

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

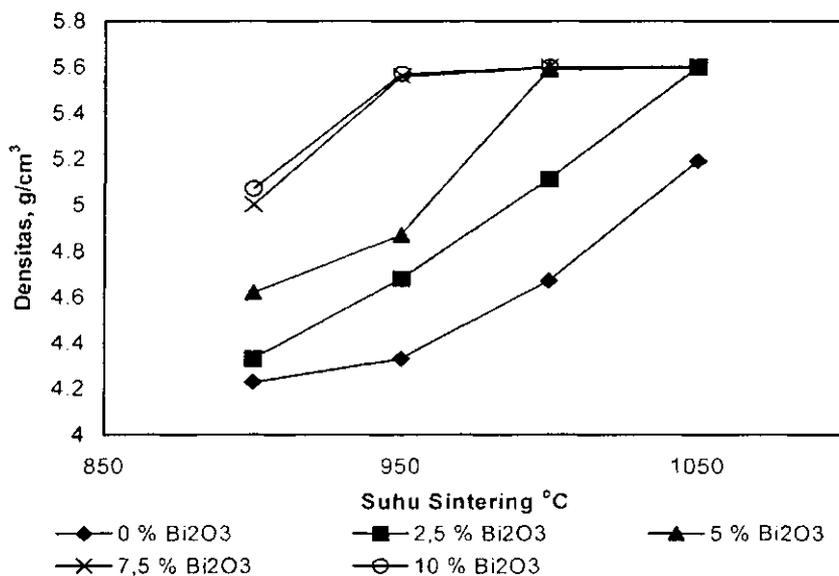
##### IV.1. HASIL PENGUKURAN DENSITAS DAN POROSITAS

Hasil pengukuran densitas dan porositas dari sampel yang telah disinterring pada berbagai suhu ditunjukkan pada tabel 4.

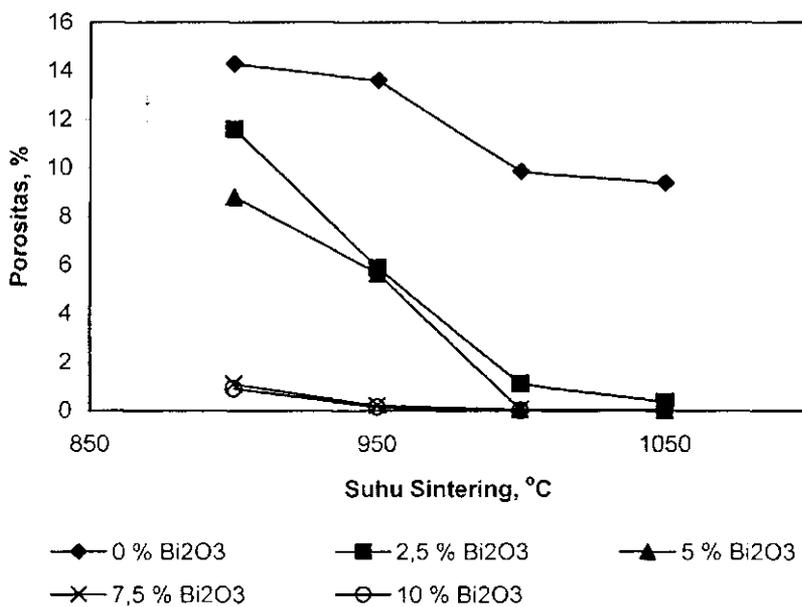
Tabel 4. Hasil Pengukuran Densitas dan Porositas.

<b>% mole Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Suhu Sinterring °C</b>	<b>Densitas g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Porositas %</b>
<b>0</b>	900	4.23	14.28
	950	4.33	13.59
	1000	4.67	9.84
	1050	5.19	9.37
<b>2.5</b>	900	4.33	11.58
	950	4.68	5.89
	1000	5.11	1.11
	1050	5.60	0.39
<b>5</b>	900	4.62	8.79
	950	4.87	5.66
	1000	5.59	0.06
	1050	5.60	0.04
<b>7.5</b>	900	5.00	1.12
	950	5.56	0.23
	1000	5.60	0.07
	1050	5.60	0.02
<b>10</b>	900	5.07	0.93
	950	5.57	0.16
	1000	5.60	0.01
	1050	5.60	0.01

Kurva hubungan densitas atau porositas terhadap suhu sintering untuk berbagai persen aditif ditunjukkan pada gambar 13 dan gambar 14



Gambar 13. Kurva Hubungan Densitas Terhadap Suhu Sintering



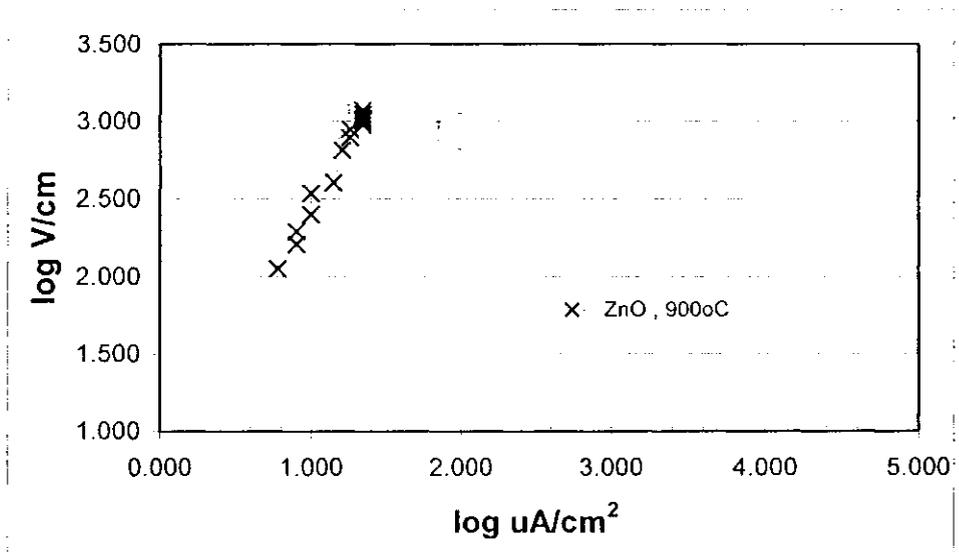
Gambar 14 Kurva Hubungan Porositas Terhadap Suhu Sintering

Dari gambar 13 dan 14 tersebut diatas bahwa semakin tinggi suhu sintering yaitu dari suhu  $900^{\circ}\text{C}$  sampai  $1050^{\circ}\text{C}$  maka densitas untuk semua sampel (berbagai % aditif) cenderung meningkat dan kebalikkannya untuk porositas yaitu cenderung mengecil. Hal ini sesuai dengan fenomena sintering (Ramdal MG.1991, Ristic M.M.1989) bahwa pada proses sintering terjadi proses pemadatan yang diakibatkan oleh adanya proses difusi diantara butiran, sehingga rongga antara butiran (pori) akan cenderung berkurang serta terjadi penyusutan. Akibat adanya penyusutan maka volume benda akan menjadi mengecil, sedangkan densitas adalah perbandingan antara massa benda dengan volume benda, oleh karena itu semakin tinggi suhu sintering maka densitas cenderung naik. Pengaruh penambahan  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  memberikan efek yang besar terhadap proses pemadatan (kenaikkan densitas) serta penurunan porositas. Karena  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  memiliki titik lebur sekitar  $825^{\circ}\text{C}$ , sehingga pada suhu sintering ( $900 - 1050^{\circ}\text{C}$ ) semua  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  akan mencair dan mengisi rongga-rongga diantara butiran (grain), akibatnya terjadi proses pemadatan yang cepat. Semakin banyak penambahan  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  maka densitas tertinggi akan tercapai pada suhu sintering yang lebih rendah. Dimana dengan penambahan  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  sebanyak 7,5 % dan 10 % mole diperoleh densitas tertinggi sekitar  $5,60 \text{ g/cm}^3$  dan porositas = 0,01 – 0,02 % pada suhu sintering  $1000^{\circ}\text{C}$ , dengan penambahan  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  sebanyak 2,5 % dan 5 % mole diperoleh densitas tertinggi sekitar  $5,60 \text{ g/cm}^3$  dan porositas = 0,04 – 0,39 % pada suhu sintering  $1050^{\circ}\text{C}$ . Tetapi untuk sampel tanpa aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  tercapai densitas tertinggi =  $5,19 \text{ g/cm}^3$  dan porositas = 9,39 % pada suhu sintering  $1050^{\circ}\text{C}$ . Jadi sample tanpa aditif belum tercapai densitas yang

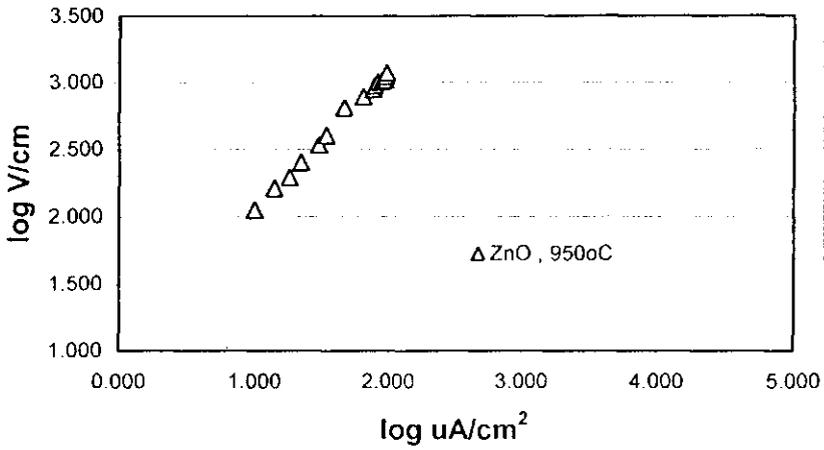
maksimal dan porositas masih besar berarti proses sintering belum tercapai dengan sempurna. Dan sample dengan aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  telah mencapai densitas maksimal ( $5,60 \text{ g/cm}^3$ ) karena proses sintering telah berlangsung mendekati sempurna, dimana menurut literature densitas teoritis adalah  $5,61 \text{ g/cm}^3$  (Gupta,1991).

#### IV.2. HASIL PENGUKURAN SIFAT LISTRIK

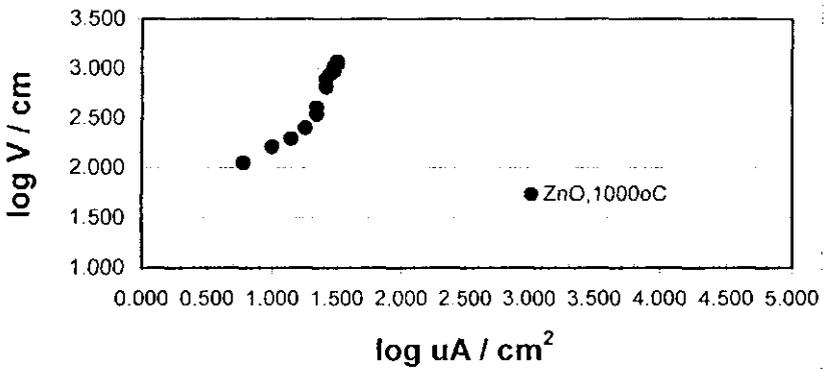
Pengukuran sifat listrik meliputi pengukuran hubungan tegangan listrik  $V$  dengan Arus listrik  $I$ , serta perhitungan nilai koefisien non linier ( $\alpha$ ). Hubungan kurva antara tegangan listrik ( $V/\text{cm}$ ) terhadap rapat arus  $\mu\text{A/cm}^2$  untuk sampel  $\text{ZnO}$  tanpa aditif ditunjukkan pada gambar 15 sampai dengan gambar 18.



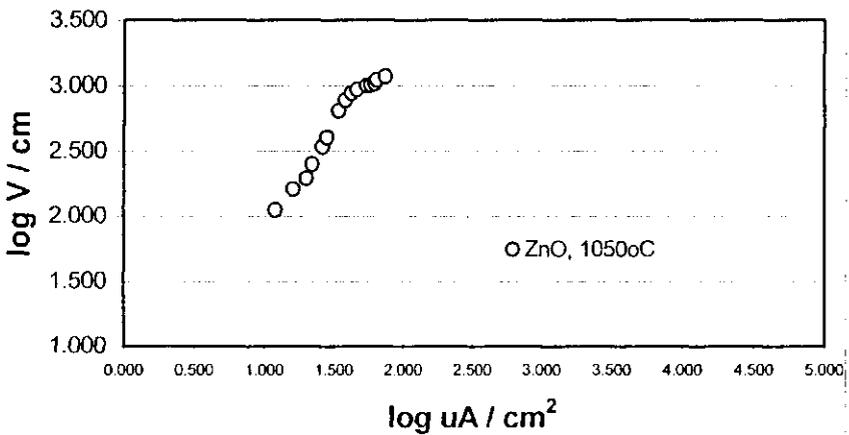
Gambar 15. Kurva Hubungan  $V/\text{cm}$  Terhadap  $\mu\text{A/cm}^2$  untuk  $\text{ZnO}$  Tanpa Aditif, Disinterring  $900^\circ\text{C}$ .



Gambar 16. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  untuk ZnO Tanpa Aditif, Disinterring 950°C.



Gambar 17. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  untuk ZnO Tanpa Aditif, Disinterring 1000°C.

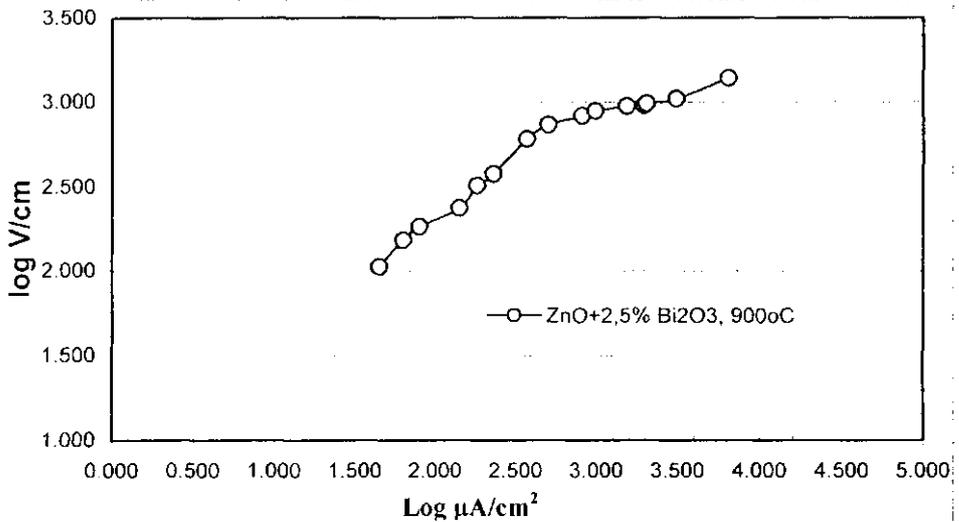


Gambar 18. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  untuk ZnO Tanpa Aditif, Disinterring 1050°C.

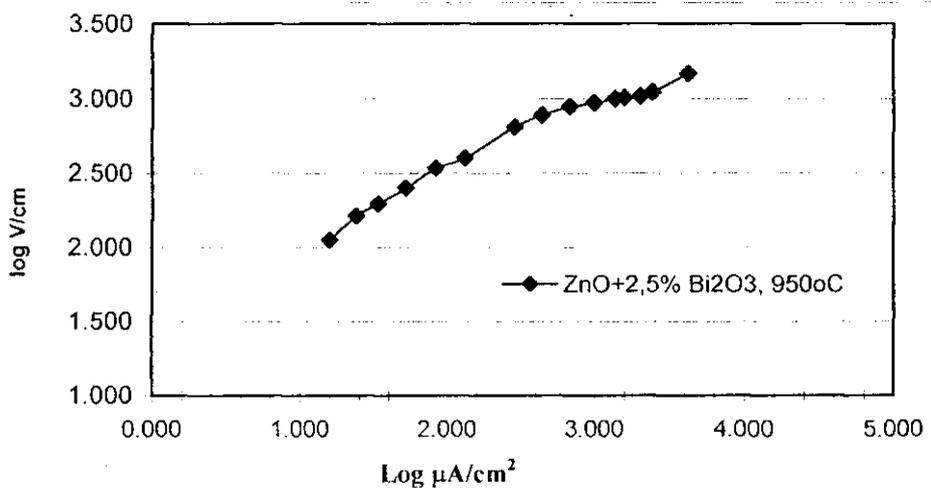
Dari hasil yang ditampilkan pada gambar 15 dan 16 bahwa keramik ZnO murni (tanpa aditif) yang telah disintering pada suhu 900°C dan 950°C menunjukkan bahwa sampel – sampel tersebut masih memiliki sifat hubungan tegangan listrik V dengan arus listrik I adalah bersifat linier . Hal ini berkelakuan seperti pada resistor umumnya (bersifat ohmik), jadi belum bersifat seperti varistor. Sedangkan sampel ZnO murni tanpa aditif yang telah disinterring pada suhu 1000°C dan 1050°C menunjukkan hubungan tegangan V dan arus I yang non linier seperti ditunjukkan pada gambar 17 dan gambar 18. Nilai koefisien linier  $\alpha$  dari sampel yang disintering 1000°C adalah  $\alpha = 0,33$  , sedangkan sampel yang disintering 1050°C memiliki nilai  $\alpha = 1,75$ . Tetapi nilai  $\alpha$  tersebut masih terlalu kecil , karena untuk varistor ZnO dipersyaratkan memiliki nilai  $\alpha$  lebih besar dari 15 (Gupta, 1991). Faktor yang menyebabkan sampel ZnO murni yang disintering suhu 900°C dan 950°C belum menjadi varistor adalah masih banyak terbentuknya pori-pori diantara butir (*grain*), hal ini terlihat masih tinggi nilai porositasnya yaitu 13,59 – 14,28 %. Sedangkan sampel yang disintering suhu 1000°C dan 1050°C sudah mulai terjadi kontak antara butiran ZnO dan rongga / pori diantara butiran mulai berkurang, sehingga arus listrik I mudah mengalir melalui bitiran ZnO yang saling kontak, karena masih adanya rongga atau pori yang tersisa maka masih ada hambatan untuk aliran arus listrik, sehingga nilai koefisien non liniernya masih sangat rendah. **Rui Shao,etall,2003** telah mengamati untuk ZnO murni , ternyata diperoleh nilai  $\alpha$  yang sangat rendah

(0,003 – 0,173), karena dari mikrostrukturnya tidak terbentuk adanya *grain boundary*.

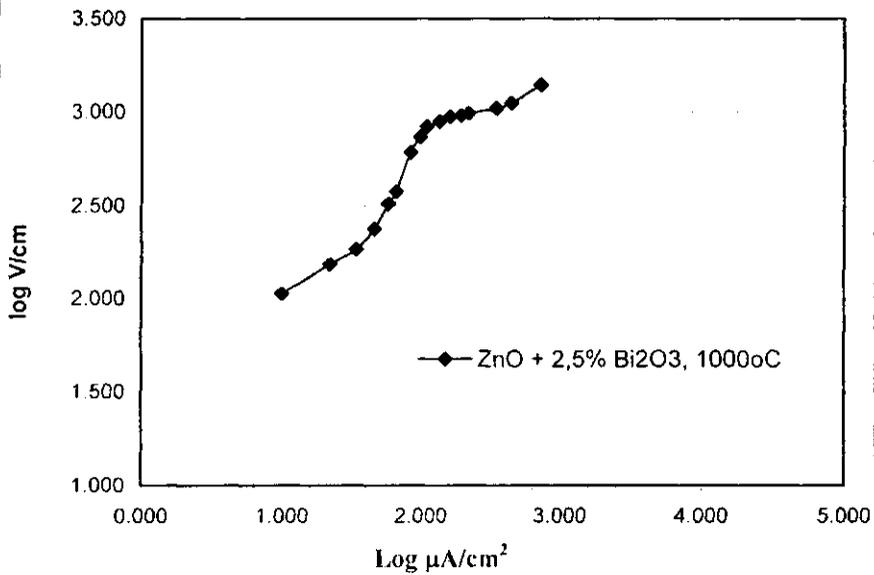
Hasil pengukuran sifat listrik untuk sampel ZnO dengan aditif 2,5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  yang telah disintering pada berbagai suhu dapat dilihat pada gambar 19 sampai gambar 22.



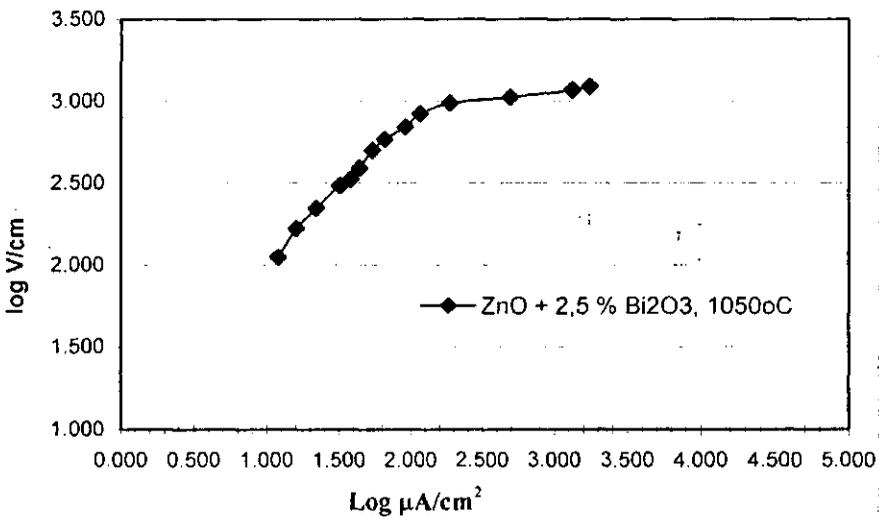
Gambar 19. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  Untuk ZnO Ditambah 2,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , Disinterring 900°C.



Gambar 20. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  Untuk ZnO Ditambah 2,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , Disinterring 950°C.



Gambar 21. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  Untuk ZnO Ditambah 2,5 % Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Disinterring 1000°C.



Gambar 22. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  Untuk ZnO Ditambah 2,5 % Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Disinterring 1050°C.

Dari hasil pengukuran sifat listrik seperti ditunjukkan pada gambar 19 sampai dengan gambar 22 terlihat bahwa sampel ZnO dengan aditif 2,5 % mole Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

menunjukkan pola hubungan non linier antara tegangan listrik  $V$  dan arus listrik  $I$ , yang menunjukkan pola seperti varistor. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh bahan aditif, dimana selama proses sintering aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  akan melebur dan membentuk lapisan diantara butir (*grain*) yang disebut dengan batas butir (*grain boundary*). Sehingga pori-pori diantara butir  $\text{ZnO}$  akan tereliminir oleh terbentuknya batas butir tersebut. Sehingga arus listrik dapat dengan mudah melalui butir-butir  $\text{ZnO}$  yang saling kontak. Pada kurva tersebut diatas terdapat daerah yang non linier, dimana dengan perubahan tegangan yang kecil dapat menimbulkan perubahan arus yang relatif besar. Dari Kurva tersebut diatas dapat diperoleh nilai koefisien non linier dari masing-masing sampel seperti ditunjukkan pada tabel 5.

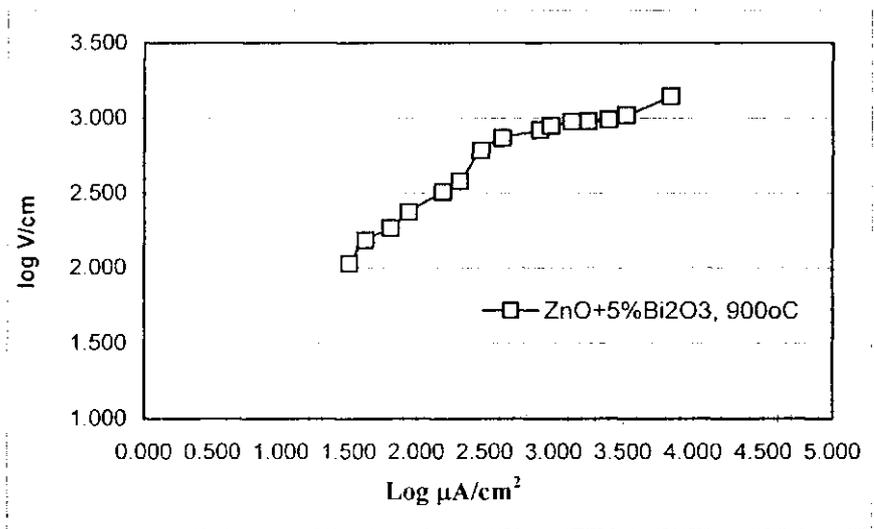
Tabel 5. Nilai Koefisien Non Linier Dari  $\text{ZnO}$  Dengan Aditif 2,5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

Suhu Sintering, $^{\circ}\text{C}$	Koefisien non linier ( $\alpha$ )	Tegangan non linier $\text{kV/cm}$
900	5	0,885
950	6,5	0,937
1000	6,5	0,944
1050	9	1,06

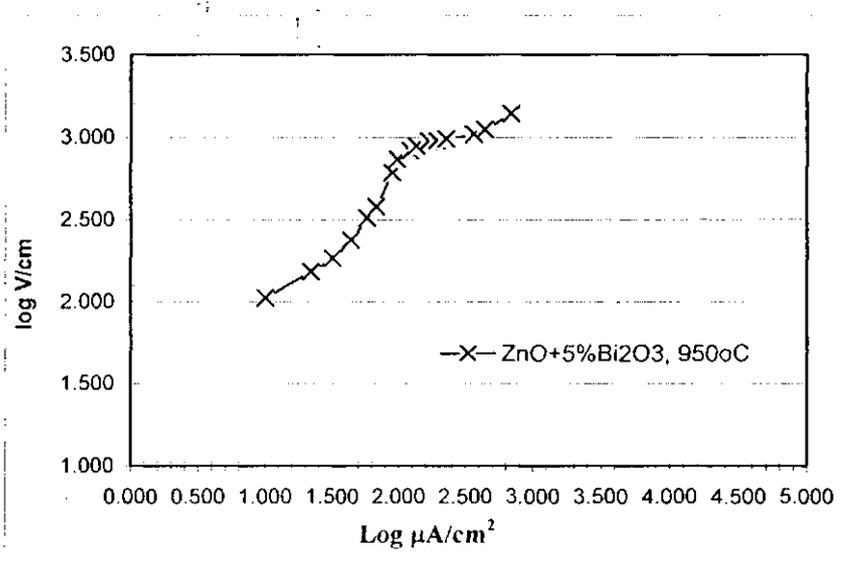
Nilai tertinggi koefisien non linier adalah 9 pada sampel yang disinterring suhu  $1050^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada suhu sintering yang lebih rendah nilai koefisien non liniernya mengecil, hal ini disebabkan pembentukkan lapisan batas butir masih sedikit dan pori-pori diantara butir masih relatif banyak yaitu porositasnya masih besar sekitar 1 – 11 %. Menurut literature (Gupta, 1991) bahwa nilai koefisien

non linier harus  $> 15$  dan tegangan non linier sekitar  $1 - 10$  kV/cm. Namun hasil yang diperoleh untuk sampel ZnO dengan aditif 2,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  belum memenuhi syarat sebagai varistor.

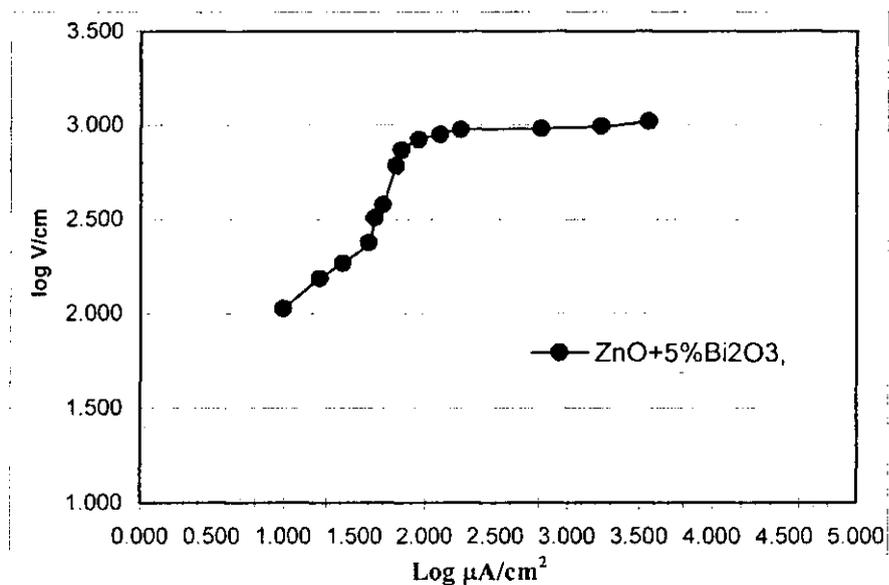
Hasil pengukuran sifat listrik untuk sampel ZnO dengan aditif 5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  yang telah disintering berbagai suhu ditunjukkan pada gambar 23-26.



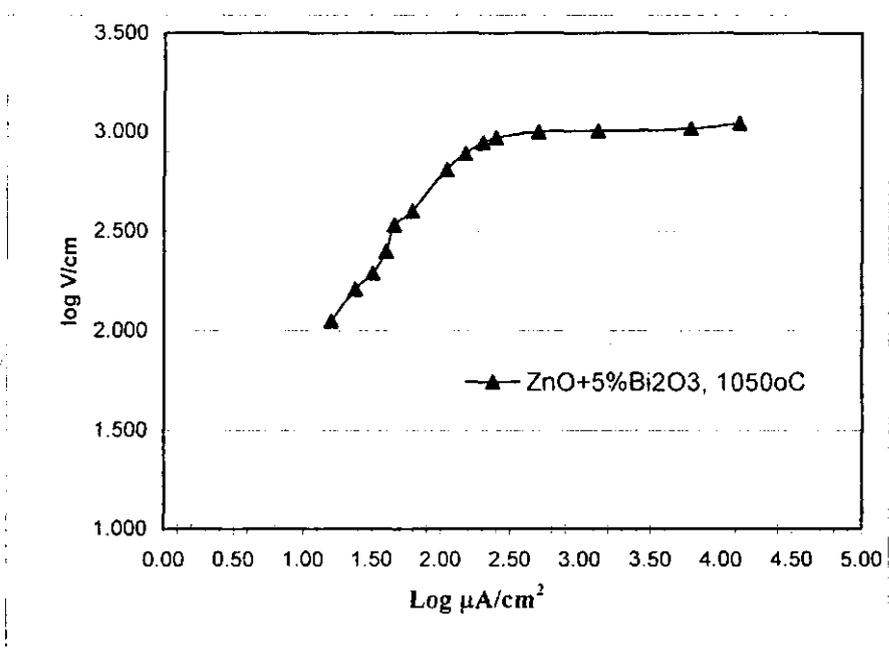
Gambar 23. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  Untuk ZnO Ditambah 5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , Disinterring  $900^\circ\text{C}$ .



Gambar 24. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  Untuk ZnO Ditambah 5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , Disinterring  $950^\circ\text{C}$ .



Gambar 25. Kurva Hubungan  $V/cm$  Terhadap  $\mu A/cm^2$  Untuk ZnO Ditambah 5 %  $Bi_2O_3$ , Disinterring  $1000^\circ C$



Gambar 26. Kurva Hubungan  $V/cm$  Terhadap  $\mu A/cm^2$  Untuk ZnO Ditambah 5 %  $Bi_2O_3$ , Disinterring  $1050^\circ C$

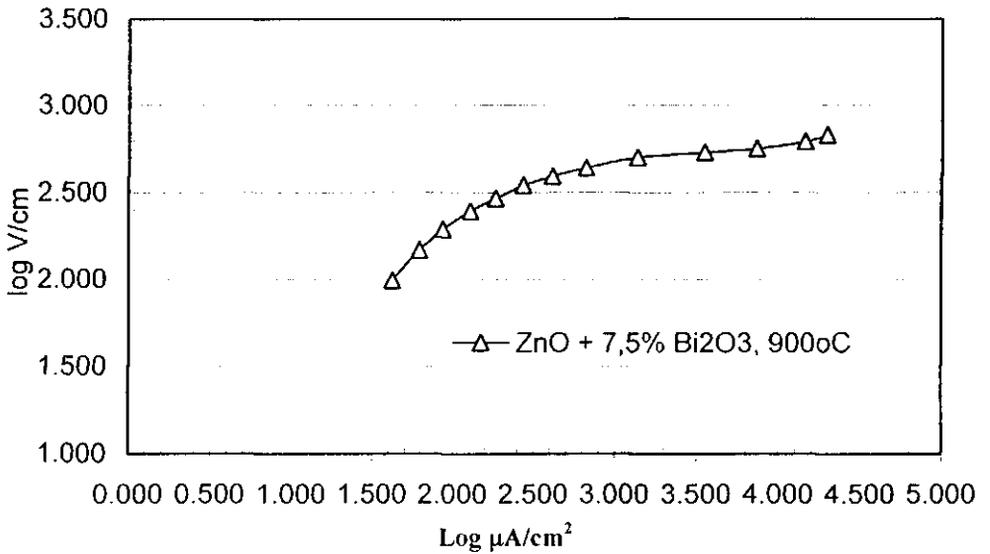
Semakin banyak penambahan aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai koefisien non linier seperti ditunjukkan pada gambar 23 sampai dengan gambar 26. Dimana ZnO dengan aditif 5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  pada suhu sintering 900 – 950 °C menghasilkan nilai koefisien linier masih lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang disinterring suhu 1000 °C dan 1050 °C . Hal ini disebabkan karena porositas, dimana porositas dari sampel yang disinterring 900 – 950 °C masih besar yaitu sekitar 5 – 8 %, sedangkan sampel dengan suhu sintering 1000 °C dan 1050 °C jauh lebih padat dengan porositas 0,06 %. Dari Kurva tersebut diatas dapat diperoleh nilai koefisien non linier dari masing-masing sampel seperti ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai Koefisien Non Linier Dari ZnO Dengan Aditif 5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

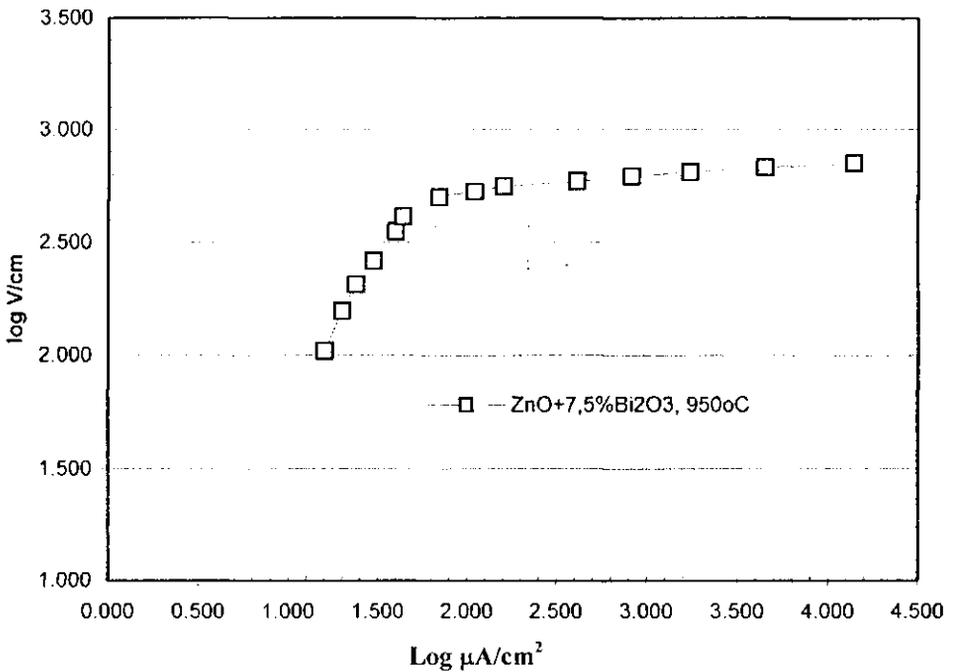
Suhu Sinterring, °C	Koefisien non linier ( $\alpha$ )	Tegangan non linier kV/cm
900	7,5	0,94
950	13	0,98
1000	51,5	1,05
1050	55	1,10

Nilai koefisien non linier yaitu 55 dengan tegangan non linier 1,10 kV/cm diperoleh pada sampel ZnO dengan 5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan disinterring suhu 1050°C. Sampel ini dapat memenuhi persyaratan sebagai varistor.

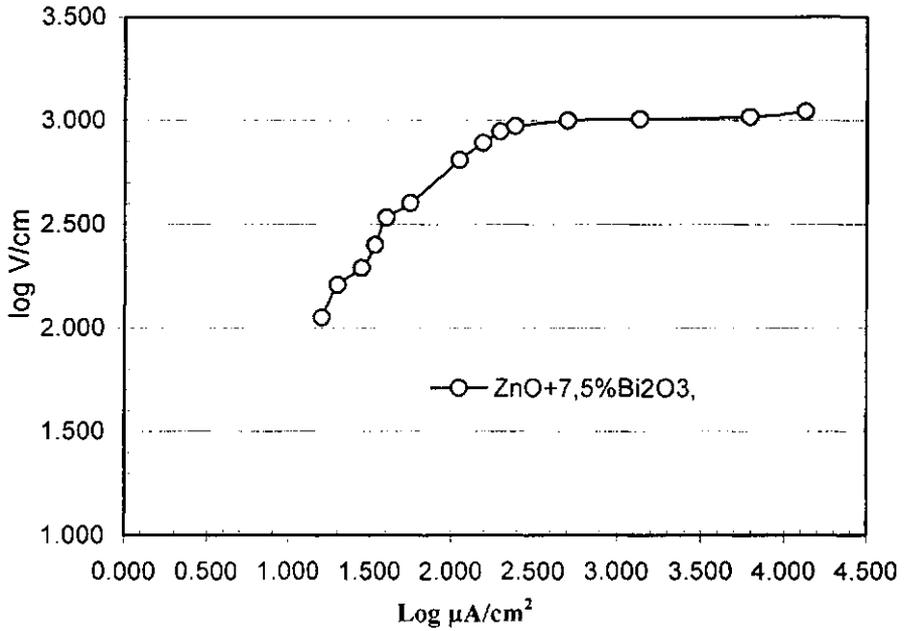
Hasil pengukuran sifat listrik untuk sampel ZnO dengan aditif 7,5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  yang telah disinterring berbagai suhu ditunjukkan pada gambar 27 sampai dengan gambar 30.



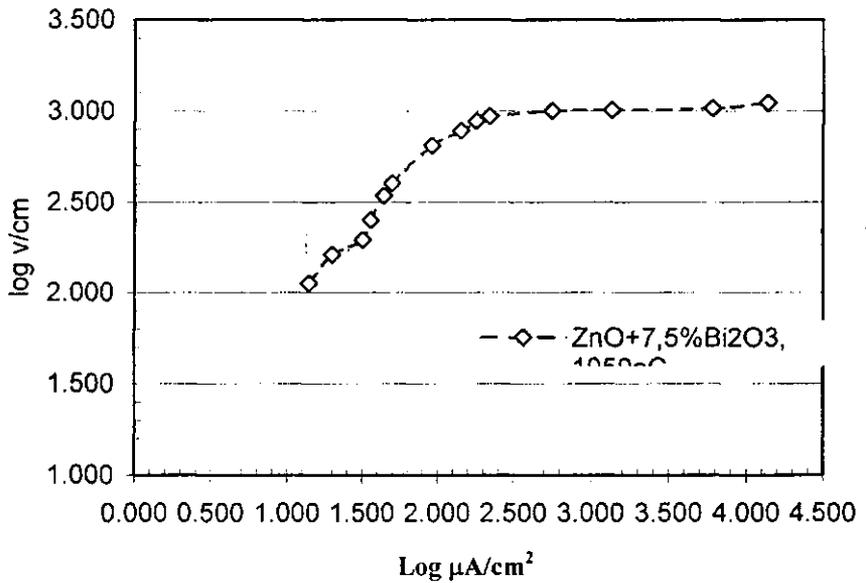
Gambar 27. Kurva Hubungan  $V/cm$  Terhadap  $\mu A/cm^2$  Untuk ZnO Ditambah 7,5 %  $Bi_2O_3$ , Disinterring 900°C



Gambar 28. Kurva Hubungan  $V/cm$  Terhadap  $\mu A/cm^2$  Untuk ZnO Ditambah 7,5 %  $Bi_2O_3$ , Disinterring 950°C



Gambar 29. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  Untuk ZnO Ditambah 7,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , Disinterring  $1000^\circ\text{C}$



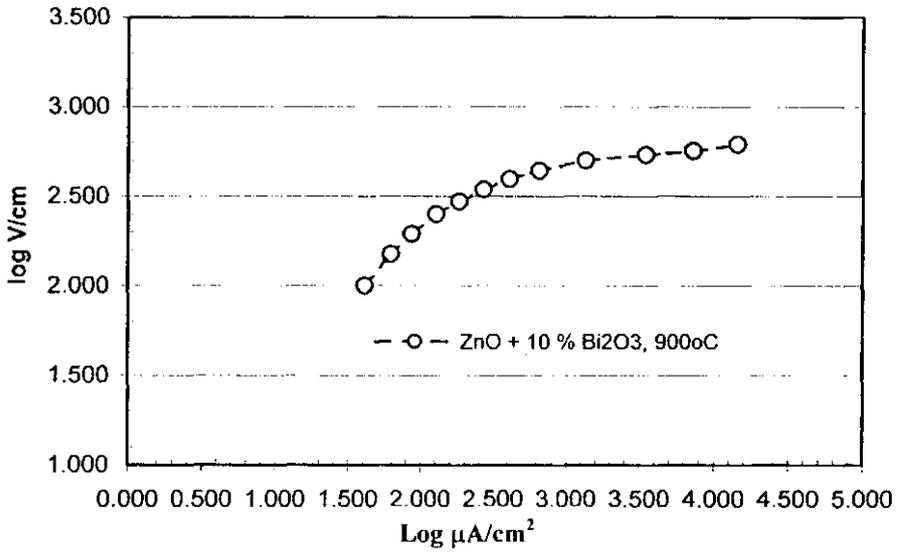
Gambar 30. Kurva Hubungan V/cm Terhadap  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  Untuk ZnO Ditambah 7,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , Disinterring  $1050^\circ\text{C}$

Dari gambar 27 sampai dengan gambar 30 menunjukkan bahwa semakin banyak aditif, maka daerah non linier hubungan I dan V semakin datar, hal ini disebabkan faktor persentase aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan suhu sintering. Dengan aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  7,5 % maka daerah yang non linier memiliki daerah / rentang yang cukup lebih lebar, yaitu pada daerah logaritmus rapat arus ( $\log \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) antara : 2,0 – 4,0 . Dimana pada daerah rapat arus tersebut maka dengan perubahan tegangan yang kecil dapat menimbulkan arus yang besar. Artinya arus listrik yang besar dapat melalui varistor tanpa menimbulkan lonjakan tegangan yang dapat merusak sistem rangkaian elektronik / sistem jaringan listrik. Nilai koefisien non linier  $\alpha$  untuk sampel dengan aditif 7,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ditunjukkan pada tabel 7.

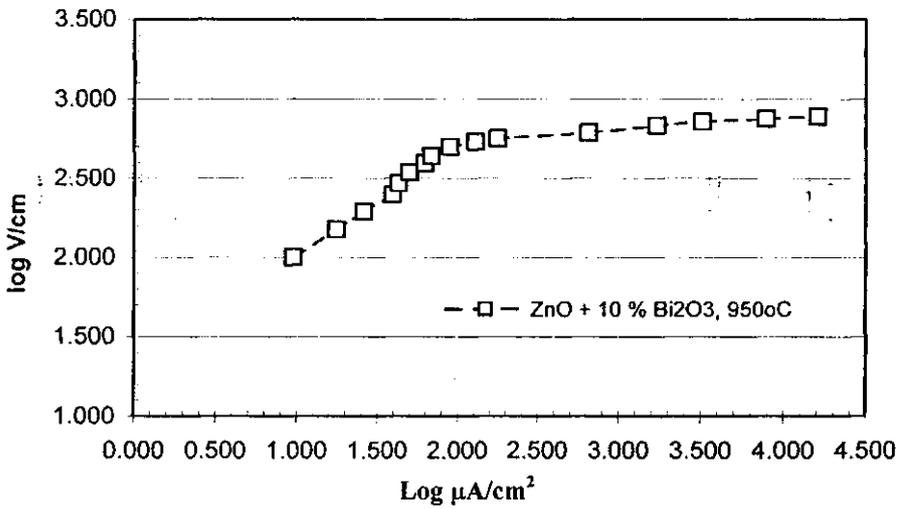
Tabel 7. Nilai Koefisien Non Linier Dari ZnO Dengan Aditif 7,5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

Suhu Sintering, °C	Koefisien non linier ( $\alpha$ )	Tegangan non linier kV/cm
900	9	0,54
950	14	0,56
1000	64	1,00
1050	64	1,00

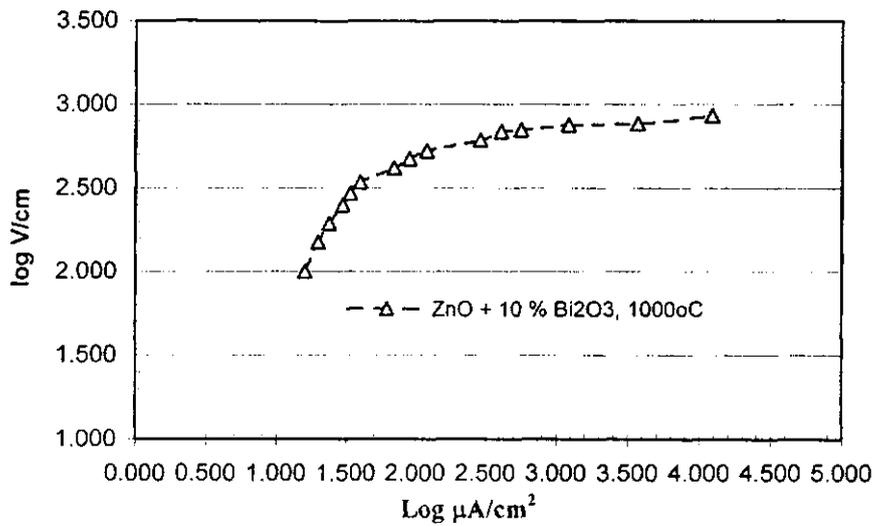
Hasil pengukuran sifat listrik untuk sampel ZnO dengan aditif 10 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  yang telah disintering berbagai suhu ditunjukkan pada gambar 31 sampai dengan gambar 34.



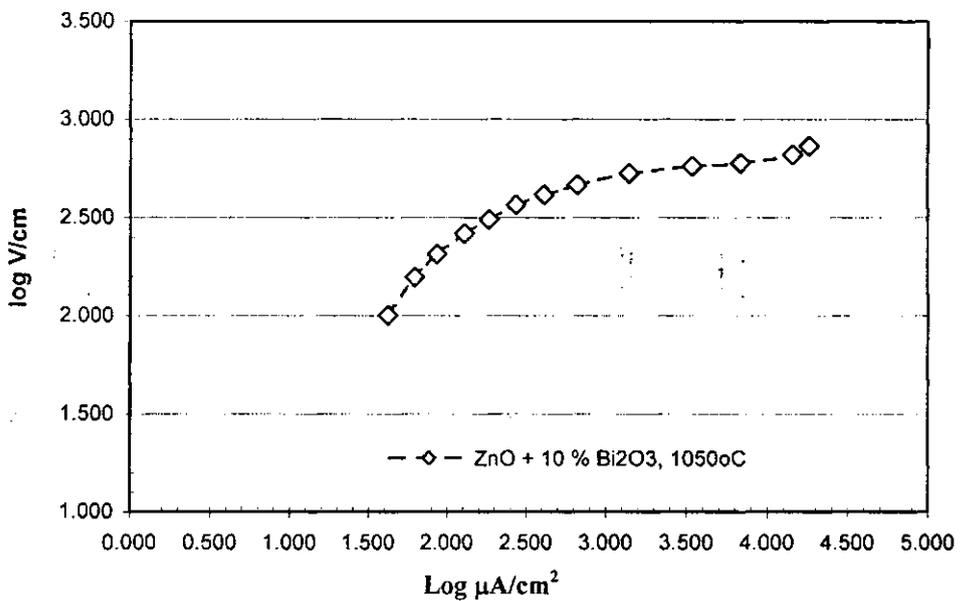
Gambar 31. Kurva Hubungan  $V/cm$  Terhadap  $\mu A/cm^2$  Untuk ZnO Ditambah 10 %  $Bi_2O_3$ , Disinterring 900°C



Gambar 32. Kurva Hubungan  $V/cm$  Terhadap  $\mu A/cm^2$  Untuk ZnO Ditambah 10 %  $Bi_2O_3$ , Disinterring 950°C



Gambar 33. Kurva Hubungan  $V/cm$  Terhadap  $\mu A/cm^2$  Untuk ZnO Ditambah 10 %  $Bi_2O_3$ , Disinterring 1000°C



Gambar 34. Kurva Hubungan  $V/cm$  Terhadap  $\mu A/cm^2$  Untuk ZnO Ditambah 10 %  $Bi_2O_3$ , Disinterring 1050°C

Dari gambar 31 sampai dengan gambar 34 menunjukkan bahwa dengan aditif  $Bi_2O_3$  sebesar 10% ternyata kurva untuk daerah non linier berbeda dengan

sampel yang mempergunakan aditif 5 % dan 7,5 %. Dimana terjadi penurunan dari sifat varistor khususnya untuk sampel yang disinterring 1000oC dan 1050oC. Hal ini terlihat dari nilai koefisien non linier , yaitu nilai  $\alpha$  terjadi penurunan yang drastis. Hal ini tentunya disebabkan oleh terlalu besar penambahan aditif Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dapat mempengaruhi struktur kristal dan mikrostrukturnya. Pada tabel 8 ditunjukkan nilai koefisien non linier untuk berbagai suhu sintering.

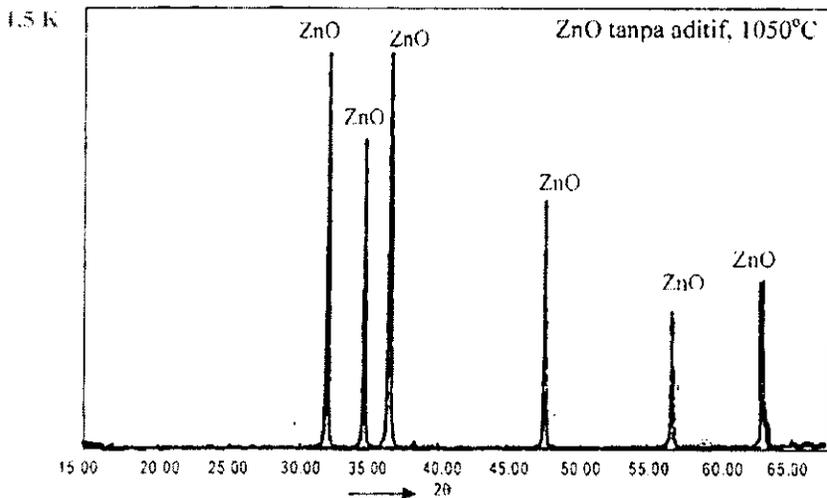
Tabel 8. Nilai Koefisien Non Linier Dari ZnO Dengan Aditif 10 % mole Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Suhu Sintering, °C	Koefisien non linier ( $\alpha$ )	Tegangan non linier kV/cm
900	9	0,44
950	13	0,54
1000	21	0,69
1050	11	0,463

Beate B, et all 2004, juga menghasilkan nilai koefisien non linier = 70 dalam pembuatan ZnO dengan aditif Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CoO dan MnO<sub>2</sub> , tetapi tiba-tiba nilai koefisien non linier menurun tajam < 35 akibat penambahan aditif dan suhu sintering yang meningkat pula. Menurut literature tersebut (Beate B, et all 2004) disebabkan adanya factor perubahan mikrostruktur ZnO dan struktur kristal dari aditif. Hasil yang diperoleh dari eksperimen ini juga demikian dengan meningkatnya suhu sintering dan meningkatnya persen aditif, menyebabkan terjadi penurunan koefisien non linier dari 64 menjadi 21, serta tegangan non linier turun dari 1,0 kV/cm menjadi 0,69 kV/cm .

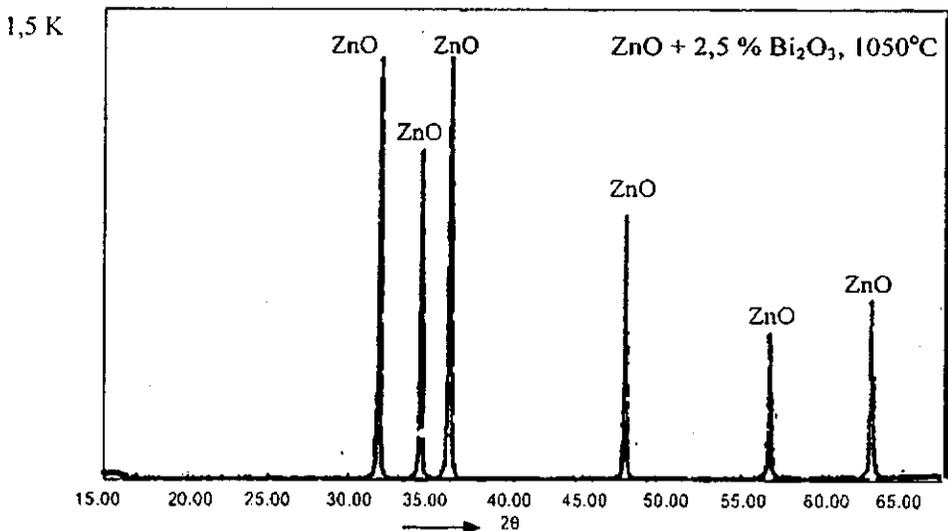
### IV.3. HASIL ANALISA STRUKTUR KRISTAL DENGAN DIFRAKSI SINAR X

Pola difraksi sinar X dari sampel ZnO tanpa aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan telah disintering  $1050^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada gambar 35, dimana fasa yang terbentuk hanya fasa tunggal yaitu ZnO.



Gambar 35. Pola Difraksi Sinar X Sampel ZnO Tanpa Aditif Dan disintering  $1050^\circ\text{C}$ .

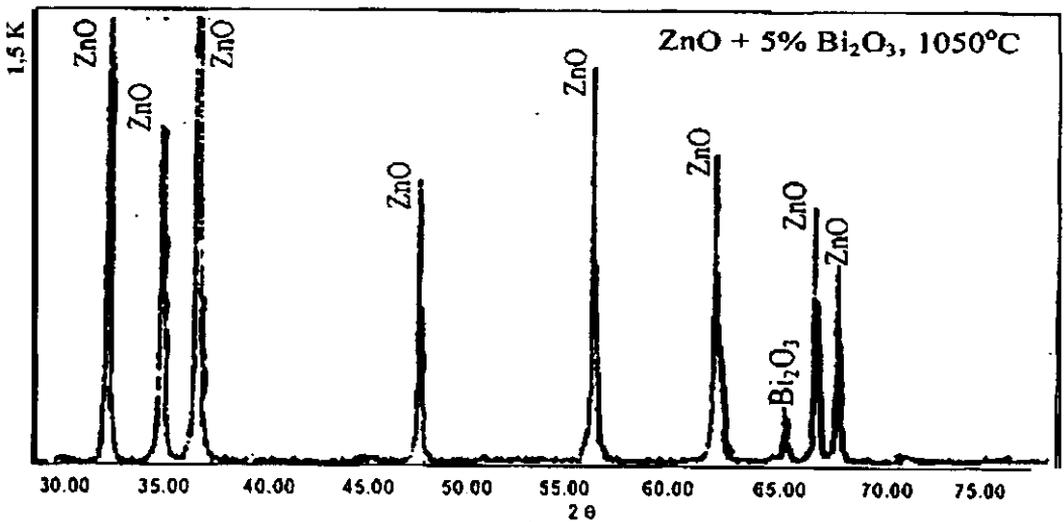
Pola difraksi sinar X sampel ZnO dengan aditif 2,5% mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan disintering  $1050^\circ\text{C}$  menunjukkan pola yang sama dengan sampel ZnO tanpa aditif.



Gambar 36. Pola Difraksi Sinar X Sampel ZnO Dengan Aditif 2,5% mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  Dan disintering  $1050^\circ\text{C}$ .

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 36 hanya terbentuk fasa ZnO saja. Dimana aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  selama proses sinterring telah melebur, dan dalam persentase 2,5 % mole tidak teridentifikasi .

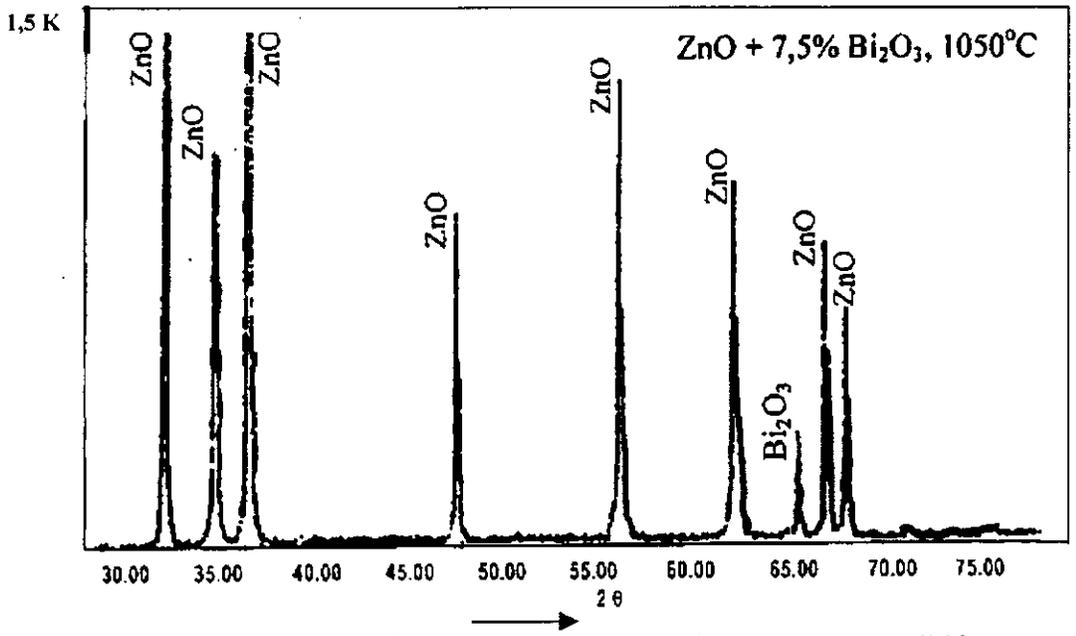
Hasil analisa difraksi sinar X sampel ZnO dengan aditif 5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan disinterring  $1050^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada gambar 37.



Gambar 37. Pola Difraksi Sinar X Sampel ZnO Dengan Aditif 5% mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  Dan disinterring  $1050^\circ\text{C}$ .

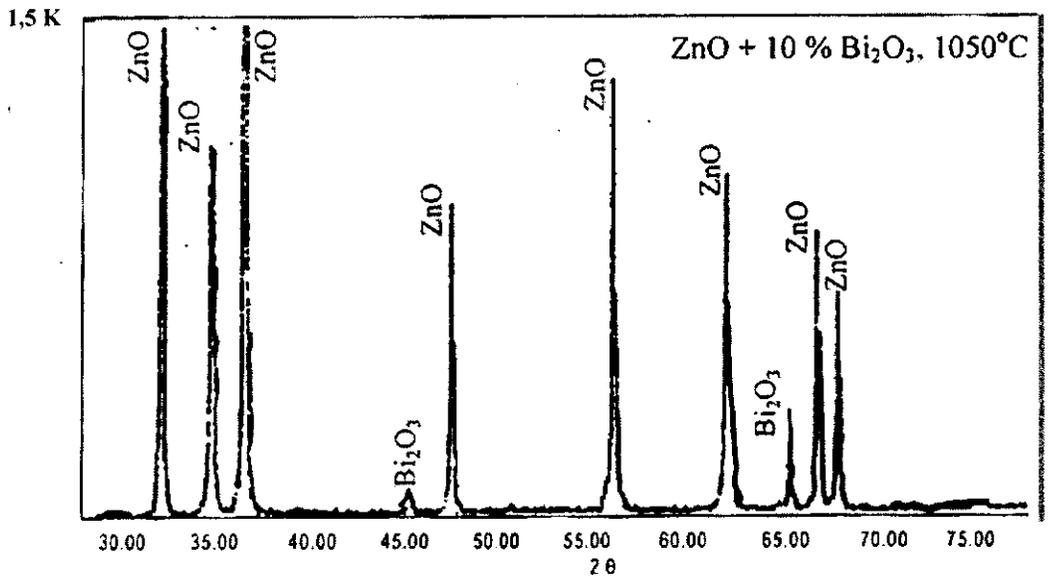
Hasil analisa XRD untuk sampel ZnO dengan aditif 5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan disinterring  $1050^\circ\text{C}$  menunjukkan bahwa terbentuk fasa dominan ZnO dan fasa minor  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . Dimana fasa  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  pada suhu  $1050^\circ\text{C}$  membentuk fasa cair dan pada saat pendinginan sebagian terjadi kristalisasi dan berada diantara butir-butir ZnO/pada batas butir ZnO (*grain boundary*).

Hasil analisa XRD dari sampel ZnO dengan aditif 7,5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan disinterring  $1050^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada gambar 38. Pola difraksinya sama seperti pola difraksi untuk sampel ZnO dengan aditif 5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  , yaitu terbentuk fasa dominan ZnO dan fasa minor  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .



Gambar 38. Pola Difraksi Sinar X Sampel ZnO Dengan Aditif 7,5% mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  Dan disinterring  $1050^\circ\text{C}$ .

Hasil analisa difraksi sinar X untuk sampel ZnO dengan aditif 10 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan disinterring  $1050^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada gambar 39.

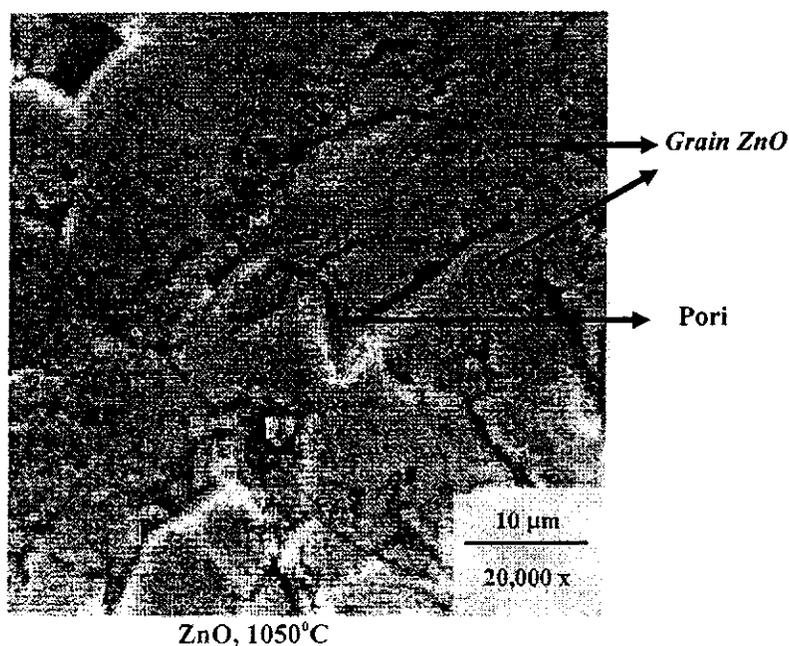


Gambar 39. Pola Difraksi Sinar X Sampel ZnO Dengan Aditif 10 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  Dan disinterring  $1050^\circ\text{C}$ .

Pola difraksi sinar X untuk sampel ZnO dengan aditif 10 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  menunjukkan pola sedikit berbeda dengan sampel lainnya. Hasil analisa XRD menunjukkan terbentuk fasa dominan tetap ZnO, dan fasa-fasa minor  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan  $\beta$  -  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . Dengan penambahan  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  sebesar 10 % mole yang menyebabkan munculnya fasa  $\beta$  -  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , dan terbentuknya fasa  $\beta$  -  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dapat menurunkan nilai koefisien non linier dari varistor. Hal ini juga telah dibuktikan oleh Beate B, et al, 2004, bahwa dengan terbentuknya fasa  $\beta$  -  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  maka nilai koefisien non linier dari varistor dapat turun dengan drastis.

#### IV.4. HASIL PENGAMATAN MIKROSTRUKTUR DENGAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

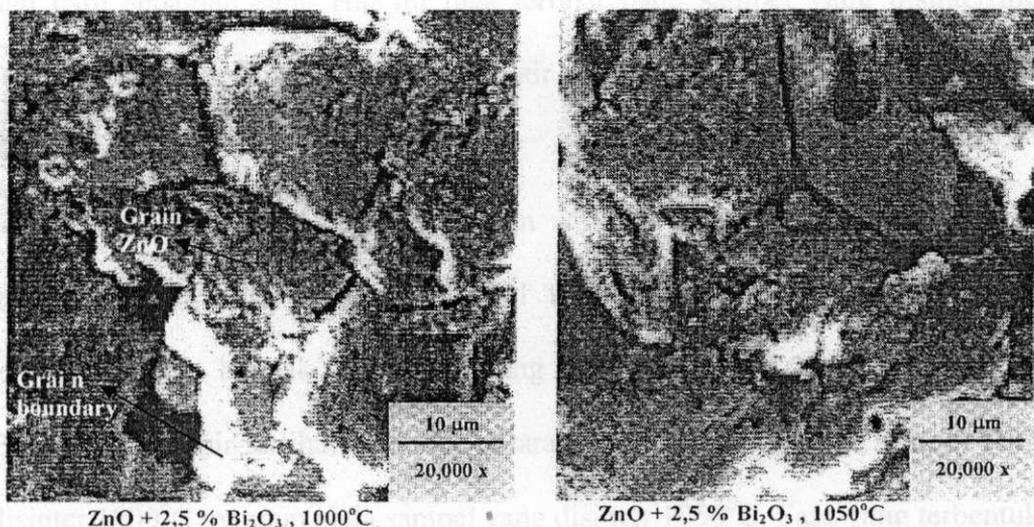
Foto SEM dari sampel ZnO tanpa aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan telah disinterring  $1050^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada gambar 40.



Gambar 40. Foto SEM Sampel ZnO Tanpa Aditif dan disinterring  $1050^\circ\text{C}$

Dari foto SEM pada gambar 40 menunjukkan bahwa ukuran butir / *grain* ZnO sekitar 10 – 20  $\mu\text{m}$ , dan diantara butiran maupun pada butir ZnO masih terlihat rongga kosong sebagai pori. Oleh karena itu nilai porositasnya masih relatif besar yaitu 9,37 % seperti pada tabel 4. Dan disamping itu belum terbentuknya 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 untuk sampel ZnO dengan 2,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan disinterring pada suhu 1000°C dan 1050°C ditunjukkan pada gambar 41.

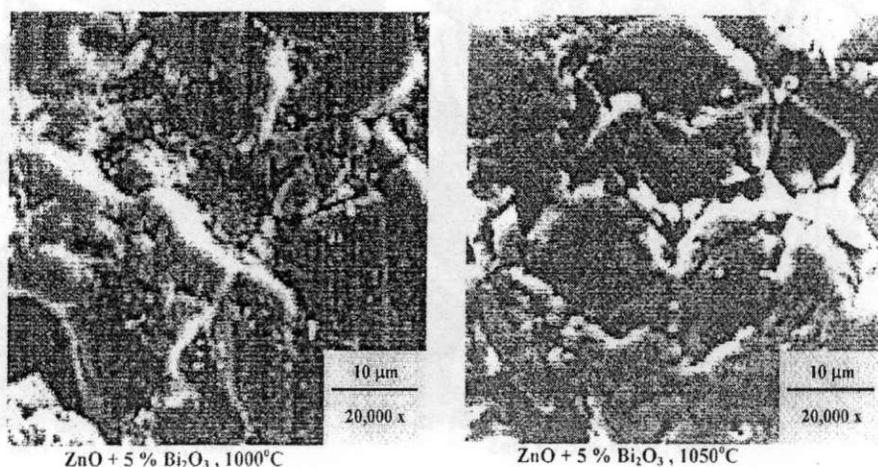


Gambar 41. Foto SEM Sampel ZnO Dengan Aditif 2,5 % mole  $\text{Bi}_2\text{O}_3$

Foto SEM untuk sampel dengan 2,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan disinterring 1000°C dan 1050°C mulai terlihat adanya beberapa batas butir (*grain boundary*) berwarna

agak putih dan terbentuknya batas butir dari aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  yang telah melebur, dimana  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  sendiri memiliki titik lebur dibawah  $1000^\circ\text{C}$ . Batas butir ini bersifat isolator listrik, sedangkan butir ( $\text{ZnO}$ ) sendiri bersifat konduktor. Dengan adanya batas butir, maka arus listrik yang mengalir akan terhambat sebagian, dan sebagian akan mengalir melalui butir  $\text{ZnO}$  (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. Berdasarkan hasil pengukuran sifat listrik seperti pada gambar 19 sampai dengan gambar 22, menunjukkan pola yang non linier dari hubungan  $I$  dan  $V$ . Akan tetapi nilai koefisien non liniernya masih rendah ( $< 15$ ), hal ini disebabkan batas butir yang terbentuk belum menyeluruh dan baru sebagian saja. Hal ini juga terlihat pada sampel yang disintering  $1050^\circ\text{C}$ , masih terlihat sedikit batas butir yang terbentuk diantara butir-butir  $\text{ZnO}$ .

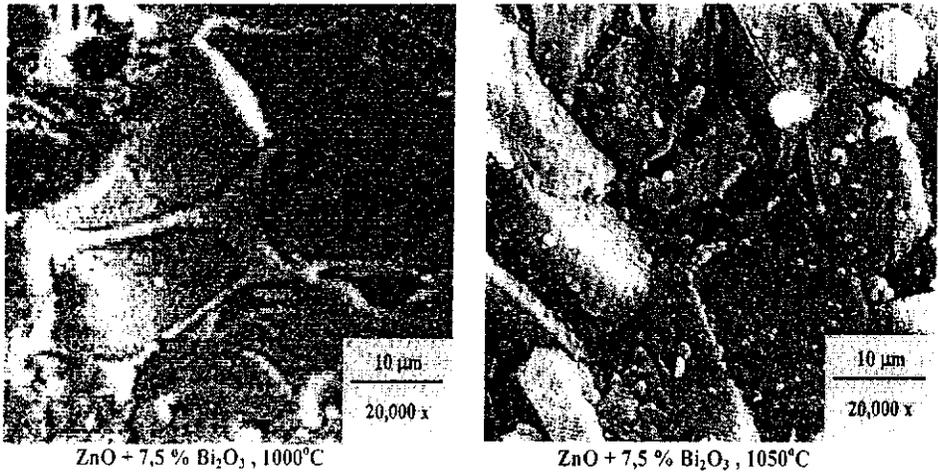
Foto SEM untuk sampel dengan aditif 5%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ditunjukkan pada gambar 42. Dimana berdasarkan hasil foto tersebut terlihat bahwa sudah terbentuk cukup banyak batas butir yang merupakan hasil leburan dari aditif  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , dan hampir terlihat diseluruh antara butir-butir, baik pada sampel yang disinter  $1000^\circ\text{C}$  maupun pada sampel yang disinter  $1050^\circ\text{C}$ . Fasa yang terbentuk pada batas butir adalah  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  berdasarkan hasil XRD pada gambar 37. Disamping itu ukuran butir yang terbentuk sesudah disinter adalah lebih kecil dari pada sampel dengan aditif 2,5%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  yaitu sekitar 3 – 10  $\mu\text{m}$ , serta bentuknya kurang homogen.



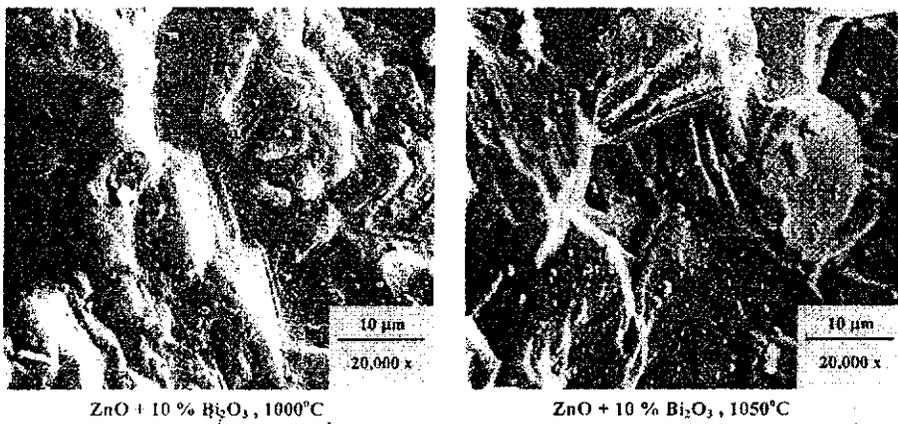
Gambar 42. Foto SEM Sampel ZnO Dengan Aditif 5 % mole Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Karena aditif Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> telah mencair dan membentuk batas butir yang hampir merata diseluh butir-butir ZnO, sehingga menyebabkan peningkatan sifat non linier yaitu diperoleh nilai koefisien non linier yang cukup besar yaitu  $\alpha = 51 - 55$ . 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 % serta 10 % Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> masing-masing ditunjukkan pada gambar 43 dan 44 . Pada foto SEM gambar 43, terlihat bahwa dengan penambahan aditif Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 7,5 % membentuk batas butir yang sempurna, dan mengikat seluruh butiran, sehingga pori-pori diantar butir hampir tidak ada. Akibatnya terjadi peningkatan terhadap sifat varistor, yaitu terjadi peningkatan nilai koefisien non linier yaitu menjadi 64 untuk sampel yang disinterring pada suhu 1000°C dan 1050°C.



Gambar 43. Foto SEM Sampel ZnO Dengan Aditif 7,5% mole Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Gambar 44. Foto SEM Sampel ZnO Dengan Aditif 10% mole Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Sedangkan untuk sampel dengan 10 % dan disinterring pada suhu 1000oC dan 1050oC 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 kristal  $\beta$  - Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang menyebabkan penurunan nilai koefisien non linier. Dan juga terlihat pada gambar 44 bahwa terjadi difusi Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ke permukaan butir ZnO, sehingga lebar batas butir tampak lebih kecil dibandingkan pada sampel dengan aditif 7,5 %.