

## PEMODELAN ANALITIK SIFAT MEDAN KOERSIF INTRINSIK PADA MATERIAL BARIUM TITANAT MENGGUNAKAN MODEL LANDAU-KHALATNIKOV

Septian Rahmat Adnan

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

### ABSTRAK

Pada penelitian ini pemodelan analitis sifat medan koersif intrinsik pada material Barium Titanat ( $BaTiO_3$ ) dilakukan menggunakan model Landau-Khalatnikov. Pemodelan analitis Barium Titanat dijalankan pada program berbasis bahasa Pascal menggunakan Delphi 7. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan input variable utama yaitu frekuensi dan arus listrik masukan yang diberikan pada material Barium Titanat ( $BaTiO_3$ ). Frekuensi input yang digunakan adalah 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 50 Hz, 80 Hz dan 100 Hz. Dari hasil pemodelan dengan perubahan frekuensi masukan didapatkan hasil bahwa medan koersif intrinsik Barium Titanat mengalami kenaikan dengan bertambahnya kenaikan frekuensi arus listrik yang diberikan pada material. Hal ini dapat dipahami bahwa dengan bertambahnya frekuensi arus input maka pembalikan polarisasi akan semakin cepat. Pertambahan frekuensi listrik input menyebabkan polarisasi pada material  $BaTiO_3$  tidak mengalami polarisasi maksimum dikarenakan pembalikan polarisasi yang semakin cepat

**Kata kunci:**  $BaTiO_3$ ; Landau-Khalatnikov; Medan Koersif Listrik; Pemodelan Analitik

### ABSTRACT

*Mathematical modeling of the intrinsic coercive field properties of Barium Titanate ( $BaTiO_3$ ) material was carried out using the Landau-Khalatnikov model. Pascal based program using Delphi 7 was run to calculate the properties of Barium Titanate. The frequency of electrical current input was used as a main variable input to the Barium Titanate ( $BaTiO_3$ ) material for the calculation. The value of input frequencies that used are 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 50 Hz, 80 Hz and 100 Hz. The result of modeling showed that Barium Titanate intrinsic coercive field has increased with the increasing of electrical current frequency that applied to material. It can be understood that the increasing of electrical current frequency making faster switching polarization. Increasing of electrical current frequency also making maximum polarization can't be reach caused by faster switching polarization.*

**Keywords:** :  $BaTiO_3$ ; Electrical Coersive Field; Landau-Khalatnikov; Semi empirical Model

### 1. PENDAHULUAN

Fenomena ferroelektrisitas merupakan sifat unik yang dimiliki oleh material ferroelektrik. Sifat ferroelektrik telah banyak menarik perhatian para peneliti karena sifatnya yang dapat diaplikasikan pada berbagai jenis perangkat elektronik seperti sel surya, FeRAM, memori dll (Sindhu & Muraleedharan, 2017; Morsi, Abdelaziz, Oraby, & Mokhles, 2018).

Fenomena ferroelektrisitas ditemukan pada beberapa material keramik seperti Timbal Titanat ( $PbTiO_3$ ), Timbal Strontium Titanat ( $Pb_{1-x}Sr_xTiO_3$ )

yang telah banyak diaplikasikan pada komponen dan perangkat elektronik. Setelah dilarangnya penggunaan unsur Timbal (Pb) sebagai unsur dasar pada perangkat elektronik oleh Uni Eropa, para peneliti mencari kandidat material pengganti (Turkmen & Celik, 2018; Hikam & Adnan, 2014). Barium Titanat ( $BaTiO_3$ ) merupakan salah satu kandidat material pengganti  $PbTiO_3$  dikarenakan ion  $Pb^{2+}$  digantikan oleh ion  $Ba^{2+}$  sebagai penyusun material. Salah satu sifat intrinsik utama pada fenomena ferroelektrisitas adalah Medan koersif ( $E_c$ ). Medan koersif dari material ferroelektrik menentukan

\* Penulis korespondensi

Email: septian.rahmat@esaunggul.ac.id

Diterima 30 Maret 2020; Penerimaan hasil revisi 18 September 2019; Disetujui 21 September 2020

Tersedia online 30 September 2020

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin © 2020

pembalikan polarisasi dari material tersebut (L. Wang et al., 2007). Pada penelitian ini model Landau-Khalatnikov digunakan untuk memodelkan secara analitis medan koersif intrinsik dari material Barium Titanat ( $BaTiO_3$ ) dengan frekuensi arus listrik masukan sebagai variabel utama.

**2. METODE PENELITIAN**

Perhitungan nilai medan koersif intrinsik dari material Barium Titanat ( $BaTiO_3$ ) dilakukan menggunakan teori energi bebas (G) Landau-Devonshire (LD) dengan persamaan berikut pada persamaan (1) (Hikam et al., 2014; Devonshire, 1954; C. L. Wang, 2010; Adnan, 2018).

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

dengan beberapa konstanta A, B, C adalah konstanta intrinsik dari material, sedangkan nilai T,  $T_0$  adalah temperatur pada material dan temperatur material pada suhu ruang.  $\epsilon_0$  adalah konstanta suseptibilitas material pada ruang hampa. Konstanta P dan E merupakan Polarisasi listrik dan Medan listrik yang diberikan pada material (C. L. Wang, 2010). Persamaan (1) dapat disederhanakan menjadi persamaan yang tunjukan pada persamaan (2) :

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

Nilai medan koersif intrinsik ( $E_c$ ) ditunjukan pada kurva Polarisasi (P) pada material  $BaTiO_3$  dengan menggunakan model dinamis dari model Landau – Devonshire. Model Landau – Khalatnikov merupakan persamaan diferensial parsial dari model energi bebas Gibbs Landau - Devonshire yang ditunjukan pada persamaan (3)(Hikam et al., 2014).

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

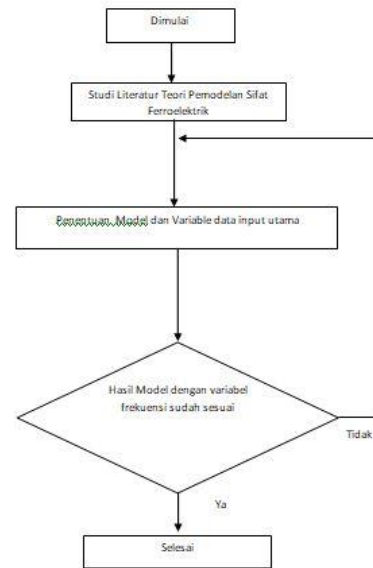
maka dengan mensubstitusi persamaan (2) ke persamaan (3), maka didapatkan persamaan (4) :

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

Dengan  $E = E_0 \sin \omega t$ . Untuk mendapatkan solusi matematis persamaan diferensial parsial tersebut digunakan metode Runge-Kutta orde 4 yang dijalankan pada Delphi 7 yang berbasiskan bahasa Pascal.

Adapun secara umum metode pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Pada tahap awal

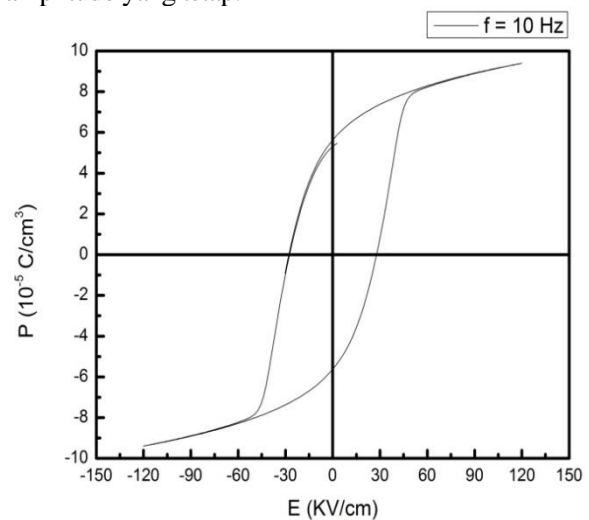
menentukan metode matematis yang digunakan dilanjutkan dengan menentukan variabel utama sebagai masukan. Selanjutnya dilakukan pemodelan analitis hingga didapatkan hasil model analitis yang cukup baik.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

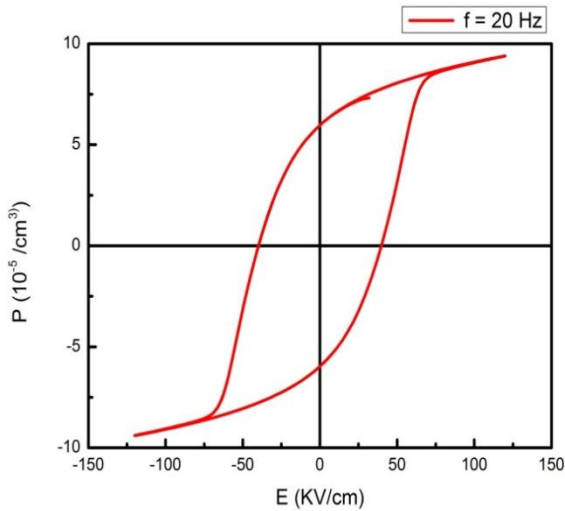
Perhitungan analitis Hasil pemodelan sifat intrinsik dari material Barium Titanat ( $BaTiO_3$ ) terlihat pada Gambar 2. Pada pemodelan ini digunakan variasi pada nilai frekuensi arus listrik masukan yang diberikan pada material dengan amplitudo yang tetap.



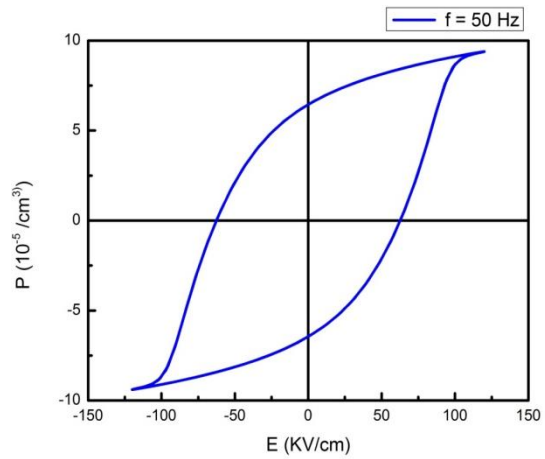
Gambar 2. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi 10 Hz

Hasil pemodelan analitis ferroelektrisitas berupa kurva histeresis dengan menggunakan variasi frekuensi 10 Hz dan 20 Hz dari Barium Titanat diperlihatkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut dapat terlihat dengan dilakukan perubahan nilai frekuensi masukan dari 10 – 20 Hz menyebabkan perubahan pada nilai medan koersif yang cenderung meningkat tetapi tidak terjadi peningkatan yang signifikan pada nilai polarisasi remanen

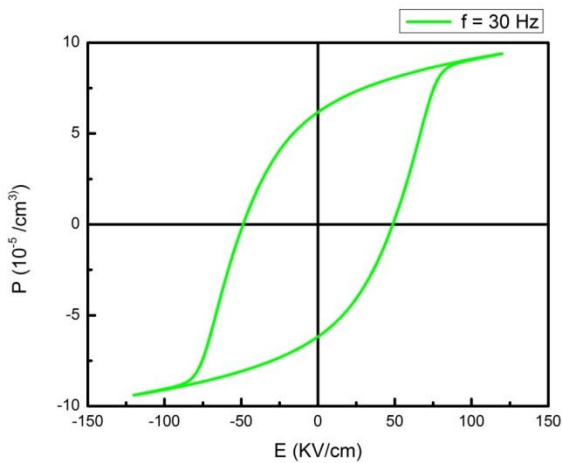
dari Barium Titanat juga mengalami peningkatan. Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa dengan kenaikan nilai frekuensi arus listrik masukan yang diberikan pada material Barium Titanat menyebabkan proses pembalikan polarisasi pada material tersebut menjadi lebih cepat serta menyebabkan material Barium Titanat tidak dapat terpolarisasi sempurna atau maksimal sebelum terjadi pembalikan polarisasi pada dipol listrik.



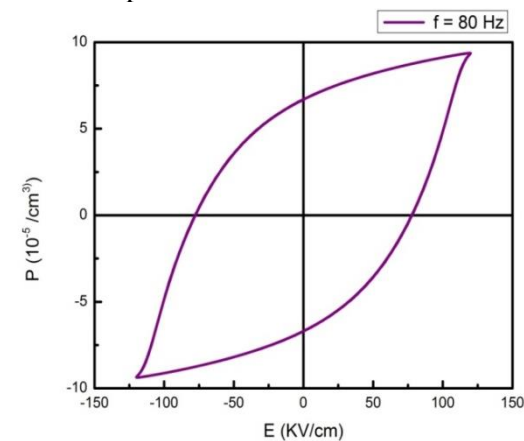
Gambar 3. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi 20 Hz



Gambar 5. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi 50 Hz



Gambar 4. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi 30 Hz



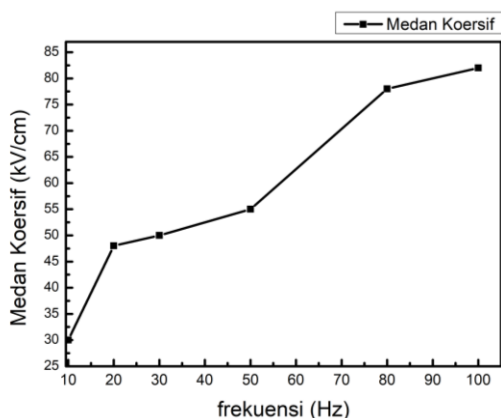
Gambar 6. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi 100 Hz

Hal yang sama juga dapat dilihat pada hasil pemodelan analitis berupa kurva histeresis pada Gambar 4 dan Gambar 5. Dengan peningkatan nilai frekuensi arus listrik masukan mengakibatkan nilai medan koersif intrinsik ( $E_c$ )

Nilai hasil pemodelan analitis medan koersif intrinsik ditunjukkan pada Tabel 1 dan pada Gambar 7. Dari hasil tersebut terlihat bahwa tren perubahan medan koersif intrinsik Barium Titanat mengalami kenaikan dengan kenaikan nilai frekuensi arus listrik masukan yang diberikan pada material.

Tabel 1. Nilai Medan Koersif intrinsik Hasil Pemodelan Material Barium Titanat

No	Frekuensi (Hz)	Medan Koersif (kV/cm)
1	10	30
2	20	48
3	30	50
4	50	55
5	80	78
6	100	82

Gambar 7. Medan Koersif Intrinsik BaTiO<sub>3</sub> hasil pemodelan dengan variasi variabel frekuensi

Pada penelitian berikutnya peneliti akan melakukan pengembangan pemodelan analitis dengan dari model yang telah ada, serta pada penelitian berikutnya juga peneliti akan melakukan eksperimen uji sifat kelistrikan utama seperti uji nilai kapasitansi dengan menggunakan rangkaian Sawyer-Tower dan melakukan perbandingan antara hasil pemodelan dan hasil eksperimen

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pemodelan sifat intrinsik medan koersif BaTiO<sub>3</sub> dengan variabel frekuensi sebagai masukan utama dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dengan peningkatan frekuensi medan listrik input menyebabkan medan koersif intrinsik BaTiO<sub>3</sub> bertambah
2. Pertambahan frekuensi listrik input menyebabkan polarisasi pada material BaTiO<sub>3</sub> tidak mengalami polarisasi maksimum dikarenakan pembalikan polarisasi yang semakin cepat
3. Pertambahan frekuensi listrik input menyebabkan fluktuasi polarisasi pada material

BaTiO<sub>3</sub> bertambah dengan tren perubahan meningkat

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kemenristek/BRIN RI dan Universitas Esa Unggul. Penelitian ini didanai sebagian oleh Hibah penelitian PKPT Kemenristek/BRIN RI dan Universitas Esa Unggul

#### REFERENSI

- Adnan, S. R. (2018). Landau-Khalatnikov modified model for predicting ZnO ferroelectric properties. *AIP Conference Proceedings*, 2043(November). <https://doi.org/10.1063/1.5080026>
- Devonshire, A. F. (1954). Theory of ferroelectrics. *Advances in Physics*, 3(10), 85–130. <https://doi.org/10.1080/00018735400101173>
- Hikam, M., & Adnan, S. R. (2014). Intrinsic Ferroelectric Coercive Field Calculation for BZT Films Doped by Indium and Lanthanum. *Advanced Materials Research*, 911, 256–259. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.911.256>
- Hikam, M., Adnan, S. R., Soegijono, B., Sudarmaji, A., Sanhaji, G., & Husein, O. (2014). P ENYESUAIAN KURVA MODEL DINAMIS LANDAU - KHALATNIKOV PADA BZT, 15(2), 108–111.
- Morsi, M. A., Abdelaziz, M., Oraby, A. H., & Mokhles, I. (2018). Structural, optical, thermal, and dielectric properties of polyethylene oxide/carboxymethyl cellulose blend filled with barium titanate. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2018.10.009>
- Sindhu, N. V, & Muraleedharan, K. (2017). Kinetic modelling of formation of K + doped BaTiO<sub>3</sub> bones from barium titanate oxalate via multi stage thermal decomposition. *Materials Research Bulletin*, 94, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.05.056>

- Turkmen, A. C., & Celik, C. (2018). Energy harvesting with the piezoelectric material integrated shoe. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.159>
- Wang, C. L. (2010). Theories and Methods of First Order Ferroelectric Phase Transitions, 1–26. Retrieved from <papers2://publication/uuid/9ADF8168-EB19-4F4A-986B-C874B2233F49>
- Wang, L., Yu, J., Wang, Y., Peng, G., Liu, F., & Gao, J. (2007). Modeling ferroelectric capacitors based on the dipole switching theory Modeling ferroelectric capacitor switching with asymmetric nonperiodic input signals and arbitrary initial Modeling ferroelectric capacitors based on the dipole switching theory. *Journal of Applied Physics Journal of Applied Physics Journal of Applied Physics Journal of Applied Physics Journal of Applied Physics Journal of Applied Physics*, *101*(10), 104505–2849. <https://doi.org/10.1063/1.2729470>