

**OPTIMASI SUDUT LINDUNG SISTEM PROTEKSI
PENGHANTAR SALURAN UDARA TEGANGAN
TINGGI 150 KV GANDUL-SERPONG
MENGUNAKAN METODE
*ROLLING SPHERE***

SKRIPSI

**Skripsi ini diajukan untuk melengkapi salah satu persyaratan
menjadi Sarjana Strata Satu Program S1**

Oleh:

**RAFLI HANAFI
207002526051**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS NASIONAL
FEBRUARI 2025**

**OPTIMASI SUDUT LINDUNG SISTEM PROTEKSI
PENGHANTAR SALURAN UDARA TEGANGAN
TINGGI 150 KV GANDUL-SERPONG
MENGUNAKAN METODE
*ROLLING SPHERE***

Oleh:

RAFLI HANAFI
207002526051



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS NASIONAL
FEBRUARI 2025**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi dengan judul:

“Optimasi Sudut Lindung Sistem Proteksi Penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Gandul-Serpong Menggunakan Metode *Rolling Sphere*”

yang dibuat untuk melengkapi salah satu persyaratan menjadi Sarjana Strata Satu Program S1 pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional, sebagai mana yang saya ketahui adalah bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari Skripsi yang sudah pernah diajukan atau dipakai untuk mendapatkan gelar di lingkungan Universitas Nasional maupun di Perguruan Tinggi atau instansi lainnya, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang menjadi sumber informasi atau acuan yang dicantumkan sebagai mana mestinya.



Jakarta, 05 Maret 2025



(Rafli Hanafi)

NIM. 207002526051

PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul:

“Optimasi Sudut Lindung Sistem Proteksi Penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Gandul-Serpong Menggunakan Metode *Rolling Sphere*”

dibuat untuk melengkapi salah satu persyaratan menjadi Sarjana Strata Satu Program S1 pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional dan telah disetujui untuk diajukan sebagai skripsi sesuai dengan ketentuan administrasi dan akademik yang berlaku.

Jakarta, 05 Maret 2025



Nama: Rafli Hanafi
NIM : 207002526051

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

(Ruliyanto, S.T., M.T. Ph.D.)
NID. 0301050724

(W.G. Adhyarna Usse Keraf, S.T., M.M., M.TI.)
NID. 040017016

Ketua Program Studi,

(Ir. Idris Kusuma, M.T)
NID. 0305076601

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rafli Hanafi
NPM : 207002526051
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : “Optimasi Sudut Lindung Sistem Proteksi Penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Gandul-Serpong Menggunakan Metode *Rolling Sphere*”

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional.

Pembimbing I : Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Pembimbing II : W.G. Adhyarta Usse Keraf, S.T., M.M., M.Tl.

Penguji I : Ir. R.A. Suwodjo Kusumoputro, M.M.

Penguji II : Ir. Rianto Nugroho, M.T.

Penguji III : Ir. Idris Kusuma, M.T.

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : 05 Maret 2025

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat, karunia dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul **"Optimasi Sudut Lindung Sistem Proteksi Penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Gandul-Serpong Menggunakan Metode Rolling Sphere"**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro di Universitas Nasional.

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada seluruh pihak yang telah berperan serta. Dukungan dan bimbingan yang diberikan tidak hanya menambah wawasan, tetapi juga menjadi dorongan yang berarti dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

1. Bapak Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Adhyarta Usse Keraf, S.T., M.M., M.TI. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan yang sangat berharga dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Endang Retno Nugroho, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat dan arahan selama proses perkuliahan.
3. Seluruh Dosen Pengajar Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional yang telah memberikan ilmu dan pengalaman dalam perkuliahan yang telah menjadi landasan bagi penulis dalam menyusun skripsi ini.
4. Orang tua dan keluarga besar saya yang senantiasa tidak pernah mengeluh dalam mendukung saya sejauh ini dan selalu memberikan bantuan dukungan material, moral dan do'a.
5. Teman-teman seperjuangan Teknik dan Sains 2020 atas semangat dan kebersamaan dari mereka telah menjadi penyemangat bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini belum sepenuhnya sempurna. Untuk itu, kritik dan saran yang bersifat konstruktif dari para pembaca sangat diharapkan demi perbaikan ke depannya. Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam dunia ilmu pengetahuan.

Jakarta, 05 Maret 2025
Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Nasional, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rafli Hanafi
NPM : 207002526051
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik dan Sains
Jenis karya : Skripsi

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

“Optimasi Sudut Lindung Sistem Proteksi Penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Gandul-Serpong Menggunakan Metode Rolling Sphere”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Nasional berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan 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: Jakarta
Pada tanggal: 05 Maret 2025
Yang menyatakan

Rafli

Rafli Hanafi

ABSTRAK

Rafli Hanafi, “Optimasi Sudut Lindung Sistem Proteksi Penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Gandul-Serpong Menggunakan Metode Rolling Sphere”, Program SI Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional, di bawah bimbingan Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D., dan W.G. Adhyarta Usse Keraf, S.T., M.T., M.TI., Maret 2025, 83 Halaman + xiv + 3 Lampiran.

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gandul-Serpong sering mengalami gangguan akibat sambaran petir, khususnya pada penghantar fasa R, akibat sudut lindung *Ground Steel Wire* (GSW) yang belum memenuhi standar minimum 15° sesuai SPLN T5.014-1:2021. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan sudut lindung menggunakan metode *Rolling Sphere*. Metode yang diterapkan meliputi pengumpulan data konstruksi eksisting, simulasi sudut lindung dengan AutoCAD, serta perhitungan *Rolling Grounding Margin* (Rgm) dan kemungkinan puncak arus petir. Modifikasi dilakukan dengan memperpanjang dudukan *travers* GSW sebesar 1,78 meter. Hasil menunjukkan bahwa kondisi sudut lindung pada dudukan *travers* sebesar $11,51^\circ$ sudah sesuai standar, sehingga meningkatkan proteksi penghantar terhadap sambaran petir. Disimpulkan bahwa perbaikan struktur efektif meningkatkan keandalan sistem, dan direkomendasikan evaluasi rutin serta penerapan metode serupa di jalur transmisi lainnya.

Kata Kunci: Sudut Lindung, *Ground Steel Wire*, *Rolling Sphere*, Proteksi Petir, SUTT 150 kV.



ABSTRACT

Rafli Hanafi, "Optimization of Protection Angle of High Voltage Overhead Line Conductor Protection System 150 kV Gandul-Serpong Using Rolling Sphere Method", Electrical Engineering Undergraduate Program, Faculty of Engineering and Science, Nasional University, under the guidance of Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D., and W.G. Adhyarta Usse Keraf, S.T., M.T., M.TI. March 2025, 83 Pages + xv + 3 Appendices.

The 150 kV Gandul–Serpong High Voltage Overhead Transmission Line (SUTT) frequently experiences disturbances due to lightning strikes, particularly on the R phase conductor. This is caused by the Ground Steel Wire (GSW) shielding angle not meeting the minimum standard of 15° as specified in SPLN T5.014-1:2021. This study aims to optimize the shielding angle using the Rolling Sphere Method. The methods applied include collecting data on the existing structure, simulating the shielding angle using AutoCAD, and calculating the Rolling Grounding Margin (Rgm) and lightning peak current probability. A modification was carried out by extending the GSW bracket by 1.78 meters. The results showed that the shielding angle at the bracket, originally 11.51° , was improved through optimization to meet the standard, thereby enhancing conductor protection against lightning strikes. It is concluded that structural improvements are effective in increasing system reliability, and routine evaluations as well as the application of similar methods to other transmission lines are recommended.

Keywords: Shielding Angle, Ground Steel Wire, Rolling Sphere Method, Lightning Protection, 150 kV Transmission Line.



DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metode Penyelesaian Masalah.....	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Studi Literatur	7
2.2 Sistem Penyaluran Energi Listrik.....	8
2.2.1 Saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET).....	8
2.2.2 Komponen dan fungsi tower SUTET.....	9
2.2.3 <i>Insulation</i> (isolasi).....	13
2.2.4 <i>Junction</i> (penghubung).....	16
2.2.5 Tower transmisi SUTET.....	20
2.2.6 Aksesoris kelengkapan tower	28
2.2.7 Tipe tower 500 kV.....	29
2.2.8 Jarak penghantar antar sirkit SUTET	29
2.2.9 Pembebanan	31
2.3 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).....	31
2.3.1 Komponen dan fungsi tower SUTT.....	32
2.3.2 Tipe tower 150 kV.....	34
2.3.3 Jarak penghantar antar sirkit SUTT.....	34
2.4 Pembentukan Muatan Awan Petir	35
2.4.1 Proses terjadinya petir.....	36
2.4.2 Jarak sambaran petir	37
2.4.3 Surja petir	38
2.4.4 Tegangan lebih oleh surja petir.....	39
2.4.5 Impedansi terpa/surja (z atau r)	41
2.5 Konsep sistem GSW (<i>Ground Steel Wire</i>)	42
2.5.1 Kawat GSW	42
2.5.2 Jumper GSW.....	43
2.5.3 Sudut lindung pada <i>groundwire</i>	43
2.6 <i>Rolling Sphere</i>	49
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	51

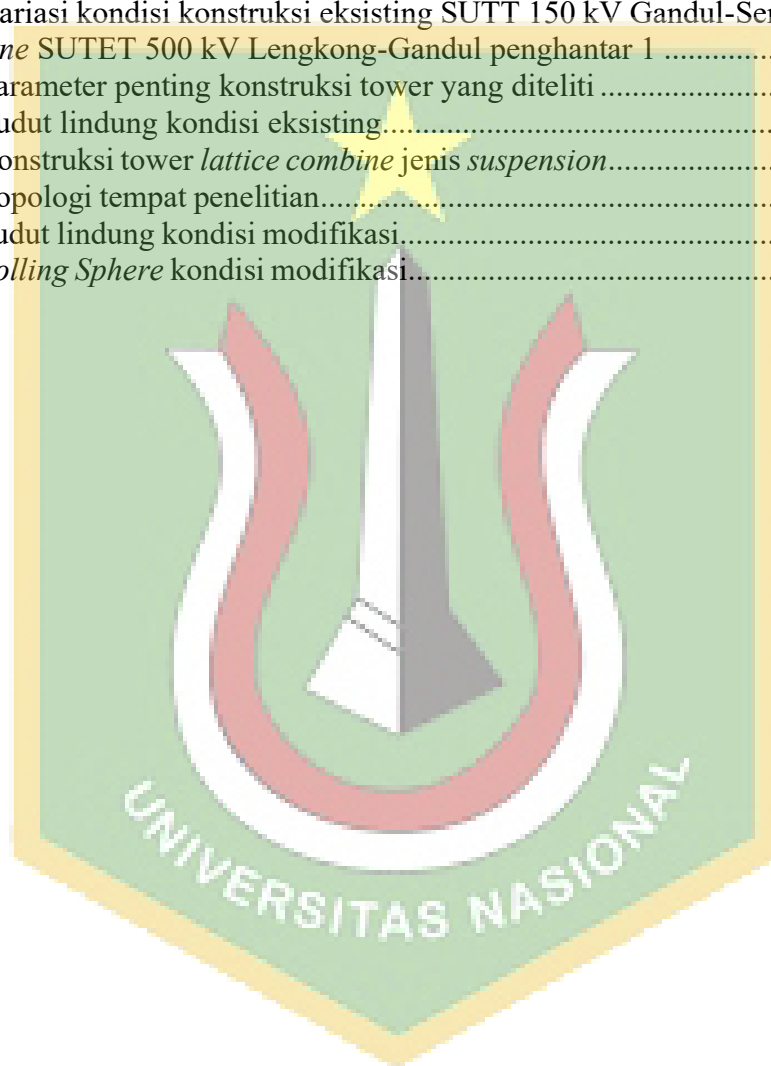
3.1 Waktu dan Penelitian.....	51
3.2 Alat dan Bahan	51
3.3 Flowchart	52
3.4 Kondisi Eksisting.....	52
3.5 Metode	53
3.5.1 Tinggi Tower (h).....	54
3.5.2 Panjang Dudukan <i>Travers</i> GSW (l)	54
3.5.3 Tinggi Konduktor Fasa (y)	55
3.5.4 Jarak konduktor titik tengah tower (x).....	55
3.6 Sudut lindung <i>ground steel wire</i> /GSW (α).....	55
3.6.1 <i>Rolling grounding margin</i>	57
3.6.2 Arus maksimum I_m (kA).....	57
3.6.3 <i>Probability of Lightning Current peak</i> $P_{(i)}$	58
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Hasil Foto Lokasi.....	60
4.2 Menghitung Sudut Lindung	61
4.3 Analisis	64
4.3.1 Analisis <i>Rolling Grounding Margin</i> (RGM).....	65
4.3.2 Analisis Arus Maksimum	66
4.3.3 Analisis <i>Probability of Lightning Current Peak</i>	67
4.4 Topologi Jaringan Sistem Transmisi Tower.....	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN	75



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem kelistrikan pembangkit, transmisi, dan distribusi	8
Gambar 2.2 Tower SUTET 500 kV	9
Gambar 2.3 Mur dan baut menara	10
Gambar 2.4 Konduktor jenis ACSR	11
Gambar 2.5 Konduktor jenis TACSR	12
Gambar 2.6 Konduktor jenis ACCC	13
Gambar 2.7 Isolator keramik	13
Gambar 2.8 Isolator Gelas atau Kaca	14
Gambar 2.9 Isolator polimer	14
Gambar 2.10 <i>Ball</i> dan <i>pin insulator</i>	15
Gambar 2.11 <i>Suspension clamp</i> GSW	15
Gambar 2.12 <i>Suspension clamp</i>	16
Gambar 2.13 <i>Strain clamp</i>	17
Gambar 2.14 <i>Dead end compression</i>	17
Gambar 2.15 <i>Socket clevis</i>	17
Gambar 2.16 <i>Triangel plate</i>	18
Gambar 2.17 <i>Triangel plate link</i>	18
Gambar 2.18 <i>Square plate</i>	18
Gambar 2.19 <i>Shackle</i>	18
Gambar 2.20 <i>Trunbucle (span scrup)</i>	19
Gambar 2.21 <i>Link adjuster</i>	19
Gambar 2.22 <i>Triangel plate</i>	19
Gambar 2.23 <i>Link bolt socket</i>	20
Gambar 2.24 <i>Extention link</i>	20
Gambar 2.25 <i>Adjuster plate</i>	20
Gambar 2.26 Tower sudut	21
Gambar 2.27 Tower transposisi	22
Gambar 2.28 Tower portal	23
Gambar 2.29 Tower kombinasi	24
Gambar 2.30 Konstruksi tiang <i>pole</i>	25
Gambar 2.31 Palang poligonal lengkung	25
Gambar 2.32 Palang poligonal lurus	26
Gambar 2.33 <i>Travers</i> lurus	26
Gambar 2.34 Tiang delta	27
Gambar 2.35 Tiang zig-zag	27
Gambar 2.36 Tiang piramid	28
Gambar 2.37 Kelengkapan tower	29
Gambar 2.38 Tower zig-zag	34
Gambar 2.39 Tower piramida	35
Gambar 2.40 Pembentukan muatan dalam awan petir	37
Gambar 2.41 Awan comulonimbus saat akan terjadi sambaran petir	38
Gambar 2.42 Proses terjadinya sambaran petir	38
Gambar 2.43 Gelombang surja petir pada kawat fasa	40
Gambar 2.44 Sambaran petir pada menara	41
Gambar 2.45 Ilustrasi V_M	42
Gambar 2.46 Sambaran pada menara dengan kawat tanah	42

Gambar 2.47 Kawat GSW	44
Gambar 2.48 Jumper GSW.....	44
Gambar 2.49 Tower dengan satu <i>groundwire</i>	45
Gambar 2.50 Segitiga siku-siku.....	45
Gambar 2.51 <i>Probability of lightning current peak</i>	46
Gambar 2.52 Model geomentri, sudut dan jarak.	46
Gambar 2.53 Definisi I_m dimana $D_c = 0$	48
Gambar 2.54 Parameter konstruksi tower	49
Gambar 2.55 Vaisala <i>real time</i>	50
Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian.....	52
Gambar 3.2 Variasi kondisi konstruksi eksisting SUTT 150 kV Gandul-Serpong penghantar 1 dan 2 <i>combine</i> SUTET 500 kV Lengkong-Gandul penghantar 1	53
Gambar 3.3 Parameter penting konstruksi tower yang diteliti	54
Gambar 3.4 Sudut lindung kondisi eksisting.....	55
Gambar 4.1 Konstruksi tower <i>lattice combine</i> jenis <i>suspension</i>	60
Gambar 4.2 Topologi tempat penelitian.....	61
Gambar 4.3 Sudut lindung kondisi modifikasi.....	63
Gambar 4.4 <i>Rolling Sphere</i> kondisi modifikasi.....	64



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data <i>reclose/trip</i> di Tower SUTT 150 kV <i>Combine</i> SUTET 500 kV Gandul-Serpong penghantar 1 fasa R.....	2
Tabel 2.1 Standar jarak aman SUTET.....	16
Tabel 2.2 Tipe Tower SUTT 500 kV <i>lattice tower</i>	29
Tabel 2.3 <i>Electrical clearance</i> minimum SUTET.....	30
Tabel 2.4 Jarak minimum antar <i>crossarm</i> fasa SUTET.....	30
Tabel 2.5 Rentang dasar, rentang berat dan rentang Angin SUTET.....	31
Tabel 2.6 Standar jarak aman SUTT.....	32
Tabel 2.7 Tipe tower SUTT 150 kV.....	34
Tabel 2.8 <i>Electrical clearance</i> minimum SUTT.....	34
Tabel 2.9 Jarak minimum antar <i>crossarm</i> fasa SUTT.....	35
Tabel 2.10 Rentang dasar, rentang berat dan rentang angin SUTT.....	35
Tabel 2.11 Persamaan jarak sambar petir.....	38
Tabel 2.12 Statistik arus petir di Indonesia.....	38
Tabel 2.13 Sudut lindung maksimum.....	49
Tabel 3.1 Parameter konstruksi tower kondisi eksisting (m).....	55
Tabel 3.2 Parameter <i>Probability of lightning current peak</i> kondisi eksisting.....	59
Tabel 4.1 Parameter konstruksi tower kondisi eksisting dan modifikasi.....	60
Tabel 4.2 Perhitungan Geometri tower dan kelistrikan kondisi eksisting dan modifikasi.....	68



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat permohonan penelitian dan pengambilan data tugas akhir.....	83
Lampiran 2 Data sambaran vaisala <i>real time</i>	84
Lampiran 3 Data Konstruksi/Out line Tower Type AA 500 kV <i>combine</i> 150 kV.....	85

