

Studi Perbandingan Metode Penentuan Ketinggian Kawat Tanah Pada *Switchyard* Gardu Induk Konvensional

Adib Chumaidy

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri

Institut Sains dan Teknologi Nasional

Email : adib.chumaidy@gmail.com

Abstrak---Jumlah intensitas petir (IKL) di daerah Indonesia terutama di daerah Jawa Barat dan Banten cukup tinggi, diatas 100 kali/tahun/100 km², sehingga memerlukan suatu system proteksi untuk mencegah gangguan dari sambaran petir, salah satunya adalah sistem perisaian. Dalam sistem perisaian pada gardu induk sangat berkaitan erat dengan bentuk dari switchyard. Disain sistem perisaianya dilakukan dengan mengatur jarak kawat tanah dan ketinggian menara untuk mendapatkan ketinggian yang optimal. Definisi keadaan optimal dalam hal ini dibatasi pada keadaan dimana terjadi antara mutu yang tidak melewati titik batas toleransi teknis dan mempunyai efisiensi biaya. Disain sistem perisaian pada gardu induk diambil sebagai sebuah studi perbandingan antara beberapa metode, diantaranya Teori Elektrogeometri, Sudut Tetap, dan Kurva Empiris. Hasil perhitungan dan analisis menyimpulkan bahwa Teori Elektrogeometri dengan jarak lebar bay 28 m dan tinggi menara 18,994 m adalah pilihan terbaik dalam disain optimalisasi sistem perisaian, dibandingkan dengan teori yang lain dengan memenuhi kriteria mutu keamanan untuk jarak perisaian

Kata kunci--sistem perisaian switchyard, elektrogeometri, sudut tetap, kurva empiris.

Abstract--- The intensity total of lightning in Indonesia area, especially in West Java and Banten is quite high, above 100 times / year / 100 km², so it requires a protection system to prevent interference from lightning strikes, one of which is the shield system. The shield systems of substations is very closely related to the shape of the switchyard. The shield system design is done by adjusting the height of the tower and the ground wire to get the optimum altitude. The definition of an optimal state in this case is limited to the situation where there is the quality that is not beyond the point of tolerance has technical and cost efficiency. Its design is taken as a comparative study between several methods, including Elektrogeometri Theory, Fixed Angle, and Empirical curve. The calculation and analysis concluded that the theory Elektrogeometri with a distance of 28 m and a high tower of 18.994 m is the best choice in the design of system optimization, compared with other theories to meet the quality criteria for distance security shield.

Keywords—switchyard shield dystem, electrogeometri, fixed angle, empirical curve

1. PENDAHULUAN

Sebuah gardu induk, terutama gardu induk konvensional, sebagian besar peralatan utamanya berada di luar ruangan. Pengaturan instalasi switchgear luar ruangan (*outdoor*) dipengaruhi oleh pertimbangan ruang/lahan, keandalan pengoperasian yang dikehendaki, dan kemudahan operasi. Untuk mempertemukan kebutuhan-kebutuhan ini jenis *layout* (tata letak) gardu induk telah dikembangkan untuk masing-masing konfigurasi rel daya. Peralatan tersebut harus dilindungi dari gangguan yang berasal dari luar, kondisi alam terutama petir yang dapat mengakibatkan sistem menjadi tidak normal.

Diantara peralatan pengamanan dari gangguan yang berasal dari luar adalah kawat tanah. Kawat tanah menjadi pelindung dalam mengamankan sistem tenaga listrik, juga berperan dalam melindungi manusia maupun peralatan listrik terhadap gangguan petir.

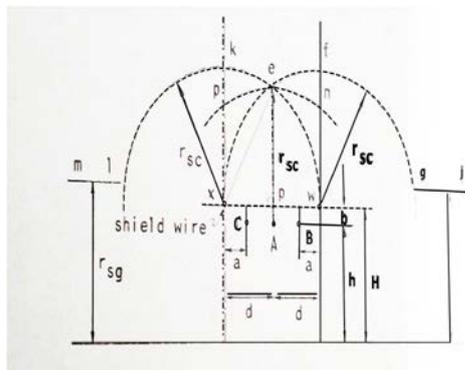
2. METODA

Dalam kasus tata letak gardu induk, sistem perisai dirancang untuk memberikan perlindungan yang efektif untuk busbar tertinggi, dan secara otomatis akan memberikan perlindungan yang efektif untuk busbar yang lebih rendah. Dengan demikian, sistem akan terlindungi dengan susunan dua kawat tanah yang terletak di tepi dari penghantar seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada model elektrogeometrik dari jalur transmisi, fasa tengah diasumsikan terlindungi oleh dua kawat tanah yang terletak berdekatan, dan dengan demikian busur paparan yang diperhitungkan hanya untuk fasa tepi saja. Hal ini tidak berlaku untuk model elektrogeometrik pada gardu induk yang ditunjukkan pada Gambar 1, dan dengan demikian persyaratan perisaian terbagi menjadi:

1) Melindungi sistem terhadap sambaran petir diantara 2 kawat tanah. Berdasarkan dari geometri perisaian, dapat ditunjukkan bahwa, jika 2 kawat tanah dirancang untuk memberikan perlindungan yang efektif untuk kawat fasa tengah, maka kawat fasa tepi akan secara otomatis

terlindungi secara lebih baik. Perisai semacam ini disebut "perisai kawat fasa tengah".



Gambar 1 : Perlindungan dari fasa tengah

2) Melindungi sistem dari sambaran yang mendekati sisi luar 2 kawat tanah. Untuk sambaran-sambaran ini maka perisai disebut sebagai "perisai dari fasa luar". Karena gardu induk biasanya terdiri dari beberapa bay, maka bagian ini hanya relevan untuk sisi kanan fasa dalam sampai sisi kanan terluar bay dan sisi kiri fasa dalam sampai sisi kiri terluar bay.

Untuk kedua persyaratan perisai yang disebutkan di atas, jika perisai tersebut dirancang untuk diberi arus petir kritis (I_c), maka secara otomatis perlindungan juga berguna untuk menangkal arus sambaran yang lebih tinggi, akan tetapi beberapa arus sambaran yang lebih rendah dapat menembus sistem perisai, tergantung pada lokasi sambarannya.

Gilman - Whitehead mendasarkan perisai dari jalur transmisi pada tinggi rata-rata dari konduktor sepanjang rentang. Karena pentingnya gardu induk, maka perisai pada gardu induk didasarkan pada 2 parameter, yaitu struktur pendukung dan jarak rentang tengah.

Untuk tujuan merancang perlindungan secara efektif, Gilman-Whitehead membuat model yang berbasis elektromeometri sebagai berikut:

- a) 90% sampai 95% dari sambaran petir ke bumi memiliki muatan negatif yang berada dibawah. Ini adalah asumsi dasar dalam penemuan arah tujuan sambaran petir berasal.
- b) Arus kilat kritis terhadap konduktor fasa, ditunjukkan oleh persamaan:

$$I_c = ICFO / (Z/2) \dots\dots\dots (1)$$

Dengan I_c adalah arus kilat kritis terhadap konduktor fasa, yaitu arus kilat minimum yang dapat menimbulkan flashover (kA). ICFO adalah tegangan flashover kritis impuls polaritas negatif, nilainya diperoleh dari standar level isolasi (*Basic Insulation Level*) dari peralatan (kV). Z adalah

impe-dansi surja sendiri dari konduktor fasa dalam satuan ohm.

Tabel 1 : Tabel Basic Insulation Level

Tegangan rated kVrms	Tegangan tertinggi untuk peralatan kVpeak	Tegangan rated lightning impuls withstand (BIL) kVrms
45	52	250
60	72,5	325
110	123	450
		550
150	170	650
		750
220	245	850
		950
		1050

Persamaan (1) dapat disederhanakan karena tegangan pada titik sambaran secara fisik dipengaruhi oleh refleksi dari menara yang berdekatan dan dari peralatan gardu, tapi Brown-Whitehead menyatakan bahwa alternatif tersebut tidak dapat dibenarkan karena tidak ada dasarnya. Gelombang impedansi (Z) didapat dari persamaan:

$$Z = 60 \ln (2hav/r) \dots\dots\dots (2)$$

Dengan Z adalah impedansi surja sendiri dari konduktor fasa (ohm). hav. adalah tinggi rata-rata dari konduktor fasa (m), tinggi di menara dikurangi dua-pertiga dari sag konduktor. r adalah jari-jari luar konduktor fase jika tunggal, atau jari-jari rata-rata geometris dari fase dalam kasus konduktor dibundel (m).

- c) Arus kilat kritis ke tanah resistans nol (I_{OC}) ditunjukkan oleh:

$$I_{OC} = 1,1 I_c \dots\dots\dots (3)$$

Dengan :

- I_{oc} = arus kilat kritis terhadap tanah resistans nol (kA)
- I_c = arus kilat kritis terhadap konduktor fasa (kA)

- d) Jarak sambaran efektif, bergantung oleh besarnya I_{OC} , dengan persamaan,

$$r_{sc} = 8,5 I_{OC}^{2/3} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan :

- r_{sc} = jarak sambaran efektif, yaitu jarak perlindungan efektif kawat tanah terhadap petir (m)

I_{oc} = arus kilat kritis terhadap tanah resistans nol (kA)

Persamaan (4) didapat berdasarkan pada persamaan sebelumnya untuk jarak sambaran rata-rata, dan diasumsi-kan bahwa standar deviasi dari jarak sambaran δ adalah 10%. Setiap variasi dalam kekuatan flashover kritis menara diasumsikan sudah dimasuk-kan dalam standar deviasi dari jarak sambaran δ .

e) Jarak sambaran efektif ke tanah (r_{sg}) adalah sebanding dengan jarak sambaran efektif untuk konduktor dan kawat tanah (r_{sc}) :

$$r_{sg} = K_{sg} r_{sc} = r_{sc} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan :

- r_{sg} = jarak sambaran efektif ke tanah (m)
- K_{sg} = konstanta jarak sambaran efektif ke tanah
- r_{sc} = jarak sambaran efektif (m)

GilmanWhitehead menyatakan bahwa penyimpangan permukaan terdistribusi secara acak membuat K_{sg} mendekati nilai 1, dan tidak ada data eksperimen yang menunjukkan sebaliknya.

f) Perisai dari fase tengah.

Dari Gambar 1 dapat ditunjukkan bahwa superelevasi minimum dari kawat tanah (ketinggian di atas konduktor fasa) yang diperlukan untuk perlindungan efektif ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini:

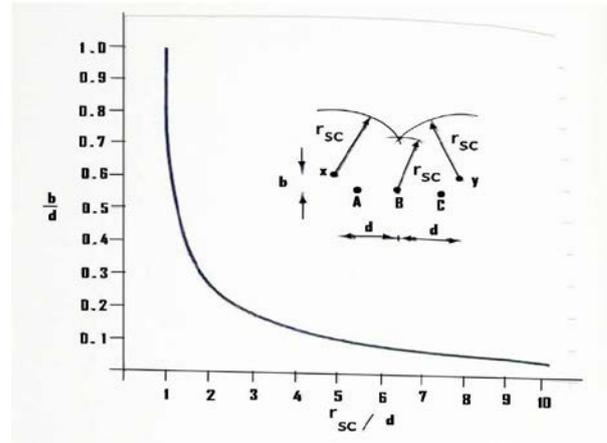
$$\frac{b_{min}}{d} = \frac{r_{SC}}{d} - \sqrt{\left(\frac{r_{SC}}{d}\right)^2 - 1} \dots\dots (6)$$

Dengan :

- b_{min} = superelevasi minimum (m)
- d = setengah jarak antara kabel ground (m)
- r_{sc} = jarak sambaran efektif (m)

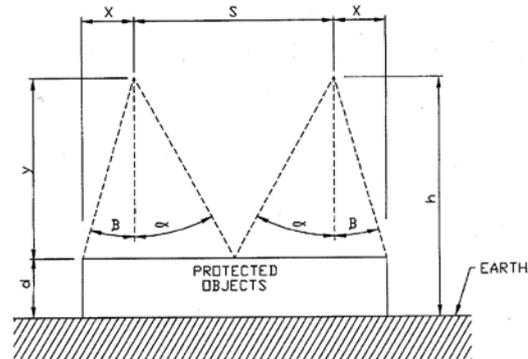
Pada persamaan (6) menunjukkan bahwa persyaratan perisai dari fase tengah bersifat independen dari ketinggian konduktor di atas tanah. Jika persamaan (6) dimasukkan pada Gambar (2), dimana dapat dilihat bahwa superelevasi (b) menjadi sangat tinggi jika rasio r_{sc} / d mendekati nilai 1, sehingga menghasilkan jarak kawat tanah yang dipilih sedemikian rupa :

$$(r_{sc} / d) > 1,5 \dots\dots\dots (7)$$

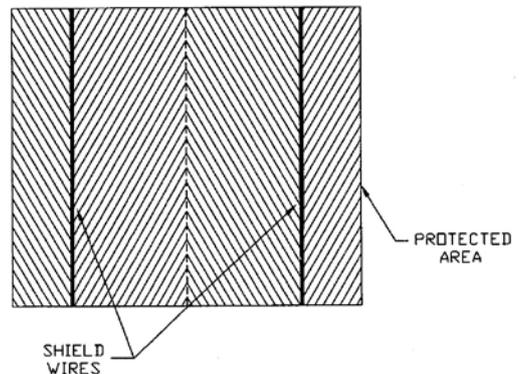


Gambar 2 : Superelevasi kawat tanah dibandingkan jarak sambaran efektif (dalam bentuk normal)

Pada Metode Empiris dengan Sudut tetap, area yang dilindungi oleh rod dibatasi oleh permukaan melengkung dari pada sebuah permukaan seperti permukaan pesawat. Kemungkinan besar, karena saat itu penggunaan sudut tetap awalnya digunakan oleh para desainer sebagai perkiraan batas perlindungan aman terhadap sambaran petir.



a)



b)

Gambar 3: sudut tetap untuk kawat perisai
a. Tampak depan, b. Tampak atas

Metode desain sudut tetap menggunakan sudut vertikal untuk menentukan jumlah, posisi, dan tinggi kawat perisai atau tiang. Gambar 3 mengilustrasikan metode untuk kawat perisai. Sudut yang digunakan ditentukan oleh tingkat paparan petir, pentingnya gardu yang akan dilindungi, dan daerah fisik yang ditempati oleh gardu tersebut. Nilai sudut alpha yg umum digunakan adalah 45 ° dan 30 °, sedangkan sudut beta menggunakan sudut 45 °.

Para desainer menggunakan metode sudut tetap mungkin ingin mengurangi sudut perisai seperti meningkatkan ketinggian struktur untuk mempertahankan tingkat kegagalan yang rendah. Horvath, menggunakan EGM, dengan perhitungan kegagalan perisai sebagai fungsi dari ketinggian konduktor di atas tanah dan sudut pelindung untuk jalur transmisi. Seperti dapat dilihat dari Tabel 2, sudut pelindung harus diturunkan dan kawat tanah dinaikkan untuk menjaga tingkat kegagalan seragam.

Tabel 2 : Tabel kalkulasi frekuensi kegagalan perisai sebagai fungsi dari ketinggian kawat tanah

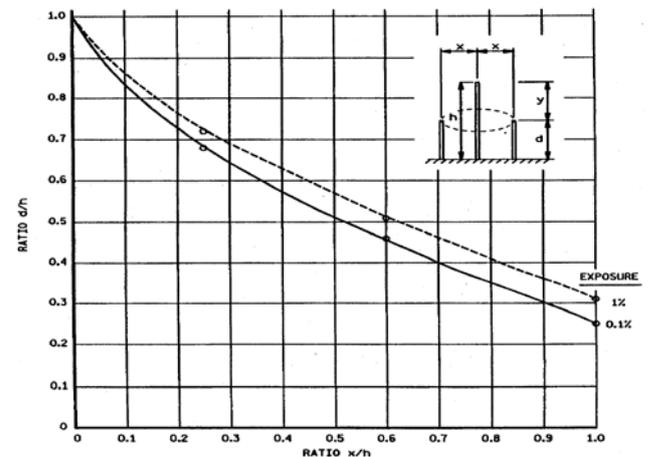
Height of earth wire in m	Shielding failure/100 km per year with protective angle:						
	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
10	0	0	1.1E-4	0.0087	0.0383	0.1032	0.2286
15	0	6.4E-5	0.0068	0.0351	0.0982	0.2182	0.4483
20	8.3E-6	0.0026	0.0214	0.0711	0.1695	0.3466	0.6903
25	0.0011	0.0087	0.0404	0.1123	0.2468	0.4819	0.9429
30	0.0035	0.0170	0.0620	0.1565	0.3275	0.6208	1.2008
35	0.0069	0.0269	0.0853	0.2024	0.4100	0.7616	1.4608
40	0.0109	0.0378	0.1096	0.2494	0.4936	0.9035	1.7214
45	0.0155	0.0493	0.1345	0.2969	0.5776	1.0462	1.9820
50	0.0204	0.0612	0.1598	0.3447	0.6619	1.1892	2.2423

Source: [B42]. Reprinted with permission of Research Studies Press Ltd.

Horvath menunjukkan bahwa sudut pro-teksi dari 40° - 45° untuk ketinggian kawat tanah sampai 15 m (49 kaki), 30° untuk ketinggian antara 15-25 m (49-82 ft), dan kurang dari 20° untuk ketinggian pada hingga 50 m (164 ft). Dengan tingkat kegagalan 0,1-0,2 kegagalan perisai/100 km/tahun diasumsikan dalam rekomenda-si ini. Horvath tidak menyatakan kerapatan kilat ke tanah yg digunakan dalam contoh. Pendekatan ini juga dapat digunakan untuk memilih sudut perisai untuk kawat tanah di gardu. Pendekatan serupa dapat digunakan untuk menerapkan tiang petir di gardu.

Pada Metode Kurva empiris, tes model skala dilakukan menggunakan sebuah 1-1/2 '40 μs impuls positif untuk memulai pelepasan muatan dari rod (mewakili awan bermuatan) ke ground plane atau kawat perisai horisontal dan konduktor yang terletak di dekat elektroda. Jarak relatif dari elektroda, kawat perisai, dan konduktor bervariasi dengan masing-masing pelepasan muatan sehingga menghasilkan database yang memadai untuk analisis. Plot yang dibuat dari Data Base ini menunjukkan persentase dari sambaran pelepasan muatan kawat perisai, konduktor, atau bidang tanah.

Dari studi lapangan tes petir dan model laboratorium, kurva empiris telah dikembangkan untuk menentukan jumlah, posisi, tinggi kawat dan tiang perisai. Kurva yang dikembangkan untuk melindungi dengan tingkat kegagalan dari 0,1; 1,0; 5,0; 10; dan 15 %. Tingkat kegagalan 0,1 % umumnya digunakan dalam desain. Sebagai contoh, dalam gambar (4), titik data dari studi penelitian muncul yang akan diplot dengan nilai $x / h = 0,25 ; 0,6$ dan $1,0$. Pada nilai x / h sebesar $0,6$ d / h diperkirakan bernilai $0,46$ untuk tingkat kegagalan $0,1\%$.

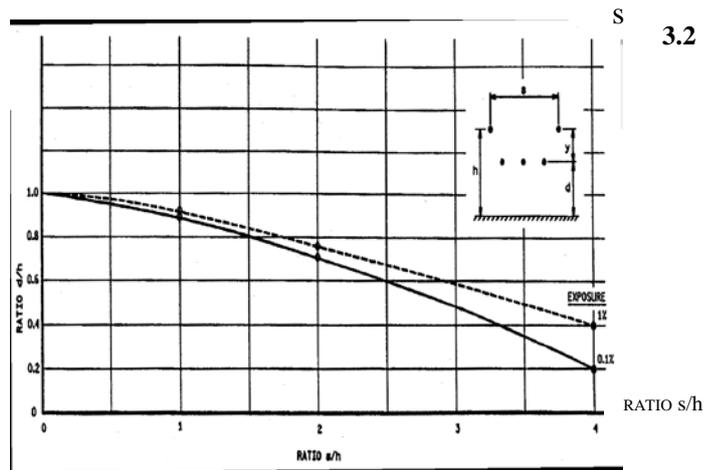


Gambar 4: Perlindungan objek terhadap sambaran petir oleh tiang penangkal tunggal

Keterangan :

- x = jarak tiang penangkal ke peralatan
- h = tinggi tiang penangkal dari tanah
- y = jarak antara tinggi tiang penangkal dan tinggi peralatan
- d = tinggi peralatan dari tanah
- rasio x/h = perbandingan antara jarak dan tinggi tiang penangkal
- rasio d/h = merupakan hasil rasio untuk tingkat kegagalan yang diinginkan

Untuk grafik perisai oleh 2 kawat tanah ditunjukkan pada Gambar (5) dibawah ini.



Gambar 5 : Perlindungan kawat konduktor menggunakan 2 kawat

Keterangan :

s = jarak antar kawat tanah

h = tinggi kawat tanah dari tanah

y = jarak antara tinggi kawat tanah dan tinggi konduktor

d = tinggi peralatan dari tanah

rasio s/h = perbandingan antara jarak dan tinggi tiang penangkal

rasio d/h = perbandingan antara jarak antar kawat tanah dan tinggi kawat tanah dari tanah.

3. HASIL DAN BAHASAN

3.1 Spesifikasi data menara

Tabel 3: Spesifikasi serangdang pada Switchyard Gardu Induk Rangkasbitung Baru

No	Nama Peralatan	Ukuran
1	Tinggi menara	18 m
2	Tinggi kwt fasa menara	13 m
3	Penampang kawat fasa (Al, jenis AAC Lupine)	$2,315 \cdot 10^{-2}$ m
4	Penampang kawat tanah	55 mm^2
5	Lebar bay	14 m
6	Jarak antar kawat fasa dan kawat tanah	5 m
7	Jumlah bay	8 bay
8	Jumlah kawat tanah	25: $9 \text{ pj} + 16 \text{ lb}$
9	Andongan kawat fasa	0,7 m
10	Andongan kawat tanah	0 m

Tabel 3 diatas merupakan data spesifikasi menara pada switchyard Gardu Induk 150 kV Rangkasbitung Baru yang akan dibahas dibawah ini.

3.2 Perhitungan ketinggian kawat tanah menurut teori AH Mousa

1. Perhitungan impedansi gelombang fase konduktor tertinggi ke tanah, dgn menggunakan persamaan (2):

$$Z = 60 \ln(2h_{av}/r)$$

$$\begin{aligned} h_{av} &= h - 2/3 (Sc) \\ &= 13 - 2/3 \times 0,7 \\ &= 13 - 0,467 \\ &= 12,533 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 60 \ln(2 \times 12,533 / (2,315 \times 10^{-2})) \\ &= 60 \times \ln 1082,764 \\ &= 60 \times 6,987 \\ &= 419,22 \text{ ohm} \end{aligned}$$

2. Perhitungan I_c dengan memakai persamaan (1) dan dari tabel (1) di-dapat nilai IFCO untuk tegangan 150 kV = 750 kV:

$$\begin{aligned} I_c &= ICFO / (Z/2) \\ I_c &= 750 / (419,22/2) \\ &= 750 / 209,61 \\ &= 3,578 \text{ kA} \end{aligned}$$

3. Perhitungan rasio r_{sc}/d terhadap I_c dan lebar bay (2d) dengan meng-gunakan persamaan (3) dan (4):

$$\begin{aligned} I_{oc} &= 1,1 I_c \\ &= 1,1 \times 3,578 \\ &= 3,9358 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{sc} &= 8,5 I_{oc}^{2/3} \\ &= 8,5 \times 3,9358^{2/3} \\ &= 8,5 \times 2,4928 \\ &= 21,1888 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{sc} / d &= 21,1888 / 7 \\ &= 3,027 \text{ (memenuhi syarat berdasarkan persamaan 7)} \end{aligned}$$

4. Penentuan ketinggian kawat tanah pada struktur menara pendukung (b) menggunakan persamaan (6):

$$\frac{b}{t} = \frac{r_{sc}}{d} - \sqrt{\left(\frac{r_{sc}}{d}\right)^2 - 1}$$

$$\begin{aligned} bt / d &= 3,027 - \{(3,027)^2 - 1\}^{1/2} \\ &= 3,027 - 2,857 \\ &= 0,17 \text{ m} \end{aligned}$$

$$bt = 0,17 \times 7 = 1,19 \text{ m}$$

5. Penentuan jarak antara kawat tanah dan kawat fasa pada pertengahan rentang:

$$2d' = 2d + 2(\text{sag of groundwire}) \sin \alpha$$

$$= 2 \times 7 + 2 \times 0 \times \sin \alpha$$

$$= 14 \text{ m}$$

$$b_{\text{mid}} = b_t + S_c$$

$$= 1,19 + 0,7$$

$$= 1,89 \text{ m}$$

6. Perhitungan *andongan* yang diperlukan antara konduktor dan kawat tanah:

$$\text{Sag} = b_{\text{mid}} - b_t$$

$$= 1,89 - 1,19$$

$$= 0,7 \text{ m}$$

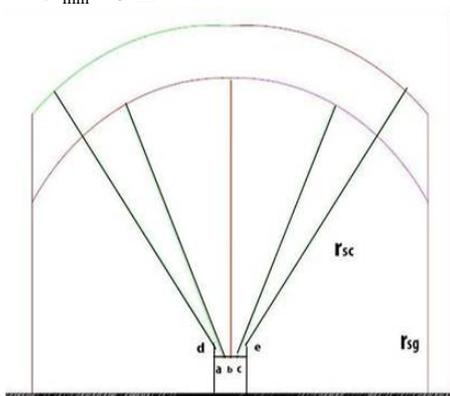
7. Penentuan superelevasi kawattanah dengan kawat fasa berdasarkan persyaratan aman mekanik dan listrik:

$$b'_{\text{min}} = \sqrt{c^2 - a^2}$$

Jarak horisontal antara kawat fasa dan kawat tanah (a) adalah 4 m, sedangkan tinggi kawat tanah yaitu 5 m. Maka jarak sisi miring antara kawat tanah dan kawat fasa (c) adalah 6,4 m, maka:

$$b'_{\text{min}} = (6,4^2 - 4^2)^{1/2}$$

$$b'_{\text{min}} = 5 \text{ m}$$



Gambar 6 : jarak sambaran efektif dengan lebar d

3.3 Perhitungan ketinggian kawat tanah memakai Metode Empiris Sudut Tetap

Berdasarkan Tabel 3 ketinggian kawat tanah dari tanah adalah 18 meter. Penentuan sudut perlindungan kawat tanah dengan menggunakan Tabel 2 milik Horvath, dengan tingkat kegagalan yaitu 0,1-0,2 kegagalan perisaian / 100 km / tahun. Berdasarkan Tabel (2) milik Horvath, dengan

tingkat kegagalan 0,1-0,2 untuk ketinggian 18 meter tidak tercantum, untuk itu, maka sudut yang dipakai pada ketinggian kawat tanah 18 meter, (α) adalah:

$$\alpha = 35 + \left(\frac{15}{20} \times [40 - 35] \right)^0$$

$$\alpha = 38,75^0$$

Penghitungan besarnya daerah yang terlindungi berdasarkan besarnya sudut perlindungan pada langkah 2 dan tingkat kegagalan pada langkah 3. Untuk mencari jangkauan perlindungan menggunakan rumus trigonometri tangen. Jangkauan objek yang dilindungi (s) = (jarak antara kawat tanah - kawat fasa teratas) x tangen α

$$s = 5 \times \tan 38,75^0$$

$$s = 5 \times 0,8$$

$$s = 4,0 \text{ m}$$

Jadi masing-masing kawat memiliki jarak perisaian sepanjang 4,0 meter ke kiri dan ke kanan.

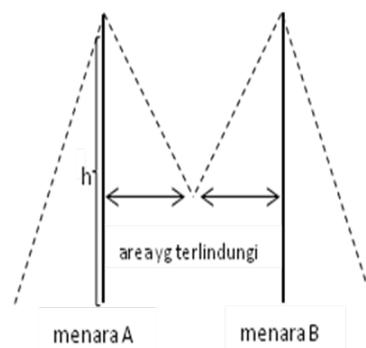
Jika besarnya sudut perlindungan belum mencakup seluruh peralatan, maka perlu di hitung ulang ketinggian kawat tanah dengan menaikkan ketinggiannya. Agar semua daerah terlindungi, maka tinggi kawat tanah harus di naikkan setinggi 5 meter lagi dan menggunakan sudut tangen 35^0 untuk tingkat kegagalan 0,2 , sehingga jangkauan objek yang dilindungi (s) = (jarak antara kawat tanah & kawat

fasa teratas) x tangen α .

$$s = 10 \times \tan 35^0$$

$$s = 7 \text{ meter}$$

Dengan perisaian 2 kawat tanah, maka masing-masing kawat memiliki jarak perisaian sepanjang 7 meter kekiri & kekanan, sehingga perisaianya terpenuhi.



Gambar 7 : Ilustrasi area yang terlindungi oleh sudut tetap.

3.4 Perhitungan ketinggian kawat tanah memakai Metode Kurva empiris

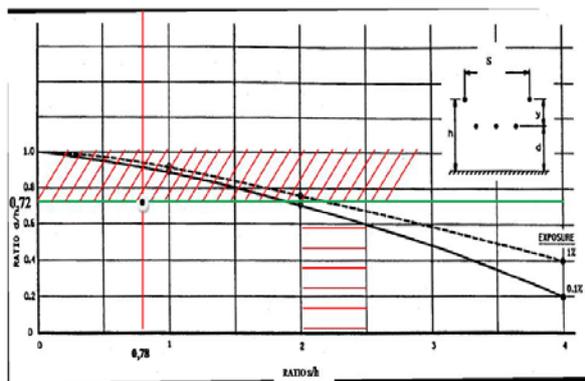
Kurva yang digunakan pada metode ini adalah kurva dengan menggunakan 2 kawat tanah seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Penentuan perbandingan antara jarak antar kawat tanah (s) dengan ketinggian kawat tanah dari tanah (h), dan perbandingan antara tinggi peralihan tertinggi (d) dengan tinggi kawat tanah dari tanah (h) dan menentukan tingkat kegagalan dari kurva yaitu 0,1-1%.

Berdasarkan gambar 5 dan gambar 8 didapatkan perbandingan s/h dan d/h sebagai berikut:

$$d/h = 13/18 = 0,72 \text{ (garis hijau)}$$

$$s/h = 14/18 = 0,78 \text{ (garis merah)}$$

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa daerah diarsir dan di dalam kurva adalah daerah aman, dgn tingkat exposure 0,1%.



Gambar 8 : Perlindungan konduktor horisontal oleh 2 kawat perisai

Keterangan :

- d (ketinggian konduktor teratas) = 13 m
- h (tinggi kawat tanah dari tanah) = 18 m
- y (jarak vertikal kawat tanah dan konduktor teratas) = 5 m
- s (jarak antar kawat tanah) = 14 m

Tabel 4: Perbandingan setelan kawat tanah

Setelan	Teori Elektrogeometri	Teori Sudut tetap	Teori Empiris
Lebar kawat tanah	Rasio $r_{sc} / d = 3,027$ dg $d=14$ meter	$d = 14m$	$s = 14$ m (eksposur 0,1 %)
Ketinggian kawat tanah	18,994 meter (langkah 4)	20 m	18 m
Jumlah kawat	21	25	25

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil studi yang dilakukan di GI Rangkasbitung Baru mengenai perhitungan ketinggian kawat tanah pada serandang 150 kV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Kawat Tanah yang terpasang pada serandang Switchyard telah memenuhi syarat perlindungan berdasarkan Teori Elektrogeometri dengan rasio r_{sc} / d adalah 3,027 dengan ketinggian 18,994 meter dan Teori Kurva Empiris dengan nilai rasio d/h adalah 0,72 dan s/h adalah 0,78 berada dalam daerah kurva yang diperbolehkan.

Sedangkan ketinggian kawat tanah menurut teori sudut tetap, belum memenuhi syarat dan harus dinaikkan tinggi menara menjadi 7 meter (20 meter dari tanah) dari awalnya 5 meter (18 meter dari tanah), untuk memenuhi sudut perlindungan 35° .

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ali. Khasan, 2000. *Efektifitas Perlindungan SUTET 500 kV Terhadap Sambaran Petir ditinjau Dari Letak Kawat Tanah Dengan Metode Whitehead*, Jakarta.
- [2]. Crispino Joe, 2007. *Rolling Spheres Method for Lightning Protection*.
- [3]. Hermawan. Surya Agung, 2000. *Perhitungan Lightning Performance Dengan Metode Brown Pada SUTT 150 kV Sunyaragi – Mandirancan*, Jakarta.
- [4]. Mousa.A.M, 1976. *Shielding of High-Voltage and Extra-HightVoltage Substations*, IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS -95.
- [5]. McDonald. J. D. 2003. *Electric Power Substations Engineering*. CRC Press ,USA.
- [6]. Mousa.A.M, K.D. Srivastava, 1988. *A Revised Electrogeometric Model for The Termination of Lightning Strokes on ground Objects*, Canada.
- [7]. Mustofa. Arif, 2011. *Perlindungan Sambaran Petir pada SUTT 150 kV untuk Beragam Karakteristik Sambaran*, Surabaya.
- [8]. Tanpa Nama, 2000. *Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*”, Second edition 2000-03. International Electrotechnical Commission, IEC 60076-3.
- [9]. Tanpa Nama, 2006. *Pemetaan IKL di Indonesia tahun 1991 sampai 2006*. Badan Meteorologi dan Geofisika
- [10]. Wagner. C.F and G.D. McCann, 1941. *“Lightning Pheno-mena”*, IEEE, August.Vol-60.

- [11]. Young, F. S, J. M. Clayton, A. R. Hileman, 1963. *Shielding of Transmission Lines*. IEEE Conference Paper.