

## PENGARUH PENAMBAHAN $ZrO_2$ TERHADAP KARAKTERISTIK TERMISTOR NTC BERBAHAN DASAR $Fe_2O_3$ DARI MINERAL YAROSIT

Rosi Selfia Putri<sup>1)</sup>, Ratnawulan<sup>1)</sup>, Dani Gustaman Syarif<sup>2)</sup>

Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang  
email: rosiselfiaputri@gmail.com

### ABSTRACT

*Ceramic pellet has been made for the Negative Thermal Coefficient (NTC) thermistor from  $Fe_2O_3$  base material of yarosite mineral. The powder of  $Fe_2O_3$  and  $ZrO_2$  is mixed and then crushed until homogeneous for  $\pm 30$  minutes. The mixture of the powder is pressed with  $60 \text{ ton/cm}^2$  to form a pellet on the 8 mm diameter mold. The pellets are sintered at a temperature of  $1200^\circ\text{C}$  for 3 hours in a furnace with atmospheric air. The pellet from the sintering process is coated with silver as an electrode. Next will be characterized using XRD (X-Ray Diffractometer), SEM (Scan Electron Microscope) and electrical characterization. Based on the results of XRD analysis it is known that the ceramics formed with the addition of  $ZrO_2$  0% doping,  $ZrO_2$  1% and  $ZrO_2$  3% have hexagonal hematite structure. Grain size based on SEM analysis, for each addition of 0% doping,  $ZrO_2$  1% and  $ZrO_2$  3% respectively is  $10.81 \mu\text{m}$ ;  $11.51 \mu\text{m}$  and  $10.24 \mu\text{m}$ . Results of measurement of electrical resistance, thermistor constant value is 3322 K, 3645 K and 5873 K. Conclusion in this study is the addition of  $ZrO_2$  does not affect the crystal structure formed based on the analysis using XRD. Addition of  $ZrO_2$  into  $Fe_2O_3$  ceramic causes the grain size is relatively unchanged significantly. Based on the measurement of Istric resistance, the greater the  $ZrO_2$  addition concentration, the greater the resistance value at room temperature and the resulting thermistor constant.*

*Keywords: Thermistor, NTC,  $Fe_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , solid state reaction.*

### PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini terus mengalami kemajuan khususnya di bidang elektronika. Bahan-bahan dasar dalam pembuatan komponen-komponen elektronik diantaranya berasal dari mineral alam yang diolah hingga membentuk piranti. Salah satu mineral adalah mineral yarosit. Mineral yarosit mengandung 60 %  $Fe_2O_3$  [12]. Mineral yarosit banyak terdapat di Provinsi Jawa Barat, Sumatera Barat dan Kalimantan. Pada umumnya besi diperoleh dalam bentuk *magnetit* ( $Fe_3O_4$ ), *hematit* ( $Fe_2O_3$ ), *geotit*, *limonit*, atau *siderite* [5]. Oksida besi hematit ( $Fe_2O_3$ ) ini telah diteliti untuk digunakan sebagai bahan utama termistor.

Termistor dapat digunakan sebagai sensor suhu yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan suhu [13]. Termistor terdiri dari dua jenis yaitu *Positive Temperature Coefficients* (PTC) dan *Negative Temperature Coefficients* (NTC). *Negative Thermistor Coefficient* (NTC) merupakan jenis termistor yang mengalami penurunan tahanan ketika suhu meningkat [6]. Oleh sebab itu, Termistor NTC memiliki banyak aplikasi, yaitu sebagai sensor suhu pada *air-conditioner* (AC), perangkat elektronik,

pengukur suhu, pembatas arus listrik, sensor aliran air, dan sensor tekanan [14].

Termistor *biasanya* diproduksi dalam bentuk film tipis, film tebal dan pelet. Pembuatan termistor dengan teknik *screen printing* pada substrat akan menghasilkan termistor dalam bentuk film tebal. Sedangkan pembuatan termistor dengan cara *pressing sintering* akan menghasilkan termistor dalam bentuk pelet. Termistor yang memiliki kualitas baik adalah termistor dengan respon yang cepat terhadap perubahan temperaturnya. Termistor memiliki dua konstanta yang paling penting, yaitu konstanta termistor (B) dan sensitivitas termistor ( $\alpha$ ). Kedua konstanta tersebut yang akan menentukan kelayakan termistor untuk dapat digunakan secara komersial. Besar nilai konstanta termistor (B) yang umum beredar secara komersial adalah  $\geq 2000\text{K}$  [4].

Karakteristik termistor dapat direkayasa dengan doping. Rekayasa karakteristik termistor dalam bentuk pelet telah dilakukan oleh Suhendi, dkk. 2007 tentang pengaruh penambahan  $Al_2O_3$  terhadap karakteristik keramik  $CuFe_2O_4$  untuk termistor NTC. Penambahan doping  $Al_2O_3$  adalah 0, 0,25 dan 0,75 % berat masih memiliki nilai konstanta termistor dan tahanan pada suhu ruang yang kecil berturut-turut adalah 2548K, 2378K,

2590K dan  $290 \Omega\text{cm}$ ,  $217 \Omega\text{cm}$ ,  $818 \Omega\text{cm}$ . Sehingga aplikasi termistor terbatas yaitu hanya dapat digunakan pada lingkungan dengan jangkauan suhu yang rendah.

Karakteristik termistor dapat direayasa dengan doping  $\text{ZrO}_2$  yang ditambahkan pada bahan dasar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Keramik  $\text{ZrO}_2$  biasanya diperoleh dari pasir zirkon ( $\text{ZrSiO}_4$ ) yang banyak terdapat di Pulau Bangka dan Belitung serta pulau Kalimantan. Keramik  $\text{ZrO}_2$  memiliki konduktivitas termal yang relatif kecil yaitu  $2,7 \text{ W/m.K}$ . Secara kimia  $\text{ZrO}_2$  sangat stabil yang tahan terhadap lingkungan [10]. Keramik  $\text{ZrO}_2$  ini juga memiliki konduktivitas yang lebih rendah. Jika  $\text{ZrO}_2$  ditambahkan pada bahan dasar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  diharapkan bisa menaikkan nilai tahanan hingga menghasilkan nilai konstanta termistor yang lebih besar  $\geq 2000\text{K}$ .

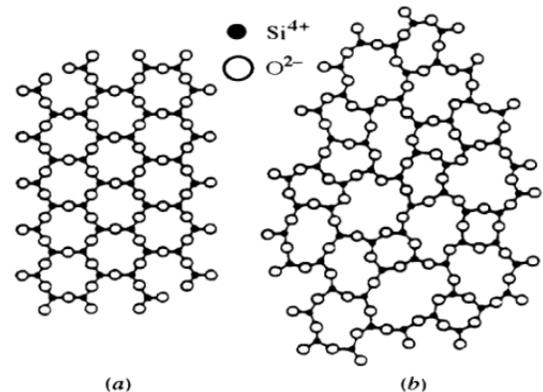
Penelitian ini menggunakan bahan dasar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari mineral yarosit dan bahan doping  $\text{ZrO}_2$  hasil sintesis dengan metode *sol gel* dari bahan lokal zirkon. Dopan  $\text{ZrO}_2$  (dopan) ditambahkan dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 0%, 1% dan 3%. Berdasarkan latar belakang yang disampaikan, pengaruh penambahan  $\text{ZrO}_2$  terhadap karakteristik termistor NTC berbahan dasar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari mineral yarosit dipelajari.

### 1. Keramik

Keramik adalah campuran dari padatan yang dibentuk dengan memanfaatkan panas, kadang-kadang panas dan tekanan, terdiri dari satu unsur logam dan non logam atau kombinasi sedikitnya dua unsur zat padatan non logam atau kombinasi dari sedikitnya dua unsur padatan non logam dan unsur logam [1]. Keramik dapat didefinisikan sebagai senyawa padatan yang dibuat guna aplikasi panas atau bahkan panas dan tekanan, yang terdiri dari paling sedikit dua elemen yaitu logam dan bukan logam ; oksida, nitrit, dan karbida atau unsur padatan bukan logam [1],[3]. Pada umumnya keramik memiliki sifat sebagai berikut : keras, tahan lama, rentan terhadap *thermal shock*, tahan api, memiliki kestabilan kimia, dan bukan magnetik [1],[8].

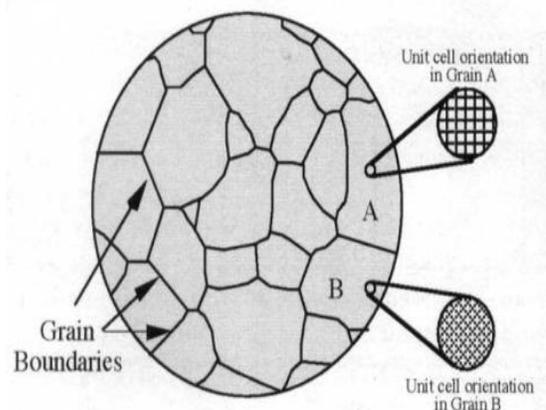
Sifat bahan salah satunya keramik, bergantung pada susunan atomik secara geometri dan interaksi antara atom-atom atau molekul-molekul penyusunnya. Berdasarkan keteraturannya, susunan atomik bahan dibagi menjadi dua jenis yaitu susunan atomik yang panjang dan teratur disebut sebagai material kristalin dan susunan atomik yang pendek dan tidak teratur disebut sebagai material amorf seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Keramik memiliki atom – atom atau molekul – molekul yang saling berikatan dengan gaya *Coulomb*

dan pada umumnya keramik merupakan material kristalin.



Gambar 1. Material kristalin (a) Material amorf (b)[1].

Material kristalin terdiri dari dua jenis, yaitu kristal tunggal dan polikristalin. Kristal tunggal adalah material kristalin yang sempurna dan merata di seluruh permukaan tanpa cacat. Sedangkan polikristalin merupakan kumpulan dari kristal tunggal yang membentuk butir. Sehingga polikristalin memiliki batas butir yang merupakan batas antar butir yang membagi daerah yang satu dengan daerah yang lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Ukuran dan bentuk butir merupakan struktur mikro dari keramik sehingga akan menghasilkan keramik dengan sifat tertentu sesuai dengan tujuan pembuatan.



Gambar 2. Skema polikristalin[1]

Berdasarkan jenisnya, keramik terdiri dari dua jenis yaitu keramik tradisional dan keramik modern. Keramik tradisional merupakan keramik yang dibuat dari bahan dasar mentah (*raw material*) seperti tanah liat dengan produk yang dihasilkan adalah porselen, bata, genteng. Keramik tradisional

pada umumnya dibuat dengan beberapa cara yaitu; *powder pressing*, *hydroplastic forming*, *slip casting*, dan *tape casting* dimana keempat cara tersebut memerlukan pembakaran pada suhu tinggi. Karakteristik keramik tradisional pada umumnya memiliki mikrostruktur yang berporos, tidak seragam, dan *multiphase* [1].

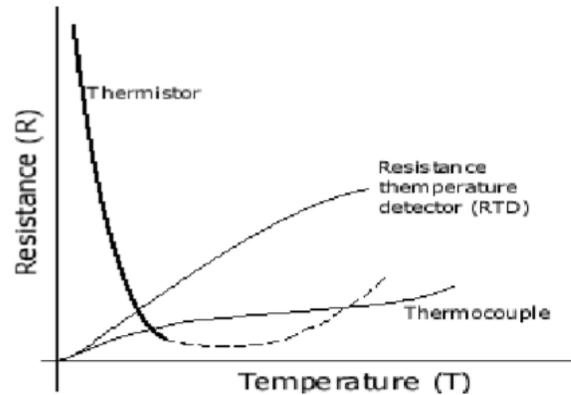
Keramik modern merupakan keramik yang dibuat dari pasangan oksida, karbida, perovskite, dan bahkan bahan sintesis kompleks [1] produk yang dihasilkan adalah alat untuk perangkat elektronik, komputer, dan industri. Keramik modern pada umumnya dibuat menjadi dua bentuk yaitu; pelet atau bulk dengan menggunakan proses sintering dan piringan atau film dengan menggunakan teknik *screen printing*. Produk – produk yang dibuat dari bahan keramik yaitu gunting, bata, porselen, dan vas kaca dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Produk – produk yang dibuat dari bahan keramik yaitu gunting, bata, porselen, dan vas kaca [3].

## 2. Termistor NTC

Termistor adalah resistor yang nilai resistansinya dipengaruhi oleh perubahan temperatur [9]. Berdasarkan respon suhu yang dihasilkan, termistor dibagi menjadi dua jenis, yaitu *Positive Temperature Coefficients* (PTC) dan *Negative Temperature Coefficients* (NTC). *Negative Thermistor Coefficient* (NTC) merupakan jenis termistor dimana ketika suhu meningkat maka hambatan termistor akan menurun [6]. Termistor memiliki karakteristik yang khas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Temperatur (T) dan Resistivitas listrik (R) untuk thermistor NTC dan sensor lainnya [15].

Resistansinya akan berkurang secara eksponensial jika suhu termistor bertambah. Hubungan antara tahanan dan suhu termistor ditunjukkan pada Persamaan 1 [15]

$$R = R_0 \exp \left( \frac{B}{T} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

R = Tahanan termistor ( $\Omega$ )

$R_0$  = Tahanan termistor pada suhu awal ( $\Omega$ )

B = konstanta termistor (K)

T = Temperatur (K)

Konstanta termistor pada bahan dipengaruhi oleh energi aktivasi bahan itu sendiri, sehingga konstanta termistor pada Persamaan 1 dapat ditulis menjadi Persamaan 2 [15]

$$B = \frac{\varepsilon_A}{K} \quad (2)$$

dengan  $\varepsilon_A$  adalah energi aktivasi (eV) dan K adalah konstanta boltzman (eV/K). Dari persamaan (1) dan (2) konstanta B ditentukan oleh dua titik ( $R_T, T$ ) dan ( $R_0, T$ ) dapat dicari dengan Persamaan 3:

$$B = \frac{T \cdot T_0}{T - T_0} \ln \frac{R_0}{R_T} \quad (3)$$

Sehingga konstanta B ini dapat ditentukan menggunakan kemiringan dari grafik hubungan antara  $\ln R$  dengan  $1/T$ . Kemudian konstanta sensitivitas termistor ( $\alpha$ ) dapat ditentukan menggunakan Persamaan 4,

$$\alpha = - \frac{B}{T^2} \times 100\% \quad (4)$$

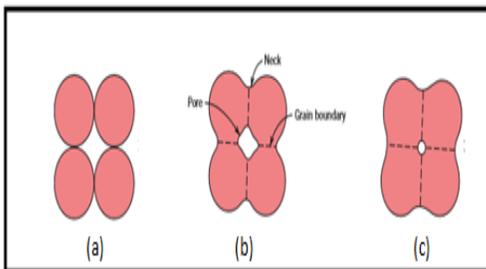
Semakin besar harga  $\alpha$  dan B, kualitas termistor semakin bagus. Besar nilai konstanta termistor (B) yang umum beredar secara komersial adalah  $\geq 2000$  K [4]. Bentuk umum termistor dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Termistor NTC [2].

### 3. Sintering

Sintering adalah suatu proses perlakuan panas terhadap suatu bahan atau material yang dilakukan dibawah titik leleh bahan tersebut. Pada tahap pembuatan bahan keramik, proses pembakaran merupakan proses yang sangat menentukan sifat bahan. Proses sintering juga untuk mereaksikan bahan-bahan penyusun baik bahan keramik maupun bahan logam yang nantinya akan membentuk fase kristal baru sesuai dengan yang diinginkan [7].



Gambar 5. Tahapan Sintering

Berdasarkan fasa bahan, *sintering* dibagi menjadi dua jenis, yaitu *sintering* fasa cair dan *sintering* fasa padatan. *Sintering* fasa cair merupakan proses *sintering* jika bahan yang disinter mengandung cairan. Sedangkan *sintering* fasa padatan merupakan proses *sintering* jika bahan yang disinter tidak mengandung cairan atau berbentuk serbuk [1].

## METODE PENELITIAN

### 1. Rancangan penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan metode yang digunakan adalah reaksi antar padatan (*solid state reaction*), serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ZrO}_2$  dicampur kemudian digerus hingga homogen selama  $\pm 30$  menit. Campuran kemudian dipress dengan tekanan  $60 \text{ ton/cm}^2$  hingga membentuk pelet pada cetakan berdiameter 8 mm. Pelet tersebut disinter pada suhu  $1200^\circ\text{C}$  selama 3 jam di dalam tungku dengan atmosfer udara. Pelet hasil sintering dilapisi perak untuk pembuatan elektroda. Untuk mengetahui karakteristik listrik dilakukan mengukur tahanan listrik dengan pengontrol suhu dan multimeter sehingga diperoleh resistansi pada berbagai suhu. Analisis struktur kristal dan struktur mikro masing-masing dilakukan menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffractometer*) dan SEM (*Scan Electron Microscope*).

## 2. Waktu dan Tempat Penelitian

### a). Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan pada tanggal 16 Februari 2017 s/d 15 Mei 2017.

### b). Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di PSTNT-BATAN Bandung (Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – Badan Tenaga Nuklir Nasional Bandung) yang terletak di Jl. Tamansari, No.71, Bandung 40132. Telp: +62 22 250 3997, Fax: +62 22 250 4081, E-mail: pstnt@batan.go.id.

## 3. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol,

### a. Variabel bebas

Perbandingan komposisi serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ZrO}_2$  adalah  $100\% : 0\%$ ;  $99\% : 1\%$  dan  $97\% : 3\%$ .

### b. Variabel terkontrol

Adapun variabel terkontrol dalam penelitian ini antara lain:

1). Proses sintering pelet hasil campuran  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ZrO}_2$  pada suhu  $1200^\circ\text{C}$  selama 3 (dua) jam di udara tungku

2). Pemanasan pelet hasil sintering yang dilapisi perak pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 10 menit.

### c. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah struktur Kristal dan sifat listrik termistor NTC yaitu konstanta termistor, tahanan suhu ruang, sensitivitas dan energi aktivasi.

### d. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari alat dan bahan yang digunakan. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca digital, penggerus, alat press, termokopel digital, alat screen printing, mikrometer sekrup, tungku pembakaran, termokopel

digital, *hot plate*. Bahan- bahan yang digunakan adalah serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  dan pasta perak.

#### e. Pelaksanaan Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### a).Pembuatan pelet keramik termistor NTC

Tahap pembuatan pelet keramik termistor NTC yaitu kedua bahan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ZrO}_2$  ditimbang dengan tiga komposisi yang berbeda yaitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : $\text{ZrO}_2$ , 1 gr : 0 gr;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : $\text{ZrO}_2$  0,99 gr:0,01 gr;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : $\text{ZrO}_2$  0,97 gr : 0,03 gr masing-masing bahan dicampur dan digerus hingga kedua bahan tercampur sampai homogen  $\pm$  selama 30 menit. Serbuk hasil campuran dipress pada tekanan 60 ton/cm<sup>2</sup> pada cetakan berdiameter 8 mm hingga membentuk pelet mentah dan disintering pada suhu 1200°C selama 3 (tiga) jam di dalam tungku dengan atmosfer udara. Pelet hasil sintering dilapisi dengan perak kemudian dibakar pada suhu 600°C selama 10 menit menggunakan tungku pemanas agar pasta perak dapat menempel dengan kuat di atas permukaan pelet.

##### b). Tahap karakterisasi

Pelet termistor yang telah dilapisi dengan perak akan diukur karakteristik sifat listriknya. Pengukuran ini dilakukan dari suhu 40°C sampai suhu 100°C dengan interval 5°C. Perubahan suhu naik dan suhu turun dapat dilihat pada pengontrol suhu digital dengan cara mengatur suhu pada *hot plate*. Nilai resistansi (R) yang tercatat pada setiap kenaikan 5°C akan terlihat pada multimeter. Karakterisasi menggunakan XRD yaitu untuk menentukan struktur kristal dan SEM untuk struktur mikro termistor NTC dari campuran  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ZrO}_2$ .

##### f. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan teknik pengumpulan data langsung dan pengumpulan data tidak langsung. Data yang diperoleh secara langsung adalah nilai intensitas dari 2 $\theta$  menggunakan alat uji karakterisasi XRD, bentuk morfologi menggunakan alat uji karakterisasi SEM dan nilai tahanan listrik termistor menggunakan alat uji karakterisasi listrik. Data yang diperoleh secara tidak langsung yaitu ukuran butir dari sampel, parameter kisi dan konstanta termistor.

##### g. Teknik analisa data

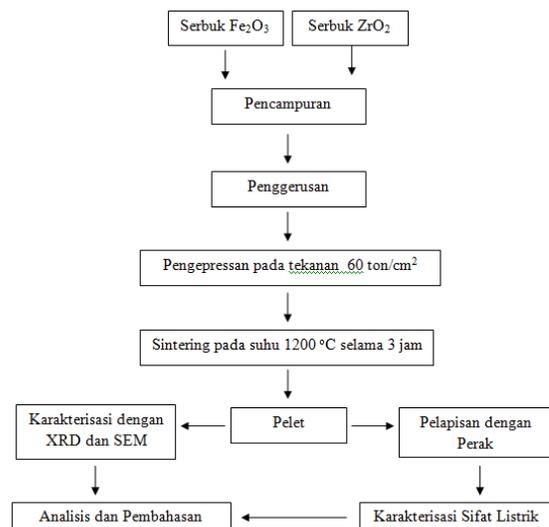
Berdasarkan data karakterisasi menggunakan XRD dapat menganalisa struktur kristal dari pelet keramik termistor NTC. Berdasarkan data karakterisasi menggunakan SEM dapat diperoleh secara langsung bentuk morfologi permukaan pelet keramik termistor NTC. Selanjutnya berdasarkan uji karakterisasi sifat listrik melalui alat ukur multimeter dan pengatur suhu termokopel. Langkah-

langkah yang dilakukan dalam analisis data adalah sebagai berikut:

- 1). Berdasarkan harga sudut 2 $\theta$  dan I dari karakterisasi dengan alat XRD diperoleh struktur kristal dari keramik termistor NTC menggunakan *software match 3*.
- 2). Berdasarkan hasil pencitraan dari SEM, diperoleh bentuk morfologi permukaan dari pelet keramik termistor NTC. Ukuran butir partikel dihitung dengan metode *liner interface*.
- 3). Berdasarkan pengukuran tahanan listrik pelet keramik termistor NTC dapat diperoleh data nilai tahanan naik ( $R_n$ ) dan nilai tahanan turun ( $R_t$ ) terhadap perubahan temperatur setiap 5°C. Dari data tersebut akan diplot grafik hubungan antara  $\ln R$  terhadap  $1/T$  dan memperoleh persamaan kemiringan garis untuk mendapatkan nilai konstanta termistor, sensitivitas, tahanan suhu ruang dan energi aktivasi.

#### h. Diagram Alir Penelitian

Pembuatan pelet keramik termistor NTC terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan, dimulai dari komposisi serbuk yang digunakan, teknik pencampuran, penggerusan, pengepresan, sintering hingga membentuk pelet keramik termistor NTC. Kemudian dilakukan uji karakteristik seperti yang terlihat pada Gambar 7 diagram alir penelitian tentang pembuatan termistor NTC.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

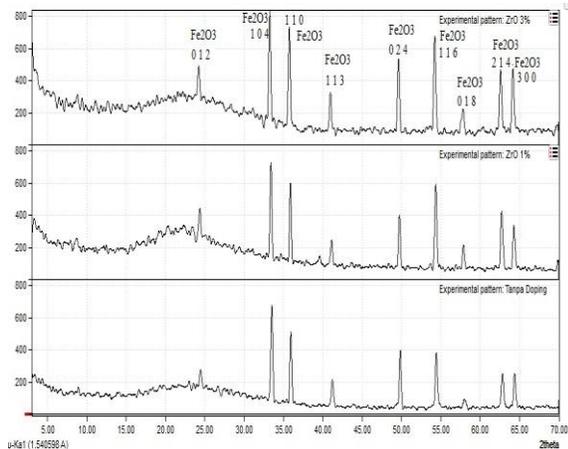
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Data karakterisasi Listrik

Karakterisasi hasil uji XRD keramik termistor NTC berbahan dasar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari mineral yarosit dan doping  $\text{ZrO}_2$  dilakukan dalam bentuk pelet. Karakterisasi XRD yang dilakukan yaitu tanpa

penambahan doping  $ZrO_2$ , penambahan doping  $ZrO_2$  1% dan penambahan doping 3%.

Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui struktur Kristal yang terbentuk berdasarkan sudut  $2\theta$  dan intensitas yang dihasilkan. Intensitas puncak dan sudut  $2\theta$  dari masing-masing pelet keramik termistor NTC tanpa penambahan doping, penambahan doping  $ZrO_2$  1% dan penambahan doping  $ZrO_2$  3% yaitu dengan menggabungkan ketiga grafik menggunakan *Software Match 3* seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil analisis pola XRD dari ketiga sampel

Berdasarkan analisis data hasil XRD pelet keramik termistor NTC dari bahan dasar  $Fe_2O_3$  tanpa doping, dengan doping  $ZrO_2$  1%, dengan penambahan doping  $ZrO_2$  3% memiliki struktur Kristal yang sama yaitu struktur hematit hexagonal. Dapat dikatakan bahwa penambahan doping  $ZrO_2$  pada bahan kedalam keramik  $Fe_2O_3$  tidak mengubah struktur Kristal.

### b. Hasil karakterisasi SEM

Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui ukuran butir dari pelet keramik termistor NTC dari bahan dasar  $Fe_2O_3$ . Karakterisasi dilakukan pada pelet keramik termistor NTC yaitu tanpa penambahan doping  $ZrO_2$ , dengan penambahan doping  $ZrO_2$  1% dan penambahan doping  $ZrO_2$  3%. Ukuran butir dari masing-masing pelet keramik termistor NTC dapat dilihat pada Tabel 1.

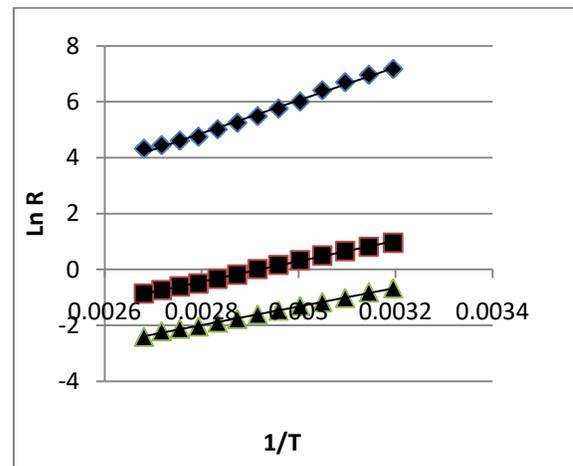
Tabel 1 . Ukuran butir keramik termistor NTC Penambahan Doping 0%. 1% dan 3%.

Penambahan Doping	Ukuran Butir ( $\mu m$ )
0%	10.81
1%	11.51
3%	10.24

Keramik termistor NTC dengan doping  $ZrO_2$  1% terlihat ukuran butir membesar. Hal ini disebabkan karena efek penambahan doping  $ZrO_2$  yang sebagian mengaktivasi pertumbuhan butir dan sisanya tersegregasi dibatas butir. Penambahan doping  $ZrO_2$  3% kedalam bahan  $Fe_2O_3$  terlihat bahwa ukuran butir kembali mengecil. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan doping  $ZrO_2$  3% menyebabkan partikel  $ZrO_2$  lebih banyak tersegregasi dibatas butir sehingga dapat menghambat aliran pembawa muatan.

### c. Hasil uji tahanan listrik

Pengaruh penambahan  $ZrO_2$  terhadap karakteristik listrik termistor NTC yaitu mempengaruhi nilai konstanta termistor dan nilai tahanan pada suhu ruang. Selain itu juga mempengaruhi sensitivitas pada suhu ruang, dan energi aktivasi. Grafik hubungan  $\ln R$  terhadap  $1/T$  dari ketiga sampel dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan  $\ln R$  terhadap  $1/T$  dari ketiga sampel

Nilai B adalah gradient dari grafik dan nilai konstanta B.  $x$  merupakan variabel suhu yaitu sebesar  $1/T$ . Untuk menghitung nilai sensitivitas pelet keramik termistor NTC dapat menggunakan Persamaan 5 dengan  $T=300K$ .

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} \times 100\% \quad (5)$$

Penambahan doping  $ZrO_2$  1% dan 3% memiliki ukuran butir yang lebih besar daripada tanpa penambahan doping. Ini disebabkan karena doping  $ZrO_2$  yang tersegregasi dibatas butir sehingga dapat menghambat aliran pembawa muatan dan menyebabkan nilai tahanan semakin besar. Nilai tahanan yang besar pada doping  $ZrO_2$  1% dan 3%

menyebabkan pertambahan nilai konstanta termistor tahanan pada suhu ruang, sensitivitas dan energi aktivasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakterisasi listrik keramik termistor NTC penambahan doping 0%. 1% dan 3%.

Doping	B (K)	$\alpha_{RT}$ (%)	$R_{RT}$ (K $\Omega$ )	$\epsilon_A$ (eV)
0%	3322	3.69	0.8057	0.286
1%	3645	4.05	4.527	0.314
3%	5873	6.25	3001.88	0.561

Pelet keramik dari campuran  $Fe_2O_3$  dan  $ZrO_2$  yang dibakar pada suhu  $1200^\circ C$  selama 3 jam diudara tungku dengan penambahan doping 3% memiliki sensitivitas yang paling baik. Semakin besar nilai sensitivitas termistor yang dihasilkan maka semakin baik respon termistor terhadap perubahan suhu lingkungan.

Berdasarkan Tabel 2 karakterisasi listrik keramik termistor NTC penambahan doping 0% dan 1% memiliki tahanan pada suhu ruang yang kecil sehingga pada penggunaannya membutuhkan daya yang kecil dan dapat digunakan pada rangkaian dengan arus yang kecil. Sedangkan pelet termistor NTC dengan penambahana doping 3% memiliki tahanan pada suhu ruang yang besar sehingga memungkinkan untuk penggunaan pada suhu lingkungan yang tinggi.

Berdasarkan hasil perhitungan energi aktivasi dari pelet keramik termistor NTC dari campuran  $Fe_2O_3$  dan  $ZrO_2$  dapat dilihat pada Tabel 2. Pelet keramik termistor NTC tanpa penambahan doping dan doping  $ZrO_2$  1% memiliki energi aktivasi yang kecil menunjukkan energi yang dibutuhkan elektron untuk melompat dari pita valensi ke pita konduksi semakin kecil. Sedangkan pelet keramik termistor NTC dengan penambahan doping  $ZrO_2$  3% memiliki energi aktivasi yang lebih besar menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan oleh elektron untuk melompat dari pita valensi dan pita konduksi semakin besar. Dapat dikatakan bahwa semakin besar penambahan doping  $ZrO_2$  kedalam keramik  $Fe_2O_3$  maka semakin besar energi aktivasi yang akan diperoleh.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis data hasil XRD pelet keramik termistor NTC dari bahan dasar  $Fe_2O_3$  tanpa doping, dengan doping  $ZrO_2$  1%, dengan penambahan doping  $ZrO_2$  3% memiliki struktur Kristal yang sama yaitu struktur hematit hexagonal.

2. Pelet keramik termistor NTC dengan doping  $ZrO_2$  1% terlihat ukuran butir membesar. Hal ini disebabkan karena efek penambahan doping  $ZrO_2$  yang sebagian mengaktivasi pertumbuhan sel dan sisanya tersegregasi dibatas butir. Pada Gambar 3 dengan penambahan doping  $ZrO_2$  3% kedalam bahan  $Fe_2O_3$  terlihat bahwa ukuran butir kembali mengecil. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan doping  $ZrO_2$  3% menyebabkan partikel  $ZrO_2$  lebih banyak tersegregasi dibatas butir sehingga dapat menghambat aliran pembawa muatan. Ukuran butir berturut-turut adalah 10.81  $\mu m$ ; 11.51  $\mu m$  dan 10.24  $\mu m$  untuk penamabahan  $ZrO_2$  sebesar 0%, 1% dan 3%.

3. Pengaruh penambahan  $ZrO_2$  terhadap karakteristik listrik termistor NTC yaitu mempengaruhi nilai konstanta termistor dan nilai tahanan pada suhu ruang. Selain itu juga mempengaruhi sensitivitas pada suhu ruang, dan energi aktivasi. Nilai konstanta termistor yang diperoleh berturut-turut adalah 3322 K, 3645 K dan 5873 K. Nilai konstanta termistor ini sudah memenuhi kebutuhan pasar yaitu  $\geq 2000K$ .

### B. Saran

Keramik termistor dari bahan dasar  $Fe_2O_3$  dengan doping  $ZrO_2$  0%,1% dan 3% yang disinter pada suhu  $1200^\circ C$  selama 3 jam di dalam tungku udara memiliki karakteristik yang baik untuk digunakan sebagai termistor NTC. Namun masih perlu penambahan data SEM yang dilengkapi EDX untuk mengetahui lebih jelas tentang perubahan struktur mikro dan posisi  $ZrO_2$  di dalam keramik yang menyebabkan perubahan tahanan listrik termistor.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Barsoum. M.W. (2003). *Fundamental of Ceramic*. USA : Department of Materials Engineering, Drexel University.
2. Budiarto, Hairil., 2010. *Pemanfaatan Thermistor Untuk Pengukuran Suhu Ruang*. Jurnal Universitas Trunojoyo Madura.
3. Callister, W. D. (2007). *An introduction material science and engineering*. (Edisi Ketujuh), United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
4. Dede, T.,Syarif, G. D., & Karim, S. (2007). Karakteristik keramik termistor NTC dari pasir yarosit yang berstruktur hematit dengan penambahan oksida mangan.*Prosiding*

*Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR-BATAN Bandung, 17-18 juli 2007.*

5. Firnando, H. G. & Astuti. 2015. Pengaruh Suhu Pada Proses Sonikasi Terhadap Morfologi Partikel Dan Kristalinitas Nanopartikel  $Fe_3O_4$ . *Jurnal Fisika Unand4 (1)*; terbit: 1 Januari 2015 ISSN : 2302 – 8491. Universitas Andalas, Padang.
6. Luo, Ying. dkk. (2009). *NTCR behavior of La – doped BaBiO3 ceramics*. Research Article Advances in Materials Science and Engineering, Hindawi Publishing corporation.
7. Ramlan & Bama, Ahmad. Aminudin. (2011). *Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering Terhadap Sifat Bahan Porselen Untuk Bahan Elektrolit Padat (Komponen Elektrolit)*. Jurnal penelitian sains 14 (3B). Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.
8. Sahoo, S., Parashar, S. K. S, & Ali, S. M. (2014). *CaTiO3 nano ceramic for NTCR thermistor based sensor application*. *Journal of Advanced Ceramics 3 (2)* hal.117-124. KIIT University, India.
9. Suhendi, dkk. 2007. *Pengaruh Penambahan  $Al_2O_3$  terhadap Karakteristik Keramik  $CuFe_2O_4$  untuk Termistor NTC*. Jurnal Fisika UPI terbit 11 juli 2007. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
10. Syarif., D.G. 2016. *Nanopartikel dan Nanofluida Perpindahan Panas Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi*. Jakarta: BATAN Press.
11. Syarif D G. (2007). *Karakterisasi Keramik Termistor  $Fe_2O_3$ : ImTi hasil sinter dan perlakuan panas*. Jurnal Teknik Mesin Trisakti Volume 9, no.1.
12. Syarif, D. G., Guntur, D. S. & Yamin, M. (2005). *Pembuatan keramik termistor NTC berbahan dasar yarosit dan evaluasi karakteristiknya*. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir.P3TKN – BATAN, Bandung.*
13. Warsito. (2010). *Analisis resolusi sensor temperatur terintegrasi IC LM35 dan sensor termistor*. Jurnal Sains MIPA A 16(3),143-148.
14. Wiendartun, Waslaluddin, & Syarif, D. G. 2013. *Effect of MnO2 addition on characteristics of  $Fe_2TiO_5$  ceramics for NTC thermistors utilizing commercial and local iron oxide*. Journal of The Australian Ceramic Society, 49 (2): 141-147, Education of Indonesian University, Bandung.
15. Wiendartun., dkk. (2008). *Pembuatan dan karakterisasi keramik  $CuFe_2O_4$  untuk termistor NTC dengan menggunakan  $Fe_2O_3$  dari mineral yarosit asli*. Artikel Balai Keramik No. 8 Terbit : 23 Juli 2008.