

STUDI APLIKASI KERAMIK ZnBiCo SEBAGAI TERMISTOR NTC

Dani Gustaman Syarif¹⁾, Henny²⁾, Andi Suhandi²⁾

ABSTRACT

STUDY ON THE APPLICATION OF ZnBiCo CERAMICS AS NTC THERMISTORS. A study on the application of ZnO-Bi₂O₃-CoO (ZnBiCo) ceramics for NTC thermistors had been carried out. The aim of this study was to find alternative NTC thermistors. The study was done as follow. Powder of ZnO, CoO and Bi₂O₃ with concentration of Bi₂O₃ of 0, 0.25, 0.5, and 0.75 mole % and of CoO of 2 mole % were homogeneously mixed. The mixed powder was pressed with pressure of 3.9 ton/cm² into pellets and sintered at 1100°C in air for 1 hour. The sintered pellets were evaluated using x-ray diffraction (XRD), optical microscope and SEM (Scanning electron microscope). Resistivity-temperature characteristic (ρ -T curve) was determined through measurement of resistivity at various temperatures from room temperature to 100°C. XRD and microstructure data showed that most of CoO formed a solid solution with ZnO matrix while Bi₂O₃ was segregated at grain boundaries as ZnO.24Bi₂O₃ second phase. It was known that the all ceramics produced in this study had the same structure i.e. hexagonal. It was known also that the addition of Bi₂O₃ increased the average grain size of the ZnBiCo ceramics. Electrical data showed that Bi₂O₃ increased the room temperature resistivity (ρ_{SR}) and the thermistor constant (B) of the ZnBiCo ceramic thermistors. The thermistor constant and sensitivity (α) of the thermistor ceramics in this study were relatively high (larger than 2000°K for B and larger than 2.2 (°K)⁻¹ for α) and suitable for commercial application.

Kata kunci : varistor, ZnBiCo, keramik, termistor, NTC.

PENDAHULUAN

Komponen elektronika yang tersedia di Indonesia umumnya berasal dari luar negeri. Penyediaan komponen secara impor menyebabkan sebagian devisa lari ke luar negeri dan mengurangi kemandirian bangsa dalam penyediaan berbagai kebutuhan hidup. Penyediaan komponen secara swasembada diyakini dapat mencegah ketergantungan akan komponen elektronik kepada luar negeri. Oleh karena itu dalam rangka swasembada komponen dan substitusi impor serta alih teknologi, berbagai usaha swasembada

komponen elektronika perlu dilakukan. Salah satu di antara berbagai komponen yang selama ini diimpor dan perlu diswasembada adalah termistor. Termistor adalah komponen elektronika yang bidang penggunaannya sangat luas mencakup bidang-bidang seperti kedokteran, otomotif, ruang angkasa, nuklir dan instrumentasi karena di samping dapat digunakan sebagai sensor suhu yang peka, divais ini dapat pula diaplikasikan sebagai sensor laju alir fluida, sensor tekanan, sensor vakum, sensor tingkat permukaan air dan pembatas arus listrik.

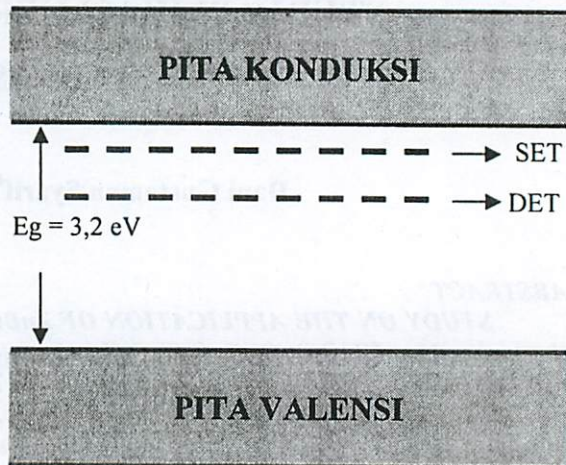
¹⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir-BATAN, Jl. Tamansari 71, Bandung 40132, Telp. (022)2503997, Fax : (022)2504081, e-mail: danigusta@telkom.net

²⁾ Jurusan Fisika UPI, Jl. Setiabudhi, Bandung.

Usaha swasembada termistor telah dirintis di P3TKN-BATAN dengan melakukan beberapa kegiatan penelitian mengenai pembuatan termistor berbasis oksida besi [1-3]. Namun dalam rangka diversifikasi bahan dasar, studi pembuatan termistor dengan bahan dasar selain oksida besi juga perlu dilakukan. Dari literatur [4] telah diketahui bahwa karakteristik tegangan-arus (V-I) varistor dipengaruhi oleh suhu. Dengan menggunakan data ini diduga termistor NTC dapat dibuat dari varistor. Salah satu varistor yang telah dibuat pada studi terdahulu adalah varistor ZnO-Bi₂O₃-CoO yang kemudian disebut sebagai varistor ZnBiCo [5]. Varistor ini diketahui memiliki karakteristik V-I yang baik di mana arus bocornya kecil. Varistor dengan karakteristik seperti ini secara teoritis memiliki kepekaan terhadap suhu, khususnya di daerah linear (di bawah tegangan patah {*breakdown voltage*}). Sejauh ini studi mengenai pembuatan termistor NTC dari keramik ZnBiCo belum dilaporkan. Oleh karena itu dalam rangka swasembada termistor, diversifikasi bahan dasar dan untuk mengetahui sejauh mana sebuah varistor dapat berfungsi sebagai termistor NTC, maka pada penelitian ini dipelajari karakteristik keramik ZnBiCo dengan konsentrasi Bi₂O₃ yang bervariasi sebagai termistor NTC.

TEORI

Jika keramik semikonduktor diberi aditif, maka secara teoritis dapat terbentuk jebakan elektron (*electron trap*) di dalam celah pita (*Band gap*) nya. Jebakan elektron yang terbentuk dapat berupa jebakan elektron dangkal (*shallow electron traps, SET*) atau jebakan elektron dalam (*deep electron traps, DET*). Secara skematis pembentukan dua jenis jebakan elektron pada keramik ZnO, yang merupakan matriks bagi varistor ZnBiCo, dengan celah pita (E_g) sebesar 3,2 eV [6] diperlihatkan pada Gambar 1. SET dan DET merupakan sumber elektron bagi pita konduksi.



Gambar 1. Celah pita keramik ZnO dan lokasi jebakan elektron.

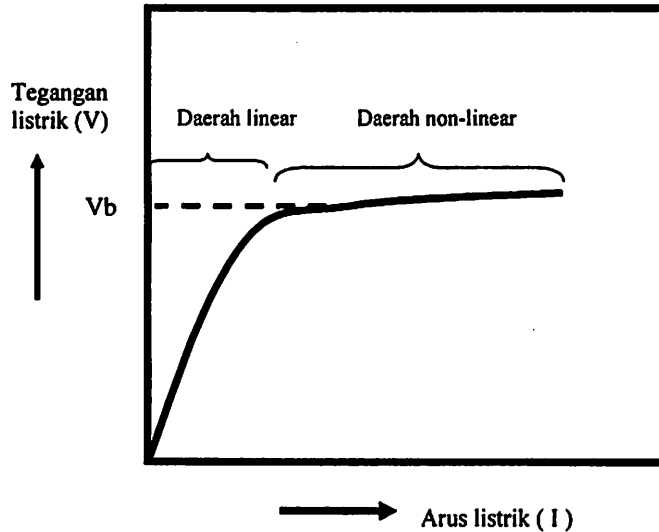
Varistor adalah komponen yang mempunyai karakteristik tegangan – arus listrik (V-I) yang khas. Karakteristik V-I dari sebuah varistor dalam skala logaritmik diperlihatkan pada Gambar 2. Pada daerah di bawah tegangan patah (V_b) hubungan antara V-I linear dan di atas V_b hubungan antara V dan I tidak linear. Konduksi listrik varistor di daerah linear mengikuti persamaan Schottky berikut ini [7]:

$$J = Co.Exp [-(E_B - \beta E^{1/2})/kT] \quad (1)$$

dengan, J = rapat arus (A/m^2), Co = konstanta (A/m^2), E_B = tinggi penghalang Schottky (eV), β = konstanta ($eV \cdot m^{1/2}/V^{1/2}$), E = medan listrik (V/m) dan k = konstanta Boltzmann ($eV/^\circ K$).

Termistor adalah komponen yang tahanan listriknya berubah dengan perubahan suhu. Tahanan listrik menurun ketika suhu meningkat. Secara matematis hubungan antara resistivitas listrik dan suhu termistor diperlihatkan pada persamaan (2) berikut [1-3,8]:

$$\rho(T) = \rho_0.Exp.(B/T) \quad (2)$$



Gambar 2. Karakteristik V-I varistor.

dengan, $\rho(T)$ = resistivitas listrik (tahanan jenis listrik) pada suhu tertentu (Ohm.cm), ρ_0 = konstanta (Ohm.cm), B = konstanta termistor ($^{\circ}\text{K}$), T = suhu dalam derajat kelvin. Dengan membuat plot antara $\ln \rho(T)$ vs $1/T$, harga B dapat ditentukan.

Ukuran kualitas termistor selain ditentukan oleh B ditentukan pula oleh sensitivitas (α) yang dapat dihitung menggunakan persamaan (3) berikut [1-3]:

$$\alpha = -B/T^2 \quad (3)$$

dengan, α = sensitivitas ($1/^{\circ}\text{K}$), B = konstanta termistor ($^{\circ}\text{K}$) dan T = suhu dalam derajat kelvin.

PERCOBAAN

Serbuk ZnO (E-merck p.a.) sebanyak (98-x) % mol, Bi₂O₃ (aldrich) sebanyak x % mol dengan x = 0; 0,25; 0,5 dan 0,75 dan CoO (aldrich) sebanyak 2 % mol dicampur secara homogen. Serbuk hasil campuran dikalsinasi

pada suhu 550 $^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam, lalu digerus. Setelah itu, serbuk kemudian dipres dengan tekanan 3,9 ton/cm² membentuk pelet mentah. Pelet dari serbuk ZnO tanpa aditif juga dibuat dengan cara yang sama sebagai pembanding. Pelet kemudian diberi kode sesuai dengan komposisinya. Pelet dengan komposisi ZnO, Bi₂O₃ dan CoO diberi kode ZnBiCo, dengan komposisi ZnO dan CoO diberi kode ZnCo dan pelet dari ZnO diberi kode ZnO. Pelet mentah yang diperoleh kemudian disinter pada suhu 1100 $^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam. Suhu sinter ini dipilih berdasarkan hasil penelitian terdahulu [1-3,5] di mana pelet diperkirakan telah tersinter dengan baik.

Karakteristik listrik pelet sinter dievaluasi dengan melakukan pengukuran tahanan pada berbagai suhu dari suhu ruang hingga 100 $^{\circ}\text{C}$ yang kemudian dikonversi ke dalam resistivitas listrik dengan memasukkan data dimensi menggunakan persamaan (4) berikut [6]:

$$\rho = (R.A)/L \quad (4)$$

dengan ρ = resistivitas listrik/tahanan jenis listrik (Ohm.cm), R = tahanan listrik (Ohm), A = luas penampang permukaan pelet (cm^2) dan L = tebal pelet (cm). Konstanta termistor (B) diambil dari kurva gambar hasil plot $\ln \rho$ (resistivitas listrik) vs $1/T$ (B = gradien kurva) dan dengan menggunakan data (B), sensitivitas (α) dihitung memakai persamaan (3).

Pelet sinter kemudian diampelas secara berjenjang dengan menggunakan kertas ampelas SiC dari berbagai nomor dari kecil hingga besar, dipoles dengan bantuan serbuk alumina berukuran partikel 0,05 mikron dan dietsa menggunakan larutan cuka encer. Dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM/EDS (*Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive Spectrometry*), struktur mikro pelet sinter dievaluasi.

Analisis difraksi sinar-X (XRD) juga dilakukan untuk melihat struktur kristal yang terjadi dan kehadiran fase kedua (*second phase*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur mikro

Gambar struktur mikro dari keramik ZnBiCo pada berbagai konsentrasi Bi_2O_3 diperlihatkan pada Gambar 3. Dapat dilihat dari Gambar 3 bahwa butir-butir (*grains*) berbentuk non-poligon (tidak beraturan) dan ukurannya semakin besar seiring dengan penambahan konsentrasi Bi_2O_3 . Perbedaan warna butir menandakan perbedaan orientasi kristal. Secara kuantitatif ukuran butir pada Gambar 3 telah dihitung menggunakan metode intersep linear. Sampel dengan aditif Bi_2O_3 sebesar 0 % mol, 0,25 % mol, 0,50 % mol dan 0,75 % mol masing-masing memiliki ukuran butir rata-rata sebesar 8 μm , 11 μm , 15 μm dan 28 μm . Hal ini merupakan indikasi bahwa Bi_2O_3 berpengaruh terhadap pertumbuhan butir

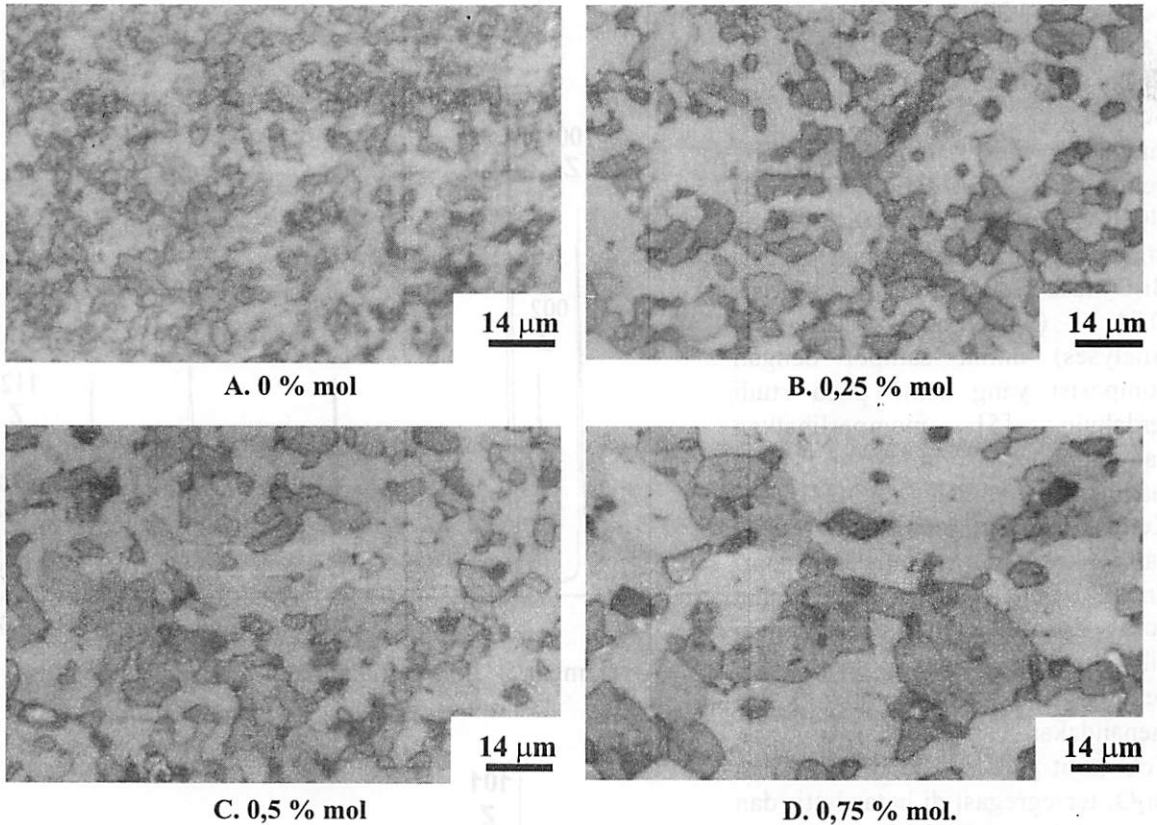
keramik ZnBiCo. Dalam hal ini Bi_2O_3 telah menjadi pemercepat pertumbuhan butir (*grain growth accelerator/grain growth promotor*).

Struktur mikro keramik ZnBiCo kemudian dievaluasi menggunakan SEM untuk melihat kehadiran fase kedua secara lebih jelas. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 4. Seperti tampak pada Gambar 4, Bi_2O_3 tersegregasi di batas butir (warna putih mendekati abu-abu) dan tidak larut padat di dalam matriks ZnO (abu-abu). Pada Gambar 4 terlihat juga adanya inklusi (berwarna lebih gelap dari pada ZnO) di dalam pori intergranular. Bintik-bintik putih (salah satu contohnya diberi kode A) adalah partikel asing yang menempel pada permukaan sampel (Terjadi saat preparasi).

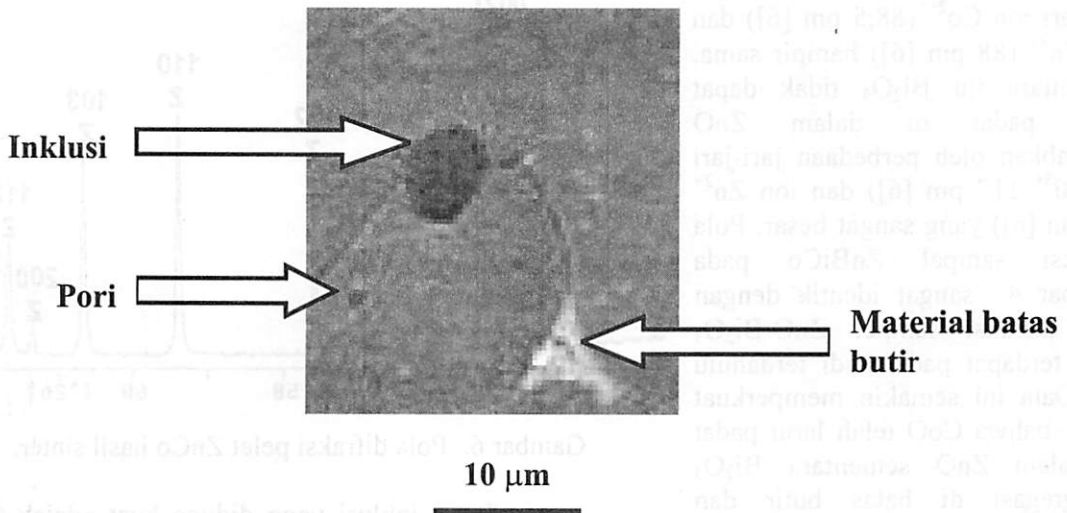
Ketidak larutan Bi_2O_3 di dalam ZnO disebabkan oleh perbedaan yang sangat besar antara jari-jari ion Bi^{3+} (117 pm [6]) dan jari-jari ion Zn^{2+} (88pm [6]). Ion Bi^{3+} tidak dapat masuk ke dalam kisi kristal ZnO. Akibatnya, Bi_2O_3 tersegregasi di batas butir. Dengan demikian dari data ini diketahui bahwa mekanisme pemercepatan pertumbuhan butir adalah melalui penyinteran fase cair di batas butir (*liquid phase sintering*) dan material yang meleleh di batas butir adalah senyawa yang kaya akan Bi_2O_3 . Konsentrasi Bi_2O_3 makin besar, pertumbuhan butir makin aktif. Senyawa yang tersegregasi di batas butir dikonfirmasi menggunakan data XRD yang dibahas pada 'Analisis difraksi sinar-X'.

Analisis Difraksi Sinar-X

Pola difraksi sinar-X untuk sampel keramik ZnO tanpa penambahan aditif, keramik ZnCo dan keramik ZnBiCo (dengan konsentrasi CoO sebesar 2 % mol dan Bi_2O_3 sebesar 0,5 % mol) sebagai wakil diperlihatkan pada Gambar 5, 6 dan 7. Tiga gambar ini memperlihatkan bahwa keramik ZnCo dan ZnBiCo mempunyai struktur kristal yang sama dengan struktur kristal keramik ZnO sebagai matriks yaitu



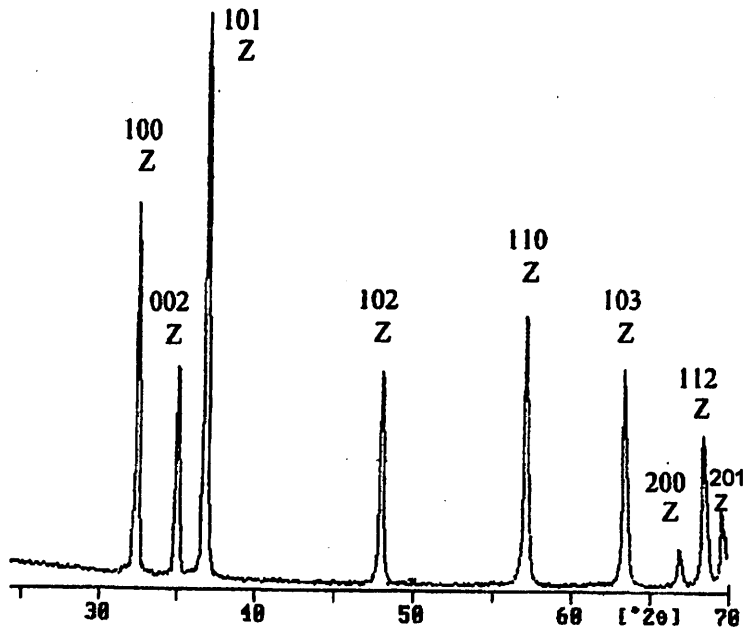
Gambar 3. Struktur mikro keramik ZnO-2% mol CoO dengan kandungan Bi_2O_3 berbeda (Hasil pemotretan dengan mikroskop optik).



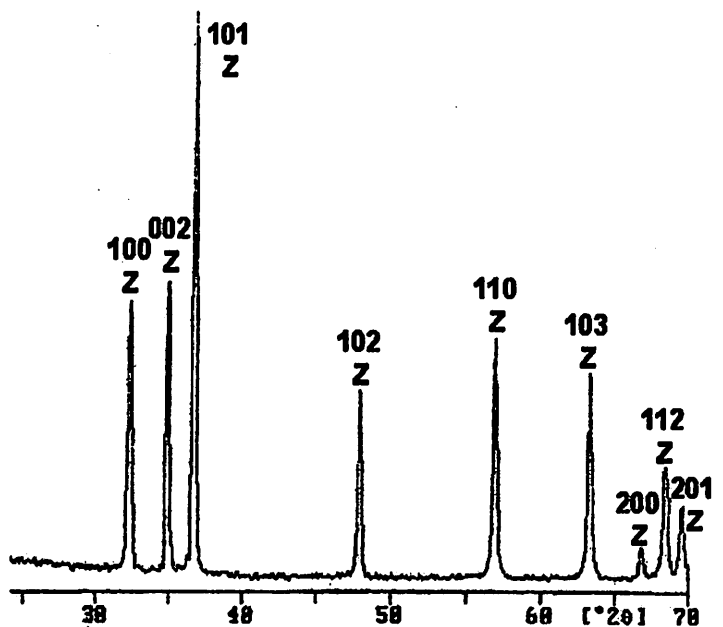
Gambar 4. Struktur mikro keramik ZnBiCo hasil pemotretan dengan SEM.

hexagonal (JCPDS No.36-1451 [9]). Pada pola difraksi sinar-X keramik ZnBiCo, puncak CoO tidak terlihat. Sementara terdapat puncak tambahan yang sangat jelas yang berasal dari ZnO.24Bi₂O₃ (kode B) (JCPDS NO. 26-0236 [10]). Puncak ini sangat mirip dengan puncak dari Bi₂O₃ fasa beta, tetapi hasil analisis DTA (Differential Thermal Analyses) untuk sampel dengan komposisi yang sama pada studi terdahulu [5] memperlihatkan bahwa puncak tambahan pada Gambar 4 adalah ZnO.24Bi₂O₃. Ketidak hadirannya puncak dari CoO dan kehadiran puncak dari ZnO.24Bi₂O₃ semakin jelas, ketika pola difraksi keramik ZnBiCo dibandingkan dengan pola difraksi keramik ZnO pada Gambar 3. Ini menandakan bahwa sebagian besar CoO larut padat di dalam ZnO dan Bi₂O₃ tersegregasi di batas butir dan bereaksi dengan ZnO batas butir.

Pembentukan larutan substitusi antara CoO dan ZnO sangat dimungkinkan mengingat jari-jari ion Co²⁺ (88,5 pm [6]) dan ion Zn²⁺ (88 pm [6]) hampir sama. Sementara itu Bi₂O₃ tidak dapat larut padat di dalam ZnO disebabkan oleh perbedaan jari-jari ion Bi³⁺ 117 pm [6]) dan ion Zn²⁺ (88 pm [6]) yang sangat besar. Pola difraksi sampel ZnBiCo pada Gambar 4 sangat identik dengan pola difraksi sampel ZnO-Bi₂O₃ yang terdapat pada studi terdahulu [5]. Data ini semakin memperkuat fakta bahwa CoO telah larut padat di dalam ZnO sementara Bi₂O₃ tersegregasi di batas butir dan membentuk eutektik dengan ZnO. Namun struktur mikro Gambar 2 memperlihatkan

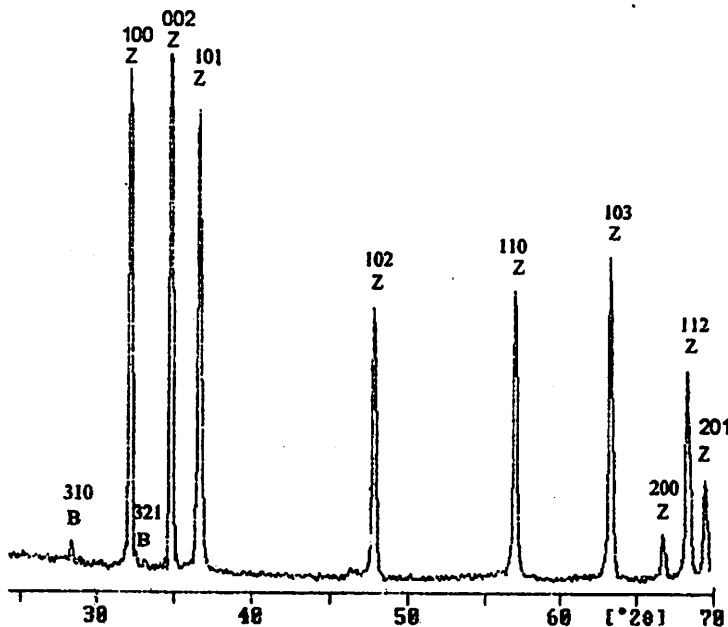


Gambar 5. Pola difraksi pelet ZnO hasil sinter.



Gambar 6. Pola difraksi pelet ZnCo hasil sinter.

adanya inklusi yang diduga kuat adalah CoO. Ini berarti sebagian besar CoO larut padat di dalam ZnO dan sebagian kecil CoO tidak larut



Gambar 7. Pola difraksi pelet ZnBiCo hasil sinter (2 %mol CoO dan 0.5 % mol Bi₂O₃). Memperlihatkan kehadiran puncak tambahan dari ZnO.24Bi₂O₃ (Kode B).

padat. Sebagian CoO yang tidak larut padat kemudian membentuk inklusi dan karena konsentrasinya kecil, maka tidak dapat dideteksi oleh XRD.

Karakteristik Listrik

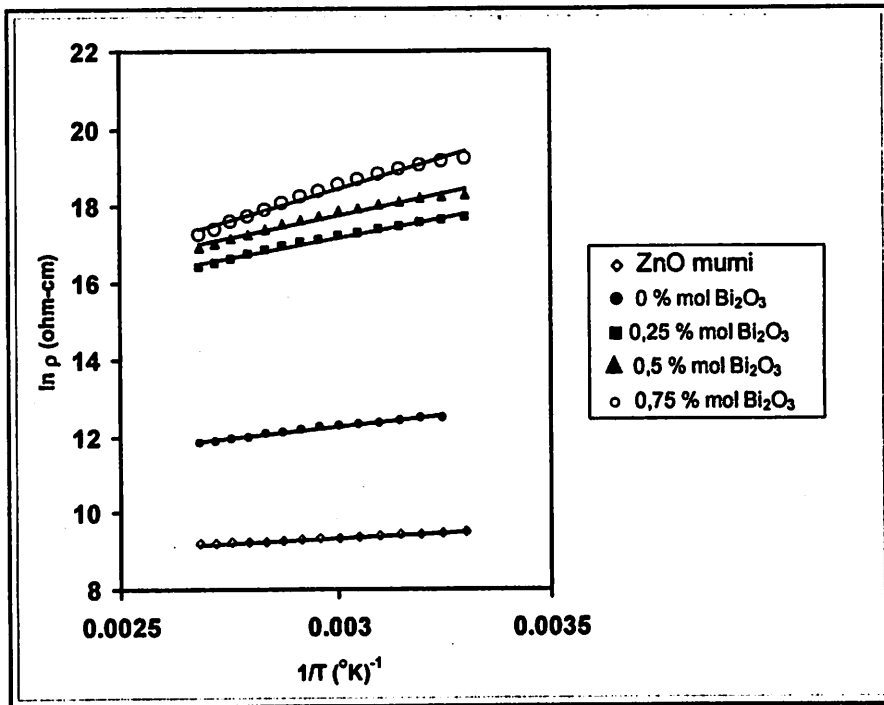
Kurva karakteristik listrik pelet sinter keramik ZnBiCo dengan konsentrasi Bi₂O₃ berbeda dalam bentuk (ln ρ versus 1/T) diperlihatkan pada Gambar 8. Harga resistivitas suhu ruang, konstanta termistor (B), dan sensitivitas (α) diperlihatkan pada Tabel 1.

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa karakteristik listrik semua pelet sinter mengikuti karakteristik termistor NTC yang diekspresikan oleh persamaan (2). Hal ini terlihat dari berimpitnya titik-titik data dengan garis "fitting" dari persamaan (2). Dengan melihat data Gambar 8 dan Tabel 1, diketahui pelet ZnO tanpa aditif apapun memiliki

konstanta termistor (B) terendah yaitu 534 °K. Ketika ZnO ditambah CoO (pelet ZnCo) konstanta termistor dan resistivitas suhu ruang (ρ_{SR}) nya meningkat. Konstanta B dan ρ_{SR} dari pelet ZnCo lebih membesar lagi ketika ditambah Bi₂O₃ (menjadi pelet ZnBiCo).

Penambahan konsentrasi Bi₂O₃ meningkatkan pula harga B dan ρ_{SR}. Peningkatan resistivitas suhu ruang terjadi sangat signifikan, sementara kenaikan konstanta termistor tidak terlalu signifikan. Dari data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa harga-harga konstanta termistor dan sensitivitas pelet sinter ZnBiCo sesuai dengan harga konstanta termistor dan sensitivitas pasaran yang harganya masing-masing lebih besar atau sama dengan 2000°K dan 2,2 (°K)⁻¹ (lebih kecil dari -2,2 (°K)⁻¹) [8,11-13].

Peningkatan harga ρ_{SR} dan B pada pelet ZnCo disebabkan oleh terbentuknya *deep electron traps* (DET) akibat kehadiran CoO. Larut padatnya CoO di dalam matriks ZnO diikuti oleh pembentukan DET. Pembentukan DET menyebabkan penurunan pembawa muatan bebas di pita konduksi, akibatnya resistivitas listrik meningkat. Untuk menimbulkan arus listrik pada pelet ZnCo sebesar arus yang terjadi pada ZnO diperlukan tegangan listrik yang lebih besar dan pada tegangan tertentu, untuk menimbulkan arus listrik pada pelet ZnCo sebesar arus yang terjadi pada ZnO diperlukan panas yang lebih besar. Berkurangnya jumlah pembawa muatan bebas pada pelet ZnCo menyebabkan kepekaan resistivitas listrik terhadap perubahan suhu juga meningkat. Akibatnya secara kuantitatif harga konstanta termistor (B) dan sensitivitas (α) nya menjadi lebih besar.



Gambar 8. $\ln \rho$ (resistivitas listrik) sebagai fungsi $1/T$ dari pelet sinter ZnBiCo pada berbagai konsentrasi Bi_2O_3 .

Peningkatan harga ρ_{SR} dan B pada termistor ZnBiCo terjadi akibat pembentukan penghalang Schottky (*Schottky barrier*) oleh Bi_2O_3 di batas butir. Semakin besar konsentrasi Bi_2O_3 yang ditambahkan, semakin besar pula potensial penghalang Schottky. Akibatnya, harga ρ_{SR} dan B bertambah besar. Hubungan antara B dan penghalang Schottky dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika persamaan (1) untuk varistor dibentuk seperti persamaan (2), maka diperoleh hubungan berikut:

$$1/J = \rho \cdot L/V = C_0 \cdot \text{Exp} [(E_B - \beta E^{1/2})/kT] \quad (5)$$

$$\rho = C_0 \cdot V/L \cdot \text{Exp} [(E_B - \beta E^{1/2})/kT] \quad (6)$$

karena pada harga V tertentu, L/V adalah konstanta, maka persamaan (6) dapat ditulis menjadi persamaan (7) berikut:

$$\rho = C \cdot \text{Exp} [(E_B - \beta E^{1/2})/kT] \quad (7)$$

dengan menghubungkan persamaan (7) dengan persamaan (2) diperoleh hubungan sebagai berikut:

$$B/T = (E_B - \beta E^{1/2})/kT \quad (8)$$

$$B = (E_B - \beta E^{1/2})/k \quad (9)$$

Karena pada harga tegangan tertentu $\beta E^{1/2}$ merupakan konstanta, maka terlihat bahwa (B) berbanding lurus dengan potensial penghalang Schottky (E_B). Makin besar (E_B), makin besar pula harga konstanta termistor (B).

Tabel 1. Konstanta termistor dan resistivitas listrik suhu ruang pelet sinter ZnBiCo pada berbagai konsentrasi Bi₂O₃.

No.	Sampel	Konsentrasi Bi ₂ O ₃ (% mol)	Konsentrasi CoO (% mol)	Resistivitas suhu ruang (x 10 ⁶ Ohm-cm)	B (°K)	α (°K) ⁻¹
1.	ZnO	0,00	0	0,01	534	- 0,6
2.	ZnCo	0,00	2	0,31	1206	- 1,3
3.	ZnBiCo1	0,25	2	57,45	2026	- 2,3
4.	ZnBiCo2	0,50	2	111,00	2291	- 2,6
5.	ZnBiCo3	0,75	2	310,00	3034	- 3,4

KESIMPULAN

Sebagian besar CoO membentuk larutan padat dengan matriks ZnO dan sebagian kecil membentuk inklusi di dalam pori, sementara Bi₂O₃ tersegregasi di batas butir sebagai fase kedua ZnO.24Bi₂O₃.

Semua keramik yang dihasilkan pada studi ini mempunyai struktur kristal yang sama yaitu hexagonal.

Penambahan Bi₂O₃ memperbesar ukuran butir keramik ZnBiCo melalui mekanisme penyinteran fase cair dan menaikkan resistivitas suhu ruang (ρ_{SR}) dan konstanta termistor (B) keramik ini. Konstanta termistor dan sensitivitas keramik termistor ZnBiCo dengan kandungan Bi₂O₃ sebesar 0,25% mol hingga 0,75% mol yang dibuat pada studi ini relatif tinggi (masing-masing lebih besar dari 2000°K untuk (B) dan lebih besar dari 2,2 1°K {lebih kecil dari - 2,2 1°K} untuk sensitivitas (α) dan sesuai untuk aplikasi komersial.

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, "Pembuatan Keramik Termistor Berbahan Dasar Mineral Yarosit dan Evaluasi Karakteristiknya", Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir 2005, P3TkN-BATAN, Bandung 2005.
4. Michio Matsuoka, "Non-ohmic properties of zinc oxide ceramics", Japanese Journal of Applied Physics, 10 (1971) 738.
5. Dani Gustaman Syarif, Guntur D.S., M. Yamin, "Pengaruh penambahan CoO terhadap faktor kenon-linearitas dan struktur mikro varistor ZnO-Bi₂O₃", Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, Vol.IV, No.1, P3TkN-BATAN, Bandung 2004.
6. Michel Barsoum, "Fundamentals of ceramics", McGraw-Hill, 1997.
7. L.M. Levinson, H.R. Philipp, "The physics of metal oxide varistors", Journal of Applied Physics, 46 (1975) 1332.
8. M. Parlak, T. Hashemi, M.J. Hogan, A.W. Brinkman, "Electron beam evaporation of

nickel manganite thin-film negative temperature coefficient thermistors”, Journal of materials science letters 17 (1998)1995.

9. Anonim, “*Pola difraksi standar untuk ZnO*”, JCPDS 36-1451.
10. Anonim, “*Pola difraksi standar untuk Zn_{0.24}Bi₂O₃*”, JCPDS 26-0236.
11. R. Nathan Katz, “*Advanced ceramics: NTC Thermistors*”, www.ceramicindustry.com.
12. Hamada, “*Thermistor composition*”, US Patent No. 6.270.693, Agustus 2001.
13. Jung, “*Metal oxide group thermistor material*”, US Patent 5.246.628, September 1993.