

**Pengaruh Kelembapan Relatif terhadap Hasil Uji Tahanan Isolasi
Peralatan *Outdoor* Gardu Induk di Kawasan Gunung Salak**

SKRIPSI

FEBRIANSYAH

20210120003



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI
AGUSTUS 2025**

**Pengaruh Kelembapan Relatif terhadap Hasil Uji Tahanan Isolasi
Peralatan *Outdoor* Gardu Induk di Kawasan Gunung Salak**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh
Gelar Sarjana Teknik Elektro*

FEBRIANSYAH

20210120003



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI
AGUSTUS 2025**

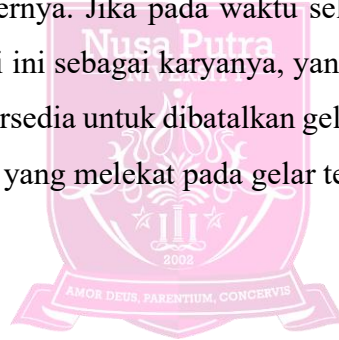
PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : PENGARUH KELEMBAPAN RELATIF TERHADAP
HASIL UJI TAHANAN ISOLASI PERALATAN *OUTDOOR*
GARDU INDUK DI KAWASAN GUNUNG SALAK

NAMA : FEBRIANSYAH

NIM : 20210120003

Saya menyatakan dan bertanggungjawab dengan sebenarnya bahwa Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa Skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti - bukti yang cukup, maka saya bersedia untuk dibatalkan gelar Sarjana Teknik saya beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut.



Sukabumi, 29 Agustus 2025

Materai

FEBRIANSYAH

Penulis

LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH KELEMBAPAN RELATIF TERHADAP
HASIL UJI TAHANAN ISOLASI PERALATAN *OUTDOOR*
GARDU INDUK DI KAWASAN GUNUNG SALAK

NAMA : FEBRIANSYAH

NIM : 20210120003

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui
Sukabumi, 29 Agustus 2025

Pembimbing I

Pembimbing II

Panji Naputro, S.T., M.T.

NIDN. 0427027803

Ir. Anang Suryana, S.Pd., M.Si.

NIDN. 0407098009



Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Panji Naputro, S.T., M.T.

NIDN. 0427027803

PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH KELEMBAPAN RELATIF TERHADAP
HASIL UJI TAHANAN ISOLASI PERALATAN *OUTDOOR*
GARDU INDUK DI KAWASAN GUNUNG SALAK

NAMA : FEBRIANSYAH

NIM : 20210120003

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan di depan Dewan Penguji pada Sidang Skripsi tanggal 29 Agustus 2025 Menurut pandangan kami, Skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik

Sukabumi, 29 Agustus 2025

Pembimbing I

Panji Naputro, S.T., M.T.

NIDN. 0427027803



Pembimbing II

Ir. Anang Suryana, S.Pd., M.Si.

NIDN. 0407098009

Ketua Penguji

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Ir. Marina Artiyasa, S.T., M.T., IPM.

NIDN. 0403127308

Panji Naputro, S.T., M.T.

NIDN. 0427027803

PLH. Dekan Fakultas Teknik, Komputer dan Desain

Ir. Paikun, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng

NIDN. 0402037401

ABSTRAK

Gardu induk memiliki peran yang krusial tidak hanya sebagai titik distribusi energi listrik dari pembangkit menuju konsumen, tetapi juga sebagai pusat pengelolaan sistem kelistrikan yang berfungsi melakukan pengalihan jalur listrik guna memastikan aliran daya berlangsung secara efisien dan andal. Salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh signifikan terhadap kinerja peralatan gardu induk adalah kelembapan, yang secara langsung dapat memicu korosi pada komponen berbahan logam dan secara tidak langsung menurunkan performa isolasi, sebagaimana dapat terindikasi dari hasil pengujian periodik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kelembapan relatif lingkungan terhadap hasil uji tahanan isolasi peralatan *outdoor* pada Gardu Induk 150 kv di Gunung Salak, mencakup *Current Transformer* (CT), *Capasitive Voltage Transformer* (CVT), dan *Lightning Arrester* (LA). Data yang digunakan meliputi hasil uji tahanan isolasi dua tahunan periode 2017–2023 empat siklus pengujian serta rekaman kelembapan setempat, dengan metode analisis korelasi dan penilaian risiko menggunakan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN).

Kondisi lokasi penelitian menunjukkan tingkat kelembapan tinggi dan relatif konstan dengan rata-rata tahunan sekitar 80-81% serta puncak 90,89% pada Juli 2021, yang berpotensi memengaruhi kinerja isolasi peralatan. Hasil analisis mengungkap adanya hubungan berbanding terbalik antara kelembapan dan nilai tahanan isolasi, di mana CT menunjukkan hubungan dengan arah negatif yang kuat $r = -0,754$ dan LA memiliki korelasi negatif signifikan $r = -0,784$, sementara pada CVT $r = -0,789$ teridentifikasi adanya tren penurunan tahanan isolasi seiring meningkatnya kelembapan. Meskipun demikian, seluruh hasil uji masih memenuhi standar minimum PLN untuk peralatan 150 kv $\geq 150 \text{ M}\Omega$, dengan nilai terendah 522 M Ω pada LA tahun 2019 dan nilai tertinggi 251.000 M Ω pada CT tahun 2023. Lebih lanjut, analisis FMEA mengidentifikasi tiga mode kegagalan pada LA dengan prioritas mitigasi tertinggi, yakni peningkatan induktansi pedestal pada kedua ujung terminal (RPN = 384), hubung singkat fasa ke tanah saat operasi (RPN = 180), dan hotspot pada bodi (RPN = 162), serta risiko *flashover* internal pada CT (RPN = 135). Temuan ini menegaskan urgensi pengendalian kelembapan dan penerapan strategi pemeliharaan berbasis risiko untuk meningkatkan keandalan peralatan *outdoor* di lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi.

Kata kunci: Kelembapan, Tahanan Isolasi, Gardu Induk, Analisis Korelasi dan FMEA

ABSTRACT

Substations play a crucial role not only as distribution points for delivering electrical energy from power plants to consumers but also as management centers of the electrical system that function to reroute power flows, thereby ensuring efficient and reliable energy delivery. One of the environmental factors that significantly affects substation equipment performance is humidity, which can directly trigger corrosion on metal-based components and indirectly reduce insulation performance, as indicated by results from periodic testing. This study aims to analyze the influence of ambient relative humidity on the insulation resistance test results of outdoor equipment at the 150 kV Gunung Salak Substation, covering the Current Transformer (CT), Capacitive Voltage Transformer (CVT), and Lightning Arrester (LA). The data used include biennial insulation resistance test results from 2017–2023 across four testing cycles, along with local humidity records, analyzed through correlation methods and risk assessment using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) with Risk Priority Number (RPN) calculations.

The study site shows consistently high humidity levels, with an annual average of about 80–81% and a peak of 90.89% in July 2021, which has the potential to impact equipment insulation performance. The analysis reveals an inverse relationship between humidity and insulation resistance values: CT exhibits a strong negative correlation ($r = -0.754$), LA shows a significant negative correlation ($r = -0.784$), and CVT ($r = -0.789$) indicates a declining insulation resistance trend as humidity increases. Nevertheless, all test results still meet PLN's minimum standard for 150 kV equipment ($\geq 150 \text{ M}\Omega$), with the lowest recorded value of 522 M Ω for LA in 2019 and the highest 251,000 M Ω for CT in 2023. Furthermore, the FMEA identified three failure modes in LA with the highest mitigation priorities, namely increased pedestal inductance at both terminal ends (RPN = 384), phase-to-ground short circuit during operation (RPN = 180), and hotspots on the body (RPN = 162), as well as the risk of internal flashover in CT (RPN = 135). These findings underscore the urgency of humidity control and the implementation of risk-based maintenance strategies to enhance the reliability of outdoor equipment operating in high-humidity environments.

Keywords: Humidity, Insulation Resistance, Substation, Correlation Analysis, FMEA

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Pengaruh Kelembapan Relatif terhadap Hasil Uji Tahanan Isolasi Peralatan *Outdoor* Gardu Induk di Kawasan Gunung Salak”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S1) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Komputer dan Desain, Universitas Nusa Putra Sukabumi.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Dr. H. Kurniawan, S.T., M.M. selaku Rektor Universitas Nusa Putra Sukabumi.
2. Bapak Panji Narpuro, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing I skripsi atas segala bimbingan, arahan serta saran yang telah diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Ir. Anang Suryana, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II skripsi atas kesediaannya meluangkan waktu, memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh staff pengajar Program Studi Teknik Elektro Universitas Nusa Putra Sukabumi yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang tak ternilai selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Nusa Putra Sukabumi.
5. Kedua orang tua penulis, Agus Najmudin dan Oom Omijah, yang senantiasa memberikan nasehat, do'a dan dukungan yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis. Dengan selesainya skripsi ini semoga bisa menjadi kebanggaan bagi keduanya.
6. Yang terkasih Nadia Nursyahbani, penulis ucapkan terima kasih karena telah menemani hari hari penulis dan telah bersedia mendukung hal hal yang penulis lakukan dengan penuh ketulusan.

7. Teruntuk Anggi dan Kaluna Fathia Anggraini terimakasih telah memberikan dukungan moral dan do'a kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
8. Rekan rekan Teknik Elektro Angkatan 2021 yang telah berjuang bersama penulis dalam menempuh pendidikan hingga selesai.
9. Rekan rekan PT. PLN (Persero) ULTG Sukabumi yang banyak membantu penulis dalam berbagai hal teknis yang penulis butuhkan.
10. Semua pihak yang telah membantu hingga penulis bisa menyelesaikan skripsi yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu.

Perjalanan dalam penyusunan skripsi ini bukan jalan yang lurus dan mulus. Ada hari-hari ketika langkah terasa berat, saat peta seakan kabur, dan tujuan tampak jauh. Namun, seperti pesan yang disampaikan Hindia dalam lagu *Besok Mungkin Kita Sampai*, bahwa “*Tak Ada Yang Tahu Kapan Kau Mencapai Tuju, dan percayalah bukan urusan mu untuk menjawab itu bersender pada waktu*”, semua perjalanan tak harus diukur dari cepatnya tiba, melainkan dari keberanian untuk terus melangkah karena setiap langkah, sekecil apa pun, adalah kemajuan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Sukabumi, Agustus 2025

Febriansyah

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UNIVERSITAS NUSA PUTRA, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Febriansyah
NIM : 20210120003
Program Studi : Teknik Elektro
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nusa Putra **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“PENGARUH KELEMBAPAN RELATIF TERHADAP HASIL UJI TAHANAN ISOLASI PERALATAN *OUTDOOR* GARDU INDUK DI KAWASAN GUNUNG SALAK“

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : SUKABUMI

Pada tanggal : 29 Agustus 2025

Yang Menyatakan

Febriansyah

DAFTAR ISI	Halaman
JUDUL.....	I
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	II
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	III
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	IV
ABSTRAK.....	V
<i>ABSTRACT</i>.....	VI
KATA PENGANTAR	VII
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	IX
DAFTAR ISI.....	X
DAFTAR GAMBAR	XIV
DAFTAR TABEL.....	XVI
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Pembatasan Masalah.....	5
1.4.1. Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.4.2. Batasan Teknis	5
1.4.3. Batasan Waktu	6
1.4.4. Batasan Lokasi	6
1.4.5. Asumsi-Asumsi	6
1.4.6. Batasan Data.....	6
1.4.7. Batasan Metode.....	6
1.4.8. Batasan Hasil.....	7
1.5. Manfaat Penelitian	7

1.5.1. Bagi Industri Kelistrikan	7
1.5.2. Bagi Pengembangan Teknologi Gardu Induk	7
1.5.3. Bagi Penelitian di Bidang Teknik Elektro	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Penelitian Terkait	8
2.2. Kesimpulan dan Peluang Keterbaruan	12
2.3. Gardu induk	12
2.2.1 Jenis Gardu Induk	13
2.2.2 Fasilitas dan Peralatan Gardu induk.....	17
2.4. Tahanan Isolasi	20
2.3.1. Pengujian Tahanan Isolasi.....	20
2.3.2. Rekomendasi Hasil Pengujian Tahanan Isolasi	21
2.3.3. Alat Uji.....	21
2.5. <i>Current Transformers</i>	22
2.4.1 Jenis CT.....	26
2.4.2 Komponen CT	32
2.4.3 <i>Rating</i> CT	33
2.4.4 Kesalahan	34
2.4.5 Akurasi CT.....	36
2.4.6 Kelas Ketelitian CT Metering	36
2.4.7 Kelas Ketelitian CT Proteksi.....	37
2.6. <i>Capasitive Voltage Transformer</i>	38
2.5.1 Jenis CVT.....	39
2.5.2 Bagian-Bagian CVT	40
2.5.3 Prinsip Kerja CCVT	43
2.5.4 Kesalahan CVT	45

2.7. <i>Lightning Arrester</i>	47
2.6.1. Teknologi LA.....	47
2.6.2. Klasifikasi LA.....	49
2.6.3. Konstruksi LA.....	49
2.8. Kelembapan	54
2.7.1. <i>Absolute Humidity</i>	54
2.7.2. <i>Relative Humidity</i>	55
2.9. Analisis Korelasi	56
2.10. <i>Failure Mode Effect Analysis</i>	59
2.9.1. <i>Severity</i>	60
2.9.2. <i>Occurrence</i>	61
2.9.3. <i>Detection</i>	62
2.9.4. <i>Risk Priority Number</i>	63
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	64
3.1. Jenis Penelitian.....	64
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian	64
3.2.1. Lokasi Penelitian	65
3.2.2. Durasi Penelitian	65
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	65
3.3.1. Studi Literatur	66
3.3.2. Observasi Lingkungan.....	66
3.3.3. Wawancara dengan Teknisi	66
3.4. Variabel Penelitian.....	67
3.5. Metode Analisi Data	67
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	70
4.1. Data Penelitian	70

4.1.1. Spesifikasi CT	70
4.1.2. Spesifikasi CVT	71
4.1.3. Spesifikasi LA.....	72
4.1.4. Hasil Uji Tahanan Isolasi	73
4.1.5. Data Kelembapan	75
4.2. Analisis Pengaruh Kelembapan Tinggi Terhadap Hasil Uji Tahanan Isolasi pada CT	77
4.3. Analisis Pengaruh Kelembapan Tinggi Terhadap Hasil Uji Tahanan Isolasi pada CVT	81
4.4. Analisis Pengaruh Kelembapan Tinggi Terhadap Hasil Uji Tahanan Isolasi pada LA.....	84
4.5. Perbandingan Hasil Uji Tahanan Isolasi dengan Standar Acuan.....	88
4.6. Analisa FMEA Pada Peralatan <i>Outdoor</i> Gardu Induk	89
BAB V KESIMPULAN.....	102
5.1. Kesimpulan	102
5.1. Rekomendasi.....	103
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN.....	108

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. 1 PLTP Gunung Salak	2
Gambar 2. 1. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi	13
Gambar 2. 2. Gardu Induk.....	13
Gambar 2. 3. Gardu Induk <i>Mobile</i>	15
Gambar 2. 4. Gardu Induk Isolasi Udara.....	16
Gambar 2. 5. Gardu Induk Isolasi Gas	17
Gambar 2. 6. Transformator Tenaga Tiga Fasa.....	18
Gambar 2. 7. Transformator Ukur.....	19
Gambar 2. 8. Sistem Proteksi	19
Gambar 2. 9. Titik Pengujian Tahanan Isolasi	21
Gambar 2. 10. Rangkaian CT	23
Gambar 2. 11. Rangkaian Ekvivalen.....	23
Gambar 2. 12. Diagram Fasor Arus dan Tegangan pada Transformator.....	24
Gambar 2. 13. Kurva Kejenuhan CT untuk Pengukuran dan Proteksi.....	26
Gambar 2. 14. Luas Penampang Inti CT	26
Gambar 2. 15. <i>Bar Primary</i> CT.....	27
Gambar 2. 16. <i>Wound Primary</i> CT	27
Gambar 2. 17. CT dengan 2 Inti.....	29
Gambar 2. 18. CT dengan 4 Inti.....	30
Gambar 2. 19. Primer Seri CT rasio 800 / 1 A.....	30
Gambar 2. 20. Primer Paralel CT rasio 1600 / 1 A	31
Gambar 2. 21. Rangkaian CT Multi Rasio	31
Gambar 2. 22. Komponen CT Tipe Cincin	32
Gambar 2. 23. CT <i>Cast Resin</i>	32
Gambar 2. 24. Komponen CT Tipe Tangki.....	33
Gambar 2. 25. <i>Nameplate</i> CT.....	34
Gambar 2. 26. Kesalahan Sudut CT	35
Gambar 2. 27. Kurva Faktor Batas Ketelitian	37
Gambar 2. 28. Prinsip Kerja CVT	38
Gambar 2. 29. <i>Capasitif Voltage Transformer</i>	40

Gambar 2. 30. Bagian – Bagian CVT.....	41
Gambar 2. 31. Konstruksi CVT Kapasitif.....	43
Gambar 2. 32. Rangkaian Ekvivalen CVT.....	44
Gambar 2. 33. LA.....	49
Gambar 2. 34. LA di Saluran Transmisi.....	49
Gambar 2. 35. Konstruksi LA	50
Gambar 2. 36. Keping Blok <i>Varistor Zinc Oxide</i>	51
Gambar 2. 37. Konstruksi <i>Housing LA</i>	51
Gambar 2. 38. <i>Sealing dan Pressure Relief Systems</i>	52
Gambar 2. 39. <i>Grading Ring</i>	53
Gambar 2. 40. <i>Counter LA</i>	53
Gambar 2. 41. Struktur Penyangga.....	54
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian.....	68
Gambar 4. 1. Kelembapan Rata Rata Bulanan Rentang Waktu 2017-2023.....	76
Gambar 4. 2. Korelasi Kelembapan Dengan Hasil Uji Tahanan Isolasi CT	77
Gambar 4. 3. Sebaran Data CT.....	80
Gambar 4. 4. Korelasi Kelembapan Dengan Hasil Uji Tahanan Isolasi CVT	81
Gambar 4. 5. Sebaran Data CVT.....	84
Gambar 4. 6. Korelasi Kelembapan Dengan Hasil Uji Tahanan Isolasi LA.....	85
Gambar 4. 7. Sebaran Data LA	88
Gambar 4. 8. Skala Prioritas Gradasi Warna.....	98
Gambar 4. 9. Diagram Pareto FMEA.....	100

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1. Penelitian Terkait	8
Tabel 2. 2. Rekomendasi Hasil Uji Tahanan Isolasi SK DIR 520-2014	21
Tabel 2. 3. Rentang Pengujian Tahanan Isolasi	22
Tabel 2. 4. Batas Kesalahan CT <i>Metering</i>	36
Tabel 2. 5. Batas Kesalahan CT <i>Metering</i>	37
Tabel 2. 6. Kesalahan Rasio dan Pergeseran Fasa CT Proteksi	38
Tabel 2. 7. Batasan Kesalahan Tegangan dan Fasa untuk CVT Pengukuran.....	46
Tabel 2. 8. Batasan Kesalahan Tegangan dan Fasa untuk CVT Proteksi.....	46
Tabel 2. 9. Tabel Interpretasi Koefisien Korelasi.....	58
Tabel 2. 10. Distribusi nilai r tabel Signifikansi 5% dan 1%.....	58
Tabel 2. 11. Skala Penilaian <i>Severity</i>	60
Tabel 2. 12. Skala Penilaian <i>Occurrence</i>	61
Tabel 2. 13. Skala Penilaian <i>Detection</i>	62
Tabel 4. 1. Spesifikasi CT	70
Tabel 4. 2. Spesifikasi CVT	71
Tabel 4. 3. Spesifikasi LA.....	72
Tabel 4. 4. Hasil Uji Tahanan Isolasi CT 2 Tahunan Bay Bogor Baru.....	74
Tabel 4. 5. Hasil Uji Tahanan Isolasi CVT 2 Tahunan Bay Bogor Baru	74
Tabel 4. 6. Hasil Uji Tahanan Isolasi LA 2 Tahunan Bay Bogor Baru.....	74
Tabel 4. 7. Rata - Rata Kelembapan Bulanan Rentang Waktu 2017-2023.	75
Tabel 4. 8. Rata - Rata Kelembapan Tahunan Rentang Waktu 2017-2023.	76
Tabel 4. 9. Kelembapan Saat Pengujian (%).	76
Tabel 4. 10. Hasil Uji Tahanan Isolasi CT dan Kelembapan	78
Tabel 4. 11. Nilai X dan Y pada CT.....	79
Tabel 4. 12. Hasil Uji Tahanan Isolasi CVT dan Kelembapan	82
Tabel 4. 13. Nilai X dan Y pada CVT.....	82
Tabel 4. 14. Hasil Uji Tahanan Isolasi LA dan Kelembapan	85
Tabel 4. 15. Nilai X dan Y pada LA.....	86
Tabel 4. 16. <i>Failure Mode Effect Analysis</i>	90
Tabel 4. 17. Perhitungan Analisis FMEA	94
Tabel 4. 18. Tingkat Kritikal <i>Failure Effect</i>	97

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini bertujuan memberikan gambaran umum terkait topik yang dikaji serta menjelaskan arah penelitian. Pembahasan mencakup Latar Belakang, Tujuan, Rumusan Masalah, Batasan, dan Manfaat Penelitian terkait Analisis Pengaruh Kelembapan Tinggi terhadap Kelayakan Peralatan Gardu Induk di Wilayah Gunung Salak.

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan yang terletak di wilayah khatulistiwa, memiliki kondisi geografis dan klimatologis yang khas, yakni iklim tropis. Iklim ini ditandai oleh tingginya intensitas radiasi matahari sepanjang tahun, suhu udara yang cenderung stabil tanpa fluktuasi ekstrem, serta curah hujan yang tinggi dan merata. Salah satu akibat dari karakter iklim tersebut adalah terbentuknya ekosistem hutan hujan tropis yang tersebar luas di berbagai pulau besar seperti Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua [1]. Hutan hujan tropis dikenal sebagai kawasan dengan kelembapan udara yang sangat tinggi, yang umumnya mencapai atau bahkan melebihi 80% sepanjang tahun. Tingkat kelembapan ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti curah hujan tahunan yang sangat tinggi seringkali di atas 2.000 mm serta keberadaan vegetasi yang lebat dan berlapis-lapis, yang memperkuat proses evapotranspirasi dan menjaga kestabilan iklim mikro hutan [2], [3].

Tingkat kelembapan udara yang tinggi, seperti yang umum ditemukan di wilayah-wilayah beriklim tropis lembap, memiliki dampak signifikan terhadap infrastruktur kelistrikan. Di Indonesia sendiri sebagai salah satu negara yang beriklim tropis banyak jaringan listrik dibangun di daerah dengan tingkat kelembapan tinggi, seperti di kawasan pegunungan. Salah satu contohnya adalah jaringan listrik yang dibangun melintas di kawasan Gunung Salak, Jawa Barat. Pembangkit listrik bertenaga panas bumi dengan kapasitas terbesar di Indonesia bahkan di dunia dengan kemampuan pembangkitan total 381 MW [4]. Di Gunung Salak sendiri terdapat 2 PLTP yaitu PLTP Indonesia Power Salak yang dioperasikan oleh PT. Indonesia Power UBP Kamojang dengan kapasitas 180 MW

[5] dan PLTP Star Energy Salak yang dioperasikan oleh PT. Star Energy Geothermal Salak dengan kapasitas 210 MW .



Gambar 1. 1 PLTP Gunung Salak [4].

Melihat kondisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa infrastruktur kelistrikan yang berada di kawasan Gunung Salak memiliki peran yang sangat krusial dan harus dijaga dengan baik, mengingat fungsinya sebagai tulang punggung dalam sistem ketenagalistrikan di Indonesia khususnya sistem JAMALI (Jawa-Madura-Bali). Salah satu komponen utama dalam infrastruktur ini adalah gardu induk. Gardu induk memiliki peran yang sangat vital, tidak hanya sebagai titik distribusi energi listrik dari pembangkit menuju konsumen, tetapi juga sebagai pusat pengelolaan sistem. Fungsinya mencakup proses pengalihan atau *switching* jalur listrik untuk memastikan aliran daya berlangsung secara efisien dan handal [6]. Selain itu, gardu induk juga memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas dan kontinuitas pasokan listrik, terutama saat terjadi gangguan sistem atau fluktuasi beban. Melalui fasilitas ini, berbagai proses penting seperti pemantauan, proteksi sistem, hingga pengendalian operasi dapat dilakukan secara terpusat, sehingga memungkinkan respon cepat terhadap kondisi abnormal pada jaringan transmisi [7], [8].

Tingginya tingkat kelembapan udara sepanjang tahun menjadi salah satu faktor lingkungan penting yang harus diperhatikan dalam upaya menjaga keandalan dan kinerja optimal peralatan gardu induk di kawasan Gunung Salak, khususnya pada instalasi luar ruang yang terpapar langsung oleh udara lembap [9]. Kondisi ini dapat berdampak negatif terhadap sistem kelistrikan seperti terjadinya arus bocor, efek korona (gejala pelepasan muatan listrik yang terjadi di sekitar permukaan

konduktor bertegangan tinggi akibat adanya ionisasi udara), korosi pada permukaan peralatan, degradasi tahanan isolasi serta penurunan kinerja peralatan gardu induk.

Kelembapan yang abnormal dapat menurunkan kinerja peralatan gardu induk yang bisa terindikasi dari hasil pengujian yang dilakukan secara periodik. Peralatan yang terdapat di dalam gardu induk, seperti *circuit breaker*, *disconnecting switch* pada *busbar* dan *line*, transformator daya (*step up/step down*), transformator tegangan/*capasitive voltage transformer* (CVT), transformator arus/*current transformer* (CT), *lightning arrester* (LA), serta sistem pentanahan, memiliki peranan yang sangat vital dalam menjaga kestabilan dan keandalan penyaluran energi listrik [10], [11]. Tingkat keandalan suatu sistem kelistrikan sangat bergantung pada kondisi fisik serta kinerja optimal dari peralatan-peralatan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan secara berkala melalui pengujian terjadwal, yang dapat dilakukan setiap enam bulan, satu tahun, atau dua tahun, bergantung pada performa peralatan dan kebutuhan teknis di lapangan [12], [13], [14].

Untuk memastikan keandalan dan kinerja optimal peralatan yang terpapar langsung terhadap udara lembap, langkah preventif sangat diperlukan guna mencegah terjadinya anomali atau gangguan yang berpotensi fatal dalam sistem kelistrikan. Seperti melakukan inspeksi level 1 (IL-1), inspeksi level 2 (IL-2), dan inspeksi level 3 (IL-3). IL-1 merupakan inspeksi rutin yang dilakukan harian, mingguan, hingga bulanan berupa pemantauan dan pengecekan hanya dengan indra pengelihat dan pendengaran. IL-2 merupakan kegiatan pengukuran yang dilakukan pada saat peralatan sedang dalam keadaan beroperasi. IL-3 adalah kegiatan pengujian yang dilakukan pada saat peralatan dalam keadaan padam. Pekerjaan ini dilakukan pada saat pemeliharaan rutin maupun pada saat investigasi ketidaknormalan.

Parameter yang diuji guna menilai kondisi peralatan meliputi pengujian *tangent delta*, tahanan isolasi [15], tahanan pentanahan [16], dan pemantauan arus bocor atau *Leakage Current Monitoring* (LCM) [17]. Pengujian ini umumnya dilakukan secara berkala sebagai bagian dari program pemeliharaan terjadwal. Untuk pengujian tahanan isolasi, tahanan pentanahan, dan *tangent delta* termasuk kedalam IL-3, jadwal pelaksanaan biasanya dilakukan setiap dua tahun sekali.

Sementara itu, pengujian LCM termasuk IL-2 dan dilakukan setiap tahun mengingat sensitivitasnya terhadap perubahan kondisi isolasi akibat pengaruh lingkungan seperti kelembapan tinggi, kontaminasi, dan degradasi material [18]. Dengan pelaksanaan pemeliharaan yang konsisten dan berbasis data hasil pengujian tersebut, potensi gangguan dapat dideteksi lebih awal sehingga langkah korektif atau preventif dapat segera diambil sebelum terjadi kegagalan sistem.

Di kawasan Gunung Salak terdapat dua gardu induk tegangan 150 kv, salah satunya adalah *Gas Insulated Substation* (GIS) 150 kv Gunung Salak Baru. Gardu induk yang menerapkan isolasi gas, di mana peralatannya dipasang *indoor* dan *outdoor* sesuai kebutuhan operasional. Gardu induk ini berada di bawah pengelolaan PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Bogor, khususnya Sub Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Sukabumi. Secara sistem, GIS Gunung Salak Baru memiliki peran strategis karena terhubung langsung dengan sistem transmisi wilayah Bogor dan Sukabumi sebagai pengirim daya, serta menerima suplai daya dari Salak Lama 1-2 dan juga langsung dari pembangkit panas bumi yang dikelola oleh PT Star Energy.

Oleh karena itu, performa peralatan yang terpasang harus senantiasa terjaga, terutama mengingat lokasinya berada di lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi yang berpotensi memengaruhi kinerja peralatan. Untuk itu, penelitian ini difokuskan pada pemantauan kondisi peralatan gardu induk di GIS 150 kv Salak Baru pada *bay* Bogor Baru khususnya peralatan CT, CVT, dan LA terhadap pengaruh kelembapan lingkungan, yang dituangkan dalam judul penelitian “Analisis Pengaruh Kelembapan Tinggi Terhadap Kelayakan Peralatan Gardu Induk di Kawasan Gunung Salak”.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah berikut disusun guna memberikan arah yang jelas dalam proses analisis dan evaluasi selama penelitian berlangsung.

1. Bagaimana variasi tingkat kelembapan udara memengaruhi nilai tahanan isolasi pada CT, CVT, dan LA?
2. Apakah terdapat hubungan yang signifikan secara statistik antara kelembapan udara dengan penurunan nilai tahanan isolasi pada CT, CVT, dan LA?

3. Sejauh mana nilai tahanan isolasi hasil pengujian jika dibandingkan dengan standar minimum yang ditetapkan oleh PLN untuk peralatan bertegangan 150 kv?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh variasi kelembapan udara terhadap perubahan nilai tahanan isolasi pada peralatan gardu induk, khususnya CT, CVT, dan LA.
2. Mengidentifikasi hubungan korelatif antara kelembapan udara dengan nilai tahanan isolasi pada CT, CVT, dan LA berdasarkan hasil pengujian lapangan.
3. Membandingkan hasil pengukuran tahanan isolasi dengan standar minimum yang ditetapkan PLN untuk peralatan bertegangan 150 kv.

1.4. Pembatasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang ditetapkan guna memperjelas ruang lingkup dan fokus penelitian. Adapun pembatasan-pembatasan tersebut adalah sebagai berikut:

1.4.1. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada penelitian mengenai pengaruh kelembapan udara yang tinggi terhadap kualitas peralatan 150 kv gardu induk yang terpasang *outdoor*, yaitu CVT, CT dan LA. Fokus analisis difokuskan pada gardu induk yang berlokasi di kawasan Gunung Salak, yang secara geografis memiliki karakteristik kelembapan udara relatif tinggi.

1.4.2. Batasan Teknis

Penelitian ini hanya membahas pengaruh kelembapan tinggi terhadap kualitas tahanan isolasi CT, CVT dan LA yang terpasang *outdoor* pada GIS 150 kv Salak Baru pada *bay* Bogor Baru. Faktor lingkungan yang ditinjau hanya kelembapan udara, tanpa mempertimbangkan variabel lain seperti suhu, tekanan, atau polusi. Fokus penelitian difokuskan pada gardu induk yang berlokasi di

kawasan Gunung Salak yaitu GIS 150 kv Salak Baru, yang secara geografis memiliki karakteristik kelembapan udara relatif tinggi sepanjang tahun.

1.4.3. Batasan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu Mei hingga Juli 2025, dengan pengambilan data berdasarkan hasil pemeliharaan 2 tahunan dan pengujian teknis selama periode tahun 2017 - 2023.

1.4.4. Batasan Lokasi

Lokasi penelitian dibatasi pada *Bay* penghantar Bogor Baru di GIS 150 kv Salak Baru yang berada di kawasan Gunung Salak, Jawa Barat.

1.4.5. Asumsi-Asumsi

Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat beberapa asumsi yang digunakan untuk mendukung kelancaran proses analisis dan penarikan kesimpulan. Asumsi-asumsi tersebut antara lain:

- a. Data hasil pemeliharaan dan pengujian valid dan representatif.
- b. Standar teknis yang digunakan masih relevan dan berlaku pada saat penelitian dilakukan.
- c. kelembapan dianggap sebagai variabel utama yang memengaruhi degradasi tahanan isolasi peralatan, dengan pengaruh faktor eksternal lainnya dianggap minimal.

1.4.6. Batasan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada dokumentasi hasil inspeksi visual dan pengukuran teknis yaitu tahanan isolasi. Tidak dilakukan pengambilan data secara *real-time* atau langsung oleh peneliti di lapangan.

1.4.7. Batasan Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian bersifat deskriptif, analitis, dengan pendekatan numerik statistik. Penelitian tidak dilakukan eksperimen laboratorium.

1.4.8. Batasan Hasil

Hasil penelitian ini bersifat spesifik untuk kondisi geografis dan lingkungan Gardu Induk di kawasan Gunung Salak. Generalisasi hasil ke wilayah lain dengan kondisi berbeda harus dilakukan dengan kehati-hatian. Rekomendasi yang dihasilkan merupakan solusi teknis yang disesuaikan dengan temuan di lokasi studi.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem ketenagalistrikan, khususnya terkait keandalan peralatan gardu induk di lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi. Adapun manfaat penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1.5.1. Bagi Industri Kelistrikan

Penelitian ini memberikan informasi teknis yang berguna dalam perencanaan pemeliharaan, evaluasi kelayakan, dan manajemen risiko terhadap peralatan gardu induk yang beroperasi di wilayah dengan kelembapan tinggi. Hasil penelitian dapat dijadikan referensi untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi serta mengurangi potensi gangguan.

1.5.2. Bagi Pengembangan Teknologi Gardu Induk

Penelitian ini dapat menjadi masukan bagi pengembangan teknologi gardu induk, terutama dalam hal desain, material isolasi, serta perlindungan terhadap pengaruh lingkungan eksternal seperti kelembapan. Temuan ini juga dapat mendorong inovasi teknologi monitoring kelembapan dan sistem pengendalian lingkungan di ruang peralatan.

1.5.3. Bagi Penelitian di Bidang Teknik Elektro

Hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan atau dasar untuk studi lanjutan mengenai pengaruh lingkungan terhadap peralatan kelistrikan. Selain itu, penelitian ini memperluas literatur akademik di bidang teknik elektro, khususnya yang berkaitan dengan pemeliharaan, keandalan sistem tenaga listrik, dan analisis kelayakan operasional peralatan di gardu induk.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini memuat ringkasan hasil penelitian berupa kesimpulan yang menjawab tujuan studi dan saran sebagai acuan pengembangan maupun penerapan di lapangan. Kesimpulan disusun dari analisis data uji tahanan isolasi dan kelembapan lingkungan pada peralatan *outdoor* GIS 150 kv Salak Baru, sedangkan saran difokuskan pada peningkatan keandalan peralatan dan optimalisasi strategi pemeliharaan di kondisi kelembapan tinggi.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data uji tahanan isolasi periode 2017–2023 yang dikombinasikan dengan rekaman kelembapan di lokasi penelitian, diperoleh temuan bahwa:

1. Kelembapan relatif memiliki pengaruh terhadap nilai tahanan isolasi pada peralatan tegangan tinggi di gardu induk, yaitu pada CT, CVT, dan LA. Variasi tingkat kelembapan yang terjadi di lingkungan sekitar memengaruhi kemampuan material isolasi dalam mempertahankan sifat dielektriknya.
2. Dari hasil perhitungan secara statistik menggunakan analisis korelasi didapatkan bahwa hubungan antara kelembapan dengan nilai tahanan isolasi teridentifikasi bersifat negatif, di mana peningkatan kelembapan cenderung menurunkan nilai tahanan isolasi. Korelasi negatif yang kuat terukur pada CT dengan nilai $r \approx -0,754$, pada LA dengan nilai $r \approx -0,784$ dan pada CVT dengan nilai $r \approx -0,789$.
3. Meskipun terdapat hubungan negatif, seluruh peralatan masih memenuhi ambang batas minimum PLN untuk peralatan 150 kV yaitu $\geq 150 \text{ M}\Omega$. Namun, nilai tahanan isolasi berfluktuasi signifikan, nilai terendah 522 M Ω (LA, 2019) dan tertinggi 251.000 M Ω (CT, 2023). Hal ini menunjukkan adanya penyusutan *margin* keselamatan pada periode kelembapan tinggi, sehingga potensi risiko tetap perlu diantisipasi.

5.1. Rekomendasi

Menanggapi temuan penelitian ini, disarankan untuk:

- Penerapan strategi pemeliharaan berbasis risiko yang dikombinasikan dengan pengendalian kelembapan, dengan fokus pada langkah-langkah teknis maupun manajerial. Prioritas utama diberikan pada mitigasi mode kegagalan kritis pada LA, seperti melakukan pembersihan dan pengencangan koneksi terminal, pelapisan anti-korosi, verifikasi impedansi dan sistem *grounding*, serta peningkatan proteksi terhadap tegangan surja. Langkah-langkah ini bertujuan untuk mengurangi potensi gangguan pada jalur pelepasan surja dan memastikan sambungan tetap optimal meskipun berada di lingkungan dengan kelembapan tinggi.
- Peningkatan sistem pemantauan kondisi perlu dilakukan secara sistematis. Hal ini mencakup pencatatan RH setiap kali pengujian tahanan isolasi, pemasangan sensor kelembapan lokal yang terintegrasi dengan sistem pelaporan, serta pemantauan *thermovisi* berkala untuk mendeteksi *hotspot* pada komponen peralatan. Pendekatan ini memungkinkan deteksi dini terhadap indikasi penurunan performa isolasi, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum kegagalan terjadi.
- Penyesuaian frekuensi pengujian juga menjadi langkah strategis yang penting. Pengujian tahanan isolasi, *tangent delta*, dan arus bocor sebaiknya disesuaikan dengan variasi musim atau tingkat kelembapan setempat. Upaya tambahan seperti pemasangan *desiccant*, atau *heater* untuk mengurangi kelembapan internal, serta perbaikan seal dapat membantu mencegah terjadinya *moisture ingress*.
- Pemanfaatan tren data hasil FMEA dapat membantu menurunkan nilai *Occurrence* dan *Detection* dalam perhitungan RPN, sekaligus mengarahkan pemeliharaan pada potensi kegagalan yang terdeteksi lebih awal. Dengan demikian, efektivitas pemeliharaan dapat ditingkatkan sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumber daya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Pabontongan, P. Palloan, and A. Susanto, “Analisis Hubungan Suhu, Kelembapan Dan Curah Hujan Di Tana Toraja Dengan Fenomena Perubahan Iklim,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 13, no. 4, pp. 557–563, Jul. 2024, doi: 10.25077/jfu.13.4.557-563.2024.
- [2] L. D. Lestari and Y. Adetyawan, “Tentang Vegetasi Hutan Tropis,” HIMABA FKT UGM.
- [3] L. Alhamd and R. Polosakan, “KOMPOSISI JENIS DAN STRUKTUR VEGETASI DI HUTAN KAWASAN TAMAN NASIONAL GUNUNG HALIMUN SALAK-SUKABUMI,” 2011.
- [4] STAR ENERGY, “Star Energy Geothermal Salak, Ltd. mengoperasikan kapasitas uap dan listrik sebesar 381 MW.”
- [5] PLN Indonesia Power UBP Kamojang, “PLN Indonesia Power UBP (Unit Bisnis Pembangkitan) Kamojang – Unit PLTP Gunung Salak secara konsisten telah melaksanakan pembangunan yang berwawasan lingkungan.”
- [6] M. A. Muza, Syahrizal, and S. Mahdi, “Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Di Gardu Induk Lambaro,” *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2018.
- [7] G. Rosyadi, R. Syahputra, and F. Mujaahid, “Electrical Power Distribution Network Reliability: A Case Study in Wates Substation, Yogyakarta, Indonesia,” *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, vol. 2, no. 2, 2018.
- [8] M. Aldi Prakoso, A. Imam Agung, and F. Achmad, “Analisis Pengujian dan Pemeliharaan Dua Tahunan Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Rungkut 150 kV,” *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 13, 2024, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v13n2.p144-151>.
- [9] E. M. Siregar, “CONDITION ASSESSMENT GIS 150KV SALAK LAMA-GUNUNG SALAK,” 2008. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:129965569>
- [10] H. Andiko and M. Erpandi Dalimunthe, “Analysis Of Results Of Voltage Transformer Insulation Resistance Test On Bay Banda Aceh 1 And Bay Banda Aceh 2 Conductors At Ulee Kareng Substation,” *INFOKUM*, vol. 13, 2025, doi: 10.58471/infokum.v13i02.
- [11] G. Ramadan, “ANALISIS KELAYAKAN PMT 20 KV DENGAN PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI GI SERPONG,” *Journal of Scientech Research and Development*, vol. 7, 2025.

- [12] Y. S. Handayani, Z. A. Sa'adah, M. Arfan, and I. Priyadi, "Penguujian Tahanan Isolasi pada Capacitive Voltage Transformer (CVT) di Bay Penghantar Tes 1/70 kV PT PLN (Persero) ULTG/GI Pekalongan," *Applied Engineering, Innovation, and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 88–94, Nov. 2024, doi: 10.62777/aeit.v1i2.37.
- [13] Shoimatussururoh and B. Dwi cahyono, "Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung," *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 5, pp. 520–531, Oct. 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.869.
- [14] A. Goeritno and B. Irawan Syaputra, "KELAYAKAN OPERASI PEMUTUS TENAGA (PMT) TEGANGAN EKSTRA TINGGI BERMEDIA GAS SULPHUR HEXAFLUORITE (SF6) BERDASARKAN KUALITAS GAS, KESEREMPAKAN TITIK TITIK KONTAK, DAN PARAMETER RESISTANS," *JUTEKS (Jurnal Teknik Elektro dan Sains)*, 2014.
- [15] G. Arinsya Prima, Z. Anthony, and A. Anugrah, "Analisa Tahanan Isolasi Pada Transformator Daya 150/30 KV Gardu Induk Padang Luar PT PLN (Persero) Bukittinggi," *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)*, vol. 6, no. 1, pp. 2623–2464, 2023, [Online]. Available: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/inajet>
- [16] R. Fajri Latiefa, I. Zakir, and M. Subekti, "PENGARUH KELEMBABAN TANAH TERHADAP TAHANAN PENTANAHAN STUDI KASUS PADA GARDU INDUK KEMAYORAN 150 kV," *Journal Of Electrical Vocational Education and Technology*, pp. 18–23, Jun. 2018.
- [17] R. S. Widagdo, A. H. Andriawan, S. Tauladan, and A. I. Maulana, "Analysis of Leakage Current Calculation Through Thermal Failure Voltage on 150/20 kV Transformers in GIS Simpang, SuraBaya," *Jurnal ELEMENTER (Elektro dan Mesin Terapan)*, vol. 10, no. 2, 2024, doi: 10.35143/elementer.
- [18] A. Fairuz Syahla, A. R. Dwiputra, and U. Latifa, "PENGUJIAN ARUS BOCOR PADA LIGHTNING ARRESTER MENGGUNAKAN ALAT LEAKAGE CURRENT MONITOR (LCM) DI GI XYZ," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6632.
- [19] A. P. Purnomoadi, A. R. Mor, and J. J. Smit, "Health index and risk assessment models for Gas Insulated Switchgear (GIS) operating under tropical conditions," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 117, May 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.105681.
- [20] Muliadi, Syukri, and T. M. Asyadi, "PENGARUH TINGKAT KELEMBABAN TERHADAP KINERJA PEMISAH (PMS) 150 kV PADA

GARDU INDUK,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Jan. 2022.

- [21] L. S. Annisa, “Analisa Pengaruh Kelembaban Tanah Terhadap Tahanan Pentanahan Pada Gardu Induk PT.PLN (Persero) Medan Denai Dengan Metode Fall-Of Potensial,” *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik*, vol. 4, pp. 126–129, Mar. 2024, [Online]. Available: <http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt>
- [22] Tambi, W. O. Zulkaida, M. N. Anshari Nur, and F. R. Rahman, “MEKANISME RESPON ARUS BOCOR ISOLATOR LUAR RUANGAN DIBAWAH PENGARUH IKLIM,” *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, vol. 08 No. 02, pp. 134–140, 2023.
- [23] A. P. Purnomoadi, A. R. Mor, and J. J. Smit, “INSULATION PERFORMANCE OF GIS OPERATING UNDER TROPICAL CONDITIONS,” 2017.
- [24] M. Amin, GARDU INDUK SEMESTER 3. KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN REPUBLIK INDONESIA, 2013.
- [25] M. F. Hakim, *GARDU INDUK*. POLINEMA PRESS, 2017.
- [26] A. Arismunandar and S. Kuswahara, *BUKU PEGANGAN TEKNIK TENAGA LISTRIK JILID 3: GARDU INDUK*. PT PRADNYA PARAMITA, 2004.
- [27] Y. An *et al.*, “The Influence of Humidity on Electron Transport Parameters and Insulation Performance of Air,” *Front Energy Res*, vol. 9, Jan. 2022, doi: 10.3389/fenrg.2021.806595.
- [28] PT PLN (Persero), *BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN LIGHTNING ARRESTER*. JAKARTA: PT PLN (Persero), 2014.
- [29] PT PLN (Persero), *BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR TEGANGAN*. JAKARTA: PT PLN (Persero), 2014.
- [30] PT PLN (Persero), *BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR ARUS*. JAKARTA: PT PLN (Persero), 2014.
- [31] H. Farahani, R. Wagiran, and M. N. Hamidon, “Humidity sensors principle, mechanism, and fabrication technologies: A comprehensive review,” Apr. 30, 2014, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s140507881.
- [32] P. D. Davis, G. D. Parbrook, and G. N. C. Kenny, “CHAPTER 12 - Humidification,” in *Basic Physics and Measurement in Anaesthesia (Fourth Edition)*, Fourth Edition., P. D. Davis, G. D. Parbrook, and G. N. C. Kenny,

- Eds., Butterworth-Heinemann, 1995, pp. 146–157. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-1713-0.50017-2>.
- [33] M. Rodríguez, G. Montalvo, J. Morales, M. Jiménez-Martín, M. Aparicio, and C. Piñeiro, “6 - *Environmental monitoring and disease prediction*,” in *Advancements and Technologies in Pig and Poultry Bacterial Disease Control*, N. Foster, I. Kyriazakis, and P. Barrow, Eds., Academic Press, 2021, pp. 145–169. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818030-3.00011-8>.
- [34] N. H. Fauzan, S. Pramonohadi, M. A. A. Syam, and R. R. Ardiantara, “Study of the Effect of Humidity and Pollutants on the Performance of 20 kV Arrester Isolators,” *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI*, vol. 12, May 2023.
- [35] E. Roflin, Rohana, and F. Riana, *Analisis Korelasi dan Regresi*, 1st ed., vol. 1. PT NASYA EXPANDING MANAGEMENT, 2022.
- [36] T. Budiwati, A. Budiyo, W. Setyawati, and A. Indrawati, “ANALISIS KORELASI PEARSON UNTUK UNSUR-UNSUR KIMIA AIR HUJAN DI BANDUNG,” *Jurnal Sains Dirgantara*, vol. 7, no. 2, Jun. 2010.
- [37] F. Mayang Sari, R. Nur Hadiati, and W. Perinduri Sihotang, “*Pearson Correlation Analysis of Total Population and Number of Motorized Vehicles in Jambi Province*,” *Multi Proximity: Jurnal Statistika Universitas Jambi*, vol. 2, no. 1, p. 2023, Jun. 2023, doi: 10.22437/multiproximity.v2i1.25568.
- [38] E. N. Kamilah, PENGARUH KETERAMPILAN MENGAJAR GURU TERHADAP HASIL BELAJAR SISWA PADA MATA PELAJARAN AKUNTANSI. Universitas Pendidikan Indonesia, 2014.
- [39] W. A. Oktaviani, E. R. Rianty, and T. B. Barlian, “METODE FMEA UNTUK PENENTUAN INDEKS KEANDALAN DISTRIBUSI 20 KV PENYULANG TENGGIRI DI GI SEI KEDUKAN,” *JURNAL SURYA ENERGY*, vol. 4, no. 1, p. 323, Oct. 2019, doi: 10.32502/jse.v4i1.1841.
- [40] M. Ebrahimzadih, G. H. Halvani, B. Shahmoradi, and O. Giah, “*Assessment and Risk Management of Potential Hazards by Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) Method in Yazd Steel Complex*,” *Open Journal of Safety Science and Technology*, vol. 04, no. 03, pp. 127–135, 2014, doi: 10.4236/ojsst.2014.43014.
- [41] Apriyan and H. Setiawan, “ANALISIS RISIKO KECELAKAAN KERJA PADA PROYEK BANGUNAN GEDUNG DENGAN METODE FMEA.”

