

# PENGARUH PENAMBAHAN $Al_2O_3$ TERHADAP KARAKTERISTIK KERAMIK $CuFe_2O_4$ UNTUK TERMISTOR NTC

Wiendartun<sup>1)</sup>, Endi Suhendi<sup>1)</sup>, Andhy Setiawan<sup>1)</sup>, Dani Gustaman Syarif<sup>2)</sup>, Guntur DS<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Fisika FMIPA UPI, Jl.Dr Setiabudhi 229 Bandung, email: wien@upi.edu

<sup>2)</sup> PTNBR BATAN, Jl.Tamansari 71 Bandung,, email: danigustas@batan-bd.go.id

## Abstrak.

Pengaruh penambahan  $Al_2O_3$  terhadap karakteristik keramik  $CuFe_2O_4$  untuk thermistor NTC telah dilakukan. Keramik ini dibuat dengan cara mengepres serbuk bahan campuran homogen dari  $CuO$ ,  $Fe_3O_4$  dan  $Al_2O_3$  (0, 0,25 dan 0,75 % berat ) dengan komposisi yang sesuai untuk menghasilkan keramik berbasis  $CuFe_2O_4$  dan menyinter pellet hasil pengepresan pada suhu  $1100\text{ }^{\circ}C$  selama 2 jam di dalam atmosfer udara. Karakterisasi listrik dilakukan dengan cara mengukur resistivitas listrik keramik tersebut pada suhu bervariasi (  $25\text{ }^{\circ}C$ - $100\text{ }^{\circ}C$ ). Analisis struktur mikro dan struktur kristal dilakukan masing-masing dengan menggunakan mikroskop optik dan difraktometer sinar-x (XRD). Analisis XRD menunjukkan bahwa  $CuFe_2O_4$  tanpa dan dengan penambahan  $Al_2O_3$  mempunyai struktur kristal spinel tetragonal. Dari data XRD, tampilan untuk phase kedua tidak dapat teridentifikasi. Berdasarkan data listriknya diketahui bahwa penambahan  $Al_2O_3$  memperbesar konstanta thermistor (B) dan resistivitas listrik suhu ruang (  $\rho_{RT}$  ). Untuk keramik  $CuFe_2O_4$  diperoleh harga  $B = 2548$ - $2590\text{ }^{\circ}K$  dan  $\rho_{RT} = 290$ - $818\text{ }\Omega cm$ ), dari keramik berbasis  $CuFe_2O_4$  yang dibuat memenuhi kebutuhan pasar.

**Kata Kunci :** *Termistor, NTC,  $CuFe_2O_4$ ,  $Al_2O_3$*

## Abstract.

The effect of  $Al_2O_3$  addition on the characteristics of  $CuFe_2O_4$  ceramics for NTC thermistors has been studied. The ceramics were produced by pressing a homogenous mixture of  $CuO$ ,  $Fe_3O_4$  and  $Al_2O_3$  (0, 0.25 and 0.75 w/o) powders in appropriate proportions to produce  $CuFe_2O_4$  based ceramics and sintering the pressed powder at  $1100\text{ }^{\circ}C$  for 2 hours in air. Electrical characterization was done by measuring electrical resistivity of the ceramics at various temperatures ( $25\text{ }^{\circ}C$ - $100\text{ }^{\circ}C$ ). Microstructure and crystal structure analyses were carried out by using an optical microscope and x-ray diffractometer (XRD), respectively. The XRD analyses showed that the  $CuFe_2O_4$  with and without  $Al_2O_3$  addition have crystal structure of tetragonal spinel. The presence of second phase could not be identified from the XRD data. According to the electrical data, it was known that the  $Al_2O_3$  addition increased the thermistor constant (B) and the room temperature electrical resistivity ( $\rho_{RT}$ ). The value of B and ( $\rho_{RT}$ ) of the produced  $CuFe_2O_4$  ceramics namely  $B = 2548$ - $2590\text{ }^{\circ}K$  and  $\rho_{RT} = 290$ - $818\text{ }\Omega cm$ ), fitted market requirement.

**Key words :** *Thermistor, NTC,  $CuFe_2O_4$ ,  $Al_2O_3$*

## 1. PENDAHULUAN.

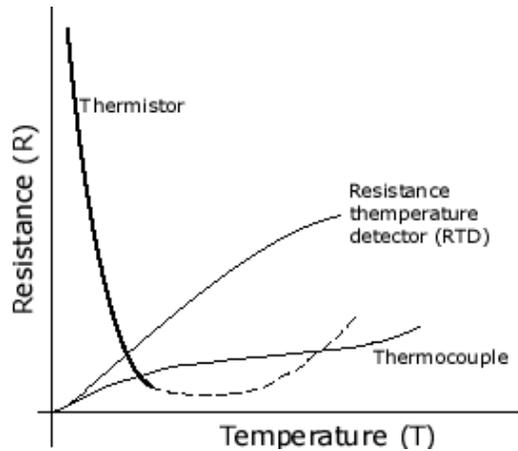
Thermistor NTC sudah sangat luas digunakan didunia, karena kemampuannya untuk digunakan di berbagai bidang elektronik seperti : pengukur suhu , pembatas arus listrik, sensor aliran air, sensor tekanan [1]. Telah dikenal bahwa sebagian besar termistor NTC dibuat dari keramik berstruktur spinel yang dibentuk oleh oksida logam transisi dengan rumus umum  $AB_2O_4$  dengan A adalah ion logam pada posisi tetrahedral dan B adalah ion logam pada posisi octahedral [2-10]. Banyak penelitian dilakukan untuk memperbaiki karakteristik termistor NTC berstruktur spinel [6, 7, 11]. Sejauh ini studi untuk mempelajari pengaruh penambahan  $Al_2O_3$  terhadap karakteristik spinel keramik  $CuFe_2O_4$  belum dilakukan.

Pada umumnya, keramik  $CuFe_2O_4$  digunakan sebagai magnet lunak [12-15] juga sebagai katalis [16-18 ], tetapi sebenarnya keramik  $CuFe_2O_4$  mempunyai kemampuan untuk menjadi thermistor NTC karena bersifat semi konduktif. Berdasarkan diagram fase  $CuO-Fe_2O_3$  [19], ada suatu daerah dimana komposisi keramik  $CuO$  dan  $Fe_2O_3$  bila dipanaskan pada suhu  $1100\text{ }^{\circ}C$  akan mempunyai sebuah struktur mikro yang berisi fase cair. Pada suhu ruang , material yang meleleh ini mungkin akan berada di batas butir. Secara teori material batas butir akan berpengaruh pada karakteristik keramik, khususnya pada karakteristik listrik. Pada saat zat aditif ( $Al_2O_3$ ) ditambahkan, karakteristik dari  $CuFe_2O_4$  akan berubah sebab kemungkinan ada dua kondisi. Kondisi itu adalah, pertama, aditif ( $Al_2O_3$ ) larut padat di dalam  $CuFe_2O_4$  dengan cara mensubstitusikan ion-ion Cu ataupun ion-ion Fe, kedua, aditif ( $Al_2O_3$ ) tidak dapat larut tetapi meleleh pada batas butir dan pada keadaan tertentu akan bereaksi dengan fase cair.

Pada saat kondisi pertama terbentuk , ketika substitusi dari  $Fe^{3+}$  dan / atau  $Cu^{2+}$  menghasilkan electron bebas pada pita konduksi, keramik  $CuFe_2O_4$  akan mempunyai resistivitas listrik yang rendah. Sebaliknya pada saat kondisi kedua terjadi, resistivitas listriknya mungkin semakin tinggi sebab keberadaan aditif ( $Al_2O_3$ ) dibats butir akan mengubah struktur mikronya. Di dalam penelitian kami sebelumnya [11], telah diketahui bahwa penambahan  $TiO_2$  , resistivitas listrik pada suhu ruang ( $\rho_{RT}$ ) dan konstanta thermistor (B) cenderung mengalami kenaikan. Pada penelitian ini kami ingin mengetahui bagaimana pengaruh penambahan  $Al_2O_3$  terhadap karakteristik keramik  $CuFe_2O_4$  untuk thermistor NTC, khususnya karakteristik listrik berdasarkan pada hipotesis yang disebutkan diatas Hasilnya dibandingkan dengan penelitian kami sebelumnya.

## **2 . TINJAUAN PUSTAKA**

Termistor NTC mempunyai karakteristik yang khas seperti gambar 1 dibawah ini



Gambar 1. Grafik hubungan antara Temperatur (T) dan Resistivitas listrik (R) untuk thermistor NTC dan sensor lainnya.

Tahanannya akan berkurang secara eksponensial, jika suhu termistor bertambah. Hubungan antara tahanan dan suhu termistor diekspresikan pada persamaan (1) [2-11]

$$R = R_0 \cdot \text{Eksp.}\left(\frac{B}{T}\right) \dots\dots\dots(1)$$

- Dengan  $R$  = Tahanan termistor (Ohm)
- $R_0$  = Tahanan termistor pada suhu awal (Ohm)
- $B$  = Konstanta termistor ( $^{\circ}\text{K}$ )
- $T$  = Suhu termistor ( $^{\circ}\text{K}$ )

Konstanta termistor (B) dari persamaan (1) dapat ditulis menjadi persamaan (2)[6],

$$B = \frac{\Delta E}{k} \dots\dots\dots(2)$$

- Dengan  $B$  = Konstanta termistor ( $^{\circ}\text{K}$ )
- $\Delta E$  = Energi aktivasi (eV),
- $K$  = Konstanta Boltzmann ( $\frac{eV}{^{\circ}\text{K}}$ )

Secara empiris konstanta B sering pula dihitung menggunakan persamaan (3)[1,2]

$$B = \frac{\ln \frac{R_2}{R_1}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan  $R_1 =$  Tahanan pada suhu  $T_1$   
 $R_2 =$  Tahanan pada suhu  $T_2$   
 $T_2 = 85^\circ\text{C} = 358,16^\circ\text{K}$   
 $T_1 = 25^\circ\text{C} = 298,16^\circ\text{K}$

Sensitivitas termistor dapat diketahui dengan memakai persamaan (4)[1,11],

$$\alpha = \frac{-B}{T^2} \dots\dots\dots(4)$$

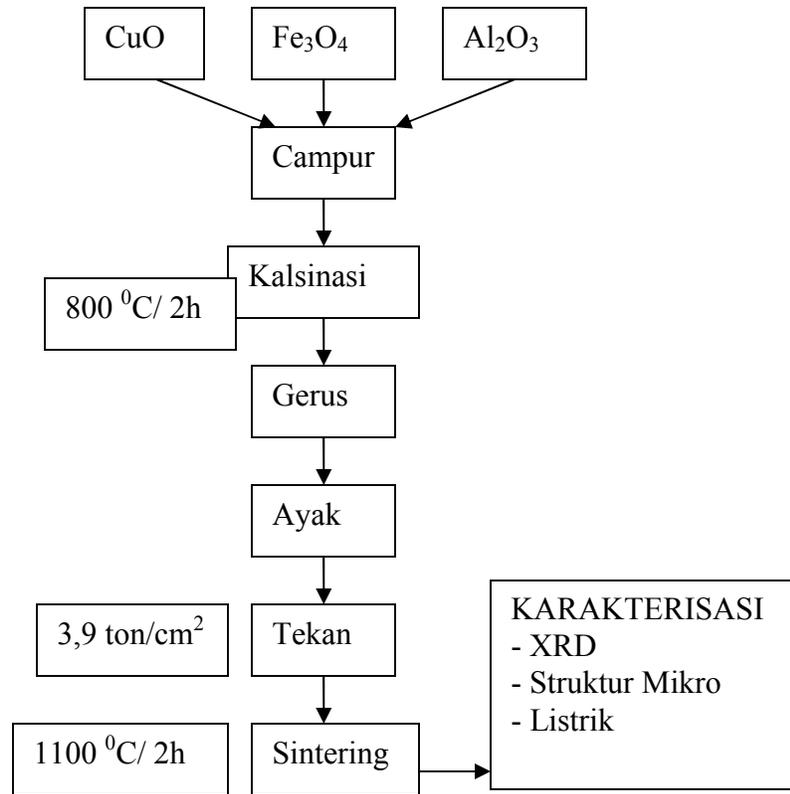
dengan  $\alpha =$  Sensitivitas termistor,  
 $B =$  Koefisien termistor dalam  $^\circ\text{K}$   
 $T =$  suhu dalam  $^\circ\text{K}$

Semakin besar harga  $\alpha$  dan  $B$ , kualitas termistor semakin baik.

### 3. METODE PENELITIAN

Serbuk  $\text{CuO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan aditif  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 0; 0,25 dan 0,75 % berat ditimbang dengan komposisi yang sesuai untuk membuat keramik berbasis  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ . Campuran serbuk tersebut dikalsinasi pada suhu  $800^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Setelah dikalsinasi serbuk campuran digerus dan diayak dengan ayakan yang berukuran  $< 38 \mu\text{m}$ . Serbuk hasil ayakan di press dengan tekanan  $4 \text{ ton/cm}^2$  sehingga membentuk pellet mentah. Setelah kering, pelet mentah kemudian disinter pada suhu  $1100^\circ\text{C}$  selama 2 jam dalam atmosfer udara tungku. Pelet hasil sinter dipotret untuk mengetahui penampilan visualnya.

Secara keseluruhan proses pembuatan keramik berbasis  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dengan aditif  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat diperlihatkan seperti diagram alir pada gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Diagram alir proses penelitian.

Struktur kristal dari pellet yang sudah disinter kemudian dianalisis dengan difraksi sinar-x (XRD) dengan menggunakan radiasi  $K\alpha$  pada tegangan 40 kV dan arus 25 mA. Setelah melalui proses pengampelasan secara berjenjang dengan kertas amplas yang berbeda ukuran (nomor), pellet dipoles dan dietsa secara termal. Struktur mikro dari pellet ini di eksaminasi dengan mikroskop optik. Karakterisasi listrik dilakukan setelah kedua sisi pellet hasil sinter dilapisi dengan pasta konduktif perak. Setelah perekatnya kering di suhu ruang dan dipanaskan pada suhu  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 10 menit . Karakterisasi listrik dilakukan melalui pengukuran resistvitas listrik pada berbagai suhu dari suhu  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan interval  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

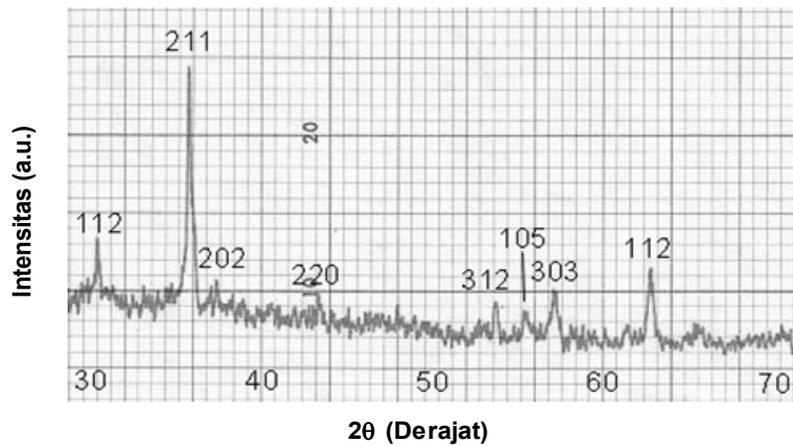
### 4.1. HASIL

Bentuk visual pellet keramik  $\text{CuF}_2\text{O}_4$  ditambah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ini dapat dilihat pada gambar 3, ternyata tampilan keramik ini terlihat baik.

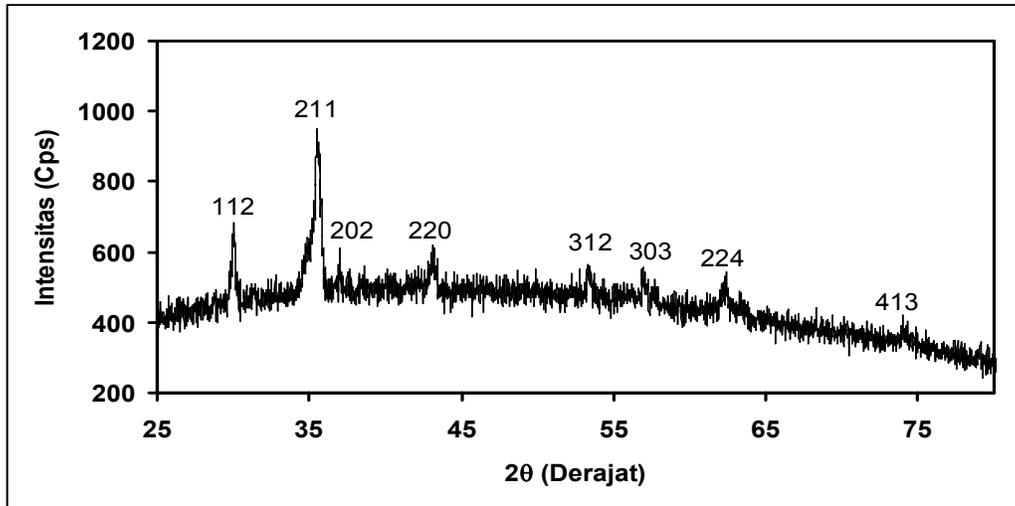


Gambar. 3. Penampilan visual pellet keramik  $\text{CuF}_2\text{O}_4$  ditambah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ternyata tampilan keramik ini terlihat baik.

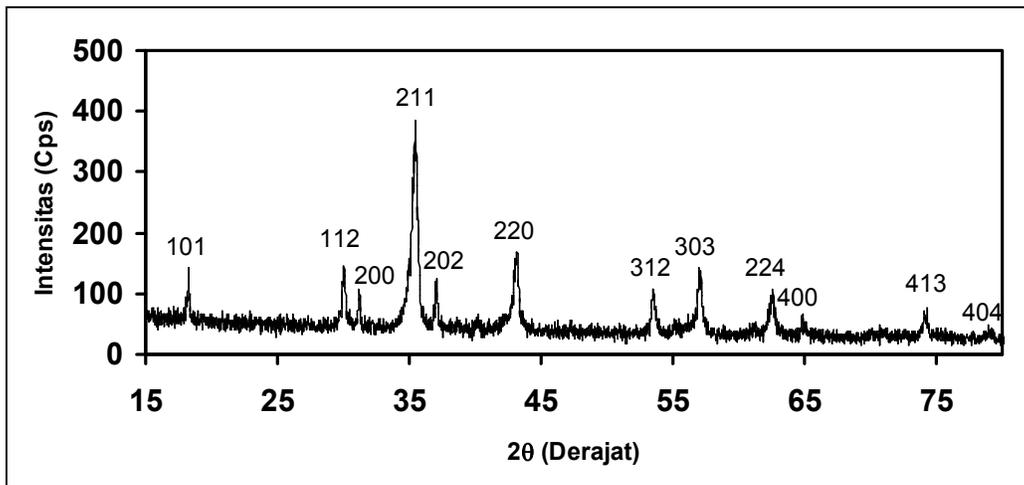
Hasil analisis XRD diperlihatkan pada gambar 4, 5 dan 6 yang menunjukkan pola difraksi keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  yang diberi penambahan aditif masing-masing sebesar 0; 0,25 dan 0,75 % berat .



Gambar 4. Pola difraksi sinar-x keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  tanpa aditif. Memperlihatkan struktur spinel tetragonal.



Gambar 5. Pola difraksi sinar-x keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  yang ditambah 0.25 w/o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Memperlihatkan struktur spinel tetragonal.



Gambar 6. Pola difraksi sinar-x keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  yang ditambah 0.75 w/o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . memperlihatkan struktur spinel tetragonal.

Data XRD pada gambar 4-6, memperlihatkan pola difraksi dari  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  adalah spinel tetragonal.

Hasil struktur mikro dari keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  tanpa penambahan dan yang masing-masing ditambahkan 0,25 dan 0,75 % berat  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . ditunjukkan pada gambar 7, 8, dan 9.

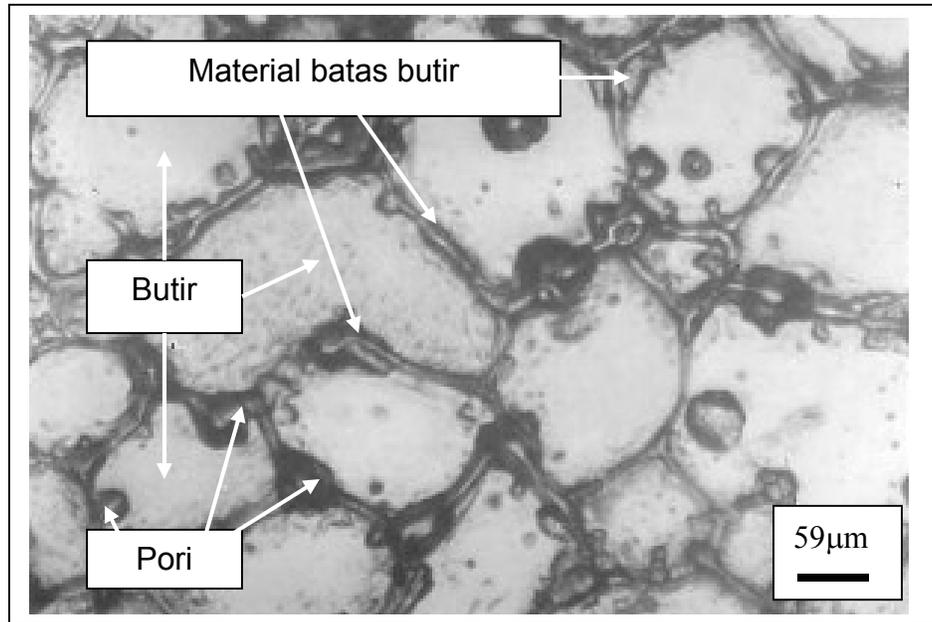
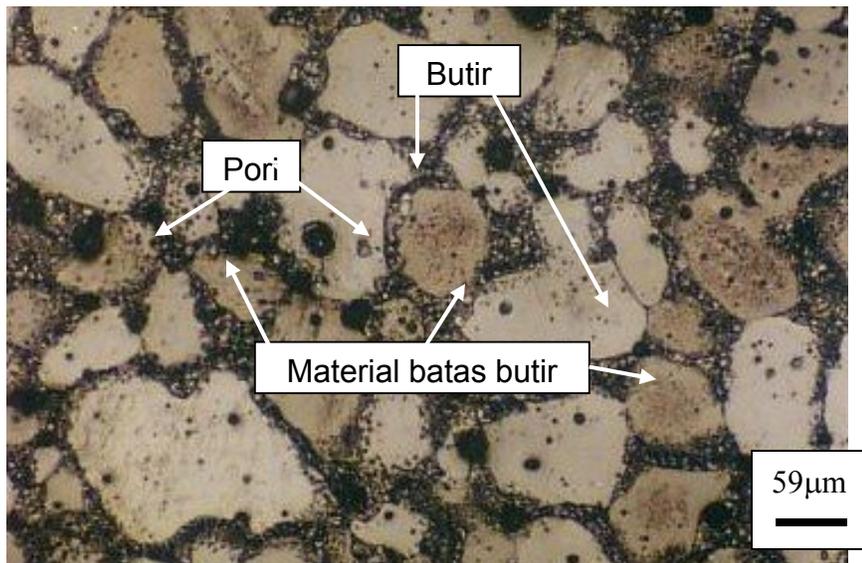
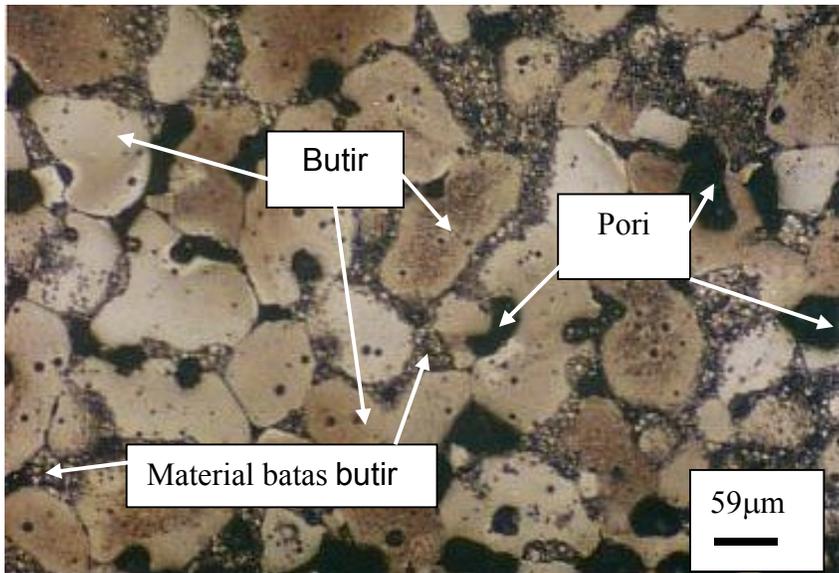


Fig. 7. Struktur mikro keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  tanpa penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

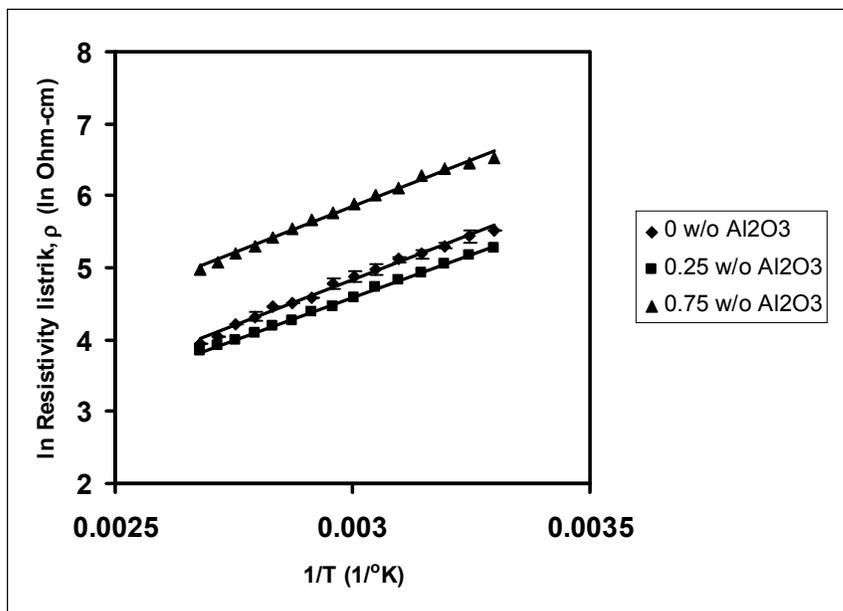


Gambar 8. Struktur mikro keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  yang ditambah 0.25 w/o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .



Gambar 9. Struktur mikro keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang ditambah 0.75 w/o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Hasil karakterisasi listrik diperlihatkan pada : gambar 10 dan tabel 1



Gambar 10. Hubungan antara ln Resistivitas listrik and 1/T keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> tanpa dan dengan aditif Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Tabel 1. Karakteristik listrik keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  tanpa dan dengan aditif  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

No	Penambahan $\text{Al}_2\text{O}_3$ (w/o)	B ( $^{\circ}\text{K}$ )	$\alpha$ (%/ $^{\circ}\text{K}$ )	$\rho_{\text{RT}}$ ( Ohm-cm)
1	0	2548	2,83	290
2	0,25	2378	2,64	217
3	0,75	2590	2,88	818

#### 4.2. PEMBAHASAN.

Penampilan visual pellet keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ditambah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ditunjukkan pada gambar 3, ternyata tampilan keramik ini terlihat baik, penampilan visual yang baik memperlihatkan bahwa parameter penyinteran yang digunakan sudah sesuai untuk membuat keramik yang baik.

Hasil analisis XRD diperlihatkan pada gambar 4, 5 dan 6 mempunyai pola difraksi yang hampir sama. Setelah dibandingkan dengan pola difraksi standart  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dari JCPDS N0.34-0425, menunjukkan bahwa semua keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  tanpa dan dengan penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mempunyai struktur kristal spinel tetragonal. Hal ini memperlihatkan bahwa pendinginan selama proses penyinteran berlangsung relatif lambat. Sedangkan untuk menghasilkan struktur kubik dibutuhkan pendinginan yang cepat. Puncak tambahan tidak teridentifikasi, kemungkinan karena konsentrasi aditif lebih kecil dari pada batas minimum ketelitian difraksometer sinar-x yang digunakan.. Terbentuknya  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  juga memperlihatkan bahwa sintesis dari  $\text{CuO}$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada suhu  $1100^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam dapat dilakukan dengan baik.

Dari hasil struktur mikro yang ditunjukkan pada gambar 7, 8 dan 9, butir-butir yang cenderung bundar disebabkan oleh material yang meleleh di batas butir. Menurut diagram fase  $\text{CuO-Fe}_2\text{O}_3$  [19Anonymous, Phase diagram for Ceramists, ASTM.], terdapat material yang meleleh ada sekitar 15% mol, selama penyinteran pada suhu  $1100^{\circ}\text{C}$ . Konsentrasi material yang meleleh relatif besar sehingga wajar jika butir-butir relatif sangat besar dan cenderung bundar.yang meleleh. Material yang meleleh di batas butir menjadi promotor pertumbuhan butir. Di dalam sampel yang mengandung  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , aditif dapat larut atau tersegregasi. Jika tidak ada interaksi antara material meleleh awal dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , serta  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terlarut di dalam  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$

dengan mensubstitusi  $\text{Fe}^{3+}$  atau  $\text{Cu}^{2+}$ , maka resistivitas akan turun atau tetap. Akan turun ketika ion Al mensubstitusi ion Cu dan tidak berubah ketika mensubstitusi ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Pada kondisi ini struktur mikro akan sama dengan struktur mikro keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  tanpa aditif. Fitur material batas butir di dalam sampel yang ditambah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Gambar 8 dan 9) berbeda dengan fitur material batas butir keramik tanpa aditif (gambar 7). Hal ini jelas memperlihatkan bahwa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cenderung tersegregasi di batas butir. Ada kemungkinan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tersegregasi bereaksi dengan material leleh awal tetapi tidak dapat dilihat dari data XRD.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tersegregasi kemudian menghambat pertumbuhan butir. Tebal material batas butir keramik tanpa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  lebih tipis dari tebal material yang sama pada keramik dengan aditif  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Inilah faktor yang dapat mengubah karakteristik listrik. Pada penelitian kami sebelumnya tentang pengaruh aditif  $\text{SiO}_2$  dan aditif  $\text{TiO}_2$ , ditemukan bahwa  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$  cenderung tersegregasi di batas butir. Ada kemungkinan bahwa material yang tersegregasi ini saling bereaksi dan menguap selama penyinteran dan meninggalkan rongga yang relatif besar.

Dari data listrik pada gambar 10 menunjukkan bahwa karakteristik listrik keramik mengikuti sifat dari termistor NTC (gambar 1 dan persamaan 1). Perubahan karakteristik listrik dipengaruhi oleh perubahan struktur mikro yang berubah dengan adanya  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pertambahan ( $\rho_{\text{RT}}$ ) dan (B) utamanya disebabkan oleh perubahan fitur material batas butir. Keramik yang mengandung butir kecil dan banyak material batas butir mempunyai area batas butir yang luas. Karena batas butir menjadi pusat hamburan pembawa muatan, frekuensi relatif elektron bertambah menyebabkan pertambahan resistivitas listrik suhu ruang dan konstanta termistor.

Seperti terlihat pada tabel 1, semua keramik memiliki karakteristik yang memenuhi kriteria pasar. Harga resistivitas suhu ruang yang demikian kecil, menjadikan keramik ini mempunyai aplikabilitas yang luas.

## 5. KESIMPULAN

Dengan penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , menyebabkan ukuran butiran dari keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  akan mengecil, sebab penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memperlihatkan selama sintering meninggalkan rongga (pori) dan cenderung tersegregasi di batas butir. Penambahan aditif  $\text{Al}_2\text{O}_3$  akan menaikkan harga resistivitas listrik suhu ruang ( $\rho_{\text{RT}}$ ) dan konstanta termistor (B). Nilai

resistivitas listrik suhu ruang ( $\rho_{RT} = 290-818 \Omega\text{cm}$ ) dan konstanta thermistor ( $B = 2548-2590 \text{ }^{\circ}\text{K}$ )  
.Keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  yang dibuat ini memenuhi kebutuhan pasar.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberi bantuan dalam kegiatan penelitian dan penulisan artikel ini. Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (Pekerti) dengan Kontrak Nomor: 014/SPPP/PP/DP2M/II/2006 tanggal 24 April 2006.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

1. BetaTHERM Sensors [on line]. Available: <http://www.betatherm.com>.
2. NA EUN SANG , PAIK,UN GYU, CHOI SUNG CHURL, “The effect of a sintered microstructure on the electrical properties of a Mn-Co-Ni-O thermistor”, Journal of Ceramic Processing Research, Vol.2, No. 1, pp 31-34, 2001.
3. MATSUO YOSHIHIRO, HATA TAKUOKI, KURODA TAKAYUKI, “ Oxide thermistor composition, US Patent 4,324,702, April 13, 1982
4. JUNG HYUNG J, YOON SANG O, HONG KI Y, LEE JEON K, “Metal oxide group thermistor material”, US Patent 5,246,628, September 21, 1993.
5. HAMADA KAZUYUKI, ODA HIROSHI, “Thermistor composition”, US Patent 6,270,693, August 7, 2001.
6. PARK K, “Microstructure and electrical properties of  $\text{Ni}_{1.0}\text{Mn}_{2-x}\text{Zr}_x\text{O}_4$  ( $0 \leq x \leq 1.0$ ) negative temperature coefficient thermistors”, Materials Science and Engineering, B104, pp. 9-14, 2003.
7. PARK K, BANG D.Y., “Electrical properties of Ni-Mn-Co-(Fe) oxide thick film NTC thermistors”, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, Vol.14, pp. 81-87, 2003.
8. FRITSCH SHOPIE GULEMET, SALMI JAOUAD,SARRIAS JOSEPH, ROUSSET ABEL, SCHUURMAN SHOPIE, LANNOO ANDRE, “Mechanical properties of nickel manganites-based cermics used as negative temperature coefficient thermistors”, Materials Research Bulletin, Vol. 39, pp. 1957-1965, 2004.
9. R. SCHMIDT, A. BASU, A.W. BRINKMAN , “Production of NTCR thermistor devices based on  $\text{NiMn}_2\text{O}_{4+\delta}$ ”, Journal of The European Ceramic Society, Vol. 24, pp. 1233-1236, 2004.
10. K. PARK, I.H. HAN, “Effect of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  addition on the microstructure and electrical properties of  $(\text{Mn}_{0.37}\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.33-x}\text{Al}_x)\text{O}_4$  ( $0 \leq x \leq 0.03$ ) NTC thermistors”, Materials Science and Engineering, B119, pp. 55-60, 2005.
11. WIENDARTUN , DANI GUSTAMAN SYARIF, The Effect of  $\text{TiO}_2$  Addition on the Characteristics of  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  Ceramics for NTC Thermistors, International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS) 2006, ITB, Bandung, October 2006.

12. J.Z. JIANG, G.F. GOYA, H.R. RECHENBERG, *J. Phys.: Condens. Mater* 11, 4063 (1999).
13. G.F. GOYA, H.R. RECHENBERG, J.Z. JIANG, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 218, 221 (2000).
14. G.F. GOYA, H.R. RECHENBERG, *Journal of Applied Physics*, 84 (2), 1101 (1998).
15. C.R. ALVES, R. AQUINO, M.H. SOUSA, H.R. RECHENBERG, G.F. GOYA, F.A. TOURINHO, J. DEPEYROT, *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials* 20-21, 694 (2004).
16. KAMEOKA SATOSHI, TANABE TOYOKAZU, TSAI AN, *Catalyst Letters*, Vol. 100, No. 1-2, pp. 89-93, 2005.
17. W.F. SANGGUAN, Y. TERNAOKA, S. KAGAWA, *Applied Catalysis*, Part B, Vol. 16, N0.2, pp. 149-154, 1998.
18. R.C. WU, H.H. QU, H. HE. Y.B. YU, *Applied Catalysis*, Part B 48 (1), 49 (2004).
19. ANONYMOUS, *Phase diagram for Ceramics*, ASTM.
20. BARSOUM M. , *Fundamental of Ceramics*, McGraw-Hill, 1997.