

## BAB IV HASIL DAN ANALISIS HASIL

### 4.1 Data gardu induk 150 kV Wonosari

Gardu induk yang akan dianalisis terhadap sambaran petir langsung adalah gardu induk 150 kV Wonosari. Incoming gardu induk 150 kV Wonosari adalah GI 150 kV Pedan. Outgoing tegangan yaitu 150 kV menuju ke Solobaru I, Solobaru II, Wonogiri I, Wonogiri II. dari layout tersebut data-data yang diambil untuk menentukan perlindungan gardu induk 150 kV Wonosari dari sambaran petir langsung menggunakan tiang penangkal petir berdasarkan *metode rolling sphere* adalah:

**Tabel 4.1** Data Profil Gardu Induk 150 kV Wonosari

Data Profil Gardu Induk 150 kV Wonosari Pedan	
Tegangan Nominal	150 kV
Tingkat isolasi dasar	650 kV
Tingkat isolasi dasar peralatan	650 kV
Diameter konduktor fasa	33,3 mm
Tinggi konduktor fasa	12,5 m
Tinggi objek yang dilindungi	12,5 m

Data pada tabel 4.1 diambil pada PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Wonosari.

Dari tabel 4.1 luas daerah pada gardu induk wonosari dengan panjang 120 m yang terbagi menjadi lima section, dengan tiap sectionnya memiliki jarak antar tiang sejauh 24 m yang akan menjadi tempat peletakan tiang penangkal petir.

### 4.2 Analisis Perlindungan Gardu Induk Menggunakan Tiang Penangkal Petir

Untuk perlindungan menggunakan Tiang penangkal Petir :

1. Menentukan nilai Radius korona dari konduktor .

Dengan persamaan (2.4) dapat dihitung besarnya nilai radius korona dari konduktor dimana untuk tingkat isolasi dasar post insulator pada tabel (3.1) besarnya 650 kV.

$$R_c \approx 1,2 \times 10^{-4} \times 650$$

$$R_c \approx 0,078 \text{ meter}$$

2. Menentukan impedansi surja dengan korona.

Dengan tinggi konduktor ( $h$ ) yang nilainya 12,5 meter, radius dari konduktor ( $r$ ) 0,017 meter dan nilai radius korona ( $R_c$ ) yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya adalah 0,078 meter maka besarnya impedansi surja dari konduktor dengan korona dapat dihitung dengan persamaan (2.5)

$$Z_s = 60 \sqrt{\ln\left(\frac{2 \times 12,5}{0,078}\right) \times \ln\left(\frac{2 \times 12,5}{0,017}\right)} = 389,2 \text{ ohm}$$

Jadi besar impedansi surja dari konduktor adalah 389,2 ohm

3. Menghitung arus sambaran kritis ( $I_s$ )

Dimana tingkat isolasi dasar untuk gardu induk pada tabel (3.1) 150 kV sebesar 650 kV dapat dihitung dengan persamaan (2.6)

$$I_s = 2,2 \times \frac{650}{389,2} = 3,67 \text{ kA}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diketahui bahwa besarnya arus yang dapat diterima penangkal petir adalah sebesar 3,67 kA.

4. Menghitung jarak sambaran ( $S$ )

Jarak sambaran yang akan menjadi *sphere radius* dengan menggunakan persamaan (2.7), sesuai standar (IEEE 998-1996)

dimana nilai  $k = 1,2$  untuk tiang penangkal petir

$$S = 8 \times 1,2 \times 3,67^{0,65} = 22,36 \text{ m}$$

5. Perlindungan dengan Satu Tiang Penangkal Petir.

Dengan persamaan (2.7), (2.8), dan (2.9) dapat dihitung nilai  $T$  dimana  $T$  adalah jarak horisontal maksimum dari tiang ke sebuah objek yang dilindungi yaitu busbar, dari sambaran petir langsung. Berdasarkan data didapat bahwa tinggi objek yang akan dilindungi adalah 12,5 m yang merupakan tinggi konduktor fasa. Sebagai catatan ketika mendesain perlindungan terhadap sambaran petir langsung pada gardu induk direkomendasikan didasarkan pada parameter dari busbar tertinggi ( $A$ ).

$$H = 30 \text{ m}$$

$$A = 12,5 \text{ m}$$

$$C = \sqrt{22,36^2 - (22,36 - 12,5)^2} = 20,07 \text{ m}$$

$$T = 22,36 - 20,07 = 2,3 \text{ m}$$

6. Jarak maksimum antara dua tiang untuk sambaran samping.

Untuk menentukan jarak maksimum antara dua tiang menggunakan persamaan (2.10), (2.11), (2.12), (2.13).

$$W = \sqrt{22,36^2 - (22,36 - 12,5)^2}$$

$$W = 20,07 \text{ m}$$

$$Y = 4 \text{ m}$$

$$Z = 20,07 - 4 = 16,07 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{22,36^2 - 16,07^2} = 15,5 \text{ m}$$

$$X = 2 \times 14,87 = 31,1 \text{ m}$$

7. Jarak maksimum antara empat tiang penangkal petir.

Jarak maksimum antara empat tiang penangkal petir dapat dihitung dengan persamaan (2.15), (2.16), (2.17), (2.18) dan (2.19) sebagai berikut :

$$D = 30 - 12,5 = 17,5$$

$$E = 22,36 - 17,5 = 4,86 \text{ m}$$

$$J = \sqrt{22,36^2 - 4,86^2} = 21,8 \text{ m}$$

$$K = 2 \times 21,8 = 43,6 \text{ m}$$

$$P = \frac{43,6}{\sqrt{2}} = 30,8 \text{ m}$$

8. Jarak maksimum antara tiga tiang penangkal petir.

Jarak maksimum antara tiga tiang penangkal petir dapat dihitung dengan persamaan (2.19).

$$Q = 2 \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{30}{180}\right) \cdot 21,83 = 37,8 \text{ m}$$

Dari perhitungan yang diperoleh maka dapat disimpulkan nilai jarak pisah maksimum antar tiang penangkal petir pada ketinggian 30 m seperti sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Jarak pisah maksimum antar tiang penangkal petir ketinggian 30 m

Jarak Pisah Maksimum Tiang Penangkal Petir	
Jarak	Jarak Pisah Maksimum Tiang Penangkal Petir
X	43,6 m
Y	37,8 m
Z	26,35 m

Untuk menentukan hasil tinggi tiang penangkal petir yang optimum maka dilakukan perhitungan dengan mencoba menentukan jarak maksimum pada berbagai tinggi tiang penangkal petir. Hasil perhitungan untuk jarak pisah maksimum untuk dua dan empat tiang penangkal petir dari berbagai ketinggian tiang penangkal petir dengan tinggi bus (A) = 12,5 m dan jarak sambaran (S) = 22,36 meter ditunjukkan pada tabel (4.2)

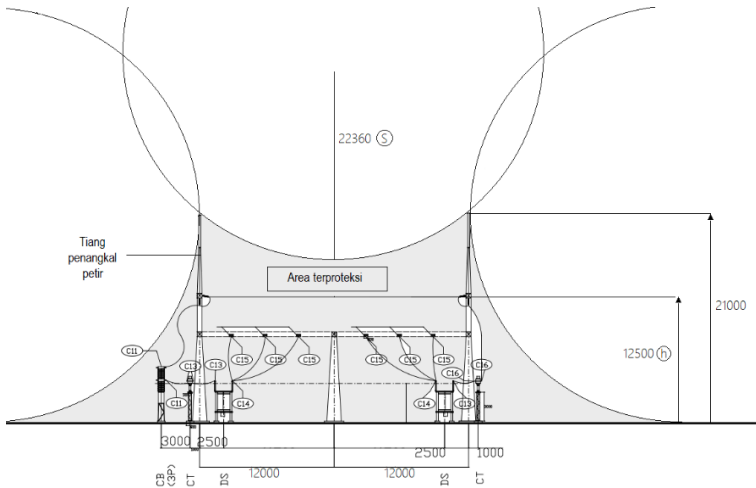
**Tabel 4.2** Jarak pisah maksimum untuk penggunaan tiang penangkal petir dengan tinggi bus 12,5 m dan jarak sambaran 22,36 m

Tinggi Tiang (meter)	Satu Tiang (meter)	Dua Tiang (Z) (meter)
16,5	1,51	25.52
17,0	1,64	26.91
17,5	1,76	28.19
18,0	1.86	29.37
18,5	1.96	30.48
19,0	2.04	31.52
19,5	2.11	32.50
20,0	2.17	33.42
20,5	2.21	34.28
21,0	2.25	35.09
21,5	2.27	35.86
22,0	2.29	36.58

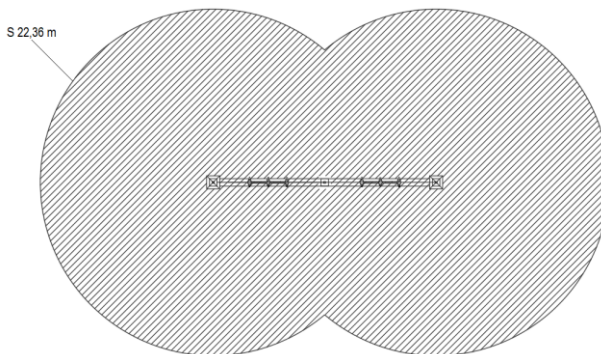
**Tabel 4.3** Jarak pisah maksimum untuk empat tiang penangkal petir dengan tinggi bus 12,5 m dan jarak sambaran 22,36 m

Empat Tiang (meter)		
Tinggi Tiang (meter)	Jarak Diagonal	Jarak Antar Tiang
15,0	20.55	14.53
15,5	22.37	15.82
16,0	24.04	16.98
16,5	25.52	18.05
17,0	26.91	19.03
17,5	28.19	19.93
18,0	29.37	20.77
18,5	30.48	21.55
19,0	31.52	22.29
19,5	32.50	22.98
20,0	33.42	23.63
<b>20,5</b>	<b>34.28</b>	<b>24.24</b>
21,0	35.09	24.81
21,5	35.86	25.36
22,0	36.58	25.87

Dengan daerah yang ingin dilindungi untuk tiap bagian maksimumnya adalah 24 m x 24 m maka berdasarkan tabel di atas, tinggi tiang yang optimum digunakan untuk jarak tersebut adalah 20,5 m.

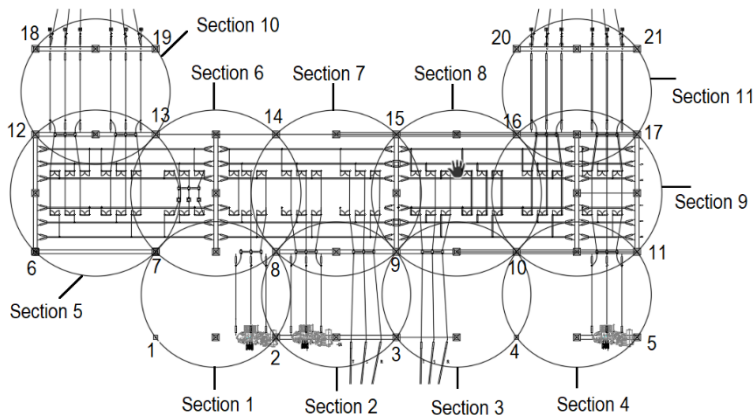


Gambar 4.1 Daerah perlindungan menggunakan dua tiang penangkal petir



Gambar 4.2 Daerah perlindungan menggunakan dua tiang penangkal petir tampak atas

Pada gardu induk di ilustrasikan ada beberapa section dimana tiap section terdiri dari beberapa tiang penangkal petir. Hal ini akan ditunjukkan pada tabel dibawah :



Gambar 4.3 Peletakan tiang dan pembagian section

**Tabel 4.4** Pembagian penangkal petir berdasarkan letak pada section

Nomor Section	Nomor Tiang Penangkal Petir
1	1,2,7,8
2	2,3,8,9
3	3,4,9,10
4	4,5,10,11
5	6,7,12,13
6	7,8,13,14
7	8,9,14,15
8	9,10,15,16
9	10,11,16,17
10	12,13,18,19
11	16,17,20,21

**Tabel 4.5** Pembagian section berdasarkan luas daerah yang terlindungi oleh penangkal petir

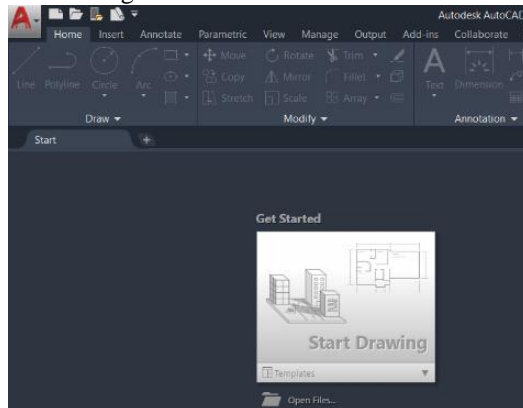
Tipe Section	Nomor Section	Luas Bagian Telidungi
I	5, 6, 7, 8 dan 9	24 m x 24 m
II	1, 2, 3, 4, 10, dan 11	17,5 m x 24 m

Untuk penempatan tiang penangkal petir bisa dilihat pada gambar (4.3). Dari layout tersebut terlihat bahwa:

1. Dibutuhkan sebanyak 21 tiang penangkal petir untuk melindungi gardu induk dari sambaran langsung dengan tinggi 21 m.
2. Untuk tipe section I memiliki jarak antar tiang 24 m x 24 m sehingga nilai X (jarak digonal antar tiang) adalah 33,931 m. Karena nilai X lebih kecil dari maksimal jarak diagonal yaitu 35,09 m maka daerah antara empat tiang tersebut terlindungi dari sambaran vertikal.
3. Untuk tipe section II memiliki jarak 17,5 m x 24 m sehingga nilai X (jarak digonal antar tiang) untuk empat tiang ini adalah 29,70 m. Karena nilai X lebih kecil dari maksimal jarak diagonal yaitu 35,09 m maka daerah antar empat tiang tersebut terlindungi dari sambaran vertikal.

Langkah-langkah membuat daerah lindung salah satu section gardu induk.

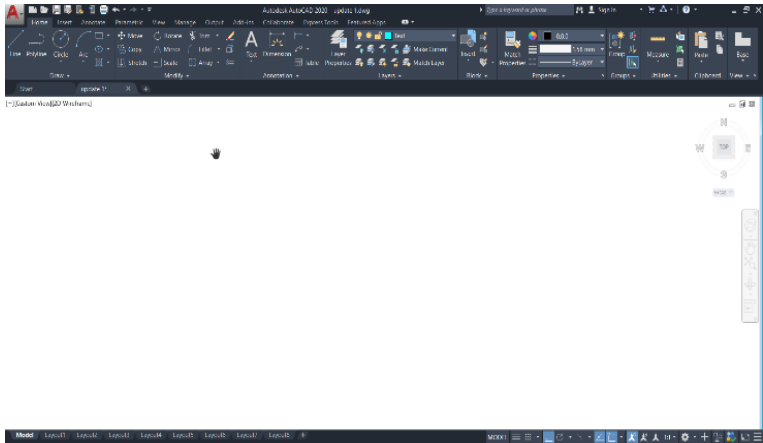
1. Buka software autocad, setelah keluar tampilan awal autocad & klik star drawing.



Gambar 4.4 Tampilan awal AutoCad

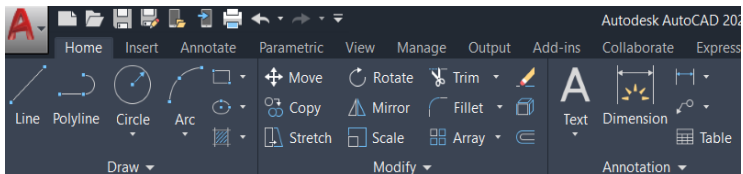


2. Maka akan tampil workspace yang akan digunakan untuk menggambar pada AutoCad.



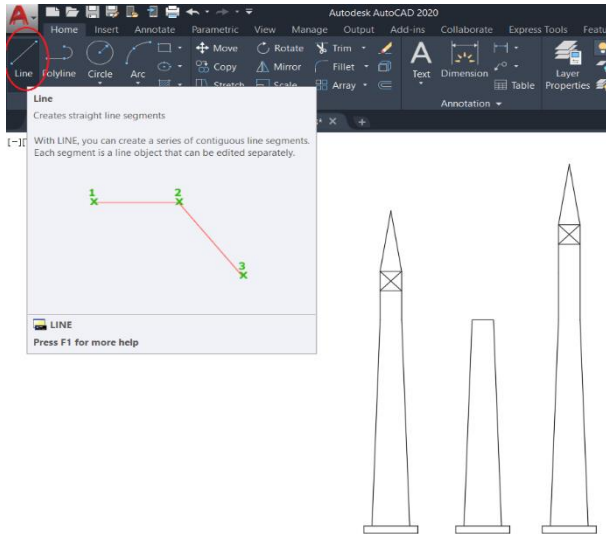
Gambar 4.5 Tampilan workspace AutoCad

3. Gunakan drawing tool untuk digunakan menggambar pada AutoCad.



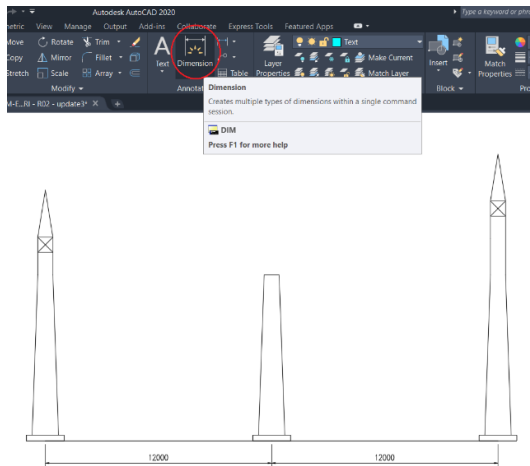
Gambar 4.6 Tampilan Drawing toll AutoCad

4. Klik **line** pada drawing tool, lalu membuat gambar berbentuk serandang gardu induk sesuai bentuk dan tinggi yang ada pada gardu induk.



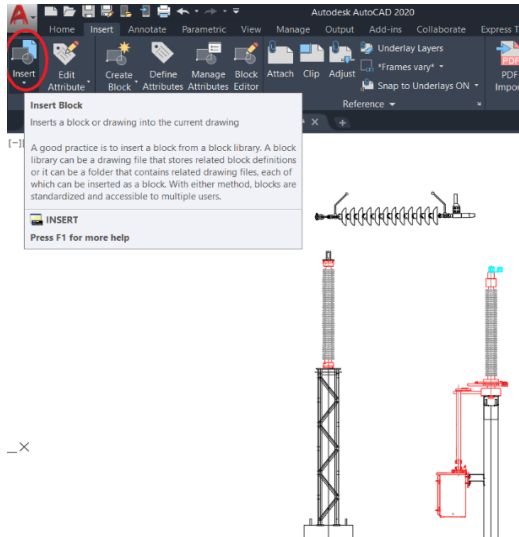
Gambar 4.7 Desain serandang gardu induk

5. Membuat jarak antar serandang gardu induk sesuai dengan jarak yang sudah ditentukan menggunakan tool **DIMENSION**.



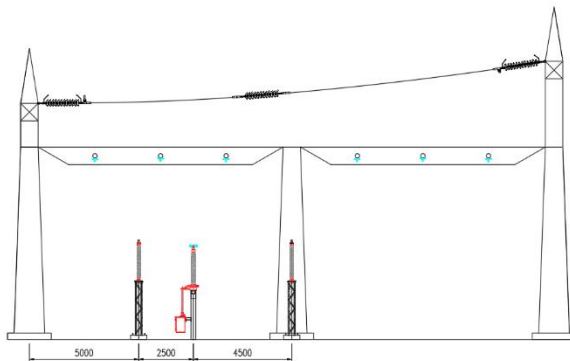
Gambar 4.8 Peletakan serandang sesuai jarak

6. Mencari gambar peralatan gardu induk, peralatan gardu induk dapat dicari pada insert tool lalu klik **insert**.



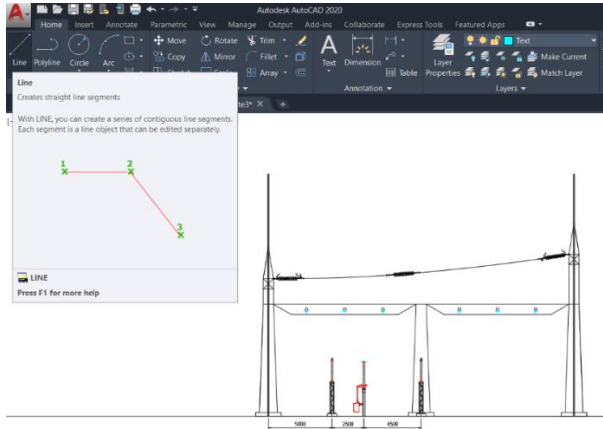
Gambar 4.9 Desain Pelaratan gardu induk

7. Meletakkan peralatan gardu induk sesuai jarak yang sudah ditentukan pada pada serandang gardu induk.



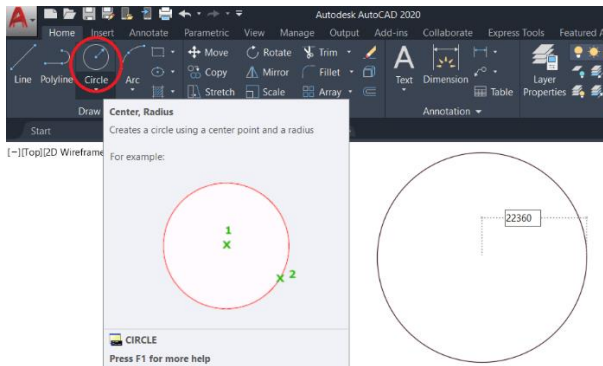
Gambar 4.10 Peletakan peralatan pada serandang gardu induk

8. Menggambar tiang penangkal petir menggunakan drawing tool **line** secara vertikal setinggi yang sudah diperhitungkan dan diletakan pada tengah-tengah serandang gardu induk.



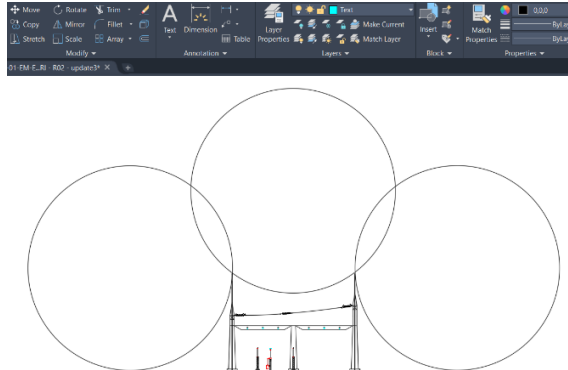
Gambar 4.11 Peletakan tiang penangkal petir pada serandang gardu induk

9. Membuat lingkaran yang akan menjadi *sphere radius* sambaran petir. pada Drawing tool klik **circle** lalu buat radius lingkaran sebesar 22360 mm.



Gambar 4.12 Membuat lingkaran sphere radius

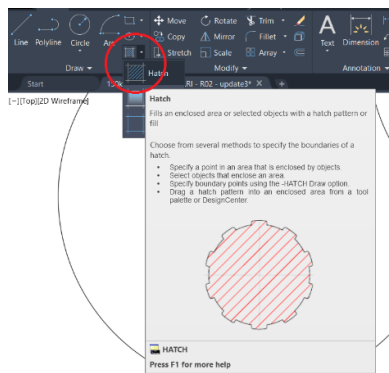
10. Letakan lingkaran pada titik singgung lingkaran dengan objek, yaitu antara tiang dengan tiang dan tiang dengan tanah.



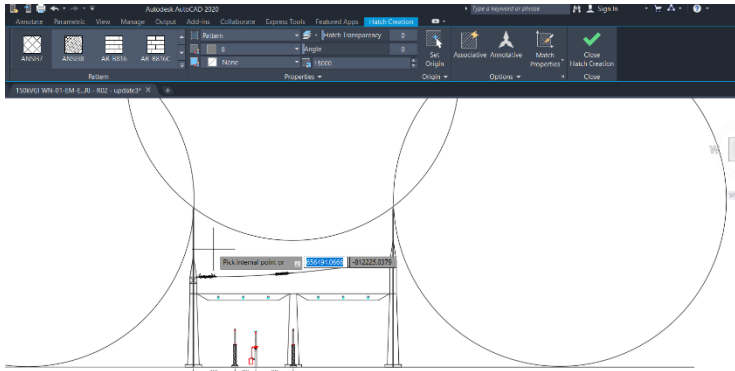
Gambar 4.13 Peletakan lingkaran pada objek

11. Membuat arsiran daerah yang akan terlindungi oleh sambaran petir yang berada dibawah permukaan lengkung lingkaran.

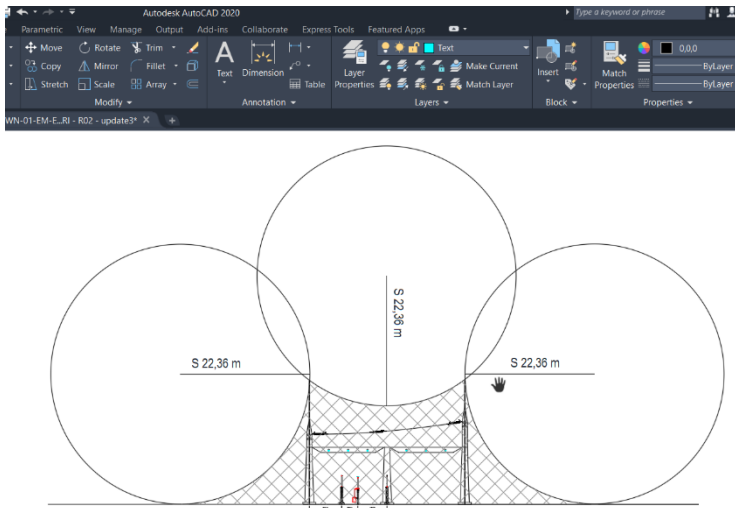
- Pada drawing tool klik **Hatch**.
- Setelah masuk pada **Hatch creation** tool.
- Lalu pilih arsiran standar ANSI37.
- Letakan pada cursor dibawah lengkung lingkaran, software akan otomatis mengansir daerah tersebut.



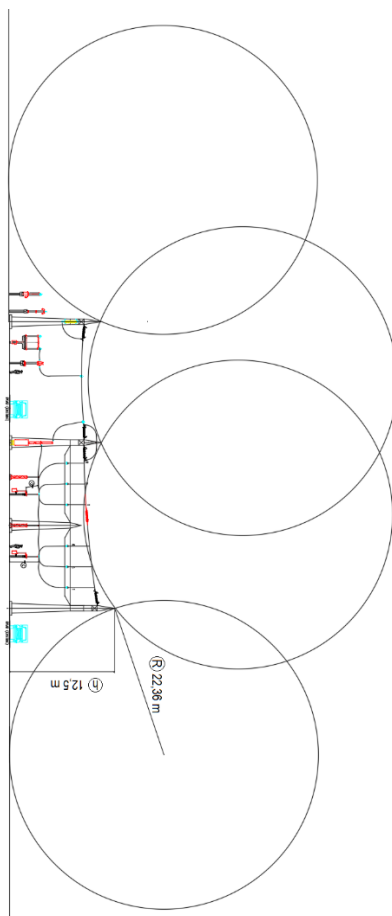
Gambar 4.14 Hatch tool



Gambar 4.15 Tampilan hatch tool

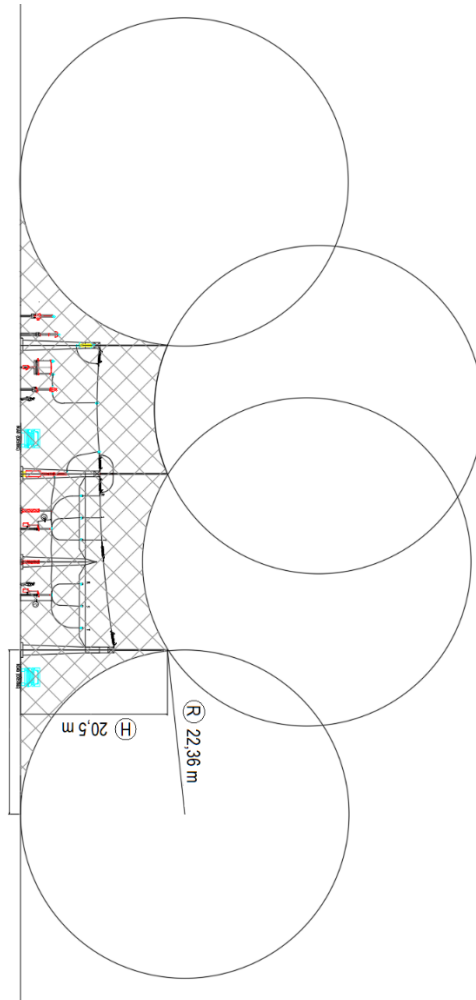


Gambar 4.16 Arsiran daerah perlindungan



Gambar 4.17 Penggunaan metode Rolling Sphere pada Gardu Induk  
Tampak Lebar Samping sebelum Menggunakan tiang

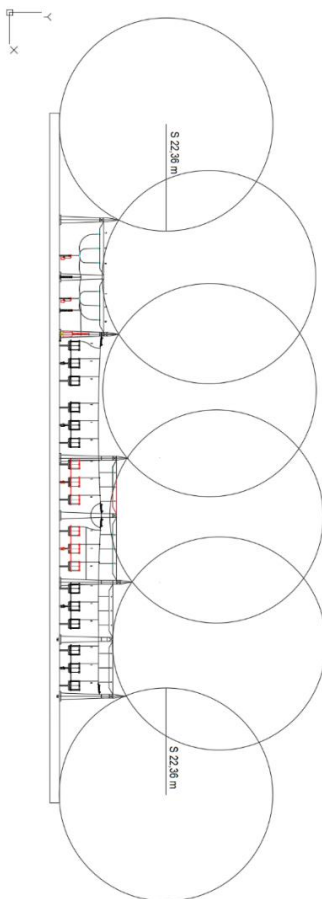
Pada gambar 4.17 terlihat serandang dan busbar pada gardu induk menyentuh *radius sphere* bola, sehingga diperlukan proteksi untuk melindungi daerah kritis tersebut menggunakan tiang penangkal petir. Dengan melakukan optimasi perhitungan sesuai standar IEEE 998-1996 dengan objek yang dilindungi setinggi 12,5 m maka perlu tiang setinggi 20,5 m.



Gambar 4.18 Penggunaan metode Rolling Sphere pada Gardu Induk Tampak Lebar Samping Sesudah Menggunakan tiang

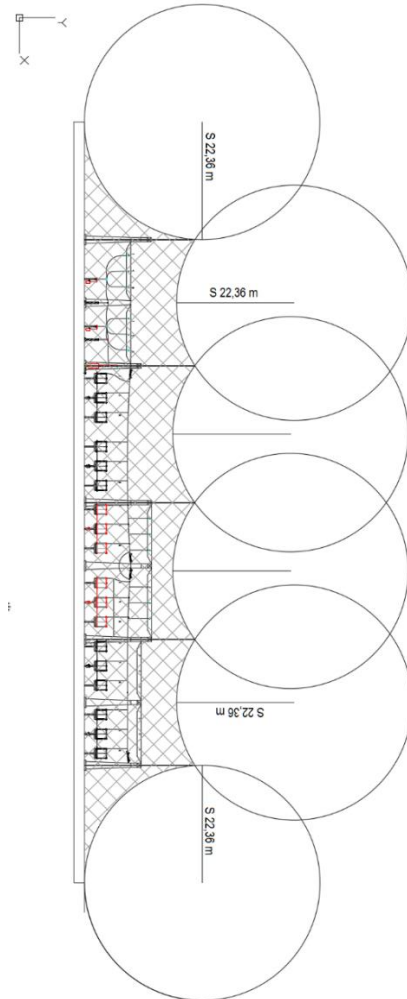
Pada gambar 4.18 gardu induk sudah terpasang tiang penangkal petir dengan tinggi 20,5 m sehingga bola dengan radius sphere 22,36 m sudah tidak menyentuh peralatan gardu induk.





Gambar 4.19 Penggunaan metode Rolling Sphere pada Gardu Induk  
Tampak Panjang Samping sebelum Menggunakan tiang

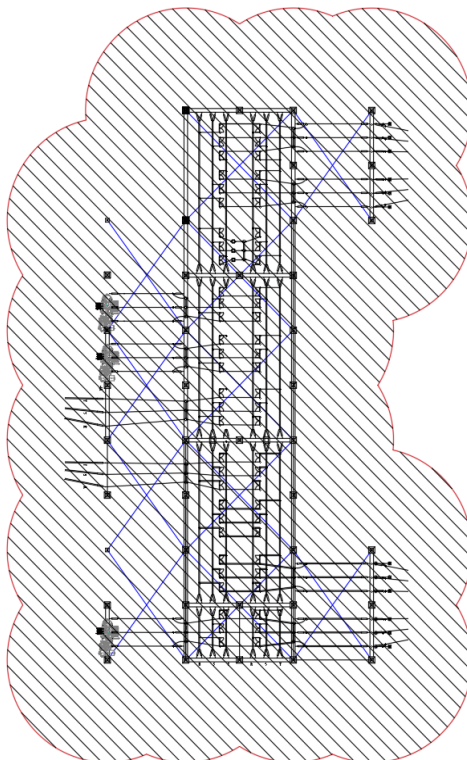
Pada gambar 4.19 terlihat serandang dan busbar pada gardu induk menyentuh *radius sphere* bola, sehingga diperlukan proteksi untuk melindungi daerah kritis tersebut menggunakan tiang penangkal petir. Dengan melakukan optimasi perhitungan sesuai standar IEEE 998-1996 dengan objek yang dilindungi setinggi 12,5 m maka perlu tiang setinggi 20,5 m.



Gambar 4.20 Penggunaan metode Rolling Sphere pada Gardu Induk  
Tampak Panjang Samping Sesudah Menggunakan Tiang

Pada gambar 4.20 gardu induk sudah terpasang tiang penangkal petir dengan tinggi 20,5 m sehingga bola dengan radius sphere 22,36 m

sudah tidak menyentuh peralatan gardu induk.



Gambar 4.21 Hasil Zona Proteksi Menggunakan tiang 20.5 m  
Berdasarkan Metode Rolling Sphere Tampak Atas

Gambar diatas merupakan gambar dari posisi tiang penangkal petir. Model peletakan posisi tiang penangkal yang digunakan diatas yaitu model empat tiang penangkal petir pada tiap section. Pada gambar tersebut terdapat 21 titik yang dibutuhkan untuk melindungi area wilayah gardu induk Wonosari-Pedan. Dengan jarak pisah maksimum sebesar 24,24 meter, dengan tinggi tiang penangkal petir setinggi 20.5 meter. Untuk dapat memproteksi semua area gardu induk membutuhkan 21 tiang penangkal petir. Dari desain peletakan penangkal petir pada gambar

diatas area gardu dapat terlindungi dari sambaran petir langsung.

### 4.3 Perlindungan Gardu Induk Menggunakan Kawat Tanah

Untuk perlindungan menggunakan kawat tanah :

- 1) Menentukan nilai impedansi surja ( $Z_s$ ) dimana nilai ini dapat diambil dari perhitungan dengan persamaan (2.5) dengan  $Z_s = 389,2$  ohm.
- 2) Menghitung arus sambaran kritis ( $I_s$ ) dimana BIL = 650 kV Dengan persamaan (2.6) dapat dihitung arus sambaran kritisnya yang mana telah dihitung pada saat menentukan arus sambaran kritis dengan perlindungan tiang penangkal petir. Didapatkan

$$I_s = 3,67 \text{ kA}$$

- 3) Menghitung jarak sambaran ( $S$ ) yang akan menjadi sphere radius menghitung sphere radius menggunakan persamaan (2.7)

$$S = 8 \cdot k \cdot I_s^{0,65}$$

Dimana nilai  $k = 1,0$  untuk kawat tanah

$$S = 8 \times 1 \times 3,67^{0,65} = 18,63 \text{ m}$$

- 4) Jarak horisontal maksimum untuk satu kawat tanah

Untuk menghitung jarak horisontal maksimum satu kawat tanah dengan menggunakan persamaan (2.20), (2.21) dan (2.22) seperti berikut:

$$H = 17,8 \text{ m}$$

$$A = 12,5 \text{ m}$$

$$R = \sqrt{18,63^2 - (18,63 - 17,8)^2}$$

$$R = 18,62 \text{ m}$$

$$T = \sqrt{18,63 - (18,63 - 12,5)^2}$$

$$T = 17,6 \text{ m}$$

$$C = 18,62 - 17,6 = 1,0 \text{ m}$$

- 5) Jarak maksimum antara dua kawat tanah dapat dihitung dengan persamaan (2.23), (2.24), (2.25) dan (2.26)

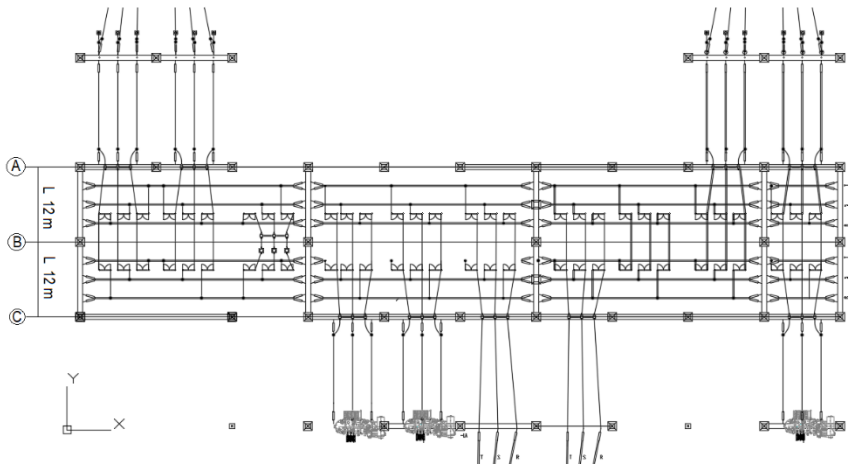
$$D = 17,8 - 12,5 = 5,3 \text{ m}$$

$$E = 18,63 - 5,3 = 13,3$$

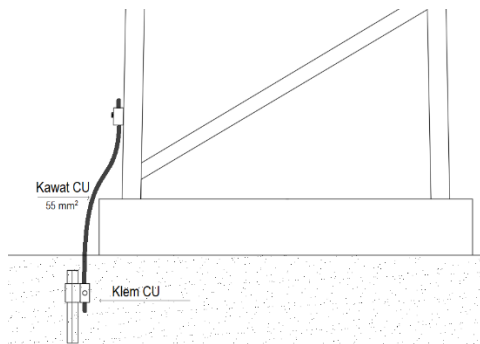
$$L = \sqrt{18,63^2 - 13,3^2} = 12 \text{ m}$$

$$X = 2 \times 12 = 24 \text{ m}$$

Nilai  $X$  merupakan jarak maksimum dari dua kawat tanah untuk perlindungan bus dengan tinggi 12,5 m.



Gambar 4.22 Layout kondisi pemasangan kawat tanah



Gambar 4.23 Penanaman kawat pentanahan

## Publikasi Yang Telah Dilakukan

Pada penelitian ini telah dilakukan publikasi yang diselenggarakan oleh Forum Program Studi Teknik Elektro se-Indonesia (FORTEI) Pada 06 Februari 2023 dengan keterangan sebagai berikut:

Jurnal	:	Jurnal FORTEI Regional VII Jawa Timur
Judul Page	:	Penggunaan Metode Rolling Sphere untuk Pengamanan Jaringan 150 kV dari Sambaran Petir Langsung
Jumlah Hal	:	Vol. 4 no.1, 20-29.
DOI	:	<a href="https://doi.org/10.32492/jeetech.v4i1.4104">https://doi.org/10.32492/jeetech.v4i1.4104</a>
Publikasi	:	JEETech



The image shows the website for the journal JEETech (Journal of Electrical Engineering And Technology). The header includes the journal title, ISSN numbers (e-ISSN: 2722-53 and p-ISSN: 2964-73), and navigation links like HOME, REGISTER, LOGIN, CURRENT, ARCHIVES, SUBMISSIONS, EDITORIAL TEAM, and ABOUT. The main content area displays the article title, authors (Irrine Budi Sulistiawati, M Zaid Sahlan Shaufi, and I Made Wartana), and the DOI link. A 'Call For Papers' banner is also visible on the right side of the article page.

**Gambar 4.24** Publikasi Jurnal Penelitian