

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN INTERNAL



PEMODELAN ANALITIK SIFAT
FERROELEKTRIK INTRINSIK BARIUM TITANAT

Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun

Ketua Tim Peneliti

Septian Rahmat Adnan (0327098901)

UNIVERSITAS ESA UNGGUL

November 2019

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : PEMODELAN ANALITIK SIFAT FERROELEKTRIK INTRINSIK BARIUM TITANAT

Peneliti / Pelaksana :

Nama Lengkap : Septian Rahmat Adnan, S.Si., M.Si

NIDN : 0327098901

Jabatan Fungsional : Asisten Ahli (150)

Program Studi : Teknik Industri

Nomor HP : 08881313458

Alamat surel (e-mail) : Septian.rahmat@esaunggul.ac.id

Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun

Biaya Tahun Berjalan : Rp 24.000.000

Biaya Keseluruhan : Rp 24.000.000

Mengetahui

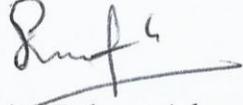
Jakarta, 28 November 2019

Dekan

Ketua Peneliti,


Universitas
Esa Unggul
Fakultas teknik

(Dr. Ir Nofi Erni, MM)



(Septian Rahmat Adnan., M.Si)

Menyetujui,
Ketua LPPM


Universitas
Esa Unggul
LPPM

(Dr. Erry Yudhya Mulyani)

RINGKASAN

Fenomena penyearahan dipol pada material keramik yang dikenal sebagai ferroelektrik banyak mendapatkan perhatian peneliti di berbagai belahan dunia, disebabkan sifat ini yang menarik karena dimungkinkan banyak aplikasi pada berbagai teknologi seperti DRAM, FeRAM, FeRAM (Ferroelectric Random Access Memory), Sensor pizoelektrik dan lain-lain. Material Non Pb terutama ditemukan pada Barium Titanat (BaTiO_3) menjadi salah satu kandidat dari material sebelumnya yaitu PbTiO_3 yang telah banyak diaplikasikan pada berbagai macam aplikasi pada perangkat elektronik dan juga sejak terbitnya kebijakan dilarangnya penggunaan unsur berbasis timbal (Pb) sebagai material dasar pada komponen elektronik. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan analitis sifat ferroelektrik intrinsik berupa kurva histeresis dengan variabel input tertentu pada material Barium Titanat dengan beberapa doping sebagai pengganti unsur Titanium. Pada penelitian ini juga pemodelan dilakukan menggunakan model yang telah dikembangkan oleh para peneliti yaitu model dinamis Landau-Khalatnikov yang dibuat dengan platform Pascal pada Delphi 6.

Hasil pemodelan didapatkan nilai prediksi sifat Intrinsik ferroelektrik Barium Titanat yang didoping Zirkonium dengan diberikan variasi frekuensi 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 50 Hz, 80 Hz dan 100 Hz menunjukkan nilai medan koersif intrinsik yang mengalami kenaikan dengan bertambahnya frekuensi arus listrik input.

Keywords : Ferroelektrik, Landau-Khalatnikov, BZT

PRAKATA

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT, laporan penelitian internal ini telah diselesaikan. Pada laporan penelitian ini berisi hasil penelitian teoritis analitik untuk memprediksi sifat ferroelektrisitas dari material BZT. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dari hasil penelitian dangkal ini, sekaligus penulis menerima masukan dan saran yang membangun dari para pembaca. Semoga laporan penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian yang sejenis.

Jakarta, 28 November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

BAB 1. PENDAHULUAN	8
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	10
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	14
BAB 4. METODE PENELITIAN	15
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	20

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perkembangan Penelitian Pemodelan Sifat Ferroelektrik

11

Tabel 5.1. Nilai Medan Koersif intrinsik Hasil Pemodelan Material BZT

19

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Polarisasi pada material Ferroelektrik	9
Gambar 2.2. Struktur Perovskite	10
Gambar 2.3. Kurva histeresis	12
Gambar 4.1. Diagram Alur Penelitian	16
Gambar 5.1. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi 10 Hz & 20 Hz	17
Gambar 5.2. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi 30 Hz & 50 Hz	18
Gambar 5.3. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi 80 Hz & 100 Hz	18
Gambar 5.4. Medan Koersif Intrinsik BZT hasil pemodelan dengan variabel frekuensi	19

DAFTAR LAMPIRAN

Publikasi hasil penelitian pada Jurnal Forum Ilmiah Vol 16 No. 3 tahun 2019



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Dipol-dipol yang tetap mengalami penyearahan berupa diketahui sebagai fenomena Ferroelektrisitas ditemukan pada Garam *Rochelle* yang menyebabkan para peneliti memberikan antensi khusus pada penemuan tersebut. Penemuan fenomena ini pertama kali oleh seorang ilmuwan Valasek pada tahun 1920 serta ditemukannya juga struktur kristal perovskite pada material tersebut. Pada perkembangannya setelah ditemukannya sifat ferroelektrik para peneliti mencoba mengembangkan aplikasi dari material dengan sifat karakteristik ferroelektrik. Pada perkembangannya setelah melalui pengembangan bertahun-tahun material ferroelektrik yang telah banyak diaplikasi adalah Plumbum tianat (PbTiO_3). Pada tahun 2000 Uni Eropa mengeluarkan aturan pelarangan penggunaan Timbal untuk bahan dasar komponen kelistrikan dan aplikasi divais elektronik. Salah satu kandidat pengganti penggunaan Timbal (Pb) adalah Barium (Ba) dan menjadi material Barium Titanat (BaTiO_3). Hal yang menarik dari material Barium titanat (BaTiO_3) adalah karena sifatnya yang memiliki struktur perovskite yang mirip dengan PbTiO_3 sederhana dan juga memiliki sifat ferroelektrik. (Iriani, 2007; Hikam, 2009; Adnan, 2012)

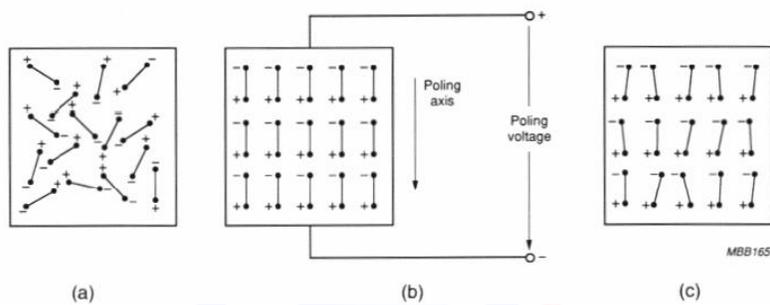
Beberapa pengembangan penggunaan aplikasi pada komponen dan perangkat elektronik dari material ferroelektrik PbTiO_3 adalah Ferroelectric Random Access Memory (FeRAM), actuator (Setter *et al*, 2006), termistor dan transduser (Cross *et al*, 1987) dan kapasitor dielektrik (Hikam *et al*, 2009).

Salah satu teori untuk menjelaskan fenomena sifat ferroelektrik adalah teori energi bebas Landau. Teori ini didasarkan pada energi bebas Gibbs sebagai acuan dasar dan awal untuk dapat terjadinya polarisasi, perubahan serta perubahan orientasi atom-atom yang bermuatan pada unit sel. Selanjutnya dengan beberapa pengembangan teori Landau-Devonshire dihasilkan model Landau-Khalatnikov sebagai penyempurnaan teori tersebut. (Raksa, 2008). Model tersebut yang akan digunakan untuk pemodelan sifat ferroelektrik BaTiO_3 pada penelitian ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Ferroelektrisitas

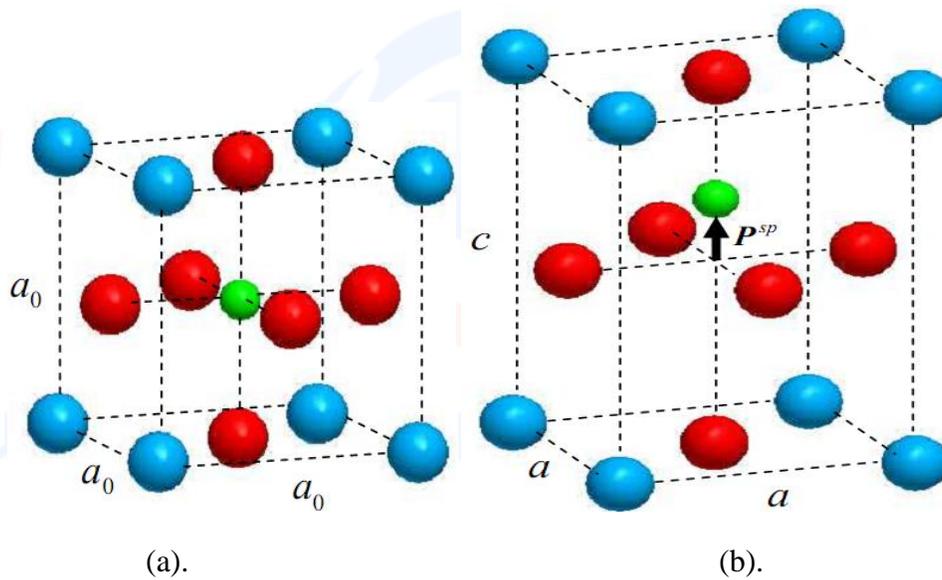
Penyearahan dipol-dipol pada material yang dikenal sebagai fenomena Ferroelektrisitas ditemukan oleh Valasek pada tahun 1920 pada Garam *Rochelle*. Fenomena ferroelektrik merupakan fenomena dimana terjadinya orientasi atau arah dari dipol-dipol listrik secara spontan pada saat adanya medan listrik dari luar yang diberikan pada material tersebut dan dipol-dipol pada material tersebut tetap terpolarisasi setelah medan listrik luar dihilangkan Seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. (Lines dan Glass, 1977).



Gambar 2.1. (Adem, 2003)

- (a) Dipol pada material sebelum dipengaruhi medan listrik
- (b) Dipol pada material setelah dipengaruhi medan listrik
- (c) Dipol material Ferroelektrik setelah medan listrik luar hilang

Fenomena Polarisasi dinyatakan jika pada suatu unit kristal pada suatu material ferroelektrik dengan struktur kristal perovskite atom-atom penyusun unit sel tidak berada pada posisi pusat sel-satuan, seperti diperlihatkan pada gambar 2.2. Polarisasi terjadi pada saat total muatan pada unit sel tersebut tidak sama dengan nol atau dapat dijelaskan dengan perubahan posisi Ion B yang berada pada posisi tengah bergeser terhadap ion A dan Ion-ion O^{2-} bergeser ke arah berlawanan. Sehingga menyebabkan total muatan pada unit sel tersebut tidak sama dengan nol. Fenomena tersebut merupakan dasar dari pemahan fenomena ferroelektrik serta pengembangan penerapan aplikasi sifat ferroelektrik dari suatu material. Banyak peneliti yang telah melakukan penelitian dan pengembangan aplikasi dari sifat ferroelektrik seperti terlihat pada tabel 2, termasuk juga oleh peneliti Indonesia seperti Muhammad Hikam dan Septian Rahmat Adnan.



Gambar 2.2. Struktur Perovskite, atom biru adalah A-kation, atom hijau adalah B-kation dan atom merah adalah atom Oksigen sebagai anion. a). struktur kristal kubik saat $T > T_c$ (Suhu di atas suhu Currie) b). strukturkristal tetragonal dibawah suhu Curie. (Vedmedenkon, 2012).

Tabel 2.1. Perkembangan Penelitian Pemodelan Sifat Ferroelektrik (Hikam *et al.*, 2014, Adnan, 2014)

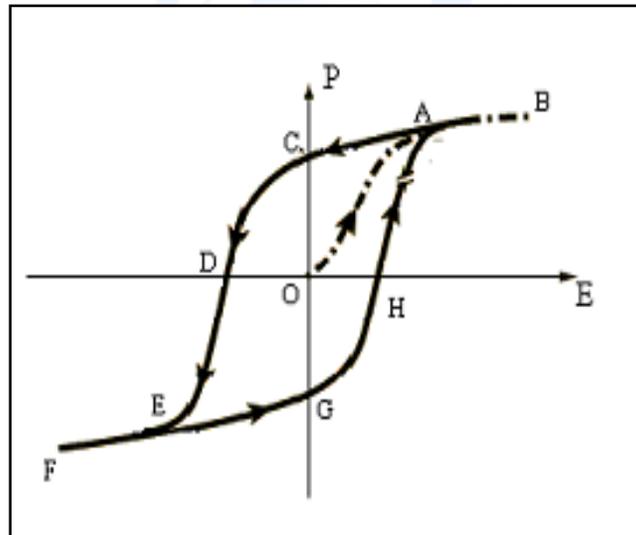
No	Topik	Nama	Nama Journal/Universitas/Tahun
1	Intrinsic Ferroelectric Coersive Field	Ducharme <i>et al.</i>	Phys. Rev. Lett. 84. 1. (2000)
2	Landau-Khalatnikov Simulation for Switching in Ferroelectric RAM	Tae Kwon Song	J. the Korean Phys. Soc. Vol. 46. 1. pp. 5-9.(2005)
3	Ferroelectric Thin Films: Review of Materials, Properties, and Applications	N. Setter <i>et al.</i>	Journal of Applied Physics, Vol. 100, 051606.pp.46, (2006)
4	Landau-	Morozovska <i>et al.</i>	J. Appl. Phys. 110. 052011 (2011)

	Ginzburg-Devonshire theory for electromechanical hysteresis loop formation in piezoresponce force microscopy of thin films		
5	Micromechanical modeling of ferroelectric thin films and bulk ceramics in multi-scale approach	Vorgelegt von	PhD Thesis, Universitat Stuttgart. (2012).
6	Modeling Polarization and Capacitance Hysteresis of Ferroelectric Capacitors	Bikash Shrestha	Thesis, University of Texas. (2012)
7	Intrinsic Hysteresis Loops Calculation of BZT Thin Films	Hikam <i>et al.</i>	J. Phys.: Conf. Ser.495. 012008 (2014)
8	Study on the Polarization Reversal Characteristics of a Ferroelectric Thin Film with Surface Transition Layers	Cui <i>et al</i>	Adv. Mater. Research Vol 936 pp 269-275 (2014)
9	The frequency-dependent behavior of a ferroelectric single crystal with dislocation arrays	Wu <i>et al</i>	Acta Mechanica Vol 228 pp 811-817 (2017)

2. 2. Kurva Histeresis

Kurva hysteresis merupakan sifat yang sangat khas yang hanya dimiliki oleh material ferroelektrik pada material keramik dan ferromagnetik pada magnet. Karakter utama pada kurva

hysteresis dapat dilihat pada berapa besaran utama yang membentuk dari kurva tersebut yaitu Polarisasi (P) dan Medan Listrik (E) yang ditunjukkan oleh gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kurva histeresis (Hikam *et al.*, 2011)

Kurva histeresis pada material ferroelektrik terbentuk saat material ini diberikan pengaruh medan listrik yang dihasilkan dari arus listrik atau tegangan listrik. Pada saat material ferroelektrik diberikan pengaruh medan listrik maka akan terjadi polarisasi pada dipol-dipol penyusun material tersebut dan pada kurva akan mengalami dari titik O ke titik A atau yang biasa disebut dengan polarisasi spontan. Jika pengaruh medan listrik terus diberikan dan diperbesar maka kurva akan membentuk dari titik A ke titik B dan nilai polarisasi tidak lagi mengalami perubahan atau polarisasi saturasi. Jika kondisi medan listrik dibalik atau nilai medan listrik diturunkan perlahan, maka kurva akan mengalami dari titik B ke titik C tidak lagi mengikuti pola dari titik B ke O. Pada saat titik dimana tidak ada medan listrik yang mempengaruhi material tetapi masih terdapat polarisasi disebut Polarisasi Remanen. Selanjutnya jika medan listrik yang mempengaruhi menjadi negatif maka pola kurva menjadi dari titik C ke titik D, pada titik D terjadi fenomena dimana adanya medan listrik yang mempengaruhi material tetapi tidak ada polarisasi disebut medan koersif. Seterusnya jika medan listrik yang mempengaruhi terus negatif, maka kurva akan menuju titik E dan F. Kurva ini merupakan kurva histeresis dari material ferroelektrik. (Adnan, 2014)

2.3. Model Energi bebas Landau (Raksa, 2006; Hikam; 2014)

Teori Landau pada fenomena ferroelektrisitas mengasumsikan bahwa kondisi setimbang pada material tersebut dipengaruhi oleh Energi bebas dari material tersebut. Sifat polarisasi dari material dengan sifat ferroelektik dapat dijelaskan dengan suatu persamaan yaitu persamaan Landau-Devonshire dengan pendekatan energi bebas Gibbs dengan fungsi polarisasi :

$$G(P) = G_0 - \frac{\alpha}{2} P^2 + \frac{\beta}{4} P^4 + \dots$$

dengan G_0 adalah energi bebas Gibbs pada fasa paraelektrik, α dan β adalah konstanta Landau. Untuk menjelaskan secara detail fenomena untuk polarisasi pada material ferroelektrik, Landau-Devonshire melakukan pendekatan lain dan mengembangkan model dinamis dengan beberapa asumsi bahwa medan listrik (E) yang diberikan untuk mempengaruhi pada material ferroelektrik merupakan fungsi sinusoidal, dengan persamaan differensial parsial :

$$\gamma \frac{dP}{dt} = -\frac{\partial G}{\partial P}$$

dengan γ adalah suatu konstanta. (Shrestha, 2012)

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3. 1. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- Melakukan Studi literatur beberapa pengembangan model Landau-Ginzburg pemodelan sifat ferroelektrik
- Melakukan pemodelan teoritis dengan perubahan beberapa variabel frekuensi arus input dan mengetahui pengaruh dari perubahan input tersebut

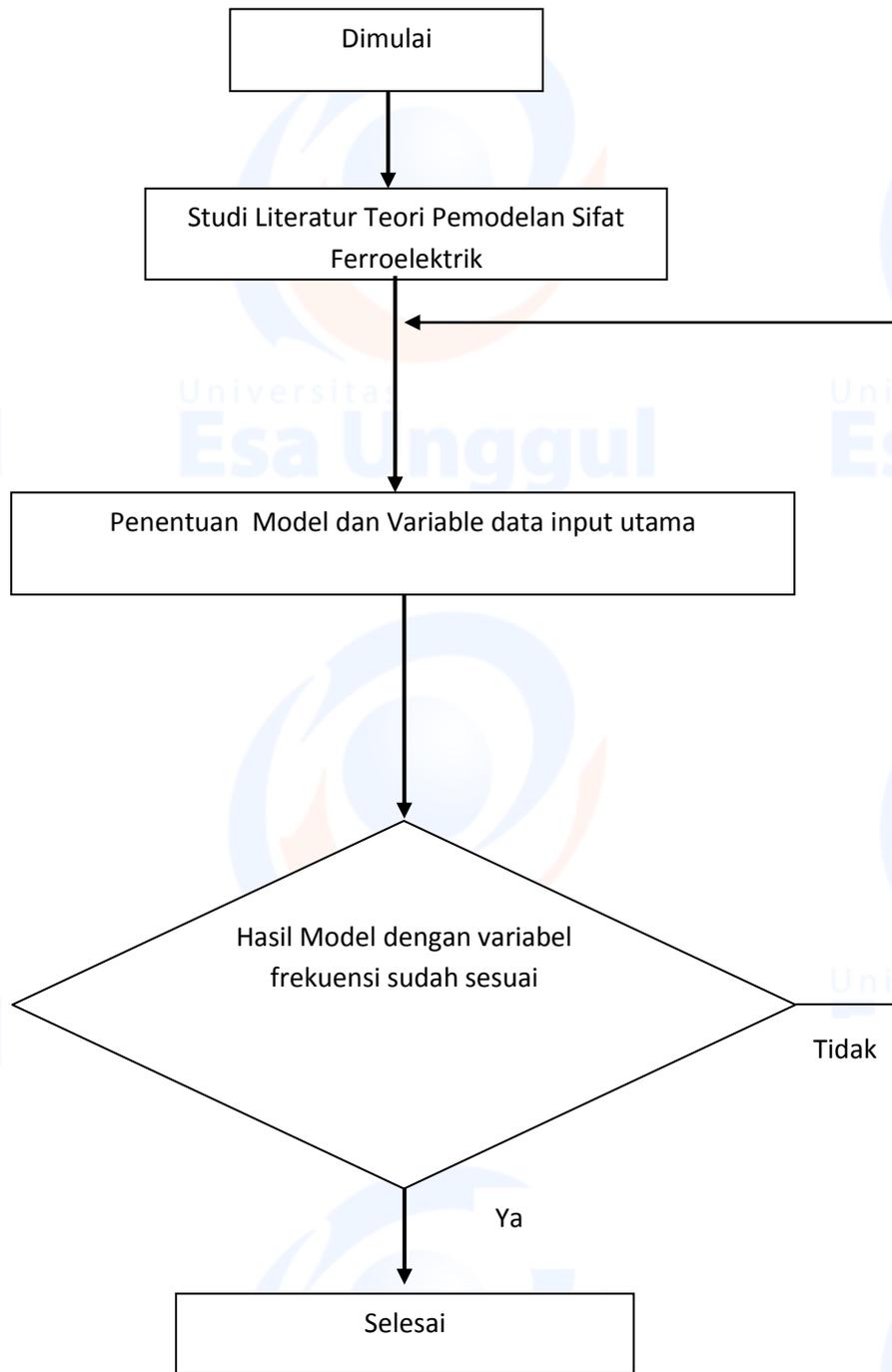
3. 2. Manfaat dari penelitian ini adalah :

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

- Memberikan pemahaman mendalam terkait sifat ferroelektrik material BaTiO_3 dengan pendekatan teoritis dengan teori Landau – Ginzburg dan Landau – Khalatnikov
- Memberikan prediksi sifat ferroelektrisitas dari material BaTiO_3 dengan pendekatan teori Landau – Ginzburg dan Landau – Khalatnikov

BAB 4. METODE PENELITIAN

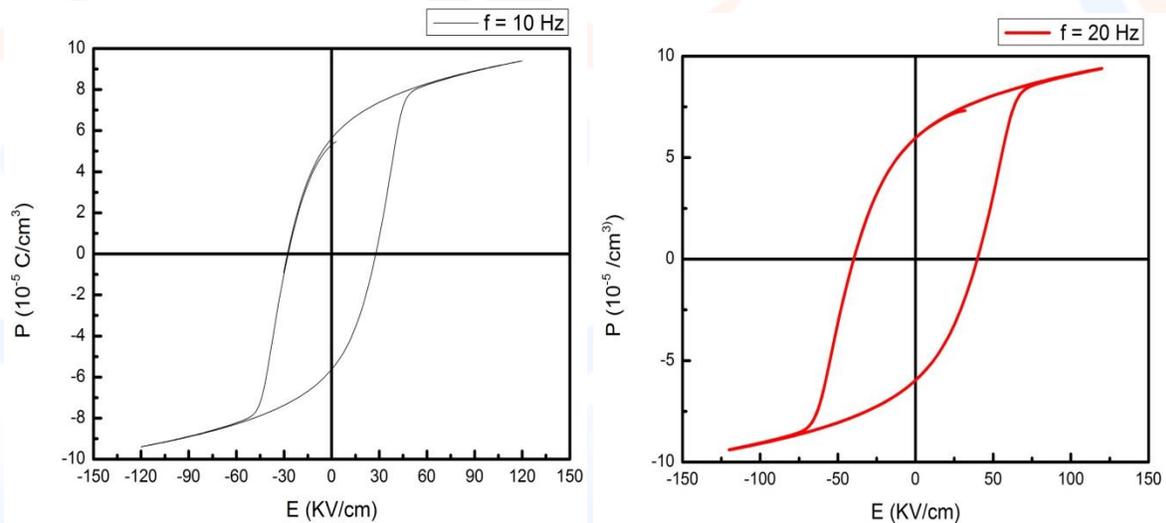
Penelitian ini akan kami mulai dengan melakukan studi literature, selanjutnya melihat alur perkembangan penelitian-penelitian yang lalu. Lalu, setelah didapatkan pemahaman yang cukup terkait pemodelan tersebut, kami akan memulai melihat variabel-variabel yang mempengaruhi persamaan atau model tersebut. Pada tahap selanjutnya kami akan menentukan variabel input dan data sekunder yang dimungkinkan untuk dilakukan modelling terhadap material Barium Titanat (BaTiO_3). Selanjutnya program komputasi kami buat dengan flapform yang sederhana dan menjadi program excutable dengan input variabel yang dapat diubah sesuai data sekunder.



Gambar 4.1. Diagram Alur Penelitian

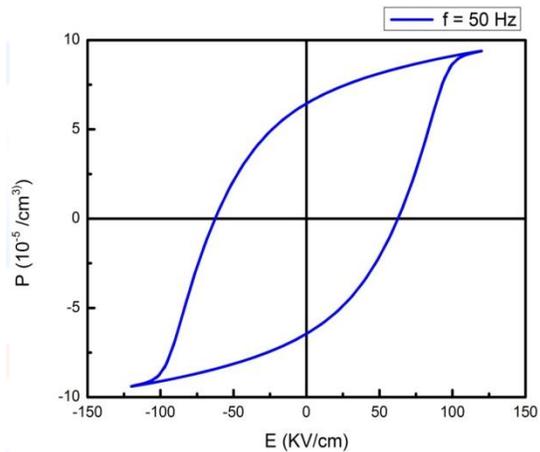
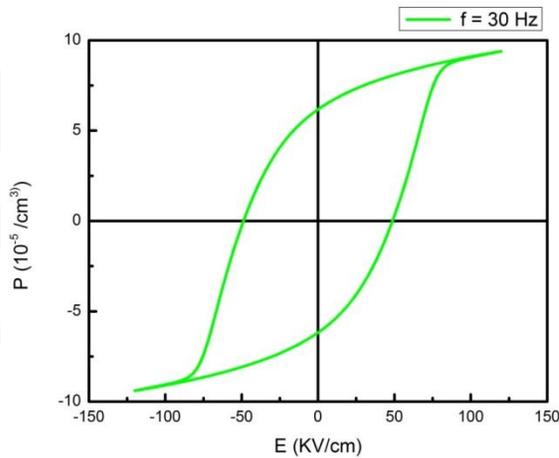
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemodelan sifat ferroelektrik material Barium Titanat (BaTiO_3) ditunjukkan pada gambar 5.1. Pada pemodelan tersebut dilakukan variasi pada nilai input variabel frekuensi arus listrik input dengan amplitudo yang tetap.



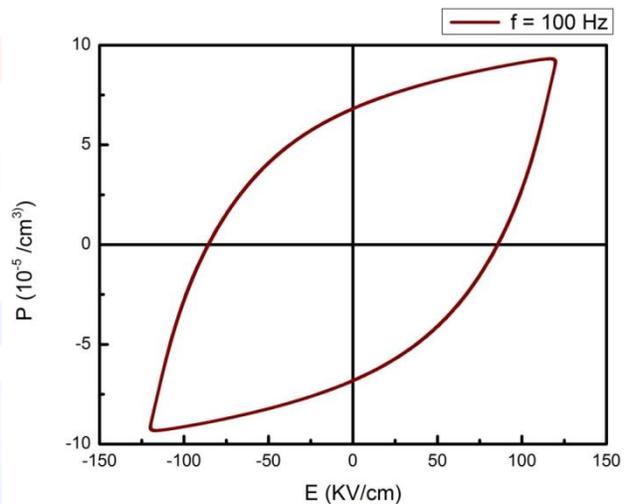
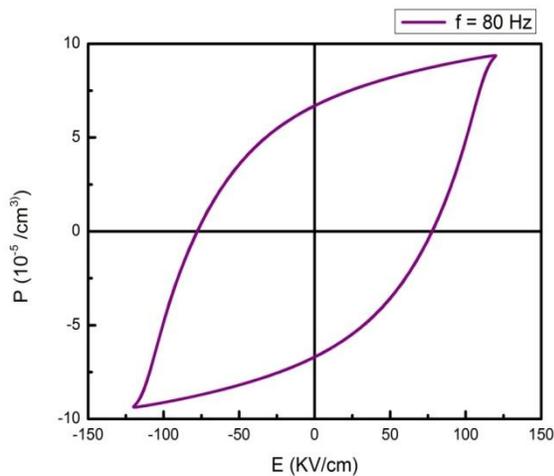
Gambar 5.1. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi
(a). 10 Hz (b). 20 Hz

Kurva histeresis hasil pemodelan dengan variasi frekuensi 10 Hz dan 20 Hz dari BZT ditunjukkan pada gambar 5.1. Pada gambar terlihat bahwa dengan terjadinya perubahan frekuensi input dari 10 – 20 Hz menyebabkan medan koersif meningkat tetapi pada polarisasi remanen tidak terjadi peningkatan yang signifikan.



Gambar 5.2. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi
(a). 30 Hz (b). 50 Hz

Hal tersebut juga terlihat pada kurva histeresis pada gambar 5.2 dan gambar 5.3. dengan meningkatnya frekuensi input menyebabkan medan koersif intrinsik dari BZT juga mengalami peningkatan. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa dengan bertambahnya frekuensi pada medan listrik yang diterapkan pada material BZT menyebabkan pembalikan polarisasi dari material tersebut menjadi lebih cepat dan menyebabkan material BZT tidak dapat terpolarisasi sempurna sebelum terjadi pembalikan dipol listrik.

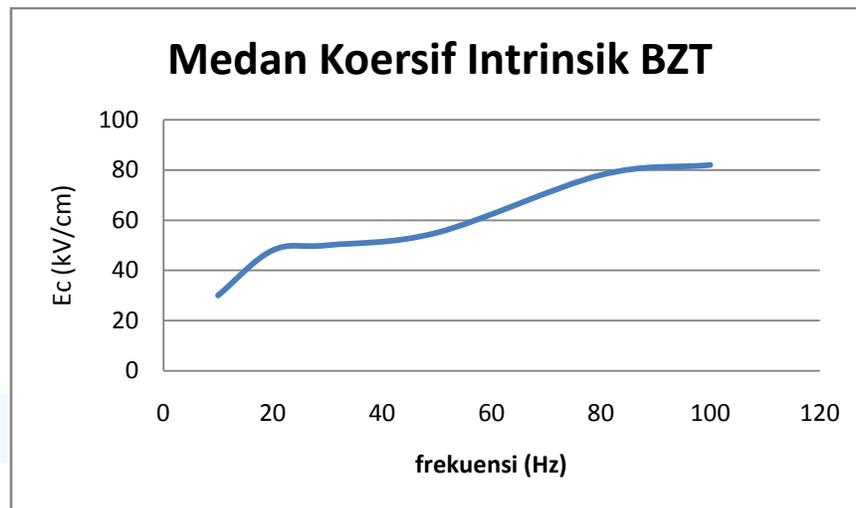


Gambar 5.3. Pemodelan kurva Histeresis Barium Titanat dengan input frekuensi
(a). 80 Hz (b). 100 Hz

Tabel 5.1. Nilai Medan Koersif intrinsik Hasil Pemodelan Material BZT

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

Nilai dari medan koersif intrinsik hasil pemodelan ditunjukkan pada tabel 5.1 dan pada gambar 5.3. Dari hasil tersebut terlihat bahwa tren perubahan medan koersif intrinsik BZT akan bertambah dengan frekuensi medan listrik input yang bertambah.



Gambar 5.4. Medan Koersif Intrinsik BZT hasil pemodelan dengan variabel frekuensi

Pada penelitian berikutnya peneliti akan melakukan pengembangan model dan melakukan uji thermal untuk mengetahui proses pembentukan kristal dari material BZT. Pada penelitian berikutnya juga peneliti akan melakukan uji beberapa sifat kelistrikan seperti uji kapasitansi dan ferroelektisitas dengan menggunakan rangkaian Sawyer-Tower untuk mengetahui sifat ferroelektrisitas dari material BZT.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari pemodelan sifat ferroelektrik Barium Titanat dengan variabel frekuensi sebagai input utama dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dengan peningkatan frekuensi medan listrik input menyebabkan medan koersif intrinsik BZT bertambah
2. penambahan frekuensi listrik input menyebabkan fluktuasi polarisasi pada material BZT bertambah

6.2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya perlu ditinjau beberapa model teori
2. Perlu ditambahkan pengaruh variabel unsur doping Zirkonium

DAFTAR PUSTAKA

Adem, U. (2003). *Preparation of $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ Thin Films By Chemical Solution Deposition and Their Electrical Characterization*. The Department of Metallurgical & Materials Engineering. The Middle East Technical University. Thesis.

Adnan, S. R., Hikam, M., and Rizky. (2014) E., Crystallographic and Electrical Properties of Barium Zirconium Titanate doped by Indium and Lanthanum. *Advanced Materials Research*. Vol. 896. pp. 347-350.

Hikam, M and Adnan, S. R. (2014). Intrinsic Ferroelectric Coercive Field Calculation for BZT Films Doped by Indium and Lanthanum. *Advanced Materials Research*. Vol. 911. pp 256-259

Hikam, M and Adnan, S. R. (2014). Intrinsic Hysteresis Loops Calculation of BZT Thin Films. *Journal of Physics : Conference Series (JPCS)*. 495. 012008

Lertcumfu, N., Pengpat., Eitssayeam, S. Tawee Tunkasiri, T. and Rujijanagul, G.(2015). Electrical properties of BZT/mullite ceramic composites. *Ceramics International*. Vol 41. S447-S452.

Raksa, T. (2008). Studi Pebalikan Polarisasi dan Model Histeresis Pada Material Film Tipis Ferroelektrik $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ yang Didadah Mg, Cu dan Pb. Program Studi Ilmu Material. Universitas Indonesia. Tesis.

Shin, D., Kim, J., Jeong, S., Koh, J. (2016). Piezoelectric and ferroelectric properties in $Ba(Zr,Ti)O_3$ and $CuO-Ba(Zr,Ti)O_3$ ceramics. *Materials Research Bulletin*. Vol 82. 7-10.

Sumang, R., Bongkarn, T., Kumar, N. and Kamnoy, M. (2017). Investigation of a new lead-free $(1-x-y)BNT-xBKT-yBZT$ piezoelectric ceramics. *Ceramics International*. Vol. 43. S102-S109

Scott, J. F. (2013). Prospects for Ferroelectrics: 2012–2022. *ISRN Materials Science*. Vol. 2013, p.1.

Shrestha, Bikash. (2012). Modeling Polarization and Capacitance Hysteresis of Ferroelectric Capacitors. *Electrical Engineering Theses*. Paper 10

Thanachayanont, C., Yordsri, V., Kijamnajsuk, S., Binhayeeniyi, N. and Muensit, N. (2012). Microstructural investigation of sol-gel BZT powders. Materials Letters. Vol 82. 205-207.

LAMPIRAN

1. paper yang telah dikirim terbitkan pada Jurnal Forum Ilmiah Vol 16 No. 3 tahun 2019

Perhitungan Medan Koersif Intrinsik Material Zinc Oxide (ZnO)

**PERHITUNGAN MEDAN KOERSIF INTRINSIK
MATERIAL ZINC OXIDE (ZnO)**

Septian Rahmat Adnan
Fakultas Teknik, Universitas EsaUnggul
Jalan Arjuna Utara No. 9 Tol Tomang Jakarta Barat 11510
septian.rahman@esaunggul.ac.id

Abstract

The Prediction of intrinsic coercive field of Zinc Oxide (ZnO) was calculated by using ferroelectric theory of Landau-Ginzburg. A Mathematical approach for calculating was used as routine program based on Pascal plat form on Delphi. There are decreasing in the value Spontaneous Polarization while increasing on lattice parameters. The result showed that the relation between Spontaneous Polarization and intrinsic coercive field is linear.

Keywords: *Intrinsic Coercive Field, ZnO, Landau-Ginzburg*

Abstrak

Prediksi Sifat Intrinsik medan koersif dari material Zinc Oxide (ZnO) dihitung menggunakan pendekatan teori ferroelektrik Landau-Ginzburg. Pendekatan matematis untuk perhitungan medan koersif intrinsik dibuat dengan menggunakan sebuah program komputer dibuat dengan menggunakan bahasa pascal pada Delphi 6. Hasil menunjukkan bahwa dengan pertambahan nilai parameter kisi a pada struktur material ZnO mengakibatkan penurunan nilai Polarisasi Spontan serta hubungan antara Polarisasi spontan dan medan koersif intrinsik adalah linear.

Kata kunci : Medan Koersif Intrinsik, ZnO, Landau-Ginzburg

Pendahuluan

Material Zinc Oxide (ZnO) telah banyak diteliti karena sifatnya yang merupakan semikonduktor dan menjadi material kandidat untuk aplikasi memori dan sensor. Pada tahun 2017 Goel dik menemukan bahwa Zinc Oxide (ZnO) memiliki respon elektrokimia yang paling besar, respon tersebutlah yang dibutuhkan untuk banyak aplikasi seperti alat elektronik, alat elektrokimia, dan aplikasi elektronik lainnya (Goel et al., 2017) Teori Landau-Ginzburg telah banyak digunakan peneliti dikarenakan cukup memuaskan untuk menjelaskan sifat ferroelektritas suatu material (Wang, Zhang, Zhong, & Zhang, 1999)

Pada penelitian ini perhitungan medan koersif intrinsik material Zinc

Oxide dengan menggunakan teori Landau-Ginzburg untuk memprediksi dan menganalisa sifat ferroelektritas material ZnO.

Metode Penelitian

Sifat ferroelektrik material dapat dijelaskan menggunakan pendekatan energi bebas Gibbs yang merupakan pendekatan termodinamika pada material. Energi Bebas Gibbs pada material ferroelektrik dapat dijelaskan menggunakan persamaan Landau-Ginzburg sebagai berikut (Adnan et al., 2018) :

$$\Delta G = \frac{\alpha T}{2} P^2 - \frac{\beta}{4} P^4 + \frac{\gamma}{6} P^6 - EP$$

Forum Ilmiah : Volume 16 Nomor 3, September 2019 326