

EFEK ADITIF Bi_2O_3 TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN KOEFISIEN NON LINIER VARISTOR ZnO

M.Gade¹ dan Muljadi²

¹Kopertis Wilayah I DPK- UMN Al-Washliyah Medan

²Pusat Penelitian Fisika-LIPI-Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan varistor ZnO dengan menggunakan bahan baku : ZnO (E-Merck) dan aditif : 0 %, 2,5 %, 5 %, 7,5 %, dan 10 % berat Bi_2O_3 . Sifat utama varistor ZnO adalah koefisien non linier (α) dan merupakan parameter yang mempengaruhi korelasi hubungan non ohmik antara arus I dan tegangan V . Proses pencampuran bahan baku digunakan alat magnetic stirrer dan media pencampur larutan aceton, kemudian dikeringkan pada suhu 60°C, dan digerus hingga lolos 400 mesh. Selanjutnya dibuat pelet dengan tekanan 50 MPa, dan dibakar pada suhu 1050°C, dengan penahanan selama 2 jam. Sampel yang telah dibakar dilakukan pengujian meliputi : pengujian koefisien non linier, pengamatan mikrostruktur dengan Scanning Electron Microscope (SEM). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sampel tanpa aditif Bi_2O_3 belum bersifat varistor karena nilai $\alpha < 5$, dan nilai α tertinggi yaitu 64 diperoleh dengan aditif 7,5 % Bi_2O_3 . Hasil pengamatan foto SEM menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan aditif Bi_2O_3 akan mempengaruhi terbentuknya batas butir (grain boundary) dan ukuran butir; dimana nilai koefisien non linier α sangat dipengaruhi adanya batas butir dan ketebalan batas butir.

Kata Kunci: Varistor ZnO , Bismuth Oxide, Grain boundary, Non ohmic , Koefisien non linier.

ABSTRACT

The varistor ZnO has been made by using raw materials : ZnO (E-Merck) and additive 0 %, 2,5 %, 5 %, 7,5 %, and 10 % wt. Bi_2O_3 . The important property of varistor ZnO is coefficient of non linier (α) and it can give influence correlation between current I and voltage V . The mixing process of raw materials was done by using magnetic stirrer and liquid acetone as media, then was dried at 60°C, and also grinded until passing 400 mesh. Pellet was made by using pressing 50 MPa, and fired at 1050°C with holding time 2 hours. After firing, all samples are characterized, such as : measurement of coefficient of non linier (α), and observation of microstructure by using Scanning Electron Microscope (SEM). The results show that sample without additive has α less than 5 and this sample has not properties as varistor, but the highest value of α is 64 for sample with additive 7,5 % Bi_2O_3 . The result of photos SEM show that the increase of percentage of additive Bi_2O_3 can influence of formation grain boundary and grain size; where, value of coefficient of non linier (α) is depend on existing of grain boundary and thickness of grain boundary.

Keywords: Varistor ZnO , Bismuth Oxide, Grain boundary, Non ohmic , Coefficient non linier.

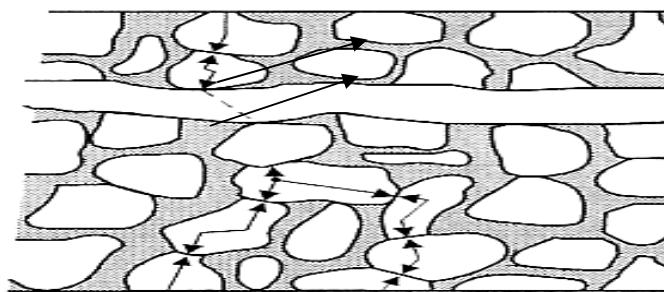
I. PENDAHULUAN

Varistor merupakan komponen yang dapat melindungi alat elektronik atau jaringan listrik dari bahaya tegangan yang berlebih [1]. Jenis material varistor yang umum digunakan adalah SiC dan ZnO, dimana varistor ZnO memiliki keunggulan antara lain : memiliki koefisien non linier yang lebih tinggi, respon yang lebih cepat, dan memiliki harga material yang jauh lebih murah [2]. Varistor memiliki sifat yang non ohmik, bila ada lonjakan tegangan yang cukup besar (V) maka arus (I) yang dialirkan akan kecil , karena hubungan V dan I tidak linier, tetapi tergantung faktor nilai konstanta non linier α [3]. Non linier koefisien α didefinisikan sebagai perbandingan antara perbedaan arus listrik (I) yang melalui varistor dengan perbedaan tegangan listrik (V) pada varistor, ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut [4] :

$$\alpha = \frac{\Delta(\log I)}{\Delta(\log V)} \quad (1)$$

dan nilai α untuk jenis varistor ZnO bervariasi yaitu sekitar 15 sampai 100 , serta nilai α dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : temperatur, tekanan, mikrostruktur, dan parameter-parameter dalam proses fabrikasi [4].

Mikrostruktur dari varistor ZnO terdiri dari butiran (*grain*) dan fasa diantara butiran yang disebut batas butir (*grain boundary*). Butiran dari ZnO memiliki resistansi yang rendah yaitu $< 10 \Omega\text{cm}$ berarti bersifat konduktor, sedangkan batas butir memiliki resistansi yang tinggi sekitar sekitar $10^{12} \Omega\text{cm}$ yang menunjukkan sifat isolator listrik. Pada Gambar 1 diperlihatkan mikrostruktur dari ZnO [3, 5].



Gambar 1. Mikrostruktur dari ZnO.

Konduksi arus listrik terlihat melalui garis tanda panah yang melalui butiran-butiran ZnO. Untuk menghasilkan varistor ZnO dengan mikrostruktur seperti pada Gambar 1 yaitu harus ada batas butir yang sekaligus sebagai berfungsi pengikat butiran-butiran ZnO dan bersifat isolator listrik. Bahan pembentuk batas butir antara lain berupa aditif dari : Bi_2O_3 , Sb_2O_3 , SiO_2 , CoO , MnO dan Cr_2O_3 [2, 6]. Sedangkan Peter Kocher [7] telah melakukan pembuatan varistor ZnO dengan menggunakan aditif berupa campuran lima macam oksida (Bi_2O_3 , CoO , MnO , Cr_2O_3 , dan Sb_2O_3) yang menghasilkan varistor ZnO dengan nilai koefisien non linier $\alpha = 50$, dengan mikrostruktur terdiri dari : butir ZnO, batas butir berupa fasa amorfus Bi_2O_3 , dan fasa spinel $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$. Tentunya menggunakan 5 macam oksida sebagai bahan aditif akan menjadi lebih mahal, maka pada penelitian yang dilakukan oleh penulis menggunakan satu jenis oksida sebagai aditif, dan tentunya akan lebih murah.

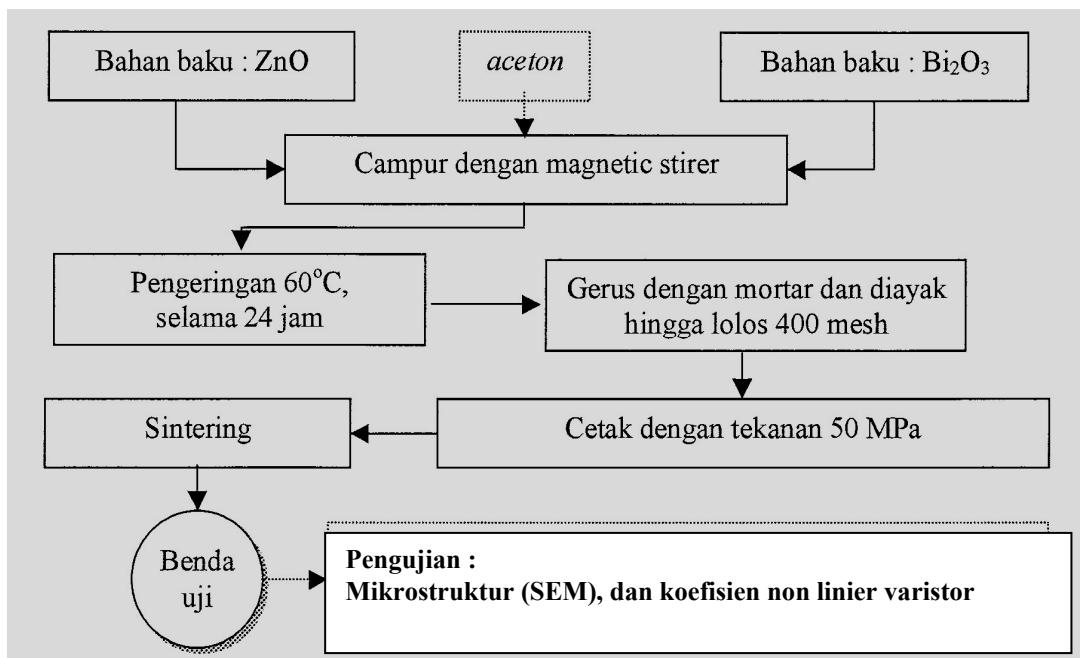
Penggunaan aditif Bi_2O_3 , karena aditif ini memiliki titik lebur yang jauh lebih rendah dari ZnO yaitu sekitar 700°C , sehingga diharapkan mampu menghasilkan batas butir dan mampu sekaligus mengikat-butir-butir ZnO. Penambahan Bi_2O_3 divariasikan yaitu dari 0 % sampai dengan 10 % berat. Suhu pembakaran menurut literatur dan yang dilakukan oleh Peter Kocher adalah 1200°C , sedangkan di percobaan yang dilakukan menggunakan suhu yang lebih rendah yaitu 1050°C . Dengan memvariasikan persentase aditif untuk mengetahui korelasi hubungan persentase aditif Bi_2O_3 terhadap nilai koefisien non linier dan perubahan terhadap mikrostrukturnya. Pengujian sampel yang telah dibakar meliputi pengukuran koefisien non linier, yaitu diperoleh dari hasil pengukuran hubungan arus I dan tegangan V dari masing-masing sampel uji. Sedangkan pengujian yang lainnya berupa pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

II. METODOLOGI

Preparasi sampel digunakan bahan baku berupa serbuk ZnO dari produk E-Merck, dan aditif berupa serbuk Bi_2O_3 dari produk E-Merck. Variasi penambahan aditif Bi_2O_3 adalah: 0%, 2,5 %, 5 %, 7,5%, dan 10 % berat. Metoda preparasi sampel digunakan cara pencampuran padat-padatan yaitu: kedua macam bahan baku setelah ditimbang dengan komposisi yang telah ditentukan dicampur dengan larutan aceton dengan perbandingan masa serbuk: masa aceton = 1 : 1, kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer sambil dipanasi suhu 50°C sampai terbentuk pasta (suspensi yang kental). Diagram alir preparasi serbuk ditunjukkan pada Gambar 2.

Kemudian suspensi berupa pasta dikeringkan dalam lemari pengering pada suhu 60°C selama 24 jam, hingga diperoleh serbuk, selanjutnya serbuk tersebut digerus dengan mortar tangan dan diayak hingga lolos 400 mesh. Kemudian dibuat sampel pellet dengan cetak tekan yang menggunakan

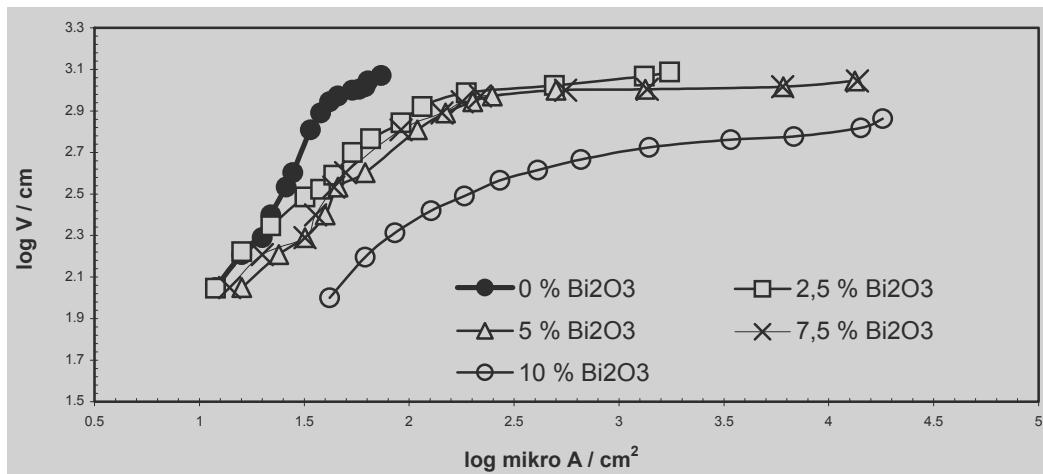
tekanan 50 MPa. Sampel pellet dibakar dengan menggunakan tungku listrik sampai suhu 1050°C dan ditahan pada suhu tersebut selama 2 jam. Kemudian sampel pellet yang telah dibakar di karakterisasi yang meliputi : pengukuran Koefisien Non Linier , dan analisa mikrostruktur dengan menggunakan SEM. Nilai koefisien non linier α dapat diperoleh melalui pengukuran hubungan arus I dengan tegangan V, yang menggunakan sumber arus DC dan dilakukan pada suhu kamar. Dari kurva hubungan log I dan log V , dapat ditentukan nilai α pada daerah non linier menggunakan persamaan (1).



Gambar 2. Diagram Alir Preparasi Sampel Varistor ZnO.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran arus listrik I dan tegangan V dengan menggunakan sumber arus DC untuk masing-masing sampel yang telah dibakar pada suhu 1050°C ditunjukkan pada Gambar 3. Profil kurva hasil pengukuran hubungan tegangan V dan arus listrik I untuk masing-masing sampel terlihat berbeda seperti terlihat pada Gambar 3. Sampel dengan 0 % Bi₂O₃ terlihat pada daerah rapat arus : $10 - 10^{1.7}$ μ A/cm² hampir mendekati hubungan yang linier, jadi hampir mendekati hubungan ohmik yaitu $V = I \cdot R$. Hal ini dapat dikatakan bahwa sampel tanpa aditif belum menunjukkan sifat varistor ,dimana pada varistor seharusnya hubungan V dan I adalah non ohmik , yaitu $I = (V / C)^\alpha$.



Gambar 3. Kurva hubungan Tegangan (log V/cm) terhadap Arus (log μ A/cm²) untuk sampel dengan berbagai persen aditif Bi_2O_3 .

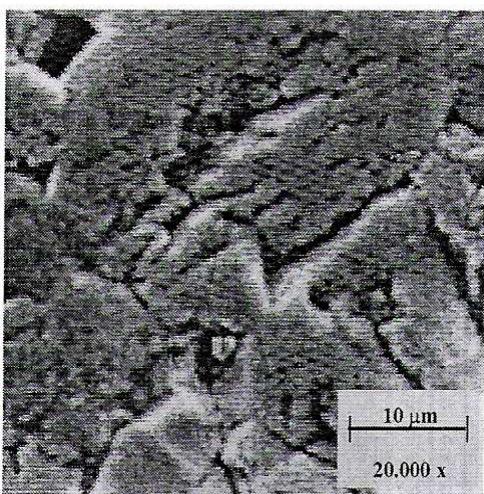
Profil kurva dari sampel yang menggunakan aditif Bi_2O_3 sudah menunjukkan pola seperti pada varistor, yaitu kurva hubungan I dan V pada Gambar 3, menunjukkan dua daerah yaitu daerah linier (ohmik) pada kisaran rapat arus $10^{1,2} - 10^{2,2} \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan daerah non linier (non ohmik) pada kisaran rapat arus : $10^{2,2} - 10^{4,1} \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Hal ini disebabkan aditif Bi_2O_3 yang digunakan pada suhu pembakaran (1050°C) telah melebur hingga menyelimuti seluruh permukaan butir ZnO hingga membentuk batas butir (grain boundary) dan bersifat isolator listrik. Sehingga dengan adanya batas butir tersebut ada sedikit hambatan aliran arus listrik, sehingga hubungan arus I dan tegangan V tidak linier atau non ohmik. Bila sampel tanpa bahan aditif, maka tidak terjadi batas butir sehingga aliran arus listrik akan mengalir secara kontinyu melalui butir-butir ZnO yang bersifat konduktor. Dari Gambar 3 terlihat bahwa semakin meningkat penambahan aditif Bi_2O_3 dari 2,5 % hingga 7,5 %, maka kurva pada daerah non linier cenderung semakin mendatar kecuali untuk sampel dengan aditif 10 % Bi_2O_3 slope kurvanya cenderung naik kembali pada daerah non linier. Nilai koefisien non linier merupakan seper slope dari kurva didaerah non linier, dan dari Gambar 3 dapat diperoleh nilai koefisien non linier dari masing-masing sampel seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Koefisien Non Linier.

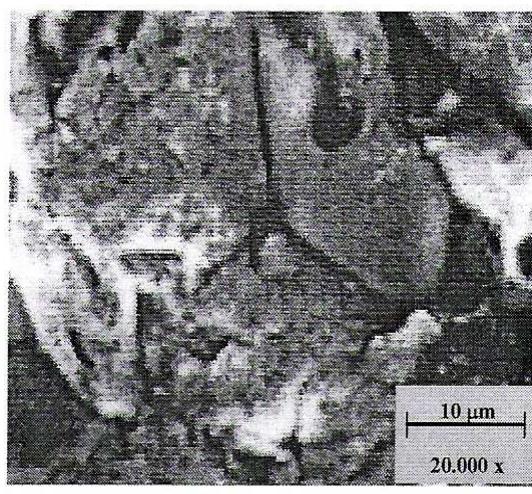
% Aditif Bi₂O₃	Koefisien Non Linier
2,5	9
5	55
7,5	64
10	11
Dilakukan Peter Kocher, 2004	50
Literatur	15 - 100

Dari Tabel 1 tersebut terlihat bahwa nilai koefisien non linier tertinggi diperoleh pada sampel dengan 7,5 % Bi₂O₃ yaitu $\alpha = 64$, dan hasil ini ternyata lebih tinggi dibandingkan yang dilakukan oleh Peter Kocher 2004. Sedangkan menurut persyaratan literature , bahwa sampel dengan aditif 5 % dan 7,5 % Bi₂O₃ sudah dapat dipergunakan sebagai bahan varistor .

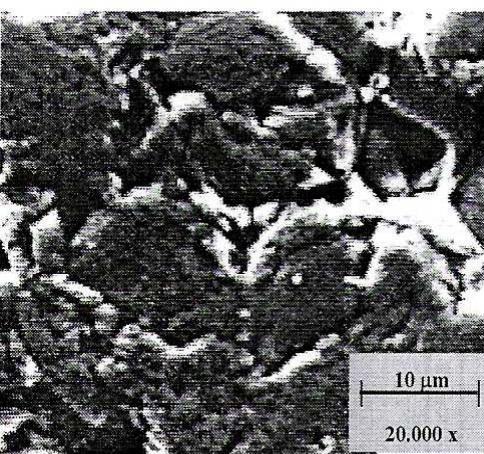
Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM ditunjukkan pada foto-foto di Gambar 4. Dari foto SEM pada Gambar 4a ditunjukkan bahwa ukuran butir / *grain* ZnO sekitar 10 – 20 μm , dan diantara butiran maupun pada butir ZnO masih terlihat rongga kosong sebagai pori dan belum terbentuk batas butir / *grain boundary*, sehingga hal ini menyebabkan sampel ZnO tanpa aditif tidak menunjukkan sifat seperti varistor, yaitu tidak menunjukkan pola yang non linier (non ohmik) dari hubungan arus I dan tegangan listrik V. Dengan tidak adanya batas butir , maka arus listrik akan sangat mudah mengalir melalui butir-butir ZnO setara dengan kenaikan tegangan, dimana butir ZnO itu sendiri bersifat konduktor listrik. Foto SEM Gambar 4.b. untuk sampel dengan 2,5 % Bi₂O₃ dan disinterring 1050°C mulai sedikit terlihat adanya beberapa batas butir (*grain boundary*) berwarna agak putih dan terbentuknya batas butir dari aditif Bi₂O₃ yang telah melebur, dimana Bi₂O₃ sendiri memiliki titik lebur dibawah 1000°C. Batas butir ini bersifat isolator listrik, sedangkan butir (ZnO) sendiri bersifat konduktor. Dengan adanya batas butir, maka arus listrik yang mengalir akan terhambat sebagian, dan sebagian akan mengalir melalui butir ZnO (*grain*) yang saling kontak satu butir dengan butir yang lainnya. Dengan demikian akan terjadi hubungan antara arus I dan tegangan V yang tidak linier, dan sifat ini merupakan karakteristik dari varistor. Karena baru sedikit terbentuknya batas butir maka nilai koefisien non liniernya masih rendah (< 15), hal ini disebabkan batas butir yang terbentuk belum menyeluruh dan baru sebagian saja.



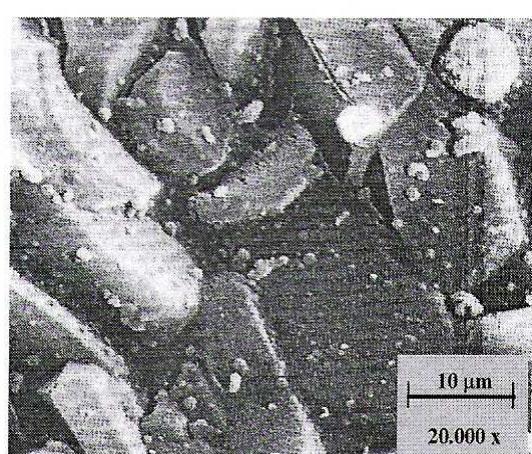
Gambar 4.a. Foto SEM Sampel tanpa aditif



Gambar 4.b. Foto SEM Sampel dengan aditif 2,5 % Bi_2O_3



Gambar 4.c. Foto SEM Sampel dengan aditif 5 % Bi_2O_3



Gambar 4.d. Foto SEM Sampel dengan aditif 7,5 % Bi_2O_3

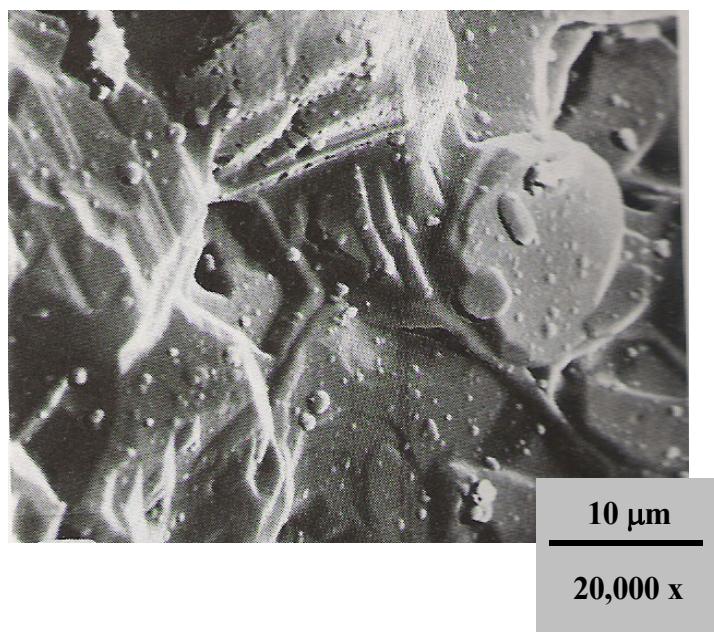
Foto SEM pada Gambar 4.c. untuk sampel dengan aditif 5 % Bi_2O_3 menunjukkan bahwa sudah terbentuk cukup banyak batas yang merupakan hasil leburan dari aditif Bi_2O_3 , dan hampir terlihat diseluruh antara butir-butir.

Disamping itu ukuran butir yang terbentuk sesudah disinter adalah lebih kecil dari pada sampel dengan aditif 2,5 % Bi_2O_3 yaitu sekitar $3 - 10 \mu\text{m}$, serta bentuknya kurang homogen. Karena aditif Bi_2O_3 telah mencair dan membentuk batas butir yang hampir merata diseluruh butir-butir ZnO ,

sehingga menyebabkan peningkatan sifat non linier yaitu diperoleh nilai koefisien non linier yang cukup besar yaitu $\alpha = 55$.

Jadi faktor banyaknya terbentuknya batas butir memberikan pengaruh terhadap nilai koefisien non linier, dan jumlah aditif memberikan perubahan terhadap mikrostrukturnya. Hasil foto SEM untuk sampel dengan aditif 7,5 % Bi_2O_3 yang ditunjukkan pada Gambar 4.d. terlihat bahwa dengan penambahan aditif Bi_2O_3 sebesar 7,5 % membentuk batas butir yang sempurna, dan mengikat seluruh butiran, sehingga pori-pori diantara butir hampir tidak ada. Akibatnya terjadi peningkatan terhadap sifat varistor, yaitu terjadi peningkatan nilai koefisien non linier yaitu menjadi 64 untuk sampel yang disintering pada suhu 1050°C.

Sedangkan foto SEM sampel dengan aditif 10 % Bi_2O_3 ditunjukkan pada Gambar 4.e. Untuk sampel dengan 10 % dan disintering pada suhu 1050°C menunjukkan bahwa memang terjadi pembentukan batas butir dan semua pori hampir tidak kelihatan. Tetapi hampir pada setiap butir terlihat butiran yang sangat halus, dan ini kemungkinan kristalisasi dari aditif Bi_2O_3 yang menyebabkan penurunan nilai koefisien non linier. Dan juga terlihat pada Gambar 4.e. bahwa terjadi difusi Bi_2O_3 ke permukaan butir ZnO , sehingga lebar batas butir tampak lebih kecil dibandingkan pada sampel dengan aditif 7,5 %.



Gambar 4.e. Foto SEM untuk sampel dengan aditif 10 % Bi_2O_3

KESIMPULAN

- Persentase Aditif Bi_2O_3 memberikan pengaruh yang signifikan terhadap terhadap mikrostruktur serta koefisien non linier varistor ZnO , dan aditif tersebut menimbulkan pembentukan batas butir / grain boundary.
- Keramik ZnO tanpa Bi_2O_3 setelah disintering 1050°C memiliki nilai koefisien non linier yang sangat rendah ($\alpha < 15$), sehingga belum menunjukkan sifat-sifat sebagai varistor.
- Dari keseluruhan sampel ternyata sampel ZnO dengan aditif 7,5 % Bi_2O_3 dan disintering 1050°C merupakan sampel yang paling baik dan memenuhi persyaratan sifat-sifat untuk varistor antara lain : nilai koefisien non linier paling tinggi yaitu 64.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kostorz Gernot, High-Tech Ceramic, Academic Press, Zurich, 1988, hal.120-130.
2. Gupta Tapan K, VARISTOR, Engineered Materials Handbook, ed. By Samuel J. Schneider, Jr, ASM International Handbook Committee, USA, Vol.4, 1991, pp. 1151-1155.
3. Moulson A.J., Herbert J.M., Electroceramics: materials-properties-application, Chapman and Hall, London, 1990, pp. 117-170.
4. Mattias Elfwing, Nanoscale Charactrisation of Barriers to Electron Conduction in ZnO Varistor Materials, Acta Universtatis Upsaliensis, UPPSALA, Sweden, 2002.
5. EPCOS, Technical Information Metal OxideVaristor, New York, 2004, hal 19-35.
6. Buchannan Relva C., Ceramics Materials for Electronics , Marcel Dekker, INC, New York and Basel, 1986, hal. 375-397.
7. Peter Kocher, Optimizing The Matrix Strength of ZnO Varistor Ceramics, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Swiss, 2004.