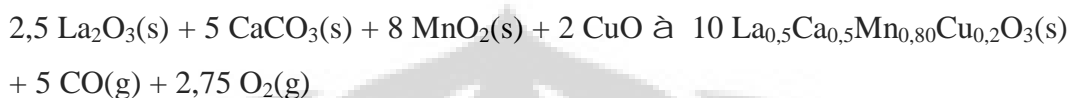
No	Nama	Formula Kimia	Produk	Kemurnian
1.	Calcium Carbonat	CaCO_3	Merck	99,9%
2.	Manganat Oxide	MnO_2	Aldrich	99,0%
3.	Lanthanum Oxide	La_2O_3	Aldrich	99,5%
4.	Copper II Oxide	CuO	Merck	90,0%

3.2. Peralatan

- a. Glovebox dan tim Peralatan bangan AND Type FA 2009 high Energi.
- b. Ball Mill high Energi, dengan spesifikasi rpm 1725 runtime 90 menit, balance time 30 menit of time 5 menit, merek Broon Mixer /Mill Mode in Japan.
- c. Furnace, seri Carbolite Furnace (Merk) Model PxR- j, Fuji
- d. Kompaksi dengan spesifikasi 10000 Psi 1700 BB Merk Enerpac P39.
- e. Dipraktometer X Ray (XRD)
- f. Superconducting Quantum Interference Devices (SQUID)

3.3. Preparasi Sampel

Preparasi sampel dimulai dengan menentukan massa CaCO_3 , La_2O_3 , CuCO dan MnO_3 yang diperlukan berdasarkan kebutuhan konsentrasi $x = 0,05$; $0,15$ dan $0,2$ dengan menggunakan perhitungan kimia. Misalkan untuk menentukan nilai $x = 0,2$ agar menghasilkan massa $\text{La}_{0,50}\text{Ca}_{0,50}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ sebanyak 10 gram, maka persamaan reaksi kimianya menjadi :



Berdasarkan persamaan reaksi kimia di atas maka massa dari bahan dasar dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Massa CaCO}_3 = \frac{10 \text{ gram} \cdot 5 \text{ Mr CaCO}_3}{10 \text{ Mr La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3}$$

$$\text{Massa MnO}_2 = \frac{10 \text{ gram} \cdot 8 \text{ Mr MnO}_2}{10 \text{ Mr La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3}$$

$$\text{Massa La}_2\text{O}_3 = \frac{10 \text{ gram} \cdot 2,5 \text{ Mr La}_2\text{O}_3}{10 \text{ Mr La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3}$$

$$\text{Massa CuO} = \frac{10 \text{ gram} \cdot 2 \text{ Mr CuO}}{10 \text{ Mr La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3}$$

Tabel 3.2 : Massa Bahan Dasar

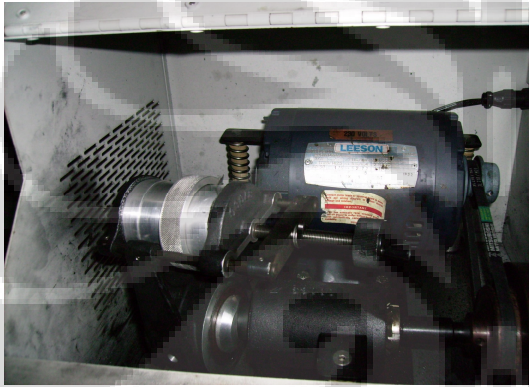
No	Nilai x	Massa Bahan Dasar dalam Satuan Gram			
		Ca CO ₃	La ₂ O ₃	Mn O ₂	CuO
1.	0,05	2,58	4,20	4,25	0,21
2.	0,15	2,58	4,20	3,81	0,61
3.	0,20	2,58	4,20	3,58	0,82

Keempat bahan dasar tersebut ditimbang dan dicampurkan, sehingga membentuk campuran $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{x-1}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05$; $0,15$; dan $0,20$) dan dimasukkan ke dalam vial (1) berisi sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, vial (2) berisi sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan vial (3) berisi sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$, masing-masing vial diberi tiga butir peluru kemudian di

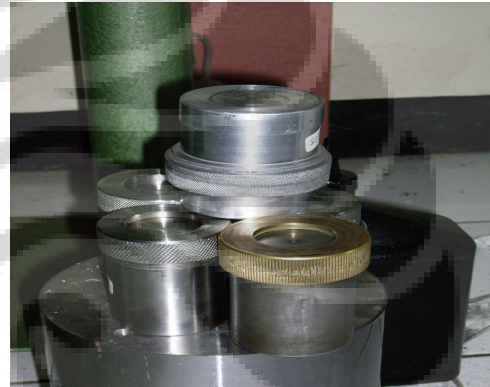
ballmill pada temperatur (37 °C), ballmill pertama selama 10 jam dan ballmill yang kedua selama 5 jam.

Penelitian ini akan dilakukan di laboratorium :

1. Laboratorium Departemen Fisika FMIPA UI Depok dan laboratorium Puspitex Serpong gedung 40 dan 43 Serpong Tangerang untuk proses :
 - pembuatan sample
 - penggerusan dengan Ball Mill
 - pemanasan
 - XRD



Gambar 3.1. Ball Mill



Gambar 3.2. Vial.

2. Laboratorium Tokyo Institute of Technologi Ohokayama Tokyo Jepang
 - SQUID



Gambar 3.3. Alat PPMS SQUID



Gambar 3.4. Alat MPMS SQUID



Gambar 3.5. Tabung Helium Cair

3.4. Proses Pemanasan Sampel

Tujuan dari pemanasan sampel untuk merapatkan jarak antar butir, menghilangkan impuritas dan menciptakan homogenitas, sehingga diharapkan sudah terbentuk pertumbuhan kristal, fasa tunggal pada bahan baru. Masing-masing sampel dimasukkan ke dalam alumina, kemudian dipanaskan secara

bersamaan menggunakan Furnace yang pertama selama 6 jam dengan temperatur 1350⁰C , furnace yang kedua selama 24 jam dengan temperatur 1100⁰C .



Gambar 3.6. Kompaksi



Gambar 3.7. Furnace

3.5. Difraktometer X Ray (XRD)

Berkas sinar X yang mengenai sampel dihamburkan ke segala arah. Keteraturan posisi atom pada arah hamburan dapat menyebabkan gelombang hamburan itu. Parameter kisi dan jarak antara bidang, dapat ditentukan dengan persamaan Bragg :^[18]

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3.1)$$

dan persamaan :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (3.2)$$

keterangan :

- d = Jarak antar bidang (A)
- θ = Sudut difraksi sinar X
- n = Orde hamburan (dalam hal ini bernilai 1, karena cacahannya rapat)
- λ = 1.54053 Å, Panjang gelombang yang dipakai yaitu CuK α
- hkl = Indeks Miller atau bidang pantulan
- abc = Parameter kisi

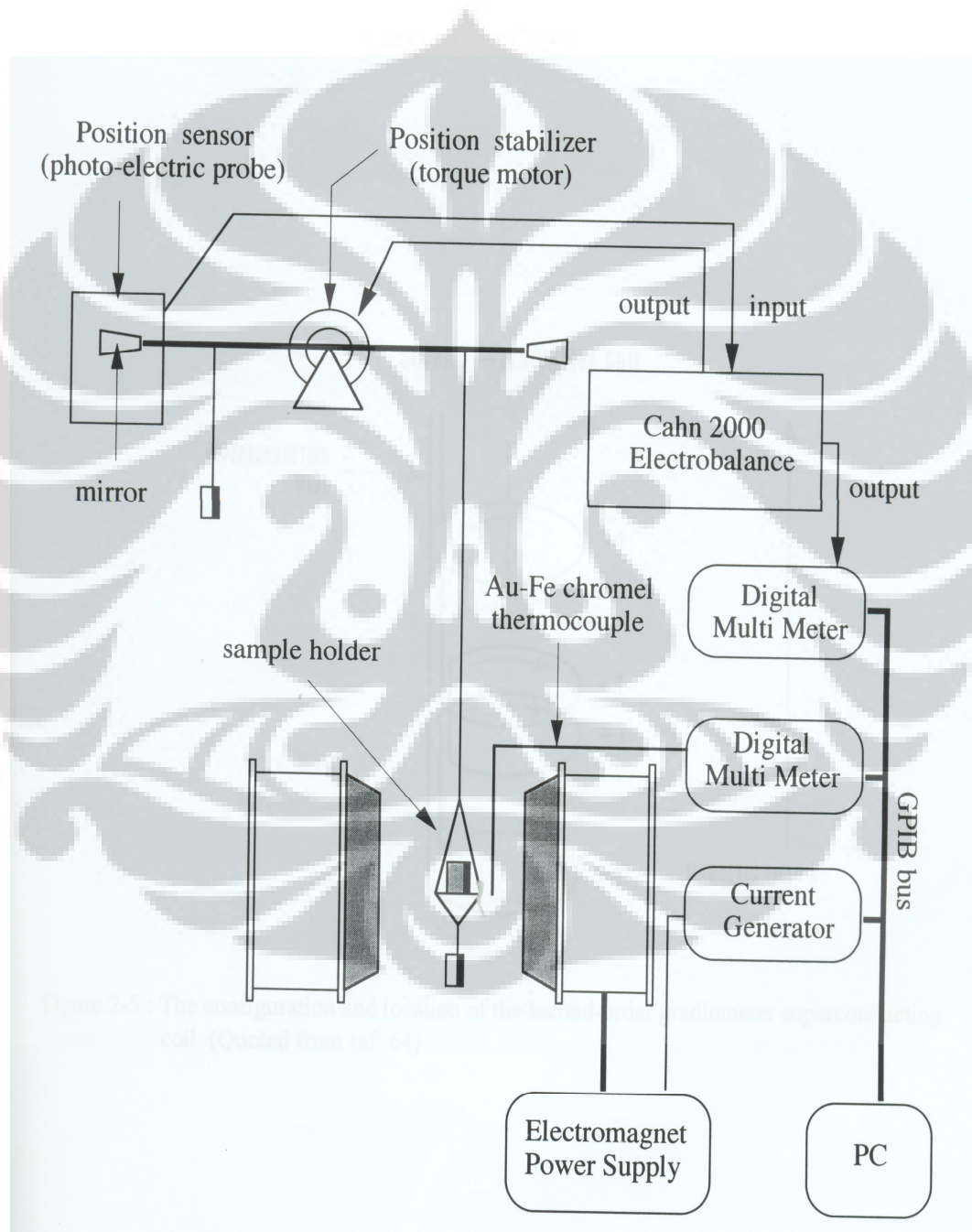
Data difraksi sinar X (*XRD*) telah menyediakan informasi mengenai struktur kristal. Data tersebut digunakan untuk menentukan struktur kristal dari yang sederhana sampai kompleks. Radiasi sinar X yang diarahkan terhadap sampel digunakan untuk menentukan jarak antar atom yang muncul. Intensitas berkas cahaya yang terdifraksi bergantung pada pengaturan dan jumlah atom di dalam pola berulang yang bernama unit.^[18]

3.6. SQUID PPMS XL Magnetometer

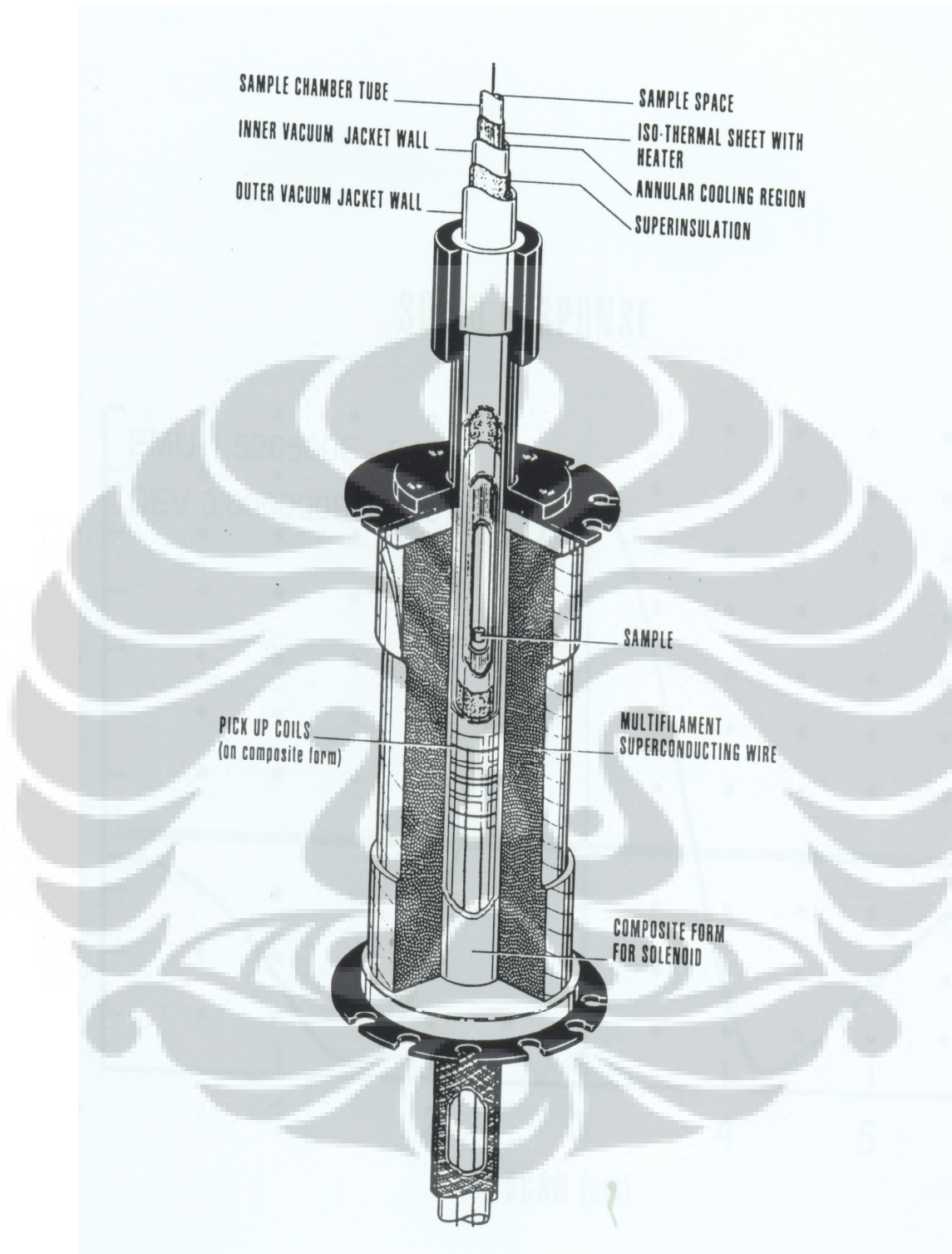
Quantum Design s' Magnetic Property Measurements System (MPMS) merupakan suatu sistem untuk mendeteksi momen magnetik yang menggambarkan spin intrinsik dan orbital momentum sudut dari suatu zat dengan menggunakan teknik Josephson junction. Alat-alat ini terdiri dari sebuah rangkaian superkonduksi tertutup yang bernama kumparan pendeteksi superkonduksi. Kumparan ini meliputi satu atau dua Josephson junction dalam rangkaian arus yang terdiri satu set tiga kumparan, kumparan pendeteksi, dihubungkan kawat dan SQUID kumparan masukan, sebagai orde kedua gradiometer. Kumparan-kumparan tersebut ditempatkan di luar kotak sampel dan di pusat dari magnet. Selanjutnya konfigurasi dari gradiometer untuk mengurangi kebisingan dan efek pengapungan dalam rangkaian pendeteksi yang disebabkan oleh fluktuasi dan relaksasi dalam medan magnet yang besar dari magnet superkonduksi. Kumparan atas dan bawah arahnya searah jarum jam. Kumparan pusat terdiri dari dua putaran yang selalu berlawanan dengan arah jarum jam.^[17]

Sampel ditempatkan dalam ruang sampel (lihat gambar 2.9) maka sampel itu dipasang pada tempat sampel. Tempat sampel terikat dengan salah satu ujung batang sampel. Puncak batang sampel dihubungkan dengan stepper-motor-controlled yang digunakan untuk menggerakkan sampel melalui kumparan deteksi superkonduksi. Dimana sampel digerakan melalui kumparan pendeteksi, momen magnetik dari sampel yang diberi magnet dapat mempengaruhi arus listrik di dalam kumparan. Itu dianggap bahwa suatu fluks magnet dihasilkan di sekitar sampel yang diberi magnet. Aliran arus dibuat searah sehingga sampel dapat bergerak melalui pusat kumparan, selain itu kumparan atas dan bawah bergerak

dengan arah sebaliknya. Setiap perubahan-perubahan dari fluks magnet menyebabkan suatu perubahan di dalam arus dari rangkaian pendeteksi. Perubahan tersebut menyebabkan adanya variasi tegangan keluar dari SQUID. Selanjutnya variasi tegangan yang dari detektor SQUID diubah menjadi sinyal magnetisasi.^[17]

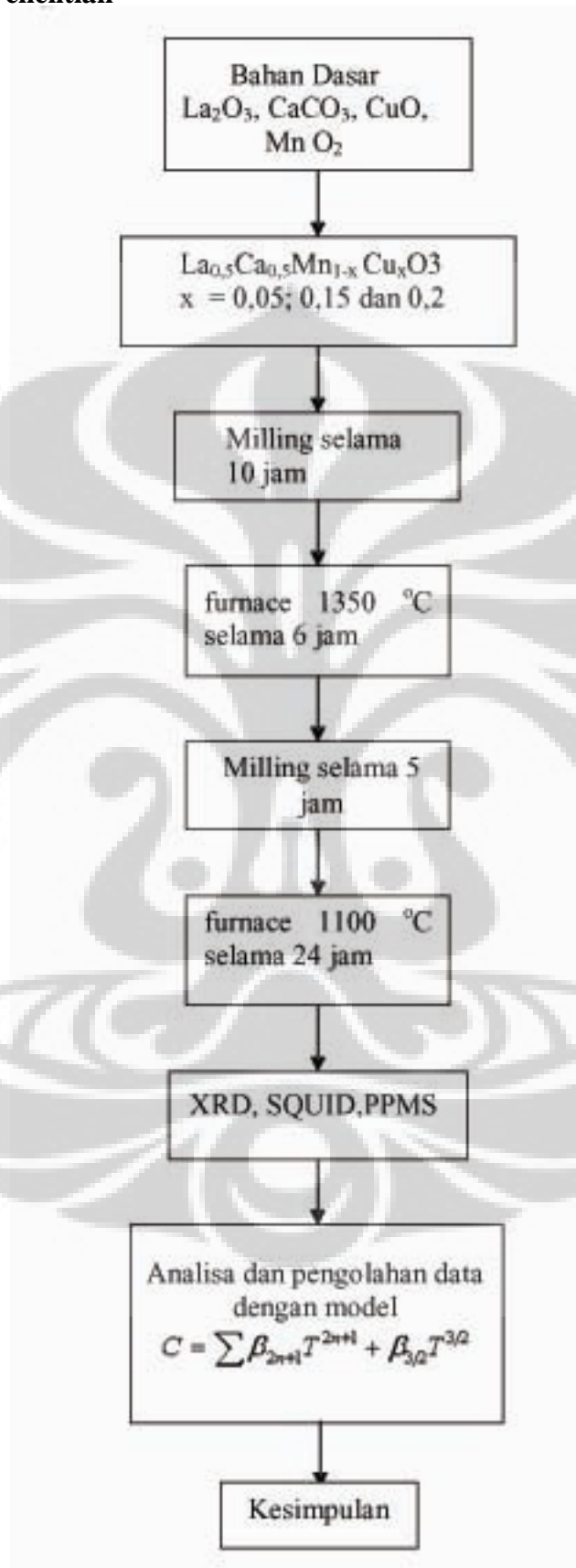


Gambar 3.8. Diagram Blok dari Pengukuran Susceptibilitas Magnet. (Budhy K. 1999)



Gambar 3.9. Letak dari Sampel Dalam Konfigurasi SQUID (Budhi K. 1999)

3.7 Alur Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil XRD

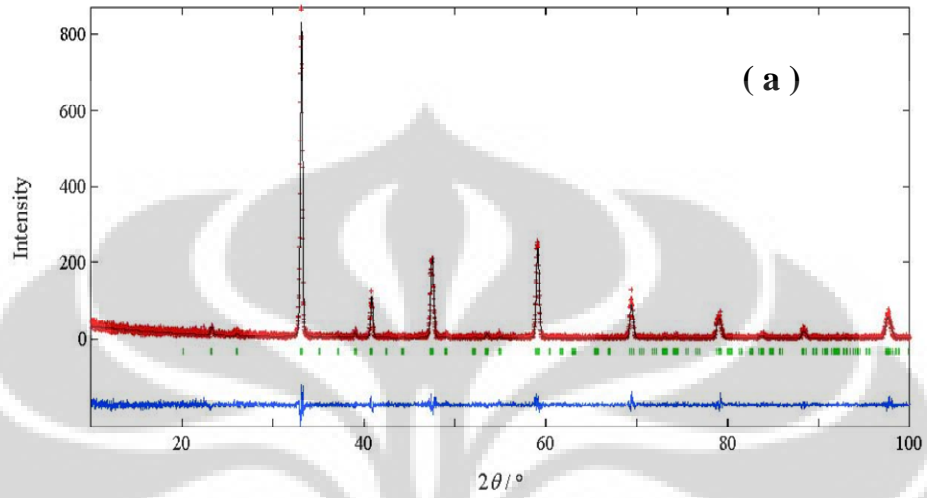
Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ dengan nilai $x = 0,05; 0,15; \text{ dan } 0,20$ setelah di Ballmill dan Furnace maka dilakukan pengujian dari masing-masing sampel dengan menggunakan Difraktometer X – Ray (XRD). Pengujian XRD dilakukan untuk memperoleh informasi fase yang terbentuk. Data yang sudah diperoleh dari proses pengujian XRD yang berupa sudut 2θ dan intensitasnya dimasukkan ke dalam program Fullprof dengan bentuk data. Data yang diperoleh dari standard ICDD setelah di refinement mendapatkan hasil pada tabel berikut ini :

Tabel 4.1 : Hasil XRD untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$

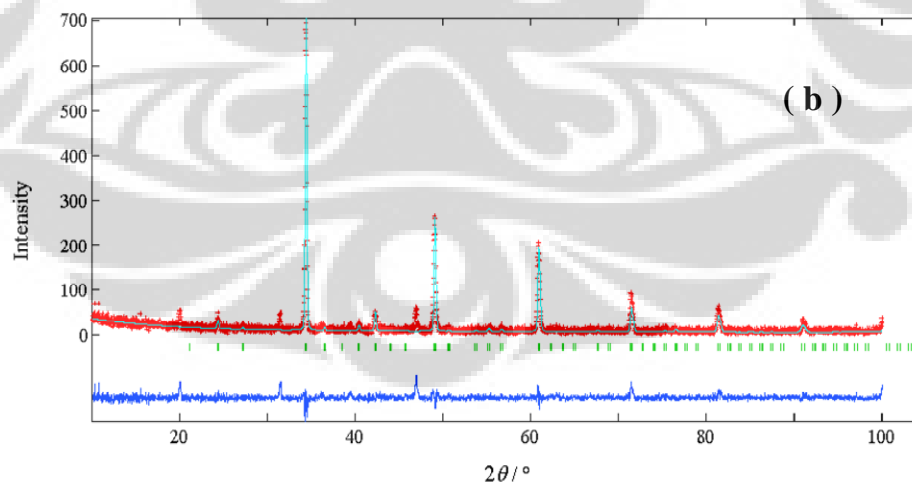
Lattice Parameter	$x = 0.05$	$x = 0.15$	$x = 0.20$
$a (\text{ \AA })$	5,4237	5,4192	5,4390
$b (\text{ \AA })$	7,6878	7,6644	7,6664
$c (\text{ \AA })$	5,4106	5,4214	5,4513
$\alpha = \beta = \gamma$	90°	90°	90°
Volume Cell	225,6021	225,1774	227,3059

Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ untuk $x = 0,05; 0,15; \text{ dan } 0,20$ memiliki struktur kristal orthorombik dan space group Pnma. Jika dilihat tabel 4.1. dengan penambahan Cu menunjukkan adanya kenaikan volume sel dari masing-masing sampel. Pendopigan Cu pada Mn setiap sampel mengubah parameter kisi dari masing-masing sampel. Tetapi tidak mengubah struktur kristalnya, yaitu Orthorombic Pnma. Grafik hasil pengukuran XRD dapat dilihat pada gambar (4.1).

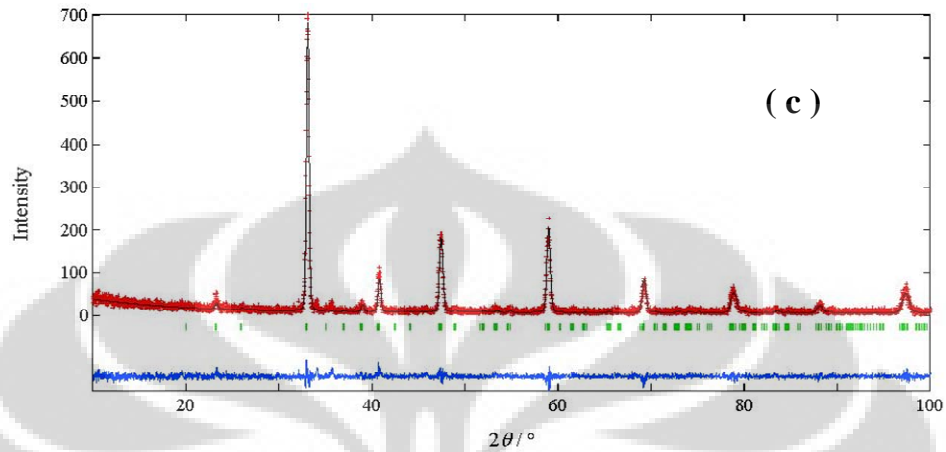
Hasil XRD : $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.95}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_3$



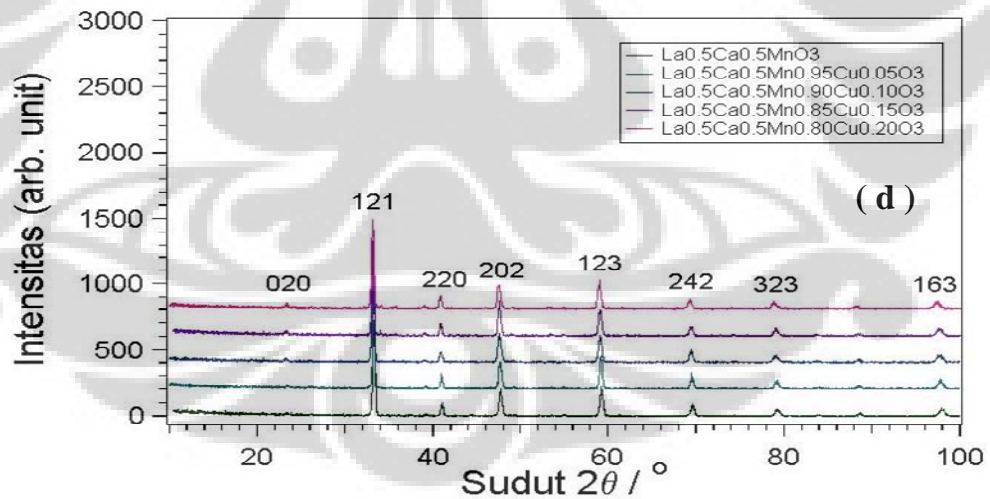
Hasil XRD : $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.85}\text{Cu}_{0.15}\text{O}_3$



Hasil XRD : $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.80}\text{Cu}_{0.20}\text{O}_3$



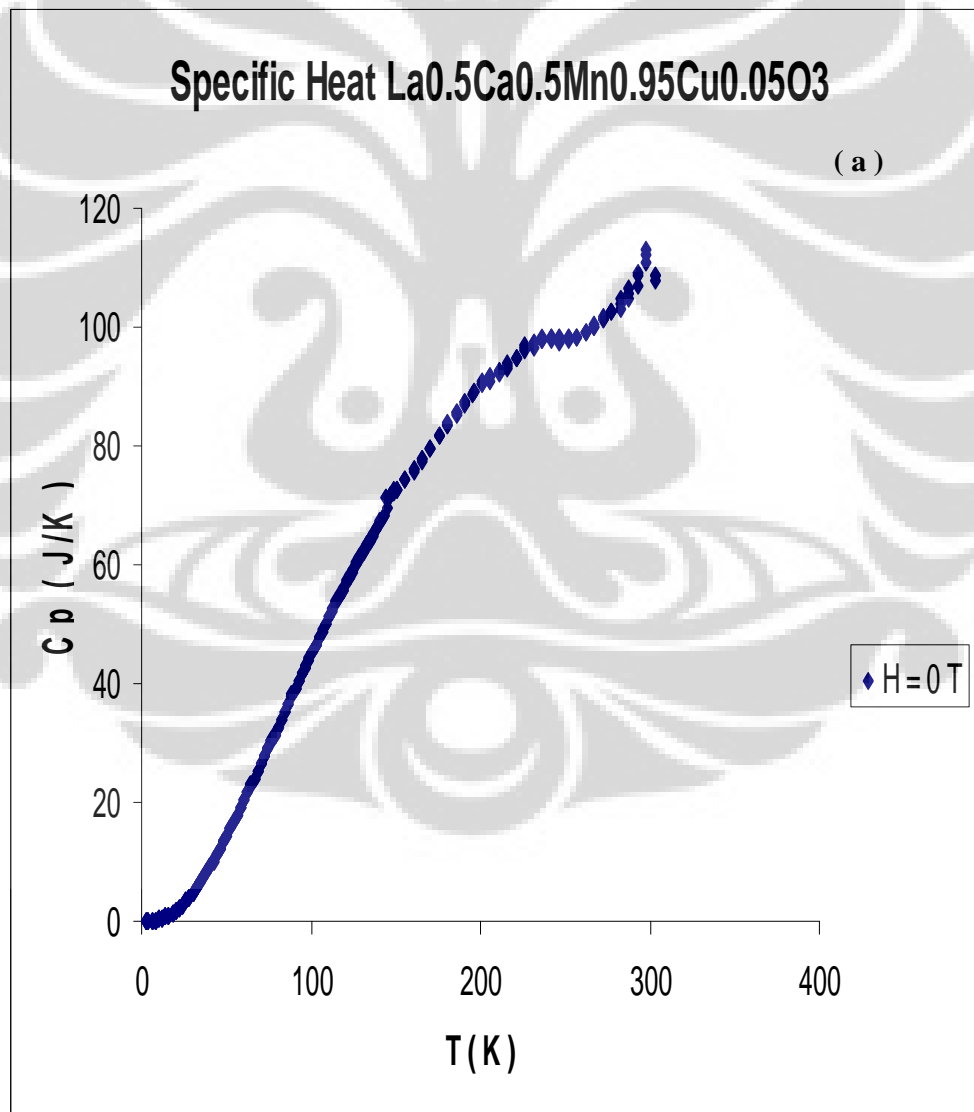
Hasil XRD : $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{1-y}\text{Cu}_y\text{O}_3$

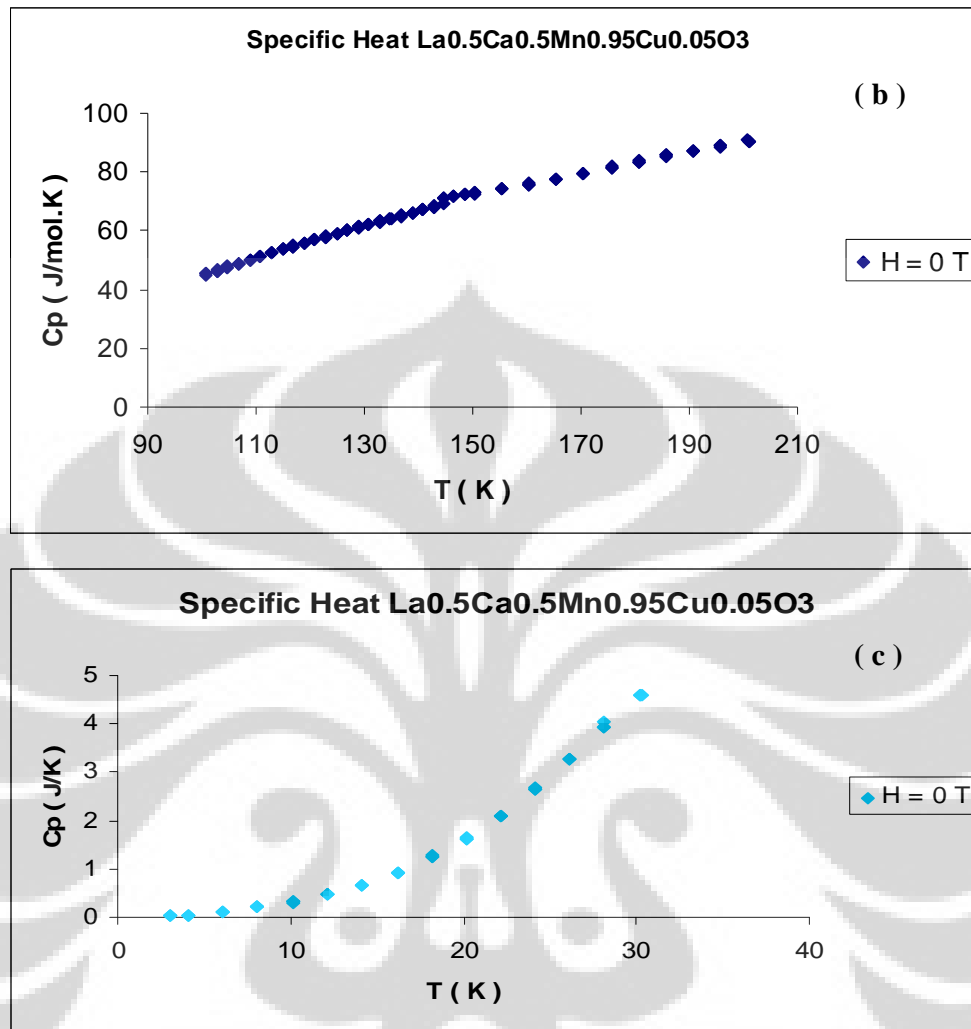


Gambar 4.1 Grafik Hasil XRD dari Sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,15;$
dan $0,20$)

4.2. Sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.95}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_3$

Pengukuran spesifik heat dibuat dengan menggunakan sebuah Calorimeter Quantum Design PPMS. Pengukuran-pengukuran pada temperatur rendah dapat memberikan informasi yang sangat penting tentang ground state. Dalam perhitungan magnetisasi sampel memiliki sifat karakter vektor, sedangkan specific heat memiliki sifat scalar property. Pada gambar 4.1 memperlihatkan data specific heat kisaran temperatur antara 3 K – 303 K tanpa pengaruh medan magnet atau $H = 0$ T untuk sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.95}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_3$.



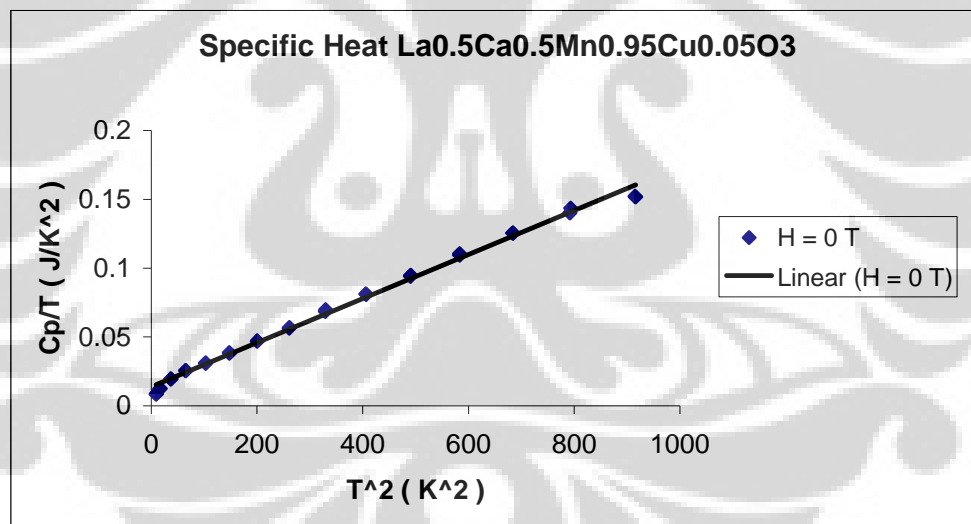


Gambar 4.2. (a). Kurva Cp Terhadap T Pada Sampel La_{0,5}Ca_{0,5}Mn_{0,95}Cu_{0,05}O₃ Tanpa Medan Magnet (H = 0 T). (b). Grafik Perkiraan Temperatur Neel (T_N). (c). Grafik Cp Terhadap T untuk Temperatur Rendah.

Bagaimana informasi-informasi mengenai kontribusi C yang relevan dapat disimpulkan melalui data kisaran nol. Untuk analisis dibatasi pada data-data di atas 3 K dimana ini disebut sebagai hyperfine yang berhubungan dengan pemisahan atom yang disebabkan oleh medan magnet lokal yang besar dari spin inti Mn dan Cu. Kontribusi-kontribusi yang bermacam-macam biasanya dipertimbangkan untuk specific heat pada temperatur rendah. Phonon yang muncul dari getaran pola-pola geometris pada atom-atom harus dimasukkan. Pada

tingkat temperatur rendah, sebagai contoh $T \leq 31$ K, kontribusi dapat mudah diperkirakan dengan menggunakan rumus βT^3 (rumus T^5 , T^7 , dan T^9 dapat pula digunakan untuk menganalisis pada temperatur yang lebih tinggi). Walaupun tidak ada pembawa muatan, kontribusi untuk C diharapkan muncul pada sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$ yang memiliki bentuk kontribusi temperatur linear. γT , dimana γ adalah proporsional terhadap kepadatan pada bagian level Fermi, banyak sistem isolator menunjukkan adanya faktor linear pada specific heat.

Gambar 4.2. (b) menunjukkan adanya anomali yang diduga merupakan temperatur Neel pada kisaran 144 K. Karena pada temperatur 144 K bentuk dari grafik mengalami perubahan agak naik sedikit. Dari temperatur 3 K sampai 144 K grafik mengalami kenaikan yang konstan, di atas 144 K grafik mulai konstan lagi.



Gambar 4.3. C_p/T Terhadap T^2 Untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$.

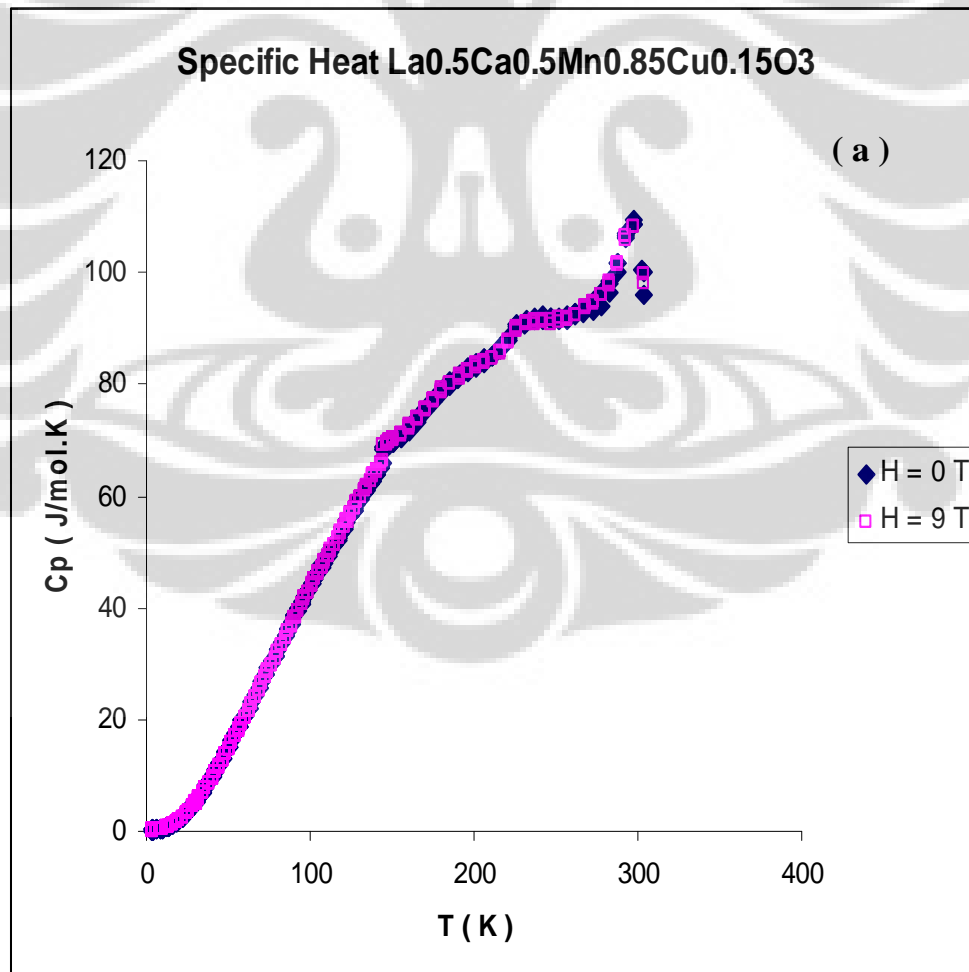
Pada gambar 4.3 menunjukkan ketergantungan pengukuran specific heat pada temperatur rendah, antara 3 K sampai 31 K tanpa pengaruh medan magnet atau $H = 0$ T untuk sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$. Grafik C_p/T terhadap T^2 dalam rentang 3 K – 31 K menunjukkan Kurva yang linear hal ini data cocok dengan $C_p = \gamma T + \delta T^{3/2} + \beta T^3$. Dari hasil persamaan $y = 0,0002x + 0,0138$

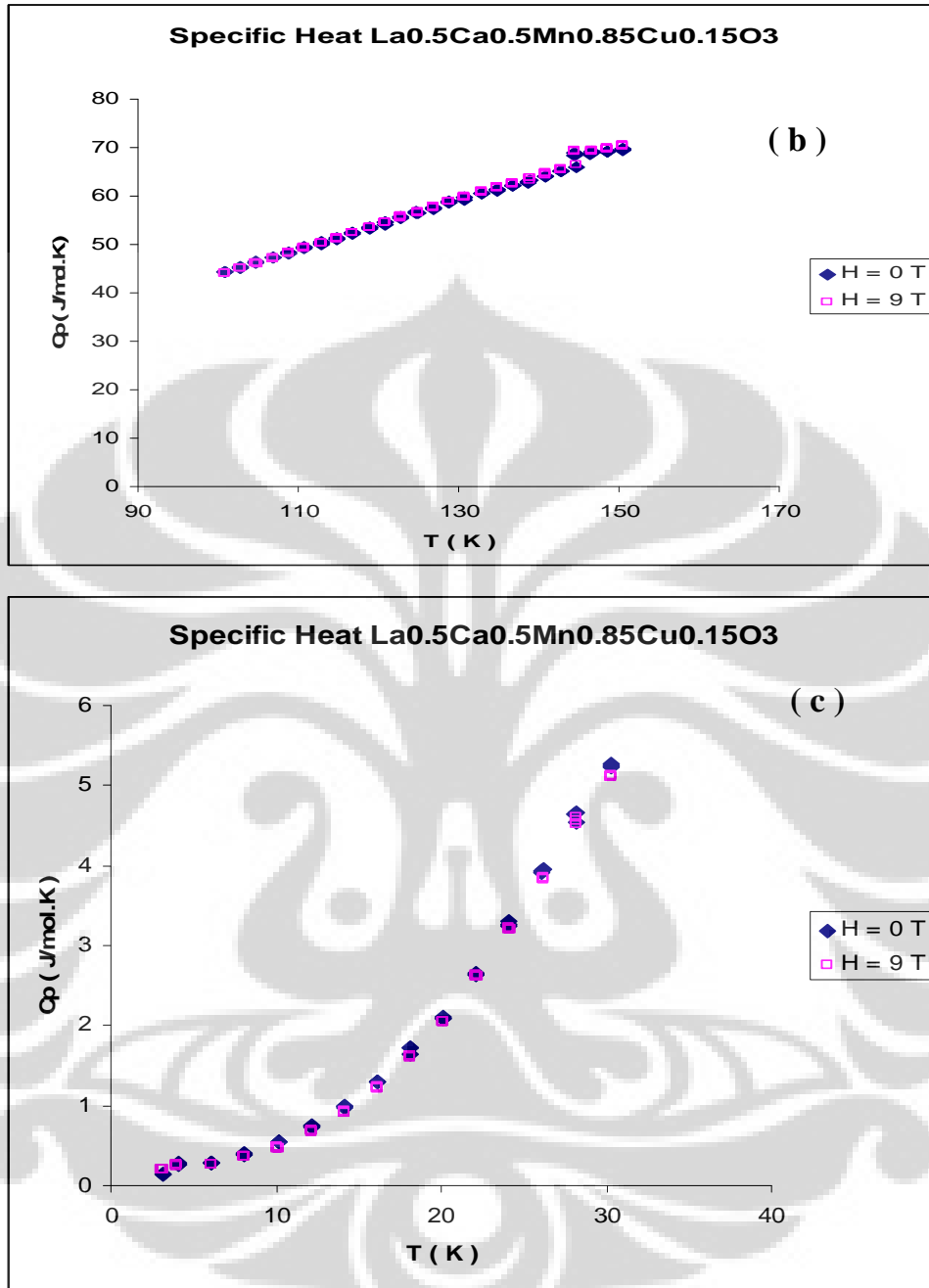
diperoleh nilai $\gamma = 0,0138 \text{ J/mol.K}^2$ dan $\beta = 0,0002 \text{ J/mol.K}^4$. Nilai β dapat digunakan untuk mencari nilai suhu Debye (θ_D) yaitu sebesar 364,8890 K, sedangkan γ untuk mencari nilai energi ferminya $N(E_F)$ yaitu sebesar $3,5256 \times 10^{24} / \text{eV.mol}$.

Kontribusi lattice diberikan oleh βT^3 . Untuk orde yang lebih tinggi yaitu βT^5 tidak diperlukan dalam mencocokkan data pada jangkauan interval 3 K – 31 K.

4.3. Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$

Untuk sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$ pengukuran dengan tanpa menggunakan medan magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan medan magnet 9 T ($H = 9 \text{ T}$). Pada gambar 4.4. memperlihatkan data specific heat (C_p) di atas kisaran 3 K – 303 K.





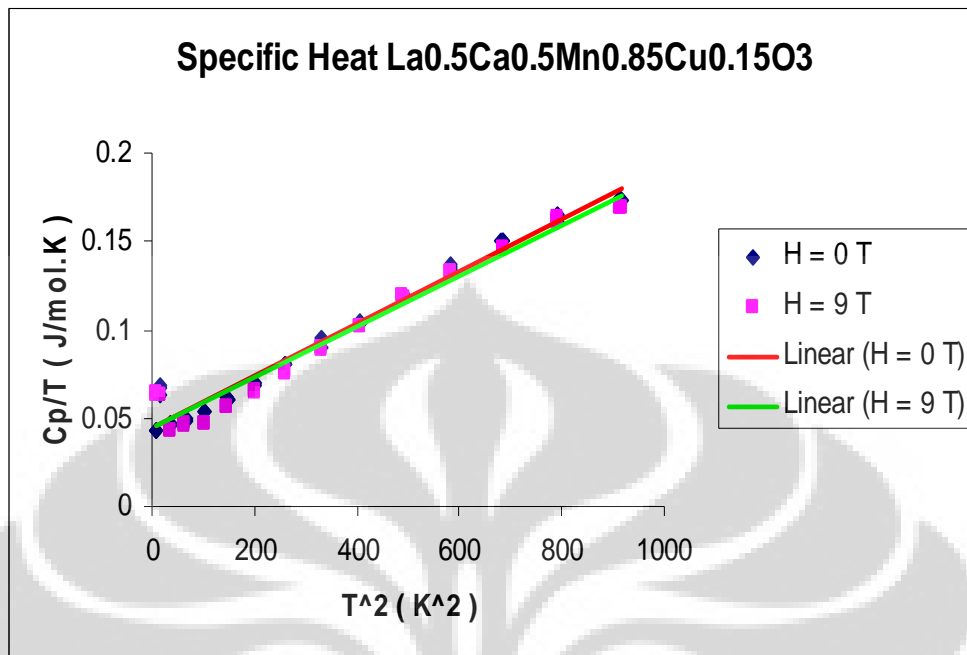
Gambar 4.4. (a). Grafik C_p terhadap T pada sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.85}\text{Cu}_{0.15}\text{O}_3$ tanpa medan magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan medan magnet 9 T.
 (b). Grafik perkiraan temperatur Neel (T_N).
 (c). Grafik C_p terhadap T untuk temperatur rendah.

Untuk sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.85}\text{Cu}_{0.15}\text{O}_3$ memberikan informasi-informasi mengenai kontribusi C yang relevan dapat dicari pada kisaran nol. Analisis data-data pada sampel ini dibatasi hanya 3 K dimana hyperfine yang berhubungan

dengan pemisahan atom yang disebabkan oleh medan magnet lokal yang besar dari spin inti Mn dan Cu. Kontribusi-kontribusi yang bermacam-macam biasanya digunakan untuk mencari specific heat pada temperatur rendah. Phonon yang muncul dari getaran pola-pola geometris pada atom-atom harus dimasukkan. Pada tingkat temperatur rendah, sebagai contoh $T \leq 31$ K, kontribusi dapat mudah diperkirakan dengan menggunakan rumus βT^3 (rumus T^5 , T^7 , dan T^9 dapat pula digunakan untuk menganalisis pada temperatur yang lebih tinggi). Walaupun tidak ada pembawa muatan, kontribusi untuk C diharapkan dapat muncul pada campuran $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$ yang memiliki bentuk kontribusi temperatur linear. γT , dimana γ adalah proporsional terhadap kepadatan pada bagian level Fermi, banyak sistem isolator menunjukkan adanya faktor linear pada specific heat.

Keistimewaan yang paling mencolok adalah adanya perubahan grafik yang terjadi pada temperatur T_N . Gambar 4.4. b menunjukkan perkiraan temperatur Neel pada kisaran 144 K. Karena pada temperatur 144 K bentuk dari grafik mengalami perubahan agak naik sedikit. Dari temperatur 3 K sampai 144 K grafik mengalami kenaikan yang konstan, di atas 144 K grafik mulai konstan lagi, ini disebabkan adanya anomali.

Gambar 4.4. (a) menunjukkan bahwa sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$ yang diberi medan magnet 9 T dan tanpa medan magnet tidak ada pengaruh yang begitu mencolok bahkan jika diamati seperti tidak ada perbedaannya. Jadi dengan memberikan medan magnet maupun tidak ada medan magnet ternyata tidak ada pengaruh yang cukup signifikan.



Gambar 4.5. C_p/T Terhadap T^2 Untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$.

Pada gambar 4.5. menunjukkan ketergantungan pengukuran specific heat pada temperatur rendah, antara 3 K sampai 31 K tanpa pengaruh medan magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan dengan medan magnet sebesar 9 T untuk sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$. Grafik C_p/T terhadap T^2 dalam rentang 3 K – 31 K menunjukkan kurva yang linear hal ini data cocok dengan $C_p = \gamma T + \delta T^{3/2} + \beta T^3$. Dari hasil persamaan $y = 0,0001x + 0,0441$ untuk sampel tanpa medan magnet sedangkan $y = 0,0001x + 0,0439$ untuk sampel yang dipengaruhi medan magnet 9 T. Kedua sampel tersebut baik yang dipengaruhi medan magnet 9 T maupun tanpa medan magnet diperoleh nilai $\beta = 0,0001 \text{ J/mol.K}^4$ yang sama besar. Jadi temperatur Debye kedua sampel sama besar yaitu 459,7314 K. Kontribusi lattice dari masing-masing sampel adalah $\gamma = 0,0441 \text{ J/mol.K}^2$ dan $\gamma = 0,0439 \text{ J/mol.K}^2$. Dari kontribusi lattice diperoleh energi ferminya sebesar $1,1267 \times 10^{25} \text{ /eV.mol}$ dan $1,1216 \times 10^{25} \text{ /eV.mol}$.

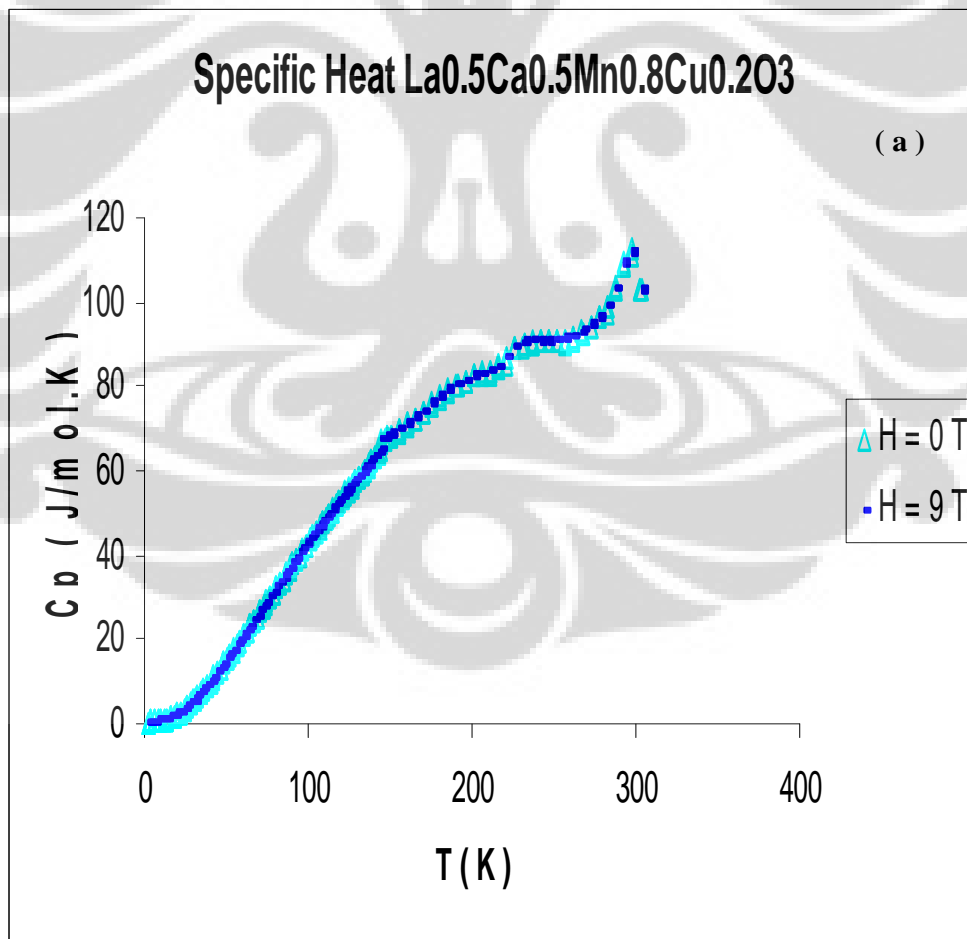
Hasil dari analisis untuk kedua sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$ dapat dilihat pada table 4.2. di bawah.

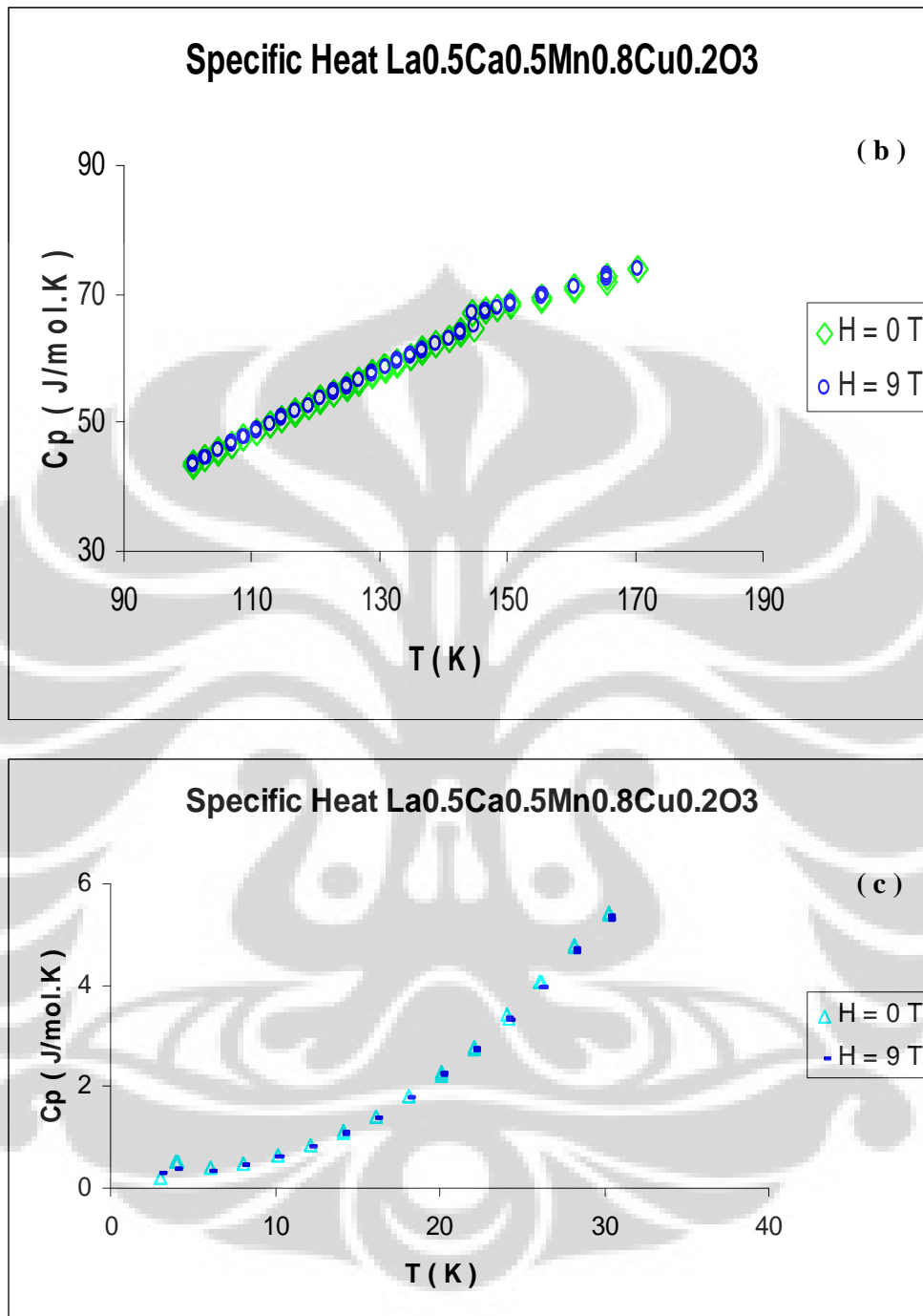
Tabel 4.2 : Hasil Analisis Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$

No	H (T)	γ (J/mol.K ²)	β (J/mol.K ⁴)	θ_D (K)	$N(E_F)$ (/eV.mol)
1.	0	0,0441	0,0001	459,7314	$1,1267 \times 10^{25}$
2.	9	0,0439	0,0001	459,7314	$1,1216 \times 10^{25}$

4.4. Sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.80}\text{Cu}_{0.20}\text{O}_3$

Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3$ juga diukur dengan menggunakan medan magnet ($H = 9 \text{ T}$) dan tanpa medan magnet ($H = 0 \text{ T}$). Pada gambar 4.6. memperlihatkan data specific heat (C_p) di atas kisaran 3 K – 303 K.

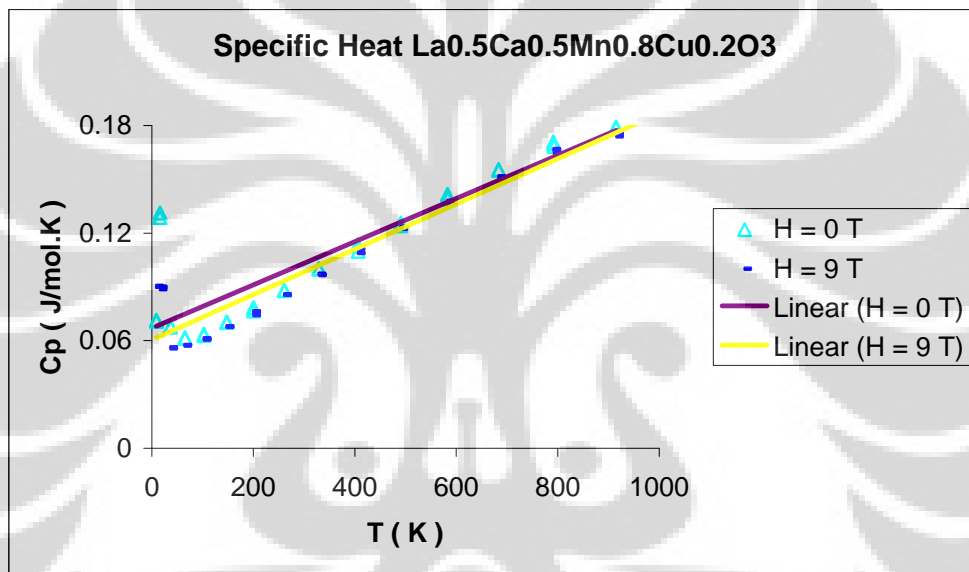




Gambar 4.6. (a). Kurva Cp Terhadap T Pada Sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_3$ Tanpa Medan Magnet ($H = 0 \text{ T}$). b. Grafik Perkiraan Temperatur Neel (T_N). c. Grafik Cp Terhadap T untuk Temperatur Rendah.

Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3$ yang dianalisis dengan menggunakan medan magnet 9 T dan tanpa medan magnet tidak menunjukkan perubahan yang begitu mencolok. Kedua sampel dapat dilihat pada gambar 4.5. (a) bahwa kedua sampel memiliki sifat yang sama yaitu hyperfine, phonon dan sifat-sifat kemagnetan yang sama.

Gambar 4.6.(b) bisa dilihat perubahan grafiknya, dimana ini terjadi pada kisaran temperatur 144 K



Gambar 4.7. C_p/T Terhadap T^2 Untuk Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3$.

Pada gambar 4.7. menunjukkan ketergantungan pengukuran specific heat pada temperatur rendah, antara 3 K sampai 31 K tanpa pengaruh medan magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan dengan medan magnet sebesar 9 T untuk sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_3$. Grafik C_p/T terhadap T^2 dalam rentang 3 K – 31 K menunjukkan kurva yang linear hal ini data cocok dengan $C_p = \gamma T + \delta T^{3/2} + \beta T^3$.

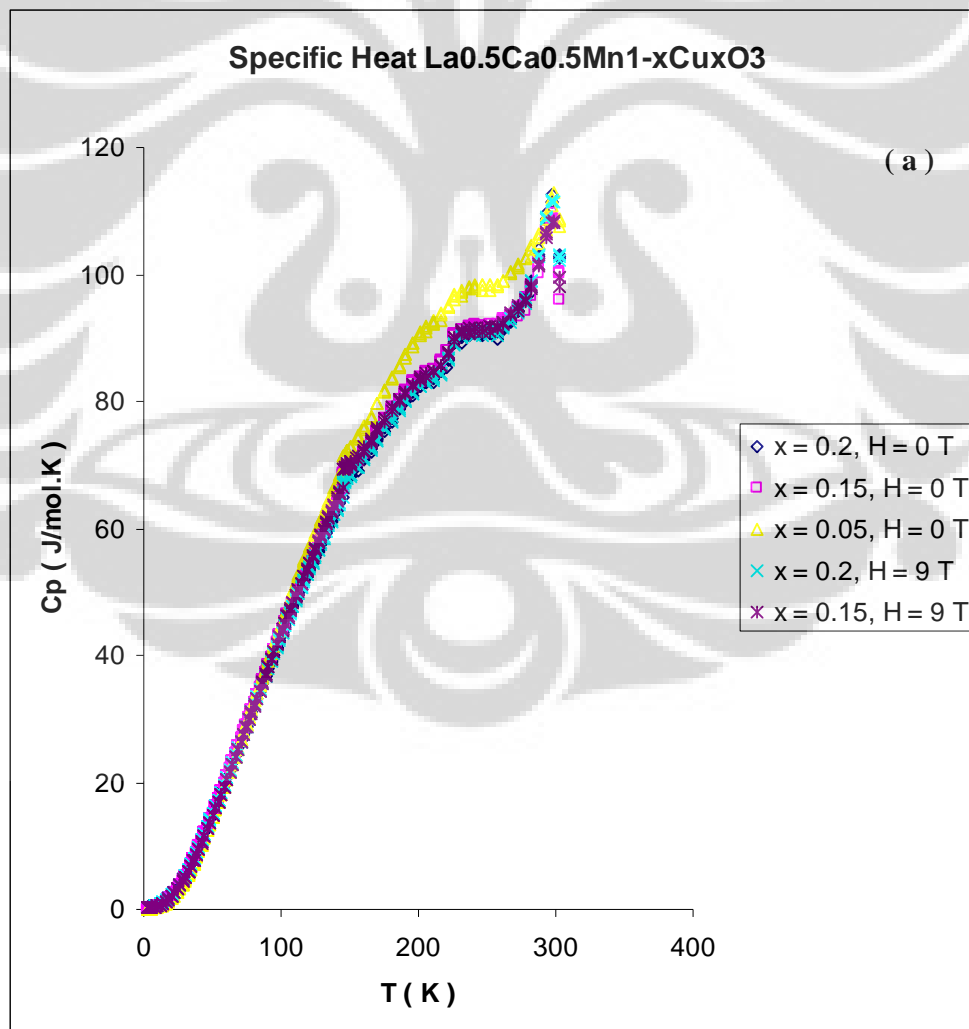
Dari hasil persamaan $y = 0,0001x + 0,0670$ untuk sampel tanpa medan magnet sedangkan $y = 0,0001x + 0,0605$ untuk sampel yang dipengaruhi medan magnet 9 T. Kedua sampel tersebut baik yang dipengaruhi medan magnet 9 T maupun tanpa medan magnet diperoleh nilai $\beta = 0,0001 \text{ J/mol.K}^4$ yang sama besar. Jadi temperatur Debye kedua sampel sama besar yaitu 459,7314 K. Kontribusi lattice

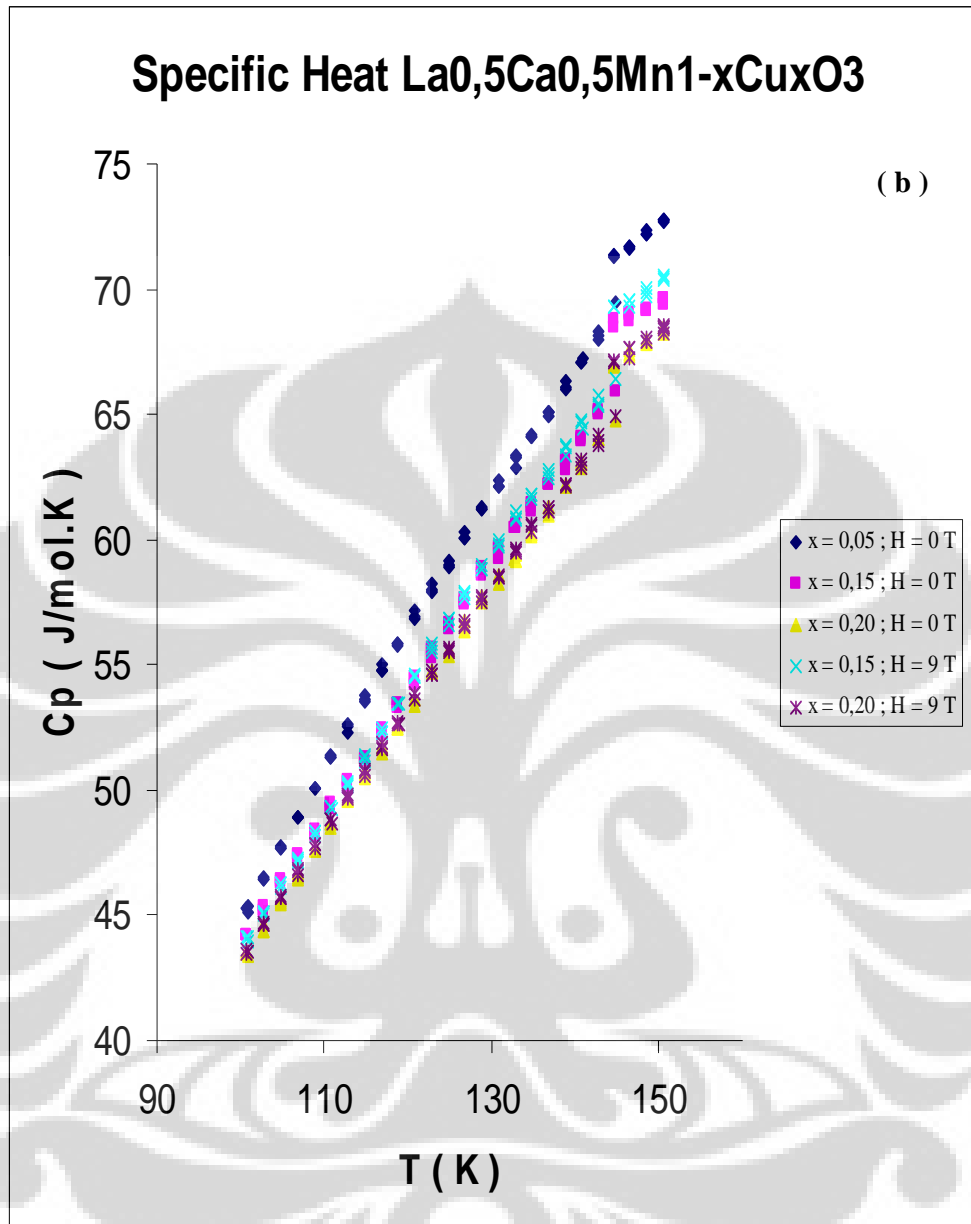
dari masing-masing sampel adalah $\gamma = 0,0670 \text{ J/mol.K}^2$ dan $\gamma = 0,0605 \text{ J/mol.K}^2$. Dari kontribusi lattice diperoleh energi ferminya sebesar $1,7117 \times 10^{25} \text{ /eV.mol}$ dan $1,5457 \times 10^{25} \text{ /eV.mol}$.

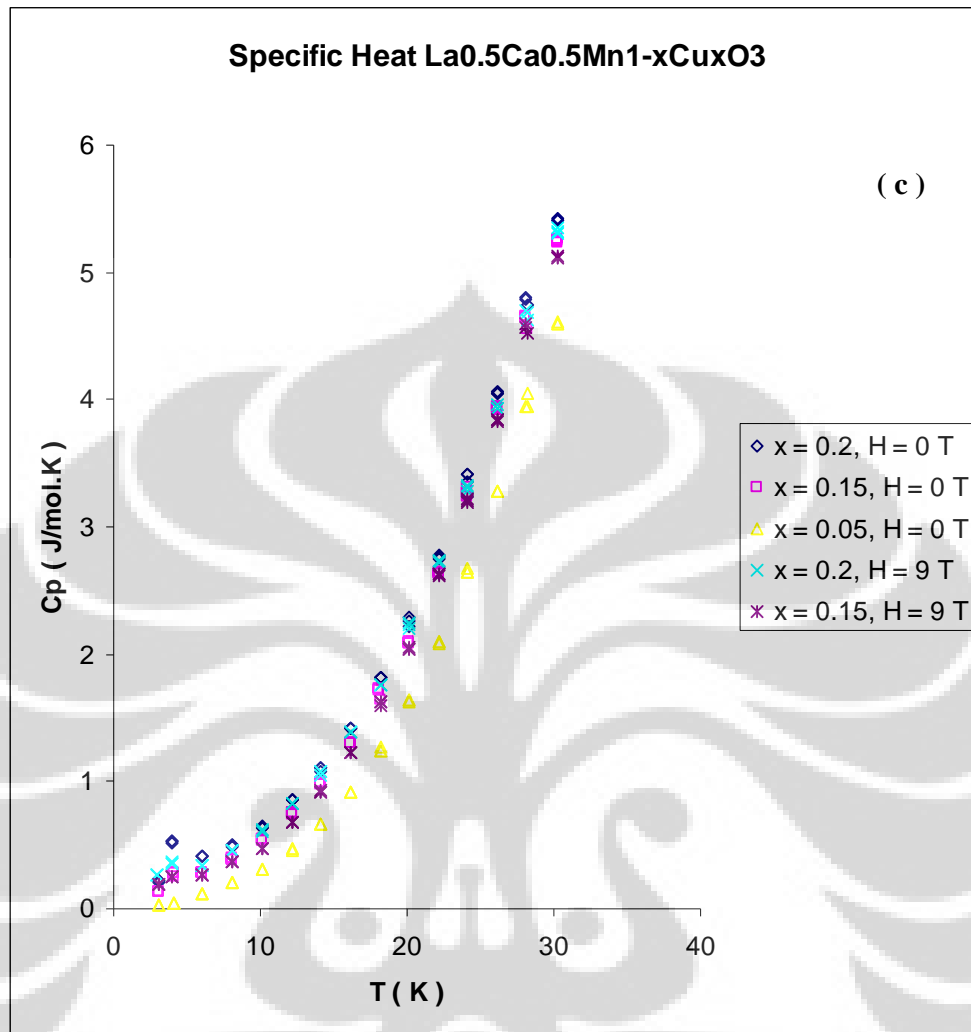
Tabel 4.3 : Hasil Analisis Sample $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_3$

No.	H (T)	γ (J/mol.K ²)	β (J/mol.K ⁴)	θ_D (K)	$N(E_F)$ (/eV.mol)
1.	0	0,0670	0,0001	459,7314	$1,7117 \times 10^{25}$
2.	9	0,0605	0,0001	459,7314	$1,5457 \times 10^{25}$

4.5. Gabungan dari nilai x





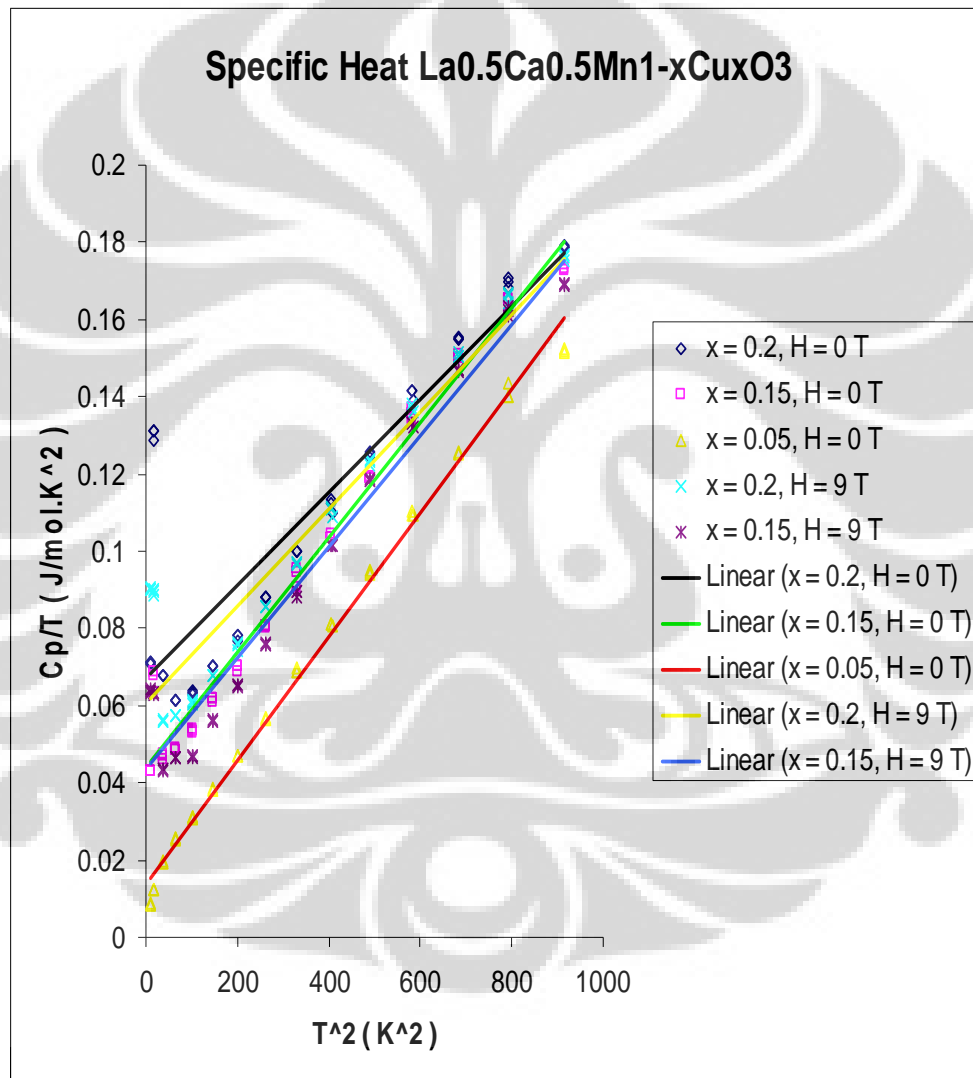


Gambar 4.8. (a). Grafik Cp Terhadap T Pada Sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ Tanpa Medan Magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan Medan Magnet 9 T. (b). Grafik Perkiraan Temperatur Neel (T_N). (c). Grafik Cp Terhadap T Untuk Temperatur Rendah.

Pada gambar di atas menunjukkan kurva Cp terhadap T di bawah temperatur 31 K. Kontribusi yang relevan untuk panas jenis pada temperatur rendah dapat memenuhi syarat sebagai berikut :^[10]

- (i). Fononik C_{lat} yang berhubungan dengan getaran pola-pola geometris dari molekul-molekul atom.
- (ii). Hyperfine C_{hyp} yang berhubungan dengan level pemisahan atom yang disebabkan medan magnet lokal yang luas pada putaran-putaran nuklir dari unsur Mn dan Cu.

- (iii). Kelinearan pada temperature C_p yang berhubungan dengan penyebaran partikel bebas dari efek-efek disorder.
- (iv). Magnetik C_{mag} yang berhubungan dengan gelombang spin.
- Pemisahan fase ferromagnetik pada titik nol sangatlah sedikit dianggap tidak ada pengaruhnya terhadap panas jenis.



Gambar 4.9. Grafik C_p/T Terhadap T^2 Untuk Sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ Tanpa Medan Magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan Medan Magnet 9 T.

Gambar 4.9 menunjukkan ketergantungan pengukuran specific heat dengan temperatur, antara 3 K – 31 K. Untuk kristal $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$ dengan $x = 0,05; 0,15; \text{ dan } 0,2$, pengukuran dilakukan tanpa pengaruh medan magnet ($H = 0 \text{ T}$) dan menggunakan medan magnet ($H = 9 \text{ T}$). Data yang tergambar pada C_p/T terhadap T^2 digunakan untuk memudahkan dalam penafsiran. Dari semua sampel ternyata menunjukkan sifat yang hampir linear dan tidak tergantung oleh medan magnet. Hasil perhitungan dari gambar 4.9 dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 : Hasil Analisis Sample $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_3$

Sampel	H (T)	γ (J/mol.K ²)	β (J/mol.K ⁴)	θ_D (K)	N (E _F) (/eV.mol)
x = 0,05	0	0,0138	0,0002	364,8890	$3,5256 \times 10^{24}$
x = 0,15	0	0,0441	0,0001	459,7314	$1,1267 \times 10^{25}$
	9	0,0439	0,0001	459,7314	$1,1216 \times 10^{25}$
x = 0,20	0	0,0670	0,0001	459,7314	$1,7117 \times 10^{25}$
	9	0,0605	0,0001	459,7314	$1,5457 \times 10^{25}$

Kenaikkan temperatur Debye tidak terlalu signifikan sehingga kekosongan dari sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ tidak terisi. Nilai dari temperatur Debye untuk sampel $\text{LaMnO}_{3+\delta}$ dalam jangkauan 370 K – 500 K (L. Ghivelder, dkk.). Untuk sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ diperoleh temperatur Debye kisaran 365 K – 460 K.

Pengukuran-pengukuran panas jenis pada temperatur rendah memberikan informasi penting tentang ground state. Gambar 4.9 menunjukkan ketergantungan pengukuran panas jenis dengan temperatur rendah, antara 3 K sampai 31 K, untuk kristal $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ dalam penelitian dengan $H = 0$ dan 9 T. Data yang tergambar sebagai C/T terhadap T^2 untuk mempermudah penafsiran. Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$ menunjukkan suatu sifat yang hampir linear karena tidak

ada pengaruh medan magnet. Selain itu, adanya medan magnet maupun tanpa medan magnet sangat mempengaruhi sifat temperatur rendah ($T < 10 \text{ K}$) dari sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$. Kurva panas jenis untuk semua sampel tidak berubah karena medan magnet yang diterapkan, tapi tidak linear pada temperatur di bawah 10 K. Garis yang berkesinambungan pada gambar 4.10 menunjukkan kecocokan data eksperimen antara 3 K sampai 31 K, dengan penjabaran sebagai berikut :

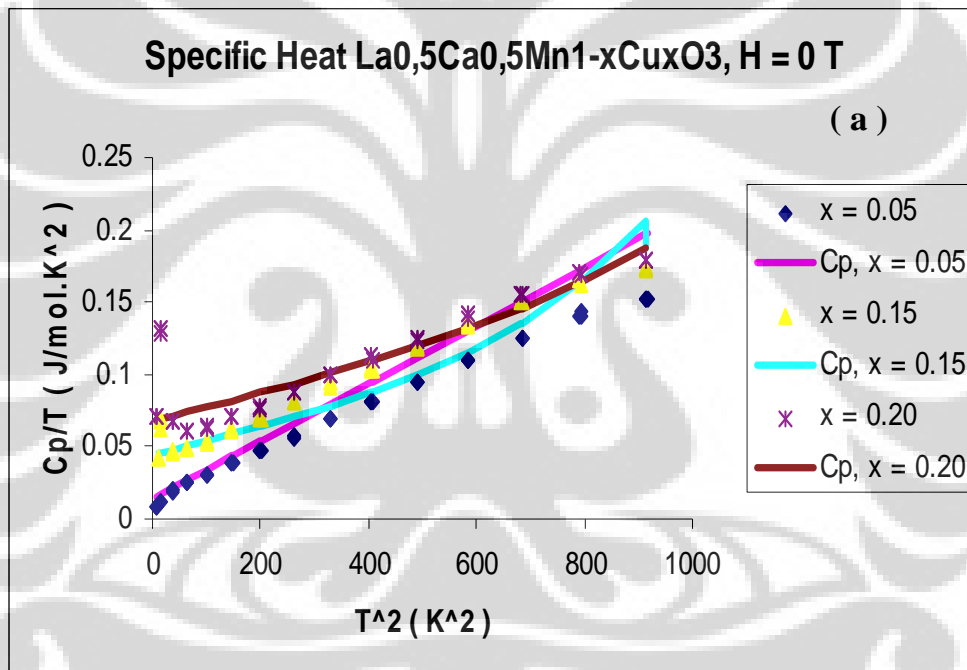
$$C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2}$$

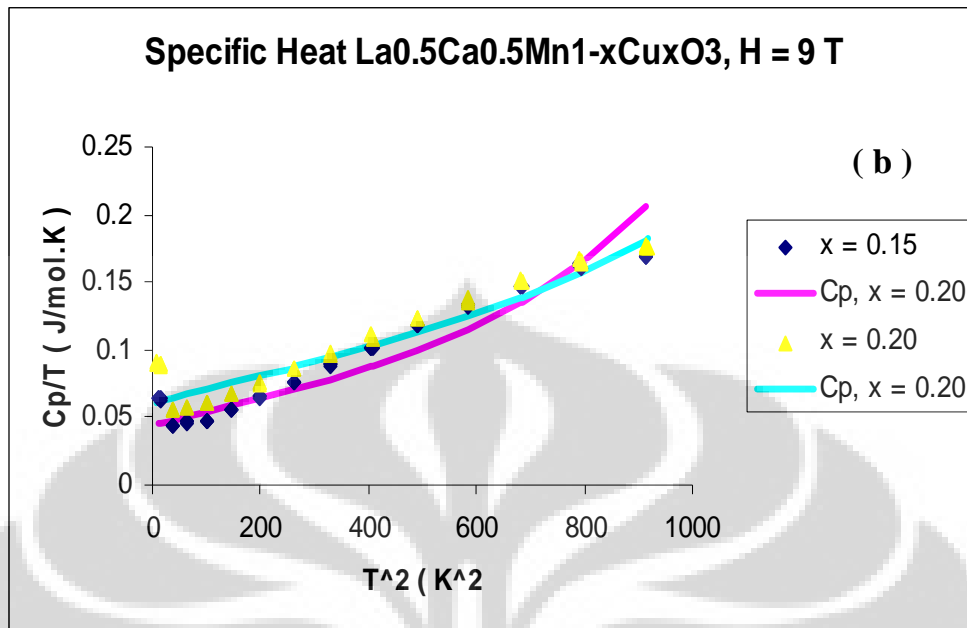
Keseluruhan interval temperatur, antara 3 K sampai 31 K, memungkinkan untuk dicocokkan dengan nilai-nilai dasar n dari 0 sampai 4. C adalah panas jenis. T adalah temperatur dan β adalah parameter-parameter yang mewakili kontribusi dari interaksi-interaksi elektron (β_1), gelombang ferromagnetik spin ($\beta_{3/2}$), dan kontribusi phonon (β_3 , β_5 , β_7 , dan β_9). Koefisien β_1 ($n = 0$) juga diketahui sebagai γ , dan β_3 ($n = 1$) sebagai β . Hasil dari pencocokan data panas jenis ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Dari Pencocokan Hukum $C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2}$, Dengan n Dari 0 ke 4, Untuk Ketiga Kristal Tunggal Yang Dipelajari Dengan H = 0 dan 9 T. Unit-unitnya Adalah J/mol.K^3

Sampel	H (T)	β_1	β_3	β_5	β_7	β_9	$\beta_{3/2}$
x = 0.05	0	0,0138	2×10^{-4}	$1,11 \times 10^{-13}$	$1,21 \times 10^{-17}$	$1,4 \times 10^{-18}$	9×10^{-11}
x = 0.15	0	0,0441	1×10^{-4}	$1,2 \times 10^{-9}$	1×10^{-14}	1×10^{-13}	4×10^{-9}
	9	0,0439	1×10^{-4}	$1,2 \times 10^{-9}$	1×10^{-14}	1×10^{-13}	4×10^{-9}
x = 0.20	0	0,0670	1×10^{-4}	1×10^{-9}	1×10^{-11}	3×10^{-14}	2×10^{-12}
	9	0,0605	1×10^{-4}	1×10^{-9}	1×10^{-11}	3×10^{-14}	2×10^{-12}

Perlu ditekankan bahwa persenyawaan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ membuat ion-ion magnetik Mn dan Cu dibatasi dalam taraf tinggi yang disekat oleh lapisan-lapisan La_2O_3 dan CaCO_3 . Meskipun demikian, persenyawaan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ memperlihatkan suatu sifat magnetik yang sama yaitu quasi - 2D, ion - ion Mn tersusun secara ferromagnetik. Oleh karena itu sebagaimana terlihat pada gambar 4.10, kontribusi medan magnetik yang terukur tidak terlalu banyak untuk temperatur rendah.



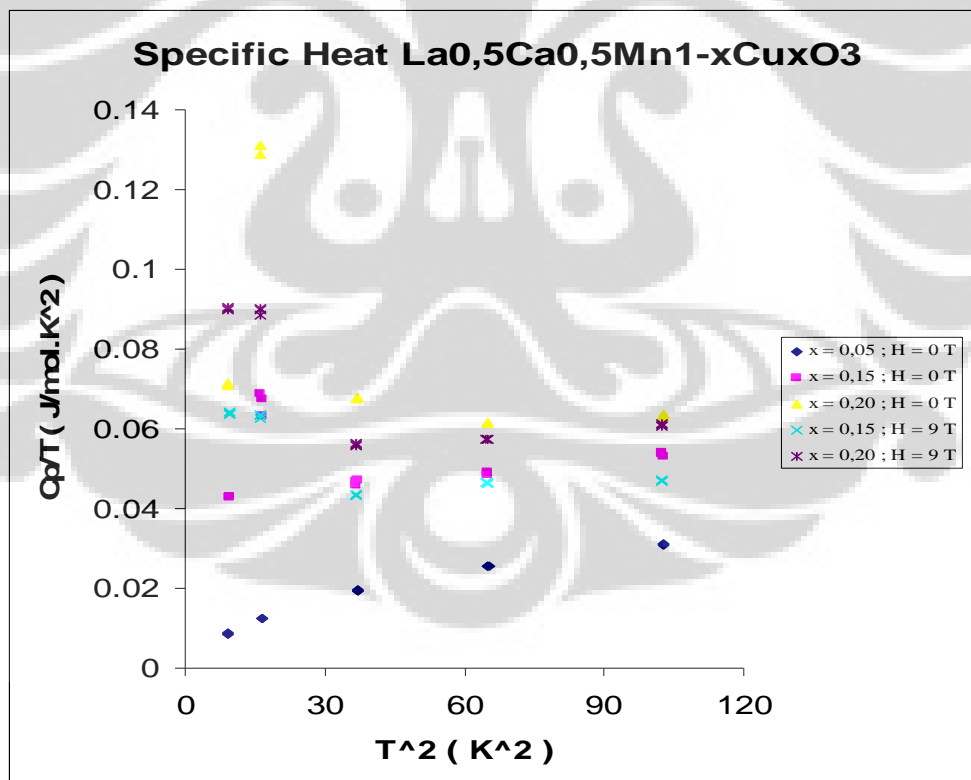


Gambar 4.10. (a) dan (b) Kurva Pencocokan $C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2}$

Dari pengukuran resistivitas, sampel-sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.95}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.85}\text{Cu}_{0.15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.80}\text{Cu}_{0.20}\text{O}_3$ adalah insulator-insulator elektrik pada temperatur rendah, dan penerapan medan magnet sampai 9 T ternyata tidak cukup kuat untuk menjelaskan karakteristiknya. Jangan diharapkan pada ketiga kristal adanya kontribusi linear dari elektron-elektron bebas dalam panas jenis. Sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.95}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.85}\text{Cu}_{0.15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.80}\text{Cu}_{0.20}\text{O}_3$ adalah metallic di bawah 100 K. Hasil dari pencocokan menunjukkan bahwa nilai-nilai β_5 dan β_7 adalah nilainya semakin besar untuk semua sampel. Untuk memudahkan dapat lihat pada gambar 4.10, data untuk kristal $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.80}\text{Cu}_{0.20}\text{O}_3$ pada temperatur di bawah 11 K. Simbol-simbol tertutup untuk pengukuran dengan $H = 0$ T pada sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.95}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_3$ dan yang terbuka untuk pengukuran dengan $H = 0$ dan 9 T pada sampel $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.85}\text{Cu}_{0.15}\text{O}_3$ dan $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_{0.80}\text{Cu}_{0.20}\text{O}_3$.

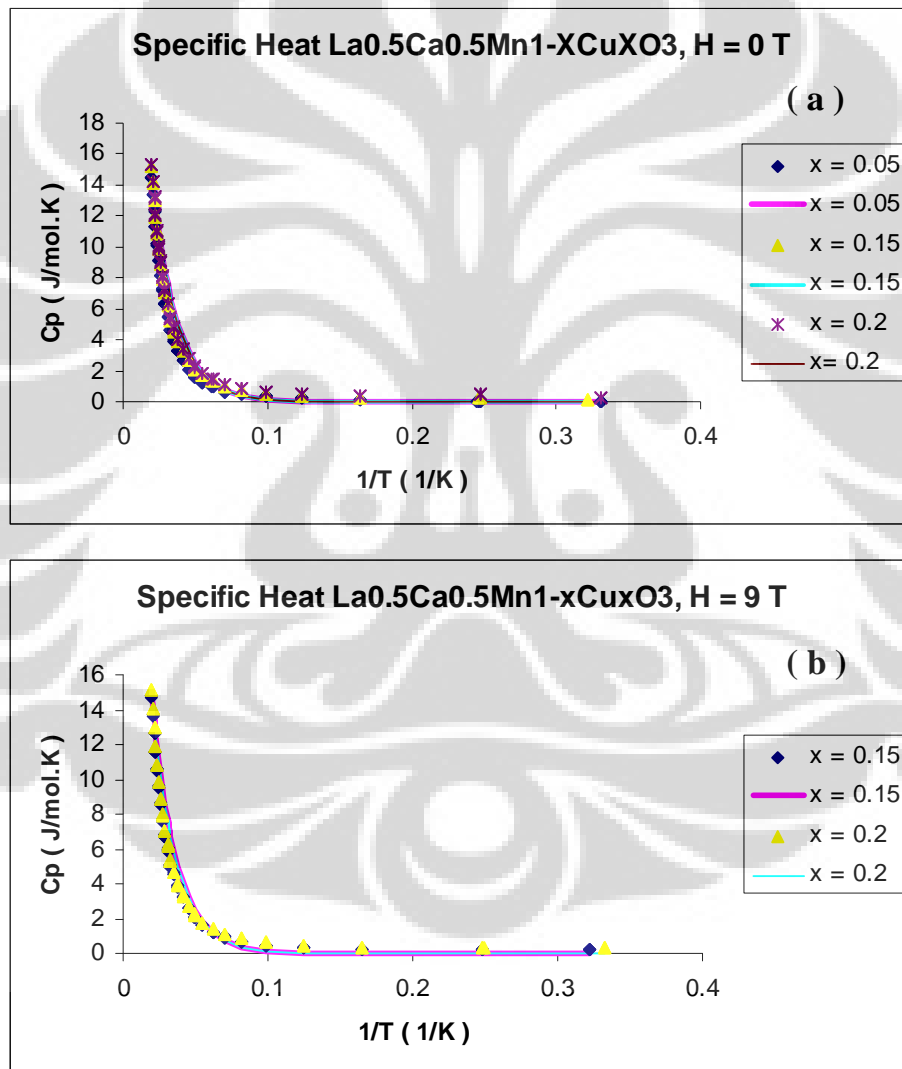
Okuda et al. menemukan bahwa penurunan *specific heat* pada temperatur rendah, yang disebabkan oleh penerapan medan magnetic 9T, adalah sepuluh kali lebih besar untuk sampel $\text{La}_{1.35}\text{Sr}_{1.65}\text{Mn}_2\text{O}_7$ dari nilai-nilai yang teramati pada sampel $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ (dengan $x = 0.3$ dan 0.4). Mereka juga memperhitungkan

penurunan teoritik dalam panas jenis pada penerapan suatu medan magnetic untuk *simple-cubic* (3D) ideal dan *simple-square* (2D) *lattice*, dan menyimpulkan bahwa perubahan yang terlihat pada panas jenis untuk *bilayered manganite* adalah besar, tapi masih lebih kecil untuk 2D *ferromagnetisme* ideal. Lagi pula, Okuda et al. melaporkan nilai-nilai dari $\beta_1 = 3 \text{ mJ/mol.K}^2$ untuk sebuah sampel $\text{La}_{1,35}\text{Sr}_{1,65}\text{Mn}_2\text{O}_7$, dengan nilai lebih kecil dari yang telah kami temukan. Karena nilai-nilai β_1 hampir mirip dengan yang ditemukan pada ketiga perovskites dimensional, seperti $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$, mereka menyimpulkan bahwa dimensionalitas tidak mempengaruhi nilai dari interaksi elektron-elektron. Meskipun demikian, hasil akhir yang sudah dicoba memperlihatkan bahwa pembatasan quasi 2D pada elektron-elektron sungguh dapat menaikan interaksi konstan elektron-elektron bila dibandingkan dengan interaksi 3D.^[6]



Gambar 4.11. Data Untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ Pada Temperatur Di Bawah 11 K.

Sebagaimana diharapkan, suatu istilah tipe $T^{3/2}$ muncul untuk semua sampel karena interaksi-interaksi ferromagnetiknya. Dari pencocokan diperoleh nilai $T^{3/2}$ kisaran 2 piko sampai 4 nano $J/mol.K^{5/2}$. Nilai-nilai $\beta_{3/2}$ yang diperoleh, untuk dan $La_{0.5}Ca_{0.5}Mn_{0.80}Cu_{0.20}O_3$ kira-kira sebanding dengan interaksi 3D dan menyalin secara kasar penggunaan medan magnetic 9 T. Gambar 4.6 (juga pada gambar 4.10) menunjukkan bahwa kurva-kurva $La_{0.5}Ca_{0.5}Mn_{0.95}Cu_{0.05}O_3$ membuat gerakan menurun ketika temperatur dalam keadaan rendah pada $H = 0$, dan daerah ini tidak dicocokkan dengan baik oleh persamaan 2.2.



Gambar 4.12. Penghitungan Kembali Data Panas Jenis Pada Interval Temperatur Rendah (Di bawah 51 K) Untuk Sampel $La_{0.5}Ca_{0.5}Mn_{0.95}Cu_{0.05}O_3$, $La_{0.5}Ca_{0.5}Mn_{0.85}Cu_{0.15}O_3$, dan $La_{0.5}Ca_{0.5}Mn_{0.80}Cu_{0.20}O_3$.

Pada gambar 4.12, menunjukkan data panas jenis pada interval temperatur dibawah 51 K untuk kristal - kristal $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$. Sumbu x sekarang adalah sebanding dengan pembalikan temperatur dan sumbu y dipresentasikan dalam skala *logarithmic* untuk mempermudah perbandingan/komparasi dengan suatu hukum *exponential decay*. Pada kedua, $H = 0$ dan 9 T , poin-poin data dicocokkan dengan baik menggunakan garis-garis lurus. Menurut J. Lopez, jarak energi yang telah diperkirakan (E_{gap}) pada kristal $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ adalah $0,3 \text{ meV}$ dan $0,57 \text{ meV}$ untuk zero dan 9 T , secara berurutan. Disisi lain, E_{gap} yang diperoleh pada kristal $\text{La}_{1,5}\text{Sr}_{0,5}\text{NiO}_4$ adalah $0,63 \text{ meV}$ dan $0,65 \text{ meV}$ untuk zero dan 9T . Sedangkan hasil dari perhitungan untuk kristal $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ mempunyai energi gap yang sama besar yaitu $5,178 \text{ meV}$. Pada sebuah superkonduktor suatu *exponential decay* ditafsirkan sebagai pembuka dari suatu *gap* dalam struktur elektronik. Akan tetapi, sampel yang diukur, berbeda dengan superkonduktor, tidak menunjukkan ketergantungan yang dapat diamati dengan sebuah medan magnetic sampai 9T . Bila suatu teori BSC menjadi valid pada kristal ini $E_{\text{gap}} = \frac{7}{2}k_B T_c$, sampel harus mempunyai suatu suhu kritis yang sesuai (T_c), untuk sampel yang diukur tidak begitu kelihatan suhu kritisnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ dari hasil XRD menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan Cu, maka volume kisi bertambah besar. Hasil dari pendopongan Cu pada Mn hanya mengubah parameter kisi, tapi tidak mengubah struktur kristalnya, yaitu *orthorombic Pnma*. Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$ memiliki temperatur Debye sebesar 364,8890 K, sedangkan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ memiliki temperatur Debye sebesar 459,7314 K. Energi Fermi dari sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$ sebesar $3,5256 \times 10^{24}$ /eV.mol tanpa medan magnet. Energi Fermi untuk sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$ sebesar $1,1267 \times 10^{25}$ /eV.mol tanpa medan magnet sedangkan yang dipengaruhi medan magnet 9 T sebesar $1,1216 \times 10^{25}$ /eV.mol. Energi Fermi untuk sampel $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ sebesar $1,7117 \times 10^{25}$ /eV.mol tanpa medan magnet sedangkan yang dipengaruhi medan magnet 9 T sebesar $1,5457 \times 10^{25}$ /eV.mol.

Kristal - kristal tunggal $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ digolongkan dengan pengukuran magnetisasi dan specific heat. Senyawa bilayer $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ menunjukkan suatu transisi ferromagnetic. Rangsangan-rangsangan spin-wave pada struktur bilayer $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ tertekan oleh suatu medan magnetic 9 T sebagaimana ditunjukkan oleh pengukuran-pengukuran specific heat. Hal ini dihubungkan dengan dimensionalitas magnetic. Pengaruhnya lebih besar dari kasus senyawa-senyawa 3D, tapi tidak sebesar seperti yang diharapkan pada suatu system 2D ideal. dengan gerakan kebawah (downward turn) pada specific heat.

Dibawah 51 K, ditemukan bahwa data specific heat untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ dapat dicocokkan dengan hukum *exponential decay*. Dari pencocokan itu, dapat

diperkirakan karakteristik energi gap untuk $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,95}\text{Cu}_{0,05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}_3$, dan $\text{La}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Mn}_{0,80}\text{Cu}_{0,20}\text{O}_3$ sebesar 5,178 meV.

5.2. Saran

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui panas jenis pada temperatur rendah dengan model $C = \sum \beta_{2n+1} T^{2n+1} + \beta_{3/2} T^{3/2}$. Karena terbatas penulis maka disarankan untuk :

1. Menganalisis panas jenis dengan menggunakan Metode Schottky caranya adalah mengukur factor g lande.
2. Menganalisis panas jenis pada temperatur tinggi. Fenomena apa yang akan terjadi pada temperatur tinggi.
3. Menganalisis susceptibilitas, entropi dan sifat-sifat kemagnetan lainnya baik pada temperatur rendah maupun temperatur tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.J. Hamilton, E. L. Keatiey, H. L. Ju, A. K. Raychaudhuri, V. N. Smolyaninova, and R. L. Greene, *Low-Temperatur specific heat of $La_{0,67}Ba_{0,33}MnO_3$ and $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$* , Jurnal Physical Review, Vol. 54, No. 21, December 1996.
- [2] Myron B. Salomon & Marcelo Jaime, *The Physics of Manganite: Structure and Transport*, Reviews of Modern Physics, Volume 73, July 2001.
- [3] J.-Q. Yan, J.-S. Zhou, and J.B. Goodenough, *Unusually Strong Orbit-Lattice Interactions in the RVO_3 Perovskites*, Physical Review Letters, PRL 93, 23590 (2004), 3 December 2004.
- [4] G.H. Blake and T.T.M. Palstra, Y. Ren, A.A. Nugroho[†] and A.A. Menovsky, *Transition Between Orbital Orderings In YVO_3* , Physical Review Letters, Volume 87, Namber 24, 10 December 2001
- [5] E. Granado, R.R. Urbano, C.A. Perez, C. Azimonte, J.W. Lynn, R.A. Souza, N.M. Swoza-Neto, A.Y. Ramos, G.L. Bychkov, S.V. Shiryayev, and S.N. Barilo, *Strong orbital correlations in a Fe-substituted spin-glass-manganite*, Physical Review B **72**, 052406 (2005), 22 Agustus 2005.
- [6] J. L'opez and O. F. de Lima, C. A. Cardoso and F. M. Araujo-Moreira, D. Prabhakaran, *Comparative study of specific heat measurements in $LaMnO_3$, $La_{1,35}Sr_{1,65}Mn_2O_7$, $La_{1,5}Sr_{0,5}NiO_4$ and $La_{1,5}Sr_{0,5}CoO_4$* , Brazil, 6 Agustus 2006.
- [7] A. Wahl, V. Hardy, C. Martin, Ch. Simon, Mar'echal Juin, *Magnetic contributions to the low-temperature specific heat of the ferromagnetic insulator $Pr_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$* , 14050 Caen Cedex, France, 19 Maret 2002.
- [8] V. N. Smolyaninova, Amlan Biswas, X. Zhang, K. H. Kim, Bog-Gi Kim, S-W. Cheong, and R. L. Greene, *Anomalous field-dependent specific heat in charge-ordered $Pr_{1-x}Ca_xMnO_3$ and $La_{0,5}Ca_{0,5}MnO_3$* , 11 April 2000.
- [9] L. Ghivelder* and I. Abrego Castillo, M. A. Gusmão, J. A. Alonso, L. F. Cohen, *Specific heat and magnetic order in $LaMnO_{3+\delta}$* , Brazil, 16 April 1999.
- [10] A.K.Raychaudhuri [†] and Ayan Guha, I.Das and R. Rawat, C.N.R. Rao, *Specific heat study of single crystalline $Pr_{0,63}Ca_{0,37}MnO_3$ in presence of a magnetic field*, India, 20 Mei 2001.

- [11] V. Hardy, A. Wahl, C. Martin, and Ch. Simon, *Low-temperature specific heat in Pr_{0.63}Ca_{0.37}MnO₃: Phase separation and metamagnetic transition*, Physical Review B, Volume 63, 224403, 8 May 2001.
- [12] Charles Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, sixth edition, United States of America, 1986.
- [13] Allan Henry Morrish, *Canted Antiferromagnetism : Hematite*, Department of Physics, University of Manitoba, Canada, July 1994.
- [14] L. Sudheendra, A.R. Raju and C.N.R. Rao, *A Systematic study of four series of electron-doped rare earth manganates, Ln_xCa_{1-x}MnO₃ (Ln=La, Nd, Gd and Y) over the x=0,02 – 0,25 composition range*, Chemistry and Physics of Material Unit, India.
- [15] Gerald J. Vogt and Kenneth S. Pitzer, *Spin species conversion and the heat capacity of solid methane near 1 K*, University of California Berkeley, California, July 1975.
- [16] Gerald J. Vogt and Kenneth S. Pitzer, *Entropy and heat capacity of methane; spin-species conversion*, University of California Berkeley, California, July 1975
- [17] Budhy Kurniawan, *Novel Static and Dynamic Magnetic Properties in Quantum Spin System NH₄CuCl₃*, Tanaka Laboratory, Department of Physics, Faculty of Sciences, Tokyo Institute of Technology, December 1999.
- [18] Budi Siswanto, *Pengaruh Suhu Rendah Terhadap Proses Magnetisasi Bahan CaMnO₃*, Tesis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Indonesia, 2006.