

# PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KERAMIK $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ UNTUK TERMISTOR NTC DENGAN MENGGUNAKAN $\text{Fe}_2\text{O}_3$ DARI MINERAL YAROSIT ASLI

Wiendartun<sup>1)</sup>, Dani Gustaman Syarif<sup>2)</sup>,  
Endi Suhendi<sup>1)</sup>, Andhy Setiawan<sup>1)</sup>, Guntur D.S.<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-bdg.go.id

## ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  untuk termistor Negative Thermal Coefficient (NTC) dengan menggunakan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang berasal dari mineral yarosit asli. Keramik ini dibuat dengan cara mengepres serbuk bahan campuran homogen dari  $\text{CuO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarosit hasil olahan (pemurnian) dengan komposisi yang sesuai untuk menghasilkan keramik berbasis  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dengan tekanan  $4 \text{ ton/cm}^2$ , dan menyinter serbuk hasil press pada suhu  $900\text{-}1100^\circ\text{C}$  selama 1-5 jam di dalam tungku dengan atmosfer udara dan dengan atmosfer gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ). Pelet hasil sinter dipotret untuk mengetahui penampilan visualnya. Karakterisasi listrik dilakukan dengan cara mengukur resistivitas listrik keramik tersebut pada suhu bervariasi ( $25^\circ\text{C}\text{-}100^\circ\text{C}$ ). Analisis struktur mikro dan struktur kristal dilakukan masing-masing dengan menggunakan mikroskop elektron (SEM) dan difraktometer sinar-x (XRD). Dari penampilan *visualnya*, pelet sinter  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dari bahan yarosit dapat dibuat dengan baik pada suhu sinter  $900\text{-}1100^\circ\text{C}$ . Data *struktur mikro* memperlihatkan bahwa pengaruh waktu sinter tidak terlihat dengan jelas terhadap ukuran butir, meski terdapat kecenderungan butir makin besar dengan pertambahan waktu sinter. Analisis XRD memperlihatkan bahwa keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarosit yang dibuat baik di dalam atmosfer udara maupun gas  $\text{N}_2$  mempunyai struktur kristal spinel tetragonal. Beberapa puncak tambahan dari fase kedua yang berasal dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ditemukan pada keramik yang disinter di dalam atmosfer gas  $\text{N}_2$ . Harga konstanta termistor ( $B = 2852\text{-}4249 \text{ K}$ ) dan resistivitas listrik suhu ruang ( $\rho_{\text{RT}} = 10\Omega\text{cm}\text{-}10^6\Omega\text{cm}$ ), memperlihatkan bahwa karakteristik listrik keramik termistor yang dibuat pada penelitian ini memenuhi kebutuhan pasar.

**Kata Kunci :** *Termistor, NTC,  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ , Yarosit*

## ABSTRACT

Fabrication of  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ceramics for negative thermal coefficient (NTC) thermistor by using  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  derived from yarosite has been carried out. The ceramics were fabricated by pressing a homogeneous mixture of  $\text{CuO}$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  processed powder with composition appropriate for producing  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ -based ceramics with pressure of  $4 \text{ ton/cm}^2$ , and sintering the pressed powder at temperature of  $900\text{-}1100^\circ\text{C}$  for 1-5 hours in furnace air and  $\text{N}_2$  gas. Pictures of sintered pellets were taken to know their visual appearance. Electrical characteristics were analyzed by measuring electrical resistivity of the ceramics at various temperatures ( $25\text{-}100^\circ\text{C}$ ). Microstructure and crystal structure analyses were carried out using an electron microscope (SEM) and x-ray diffraction (XRD). From the visual appearance, it was known that the  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ceramics could be well fabricated at  $900\text{-}1100^\circ\text{C}$ . Microstructure data showed that effect of sintering temperature was not seen clearly, though

there was a trend that grain size increased with the increase of sintering time. The XRD analyses showed that  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ceramics made of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  from yarosite sintered either in air or  $\text{N}_2$  gas had tetragonal spinel crystal structure. Some additional peaks from second phase were found in the XRD pattern for the  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ceramic sintered in  $\text{N}_2$  gas atmosphere. The value of thermistor constant (B) of 2852-4249K and the value of room temperature resistivity of  $10\Omega\text{cm} - 10^6 \Omega\text{cm}$  showed that the electrical characteristics of the thermistor ceramics produced in this research fit the market requirement.

**Key words** : *Thermistor, NTC,  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ , Yarosite.*

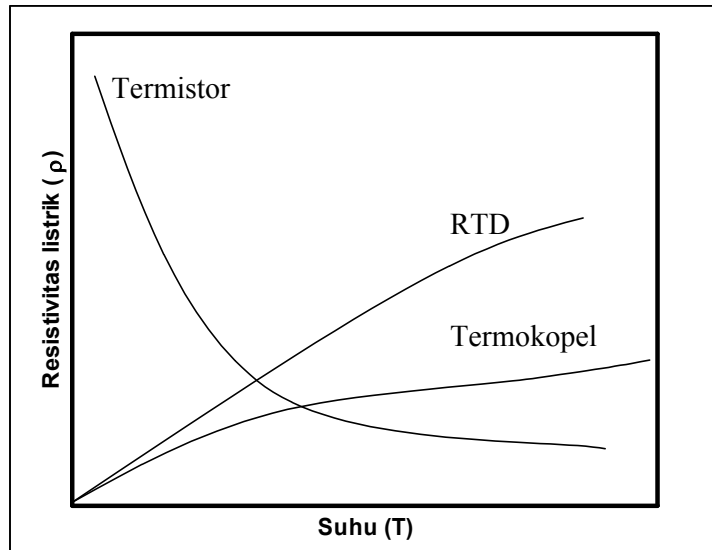
## **I. PENDAHULUAN**

Termistor NTC sangat luas digunakan di dunia, karena kemampuannya untuk digunakan di berbagai bidang elektronik seperti pengukur suhu, pembatas arus listrik, sensor aliran air dan sensor tekanan[1]. Telah dikenal bahwa sebagian besar termistor NTC dibuat dari keramik berstruktur spinel yang dibentuk oleh oksida logam transisi dengan rumus umum  $\text{AB}_2\text{O}_4$  dengan A adalah ion logam pada posisi tetrahedral dan B adalah ion logam pada posisi oktahedral [2-10]. Banyak penelitian dilakukan untuk memperbaiki karakteristik termistor NTC berstruktur spinel [6,7,11]. Pada penelitian ini dipelajari tentang pembuatan dan karakterisasi keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  untuk termistor NTC dengan menggunakan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang diperoleh dari mineral yarosit. Penggunaan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarosit dimaksudkan untuk mempelajari apakah mineral yang berlimpah di Indonesia seperti yarosit dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama termistor.

Pada umumnya, keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  digunakan sebagai magnet lunak[12-15], juga sebagai katalis [16-18], tetapi sebenarnya keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  mempunyai kemampuan untuk menjadi thermistor NTC karena bersifat semi konduktif. Berdasarkan diagram fase  $\text{CuO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$  [19], ada suatu daerah dimana komposisi keramik  $\text{CuO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bila dipanaskan pada suhu  $1100^\circ\text{C}$  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. Berbagai impuritas yang terkandung di dalam yarosit akan tersegregasi di batas butir atau larut padat di dalam keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ . Kedua peristiwa tersebut berpengaruh terhadap struktur mikro keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  yang akhirnya berpengaruh pula terhadap karakteristik listriknya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Termistor NTC mempunyai karakteristik yang khas seperti dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Grafik hubungan antara resistivitas listrik ( $\rho$ ) dan suhu ( $T$ ) untuk termistor NTC dan sensor lainnya.

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

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

dengan,  $R$  = Tahanan termistor (Ohm),  $R_0$  = Tahanan termistor pada suhu awal (Ohm),  $B$  = Konstanta termistor (K) dan  $T$  = Suhu termistor (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 ( K ),  $\Delta E$  = Energi aktivasi (eV) dan  $k$  = Konstanta Boltzmann ( $\frac{eV}{^{\circ}K}$ )

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

$$B = \frac{\ln \frac{R2}{R1}}{\frac{1}{T2} - \frac{1}{T1}} \dots\dots\dots(3)$$

dengan,  $R1$  = Tahanan pada suhu  $T1$ ,  $R2$  = Tahanan pada suhu  $T2$ ,  $T2 = 85^{\circ}C = 358,16 K$  dan  $T1 = 25^{\circ}C = 298,16 K$

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

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

dengan,  $\alpha$  = Sensitifitas termistor,  $B$  = Koefisien termistor dalam K,  $T$  = suhu dalam K. Semakin besar harga  $\alpha$  dan  $B$ , kualitas termistor semakin baik.

**3. METODE PENELITIAN**

Keramik termistor  $CuFe_2O_4$  dibuat dari bahan utama  $Fe_2O_3$  asal mineral yarosit asli Serbuk  $Fe_2O_3$  yang diperoleh dianalisis kimia untuk memperoleh komposisi kimianya. Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 1. Serbuk ini dicampur dengan serbuk  $CuO$  dengan komposisi 50:50 dalam % mol. Campuran serbuk tersebut dikalsinasi pada suhu  $700^{\circ}C$  selama 2 jam. Setelah dikalsinasi, serbuk campuran digerus dan diayak dengan ayakan yang berukuran **38  $\mu m$  (Serbuk yang lolos berukuran < 38mikron)**. Serbuk hasil ayakan dipres dengan tekanan  $4 \text{ ton/cm}^2$  sehingga membentuk pelet mentah. Pelet mentah kemudian disinter pada suhu  **$900^{\circ}C - 1100^{\circ}C$  selama 1 sampai 5 Jam di dalam atmosfir udara serta  $1000^{\circ}C$  selama 1 Jam di dalam gas nitrogen ( $N_2$ )**. Penyinteran di dalam gas  $N_2$  dimaksudkan untuk mengetahui apakah resistivitas pelet sinter dapat diturunkan. Pelet hasil sinter dipotret untuk mengetahui penampilan visualnya.

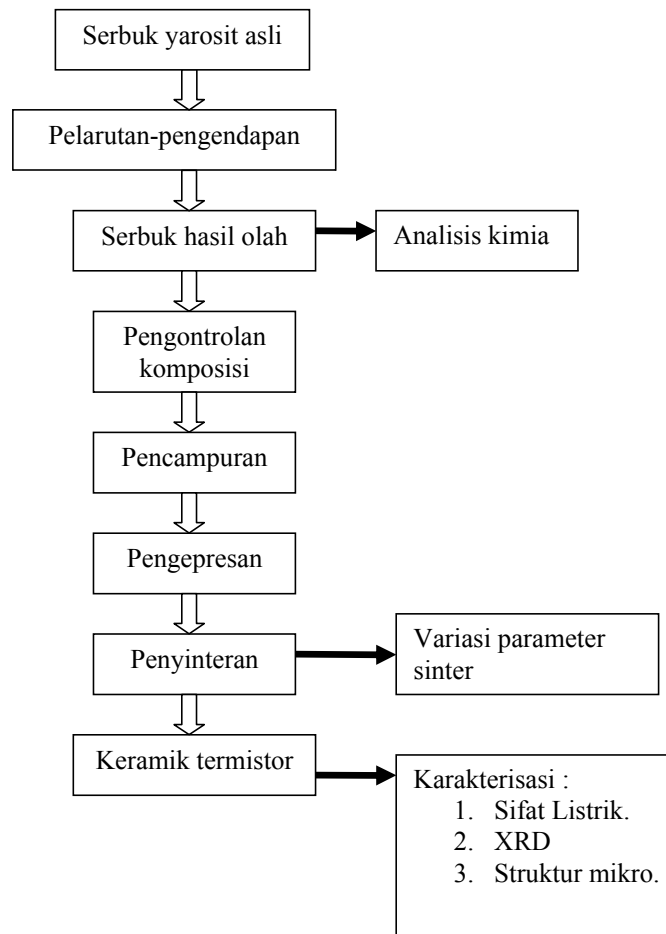
Untuk mengetahui struktur kristal dan fase-fase yang terjadi, pelet hasil sinter dianalisis dengan difraksi sinar-x (XRD) dengan menggunakan radiasi  $K\alpha$  pada tegangan 40 kV dan arus 25 mA dan untuk mengetahui struktur mikronya pelet sinter dipotret

menggunakan mikroskop elektron (SEM). Karakterisasi listrik dilakukan setelah kedua sisi pelet hasil sinter dilapisi dengan pasta konduktif perak atau larutan perak koloid dan dipanaskan pada suhu 600°C selama 10 menit. Karakterisasi listrik dilakukan melalui pengukuran resistivitas listrik pada berbagai suhu dari suhu ruang hingga 100°C dengan interval 5°C. Meski dapat dihitung memakai persamaan (3), dalam penelitian ini harga konstanta termistor (B) didapat dari grafik  $\ln$  (resistivitas listrik) versus  $1/T$  (di mana T adalah suhu dalam derajat kelvin). Dalam hal ini B adalah gradien kurva. Harga sensitivitas ( $\alpha$ ) dihitung menggunakan persamaan (4). Sementara itu harga resistivitas listrik suhu ruang ( $\rho_{SR}$ ) dihitung menggunakan kurva grafik  $\ln$  (resistivitas listrik) versus  $1/T$  dengan memasukkan suhu ruang sebesar 300K. Secara keseluruhan proses pembuatan keramik berbasis  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  diperlihatkan pada Gambar 2.

Table 1. Komposisi kimia serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarisit asli (awal)

No.	Komponen	Konsentrasi ( % Berat )
1	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	55,9
2	$\text{SiO}_2$	24,4
3	LOI	5,31
4	$\text{TiO}_2$	3,59
5	$\text{Na}_2\text{O}$	3,22
6	$\text{MgO}$	2,50
7	$\text{Al}_2\text{O}_3$	2,48
8	$\text{K}_2\text{O}$	2,31
9	$\text{MnO}$	0,049

Catatan : LOI : Lost of Ignitio



Gambar 2. Diagram alir proses penelitian ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarosit).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

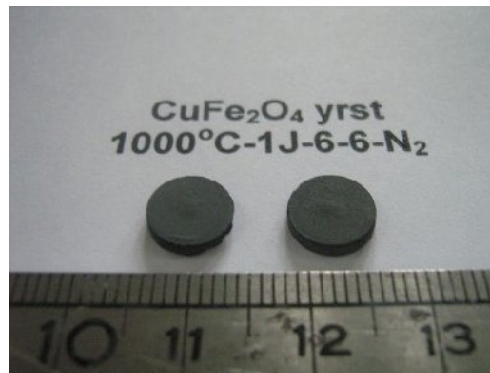
### 4.1 HASIL

Bentuk keramik berbentuk pelet hasil sinter diperlihatkan pada Gambar 3 dan 4. Hasil analisis XRD diperlihatkan pada Gambar 5, 6 dan 7 Contoh struktur mikro diperlihatkan pada Gambar 8, 9 dan 10. Sementara hasil karakterisasi listrik diperlihatkan pada Gambar 11, 12 dan 13.

#### 4.1.1. Penampilan Visual

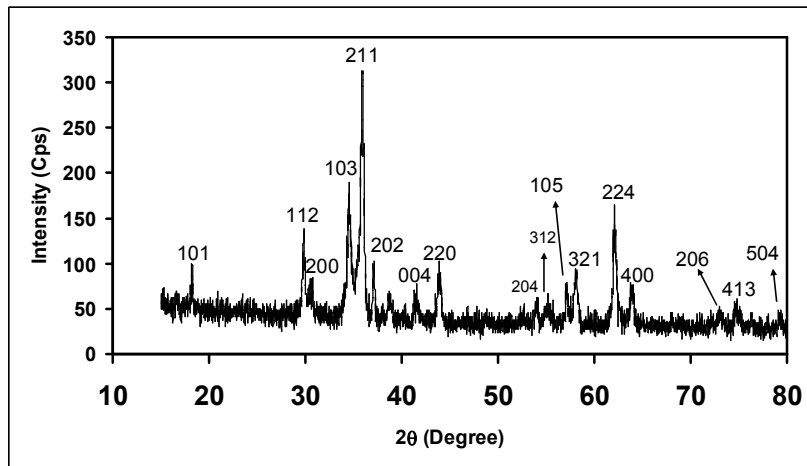


Gambar 3. Bentuk visual pelet CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari yarosit disinter pada suhu 1100°C selama 1 Jam di udara.

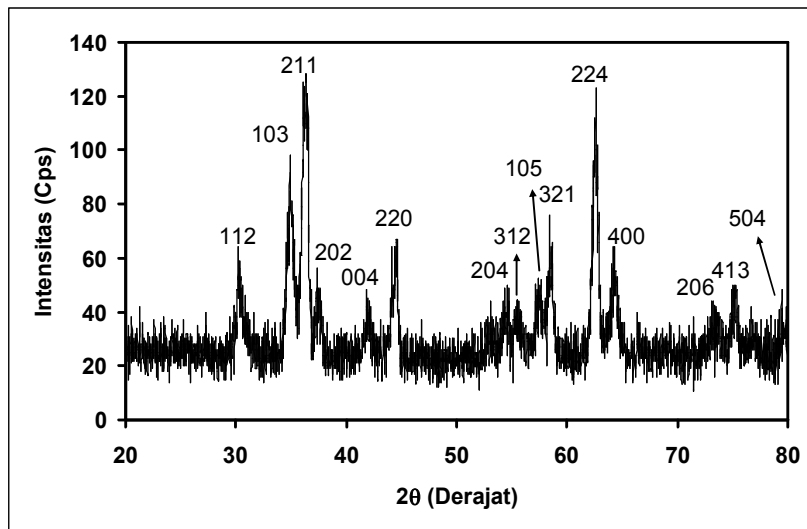


Gambar 4 Bentuk visual pelet CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari yarosit disinter pada suhu 1000°C selama 1 Jam di dalam gas N<sub>2</sub>.

#### 4.1.2 Data Analisis XRD

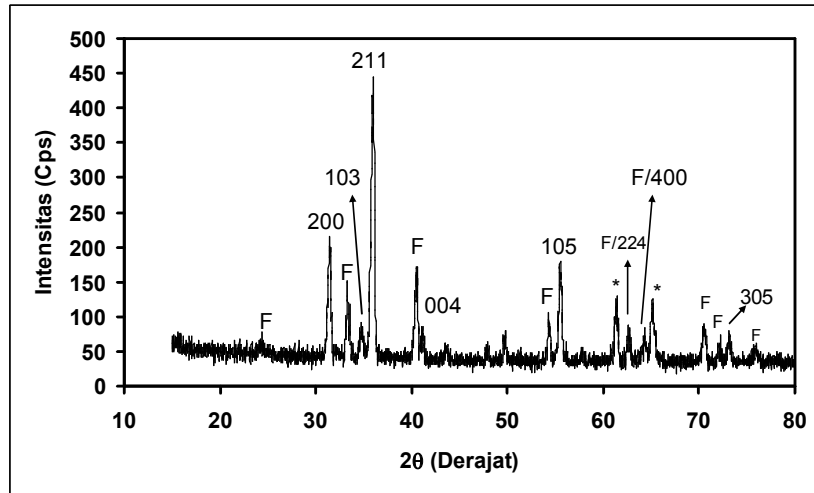


Gambar 5. Pola difraksi keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> asal yarosit disinter pada suhu 1000°C selama 1 Jam di udara.



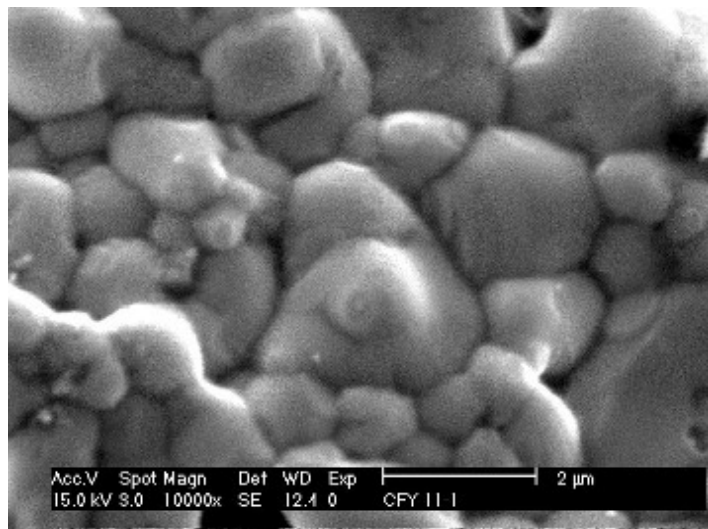
Gambar 6. Pola difraksi keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> asal yarosit disinter pada suhu 1100°C selama 1 Jam di udara.



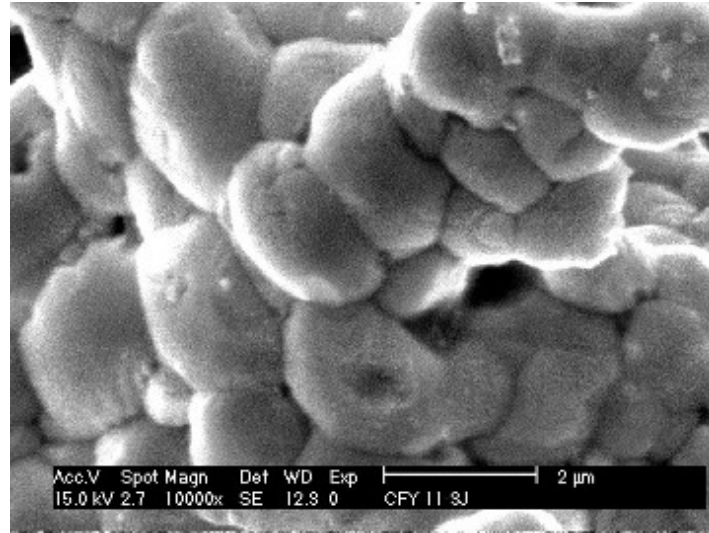


Gambar 7. Pola difraksi keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  asal yarosit disinter pada suhu  $1000^\circ\text{C}$  di dalam gas  $\text{N}_2$  selama 1 jam dan F = puncak dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

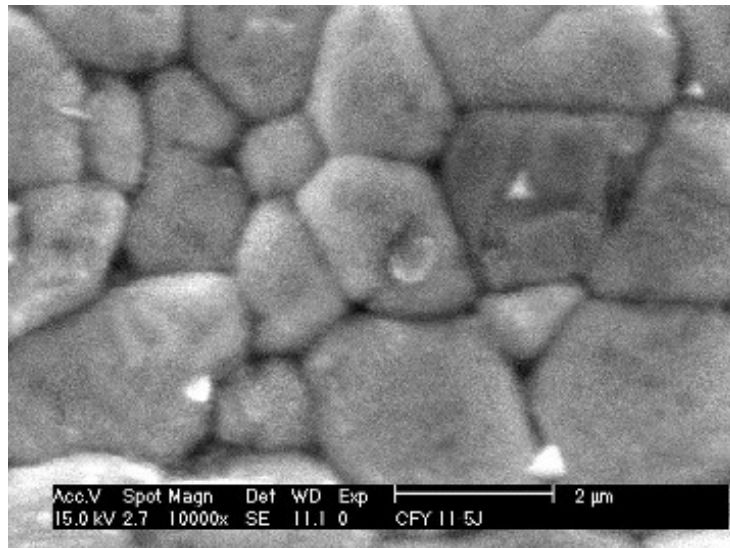
#### 4.1.3.Data Struktur Mikro



Gambar 8. Struktur mikro keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  asal yarosit disinter pada suhu  $1100^\circ\text{C}$  selama 1 Jam di udara.

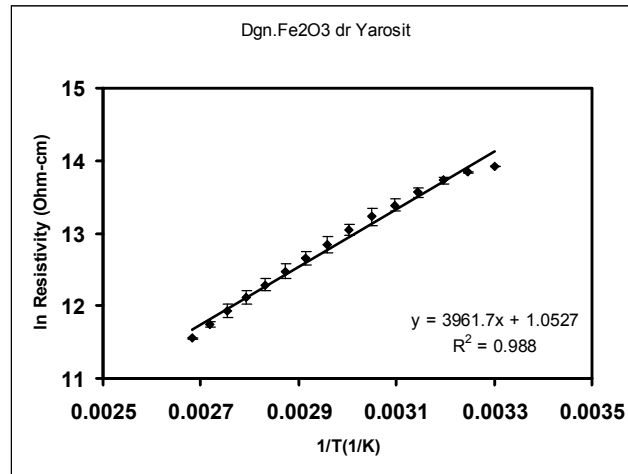


Gambar 9. Struktur mikro keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> asal yarosit disinter pada suhu 1100°C selama 3 Jam di udara.

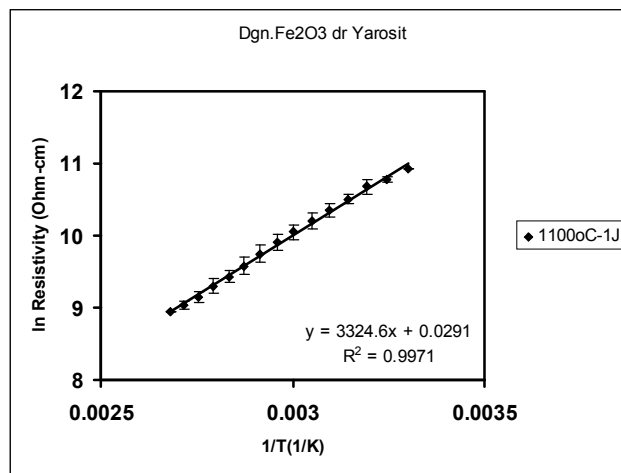


Gambar 10. Struktur mikro keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> asal yarosit disinter pada suhu 1100°C selama 5 Jam di udara.

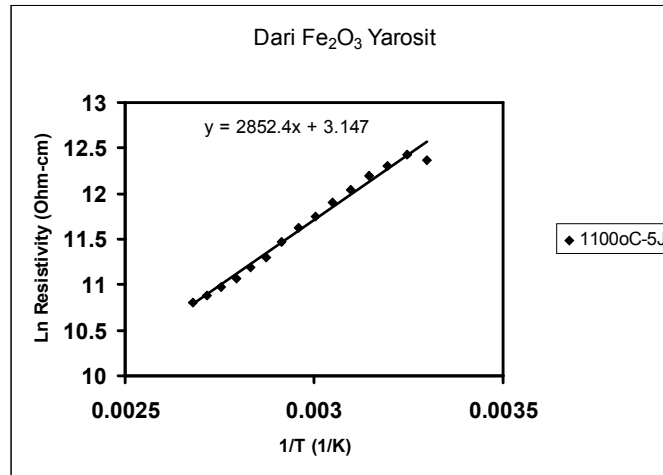
#### 4.1.4 Data Karakteristik Listrik



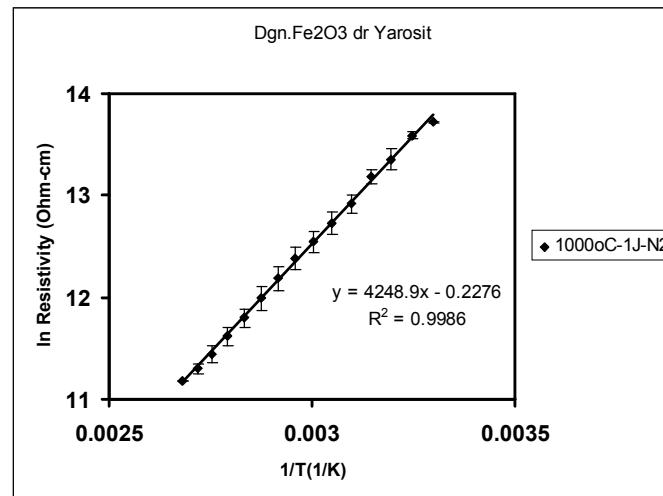
Gambar 11. Karakteristik listrik keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari yarosit disinter pada suhu 900°C selama 1 Jam di udara.



Gambar 12. Karakteristik listrik keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari yarosit disinter pada suhu 1100°C selama 1 Jam di udara.



Gambar 13. Karakteristik listrik keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari yarosit disinter pada suhu 1100°C selama 5 Jam di udara.



Gambar 14. Karakteristik listrik keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari yarosit disinter pada suhu 1000 °C selama 1 jam di dalam gas N<sub>2</sub>.

Tabel 2. Karakteristik listrik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari Yarosit.

No.	Suhu/Waktu °C/Jam	Atmosfir	B ( K )	$\alpha$ (Alfa) (% / K)	$\rho_{\text{SR}}$ (Ohm-cm)
1.	900/1	Udara	3962	4,40	1558706
2.	1100/1	Udara	3325	3,69	66999
3.	1100/5	Udara	2852	3,17	313326
4.	1000/1	$\text{N}_2$	4249	4,72	1127749

Catatan :

SR = Suhu ruang (300 K).

## 4.2 PEMBAHASAN

Pelet sinter  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dari bahan yarosit dapat dibuat dengan baik pada suhu sinter 900-1100°C sebagaimana tercermin dari gambar visualnya. Baik di sini artinya pelet tidak pecah dan berbentuk silinder pejal yang utuh serta secara visual tidak mengandung retakan.

Pola difraksi Gambar 5 dan 6 memperlihatkan struktur kristal  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarosit yang disinter di dalam suasana udara tungku. Pola difraksi Gambar 5 dan 6 memperlihatkan bahwa keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarosit yang dibuat di dalam udara mempunyai struktur kristal spinel tetragonal. Struktur kristal tetragonal diketahui dengan membandingkan pola difraksi pada Gambar 5 dan 6 dengan pola difraksi  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  standar (JCPDS No. 34-0425). Pola difraksi Gambar 7 memperlihatkan struktur kristal  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarosit disinter di dalam suasana gas  $\text{N}_2$ . Pada pola difraksi ini terlihat bahwa keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  yang dibuat berstruktur kristal spinel tetragonal (diketahui dengan membandingkan pola difraksi pada Gambar 7 dengan pola difraksi  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  standar (JCPDS No. 34-0425) dengan tambahan puncak dari fase kedua yang berasal dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (diketahui dengan membandingkan pola difraksi pada Gambar 7 dengan pola difraksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  standar (JCPDS No. 33-0664)). Hal ini memperlihatkan bahwa sintesis  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  menjadi kurang sempurna karena kekurangan oksigen. Data struktur mikro memperlihatkan bahwa pengaruh waktu sinter tidak terlihat dengan jelas terhadap ukuran butir. Meski terdapat kecenderungan butir makin besar dengan pertambahan waktu sinter.

Semua keramik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari yarosit yang disinter di udara memiliki karakteristik listrik yang baik sebagai termistor. Harga konstanta termistor (B) nya cukup

besar (Lihat Tabel 2) di sini B berharga sekitar 2852 K – 4249 K. Harga ini lebih besar dari umumnya harga B termistor pasaran yaitu 2000 K. Harga resistivitas listrik juga memenuhi kriteria pasaran, kecuali yang disinter di dalam N<sub>2</sub>. Harga B dan resistivitas listrik suhu ruang termistor pasaran adalah lebih besar atau sama dengan 2000 K dan 10 ohm-cm -10<sup>6</sup> ohm-cm [12]. Peningkatan suhu sinter menyebabkan penurunan harga resistivitas listrik sebagai konsekuensi pengurangan batas butir yang berarti pengurangan *scattering center*. Pada penyinteran dengan suhu yang lebih tinggi terjadi mobilitas ion yang lebih tinggi pula. Sementara itu gas N<sub>2</sub> menyebabkan peningkatan resistivitas listrik yang signifikan. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh terbentuknya fase kedua (lihat analisis XRD) yang menyebabkan penambahan *scattering center* bagi pembawa muatan. Hal ini bertentangan dengan maksud semula penggunaan gas N<sub>2</sub> sebagai atmosfer sinter yang diharapkan dapat menurunkan resistivitas listrik. Sebenarnya diharapkan penyinteran yang miskin oksigen seperti ini dapat menghasilkan keramik yang mempunyai cacat kekosongan oksigen, yang dapat memberikan tambahan elektron di pita konduksi.

## 5. KESIMPULAN

Keramik berbasis CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> untuk termistor NTC dengan menggunakan bahan dasar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang berasal dari mineral yarosit dapat dibuat dengan baik pada suhu 900-1100°C di udara. Meningkatnya suhu sinter menyebabkan penurunan resistivitas listrik dan konstanta termistor (B). Penyinteran keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> di dalam gas nitrogen (N<sub>2</sub>) menyebabkan adanya fase kedua Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tersegregasi dan menyebabkan peningkatan resistivitas listrik keramik tersebut. Berdasarkan data karakteristik listriknya terlihat bahwa keramik berbasis CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang dibuat mempunyai karakteristik listrik yang baik dengan harga konstanta termistor ( B = 2852- 4249 K) dan resistivitas listrik suhu ruang (  $\rho_{RT} = 66.999 \Omega\text{cm} - 1.558.706 \Omega\text{cm}$ ). Harga-harga B dan  $\rho_{RT}$  ini memenuhi kebutuhan pasar ( B  $\geq$  2000 K dan  $\rho_{RT} = 10\Omega\text{cm} - 10^6 \Omega\text{cm}$ ). Suhu sinter yang dikombinasi dengan waktu sinter dan atmosfer sinter dapat digunakan untuk mengatur karakteristik listrik keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sesuai kebutuhan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti 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: 032/SP2H/PP/DP2M/III/2007, tanggal 31 Desember 2006.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Dani Gustaman Syarif, Engkir S., Guntur D.S., M. Yamin, *Studi awal pemanfaatan mineral magnetit sebagai bahan dasar termistor NTC*, Jurnal Mesin, Vol.6(3), 2004.
2. Dani Gustaman Syarif, Engkir S., Guntur D.S., Saeful H., *Karakterisasi termistor NTC yang dibuat dari serbuk hasil proses presipitasi magnetit asal Garut*, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, V(2), 2004.
3. Dani Gustaman Syarif, Guntur D.S., M. Yamin, *Studi awal pembuatan keramik termistor berbahan dasar mineral yarosit dan evaluasi karakteristiknya*, PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DAN TEKNIK NUKLIR, P3Tkn – BATAN Bandung, 14 – 15 Juni 2005
4. Dani Gustaman Syarif dkk., *Aplikasi termistor ZnBiCo sebagai termistor NTC*, Jurnal Mesin, 2005.
5. Wiendartun, Dani Gustaman Syarif, Fitri Anisa, *Effect of Heat Treatment on the Characteristics of SiO<sub>2</sub> Added- ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Ceramics for NTC thermistors*, Proceeding of the The 10<sup>th</sup> International Conference on Quality in Research (QiR), 2007, ISSN:1411-1284, Faculty of Engineering Center University of Indonesia UI DEPOK, 4-6 December 2007.
6. Wiendartun, Endi Suhandi, Andhy Setiawan, Dani Gustaman Syarif, Guntur Daru Sambodo, *Pengaruh penambahan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap Karakteristik Keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Untuk Thermistor NTC*. Prosiding dengan nomor ISSN:1693-7163 pada Seminar Nasional Keramik VI (2007), Balai Besar Keramik – Bandung 11 Juli 2007.
7. Wiendartun, Endi Suhandi, Andhy Setiawan, Dani Gustaman Syarif, Guntur Daru Sambodo, *Karakteristik Keramik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari Yarosit Olahan yang ditambah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Untuk Thermistor NTC*. Prosiding dengan ISSN: 1658-3601, pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2007, Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri BATAN BANDUNG 17-18 Juli 2007.
8. Wiendartun, Dani Gustaman Syarif, *The Effect of TiO<sub>2</sub> Addition on the Characteristics of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Ceramics for NTC Thermistors*, Proceeding of The International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS 2006), ISBN : 979-3507-91-8, ITB Bandung, 29-30 November 2006.

9. Wiendartun, Dani Gustaman Syarif, *The effect of SiO<sub>2</sub> addition on the characteristics of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Ceramics for NTC Thermistor*, The International Conference on Neutron and X-Ray Scattering (ICNX 2007), ITB Bandung, 29-31 July 2007.
10. BetaTHERM Sensors [on line]. Available: <http://www.betatherm.com>.
11. Eun Sang Na, Un Gyu paik, Sung Churl Choi, "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.
12. Yoshihiro Matsuo, Takuoki Hata, Takayuki Kuroda, "Oxide thermistor composition", US Patent 4,324,702, April 13, 1982
13. Hyung J. Jung, Sang O. Yoon, Ki Y. Hong, Jeon K. Lee, "Metal oxide group thermistor material", US Patent 5,246,628, September 21, 1993.
14. Kazuyuki Hamada, Hiroshi Oda, "Thermistor composition", US Patent 6,270,693, August 7, 2001.
15. Eun Sang Na, Un Gyu paik, Sung Churl Choi, "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.
16. K. Park, "Microstructure and electrical properties of Ni<sub>1.0</sub>Mn<sub>2-x</sub>Zr<sub>x</sub>O<sub>4</sub> (0 ≤ x ≤ 1.0) negative temperature coefficient thermistors", *Materials Science and Engineering*, B104, pp. 9-14, 2003.
17. K. Park, D.Y. Bang, "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.
18. Shopie Gulemet Fritsch, Jaouad Salmi, Joseph Sarrias, Abel Rousset, Shopie Schuurman, Andre Lannoo, "Mechanical properties of nickel manganites-based ceramics used as negative temperature coefficient thermistors", *Materials Research Bulletin*, Vol. 39, pp. 1957-1965, 2004.
19. R. Schmidt, A. Basu, A.W. Brinkman, "Production of NTCR thermistor devices based on NiMn<sub>2</sub>O<sub>4+δ</sub>", *Journal of The European Ceramic Society*, Vol. 24, pp. 1233-1236, 2004.
20. K. Park, I.H. Han, "Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition on the microstructure and electrical properties of (Mn<sub>0.37</sub>Ni<sub>0.3</sub>Co<sub>0.33-x</sub>Al<sub>x</sub>)O<sub>4</sub> (0 ≤ x ≤ 0.03) NTC thermistors", *Materials Science and Engineering*, B119, pp. 55-60, 2005.



21. J.Z. Jiang, G.F. Goya, H.R. Rechenberg, "Magnetic properties of nanostructured  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ", *J. Phys.: Condens. Mater*, Vol.11, pp. 4063-4078, 1999.
22. G.F. Goya, H.R. Rechenberg, J.Z. Jiang, "Magnetic irreversibility and relaxation in  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ " nanoparticles, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 218, pp. 221-228, 2000.
23. C.R. Alves, R. Aquino, M.H. Sousa, H.R. Rechenberg, G.F. Goya, F.A. Tourinho, J. Depeyrot, "Low temperature experimental investigation of finite-size and surface effects in  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles of ferrofluids", *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials Vols. 20-21*, pp. 694-699, 2004.
24. Kameoka Satoshi, Tanabe Toyokazu, Tsai An, Spinel  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ :a precursor for copper catalyst with high thermal stability and activity, *catalyst Letters*, Vol. 100, No. 1-2, pp. 89-93, 2005.
25. W.F. Shangguan, Y. Ternaoka, S. Kagawa, "Promotion effect of potassium on the catalytic property of  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  for the simultaneous removal of  $\text{NO}_x$  and diesel soot particulate", *Applied catalysis Part B*, Vol. 16, No.2, pp. 149-154, 1998.
26. R.C. Wu, H.H. Qu, H. He. Y.B. Yu, "Removal of azo-dye acid red B (ARB) by adsorption and catalytic combustion using magnetic  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ " powder, *Applied catalysis Part B*, Vol. 48, No.1, pp. 49-56, 2004.
27. Anonymous, " $\text{CuO-Fe}_2\text{O}_3$  Phase Diagram", *Phase Diagram for Ceramicst*, ASTM. pp. 551-554, 2004.