

KESIMPULAN

Persentase Aditif Bi₂O₃ memberikan pengaruh yang signifikan terhadap mikrostruktur, koefisien non linier varistor ZnO, dan menimbulkan pembentukan batas butir/*grain boundary*. Keramik ZnO tanpa Bi₂O₃ setelah disinterring 1050°C memiliki nilai koefisien non linier yang sangat rendah ($\alpha < 15$), dan belum menunjukkan adanya sifat sebagai varistor. Sampel ZnO dengan aditif 7,5% Bi₂O₃ dan disinterring 1050°C merupakan sampel yang paling baik dan memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai varistor antara lain: nilai koefisien non linier paling tinggi, yaitu: sekitar 64.

DAFTAR PUSTAKA

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

EFEK ADITIF Bi₂O₃ TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN KOEFISIEN NON LINEAR VARISTOR ZnO.

Walfred Tambunan, Usman Malik

Department Physics: FMIPA - Universitas of Riau

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. Bi₂O₃. 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, and then was dried at 60°C, and also grinded until passing 400 meshes. 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% Bi₂O₃. The result of photos SEM shows that the increase of percentage of additive Bi₂O₃ 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.

Key Words: *Bismuth Oxide, Coefficient non linier, Grain boundary, Non ohmic, Varistor ZnO.*

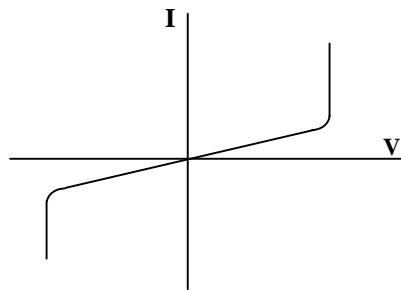
PENDAHULUAN

Varistor merupakan komponen yang dapat melindungi alat elektronik atau jaringan listrik dari bahaya tegangan yang

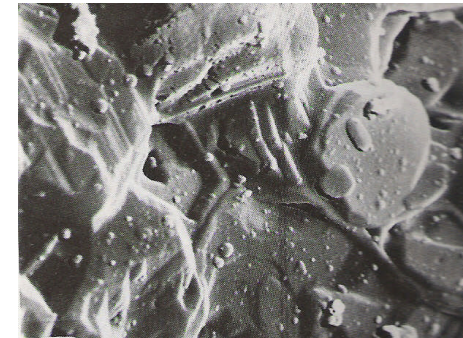
berlebih (Kostorz, 1988). Jenis material varistor yang umum digunakan adalah SiC dan ZnO, dimana varistor ZnO memiliki keunggulan antara lain: memiliki koefisien non linier yang lebih tinggi, respon yang lebih cepat dan harga material yang jauh lebih murah (Gupta, 1991). Varistor memiliki sifat yang 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 (Moulson, 1990). 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 (Mattias E, 2002):

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

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 (Mattias E, 2002). Varistor sebagai variable resistor atau voltage dependent resistor yang lazim digunakan sebagai proteksi dalam rangkaian elektronik. Varistor memiliki sifat-sifat khusus yang ditunjukkan pada pola hubungan arus listrik I dengan tegangan listrik V, seperti diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Pola Hubungan Arus I dan Tegangan V pada Varistor (Moulson A.J. and Herbert J.M. 1990).

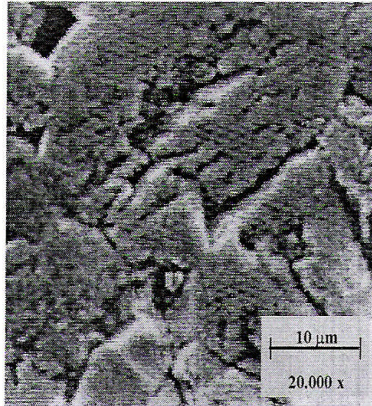


Gambar 5.e. Foto SEM untuk sampel ZnO dengan aditif 10 % Bi₂O₃

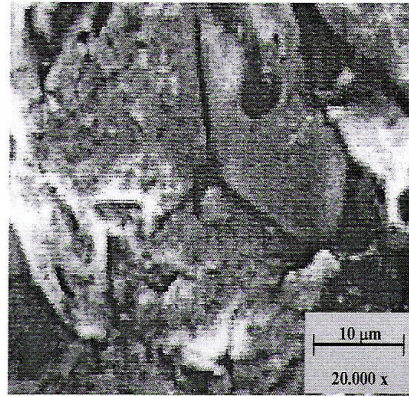
Hasil foto SEM untuk sampel dengan aditif 7,5% Bi₂O₃ yang ditunjukkan pada gambar 5.d. terlihat bahwa dengan penambahan aditif Bi₂O₃ sebesar 7,5% membentuk batas butir yang sempurna, mengikat seluruh butiran dan pori-pori antar butir hampir tidak ada. Akibatnya terjadi peningkatan terhadap sifat varistor, yaitu: terjadi peningkatan nilai koefisien non linier yaitu menjadi 64 untuk sampel yang disintering pada suhu 1050°C.

Sedangkan untuk sampel dengan aditif 10% Bi₂O₃, foto SEM yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada gambar 5.e. Sampel dengan aditif 10% Bi₂O₃, dan disintering pada suhu 1050°C, menunjukkan bahwa adanya pembentukan batas butir dan semua pori hampir tidak kelihatan. Ternyata bahwa hampir pada setiap butir terlihat butiran yang sangat halus, dan kemungkinan kristalisasi akibat adanya aditif Bi₂O₃ menyebabkan penurunan nilai koefisien non linier. Kemungkinan lain yang dapat menyebabkan penurunan nilai koefisien non linier (pada gambar 5.e) akibat terjadinya difusi Bi₂O₃ ke permukaan butir ZnO, sehingga lebar batas butir tampak lebih kecil dibandingkan pada sampel dengan aditif 7,5% Bi₂O₃.

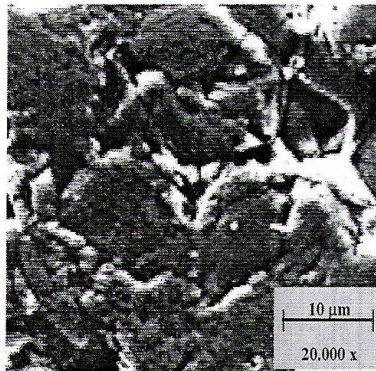
sifat non linier, yaitu: diperoleh nilai koefisien non linier yang cukup besar yaitu $\alpha = 55$. Jadi faktor banyaknya terbentuknya batas butir memberikan pengaruh terhadap nilai koefisien non linier, dan jumlah aditif memberikan perubahan terhadap mikrostrukturnya.



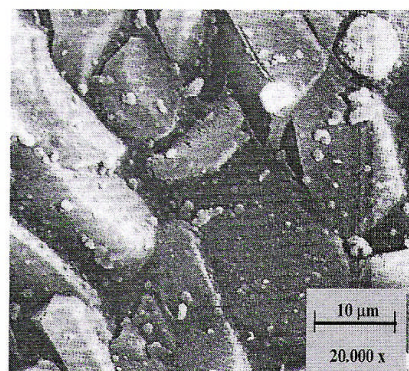
Gambar 5.a. Foto SEM Sampel ZnO tanpa menggunakan aditif



Gambar 5.b. Foto SEM Sampel ZnO dengan menggunakan additif 2,5% Bi₂O₃



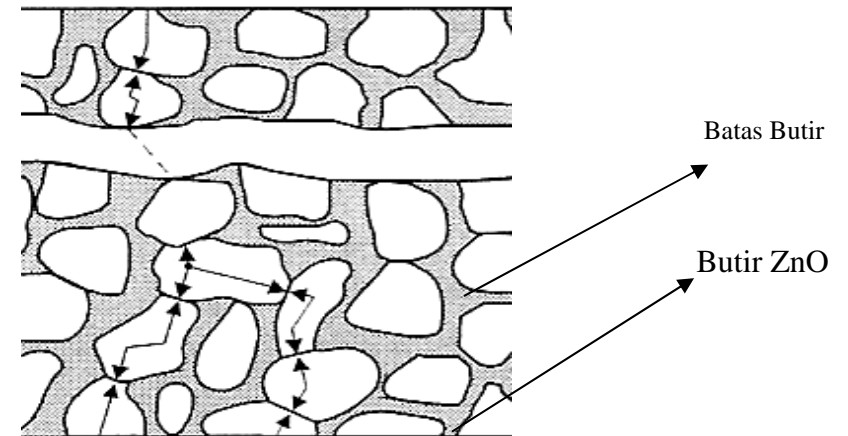
Gambar 5.c. Foto SEM Sampel ZnO dengan menggunakan additif 5% Bi₂O₃



Gambar 5.d. Foto SEM Sampel ZnO dengan menggunakan additif 7,5% Bi₂O₃

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 $10^{12} \Omega\text{cm}$ yang menunjukkan sifat isolator listrik. Pada gambar 2, menunjukkan mikrostruktur dari ZnO (Moulson 1990 dan EPCOS 2004).

Konduksi arus listrik terlihat melalui garis tanda panah yang melalui butiran-butiran ZnO. Untuk menghasilkan varistor ZnO dengan mikrostruktur seperti pada gambar 1, harus ada batas butir yang sekaligus berfungsi sebagai pengikat butiran-butiran ZnO dan bersifat isolator listrik. Bahan pembentuk batas butir antara lain berupa aditif dari: Bi₂O₃, Sb₂O₃, SiO₂, CoO, MnO dan Cr₂O₃ (Buchanan 1986 dan Gupta 1991).



Gambar 2 : Menunjukkan mikrostruktur dari ZnO (Moulson 1990 dan EPCOS 2004).

Peter Kocher, 2004 telah melakukan pembuatan varistor ZnO dengan menggunakan aditif berupa campuran lima macam oksida (Bi₂O₃, CoO, MnO, Cr₂O₃, dan Sb₂O₃). Varistor ZnO yang dihasilkan mempunyai nilai koefisien non linier $\alpha = 50$, mikrostruktur terdiri dari: butir dengan fasa ZnO, batas butir berupa fasa amorfus Bi₂O₃, dan fasa spinel Zn₇Sb₂O₁₂. Tentunya menggunakan 5 macam oksida sebagai bahan aditif akan menjadi lebih mahal, maka pada makalah ini akan digunakan satu jenis oksida Bi₂O₃ sebagai aditif, agar lebih murah.

Pemilihan dan penggunaan aditif Bi₂O₃, karena bahan ini memiliki titik lebur yang jauh lebih rendah dari ZnO yaitu: sekitar 700°C, untuk menghasilkan batas butir dan sekaligus mampu mengikat butiran ZnO. Penambahan Bi₂O₃ divariasikan, yaitu: dari 0% sampai dengan 10% berat. Suhu pembakaran menurut literatur dan yang dilakukan oleh Peter Kocher adalah 1200°C, sedangkan pada percobaan yang dilakukan menggunakan suhu yang lebih rendah, yaitu: 1050°C. Pada tulisan ini akan divariasikan korelasi antara persentase aditif Bi₂O₃ terhadap nilai koefisien non linier dan perubahan terhadap mikrostrukturnya. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan suatu kondisi yang optimal, meliputi suhu sintering, penambahan besarnya aditif Bi₂O₃ dan pengaruhnya terhadap karakterisasi varistor ZnO yang dihasilkan. Pengujian sampel meliputi: pengukuran koefisien non linier, diperoleh dari hasil pengukuran hubungan arus I dan tegangan V untuk masing-masing sampel uji. Pengujian lainnya adalah berupa pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

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*. Hal ini menyebabkan sampel ZnO tanpa aditif tidak bersifat 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 seperti pada gambar 5.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. 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. Terbentuknya batas butir yang belum menyeluruh dan baru sebagian saja maka nilai koefisien non liniernya masih rendah (< 15).

Pada gambar 5.c, foto SEM untuk sampel dengan aditif 5% Bi₂O₃ menunjukkan bahwa sudah mulai banyak terbentuk batas butir yang merupakan hasil leburan dari aditif Bi₂O₃, 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% Bi₂O₃ yaitu sekitar 3 – 10 μm , serta bentuknya kurang homogen. Oleh karena aditif Bi₂O₃ telah mencair dan membentuk batas butir yang hampir merata diseluruh butir-butir ZnO, sehingga menyebabkan peningkatan

batas butir (*grain boundary*) dan bersifat isolator listrik. Adanya batas butir tersebut mengakibatkan adanya hambatan aliran arus listrik, sehingga hubungan arus I dan tegangan V tidak linier atau non ohmik. Sedangkan pada sampel tanpa bahan aditif, maka tidak terjadi batas butir, dimana aliran arus listrik akan mengalir secara kontinyu melalui butir-butir ZnO yang bersifat konduktor. Meningkat penambahan aditif Bi₂O₃ dari 2,5% hingga 7,5%, menyebabkan daerah non linier cenderung semakin mendatar kecuali untuk sampel dengan aditif 10% Bi₂O₃, slope kurjanya cenderung naik kembali pada daerah non linier. Nilai koefisien non linier merupakan (slope)⁻¹ dari kurva di daerah non linier. Nilai koefisien non linier dari masing-masing sampel dengan variasi aditif Bi₂O₃ diperlihatkan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Koefisien Non Linier untuk berbagai variasi aditif Bi₂O₃.

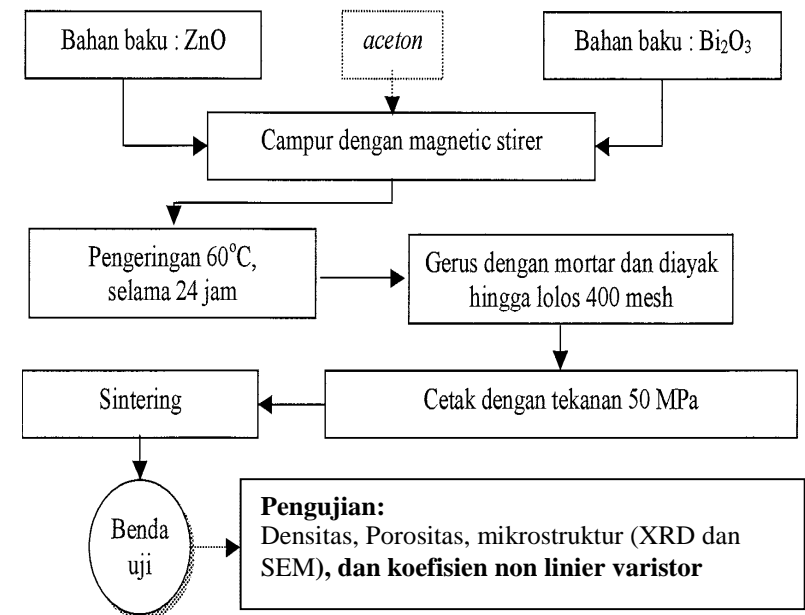
% Aditif Bi ₂ O ₃	Koefisien Non Linier
2,5	9
5,0	55
7,5	64
10,0	11
Dilakukan Peter Kocher, 2004	50
Literatur	15 – 100

Dari tabel 1, 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 dihasilkan oleh Peter Kocher 2004. Sedangkan menurut *literature*, bahwa sampel dengan aditif 5% dan 7,5% Bi₂O₃ sudah dapat dipergunakan sebagai bahan varistor .

Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM ditunjukkan seperti pada gambar: 5 a, b, c, d dan e. Dari foto SEM pada gambar 5a, menunjukkan bahwa ukuran butir/*grain*

METODE

Preparasi serbuk dilakukan dengan menggunakan bahan baku: serbuk ZnO (produk E-Merck), dan aditif berupa serbuk Bi₂O₃ (produk E-Merck). Variasi penambahan aditif Bi₂O₃ adalah: 0 %, 2,5 %, 5 %, 7,5%, dan 10 % berat. Metoda preparasi sampel yang digunakan adalah dengan cara campuran padat-padat, dimana kedua bahan baku tersebut ditimbang dengan komposisi yang telah ditentukan dan dicampur dengan larutan acetone dengan perbandingan masa serbuk terhadap masa acetone = 1 : 1. Kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* sambil dipanasi pada suhu 50°C sampai terbentuk pasta (suspensi yang kental). Diagram alir preparasi serbuk ditunjukkan pada gambar 3.



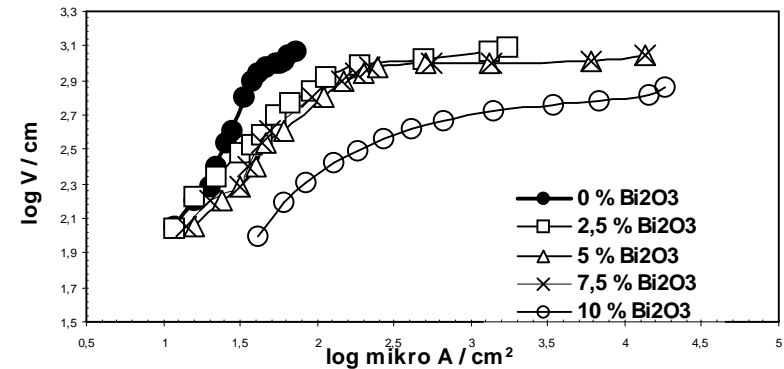
Gambar 3. Diagram Alir Preparasi Sampel Varistor ZnO.

Suspensi yang dihasilkan berupa pasta, dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam, hingga diperoleh serbuk, selanjutnya serbuk tersebut digerus dengan mortar dan diayak hingga lolos 400 mesh.

Pembuatan sampel uji berupa pellet dengan cara cetak tekan (*dry press*) dengan menggunakan tekanan sebesar 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 dikarakterisasi 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, 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 dan dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

HASIL DAN DISKUSI

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 4.



Gambar 4. Kurva hubungan Tegangan ($\log V/cm$) terhadap Arus ($\log \mu A/cm^2$) untuk sampel dengan berbagai persen aditif Bi₂O₃.

Profil kurva hasil pengukuran hubungan tegangan V dan arus listrik I untuk masing-masing sampel terlihat berbeda. Sampel dengan tanpa aditif (0 % Bi₂O₃) terlihat pada daerah rapat arus sebesar $10 - 10^{1.7} \mu A/cm^2$, hampir mendekati hubungan yang linier atau mendekati hubungan ohmik, yaitu: $V = I.R$. Berdasarkan hal tersebut diatas dapat dikatakan bahwa sampel yang dibuat dengan tanpa aditif belum menunjukkan sifat varistor, dimana pada varistor seharusnya hubungan V dan I adalah non ohmik, yaitu: $I = (V/C)^\alpha$.

Profil kurva dari sampel yang menggunakan aditif Bi₂O₃ sudah menunjukkan pola seperti pada varistor. Dari kurva tersebut terdapat dua daerah yang berbeda, yaitu: daerah linier (ohmik) pada kisaran rapat arus $10^{1.2} - 10^{2.2} \mu A/cm^2$ dan daerah non linier (non ohmik) pada kisaran rapat arus: $10^{2.2} - 10^{4.1} \mu A/cm^2$. Hal ini disebabkan karena aditif Bi₂O₃ yang digunakan pada suhu pembakaran (1050°C) telah melebur hingga menyelimuti seluruh permukaan butir ZnO hingga membentuk