

PENYESUAIAN KURVA MODEL DINAMIS LANDAU-KHALATNIKOV PADA BZT

Muhammad Hikam^{*)}, Septian Rahmat Adnan^{**)}, Bambang Soegijono, Arief Sudarmaji,
Ganis Sanhaji dan La Ode Husein ZT

Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok 16424

*) Email: hikam@sci.ui.ac.id

**) Email: septian.rahmat@ui.ac.id

Abstrak

Penyesuaian kurva dengan program Delphi 6 pada Windows dilakukan untuk mencocokkan hasil model dinamis Landau Khalatnikov dan kurva histeresis eksperimen dari lapisan tipis Barium Zirkonium Titanat (BZT) dengan doping Lantanum dan Indium yang di uji menggunakan rangkaian Sawyer-Tower. Serupa pada metode Rietveld pada difraksi sinar x, faktor *R-Weighted Pattern* (R_{wp}) digunakan sebagai pembanding antara hasil model dan eksperimen. Dengan memberikan variasi pada beberapa parameter seperti frekuensi, amplitudo medan listrik dan faktor skala mengakibatkan adanya perubahan pada hasil model. Hasil akhir menunjukkan bahwa model cukup sesuai dengan hasil eksperimen.

Abstract

Curve fitting under Delphi 6 program runs on Windows platform is utilized to match between the dynamic Landau Khalatnikov model and the hysteresis experimental data of Barium Zirconium Titanate (BZT) thin films doped by Lanthanum and Indium which were measured by using Sawyer-Tower circuit. Similar to Rietveld method in x-ray diffraction, R-Weighted Pattern (R_{wp}) factor is utilized as the comparator between the model and the experiment. By varying the adjustable parameters such as frequency, electric field amplitude and scale factor to model was slowly modified. The results showed that the model is in a good agreement with the experimental data.

Keywords: Landau Khalatnikov, BZT, Sawyer-Tower circuit, R_{wp}

1. Pendahuluan

Sifat ferroelektrisitas banyak diteliti pada saat ini dikarenakan sifatnya yang dapat diaplikasikan pada divasi elektronik, seperti FeRAM, Solar Cell, dll [1-4]. Barium titanat merupakan salah satu material ferroelektrik yang telah banyak diteliti karena memiliki konstanta dielektrik tinggi serta arus bocor rendah [2]. Pada perkembangannya Barium Zirkonium Titanat (BZT) menjadi material yang banyak diteliti selain Barium Titanat dan Barium Strontium Titanat (BST) karena secara kimiawi ion Zr^{4+} lebih stabil dibandingkan ion Ti^{4+} [2]. Teori Landau-Devonshire (LD) telah banyak digunakan karena cukup memuaskan untuk memprediksi sifat ferroelektrisitas dari material ferroelektrik [3,5,6] dan model Landau- Khalatnikov (LK) merupakan bentuk dinamis dari teori LD [3,5]. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kurva histeresis dari BZT dengan dopan Lantanum dan Indium dengan menggunakan rangkaian Sawyer-Tower, serta model Landau-Khalatnikov digunakan untuk menggambarkan kurva histeresis dari BZT. Pada

tahap akhir, *R-Weighted Pattern* (R_{wp}) dihitung untuk mengetahui kecocokan hasil eksperimen dan model.

2. Metode Penelitian

Telah dilakukan pembuatan lapisan tipis Barium Zirkonium Titanat dengan dopan Lantanum dan Indium dilakukan pengujian polarisasi menggunakan rangkaian Sawyer-Tower [4]. Energi bebas (G) pada material ferroelektrik Barium Zirkonium Titanat dengan berbagai dopan dapat dijelaskan dengan menggunakan teori Landau-Devonshire (LD) pada persamaan (1) [3,5,6,7,9,10].

$$G = \frac{A(T - T_0)}{2\epsilon_0} P^2 - \frac{B}{4\epsilon_0^2} P^4 + \frac{C}{6\epsilon_0^3} P^6 - EP \quad (1)$$

Persamaan (1) dapat disederhanakan menjadi persamaan (2) dan dengan menyisipkan suatu konstanta tidak berdimensi (t) yang merupakan faktor kristalografi dari material BZT [8,9,10].

$$G = \frac{1}{2}tP^2 - \frac{1}{4}P^4 + \frac{1}{6}P^6 - EP \quad (2)$$

Polarisasi (P) pada material BZT di jelaskan menggunakan persamaan Landau – Khalatnikov (LK) yang merupakan suatu persamaan diferensial parsial yang ditunjukkan pada persamaan (3).

$$\gamma \frac{dP}{dt} = -\frac{\partial G}{\partial P} \quad (3)$$

dengan γ merupakan kecepatan untuk pembalikan polarisasi pada material, sedangkan G merupakan energi bebas Gibbs, maka dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) didapatkan persamaan (4).

$$\gamma \frac{dP}{dt} = -(tP - P^3 + P^5 - E) \quad (4)$$

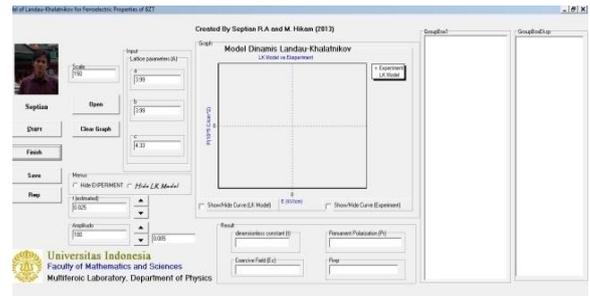
Dengan $E = E_0 \sin \omega t$. Solusi persamaan (4) diselesaikan dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde 4. Hasil model kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen, untuk mengetahui kecocokan dilakukan perhitungan nilai R_{wp} dengan menggunakan persamaan (5), sebagaimana yang biasa digunakan pada analisis Rietveld [11].

$$R_{wp} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_{exp} - P_{model})^2}{\sum_{i=1}^n P_{exp}^2} \right] \quad (5)$$

dengan P_{exp} adalah polarisasi hasil eksperimen dan P_{model} adalah polarisasi hasil model. Beberapa parameter seperti frekuensi (f), amplitudo medan listrik (E_0) dan faktor skala (S_f) disesuaikan untuk mendapatkan nilai R_{wp} dibawah 10% yang secara statistik dapat dikatakan baik [11].

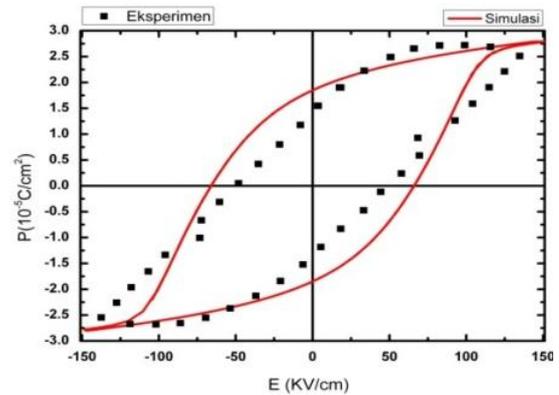
3. Hasil dan Pembahasan

Tampilan program pada Delphi 6 ditunjukkan pada gambar 1. pada program ini parameter kisi dari BZT sebagai input untuk perhitungan konstanta tidak berdimensi t .



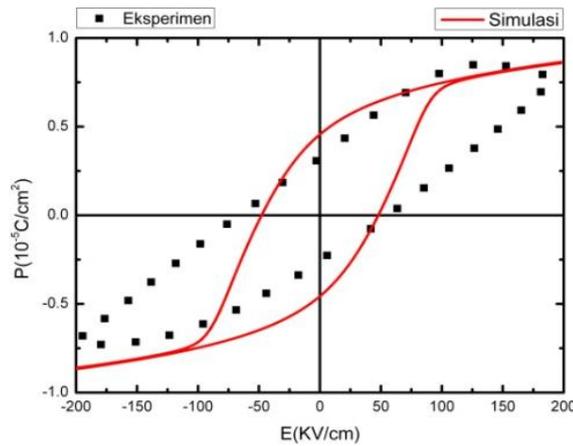
Gambar 1. Tampilan Delphi 6 Untuk Model Dinamis BZT

Perbandingan hasil model dan eksperimen pada BZT dengan dopan 1% Lantanum ditunjukkan pada gambar 2. Dari hasil perbandingan terlihat bahwa nilai saturasi hasil eksperimen dan hasil model hampir sama dan terlihat bahwa nilai medan koersif dan polarisasi remanen terdapat perbedaan, tetapi dari hasil perbandingan didapatkan nilai R_{wp} 4,49% yang menunjukkan perbedaan atau *error* rendah, sehingga dapat dikatakan hasil model cukup baik.



Gambar 2. Kurva Perbandingan Hasil Model dan Eksperimen Lapisan Tipis BZT dengan Dopan La 1% dan R_{wp} 4,49%.

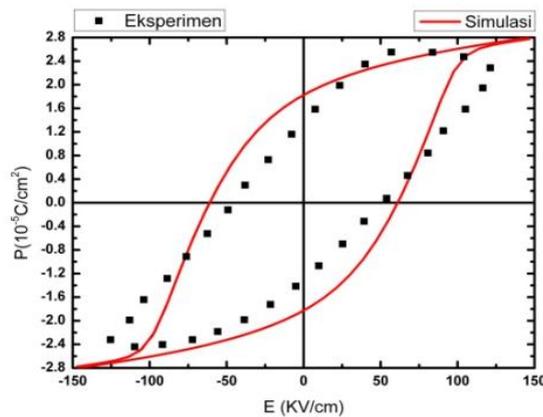
Hasil eksperimen dan model BZT dengan dopan 2% Lantanum ditunjukkan pada gambar 3. Polarisasi saturasi yang terjadi pada BZT dengan dopan 2% La mengalami penurunan setengah dibandingkan dengan BZT dengan dopan 1% La. Pada BZT dengan dopan 2% La dilakukan model dengan memasukan faktor skala 30%. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh nilai kapasitor referensi yang digunakan pada pengukuran menyebabkan nilai polarisasi saturasi, remanen berkurang hingga 30% jika dibandingkan dengan BZT dengan dengan dopan 1% La dan hasil R_{wp} didapatkan nilai 7,2%.



Gambar 3. Kurva Perbandingan Hasil Model dan Eksperimen Lapisan Tipis BZT dengan Dopan La 2% dan R_{wp} 7,2%

Hasil serupa terlihat pada hasil perbandingan antara hasil eksperimen dan model untuk BZT dengan dopan 1% In pada gambar 4. Pada gambar terlihat bahwa nilai saturasi antara hasil eksperimen dan model mendekati sama

tetapi terlihat terjadi perbedaan pada nilai polarisasi remanen dan medan koersif tetapi dari hasil perbandingan didapatkan nilai R_{wp} 8,01% kurang dari 10% yang menunjukkan hasil model cukup memuaskan secara statistik [11].



Gambar 4. Kurva Perbandingan Hasil Model dan Eksperimen Lapisan Tipis BZT dengan Dopan In 1% dan R_{wp} 8,01%

Dari hasil pemodelan BZT dengan variasi dopan dengan variasi komposisi menggunakan teori Landau – Devonshire menunjukkan hasil cukup baik dengan nilai $R_{wp} < 10\%$ ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil R_{wp} Lapisan Tipis BZT dengan dopan La dan In

No	Bahan	R_{wp} (%)
1.	BLZT 1%	4,49
2.	BLZT 2%	7,2
3.	BIZT 1%	8,01

Pada penelitian lanjutan penulis akan melakukan perbaikan pada model yaitu pada perhitungan nilai R_{wp} dengan membuat program akan mencari secara otomatis nilai R_{wp} , karena untuk mencari nilai R_{wp} pada penelitian ini masih secara semi-manual. Ide

otomatisasi ini berasal dari metode *Least-Square* pada *Rietveld refinement* sebagaimana biasa dilakukan pada analisis data intensitas difraksi sinar-x seperti misalnya dengan program *GSAS – General Structure Analysis System*. [12,13,14]

4. Kesimpulan

Model kurva histeresis Barium Zirkonium Titanat (BZT) dengan dopan La dan In dilakukan menggunakan model dinamis Landau-Khalatnikov, dari hasil perbandingan didapatkan nilai R_{wp} antara hasil eksperimen dan model lebih kecil dari 10%, dengan nilai ini dapat dikatakan hasil model cukup baik dan model Landau-Khalatnikov secara baik dapat memprediksi sifat ferroelektrisitas dari material ferroelektrik.

Ucapan Terimakasih

Para penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi serta Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Republik Indonesia, sebagian dana riset ini berasal dari SINas *Research Grant* 2014 dengan no. kontrak 17/SEK/INSINAS/PPK/I/2014 dan *International Collaboration and Scientific Publication Research Grant* 2014 dengan no. kontrak 2228/H2.R12/HKP.05.00/2014

Daftar Acuan

- [1] J. F. Scott. Prospects for Ferroelectrics: 2012–2022. ISRN Materials Science. 2013 (2013), p 1.
- [2] R. Rani, S. Singh, J. K. Juneja, K. K. Raina, C. Prakash. Dielectric properties of Zr substituted BST ceramics. *Ceramics International* 37 (2011). 3755-3758.
- [3] A. F. Devonshire. Theory of Ferroelectrics. *Advance in Physics*. 3:10 (1954). 85-130.
- [4] C. B. Sawyer, C. H. Tower. Rochelle Salt as A Dielectric. *Physical Review*. 35 (1930).
- [5] T. K. Song. Landau-Khalatnikov Simulation for Ferroelectric Switching in Ferroelectric Random Access Memories Application. *Journal of the Korean Physical Society*. 46 (1) (2005). 5-9.
- [6] S. Duchrame, V. M. Fridkin, , A. V. Bune, S. P. Palto, L. M. Blinov, N. N. Petukhova, S. G. Yudin. Intrinsic Ferroelectric Coercive Field. *Phys. Rev. Lett.* 84 (2000). 1.
- [7] M. E. Lines and A. M. Glass. *Principle and Applications of Ferroelectrics and Related Materials*. Clarendon Press Oxford (1977).
- [8] S. R. Adnan, M. Hikam, and E. Rizky, Crystallographic and Electrical Properties of Barium Zirconium Titanate doped by Indium and Lanthanum. *Advanced Materials Research*. 896 (2014). pp. 347-350.
- [9] M. Hikam and S. R. Adnan. Intrinsic Hysteresis Loops Calculation of BZT Thin Films. *J. Phys.: Conf. Ser.* 495 (2014). 012008.
- [10] M. Hikam and S. R. Adnan. Intrinsic Ferroelectric Coercive Field Calculation for BZT Films Doped by Indium and Lanthanum. *Advanced Materials Research*. 911 (2014). pp. 256-259.
- [11] A. G. Young (Ed.). *The Rietveld Method*. Oxford University Press (1993).
- [12] B. H. Toby. R Factors in Rietveld analysis: How good is good enough?. *International Centre for Diffraction Data* (2006).
- [13] C.A. Larson and R.B. Von Dreele, GSAS: General Structure Analysis System. *LAUR* (2004). 86-748.
- [14] B. H. Toby. EXPGUI, a graphical user interface for GSAS, *J. Appl. Cryst.* 34 (2001). 210-213.