

## Penggunaan Kawat Tanah untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Jaringan Tegangan Menengah terhadap Sambaran Petir

Reynaldo Zoro

Laboratorium Teknik Tegangan dan Arus Tinggi

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung – Jln. Ganesha no. 10 Bandung - 40132

Email: reynaldozoro@yahoo.com

### Abstrak

*Sambaran petir ke jaringan distribusi akan menyebabkan tegangan lebih akibat sambaran langsung maupun tidak langsung. Menurut beberapa peneliti lebih dari 80% gangguan di jaringan tegangan menengah 20 kV terjadi akibat sambaran dekat jaringan. Pemasangan kawat tanah dapat mengurangi tegangan lebih yang terjadi pada jaringan. Penelitian penggunaan kawat tanah untuk meningkatkan keandalan jaringan pada jaringan tegangan menengah dilakukan pada penyulang Kapur dan penyulang Beton di daerah Depok dan di daerah Bogor dibagian selatan Jakarta. Dilaporkan telah terjadi banyak kegagalan pada jaringan tegangan menengah akibat sambaran petir. Jaringan tegangan menengah saat ini tidak menggunakan kawat tanah. Dalam penelitian ini dilakukan enam scenario untuk dapat memilih peletakan dan jumlah kawat tanah terbaik yang akan dipasang pada kedua penyulang. Pengaruh sambaran petir langsung dan induksi pada ke enam scenario ini akan dibandingkan dan dianalisa sehingga jumlah, luas penampang dan posisi kawat tanah terhadap kawat phasa dapat ditentukan. Data sambaran petir lokal diperoleh dari dari Jaringan Deteksi Petir Nasional dan analisa sambaran langsung dan induksi digunakan formula dari Rusck. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kawat tanah akan meningkatkan unjuk kerja minimum 26% hanya dengan pemasangan satu kawat tanah dan unjuk kerja maksimum sebesar 75% dapat diperoleh dengan pemasangan dua kawat tanah pada jaringan. Pengukuran lapangan dengan pemasangan kawat tanah pada kedua penyulang telah memberikan hasil yang sangat baik dengan berkurangnya gangguan sebesar 30-60% untuk penelitian selama satu tahun.*

**Kata kunci:** Kerapatan sambaran petir, kegagalan perlindungan, tingkat gangguan, posisi kawat tanah, dan peningkatan unjuk kerja jaringan.

### Abstract

*Lightning strikes to the distribution lines can produce over voltages due to direct or indirect strikes. For medium voltage 20 kV lines according to some researchers more than 80% of the failures caused by indirect nearby strikes. Installation of earth wires can reduce over voltages to the lines. A Study on Application of earth wire to improve the lightning performance on medium voltage lines was carried out at feeder Kapur and feeder Beton located in the area of Depok and Bogor at south side of Jakarta which has very high lightning density and has recorded a lot of failures due lightning since the lines. No earth wire installed on any lines in this area. To choose the suitable earth wire installation six different scenario was made. This scenario will be applied to these two feeders to get the number and the best position of earth wire. The influence of the direct strikes and induction of lightning strikes of these six scenarios will be compared and the number of earth wire, position of earth wire to the phase wire at the pole and the size of the conductors will be determined. The tropical local lightning data derived from Indonesian Lightning Detection System and the Rusck formula were used for this analysis. The results of the study shows that the additional of earth wire improved the performance of the system with minimum of 26% by installing only one earth wire and the maximum performance can be achieved till 75% by installing two earth wire on the lines. Field measurement by installing the earth wire on both lines has given the significant results that the scenarion 6 has reduced the failures to 30%-60% for one year observation.*

**Keywords:** Lightning density, shielding factors, flashover rate, earth wire position and line reliability improvement

## 1. Pendahuluan

Petir seringkali terjadi pada saat badai hujan, badai salju dan fenomena-fenomena alam lainnya, namun secara umum hujan badai merupakan penyebab utamanya. Petir dapat berupa petir *intra-cloud* (di dalam awan), *cloud to cloud* (antar awan), *cloud to ground* (awan ke tanah). Walaupun petir *intra-cloud* merupakan jenis petir yang seringkali terjadi, petir jenis *cloud to ground* merupakan petir yang sering kali menimbulkan kegagalan pada jaringan distribusi.

Di seluruh dunia aktifitas petir bisa didapatkan melalui data *isokeraunic level* (jumlah hari guruh per-tahun). Untuk wilayah Depok yang berada di daerah Jakarta Selatan dengan jaringan distribusi sangat luas yang menghubungkan banyak gardu telah tercatat bahwa petir merupakan penyebab seringkali terjadi kegagalan pada sistem ini. Sebuah studi telah dilakukan dan implementasi peningkatan tersebut sudah dilaksanakan pada penyulang Kapur. Penyulang ini melalui daerah dengan kerapatan petir tinggi dan tercatat sebagai penyulang dengan tingkat gangguan tertinggi. Perbaikan kualitas ini selesai pada akhir 2002, dan sejak awal 2003, penyulang telah beroperasi dengan sistem proteksi yang baru, yang telah direkomendasikan studi tersebut. Implementasi dilakukan hanya pada bagian penyulang yang terletak di daerah dengan kerapatan petir tinggi sesuai dengan data petir lokal.

Studi yang dilakukan secara menyeluruh adalah terhadap pemasangan kawat tanah sebagai salah satu solusi untuk mengurangi tingkat kegagalan sistem akibat petir dengan metode perbandingan secara langsung terhadap kondisi sebelum pemasangan lalu dianalisis secara empiris dengan acuan *IEEE Guide for Improving Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines*.

## 2. Gangguan Petir terhadap Jaringan Tegangan Menengah

Tegangan lebih pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu:

1. Sambaran langsung (*Direct Strike*) : sambaran petir yang mengenai langsung bagian dari saluran udara, seperti kawat phasa, kawat tanah, atau tiang.
2. Sambaran tidak langsung (*Indirect Strike*) : sambaran petir dekat dengan saluran dan tidak mengenai bagian apapun dari saluran udara, tegangan lebih terjadi akibat induksi.

### 2.1. Sambaran langsung [1]

Petir sangat mempengaruhi keandalan SUTM, khususnya jika tiang SUTM jauh lebih tinggi dari daerah sekelilingnya. Jumlah sambaran yang terkumpul,  $N$ , di daerah terbuka (tidak ada gedung atau pohon yang tinggi didekatnya), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$R_A = 0.84 I^{0.74} h^{0.6} \quad (1)$$

$$N(G) = N_s \left( \frac{2 \cdot R_A + b}{10} \right) \quad (2)$$

Menurut *Errikson* :

$$N(G) = N_s \left( \frac{28 h^{0.6} + b}{10} \right) \quad (3)$$

Dimana :  $h$  adalah ketinggian tiang (m),  $b$  adalah lebar tiang struktur (m),  $N_s$  adalah kerapatan sambaran ke tanah (sambaran/km<sup>2</sup>/tahun),  $N$  adalah jumlah sambaran/100km/ tahun.

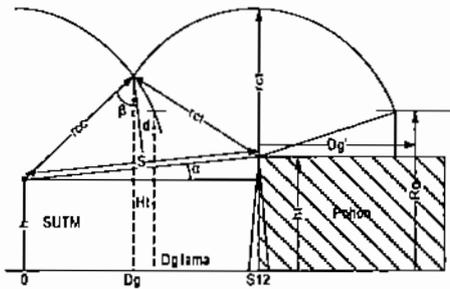
Pohon dan gedung dapat mengalihkan atau menjadi faktor pelindung terhadap sambaran petir yang dekat dengan saluran. Daerah lindung SUTM dengan adanya pohon berbentuk setengah lingkaran diberikan pada Gambar 1. Faktor lindung (*shielding factor*)  $S_f$  didefinisikan sebagai faktor perlindungan saluran distribusi oleh obyek-obyek dekat per satuan unit. Jumlah sambaran ke saluran dinyatakan:

$$N_s = N (1 - S_f) \quad (4)$$

Nilai  $r_{cc}$  dan  $r_{cl}$  menurut IEEE-1992 T&D Comitee :

$$r_{cc} = r_{cl} = 10 \cdot 10^{-0.63} \quad (5)$$

$$r_R = 0.9 r_{cl} \quad (6)$$



**Gambar 1.**  
Daerah Lindung Akibat Adanya Pohon

Dan besarnya *Shielding factor* (faktor perlindungan) adalah [2]:

$$SF = \frac{Dg_{kmv} - Dg}{Dg_{kmv}} \quad (7)$$

Untuk sambaran langsung, terdapat pengaruh tahanan pentanahan terhadap kemungkinan terjadinya baik flashover maupun backflashover, besar pengaruh tersebut menunjukkan besar arus kritis yang dapat menyebabkan tembus, yang besarnya adalah :

$$I_c = \frac{CFO_{is} \cdot V_{IF}}{R_{\epsilon} (1 + C)} \quad (8)$$

**2.2. Sambaran Tidak Langsung (Induksi)**

Gambar 2 adalah model elektrogeometri dan model Rusck. Setengah lingkaran merupakan daerah lindung. Jika petir mengenai lingkaran ini, maka petir akan menyambar kawat tanah. Pada gambar juga dijelaskan daerah sambaran langsung ke kawat tanah tersebut dari  $y=0$  sampai  $y_{min}$ . Untuk  $y_{min}$  sampai  $y_{max}$  adalah daerah yang jika petir menyambar daerah ini akan menimbulkan induksi yang dapat menyebabkan isolator mengalami lewat denyar.

Menurut Rusck, tegangan maksimum yang diinduksikan pada saluran listrik pada titik terdekat dengan sambaran diberikan dalam persamaan:

$$V_{max} = \frac{Z_o I_o h}{y_{max}} \approx \frac{v}{\sqrt{2} v^2} \quad (9)$$

Dimana :  $Z_o$  adalah = 30 Ω,  $I_o$  adalah arus puncak petir (kA),  $h$  adalah ketinggian

rata-rata saluran distribusi diatas tanah (m),  $y$  adalah jarak terdekat antara sambaran petir dengan saluran (m),  $v_{max}$  diambil nilainya 1.5 dari CFO penyulang.  $v$  adalah kecepatan sambaran susulan (m/s). Untuk  $v$ , digunakan persamaan wagner yang menyatakan bahwa kecepatan balik dapay didekati dengan persamaan :

$$v = \frac{0.486}{1 + \frac{27.3}{I}} \quad (10)$$

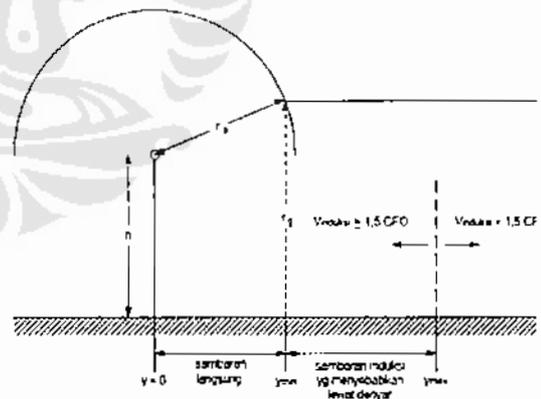
Jarak minimum  $y_{min}$  dimana petir tidak akan menyebabkan flashover :

$$y_{min} = \sqrt{r_s^2 + (r_g + h)^2} \quad (11)$$

Jumlah flashover per kilometer saluran distribusi per tahun  $F_p$  diperoleh sebagai penjumlahan kontribusi masing-masing interval tersebut, dinyatakan sebagai berikut:

$$F_p = 2 \int_{y_{min}}^{200} (y'_{max} - y'_{min}) \cdot N_g \cdot 100 \cdot (P_i - P_{i+1}) \quad (12)$$

Dimana  $P_i$  adalah selisih antara probabilitas arus yang dihitung dengan nilai arus ditambah satu.



**Gambar 2.**  
Model Elektrogeometri dan Model Rusck [1]

Untuk saluran dengan kawat tanah, terdapat suatu faktor pengali (FP) yang nilainya berbanding lurus dengan  $y_{max}$ . Sehingga untuk nilai  $y_{max}$  untuk saluran dengan kawat tanah besarnya adalah  $y_{max} \times FP$ . Sedangkan besar FP sendiri adalah :

$$FP = 1 + \frac{Z_{12} h_2}{2R + Z_{12} h_1} \quad (13)$$

### 3. Data Fisik dan Petir untuk Kedua Penyulang

#### 3.1. Data Fisik Penyulang

Pengamatan telah dilakukan dilapangan untuk mendapatkan data fisik kedua penyulang, dan data tersebut antara lain terangkum pada Tabel 1.

**Tabel 1.**  
Rangkuman Data Fisik Penyulang

Keterangan	Unit	Penyulang Kapur	Penyulang Beton
VR <sub>LLRRR</sub>	kV	20	20
BIL = CFO	kV	130	130
Jenis Tiang		Besi	Beton
Konfigurasi			
Kawat rata-rata			
- Phasa R	m	(1, 10)	(1, 10)
- Phasa S	m	(0, 10)	(0, 10)
- Phasa T	m	(-1, 10)	(-1, 10)
- OHGW	m	(0, 11)	(0, 11)
Tahanan Grounding			
- Rata-rata	ohm	3.98	5.59
- Maksimum	ohm	12	22
Presentase Presentase OHGW			
- Populasi	%	17.68	16.76
- Ditanahkan		Tiap tiang	6 gawang
Span Arrestier			
- Saluran tanpa OHGW	span	10	11
- Saluran dgn OHGW	span	4	5
Objek dekat saluran			
- Tinggi rata-rata	m	10	10
- Jarak dari saluran rata-rata	m	15	14

#### 3.2. Data Petir Penyulang

Data petir diperoleh dari data historis Jaringan Deteksi petir Nasional (JADPEN). Pada penelitian ini akan dipaparkan karakteristik petir lokal dimana saluran yang diamati berada selama lebih kurang 4 tahun, dari tahun 1999 sampai 2002.

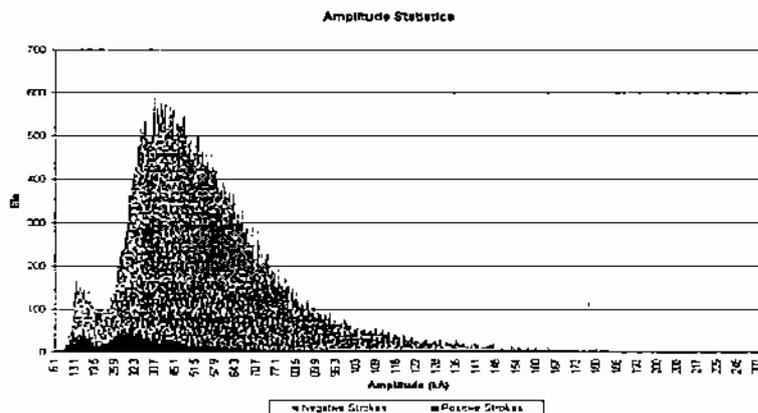
##### 3.2.1. Kriteria Pengamatan Data Petir Penyulang

Dalam penelitian ini, terdapat satu macam kriteria pengamatan karena lokasi penyulang kapur dan penyulang beton berdekatan. Adapun kriteria pengamatannya adalah untuk penyulang kapur dan beton adalah sebagai berikut:

1. Waktu pengamatan : 1 Januari 1999 sampai 31 Oktober 2002
2. Titik tengah pengamatan: 6.4147S, 106.7010 E
3. Luas daerah pengamatan: 30 km x 30 km

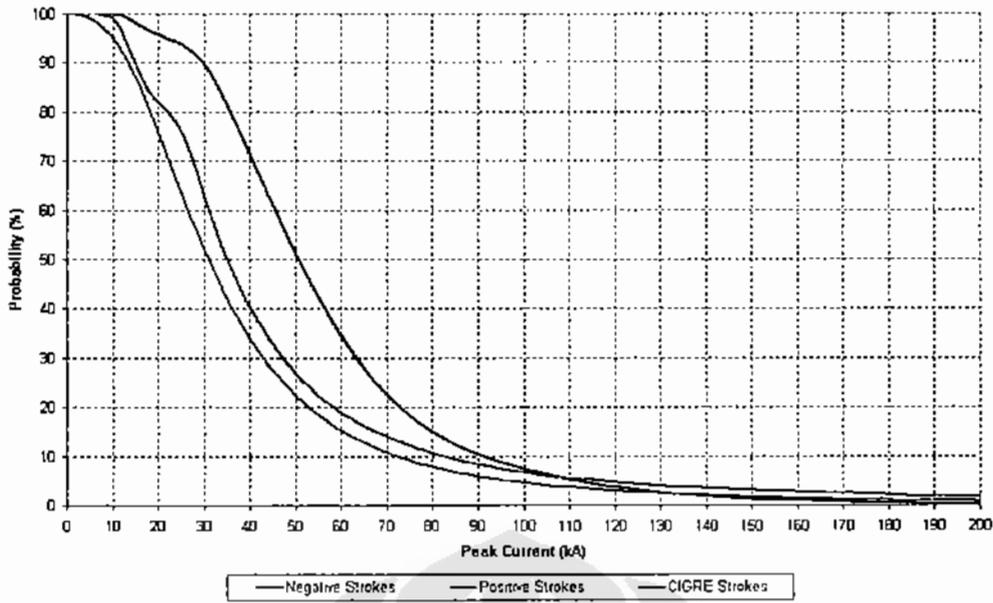
##### 3.2.2. Statistika Arus Puncak

Statistik arus puncak menunjukkan hubungan arus puncak petir (dalam kA) terhadap jumlah kejadian sambaran petir, sebaran atau distribusinya serta hubungan dengan probabilitas kejadiannya.



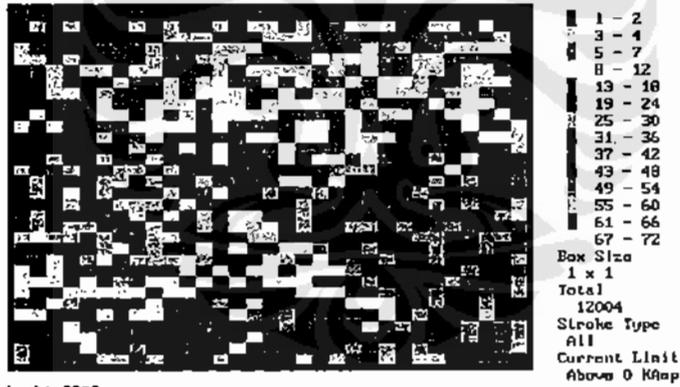
**Gambar3.**  
Statistik Arus Puncak

Probability of Lightning Peak Current



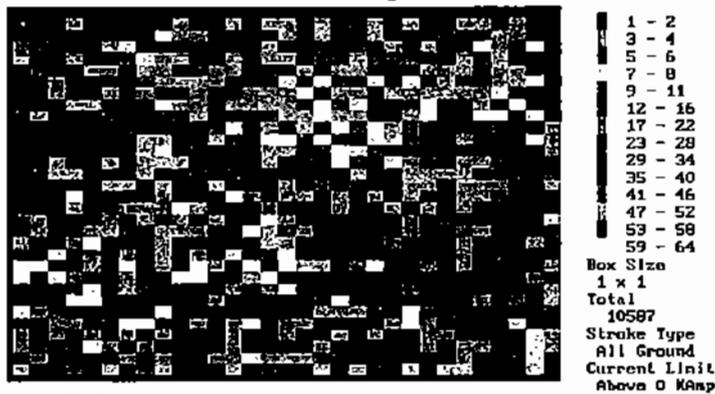
Gambar 4.  
Probabilitas Arus Puncak

Latitude: -6.2750 to -6.5449 Longitude: 106.8359 to 106.5641



Kprbtkn9902

Latitude: -6.2750 to -6.5449 Longitude: 106.8359 to 106.5641



Kprbtkn9902

Gambar 5.  
Kerapatan Sambaran di Daerah Penyulang Kapur dan Beton

1. Jumlah kejadian sambaran petir menunjukkan jumlah sambaran pada range amplituda (puncak) arus petir tertentu. Arus puncak yang diberikan adalah sambaran petir negatif dan positif. Gambar 3 menunjukkan statistik arus puncak daerah Bogor dan Depok (data tahun 1999 s/d 2002).
2. Probabilitas arus puncak adalah presentase yang menunjukkan kejadian sambaran petir dengan arus puncak lebih besar dari nilai tertentu (*greater than value*). Gambar 4 menunjukkan probabilitas arus puncak petir lokal di Bogor dan Depok untuk sambaran positif dan negatif dan perbandingannya dengan statistik dari CIGRE Working Group 33.01[3].

Untuk wilayah penyulang Kapur dan Beton, untuk mendapatkan persamaan probabilitas arus petirnya, maka digunakan fungsi *curve fitting* pada Matlab 6.5. sehingga didapat persamaan probabilitas arus petir dengan bentuk :

$$P(I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{51.21}\right)^{3.33}} \quad (4)$$

### 3.2.3. Kerapatan Sambaran Petir dan Peta Sambaran [1],[2].

*Flash density* atau kerapatan sambaran adalah peta yang menunjukkan jumlah sambaran petir per tahun. Perbedaan warna menunjukkan harga kerapatan sambaran yang berbeda. Kerapatan sambaran ditunjukkan sebagai jumlah sambaran per kilometer persegi per tahun.

Gambar 5 menunjukkan kerapatan sambaran total dan sambaran ke tanah di daerah penyulang Kapur dan Beton (*current*

*limit* : above 0 kA, data sambaran 1999 sampai dengan 2002 = 3.83 tahun). Kerapatan sambaran adalah:

- Sambaran total = 14.21 sambaran/ km<sup>2</sup>/ tahun
- Sambaran ke tanah = Ng = 12.10 samb/ km<sup>2</sup>/tahun.

### 4. Pemasangan Kawat Tanah untuk Mengurangi Angka Gangguan Akibat Sambaran Petir

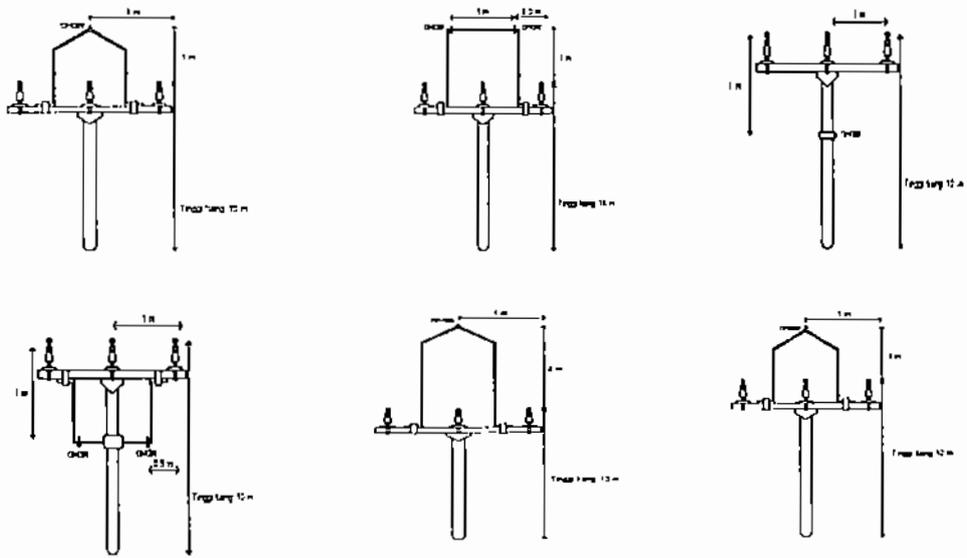
Pemasangan kawat tanah, menurut penelitian dapat mengurangi angka gangguan akibat sambaran petir khususnya dalam mengurangi sambaran tak langsung. Pemasangan tersebut akan dilakukan dalam 6 skenario yang berbeda. Perbedaan skenario antara satu dengan yang lain, berupa jumlah kawat tanah, posisi kawat tanah terhadap kawat fasa dan besar penampang kawat tanah.

Ke-6 skenario tersebut dijelaskan dalam Tabel 2. Untuk studi ini, tidak memperhatikan aspek mekanis, hanya memperhatikan 4 parameter yang sudah disebutkan diatas. Untuk ke-6 skenario tampak sampingnya seperti Gambar 8.

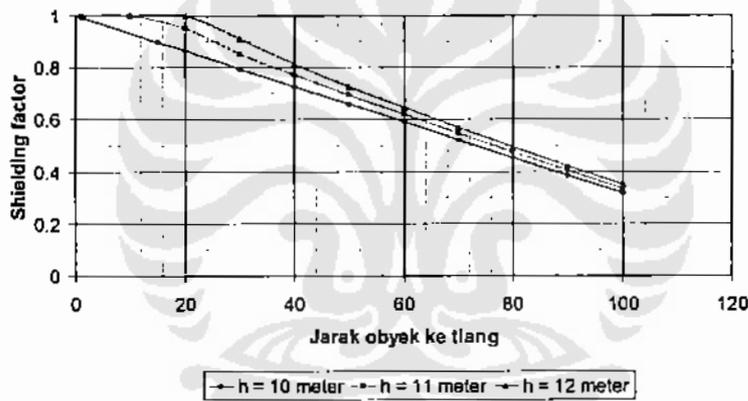
Untuk melakukan perhitungan-perhitungan, diperlukan grafik karakteristik, baik untuk sambaran langsung maupun untuk induksi. Selain grafik tersebut juga diperlukan grafik faktor perlindungan (*Shielding Factor*) yang sesuai dengan parameter petir lokal. Grafik-grafik tersebut adalah Gambar 9 untuk tinggi penyulang 10m, Gambar 10 untuk tinggi penyulang 11m dan Gambar 11 untuk tinggi penyulang 12m

Tabel 2.  
Skenario Perbaikan

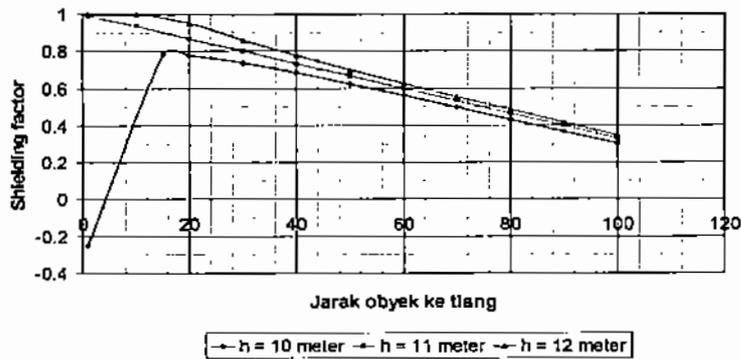
Skenario	Penambahan	Luas penampang	Posisi terhadap kawat fasa	Jarak dari kawat fasa
Skenario 1	1 kawat tanah	35 mm <sup>2</sup>	diatas	1 m
Skenario 2	2 kawat tanah	35 mm <sup>2</sup>	diatas	1 m
Skenario 3	1 kawat tanah	35 mm <sup>2</sup>	dibawah	1 m
Skenario 4	2 kawat tanah	35 mm <sup>2</sup>	dibawah	1 m
Skenario 5	1 kawat tanah	35 mm <sup>2</sup>	diatas	2 m
Skenario 6	1 kawat tanah	50 mm <sup>2</sup>	diatas	1 m



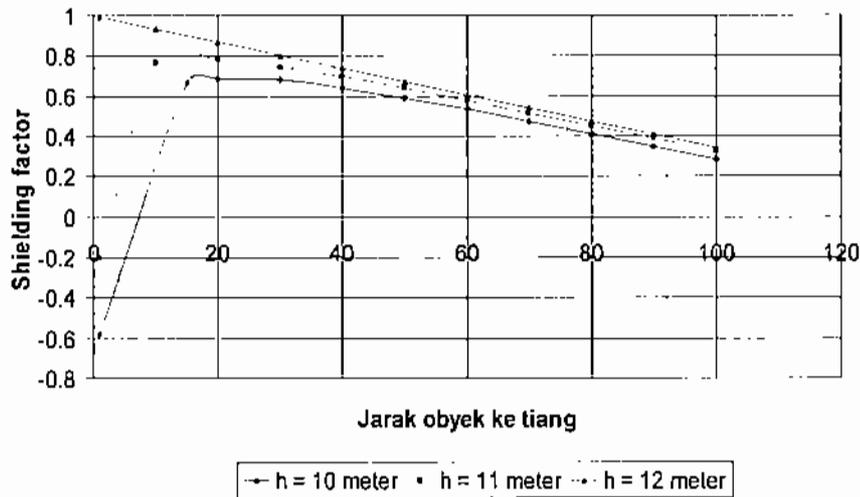
**Gambar 8.**  
Tampak Samping ke-6 Skenario



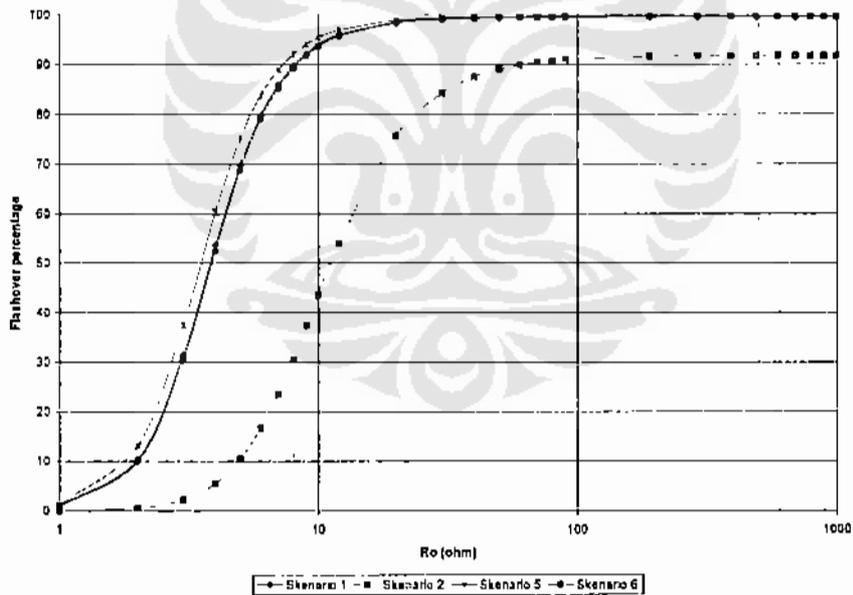
**Gambar 9.**  
Shielding Factor untuk Tinggi Penyulang = 10 m



**Gambar 10.**  
Shielding Factor untuk Tinggi Penyulang = 11 m



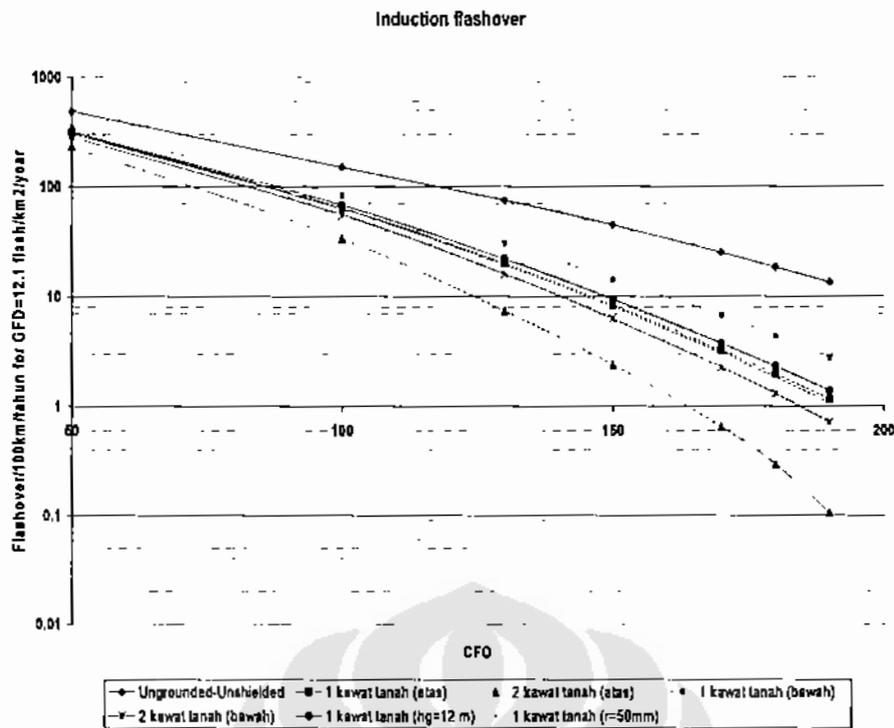
Gambar 11.  
Shielding Factor untuk Tinggi Penyulang = 12 m



Gambar 12.  
Grafik Pengaruh Tahanan Tanah terhadap Performasi Kawat Tanah untuk Kawasan Depok-Bogor untuk Skenario 1 hingga 6

Setelah perhitungan dilakukan, maka didapatkan angka gangguan baik yang disebabkan oleh sambaran langsung maupun sambaran tak langsung (induksi)

untuk kedua penyulang. Hasil perhitungan diberikan pada Tabel 3 untuk penyulang Kapur dan Tabel 4 untuk penyulang Beton.



Gambar 13.

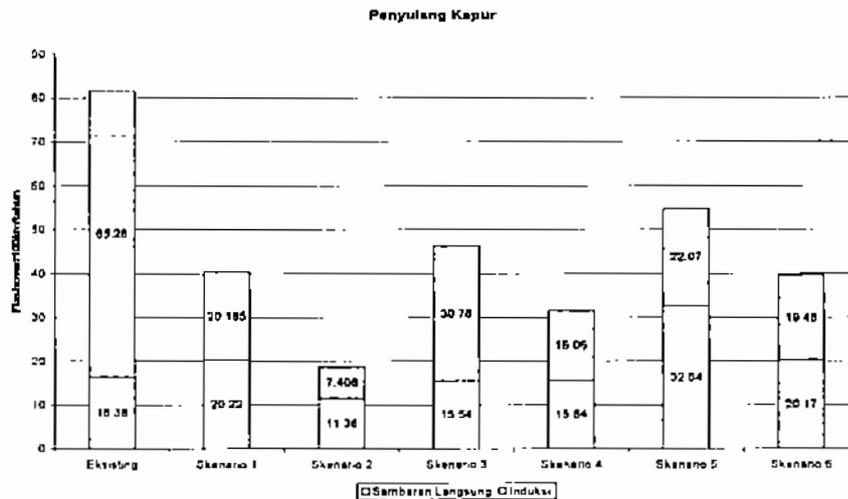
Jumlah Flashover karena Tegangan Induksi pada Saluran Udara untuk Kawasan Depok dan Bogor untuk Skenario 1 hingga 6

Tabel 3.  
Hasil Perhitungan Tiap Skenario untuk Penyulang Kapur

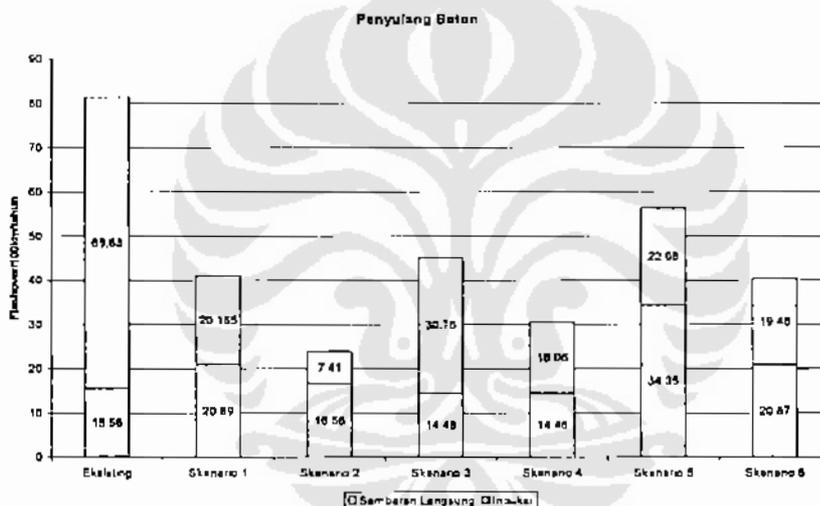
Kondisi Sistem	Penyulang Kapur	
	Samb.langsung*	Induksi*
Eksisting	16.38	65.28
Skenario 1	20.22	20.185
Skenario 2	11.38	7.406
Skenario 3	15.54	30.76
Skenario 4	15.54	16.06
Skenario 5	32.64	22.07
Skenario 6	20.17	19.45

Tabel 4.  
Hasil Perhitungan Tiap Skenario untuk Penyulang Beton

Kondisi Sistem	Penyulang Beton	
	Samb.langsung*	Induksi*
Eksisting	15.56	65.83
Skenario 1	20.89	20.185
Skenario 2	16.56	7.41
Skenario 3	14.48	30.76
Skenario 4	14.48	16.06
Skenario 5	34.35	22.08
Skenario 6	20.87	19.46



Gambar 14. Perhitungan masing-masing Skenario untuk Penyulang Kapur



Gambar 15. Perhitungan masing-masing Skenario untuk Penyulang Beton

#### 4. Analisa Pemasangan Kawat Tanah

Dari perhitungan yang sudah dilakukan perlu dilakukan peningkatan *lightning performance* pada penyulang Kapur dan penyulang Beton dengan pemasangan kawat tanah. Kawat tanah yang terpasang pada penyulang akan secara signifikan mengurangi angka gangguan akibat induksi petir. Penentuan jumlah, posisi dan ukuran disesuaikan dengan karakteristik lokal, yakni data petir dan kondisi lapangan.

Untuk penyulang Kapur, secara teoritis pengurangan angka gangguan terbesar

dapat dilakukan dengan penambahan 2 kawat tanah 35mm<sup>2</sup> setinggi 1 m diatas kawat fasa, yang dipasang pada tiap tiang, sehingga diperoleh pengurangan angka gangguan sebesar 74.45%. Untuk penyulang Beton, secara teoritis pengurangan angka gangguan terbesar dapat dilakukan dengan penambahan 2 kawat tanah 35mm<sup>2</sup> setinggi 1 m diatas kawat fasa pada tiap tiang sehingga diperoleh angka gangguan sebesar 68.70%. Pemasangan 2 kawat tanah tampak sangat signifikan dapat mengurangi angka gangguan akibat induksi. Hal tersebut

disebabkan karena dengan 1 kawat tanah maka akan lebih mengurangi stress tegangan pada pada kawat fasa. Hal tersebut tampak pada besar faktor pengali seperti yang dijelaskan. Nilai faktor pengali pada 2 kawat tanah mempunyai nilai lebih kecil daripada 1 kawat tanah.

Pemasangan 1 kawat tanah 1 m diatas kawat fasa, menurut perhitungan memiliki angka pengurangan gangguan petir sedikit lebih besar daripada pemasangan 1 kawat tanah dibawah kawat fasa, hal ini akan mempermudah pemasangan kawat tanah dalam keadaan keadaan penyulang bertegangan. Untuk sambaran langsung angka gangguan untuk 1 kawat tanah terletak dibagian atas nilainya lebih besar daripada 1 kawat tanah dibagian bawah karena posisinya yang lebih tinggi.

Disarankan pemasangan kawat tanah perlu dijadikan standar untuk jaringan distribusi, terutama untuk jaringan dengan angka gangguan petir yang tinggi, karena terbukti dapat mengurangi angka gangguan akibat induksi petir.

**Tabel 5.**  
Peningkatan Unjuk Kerja Saluran Udara Tegangan Menengah terhadap sambaran Petir

Unjuk Kerja SUTM	Gangguan/100 km/thn		Flashover/100 km/thn	
	Kapur	Beton	Kapur	Beton
Sebelum pemasangan Kawat Tanah	182	161	285	374
Setelah pemasangan Kawat Tanah	73	114	213	307

Pemasangan 1 kawat tanah 1 meter diatas kawat Fasa (skenario 6) telah dilakukan pada Penyulang Kapur dan Beton. Pemasangan hanya dilakukan pada daerah dengan kerapatan petir tinggi mencakup sekitar 20% panjang saluran. Pemilihan skenario 1 juga didasarkan pada alasan teknis dilapangan, yakni tersedianya konduktor 50 mm<sup>2</sup> dan menghindarkan pencurian kawat tanah, sehingga dipasang pada bagian atas kawat fasa. Tabel 5 menunjukan improvement yang diperoleh selama masa penelitian selama satu tahun.

Dari Tabel 5 diatas, perbandingan antara gangguan dan *flashover* berkisar antara 35% - 65%. Artinya hanya 35% - 65% *flashover* pada kedua penyulang ini yang dapat menyebabkan gangguan pada saluran. Hal lain yang dapat ditunjukkan dari tabel ini adalah peningkatan unjuk kerja saluran udara terhadap petir. Dari data gangguan terjadi penurunan gangguan sekitar 30% - 60% sesudah perbaikan, berbeda dengan data dari estimasi *flashover rate*, dimana *flashover* berkurang sekitar 17% - 25%. Namun keduanya mencirikan penurunan yang cukup karena perbaikan hanya dilakukan pada sebagian saluran, sekitar 20% dari total saluran. Peningkatan pada kedua penyulang ini sangat significant karena peningkatan terjadi pada penyulang yang berada di daerah dengan kerapatan sambaran petirnya dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain.

## 6. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan menunjukkan bahwa pemasangan kawat tanah, dengan 6 skenario, yang memiliki variabel perbedaan jumlah, posisi, ketinggian dan ukuran, menghasilkan pengurangan minimal sebesar 28.54% hingga maksimal sebesar 75.45%. untuk Penyulang Kapur, dan maksimum 68.70% dan minimum 26.33% untuk Penyulang Beton.
2. Untuk penyulang Kapur dan penyulang Beton, pemasangan 1 kawat tanah 1 m diatas kawat fasa menghasilkan pengurangan angka gangguan sedikit lebih besar daripada pemasangan 1 kawat tanah 1 meter dibawah kawat fasa.
3. Pemasangan 2 kawat tanah 35mm<sup>2</sup> setinggi 1 m diatas kawat fasa, yang diketanahkan pada tiap tiang, secara teoritis merupakan skenario perbaikan terbaik terhadap gangguan petir untuk penyulang Kapur dengan pengurangan angka

gangguan sebesar 75.45%. dan untuk penyulang Beton diperoleh pengurangan angka gangguan sebesar 68,7%.

4. Pengukuran dilapangan pada kedua penyulang menunjukkan peningkatan unjuk kerja yang sangat signifikan, yakni dengan hanya menggunakan skenario 6 (karena alasan teknis lapangan), diperoleh peningkatan antara 30% - 60%.

#### Daftar Acuan

- [1] "IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines" 1997. USA. IEEE Std,1410-(1997).
- [2] Narastomo, "Studi Pemasangan Kawat Tanah terhadap gangguan akibat sambaran petir pada jaringan 20 kV di kawasan Jakarta Selatan" Internal Report, Lab. Teknik Tegangan Tinggi ITB, 2006.
- [3] Hileman, R, Andrew, "Insulation Coordination for Power System", Marcel Dekker, New York, 1999.