

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI LISTRIK KERAMIK $ZnFe_2O_4$ DENGAN DOPING TiO_2 UNTUK TERMISTOR NTC DENGAN TEKNIK *PRESSING*

Anesa Filda Khairani^{*)} dan Ratnawulan

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang,
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang 25131

^{*)}anesafildakhairani97@gmail.com

ABSTRACT

Pembuatan dan Karakterisasi Listrik Keramik $ZnFe_2O_4$ dengan Doping TiO_2 untuk Termistor NTC dengan Teknik *Pressing* telah dilakukan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan metode yang digunakan adalah reaksi zat padat (*solid state reaction*). Serbuk Fe_2O_3 dan ZnO dilarutkan kemudian dicampurkan. Campuran kemudian diendapkan menggunakan amoniak 10%. Hasil endapan kemudian dikeringkan pada suhu $100^\circ C$ selama ± 6 jam, kemudian dikalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 1 jam. Serbuk $ZnFe_2O_4$ dicampur dengan serbuk TiO_2 kemudian digerus hingga homogen selama ± 1 jam. Campuran kemudian dipress dengan tekanan 50 ton/cm^2 hingga membentuk pelet pada cetakan berdiameter 8 mm. Pelet tersebut disinter pada suhu $1100^\circ C$ selama 2 jam di dalam tungku dengan atmosfer udara. Pelet hasil sintering dilapisi perak untuk pembuatan elektroda. Hasil pengukuran tahanan listrik, nilai konstanta termistor adalah K , dari keramik berbasis $ZnFe_2O_4$ dengan doping TiO_2 yang dibuat memenuhi kebutuhan pasar.

Keywords : *Termistor, NTC, $ZnFe_2O_4$, TiO_2 , reaksi zat padat*

PENDAHULUAN

Banyaknya impor produk dari luar negeri menjadikan Indonesia tidak dapat mandiri dan kehilangan banyak devisa setiap tahunnya. Hal ini perlu diatasi dengan berusaha melakukan swasembada produk. Salah satu produk yang selama ini masih diimpor dan perlu diswasembada adalah komponen elektronik termistor. Termistor khususnya jenis NTC (*Negative Thermal Coefficient*) adalah komponen elektronik yang aplikasinya cukup luas di antaranya dipakai sebagai sensor suhu, kompensator suhu dan laju alir fluida di berbagai bidang seperti kesehatan, nuklir, elektronik dan otomotif. Kemampuan seperti itu dimiliki termistor karena komponen ini mempunyai karakteristik yang khas yaitu tahanannya menurun ketika dipanaskan dan meningkat ketika didinginkan [10].

Termistor adalah resistor yang nilai resistansinya dipengaruhi oleh perubahan temperatur. 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. Termistor NTC biasanya dibuat dalam berbagai bentuk seperti piringan, CD, bulk atau pelet dan juga film baik film tebal atau film tipis. Terdapat dua konstanta yang penting dalam termistor, yaitu konstanta termistor (B) dan sensitivitas termistor (α). Besar nilai konstanta termistor (B) yang umum beredar secara komersial adalah $\geq 2000 \text{ K}$ [6]; [11].

Penelitian ini menggunakan bahan dasar ZnO dan Fe_2O_3 dan bahan *doping* TiO_2 . Dopan TiO_2 ditambahkan dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 0%, 1%, dan 3%. Berdasarkan latar belakang yang disampaikan, akan dipelajari pengaruh penambahan TiO_2 terhadap karakteristik termistor NTC berbahan dasar ZnO dan Fe_2O_3 .

DASAR TEORI

A. 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].

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] dengan 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* [1].

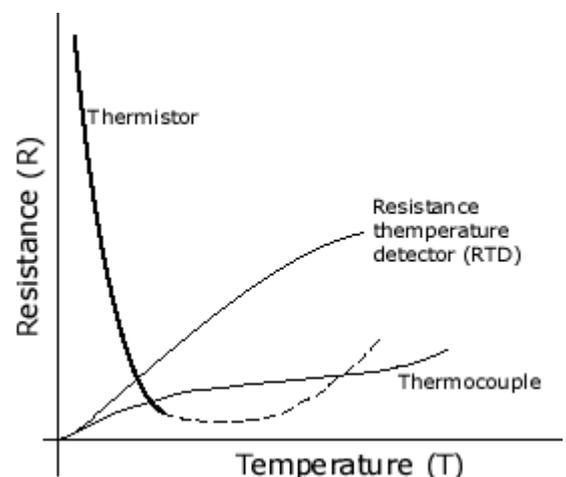
B. Termistor NTC

Termistor merupakan kependekan dari *Thermally Sensitive Resistor* adalah suatu komponen elektronik yang memiliki tahanan listrik yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu [9]. Prinsipnya adalah memberikan perubahan resistansi yang sebanding dengan perubahan suhu [2]. Bentuk umum termistor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Termistor NTC [2]

Termistor NTC (*Negative Temperature Coeffecience*) adalah jenis termistor yang memiliki karakteristik yaitu jika suhu naik maka resistansinya akan turun. Didalam termistor ada dua parameter yang sangat penting, yakni nilai konstanta termistor (B) dan sensitivitas termistor (α). Kedua nilai ini menunjukkan karakteristik listrik R-T dari termistor NTC. Konstanta termistor B menunjukkan karakteristik dari material termistor sehingga biasa juga disebut dengan konstanta bahan karena berhubungan dengan energi aktivasi bahan. Nilai α menunjukkan berkurangnya nilai hambatan tiap kenaikan temperatur 1K dan biasanya dihitung pada temperatur tertentu yaitu temperatur ruang (25°C) dan 85°C . Besarnya nilai B dan α dari termistor yang umum beredar secara komersial adalah 2000K sampai 6000K dan $-6,0\%/K$ sampai $-1,0\%/K$ [4]. Termistor memiliki karakteristik yang khas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Temperatur (T) dan Resistivitas listrik (R) untuk thermistor NTC dan sensor lainnya [12]

Tahanan termistor NTC akan berkurang secara eksponensial jika suhu termistor bertambah. Hubungan antara tahanan dan suhu termistor ditunjukkan pada Persamaan (1) [12]:

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

Keterangan:

R = Tahanan termistor (Ω)

R_0 = Tahanan termistor pada suhu awal (Ω)

B = Konstanta termistor (K)

T = Temperatur (K)

Konstanta termistor pada bahan dipengaruhi oleh energi aktivasi bahan itu sendiri, sehingga konstanta termistor pada persamaan dapat ditulis menjadi Persamaan (2) [12]:

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

dengan ε_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 (α) dapat ditentukan menggunakan Persamaan (4),

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

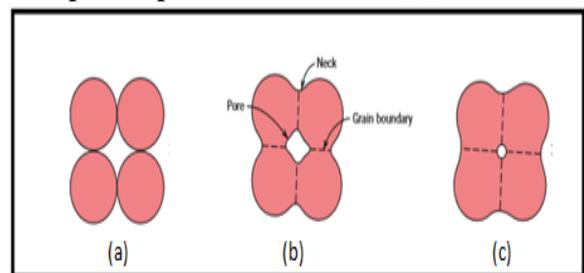
Semakin besar harga α dan B, kualitas termistor semakin bagus. Besar nilai konstanta termistor (B) yang umum beredar secara komersial adalah ≥ 2000 K [4] ; [12].

C. Titanium Dioksida (TiO₂)

Di dalam umumnya TiO₂ mempunyai tiga fasa yaitu rutile, anatase, dan brokit. Fasa rutile dari TiO₂ adalah fasa yang umum dan merupakan fasa disintesis dari mineral ilmenite melalui proses Becher [7]. Nanopartikel TiO₂ merupakan material semikonduktor tipe-n yang mempunyai ukuran partikel antara 10 sampai 50 nanometer [8].

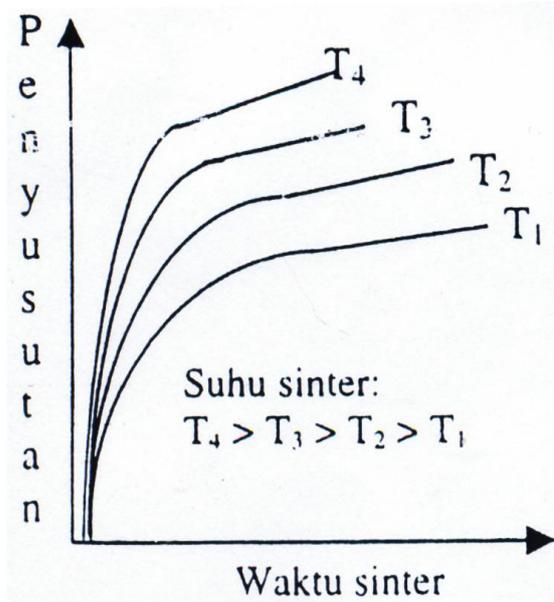
D. Sintering

Sintering adalah proses penggabungan partikel-partikel serbuk melalui peristiwa difusi pada saat suhu meningkat. Pada dasarnya sintering adalah peristiwa penghilangan pori-pori antara partikel bahan, pada saat yang sama terjadi penyusutan komponen, dan diikuti oleh pertumbuhan grain serta peningkatan ikatan antar partikel yang berdekatan, sehingga menghasilkan bahan yang lebih mampat/kompak. Peristiwa sintering dapat dilukiskan seperti pada Gambar 3. Suhu sintering mempengaruhi proses penyusutan, sedangkan pengaruh waktu sintering tidak banyak, hal ini terlihat seperti pada Gambar 4. Sintering umumnya dapat terjadi di dalam produk pada suhu tidak melebihi dari setengah sampai duapertiga dari suhu melingnya, suhu yang membuat atom cukup mampu untuk berdifusi [5].



Gambar 3. Tahapan Sintering [3]

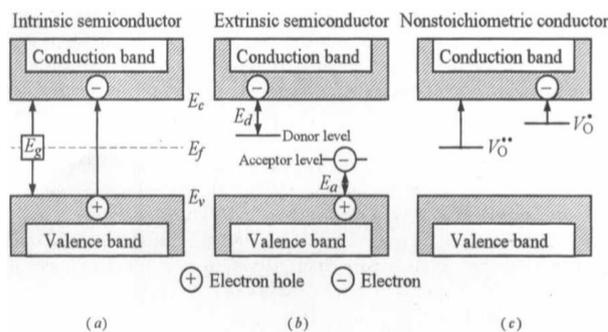
(6)



Gambar 4. Pengaruh Sinter Terhadap Penyusutan [5]

E. Semikonduktor

Bahan material padat dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu bahan isolator, semikonduktor, dan konduktor. Pada umumnya terdapat tiga cara terbentuknya muatan pembawa di dalam keramik semikonduktor yaitu eksitasi antar celah pita (intrinsik), gerak ketika adanya pengotor (ekstrinsik), dan gerak akibat dari hilangnya stoikiometri (*nonstokiometric*) [1] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema pita energi (a) semikonduktor intrinsik (b) semikonduktor ekstrinsik (c) semikonduktor nonstokiometri [1]

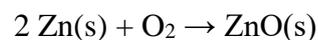
F. ZnO sebagai Bahan Semikonduktor

Semikonduktor adalah suatu bahan pada temperatur ruang memiliki resistivitas antara konduktor dan isolator (Van Vlack, 1964). Semikonduktor merupakan zat yang sifat penghantar listriknya diantara konduktor dan isolator pada suhu ruang ($T = 27^{\circ}\text{C}$). Berdasarkan harga resistivitasnya pada suhu kamar semikonduktor dapat diklasifikasikan, yaitu dalam rentang (10-2 sampai 10⁹) ohm-cm. Resistivitas dipengaruhi oleh suhu, cahaya yang menyinari, medan listrik dan medan magnet (Parno, 2006).

Semikonduktor tidak hanya dibatasi oleh unsur golongan IV. Semikonduktor dapat juga diperoleh dari gabungan antara golongan III dan golongan V yang memiliki karakteristik struktur elektronik serupa. Energi yang diperlukan untuk membebaskan elektron dari pita valensi ke pita konduksi besarnya bergantung pada jenis bahan (Kittel, 2002).

Pada penelitian ini digunakan senyawa semikonduktor kelompok II – VI yang mempunyai kemiripan dengan GaN. Senyawa tersebut adalah seng oksida (ZnO). ZnO mempunyai struktur kristal yang heksagonal yang memiliki efek piezoelektrik dan mempunyai celah pita dekat dengan UV(3.4 eV) pada suhu ruang. ZnO dapat juga digunakan sebagai optoelektronik dengan rentang panjang gelombang pendek.

Seng oksida dapat diperoleh dari pembakaran logam seng dalam udara menurut persamaan reaksi:



METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini berjudul “Pembuatan dan Karakterisasi Listrik Keramik $ZnFe_2O_4$ dengan Doping TiO_2 untuk Termistor NTC dengan Teknik *Pressing*” dilakukan secara eksperimen dan metode yang digunakan adalah reaksi antar padatan (*solid state reaction*), serbuk Fe_2O_3 dan ZnO dilarutkan kemudian dicampurkan. Campuran kemudian diendapkan menggunakan amoniak 10%. Hasil endapan kemudian dikeringkan pada suhu $100^\circ C$ selama ± 6 jam, kemudian dikalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 1 jam. Serbuk $ZnFe_2O_4$ dicampur dengan serbuk TiO_2 kemudian digerus hingga homogen selama ± 1 jam. Campuran kemudian di *press* dengan tekanan 50 ton/cm^2 hingga membentuk pelet pada cetakan berdiameter 8 mm. Pelet tersebut disinter pada suhu $1100^\circ C$ selama 2 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.

B. Pelaksanaan Penelitian

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

1. Pembuatan pelet keramik termistor NTC

Tahap-tahap pembuatan pelet keramik termistor NTC adalah sebagai berikut:

a. Preparasi serbuk

Dalam pembuatan termistor NTC pertama-tama yang dilakukan adalah menimbang ketiga sampel yang akan digunakan. Karena dalam penelitian ini yang dilihat adalah pengaruh penambahan dari TiO_2 , maka dibuatlah komposisi sampel tersebut. Karena berat yang di inginkan dari setiap komposisi sampel adalah 3.2 gram maka komposisinya dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Komposisi berat sampel termistor NTC

Konsentrasi berat (gram)		
Fe_2O_3	ZnO	TiO_2
2.04842	1.0437	0.10788

b. Pencampuran

Pada proses ini dibutuhkan asam klorida (HCl) 10 M didalam *beaker glass* untuk melarutkan serbuk Fe_2O_3 dan ZnO . Campuran ini diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai semua serbuk tersebut larut \pm selama 10 jam.

c. Pengendapan

Pada proses ini dibutuhkan amoniak (NH_4OH) didalam *beaker glass* untuk mengendapkan larutan $ZnFe_2O_4$.

d. Pengeringan

Pada proses ini endapan $ZnFe_2O_4$ dipanaskan untuk menguapkan amoniak (NH_4OH) pada suhu $100^\circ C$ selama 24 jam.

e. Kalsinasi

Pada proses ini endapan $ZnFe_2O_4$ dikalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 1 (satu) jam.

f. Penggerusan

Pada proses ini endapan $ZnFe_2O_4$ yang telah dikalsinasi dicampur dengan serbuk TiO_2 dan digerus hingga semua bahan tercampur sampai homogen \pm selama 1 (satu) jam. Setelah digerus semua bahan diayak menggunakan ayakan 100 mesh, agar serbuk campuran yang didapat lebih halus dan merata.

g. Pengepressan

Pada proses ini serbuk campuran di *press* dengan mesin *press* dari campuran tadi diambil 0.3 gram, kemudian di tekan dengan tekanan 50 kg/cm^2 selama 30 detik hingga membentuk pelet mentah.

h. Sintering

Pada proses ini pelet mentah kemudian disintering menggunakan

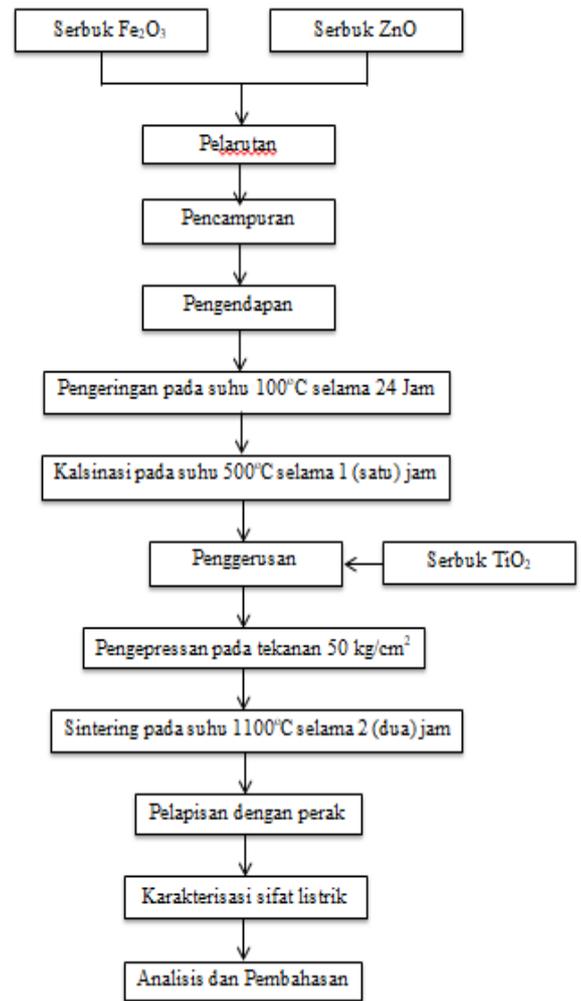
tungku listrik/sintering pada suhu 1100°C selama 2 (dua) jam.

i. Pelapisan dengan perak

Pada proses ini pasta perak (Ag) akan dilapiskan dengan menggunakan *screen printing* pada kedua sisi pelet hasil sintering. Pelet yang sudah dilapisi dengan perak kemudian dibakar pada suhu 600°C selama 10 menit menggunakan tungku pemanas agar pasta perak dapat menempel dengan kuat di atas keramik termistor.

j. Karakterisasi sifat listrik

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.



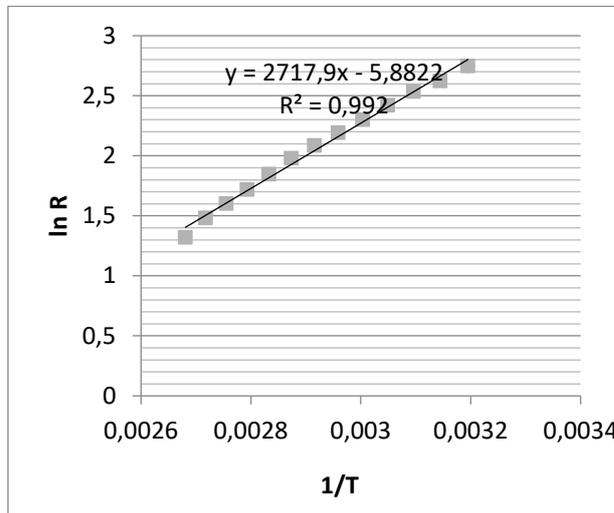
Gambar 6. Diagram alir penelitian pembuatan pelet keramik termistor NTC.

C. Diagram Alir Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Tahanan Listrik

Kualitas termistor tergantung pada nilai konstanta termistor B dan sensitivitas α . Nilai konstanta termistor B merupakan gradien dari grafik $\ln R$ terhadap $1/T$ seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara $\ln R$ terhadap $1/T$

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 10 dengan $T=300K$.

Resistansi pada suhu ruang dapat dihitung menggunakan Persamaan garis pada grafik dengan mengganti $x=1/T=1/300$, sehingga resistansi pada suhu ruang ($T=300K$) pelet keramik termistor NTC dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakterisasi listrik keramik termistor

B (K)	α_{RT} (%)	R_{RT} (K Ω)	ϵ_A (eV)
2717.9	3.019	23.974	0.6515

Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa pengukuran listrik termistor NTC $ZnFe_2O_4$ dengan doping TiO_2 yang disintering pada suhu $1100^\circ C$ selama 2 (dua) jam memenuhi karakteristik

termistor bahwa nilai hambatan menurun dengan meningkatnya suhu. Selain itu termistor keramik ini cukup baik karena kemungkinan sudah terbentuk struktur spinel hasil campuran dari ketiga bahan tersebut dan bisa terbaca mulai dari suhu $40^\circ C$ sampai $100^\circ C$. termistor dengan struktur spinel pada umumnya digunakan untuk mengukur hambatan dibawah $100^\circ C$. nilai tahanan suhu ruang $23.974 K\Omega$.

Energi aktivasi adalah energi minimum yang diperlukan oleh elektron untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi atau dari bulir yang satu ke bulir yang lainnya, berdasarkan data yang diperoleh diatas energi aktivasi dari keramik $ZnFe_2O_4$ dengan doping TiO_2 adalah sebesar $0.6515 eV$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pembuatan keramik $ZnFe_2O_4$ dengan doping TiO_2 menggunakan teknik *pressing* telah berhasil dilakukan dengan baik.
2. Karakteristik sifat listrik keramik $ZnFe_2O_4$ dengan doping TiO_2 yang disinter pada suhu $1100^\circ C$ selama 2 jam menggunakan teknik *pressing* memiliki karakteristik termistor NTC dan memiliki konstanta termistor sebesar $2717.9^\circ K$ yang memenuhi kebutuhan pasar ($\geq 2000^\circ K$).

DAFTAR PUSTAKA

[1] Syarif, D. G. 2007. *Karakterisasi Keramik Termistor Fe_2O_3 : 1mTi hasil sinter dan perlakuan panas*. Jurnal Teknik Mesin Trisakti Volume 9, no.1.

[2] Sari, Syarif, D. G. & Wiendartun.2016. *Pengaruh Suhu Pembakaran terhadap Karakteristik Listrik Keramik Film Tebal Berbasis Fe_2O_3 -MnO-ZnO untuk Termistor*

- NTC. Fisika FMIPA Universitas Pendidikan Indonesia.
- [3] Wiendartun, dkk. 2007. *Pengaruh Penambahan Al_2O_3 terhadap Karakteristik Keramik $CuFe_2O_4$ untuk Termistor NTC*. Jurnal FMIPA UPI.
- [4] Barsoum.M.W. 2003.*Fundamental of Ceramic*.USA : Department of Materials Engineering, Drexel University.
- [5] Syarif, D. G, dkk 2005. Pembuatan keramik termistor NTC berbahan dasar yarosit dan evaluasi karakteristiknya. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir.P3TkN – BATAN, Bandung*.
- [6] Budiarto, Hairil. 2010. *Pemanfaatan Thermistor Untuk Pengukuran Suhu Ruang*.Jurnal Universitas Trunojoyo Madura.
- [7] 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.
- [8] Dede, T.,Syarif, G. D., & Karim, S. 2007. Karakteristik keramik termistor NTC dari pasir yarosit yang berstruktur hematit dengan penambahan oksidamangan. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR-BATAN Bandung, 17-18 juli 2007*.
- [9] Septina, wilman; Fajarisandi, Dimas; Aditia Mega, 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*. Laporan penelitian bidang energi, Institut Teknologi Bandung.
- [10] Smestad GP. Nanocrystalline solar cell kit: Recreating photosynthaesis. *Journal of Institut for Chemical Education* 1998; 55.
- [11] 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.
- [12] Van Vlack. 1964. *Element of materials Science, An Introductory Text for Engineering Student*. London:Addison –Wesley Publising Company,Inc
- [13] Parno. 2006. *Fisika Zat Padat, Struktur Kristal: Universitas Negeri Malang*.
- [14] Kittel, C. 2002. *Introduction to Solid State Physic*. John Wiley & Son, Inc. Singapore, New York, Chichester, Brisbane, Toronto.