

SIMULASI SIFAT POLARISASI MATERIAL ZINC OXIDE (ZNO) MENGUNAKAN MODEL DIPOLE SWITCHING

Septian Rahmat Adnan^{1*}

¹ Fakultas Teknik, Universitas Esa Unggul, Jakarta, Indonesia, 11510

ABSTRAK

Fenomena ferroelektrik telah mendapat banyak perhatian para peneliti. Salah satu yang menarik banyak perhatian banyak peneliti adalah fenomena ferroelektrik dari material Zinc Oxide (ZnO). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan sifat ferroelektrik material Zinc Oxide (ZnO) menggunakan model dipole switching dan mengetahui tingkat kecocokan antara hasil eksperimen dan simulasi. Pada penelitian ini sifat polarisasi dari material Zinc Oxide (ZnO) yang didoping Ni 3% disimulasikan menggunakan model dipole switching yang dijalankan pada program berbasis bahasa Pascal pada Delphi 7. Selanjutnya, hasil simulasi dibandingkan dengan hasil eksperimen pengukuran polarisasi dari material Zinc Oxide (ZnO) untuk mengetahui tingkat kecocokan antara hasil simulasi dan hasil eksperimen. Dari hasil simulasi didapatkan nilai Polarisasi Saturasi (P_s) adalah $8 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, Polarisasi Remanen (P_r) adalah $4,3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ dan Medan Koersif (E_c) adalah $1,5 \text{ kV}/\text{cm}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimen yang disebabkan oleh faktor medan listrik input pada simulasi. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa model dipole switching dapat memprediksi sifat polarisasi terutama pada nilai polarisasi remanen dengan cukup baik.

Kata kunci : *Dipole switching; Polarisasi; Zinc Oxide*

ABSTRACT

Ferroelectric phenomenon has received much attention from researchers. One that has attracted the attention of many researchers is the ferroelectric phenomenon of Zinc Oxide (ZnO) material. The aims of this research are to simulate the ferroelectric properties of Zinc Oxide (ZnO) material using dipole switching model and to determine the agreement between the experimental and simulation results. In this paper, Polarization properties of Zinc Oxide (ZnO) doped with 3% Ni were calculated using Dipole Switching Model which run on a Pascal language-based program Delphi 7. The calculation results are then compared with the experimental results to determine the degree of agreement between calculation results and experimental results. The calculation result showed that saturation polarization (P_s) value is $8 \text{ C}/\text{cm}^2$, remanent polarization (P_r) is $4.3 \text{ C}/\text{cm}^2$ and Coercive field (E_c) is $1.5 \text{ kV}/\text{cm}$. These results showed that simulation's input electric field factor caused the difference between calculation result and experimental results. The results showed that the Dipole Switching model predicted the polarization properties quite well.

Keywords : *Dipole switching, Polarization, Zinc Oxide*

1. PENDAHULUAN

Fenomena ferroelektrik telah banyak diteliti oleh para peneliti. Salah satu sifat yang menjadi perhatian para peneliti adalah sifat polarisasi dari material ferroelektrik. Material Zinc Oxide (ZnO) mendapat banyak perhatian dari para peneliti karena struktur dari Zinc Oxide pada fasa struktur nano memiliki potensi aplikasi pada berbagai teknologi. (Maiz et al., 2019;

Lee et al., 2012) Beberapa penerapan teknologi dari material Zinc Oxide adalah sebagai nano sensor dan nano generator. (Adnan et al., 2018) Pada perkembangannya, ditemukan sifat ferroelektrik pada material Zinc Oxide (ZnO) yang di doping Vanadium. Sehingga material Zinc Oxide (ZnO) merupakan material yang menjadi kandidat untuk diaplikasikan pada berbagai divais elektronik seperti memori dan sensor. (Maiz et al., 2019; Hikam et al.,

* Penulis korespondensi

Email: septian.rahmat@esaunggul.ac.id

Diterima 11 November 2021; Penerimaan hasil revisi 03 Februari 2022; Disetujui 09 Februari 2022

Tersedia online Maret 2022

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin © 2022

2014). Beberapa penelitian tentang sifat ferroelektrik dari material Zinc Oxide (ZnO) yang telah dilakukan oleh para peneliti yaitu oleh Maiz et al. pada Tahun 2019, Li et al. pada Tahun 2019 dan Samanta et al. pada Tahun 2020. (Li et al., 2019; Samanta et al., 2020)

Pada penelitian ini, Sifat polarisasi dari material Zinc Oxide (ZnO) yang didoping 3% Ni di modelkan menggunakan Model Dipole Switching yang dijalankan pada program berbasis pascal pada Delphi 7 (Wang et al., 2007a; Adnan, 2018). Selanjutnya, hasil eksperimen dan model dibandingkan untuk mengetahui tingkat kecocokan hasil simulasi dan eksperimen. Beberapa variabel pada simulasi dilakukan pengembangan seperti faktor skala (Sf), polarisasi remanen (Pr), polarisasi saturasi (Ps) dan medan koersif (Ec).(Adnan & Soegijono, 2020; Yu et al., 2005; C. L. Wang, 2010; M. Hikam & Adnan, 2014)

2. METODE PENELITIAN

Polarisasi dari suatu kapasitor *ferroelektrik* dapat ditentukan dari penggabungan antara nilai polarisasi akibat pembalikan dielektrik dan juga dari dielektrik yang tidak mengalami pembalikan (L. Wang et al., 2007a; L. Wang et al., 2007b)

$$P = P_f + P_d \quad (1)$$

Dengan Pf merupakan polarisasi yang disebabkan oleh dielektrik dan Pd merupakan polarisasi oleh dielektrik yang tidak mengalami pembalikan. Untuk nilai Pd dapat dihitung sebagai fungsi linier dari persamaan matematis medan listrik yang diterapkan pada material seperti pada persamaan 2 (L. Wang et al., 2007a; L. Wang et al., 2007b):

$$P_d = \alpha E \quad (2)$$

Pada persamaan ini E merupakan medan listrik input yang diberikan pada material. α merupakan koefisien yang didapatkan pada eksperimen yang dihitung menggunakan data eksperimen. Polarisasi pada suatu material ferroelektrik yang disebabkan oleh pembalikan polarisasi di jelaskan pada persamaan berikut (L. Wang et al., 2007a; L. Wang et al., 2007b) :

$$P_r = P_m - (P_m + P_{sat}) \left[\frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left\{ -\delta_D (E_c - E) \right\} + \frac{1}{2} \right] + \alpha E \quad (3)$$

Polarisasi yang disebabkan karena medan listrik positif dan negatif dapat dituliskan secara terpisah sebagai berikut (L. Wang et al., 2007a; L. Wang et al., 2007b):

$$P_U = P_m^+ - (P_m^+ + P_{sat}) \left[\frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left\{ -\delta^+ (E_c^+ - E) \right\} + \frac{1}{2} \right] + \alpha^+ E \quad (4)$$

$$P_D = P_m^- - (P_m^- + P_{sat}) \left[\frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left\{ -\delta^- (E_c^- - E) \right\} + \frac{1}{2} \right] + \alpha^- E \quad (5)$$

Dengan PU adalah polariasi yang disebabkan oleh medan listrik positif dan PD adalah polarisasi yang disebabkan oleh medan listrik negatif. Pm merupakan polarisasi maksimum dari kedua polariasasi. Ec adalah medan koersif positif dan negatif, Psat adalah polarisasi saturasi, E adalah medan koersif, delta (δ) adalah factor polariasi and α adalah koefisien pada eksperimen. Koefisien pada kondisi positif dan negative dapat dihitung menggunakan persamaan 6 dan 7 sebagai berikut (L. Wang et al., 2007a; L. Wang et al., 2007b):

$$\alpha^+ = \frac{P_m^+ - P_{sat}^+}{E_m^+} \quad (6)$$

$$\alpha^- = \frac{P_m^- - P_{sat}^-}{E_m^-} \quad (7)$$

Faktor polarisasi positif dan negatif dihitung menggunakan persamaan 8 dan 9 (L. Wang et al., 2007a; L. Wang et al., 2007b):

$$\delta^+ = - \frac{\tan \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{P_m^+ - P_{sat}^+ - 2P_R^-}{P_m^+ - P_{sat}^+} \right) \right]}{E_C^+} \quad (8)$$

$$\delta^- = - \frac{\tan \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{P_m^- - P_{sat}^- - 2P_R^+}{P_m^- - P_{sat}^-} \right) \right]}{E_C^-} \quad (9)$$

Selanjutnya, untuk menghitung tingkat kecocokan antara data eksperimen dan hasil simulasi dilakukan perhitungan statistik yaitu R_{wp} (*R-weighted pattern*) dengan pendekatan perbandingan antara data eksperimen dan data simulasi dengan menggunakan analisis pada

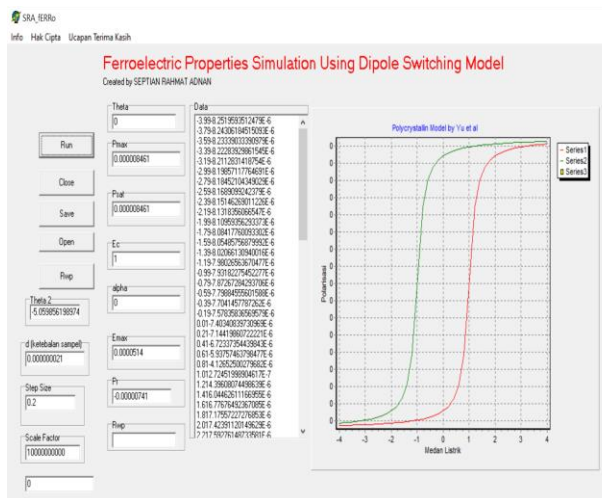
metode analisis Rietveld menggunakan persamaan 10. (Rietveld, 2014; Toby, 2001)

$$R_{wp} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_{i(eks)} - P_{i(sim)})^2}{\sum_{i=1}^n P_{i(eks)}^2} \right] \times 100\% \quad (10)$$

Perhitungan R_{wp} (*R- weighted pattern*) yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan asumsi bahwa kurva polarisasi hasil eksperimen dan kurva polarisasi hasil simulasi masing-masing adalah simetris sehingga digunakan salah satu sisi dari kurva.

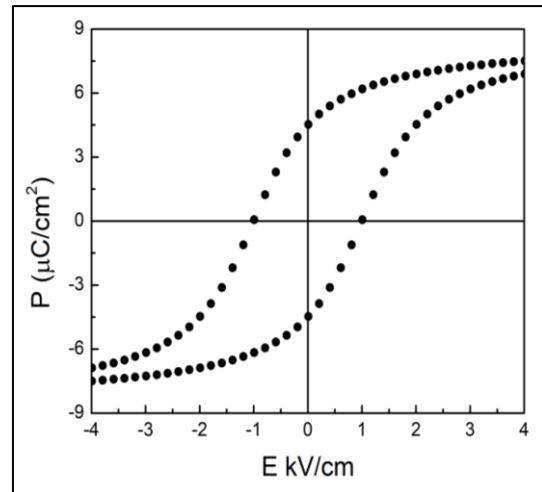
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi sifat ferroelektrik material Zinc Oxide (ZnO) dengan doping Ni 3% yang dijalankan pada Delphi 7 ditunjukkan pada Gambar 3.1



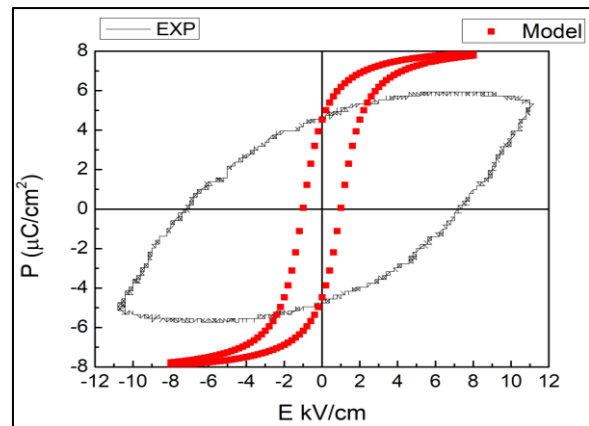
Gambar 3.1. Simulasi sifat polarisasi yang dijalankan pada Delphi 7

Hasil simulasi material Zinc Oxide (ZnO) menggunakan data masukan variabel bebas menggunakan model *dipole switching* ditunjukkan pada Gambar 3.2. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa nilai polarisasi saturasi (P_s) dari material Zinc Oxide (ZnO) adalah $7 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ dan nilai Polarisasi remanen (P_r) adalah $5 \mu\text{C}/\text{cm}^2$. Serta juga didapatkan medan koersif (E_c) adalah $1 \text{ kV}/\text{cm}$.



Gambar 3.2. Kurva Hasil Simulasi Sifat Polarisasi Material Zinc Oxide (ZnO) Menggunakan Model *Dipole Switching*

Dari hasil simulasi tersebut didapatkan bahwa besar medan koersif dari material Zinc Oxide (ZnO) cukup rendah. Hal ini disebabkan karena besar medan koersif pada model ini bergantung pada besar medan Koersif input dan terdapat faktor pengurang berupa nilai medan listrik input yang berubah. Serta pada model *dipole switching* nilai polarisasi sangat bergantung pada adanya polarisasi yang terjadi secara spontan pada dipol – dipol yang menyusun material yang diakibatkan oleh medan listrik yang kecil seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Kurva Polarisasi Hasil Eksperimen (Hitam) dan Hasil Simulasi dengan Model *Dipole Switching* (Merah)

Hasil Simulasi dan eksperimen dari material Zinc Oxide (ZnO) yang didoping 3% Ni ditunjukkan pada Gambar 3.3. Sifat polarisasi dari

material Zinc Oxide dengan doping Ni 3% terlihat bahwa memiliki sifat hard ferroelektrik yang ditandai dengan nilai medan koersif yang cukup besar dibandingkan hasil simulasi. Hal ini juga dapat dijelaskan bahwa Zinc Oxide (ZnO) memiliki struktur kristal *Zinc Blended* yang artinya dipol yang dibentuk oleh ion Zn^{2+} dan O^{2-} cukup sulit terpolarisasi sehingga membutuhkan medan listrik yang cukup besar hingga Zinc Oxide (ZnO) dapat mencapai polarisasi saturasi. Hasil serupa juga didapatkan penelitian yang dilakukan oleh Maiz *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2019; Samanta *et al.*, 2020.

Dari hasil simulasi dan eksperimen juga didapatkan bahwa beberapa nilai karakteristik polarisasi seperti polarisasi saturasi (P_s) dan medan koersif (E_c) mengalami selisih perbedaan dan selisih yang cukup besar terjadi pada nilai medan koersif (E_c) seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1. Hal ini dapat dijelaskan bahwa nilai polarisasi dari model ini sangat bergantung dari nilai medan listrik input yang diberikan serta faktor skala yang diberikan sehingga jika medan listrik input pada simulasi mengalami selisih cukup besar akan mempengaruhi nilai polarisasi.

Tabel 3.1. Hasil Pemodelan dan Eksperimen

	Polarisasi Remane m (P_r) ($\mu C/cm^2$)	Polarisasi Saturasi (P_s) ($\mu C/cm^2$)	Medan Koersif (E_c) kV/cm	R_{wp}
Model	4,3	8	1,5	1,5 %
Eksperimen	4,2	5,9	7,1	-

Dari hasil tersebut dapat dijelaskan bahwa model dipole switching dapat dengan baik memodelkan sifat polarisasi remanen pada material Zinc Oxide (ZnO) dengan doping 3% Ni tetapi perlu penyesuaian untuk nilai Polarisasi saturasi dan medan koersif dan secara statistik dapat dinyatakan baik dengan nilai R_{wp} adalah 11,5%. Serta secara keseluruhan perlu dilakukan banyak penyesuaian sehingga dapat mengakomodir sifat hard ferroelektrik dari material Zinc Oxide (ZnO) dengan doping Ni 3%. Pada penelitian selanjutnya, peneliti akan mengembangkan Model Dipole Switching dengan menambahkan beberapa input variabel.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil simulasi sifat polarisasi material Zinc Oxide (ZnO) dengan doping 3% Ni dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi polarisasi remanen menggunakan model *dipole switching* menunjukkan hasil mendekati nilai eksperimen yaitu $4,3 \mu C/cm^2$ dengan nilai eksperimen adalah $4,2 \mu C/cm^2$
2. Hasil simulasi pada polarisasi spontan dan medan koersif menunjukkan perbedaan dengan hasil eksperimen
3. Model *dipole Switching* telah cukup baik untuk memprediksi sifat polarisasi terutama pada besaran polarisasi remanen dari material Zinc Oxide (ZnO) dengan doping Ni 3%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia, sebagian dana riset ini berasal dari Hibah Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi dengan Nomor kontrak 163/E4.1/AK/04/PT/2021, 3478/LL3/KR/2021, 004/SP-P.JAMAKDASAR/LPPM/VIII/2021

REFERENSI

- Adnan, S. R., & Soegijono, B. (2020). Sifat Termal dan Analisis Komposisi Material Barium Zirkonium Titanat (BZT) dengan Doping Lantanum dan Indium. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(2), 78–82.
- Adnan, S. R., Soegijono, B. (2018). Perhitungan Kurva Histeresis Intrinsik Material Zinc Oxide (ZnO). *Jurnal Konversi dan Manufaktur UNJ*. 5(1), 15–18.
- Hikam, M., & Adnan, S. R. (2014). Intrinsic hysteresis loops calculation of BZT thin films. *Journal of Physics: Conference Series*, 495(1).
- Hikam, Muhammad, Adnan, S. R., Soegijono, B., Sudarmaji, A., Sanhaji, G., & Husein, O. (2014). *Penyesuaian Kurva Model Dinamis Landau - Khalatnikov Pada BZT*. 15(2), 108–111.
- Lee, D., Jeon, B. C., Baek, S. H., Yang, S. M., Shin, Y. J., Kim, T. H., Kim, Y. S., Yoon, J. G., Eom, C. B., & Noh, T. W. (2012).

- Active control of ferroelectric switching using defect-dipole engineering. *Advanced Materials*, 24(48), 6490–6495.
- Li, L., Zhang, Y., Wang, R., Sun, J., Si, Y., Wang, H., Pan, C., & Dai, Y. (2019). Ferroelectricity-induced performance enhancement of V-doped ZnO/Si photodetector by direct energy band modulation. *Nano Energy*, 65(August).
- Maiz, J., Loxq, P., Fau, P., Fajerweg, K., Kahn, M. L., Fleury, G., Hadziioannou, G., Guegan, G., Majimel, J., Maglione, M., Rodriguez, V., & Pavlopoulou, E. (2019). Ferroelectricity in Undoped ZnO Nanorods. *Journal of Physical Chemistry C*, 123(48), 29436–29444.
- Rietveld, H. M. (2014). The Rietveld method. *Physica Scripta*, 89(9).