



SKRIPSI

**ANALISIS KOORDINASI ISOLASI
PERALATAN TEGANGAN TINGGI
TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA
GARDU INDUK 150 KV MOJOAGUNG**

MUHAMMAD IQBAL SURUR

NIM. 20231330004

DOSEN PEMBIMBING:

- 1. RUDI IRMAWANTO, S.T., M.T.**
- 2. REYNANDA BAGUS WIDYO A., S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA**

2026

SKRIPSI

ANALISIS KOORDINASI ISOLASI PERALATAN TEGANGAN TINGGI TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA GARDU INDUK 150 KV MOJOAGUNG

Digunakan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar

Sarjana Strata I (S1)



Oleh:

Muhammad Iqbal Surur

NIM. 20231330004

Dosen Pembimbing 1:

Rudi Irmawanto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing 2:

Reynanda Bagus Widyo A., S.T., M.T.

PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA

2026

**LEMBAR PEMBIMBING
SKRIPSI**

**ANALISIS KOORDINASI ISOLASI PERALATAN TEGANGAN
TINGGI TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA
GARDU INDUK 150 KV MOJOAGUNG**

Disusun untuk memenuhi persyaratan akademik gelar Sarjana
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Disusun Oleh:

Muhammad Iqbal Surur
NIM. 20231330004

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing:

1. Rudi Irmawanto, S.T., M.T.

(.....)

2. Reynanda Bagus Widyo Astomo, S.T., M.T.

(.....)



**LEMBAR PENGUJI
SKRIPSI**

**ANALISIS KOORDINASI ISOLASI PERALATAN TEGANGAN
TINGGI TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA
GARDU INDUK 150 KV MOJOAGUNG**

Disusun untuk memenuhi persyaratan akademik gelar Sarjana
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Disusun Oleh:

Muhammad Iqbal Surur
NIM. 20231330004

Disetujui Oleh:

Dosen Penguji:

1. Rudi Irmawanto, S.T., M.T.
2. Winarno, S.T., M.T.
3. Reynanda Bagus Widyo Astomo, S.T., M.T.

(.....)

(.....)

(.....)



**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**ANALISIS KOORDINASI ISOLASI PERALATAN TEGANGAN
TINGGI TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA
GARDU INDUK 150 KV MOJOAGUNG**

Disusun untuk memenuhi persyaratan akademik gelar Sarjana

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surabaya

Disusun Oleh:

Muhammad Iqbal Surur
NIM. 20231330004

Disetujui oleh,

Dekan Fakultas Teknik



Ir. Vippy Dharmawan, M. Ars.

NIDN. 07.2509.6402

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dr. Indah Kurniawati, S.T., M.T.

NIDN. 001.606.8101

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Iqbal Surur

NIM : 20231330004

Program Studi : SI-Teknik Elektro

Judul : Analisis Koordinasi Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi terhadap Sambaran Petir pada Gardu Induk 150 kV Mojoagung

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari peneliti sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan penelitian yang tercantum sebagai bagian dari skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini peneliti buat dengan sebenarnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Surabaya.

Surabaya, 28 Januari 2026

Yang membuat pernyataan ini



Muhammad Iqbal Surur
NIM. 20231330004

ABSTRAK

“ANALISIS KOORDINASI ISOLASI PERALATAN TEGANGAN TINGGI TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA GARDU INDUK 150 KV MOJOAGUNG”

Nama Mahasiswa : Muhammad Iqbal Surur
NRP/NIM : 20231330004
Jurusan : Teknik Elektro FT-UMSurabaya
Dosen Pembimbing 1 : Rudi Irmawanto, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Reynanda Bagus Widyo Astomo, S.T., M.T.

Sambaran petir pada jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV dapat menimbulkan tegangan lebih transien yang berpotensi merusak isolasi peralatan di gardu induk. Oleh karena itu, diperlukan sistem perlindungan dan koordinasi isolasi yang baik agar peralatan tetap aman dan andal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mekanisme perlindungan isolasi peralatan terhadap surja petir serta mengevaluasi kesesuaian Tingkat Isolasi Dasar (TID) atau *Basic Insulation Level (BIL)* peralatan pada Bay Trafo di Gardu Induk 150 kV Mojoagung. Adapun metode yang digunakan meliputi perhitungan teoritis koordinasi isolasi berdasarkan standar SPLN 7A:1978 dan IEC 71:1976, serta simulasi tegangan surja petir menggunakan software *Alternative Transient Program (ATP)*. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap kinerja *Lightning Arrester* dan sistem pentanahan gardu induk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem perlindungan yang diterapkan, seperti pemasangan kawat tanah, nilai tahanan pentanahan yang rendah, serta penggunaan *Lightning Arrester*, telah memenuhi persyaratan teknis. Dampak sambaran petir pada jaringan SUTT 150 kV terhadap peralatan Bay Trafo 1, 2, dan 3 menimbulkan tegangan lebih transien pada PMT, CT, dan transformator. Berdasarkan simulasi, tegangan tertinggi yang sampai ke PMT sebesar 499 kV, dan CT sebesar 504 kV. Dengan spesifikasi tegangan pelepasan *Lightning Arrester* sebesar 380 kV dan arus 10 kA sudah mampu membatasi tegangan surja petir yang sampai ke transformator hingga sekitar 512 kV. Hasil perhitungan nilai *Protective Margin* sebesar 71,05% pada transformator dan 97,4% pada PMT dan CT menunjukkan bahwa koordinasi isolasi telah memenuhi standar IEEE C62.22. Dengan demikian, peralatan pada Bay Trafo Gardu Induk 150 kV Mojoagung dinyatakan terlindungi dari dampak tegangan lebih transien akibat surja petir.

Kata kunci: sambaran petir, koordinasi isolasi, Basic Insulation Level (BIL), Lightning Arrester

ABSTRACT

“Analysis of High Voltage Equipment Isolation Coordination against Lightning Strikes at the 150 kV Mojoagung Substation

Student Name : Muhammad Iqbal Surur
Student ID : 20231330004
Department : Electrical Engineering, Faculty of Engineering, UMSurabaya
Academic Supervisor I : Rudi Irmawanto, S.T., M.T.
Academic Supervisor II : Reynanda Bagus Widyo Astomo, S.T., M.T.

Lightning strikes on the 150 kV High Voltage Overhead Transmission Line (SUTT) network can cause transient overvoltage that has the potential to damage equipment insulation in substations. Therefore, a good protection and insulation coordination system is needed to keep the equipment safe and reliable. This study aims to analyze the insulation protection mechanism of equipment against lightning surges and evaluate the suitability of the Basic Insulation Level (BIL) of equipment at the Transformer Bay in the 150 kV Mojoagung Substation. The methods used include theoretical calculations of insulation coordination based on the SPLN 7A:1978 and IEC 71:1976 standards, as well as lightning surge voltage simulations using the Alternative Transient Program (ATP) software. In addition, the performance of the Lightning Arrester and the substation grounding system was evaluated. The results of the study show that the protection systems implemented, such as the installation of ground wires, low grounding resistance values, and the use of Lightning Arresters, have met the technical requirements. The impact of lightning strikes on the 150 kV SUTT network on Bay Transformer 1, 2, and 3 equipment caused transient overvoltage on the PMT, CT, and transformers. Based on simulations, the highest voltage reaching the PMT was 499 kV, and the CT was 504 kV. With the Lightning Arrester's discharge voltage specification of 380 kV and a current of 10 kA, it was able to limit the lightning surge voltage reaching the transformer to around 512 kV. The calculated Protective Margin values of 71.05% for the transformer and 97.4% for the PMT and CT indicate that the insulation coordination meets the IEEE C62.22 standard. Thus, the equipment in the 150 kV Mojoagung Substation Transformer Bay is protected from the effects of transient overvoltage due to lightning surges.

Keywords: lightning strike, insulation coordination, Basic Insulation Level (BIL), Lightning Arrester

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Koordinasi Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi terhadap Sambaran Petir pada Gardu Induk 150 kV Mojoagung”**. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan Program Strata I pada jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surabaya.

Sehubungan dengan selesainya skripsi ini, tentunya tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak baik secara moril dan materil. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Mundakir, S. Kep., Ns., M. Kep. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Surabaya
3. Bapak Ir. Vippy Dharmawan, M. Ars. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya
4. Ibu Dr. Indah Kurniawati, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surabaya.
5. Bapak Rudi Irmawanto, S.T., M.T. dan Bapak Reynanda Bagus Widyo Astomo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Skripsi
6. Seluruh Dosen dan Staff Teknik Elektro yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih atas segala ilmu dan pengarahan yang telah diberikan.
7. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa dan dukungan tiada henti.
8. Semua pihak dan semua yang telah mendukung skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran, kritik, dan masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi semua pihak. Penulis juga berharap segala kebaikan yang telah diberikan kepada dirinya mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT.

Surabaya, 28 Januari 2026

Penulis,

Muhammad Iqbal Surur

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PEMBIMBING SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGUJI SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Jenis Gardu Induk.....	6
2.2.2 Peralatan Gardu Induk	9
2.2.2.1 Transformator Utama	9
2.2.2.2 <i>Current Transformer</i> (CT).....	10
2.2.2.3 <i>Potential Transformer</i> (PT)	11

2.2.2.4	Neutral Grounding <i>Resistance</i> (NGR).....	12
2.2.2.5	Peralatan Penghubung	13
2.2.2.6	Peralatan Pelindung	21
2.2.2.7	Panel Hubung	30
2.2.3	Diagram Tangga	31
2.2.4	Jarak Maksimum <i>Arrester</i> dan Transformator yang Dihubungkan dengan Saluran Udara.....	32
2.2.5	Tegangan Abnormal	35
2.2.6	Gelombang Sambaran Petir	35
2.2.7	Tegangan Transien	36
2.2.8	Pantulan Pada Gelombang Berjalan	37
2.2.9	Koordinasi Isolasi	43
2.2.9.1	Karakteristik Isolasi.....	45
2.2.9.1.1	Kurva Volt-Waktu (<i>Volt-Time Curve</i>).....	45
2.2.9.1.2	Karakteristik Trafo	47
2.2.9.1.3	Karakteristik Lompatan Api dari Sela-Batang dan Isolator	48
2.2.10	<i>Basic Insulation Level</i> (BIL)	49
2.2.11	Mekanisme Gelombang Surja Petir Masuk Gardu Induk	50
2.2.12	Mekanisme Townsend.....	52
2.2.13	Mekanisme Streamer	53
BAB III METODE PENELITIAN.....		60
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	60
3.2	Studi Literatur.....	60
3.3	Teknik Pengumpulan Data	60
3.3.1	Observasi Langsung	60

3.3.2	Wawancara.....	60
3.4	Flowchart Pengerjaan	61
3.5	Flowchart Pembahasan	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		66
4.1	Mekanisme Perlindungan terhadap Surja Petir di Gardu Induk 150 kV Mojoagung.....	66
4.2	Menentukan Spesifikasi <i>Lightning Arrester</i> dan Implementasi Koordinasi Isolasi.....	68
4.2.1	Menentukan Tegangan Dasar <i>Lightning Arrester</i>	68
4.2.2	Menentukan Tegangan Puncak Fasa-Ground.....	69
4.2.3	Menghitung Puncak Tegangan Surja	70
4.2.4	Menghitung Impedansi Surja Saluran.....	70
4.2.5	Menentukan Cepat Rambat Gelombang	71
4.2.6	Menghitung Arus Pelepasan <i>Lightning Arrester</i>	72
4.2.7	Menghitung Tegangan Pelepasan <i>Lightning Arrester</i>	73
4.2.8	Perhitungan Jarak Sambaran Petir	74
4.2.9	Menentukan Jarak <i>Lightning Arrester</i> dengan Transformator Tenaga	78
4.2.10	Menentukan Tegangan Tertinggi pada Transformator.....	82
4.2.11	Menentukan Margin Perlindungan (<i>Protective Margin</i>) <i>Lightning Arrester</i> terhadap Transformator	85
4.2.12	Kajian Koordinasi BIL Peralatan (Trafo tenaga, CT, PMS, dan PMT) dengan Tingkat Proteksi <i>Lightning Arrester</i>	86
4.3	Simulasi Menggunakan Software Alternative Transient Program (ATP Draw)	89
4.3.1	Membuat Rangkaian Model Simulasi.....	90
4.3.2	Hasil Simulasi Rangkaian	96

BAB V PENUTUP.....	104
5.1 Kesimpulan.....	104
5.2 Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	xviii
LAMPIRAN.....	xxii
BIODATA PENULIS	xxiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator Tenaga	10
Gambar 2.2 Current Transformer.....	11
Gambar 2.3 Potential Transformer.....	12
Gambar 2.4 Neutral Grounded Resistance	12
Gambar 2.5 Rel / Busbar	13
Gambar 2.6 PMT Berdasarkan Rating Tegangan	15
Gambar 2.7 PMT Single Pole	15
Gambar 2.8 PMT Three Pole	16
Gambar 2.9 PMT dengan media isolasi minyak	17
Gambar 2.10 PMT dengan media isolasi udara tekan	17
Gambar 2.11 PMT dengan media isolasi vakum	18
Gambar 2.12 PMT SF6 Saat Proses Pemutusan Arus Listrik	19
Gambar 2.13 Disconnecting Switch.....	20
Gambar 2.14 Lightning Arrester	22
Gambar 2.15 Bagian - bagian Lightning Arrester.....	24
Gambar 2.16 Panel Hubung atau Kubikel.....	31
Gambar 2.17 Diagram Tangga.....	32
Gambar 2.18 Transformator dan Arrester terpisah sejauh s.....	33
Gambar 2.19 Diagram Tangga Transformator dan Arrester	34
Gambar 2.20 Ilustrasi Tegangan Transien	36
Gambar 2.21 Perubahan Impedansi pada Titik Peralihan	38
Gambar 2.22 Titik Peralihan	39
Gambar 2.23 <i>Volt-Time Curve</i>	46
Gambar 2.24 Kurva Karakteristik Impuls pada Isolasi Transformator	48
Gambar 2.25 Jarak Antara Sela-Batang dan Isolator	49
Gambar 2.26 Kurva Karakteristik Isolasi dan Gelombang Surja Petir.....	50

Gambar 2.27 Kurva Karakteristik Arrester	50
Gambar 2.28 Karakteristik Pergerakan Elektron	53
Gambar 2.29 Earth Tester Kyoritsu 4105 DL	55
Gambar 2.30 Metode Pengukuran menggunakan 3-Pole Method.....	55
Gambar 2.31 Prinsip Kerja Earth Tester menggunakan 3-Pole Method	56
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Pengerjaan	61
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Pembahasan.....	64
Gambar 4.1 Mekanisme Penempatan Lightning Arrester Gardu Induk	67
Gambar 4.2 Penempatan Lightning Arrester GI 150 kV Mojoagung	68
Gambar 4.3 Jarak Sambaran Petir yang Dapat Diamankan Lightning Arrester	74
Gambar 4.4 Kurva Hubung Jarak Sambaran dengan Tegangan.....	76
Gambar 4.5 Kurva Hubung Jarak Sambaran dengan Waktu.....	77
Rambat Gelombang.....	77
Gambar 4.6 Kurva Hubung Tegangan dengan Waktu Rambat Gelombang	78
Gambar 4.7 Beberapa Skenario Penempatan Lightning Arrester.....	83
Gambar 4.8 Gelombang Pantulan Berulang dari Lightning Arrester menuju Transformator	84
Gambar 4.9 Grafik Koordinasi Isolasi BIL Peralatan dengan Perlindungan Lightning Arrester.....	92
Gambar 4.10 Ilustrasi Panjang Masing-masing Bagian Tower 150 kV	92
Gambar 4.11 Model Tower 150 kV pada Software ATP.....	93
Gambar 4.12 Model Sambaran Petir pada Software ATP.....	94
Gambar 4.13 Submenu Setting pada Model Sambaran Petir	94
Gambar 4.14 Rangkaian Model GI 150 kV Mojoagung	95
Gambar 4.15 Rangkaian Simulasi.....	95
Gambar 4.16 Paramater pada Setting Model Sambaran Petir 18 kA di Software ATP	98
Gambar 4.17 Gelombang Surja Petir dengan Sambaran 18 kA	98

Gambar 4.18 Titik Ukur pada Terminal Trafo, PMT dan CT	101
Gambar 4.19 Grafik Tegangan Surja Petir pada Peralatan Trafo, PMT dan CT dengan Sambaran 18 kA	99
Gambar 4.20 Paramater pada Setting Model Sambaran Petir 40 kA di Software ATP	104
Gambar 4.21 Gelombang Surja Petir dengan Sambaran 40 kA	101
Gambar 4.22 Grafik Tegangan Surja Petir pada Peralatan dengan Sambaran 40 kA.....	102

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan berbagai Jenis Gardu Induk.....	7
Tabel 2.2 Karakteristik Kerja Arrester	25
Tabel 2.3. Tingkat Reduced Isolation	45
Tabel 4.1 Skenario Jarak Sambaran Petir terhadap Lightning Arrester	74
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Tegangan pada LA dan Waktu Rambat.....	76
Gelombang Surja Petir	76
Tabel 4.3 Kondisi Transformator Akibat Penempatan Lightning Arrester .	81
Tabel 4.4 Nilai BIL pada Peralatan yang Terpasang di Bay Trafo GI 150 kV Mojoagung	86
Tabel 4.5 Koordinasi Isolasi BIL Peralatan dengan Perlindungan Lightning Arrester	88
Tabel 4.6 Tingkat Isokeraunik di Indonesia.....	91
Tabel 4.7 Karakteristik Sambaran Petir di Indonesia.....	91
Tabel 4.8 Kondisi Peralatan akibat Sambaran Petir 18 kA	103
Tabel 4.9 Kondisi Peralatan akibat Sambaran Petir 40 kA	106
Tabel 4.10 Kondisi Peralatan akibat Sambaran Uji	106