



**Institut Teknologi Nasional Malang**

**SKRIPSI – ENERGI LISTRIK**

**ANALISIS DAN PEMODELAN PERLINDUNGAN GARDU  
INDUK 150 KV WONOSARI DARI SAMBARAN PETIR  
LANGSUNG**

**M. Zaid Sahlan Shaufi**  
**18.12.037**

Dosen pembimbing  
Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.  
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
2022



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**SKRIPSI – ENERGI LISTRIK**

**ANALISIS DAN PEMODELAN PERLINDUNGAN GARDU  
INDUK 150 KV WONOSARI DARI SAMBARAN PETIR  
LANGSUNG**

M. Zaid Sahlan Shaufi  
18.12.037

Dosen pembimbing  
Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.  
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT.

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
2022

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISIS DAN PEMODELAN PERLINDUNGAN**  
**GARDU INDUK 150 KV WONOSARI DARI**  
**SAMBARAN PETIR LANGSUNG**

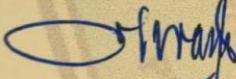
**SKRIPSI**

**M. ZAID SAHLAN SHAUFI**  
**1812037**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi Teknik Energi Listrik  
Institut Teknologi Nasional Malang

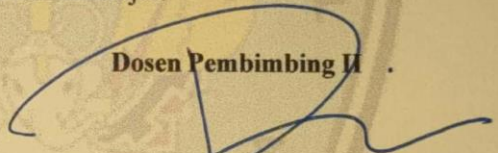
Diperiksa dan Disetujui:

Dosen Pembimbing I



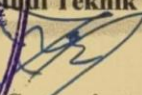
Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.  
NIP. 19610503 199202 1 001

Dosen Pembimbing II



Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT.  
NIP. 19770615 200501 2 002

Mengetahui:  
Kepala Program Studi Teknik Elektro S-1



Dr. Eng. Komang Somawirata, ST., MT.  
NIP. P. 1030100361

Malang  
Maret, 2023

## ABSTRAK

# ANALISIS DAN PEMODELAN PERLINDUNGAN GARDU INDUK 150 KV WONOSARI DARI SAMBARAN PETIR LANGSUNG

M. Zaid Sahlan Shaufi, NIM 1812037

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT

Dosen Pembimbing II : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

Sambaran petir dapat mengakibatkan kegagalan perlindungan pada gardu induk seperti terjadinya kerusakan peralatan pada gardu induk akibat kegagalan isolasi atau yang dikenal dengan istilah *flashover*. Karena itu diperlukan sistem proteksi sambaran petir untuk meminimalisir terjadinya sambaran petir langsung pada peralatan dan bus pada GI. Untuk menjaga agar peralatan pada gardu induk terhindar dari kerusakan akibat sambaran petir, maka digunakan *shielding* tiang penangkal (*mast*) dan *shielding* kawat pentanahan. Penelitian ini membahas pemodelan perlindungan gardu induk dari sambaran petir langsung menggunakan metode *rolling sphere* pada GI 150 kV Wonosari menggunakan tiang penangkal petir. Metode ini diterapkan pada struktur bangunan yang bentuknya rumit. Titik sentuh *rolling sphere* pada bangunan merupakan daerah kritis yang dapat disambar oleh petir dan pada daerah tersebut harus diproteksi menggunakan tiang penangkal petir. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan menggunakan konfigurasi pemakaian tiang penangkal petir dengan tinggi 20,5 m dengan jarak pisah maksimumnya 24 m yang ada pada gardu induk 150 kV Wonosari akan aman dari sambaran petir langsung.

**Kata Kunci :** Gardu induk, Petir, Lightning Mast, Metode Bola Bergulir, Kawat Tanah

## ABSTRACT

# ANALYSIS AND REMODELLING SUBSTATION PROTECTION 150 KV WONOSARI OF DIRECT LIGHTNING STRIKE

M. Zaid Sahlan Shaufi, NIM 1812037

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT

Dosen Pembimbing II : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

Lightning strikes can cause protection failures at substations such as the occurrence of equipment damage at substations due to insulation failure or what is known as flashover. Therefore, a lightning strike protection system is needed to minimize the occurrence of direct lightning strikes to equipment and buses in GI. To keep the equipment at the substation from damage due to lightning strikes, shielding mast and grounding wire shielding are used. This research discusses the modeling of substation protection from direct lightning strikes using the rolling sphere method at the 150 kV Wonosari GI using a lightning rod. This method is applied to buildings with complex shapes. The rolling sphere touch point on the structure is a critical area that can be struck by lightning and in that area must be protected by an air-termination conductor. The calculation results show that using a lightning rod configuration with a height of 20.5 m with a maximum separation distance of 24 m at the 150 kV Wonosari substation will be safe from direct lightning strikes.

**Keywords** : *Substation, Lightning, Lightning Mast, Rolling Sphere Method, Ground Wire*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas karunia kuasanya, penulis dapat menyelesaikan penulisan penelitian ini. Penulisan penelitian ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, ITN Malang. Penulis menyadari bahwa penulisan penelitian ini masih memiliki kekurangan. Karenanya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam rangka pembelajaran terus-menerus. Banyak pihak yang telah membantu dalam penulisan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT selaku Ketua Pendidikan Teknik Elektro ITN Malang
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT selaku dosen Pembimbing penelitian atas segala bimbingan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga penelitian ini bisa diselesaikan dengan baik.
3. Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiwati, ST, MT selaku dosen Pembimbing penelitian atas segala bimbingan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga penelitian ini bisa diselesaikan dengan baik.
4. Bapak dan Ibu Dosen Elektro ITN Malang yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama penulis menempuh perkuliahan di Fakultas Teknologi Industri di ITN Malang.
5. Kedua orang tua dan keluarga penulis atas cinta dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis,
6. Teman-teman Elektro ITN angkatan 2018 yang selalu mendukung satu sama lain.

Dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan penelitian ini, namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Akhir kata, penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat yang seluas-luasnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Malang, Januari 2023

M. Zaid Sahlan Shaufi

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan .....	4
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	7
2.1 Gardu Induk .....	7
2.2 Komponen Instalasi GI .....	8
2.2.1 Disconnecting switch (DS/ PMS) .....	8
2.2.2 Trafo Daya .....	9
2.2.3 Pemutus Tenaga (PMT) .....	10
2.2.4 Capacitiv Voltage Transforme (CVT) .....	11
2.2.5 Lightning Arrester .....	11
2.3 Fenomena Petir .....	12
2.4 Mekanisme Terjadinya Petir .....	13
2.4.1 Muatan positif .....	14
2.4.2 Muatan negatif .....	14
2.5 Parameter Petir .....	15
2.5.1 Bentuk gelombang petir .....	15
2.5.2 Kerapatan sambaran (Ng) .....	16
2.5.3 Arus puncak .....	16
2.5.4 Kecuraman arus, (di/dt) [kA/ $\mu$ s] .....	17
2.6 Hari guruh .....	18
2.7 Sambaran Langsung Pada Gardu Induk .....	18
2.8 Tiang Penangkal Petir .....	19
1. Penangkal Petir Konvensional .....	19

2.	Penangkal Petir Radio Aktif.....	19
3.	Penangkal Petir Elektrostatik.....	20
2.9	Sistem Proteksi Petir.....	21
2.9.1	Proteksi eksternal .....	21
2.9.2	Proteksi Internal .....	23
2.10	<i>Rolling Sphere</i> .....	25
2.11	Software AutoCad .....	26
2.12	Metode Peletakan Tiang Penangkal petir .....	27
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
3.1	Teknik Pengumpulan Data.....	33
3.2	Pembagian section gardu induk wonosari.....	34
3.3	Prosedur Penelitian .....	35
3.4	Sub Flowchart.....	37
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN ANALISIS HASIL .....</b>	<b>39</b>
4.1	Data gardu induk 150 kV Wonosari .....	39
4.2	Analisis Perlindungan Gardu Induk Menggunakan Tiang Penangkal Petir .....	39
4.3	Perlindungan Gardu Induk Menggunakan Kawat Tanah .....	58
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>61</b>
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran .....	61
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
	<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses penyaluran energi listrik .....	7
Gambar 2.2 Simbol pemutus arus beban.....	8
Gambar 2.3 Pemisah arus beban .....	8
Gambar 2.4 Simbol Trafo Daya .....	9
Gambar 2.5 Trafo daya gardu induk. ....	10
Gambar 2.6 Circuit Breaker .....	10
Gambar 2.7 Simbol Circuit Breaker.....	11
Gambar 2.8 Trafo Tegangan. ....	11
Gambar 2.9 Lightning Arrester. ....	12
Gambar 2.10 Sambaran Petir. ....	12
Gambar 2.11 Loncatan Energi Listrik. ....	13
Gambar 2.12 Beberapa jenis sambaran petir. ....	14
Gambar 2.13 Bentuk standar gelombang surja petir .....	16
Gambar 2.14 Pelepasan Arus Puncak Petir. ....	17
Gambar 2.15 Keamanan arus.....	18
Gambar 2.16 Penangkal petir radio aktif .....	20
Gambar 2.17 Penangkal petir jenis elektrostatis .....	20
Gambar 2.18 Sistem perlindungan petir eksternal. ....	21
Gambar 2.19 Konvensional Proteksi.....	22
Gambar 2.20 Konsep proteksi menurut model elektrojeometri.....	22
Gambar 2.21 arrester jenis gardu induk .....	24
Gambar 2.22 Proteksi sangkar faraday .....	25
Gambar 2.23 Metode Rolling Sphere.....	26
Gambar 2.24 Perlindungan satu tiang terminasi udara.....	27
Gambar 2.25 Jarak pisah maksimum tiang penangkal petir .....	28
Gambar 2.26 Jarak pemisah empat tiang penangkal petir .....	29
Gambar 2.27 Perlindungan satu kawat pentanahan.....	30
Gambar 2.28 Jarak maksimum dua kawat pentanahan .....	31
Gambar 3.1 Single Line Diagram Gardu Induk Wonosari.....	34
Gambar 3.2 pembagian section dan luas pada gardu induk wonosari...	34
Gambar 3.3 Flowchart alur penelitian.....	36
Gambar 3.4 Flowchart menentukan tinggi tiang optimum.....	37
Gambar 4.1 Daerah perlindungan menggunakan dua tiang penangkal petir.....	44
Gambar 4.2 Daerah perlindungan menggunakan dua tiang penangkal petir tampak atas.....	44
Gambar 4.3 Peletakan tiang dan pembagian section .....	45

Gambar 4.4	Tampilan awal AutoCad.....	46
Gambar 4.5	Tampilan workspace AutoCad .....	47
Gambar 4.6	Tampilan Drawing toll AutoCad .....	47
Gambar 4.7	Desain serandang gardu induk .....	48
Gambar 4.8	Peletakan serandang sesuai jarak.....	48
Gambar 4.9	Desain Pelaratan gardu induk.....	49
Gambar 4.10	Peletakan peralatan pada serandang gardu induk .....	49
Gambar 4.11	Peletakan tiang penangkal petir pada serandang gardu induk .....	50
Gambar 4.12	Membuat lingkaran sphere radius .....	50
Gambar 4.13	Peletakan lingkaran pada objek .....	51
Gambar 4.14	Hatch tool .....	51
Gambar 4.15	Tampilan hatch tool.....	52
Gambar 4.16	Arsiran daerah perlindungan .....	52
Gambar 4.17	Penggunaan metode Rolling Sphere pada Gardu Induk Tampak Lebar Samping sebelum Menggunakan tiang...	53
Gambar 4.18	Penggunaan metode Rolling Sphere pada Gardu Induk Tampak Lebar Samping Sesudah Menggunakan tiang...	54
Gambar 4.19	Penggunaan metode Rolling Sphere pada Gardu Induk Tampak Panjang Samping sebelum Menggunakan tiang..	55
Gambar 4.20	Penggunaan metode Rolling Sphere pada Gardu Induk Tampak Panjang Samping Sesudah Menggunakan Tiang.	56
Gambar 4.21	Hasil Zona Proteksi Menggunakan tiang 20.5 m Berdasarkan Metode Rolling Sphere Tampak Atas.....	57
Gambar 4.22	Layout kondisi pemasangan kawat tanah .....	59
Gambar 4.23	Penanaman kawat pentanahan .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis kawat pentanahan .....	23
Tabel 4.1 Jarak pisah maksimum antar tiang penangkal petir ketinggian 30m.....	42
Tabel 4.2 Jarak pisah maksimum tiang penangkal petir dengan tinggi bus 12,5 m dan jarak sambaran 22,36 m .....	42
Tabel 4.3 Jarak pisah maksimum empat tiang penangkal petir dengan tinggi bus 12,5 m dan jarak sambaran 22,36 m .....	43
Tabel 4.4 Pembagian penangkal petir berdasarkan letak pada section..	45
Tabel 4.5 Pembagian section berdasarkan daerah yang terlindungi oleh penangkal petir .....	46

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : M. Zaid Sahlan Shaufi  
NIM : 1812037  
Jurusan / Peminatan : Teknik Elektro S-1/Teknik Energi Listrik  
ID KTP / Paspor : 5202011402000008  
Alamat : Jl. Ahmad Yani no.29, Provinsi NTB, Praya  
Judul Skripsi : Analisis Dan Pemodelan Perlindungan Gardu Induk 150 KV Wonosari Dari Sambaran Petir Langsung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 07 April 2023  
Yang membuat pernyataan



( M. Zaid Sahlan Shaufi )