

SKRIPSI

**SIMULASI DISTRIBUSI MEDAN LISTRIK PADA EKOR BUSHING
TRANSFORMATOR 150 KV DI GARDU INDUK KERAMASAN ULPL
INDRALAYA MENGGUNAKAN FEMM (*FINITE ELEMENT METHOD
MAGNETICS*)**



Dibuat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik

pada Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :

SUTRA PURNAMA

03041181823108

TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI DISTRIBUSI MEDAN LISTRIK PADA EKOR BUSHING
TRANSFORMATOR 150 KV DI GARDU INDUK KERAMASAN ULPL
INDRALAYA MENGGUNAKAN FEMM (*FINITE ELEMENT METHOD
MAGNETICS*)**



SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Oleh:

SUTRA PURNAMA

03041181823108



**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999031005**

**Indralaya, 31 Oktober 2023
Menyetujui,
Pembimbing Utama**



**Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999031003**

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yangbertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sutra Purnama

NIM 03041181823108

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Univeritas : Sriwijaya

Persentase plagiarism (*Turnitin*) :19%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Simulasi Distribusi Medan Listrik Pada Ekor Bushing Transformator 150 kV Di Gardu Induk Keramasan ULPL Indralaya Menggunakan FEMM (Finite Eement Method Magnetics) ” merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat atas karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Indralaya, 31 Oktober 2023
Yang menyatakan,

Sutra Purnama
NIM. 03041181823108

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1)

Tanda Tangan

:  _____

Pembimbing Utama : Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D

Tanggal

: 31/ Oktober / 2023

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan nikmat iman, kekuatan serta niat yang maksimal untuk menyelesaikan Skripsi ini serta sholawat kepada Nabi Muhammad Sholallahu „Alaihi Wasallam atas suri tauladan yang telah memberikan acuan kepada penulis dan kita semua umat muslim harus semangat dalam menyelesaikan sesuatu jangan pernah malas karena Allah tidak menyukai itu. Selain itu penulis juga bersyukur karena berkat rahmat, karunia, dan ridho Allah Subhanahu Wa Ta'ala, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “*Simulasi Distribusi Medan Listrik Pada Ekor Bushing Transformator 150 kV Di Gardu Induk Keramasan ULPL Indralaya Menggunakan FEMM (Finite Element Method Magnetics)*”.

Penulis sadari, bahwa tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, karya tulis ini tidak dapat diselesaikan. Karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU. Selaku Pembimbing Utama sekaligus Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang telah memfasilitasi dan membimbing tugas akhir dari awal hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Herlina, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama mengenyam pendidikan di Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua saya yaitu Riduan dan Sumiati yang selalu mendoakan saya, serta saudara saya Aksai yang selalu mendukung saya selama masa perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.

6. Kak Salu Widiayati yang telah mengajarkan software FEMM.
7. Teman seperjuangan saya M. Jody Fahreza yang telah memberikan pinjaman laptop selama pengerjaan skripsi ini.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE selaku Rektor Universitas Sriwijaya beserta staff.
9. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya beserta staff.
10. Sahabat seperjuangan saya dari SMA Jody yang selalu mendukung dan memberi semangat serta sahabat-sahabat perjuangan saya Farras, Ilham, Arif, Okky, Wahyu, Saddam, Nafis, Halim, Empindonta, Madon, Tino, Faaizun, Kevin, Patrick.
11. Teman-teman yang tergabung dalam satu bimbingan selama menjalankan tugas akhir yaitu Yusup, Indah, Mayang, Saddam, Julio, Habiba, Nafis, Ari, Angga.
12. Teman-teman Mahasiwa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
13. Dan pihak-pihak yang sangat membantu dalam penulisan skripsi yang tidak dapat ditulis satu persatu.

Indralaya, 31 Oktober 2023



Penulis

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sutra Purnama
NIM : 03041181823108
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty- Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul, “Simulasi Distribusi Medan Listrik Pada Ekor Bushing Transformator 150 kV Di Gardu Induk Keramasan ULPL Indralaya Menggunakan FEMM (*Finite Element Method Magnetics*)”.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Indralaya
Pada Tanggal : 31 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Sutra Purnama

NIM. 03041181823108

ABSTRAK**SIMULASI DISTRIBUSI MEDAN LISTRIK PADA EKOR BUSHING
TRANSFORMATOR 150 KV DI GARDU INDUK KERAMASAN ULPL
INDRALAYA MENGGUNAKAN FEMM (*FINITE ELEMENT METHOD
MAGNETICS*)**


(Sutra Purnama, 03041181823108, 2023, xx + 31 halaman + lampiran)

Sistem isolasi sangat diperlukan pada peralatan tegangan tinggi untuk membatasi bagian-bagian yang bertegangan agar tidak terjadi hubungan singkat satu dengan yang lain sehingga tidak terjadi kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi pada peralatan tegangan tinggi dapat terjadi pada saat peralatan sedang beroperasi yang bisa menyebabkan kerusakan alat sehingga kontinuitas sistem menjadi terganggu. Bushing mempunyai beberapa bahan dielektrik padat dengan beberapa lapisan logam dan porcelain dengan nilai permitivitas yang berbeda. Karakteristik medan disekitar bushing dipengaruhi media tersebut yang membuat distribusi medan listrik disekitar bahan dielektrik bervariasi, sesuai dengan besar nilai permitivitas sebuah bahan penyusun bushing. Semakin besar nilai permitivitas sebuah media maka medan listrik yang dihasilkan akan semakin kecil sedangkan semakin kecil nilai permitivitas sebuah media maka medan listrik yang dihasilkan akan semakin membesar.

Kata kunci: *Bushing, Finite Element Method Magnetics (FEMM)*, medan listrik, permitivitas bahan dielektrik.

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Indralaya, 31 Oktober 2023
Menyetujui,
Pembimbing Utama**


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999031005


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999031003

ABSTRACT**SIMULATION OF ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION IN THE TAIL OF
150 KV TRANSFORMER BUSHING AT KERAMASAN ULPL
INDRALAYA GENERAL SUBSTATION USING FEMM (FINITE
ELEMENT METHOD MAGNETICS)**

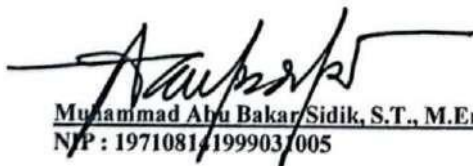
(Sutra Purnama, 03041181823108, 2023, xx + 31 pages + attachments)

An isolation system is needed in high-voltage equipment to limit live parts so that short circuits do not occur with one another so that insulation failure does not occur. Insulation failure on high voltage equipment can occur when the equipment is in operation which can cause damage to the equipment so that the continuity of the system is disrupted. Bushings have several solid dielectric materials with several layers of metal and porcelain with different permittivity values. The field characteristics around the bushings are influenced by the media which makes the distribution of the electric field around the dielectric materials vary, according to the permittivity value of a bushing constituent material. The greater the permittivity value of a medium, the smaller the electric field generated, while the smaller the permittivity value of a medium, the greater the electric field generated.

Keywords: Bushing, Finite Element Method Magnetics (FEMM),
electric field, permittivity of dielectric materials.

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Indralaya, 31 Oktober 2023
Menyetujui,
Pembimbing Utama**


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999037005


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999031003

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iii
LEMBAR PERNYATAAN DOSEN	iv
KATA PENGANTAR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Hipotesis Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Transformator.....	5
2.2 Bagian-Bagian Transformator.....	6
2.3 Bushing Transformator	7
2.3.1 Jenis-Jenis Bushing	9
2.3.2 Konstruksi Bushing 150 KV	11
2.4 Medan Elektromagnetik	12
2.5 Software Finite Element Method Magnetics (FEMM).....	12
2.5.1 FEMM 4.2	13
2.6 Metode Elemen Hingga.....	13
2.7 Penelitian yang Pernah Dilakukan	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Lokasi Penelitian.....	16
3.2 Waktu Penelitian	16
3.3 Metode Penelitian.....	16
3.4 Peralatan dan Bahan	16
3.4.1 Personal Computer (PC) dilengkapi Perangkat Lunak Finite Element Method Magnetics (FEMM)	17
3.4.2 Transformator 60 MVA PLTGU Indralaya.....	17
3.5 Model Simulasi	19
3.6 Flowchart Penelitian.....	23

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Data Hasil Penelitian.....	24
4.2 Distribusi Medan Elektrik Pada Simulasi.....	24
4.3 Pengaruh Tegangan Pada Distribusi Medan Listrik Pada Ekor Bushing Transformator.....	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Kesimpulan	28
5.2 Saran.....	28

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator 60 MVA PLTGU Indralaya	6
Gambar 2.2 Konstruksi transformator 60 MVA PLTGU Indralaya	7
Gambar 2.3 Bushing Transformator.....	8
Gambar 2.4 Konstruksi Bushing 150 kV di PLTGU Indralaya.....	11
Gambar 3.1 Tampilan beranda software FEMM.....	17
Gambar 3.2 Transformator 60 MVA PLTGU Indralaya	17
Gambar 3.3 Dimensi bushing transformator PLTGU Indralaya.....	20
Gambar 3.4 Bushing transformator 150 kV PLTGU Indralaya.....	21
Gambar 3.5 Ekor bushing transformator 150 kV PLTGU Indralaya.....	21
Gambar 3.6 Model simulasi ekor bushing 150 kV	22
Gambar 3.7 <i>Flowchart</i> penelitian.....	23
Gambar 4.1 Distribusi medan listrik pada ekor bushing transformator.....	25
Gambar 4.2 Grafik distribusi medan listrik pada ekor bushing transformator.	25
Gambar 4.3 Tegangan elektrik pada ekor bushing transformator.	26
Gambar 4.4 Grafik pengaruh tegangan terhadap distribusi medan listrik pada ekor bushing transformator	27

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan riset yang dilakukan.....	14
Tabel 3.1 Spesifikasi transformator 60 MVA PLTGU Indralaya.....	18
Tabel 3.2 Frekuensi petir dan daya yang terukur.	18
Tabel 3.3 Tegangan tinggi dan tegangan rendah.	19
Tabel 3.4 Arus transformator.	19
Tabel 4.1 Nilai relative material yang digunakan pada simulasi	24

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lampiran Tabel.....	33
Lampiran 2 Langkah-Langkah Penggunaan FEMM Dalam Simulasi	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem isolasi sangat penting untuk peralatan tegangan tinggi karena memungkinkan bagian yang bertegangan untuk menghindari kontak singkat satu sama lain dan mencegah kegagalan isolasi. Gagalnya proses penyisipan isolasi bisa terjadi pada peralatan yang digunakan dalam sistem tegangan tinggi saat dalam operasi, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan dan mengganggu kelancaran operasional sistem tersebut. Peristiwa penurunan kinerja isolasi dapat terjadi ketika sistem tersebut mengalami tekanan elektrik dan panas yang tinggi, yang dapat menyebabkan penuaan. Kegagalan isolasi juga berkaitan dengan pengaruh medan listrik terhadap bahan isolasi, baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas [1].

Pada media dengan sifat kebolehlisrikan yang berbeda, intensitas medan listrik yang terbentuk akan menurun ketika nilai kebolehlisrikan lebih tinggi, dan intensitas medan listrik yang terbentuk akan meningkat ketika nilai kebolehlisrikan lebih rendah. Medan listrik adalah sifat fisik yang ada di setiap titik dalam ruang dan dapat memengaruhi muatan listrik lainnya dengan menarik atau mendorong mereka tergantung pada jenis muatannya.

Bushing adalah suatu perangkat yang terbuat dari beragam bahan padat yang tidak menghantarkan listrik, yang terdiri dari lapisan logam dan porselen dengan nilai kemampuan dielektrik yang berbeda. Sifat medan di sekitar bushing memengaruhi sebaran medan listrik di sekitar bahan dielektrik yang berbeda ini. Nilai kemampuan dielektrik dari bahan-bahan yang membentuk bushing ini bervariasi secara cukup signifikan.

Oleh karena itu, diperlukan sebuah studi mengenai bagaimana medan listrik tersebar di sekitar bushing trafo untuk menentukan cara medan listrik terdistribusi, dan juga untuk menemukan di mana terjadinya peningkatan dan penurunan medan listrik.

1.2 Perumusan Masalah

Bushing terdiri dari beberapa bahan isolator padat yang memiliki beberapa lapisan logam dan porselen dengan tingkat kemampuan untuk menghantarkan listrik yang berbeda. Medan listrik di sekitar bushing dipengaruhi oleh bahan-bahan ini, sehingga distribusi medan listrik di sekitar bahan isolator berubah sesuai dengan kemampuan masing-masing bahan untuk mengizinkan aliran listrik, yang disebut permitivitas.

Merujuk pada penelitian sebelumnya dari A. Tanohe, Junaidi, dan Daniel [1], tentang simulasi distribusi medan listrik pada bushing transformator 275 kV menggunakan simulasi FEMM. Karena medan listrik tertinggi terletak pada bagian bawah bushing yaitu pada bagian *flange*, untuk itu penulis dalam penelitian ini akan mensimulasikan bagian ekor bushing transformator tipe 150 kV yang terdapat di PLTGU Keramasan ULPL Indralaya menggunakan software FEMM, yang akan menampilkan nilai medan listrik secara simulasi dalam bentuk 2 dimensi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui perubahan persebaran medan listrik pada ekor bushing transformator 150 kV.
2. Untuk mengetahui lokasi medan tinggi, dan medan rendah pada ekor bushing transformator 150 kV.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup kerja dari penelitian ini adalah :

1. Bushing transformator yang digunakan adalah pada transformator yang terisolir (tidak beroperasi).
2. Analisis dilakukan dengan bantuan aplikasi FEMM (*Finite Element Method Magnetics*) 2 dimensi.
3. Pengaruh kelembaban dan tekanan diabaikan.

1.5 Hipotesis Penelitian

Penelitian yang dilakukan oleh A. Tanohe, Junaidi, dan Daniel [1] melibatkan simulasi distribusi medan listrik pada bushing transformator berkekuatan 275 kV dengan menggunakan perangkat lunak simulasi FEMM. Hasil penelitian ini mengidentifikasi posisi pada bushing yang mengalami tingkat medan listrik tinggi dan rendah saat tegangan 275 kV diterapkan, di mana medan listrik terkuat mencapai 8,2 kV/cm.

Berdasarkan penelitian tersebut, belum adanya penelitian terhadap ekor bushing transformator 150 kV, maka akan di buat simulasi distribusi medan listrik pada ekor bushing transformator dengan tegangan 150 kV yang terdapat di PLTGU Keramasan ULPL Indralaya yang akan menampilkan nilai simulasi medan listrik secara 2 dimensi, serta melihat lokasi medan tinggi dan medan rendah pada bushing transformator 150 kV.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam setiap bab dari proposal tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bagian ini akan membahas tentang pendahuluan yaitu latar belakang, rumusan masalah, objektif riset, dan ruang lingkup riset.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bagian tersebut akan membahas landasan teori mengenai simulasi distribusi medan elektromagnetik.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bagian tersebut akan membahas tentang sistematika yang nantinya akan dibahas pada riset ini.

BAB IV HASIL PENDAHULUAN

Di bagian ini akan membahas tentang hasil dan analisa dari riset ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil pendahuluan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Tonahe, Junaidi, and Danial, “Simulasi Distribusi Medan Listrik Pada Bushing Trafo 275 Kv Menggunakan Femm,” *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 3, pp. 1–7, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/42614>
- [2] J. Siburian, “Karakteristik transformator,” *J. Teknol. Energi UDA*, vol. VIII, no. 21, pp. 21, 23, 2019.
- [3] Mutiar, “Perhitungan Efisiensi Transformator 60 Mva Di PT.PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih,” *Tek. Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 29–38, 2018.
- [4] All Astom Company, "PNO Condensor Bushings 52-245 KV, 2007.
- [5] T. Elektro, “Pencegahan Overload Dan Percikan Bunga Api Pada Bushing,” pp. 78–86, 2016.
- [6] T. R. Koehler and D. R. Fredkin, "Finite Element Methods for Micromagnetics," *IEEE Trans. Magn.*, 1992, doi:10.1109/20.123912.
- [7] Admin, "Partial Discharge Transformer (Pada Bushing Trafo) Bagian2, " <https://www.radius.co.id/partial-discharge-transformer-pada-bushing-trafo-bagian-2/>. 2020.
- [8] Trisna Nugraha, Anggara, "Pengertian Medan Elektromagnetik, " <https://lecturer.ppns.ac.id/anggaratnugraha/pengertian-medan-elektromagnetik/>.
- [9] C. Valentina and U. Indonesia, “Extremely low-frequency,” pp. 4–19, 2009.
- [10] M. Osaci, C. D. Cunțan, and I. Baci, “Solution for Using FEMM in Electrostatic Problems with Discrete Distribution Electric Charge,” *Int. J. Mod. Educ. Comput. Sci.*, vol. 14, no. 4, pp. 57–66, 2022, doi:10.5815/ijmecs.2022.04.05.

- [11] Z. Hashim, K. Y. Lau, C. W. Tan, and K. Y. Ching, "Simulation of nanodielectrics: nanoparticle and interphase effects on electric field distributions," *IET Nanodielectrics*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1049/iet-nde.2019.0032.
- [12] V. I. Milykh and N. V. Polyakova, "Determination of Electromagnetic Parameters and Phase Relations in Turbo-Generators By the Automated Calculation of the Magnetic Field in the Software Environment Femm," *Electr. Eng. Electromechanics*, vol. 0, no. 1, p. 26, 2016, doi: 10.20998/2074-272x.2016.1.05.
- [13] J. P. Sijabat *et al.*, "Simulasi distribusi potensial dan medan listrik pada kabel bawah tanah menggunakan femm".
- [14] M. T. Hardiansyah, I. Danial, and A. Rifai, "Distribusi Panas Sekitar Kabel 20 Kv Menggunakan Metode Elemen Hingga".
- [15] A. Filiatrault and H. Matt, "Seismic Response of High Voltage Electrical Transformer–Bushing Systems," *J. Struct. Eng.*, vol. 132, no. 2, pp. 287–295, 2006, doi: 10.1061/(asce)0733-9445(2006)132:2(287).
- [16] K. V. H. Penelitian and K. Kunci, "A. Pendahuluan".
- [17] M. Y. Pratama, *Analisa Sensitivitas Arus Inrush Terhadap Rele Differensial Pada Transformator Daya di Gardu Induk Glugur*. 2021.
- [18] J. Subocz, A. Mroziak, P. Bohatyrewicz, and M. Zenker, "Insulation based on the SVM and the FDS Methods †," *Energies*, vol. 13, 2020, doi: 10.3390/en13040853.
- [19] T. A. Voronina, G. M. Molodavkin, S. A. Sergeeva, and O. I. Epstein, "Anxiolytic Effect of Proproten under Conditions of Punished and Unpunished Behavior," *Bull. Exp. Biol. Med.*, vol. 135–136, no. SUPPL. 1, pp. 120–122, 2003, doi: 10.1023/A:1024771906306.
- [20] Suganda and A. Muis, "Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya," *J. Sinusoida*, vol. 18, no. 2, pp. 1–10, 2021.

- [21] R. Anguraja and P. Dixit, "Effect of Foils on Electric Field Distribution of a 245kV Condenser Bushing," pp. 1–5.
- [22] P. Studi, T. Konversi, J. T. Mesin, and P. N. Jakarta, "PEMELIHARAAN TRAFODISTRIBUSI PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Jakarta Raya UP3 Lenteng Agung," 2022.
- [23] Dwita Auliana, "Analisis Pengaruh Beban Lebih Terhadap Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi 3 Fasa (Studi Kasus Di PT. PLN (Persero) ULP Balapulang)," pp. 9–25, 2019, [Online]. Available: <http://eprints.peradaban.ac.id/755/>.
- [24] J. Prayogo, "Pemodelan Konstruksi Portal Rangka Baja Berbasis Finite Element Method (FEM)," 2015, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/77624110.pdf>.
- [25] A. Asran and M. Jannah, "Analisis Pengaruh Neutral Grounding Resistance (Ngr) 40 Ohm Pad Transformator Daya 30 Mva Digardu Induk Bireue Terhadap Arus Gangguan Satu Fasa Ke Tanah," *Sisfo J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, pp. 66–77, 2021, doi: 10.29103/sisfo.v5i1.4854.
- [26] L. M. dan A. P. Parera, "Analisis Perlindungan Transformator Distribusi Yang Efektif Terhadap Surja Petir," *J. Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 671–678, 2009.
- [27] I. I. I. O. Tap and C. Oltc, "On Line Tap Changer (OLTC)," pp. 1–22, 2017.
- [28] All Astom Company, "PNO Condensor Bushings 52-245 KV, 2007.
- [29] S. Sarman, "Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan dalam Pengaruh Medan Listrik dan Medan Magnet Menggunakan Spreadsheet Excel," *Sci. Phys. Educ. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 61–70, 2022, doi: 10.31539/spej.v5i2.3554.
- [30] A. Tonahe, Junaidi, and Danial, "Simulasi Distribusi Medan Listrik Pada Bushing Trafo 275 Kv Menggunakan Femm," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 3, pp. 1–7, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/42614>