

# Lightning Performance of Extra High Voltage 500 kV Lines at East Java-Indonesia

Reynaldo Zoro<sup>1</sup> dan Eko Yudo Pramono<sup>2</sup>

**Abstract**— Extra High Voltage (EHV) 500 kV transmission lines has higher insulation strength against over-voltages produced by lightning strikes compare to lower transmission lines voltage such as 150 kV or 70 kV transmission lines. Observation was carried out at EHV 500 kV Paiton-Kediri line located at east Java island of Indonesia. This line has operated for more than five-years. In fact is there were many insulators were broken by lightning strikes, especially during rainy season. A large number of broken insulator at many towers deteriorated performance of the lines, in which many line outages occurred.

This study presents the evaluation results of performance of the lines concerning its robustness against lightning strikes. Investigation of the characteristics of lightning strikes in the area along the lines was carried out. From this observation and study it founds that some towers need to be improved to have better performance against over-voltage due to direct lightning strikes to the towers. By using Severity index methodology, local lightning data and innovation technology for lightning protection system significant results were derived.

**Keywords**— Lightning performance, Shielding failure, Back flashover, Flash density

## I. PENDAHULUAN

Sambar Petir merupakan ancaman yang sangat serius dalam sistem tenaga listrik, di mana jaringannya tersebar luas, seperti pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV yang dioperasikan oleh PT PLN Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa-Bali dan menjadi saluran utama (*backbone*) sistem tenaga listrik interkoneksi Jawa Bali.

Kerusakan dan kerugian yang timbul akibat sambaran petir tersebut dapat terjadi karena:

1. Sambaran petir pada kawat tanah yang menyebabkan lewat denyar balik (*back flashover*) pada isolator di hantaran dan gardu induk, serta transformator dan peralatan lain dalam gardu induk.
2. Sambaran petir langsung ke kawat fasa karena kegagalan perlindungan dari kawat tanah (*shielding failures*).

SUTET 500 kV Paiton - Kediri, terletak di daerah yang kerapatan sambarannya tinggi dipilih menjadi

objek penelitian, karena pada ruas SUTET 500 kV ini sering terjadi pecahnya isolator bahkan pada beberapa kali kejadian membuat Pemutus Tenaga (PMT) di GITET 500 kV Paiton dan GITET 500 kV Kediri bekerja.

Di samping itu belum ada sistem perlindungan yang sesuai terhadap ancaman petir untuk daerah tropis yang merupakan standar yang baku untuk dapat dipergunakan di daerah operasi PT. PLN .

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mempelajari karakteristik petir pada daerah-daerah yang dilalui oleh SUTET 500 kV Paiton-kediri.
2. Mengevaluasi kinerja saluran terhadap sambaran petir (*lightning performance*) dari SUTET 500 kV Paiton-Kediri dengan menghitung probabilitas terjadinya kegagalan proteksi akibat sambaran petir.

## II. PETIR PADA SALURAN UDARA EKSTRA TINGGI

### A. Rasio Lewat Denyar Balik

#### 1. Sambaran Pada Menara

Menara dapat direpresentasikan sebagai impedansi surja atau induktansi. Bila menara direpresentasikan sebagai induktansi, maka ada penyesuaian nilai tahanan pentanahan ( $R'_0$ ) dan impedansi surja kawat tanah ( $Z'_g$ ), menurut Anderson [6] dapat dihitung sebagai berikut :

$$L = \left( \frac{Z'_g + 2R'_0}{Z'_g} \right)^2 \frac{2Z_w \tau_t}{(1-\psi)^2} \quad (2)$$

Di mana,  $R'_0$  adalah tahanan pentanahan penyesuaian,  $Z'_g$  adalah impedansi surja kawat tanah penyesuaian,  $Z_w$  adalah impedansi surja,  $\Psi$  adalah faktor damping menara, dan  $\tau_t$  adalah waktu tempuh gelombang petir di menara.

Tegangan lebih yang terjadi pada menara sebagai impedansi surja berbanding lurus dengan arus puncak petir sedangkan untuk menara sebagai induktansi akan berbanding lurus dengan kecuraman arus. Sehingga dapat dihitung tegangan lebih pada puncak menara adalah sebagai berikut:

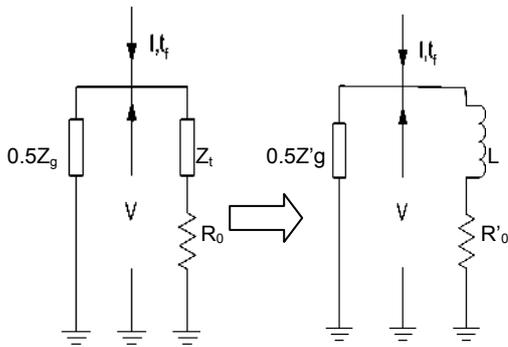
$$V = I(Z_t + R_0) = IR_0 + L \frac{di}{dt} + V_s \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Di mana,  $I$  adalah arus puncak petir (kA),  $R_0$  adalah resistansi kaki menara,  $R'_0$  adalah tahanan pentanahan penyesuaian,  $L$  adalah induktansi menara,  $di/dt$  adalah kecuraman muka gelombang petir (kA),  $V_s$  adalah tegangan sistem (kV).

Naskah diterima pada tanggal 10 Oktober 2008, selesai revisi pada 10 Nopember 2008

<sup>1</sup> Reynaldo Z. adalah dosen Sekolah Tinggi Informatika dan Elektroteknik Institut Teknologi Bandung, Bandung, INDONESIA. Email: [zoro@hv.ee.itb.ac.id](mailto:zoro@hv.ee.itb.ac.id)

<sup>2</sup> Eko Y. Pramono, PT. PLN (Persero)-P3B Region Jawa Timur dan Bali, INDONESIA. Email: [ekoyudo@pln-jawa-bali.co.id](mailto:ekoyudo@pln-jawa-bali.co.id)



Gambar 1. Representasi menara sebagai impedansi surja dan induktansi

2. Sambaran pada Kawat Tanah

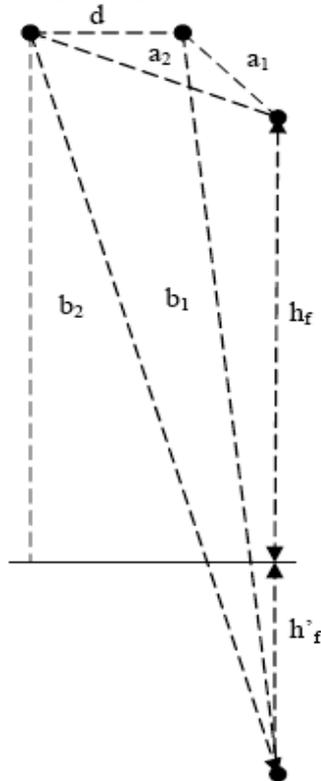
Saat kawat tanah disambar petir maka arus petir sebagian akan mengalir menuju tanah melewati menara. Sehingga besarnya tegangan lebih pada isolator adalah:

$$V = C_o I \left( 0.5ZR_0 \right) = C_o \left( IR_0 + L \frac{di}{dt} \right) \tag{4}$$

Dimana kopling untuk saluran dengan dua kawat tanah adalah:

$$C_o = \frac{\ln \sqrt{(b_1 b_2) / (a_1 a_2)}}{\ln(2h_g / \sqrt{d r})} \tag{5}$$

Di mana, d adalah jarak antara dua kawat tanah, a<sub>1</sub> jarak kawat tanah 1 dengan kawat fasa terluar, a<sub>2</sub> jarak kawat tanah 2 dengan kawat fasa terluar, dan b<sub>1</sub> adalah jarak kawat tanah 1 dengan bayangan kawat fasa terluar, b<sub>2</sub> adalah jarak kawat tanah 2 dengan bayangan kawat fasa terluar, h<sub>t</sub> tinggi kawat fasa terluar dengan permukaan tanah, h'<sub>t</sub> tinggi bayangan kawat fasa terluar dengan permukaan tanah, r jari-jari kawat fasa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

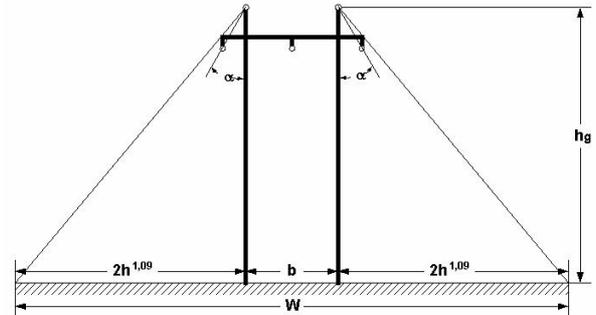


Gambar 2. Bayang-bayang kawat pada saluran multikonduktor

Dalam menganalisa unjuk kerja saluran udara terha-

dap petir digunakan tingkat ketahanan yang berbeda, disebut tegangan *Critical Flashover* (CFO). CFO menurut ANSI C92.1 82 [18] berarti tegangan maksimum impuls petir dengan kemungkinan ketahanannya sama dengan kemungkinan kegagalannya, yaitu 50%. Nilai ini biasanya berdasarkan pada pengujian terhadap isolator tersebut di laboratorium.

Kombinasi dan konfigurasi isolator pada saluran udara akan memberikan nilai CFO yang berbeda. Namun, nilai yang akan diperhitungkan nantinya adalah nilai CFO yang terkecil.



Gambar 3. Ilustrasi bayang-bayang perlindungan kawat Tanah

Sambaran petir ke tanah yang mungkin mengenai suatu struktur ditentukan dengan mengetahui daerah bayang-bayang struktur tersebut. Menurut Hileman [1]:

$$N_L = N_g \left( \frac{28h^{0.6} + d}{10} \right) \tag{7}$$

Di mana, N<sub>L</sub> adalah jumlah sambaran yang mungkin mengenai struktur [sambaran/100km/tahun], N<sub>g</sub> adalah *Number Flash to Ground*, yakni jumlah sambaran petir ke tanah yang dihitung dalam : jumlah sambaran/ 100km/tahun, h adalah tinggi struktur [m], d adalah lebar struktur atau sama dengan 2b [m], Sehingga unjuk kerja saluran ini menjadi:

$$BFOR = 0.6 N_L \int_{I_c}^{\infty} f(I) di = 0.6 N_L P(I_c) \tag{8}$$

Dimana P(I<sub>c</sub>) adalah probability terjadinya arus kritis), N<sub>L</sub> adalah jumlah sambaran yang mungkin mengenai struktur

B. Rasio Kegagalan Perlindungan

Kegagalan perlindungan (*Shielding Failure-SF*) menurut Anderson [6] berarti gagalnya kawat tanah melindungi kawat fasa dari sambaran petir yang disebabkan ketidaksempurnaan peletakkan kawat tanah pada menara.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode Anderson [6] yang digunakan sebagai standar IEEE [8].

Untuk menghitung rasio tembus isolator perlu diketahui, gradien batas tegangan tembus isolator, yaitu:

$$E_0 = V_{LN} / n.s \dots [kV/m] \tag{9}$$

Di mana, V<sub>LN</sub> adalah tegangan fasa – tanah (kV), n adalah jumlah piringan isolator (buah), dan s adalah jarak tembus (*creepage distance*) (m)

Sedangkan probabilitas peralihan lewat denyar menjadi gangguan, yaitu:

$$\eta = 0.3196 \ln(e) - 0.6578 \tag{10}$$

Sehingga jumlah gangguan akibat kegagalan perlindungan, SFFOR adalah

$$SF\text{FOR} = 0.5\eta P(I_{MAX}) X_s 0.1N_g \tag{11}$$

[gangguan /100 km / tahun ]

Dimana  $I_{MAX}$  adalah arus puncak petir maksimum yang menyambar kawat phasa sehingga terjadi kegagalan perlindungan kawat tanah.

**C. Unjuk Kerja Saluran Udara Terhadap Petir**

Tegangan lebih petir pada SUTET dapat menimbulkan kegagalan, kegagalan tersebut ditunjukkan dengan angka gangguan yang dinyatakan dalam *Flashover Rate* (FOR), yang menurut IEEE 1243 [8], yaitu jumlah terjadinya lewat denyar pada isolator akibat tegangan lebih petir pada saluran udara. Bila kinerja petir sama dengan FOR atau diasumsikan setiap kali terjadi *flashover* terjadi gangguan, maka angka yang dihitung adalah kemungkinan terburuk.

Untuk menghitung *lightning performance* dari data gangguan digunakan rumusan Cliff. J.S [5], sebagai berikut:

$$LP = 100 \frac{(SR + LC)}{L} \tag{6}$$

Di mana, LP adalah *Lightning Performance* (gangguan/100km/tahun), SR adalah jumlah gangguan *sure lightning*, LC adalah jumlah gangguan *lighning correlated*, dan L adalah panjang saluran (km).

Berdasarkan data rekapitulasi gangguan, gangguan yang disebabkan oleh petir (*Lighthning Performance / LP*) didekati dengan:

- a. Gangguan tersebut pasti disebabkan oleh petir (*sure lightning / SR*): diputuskannya gangguan tersebut diakibatkan oleh petir berdasarkan bukti di lapang-

an, misalnya isolator pecah, terbakar atau konduktor putus dan justifikasi petugas lapangan yang mengamati bahwa gangguan terjadi sesaat setelah terjadi sambaran petir atau terdengar guruh.

- b. Gangguan yang diasumsikan berkorelasi dengan sambaran petir atau merupakan dampak tidak langsung dari sambaran petir (*lightning correlated/LC*): yaitu gangguan berdasarkan cuaca pada saat gangguan terjadi, (dalam hal ini cuaca buruk; hujan, hujan lebat, berawan, berawan petir, gerimis, kabut), gangguan tidak jelas dan gangguan berdasarkan kerusakan pada peralatan di jaringan (trafo, *arrester*, CT, PT, dan isolator). Diasumsikan hanya 70 % gangguan jenis ini yang berkorelasi dengan sambaran petir [1].

III. DATA PENELITIAN

A. *Data Gangguan*

Petir cukup memiliki porsi besar sebagai penyebab gangguan, keputusan bahwa penyebab gangguan tersebut adalah petir didasarkan antara lain atas bukti-bukti pengamatan yang ada di lapangan, seperti bekas lewat denyar pada isolator, konduktor (pecah atau bekas terbakar) atau dari cuaca pada saat terjadi gangguan. Prosentase jenis gangguan pada SUTET 500 kV P3B region Jawa Timur dan Bali adalah seperti yang disampaikan dalam Tabel 1.

Persentase gangguan akibat alam (dominan petir) sebesar 23.40 %. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha peningkatan sistem proteksi terhadap gangguan khususnya petir sehingga angka 23.40 % dapat dikurangi menjadi sekecil mungkin.

TABEL 1  
KLASIFIKASI GANGGUAN BERDASARKAN PENYEBAB PADA TAHUN 2005

Kode	Jenis Gangguan	Keterangan	%
A	Alat	Kerusakan komponen	21.28
B	Rele Malakerja	Rele malakerja	2.12
C	Alam/ Cuaca	Gempa bumi, Tanah longsor, Hujan & petir, Banyak petir, Angin kencang	23.40
D	Layang-layang	Layang – layang	0.00
E	Pohon	Pohon, Dahan, Ranting	19.15
F	Binatang	Semua binatang	4.26
G	Human Error	Menyimpang dari SOP/ Protap	0.00
H	Over Load	Over load/ Beban lebih (penghantar & trafo)	0.00
I	Distribusi	Penyulang	0.00
J	Lain-lain	APFL, Barang terbang, Kebakaran, Scadatel, Sedang diusut	29.79
Total			100

TABEL 2  
KINERJA SUTET 500 kV PAITON-KEDIRI DITURUNKAN DARI DATA GANGGUAN TRIP DAN RECLOSED

Tahun	<i>Sure Lightning</i>	<i>Lightning Correlated</i>	<i>Lightning Performance</i>
2003	4	2	3.04
2004	2	2	2.03
2005	3	0	1.52
2006	3	1	2.03

Dari Tabel 2 diketahui bahwa kinerja saluran terhadap sambaran petir (*Lighthning performance*) SUTET 500 kV Paiton-Kediri sudah melewati desain dasar dari SUTET 500 kV Yang ditetapkan oleh PT PLN P3B Jawa Bali, yaitu 1.1 kali gangguan/100 km/tahun [19].

B. *Data Isolator Pecah*

Jumlah isolator pecah yang terjadi sejak tahun 2003 adalah 308 keping isolator, gambar 6 terlihat bahwa ada korelasi antara data isolator pecah dengan data kejadian sambaran petir, sehingga dapat diketahui bahwa penye-

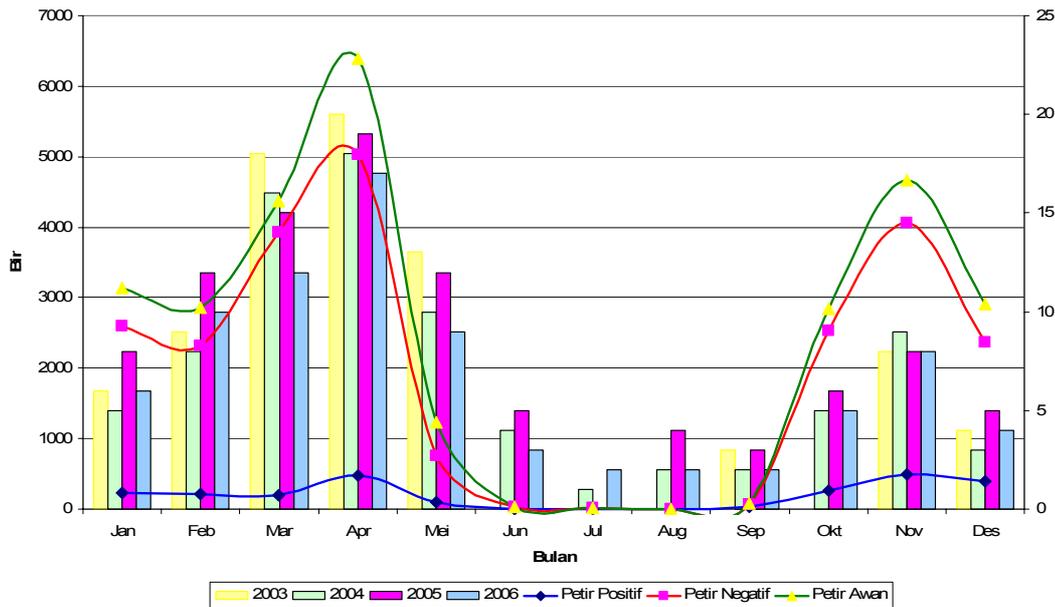
bab utama isolator pecah adalah petir.

C. Data Petir

Data petir didaerah yang di teliti diambil dari data petir historik yaitu data sambaran petir ke tanah yang direkam oleh sistem deteksi petir JADPEN (Jaringan Data Petir National) yang dioperasikan oleh Institut Teknologi Bandung. Jaringan ini menggunakan teknologi Time of Arrival (TOA) dengan nama Penentu Posisi dan Pelacak Sambaran Petir yang dikenal dengan nama LPATS (Lightning Position and Tracking System) produksi Atmospheric Research Institute, Inc, USA.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data historik yang diambil pada saat LPATS melakukan pengukuran selama 6 tahun, yakni dari tahun 1996 hingga 2001. Dari data historik ini diperoleh parameter petir, antara lain: arus puncak petir, probabilitas kejadiannya, variasi bulan kejadian, frekuensi kejadian, dan kepadatan sambaran ke tanah. Untuk mengetahui pengaruh petir terhadap saluran dilakukan pemetaan menggunakan data GPS (Global Positioning System) SUTET 500 kV Paiton-Kediri yang kemudian dijadikan batasan daerah yang akan diteliti.

STATISTIK VARIANSI BULANAN KEJADIAN PETIR DI WILAYAH JAWA TIMUR (1 JANUARI – 31 DESEMBER 1999), CENTER 7.75023 E, WINDOW 200x600 Km<sup>2</sup>



Gambar 4. Hubungan antara jumlah sambaran petir bulanan dengan jumlah isolator yang pecah akibat sambaran petir.

Secara umum data petir di daerah ini dirangkum sebagaimana pada Tabel 3.

D. Data Menara

Menara SUTET 500 kV Paiton-Kediri tipe cone satu menara dua sirkit dengan dua kawat tanah seperti yang diperlihatkan pada gambar 7, pentanahan yang digunakan pada menara adalah jenis *counterpoise* yang saling terhubung pada ke empat kaki menara dengan kedalaman sekitar 1.5 m, dengan menggunakan kawat BC (*Bare Copper*) 95 mm<sup>2</sup> dan beberapa pipa besi 1,5".

Komposisi tinggi menara bervariasi dari 68.625 m hingga 86.625 m dengan tinggi menara yang paling banyak digunakan adalah 77.625 m sebanyak 172 buah atau 34.82 %, dan jumlah menara yang tertinggi 86.625 m sebanyak 7 buah.

E. Data Observasi Lapangan

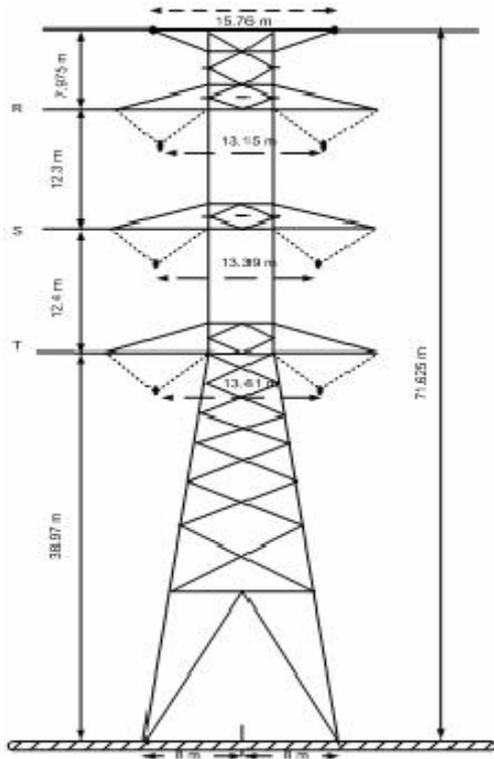
Observasi sambaran petir pada SUTET 500 kV dilakukan dengan memasang alat ukur pada dua buah menara SUTET 500 kV Paiton-Kediri yaitu menara 103 dan menara 353, pemilihan letak alat ukur berdasarkan pertimbangan kedua menara berada pada daerah yang mempunyai kerapatan sambaran petir tinggi dan dari data gangguan diketahui mempunyai jumlah gangguan yang tinggi.

TABEL 3  
KARAKTERISTIK PETIR DI DAERAH YANG DILEWATI OLEH SUTET 500 KV PAITON-KEDIRI

Karakteristik Petir		Polaritas Negatif	Polaritas Positif
Arus Puncak (kA)	Maksimum	340.2	290.52
	Probability 85%	29	20
	Probability 50%	47	32
	Probability 2%	140	160
	Rata - Rata	69.3	63
Kerapatan Sambaran Total (sambaran/km <sup>2</sup> /tahun)		3 - 12	

TABEL 4  
KOMPOSISI MENARA BERDASARKAN TINGGI MENARA

No	Tinggi Menara (m)	Jumlah (Buah)	Prosentase (%)
1	68.625	26	5.26
2	71.625	92	18.62
3	74.625	119	24.09
4	77.625	172	34.82
5	80.625	58	11.74
6	83.625	20	4.05
7	86.625	7	1.42



Gambar 5. Menara SUTET 500 kV Paiton-Kediri (tipikal)



Gambar 6. CVT pada menara 353

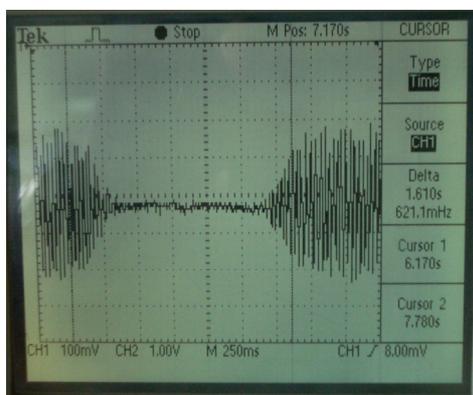
Alat yang dipasang terdiri dari: Finial CVT (*Collection Volume Terminal*) merupakan terminal udara dalam sistem proteksi petir eksternal, yang berfungsi menyalurkan up streamer sehingga berpotensi untuk disambar petir dibandingkan finial konvensional dan alat ukur.

Alat ukur yang dipasang adalah pita magnetik dan LEC (*Lightning Counter Event*) di mana pita magnetik digunakan untuk merekam besarnya arus puncak petir yang menyambar finial dan LEC adalah alat yang digunakan untuk menghitung jumlah petir yang menyambar finial, angka akan bertambah bila terjadi sambaran.

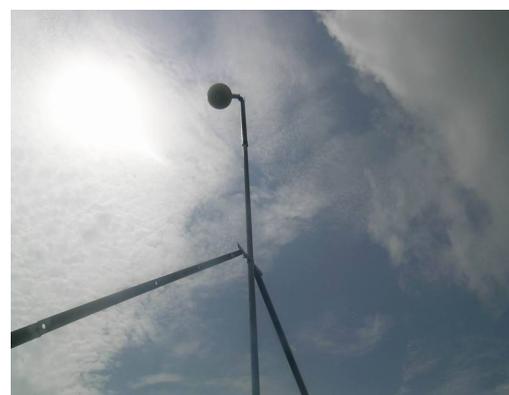
Pemasangan alat ukur dilakukan pada bulan Desember 2006 dan dilakukan pengamatan hingga saat ini masih berlangsung, dan data yang didapat tercatat pada LEC adalah dua data sambaran yang mengenai menara nomor 353, dari data tersebut diketahui bahwa besar arus puncak yang mengenai menara adalah 26 kA dan 34.8 kA, gambar 10 memperlihatkan hasil dari rekaman pita magnetik.



Gambar 7. LEC dan pita magnetik



Gambar 8. Hasil rekaman pita magnetik pada saat terjadi sambaran petir pada menara no 353 pada tanggal 5 Februari 2007



Gambar 9. Kondisi fiber penumpu CVT setelah terjadi sambaran petir pada menara no 353 pada tanggal 5 Februari 2007

IV. HASIL EVALUASI

A. Perhitungan Kegagalan Perlindungan Kawat Tanah

Dari hasil perhitungan didapat arus minimum yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan perlindungan (*Shielding Failure/SF*) adalah 14 kA, jika hasil ini dimasukkan kedalam kurva hasil penelitian S. Hidayat [15] maka arus ini memiliki kemungkinan terjadinya sambaran petir sebesar 87.5 %.

Dari gambar 10 dapat diketahui bahwa semakin tinggi menara maka rasio kegagalan perlindungannya makin besar, untuk menara dengan ketinggian sesuai data tipikal menara yaitu 71.625 meter rasio kegagalan perlindungan baik sekali, di bawah desain standar sesuai dengan formula dari Brown-Whitehead dan IEEE-1992 [1], yaitu 0.05 gangguan/100 km/tahun.

Sedangkan untuk ketinggian di atas menara tipikal maka rasio kegagalan perlindungannya akan meningkat dan semakin besar jika kerapatan sambaran petirnya makin rapat.

Dari data menara yang paling banyak pada SUTET 500 kV Paiton-Kediri adalah menara yang tingginya 77.625 meter yaitu 34.82 %, untuk menara dengan ketinggian 77.625 meter angka rasio kegagalan perlindungannya adalah 0.07 gangguan/100km/tahun pada daerah dengan kerapatan sambaran 12 sambaran/km<sup>2</sup>/tahun.

B. Perhitungan Lewat Denyar Balik (*Back Flashover Rate*)

Dari gambar 11 jika terjadi sambaran petir pada menara dapat juga dihitung tegangan puncak menara, dengan menggunakan persamaan 3, dalam kasus ini arus puncak yang digunakan adalah arus puncak dengan probabilitas 50 % pada penelitian S. Hidayat [15] yaitu 26

kA, yang dipilih dengan pertimbangan arus puncak ini sesuai dengan hasil penelitian lapangan dan jika dikorelasikan dengan penelitian R. Zoro [9] maka probabilitas terjadinya arus petir sebesar 26 kA adalah 75 %, dan jika dikorelasikan dengan data JADPEN untuk daerah yang dilewati SUTET 500 kV Paiton-Kediri probabilitas kejadian arus petir sebesar 26 kA adalah 85 %.

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa jika tahanan kaki menara adalah 10 ohm, maka tegangan pada puncak menara adalah 2168 kV, tegangan ini lebih tinggi dari tegangan CFO dari isolator yaitu 2106 kV, sehingga terjadi lewat denyar balik dengan probabilitas di atas 50 %.

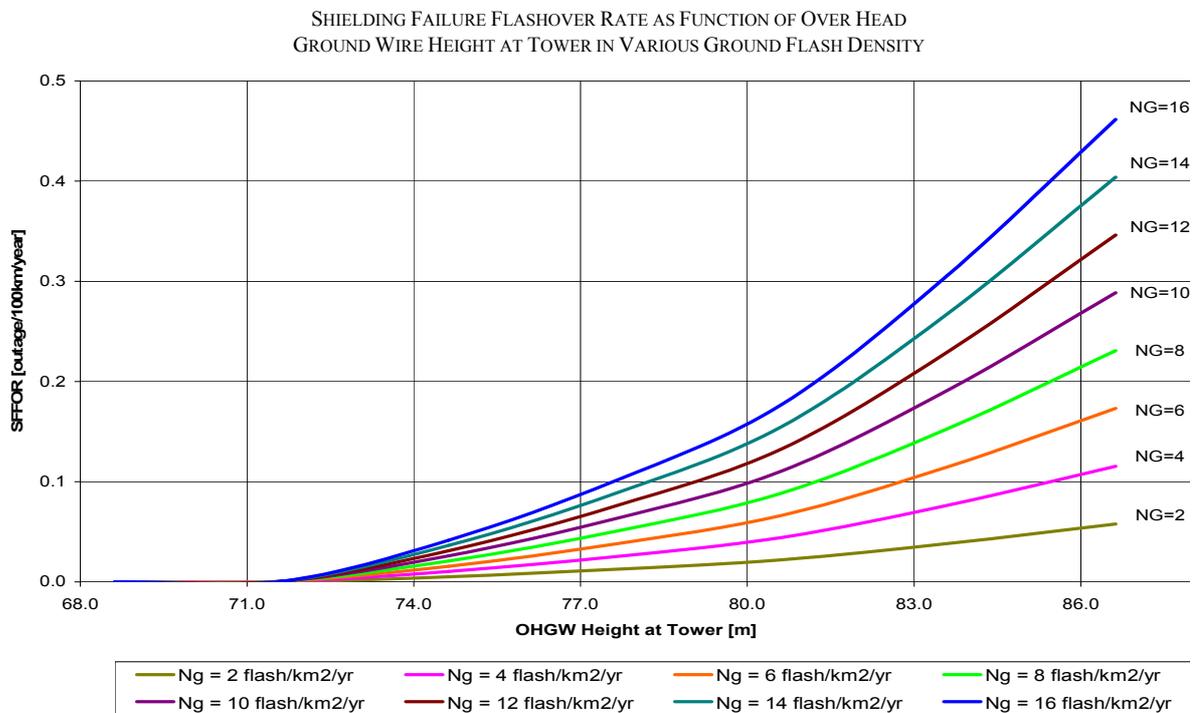
C. Sambaran Langsung pada Kawat Tanah

Dari gambar 15 dapat dilihat terjadinya lewat denyar balik pada isolator akibat sambaran petir pada kawat tanah terjadi pada tahanan tanah sama dengan atau lebih besar dari 25 ohm, isolator yang sering terganggu adalah isolator pada fasa A.

Hal ini menunjukkan bahwa sambaran pada kawat tanah di span antar menara tidak menjadi penyebab yang dominan terjadinya lewat denyar balik karena jika terjadi sambaran pada kawat tanah maka arus akan terbagi menjadi dua ke arah yang berlawanan menuju masing-masing menara yang saling berhadapan, sehingga besarnya lebih kecil dibanding sambaran langsung pada menara.

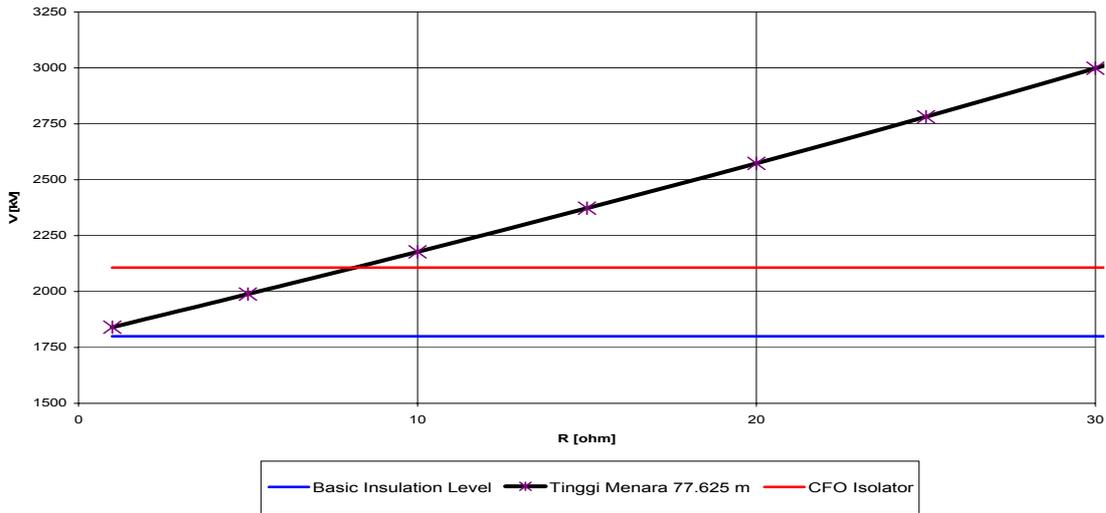
Dari gambar 14 untuk BFOR total pada daerah dengan kerapatan sambaran maksimum 12 sambaran/km<sup>2</sup>/tahun dengan harga tahanan kaki menara sebesar 10 ohm adalah 0.7 kali gangguan/100km/tahun.

Gambar 15. BFOR terhadap tahanan kaki menara pada kerapatan sambaran 12 sambaran/km<sup>2</sup>/tahun untuk berbagai ketinggian menara.



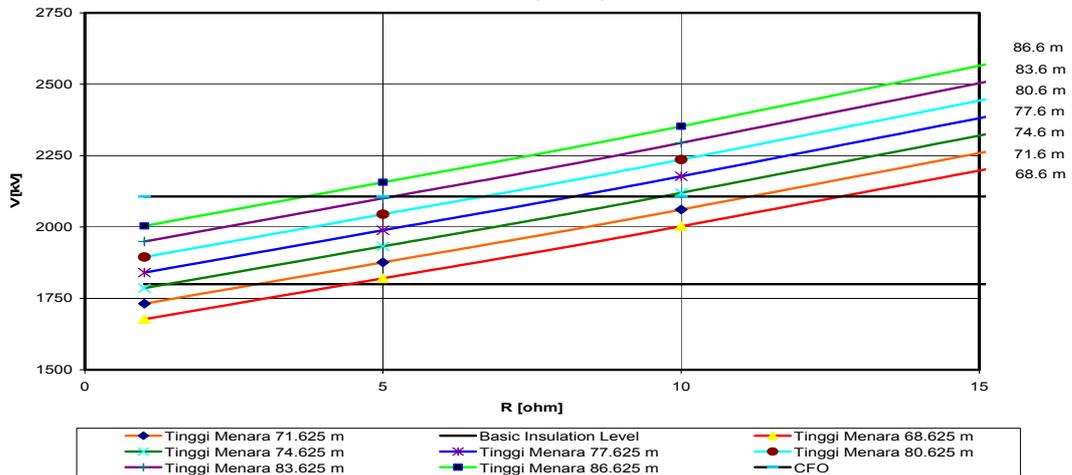
Gambar 10. SFFOR sebagai fungsi ketinggian menara dalam kerapatan sambaran yang bervariasi

TEGANGAN PADA MENARA AKIBAT SAMBARAN LANGSUNG KE TOWER SEBAGAI FUNGSI TAHANAN KAKI MENARA DENGAN TINGGI (METER)



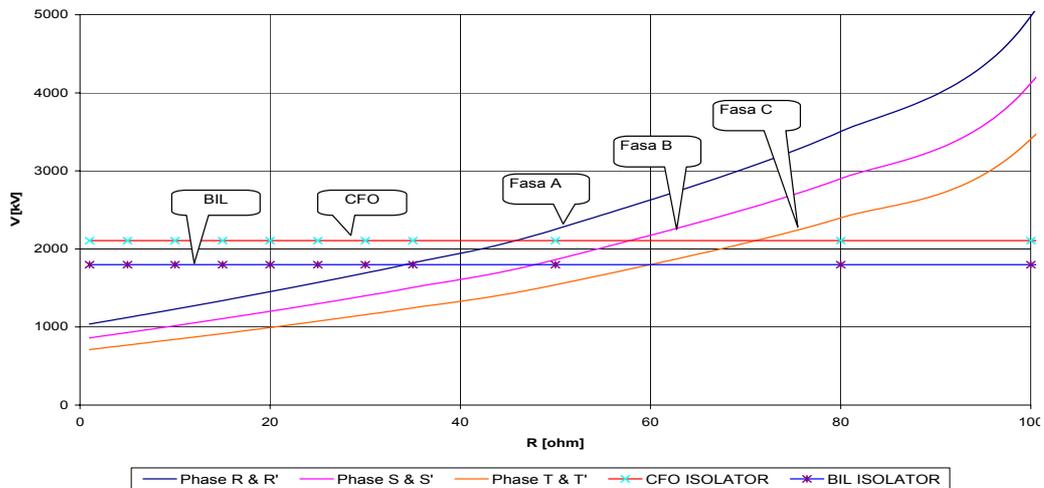
Gambar 11. Tegangan pada menara fungsi tahan kaki menara

TEGANGAN PADA MENARA AKIBAT SAMBARAN LANGSUNG KE TOWER SEBAGAI FUNGSI TAHANAN KAKI MENARA DENGAN TINGGI (METER)



Gambar 12. Tegangan menara fungsi tahan kaki menara pada beberapa tinggi menara

TEGANGAN PADA ISOLATOR AKIBAT SAMBARAN LANGSUNG KE TOWER SEBAGAI FUNGSI TAHANAN KAKI MENARA



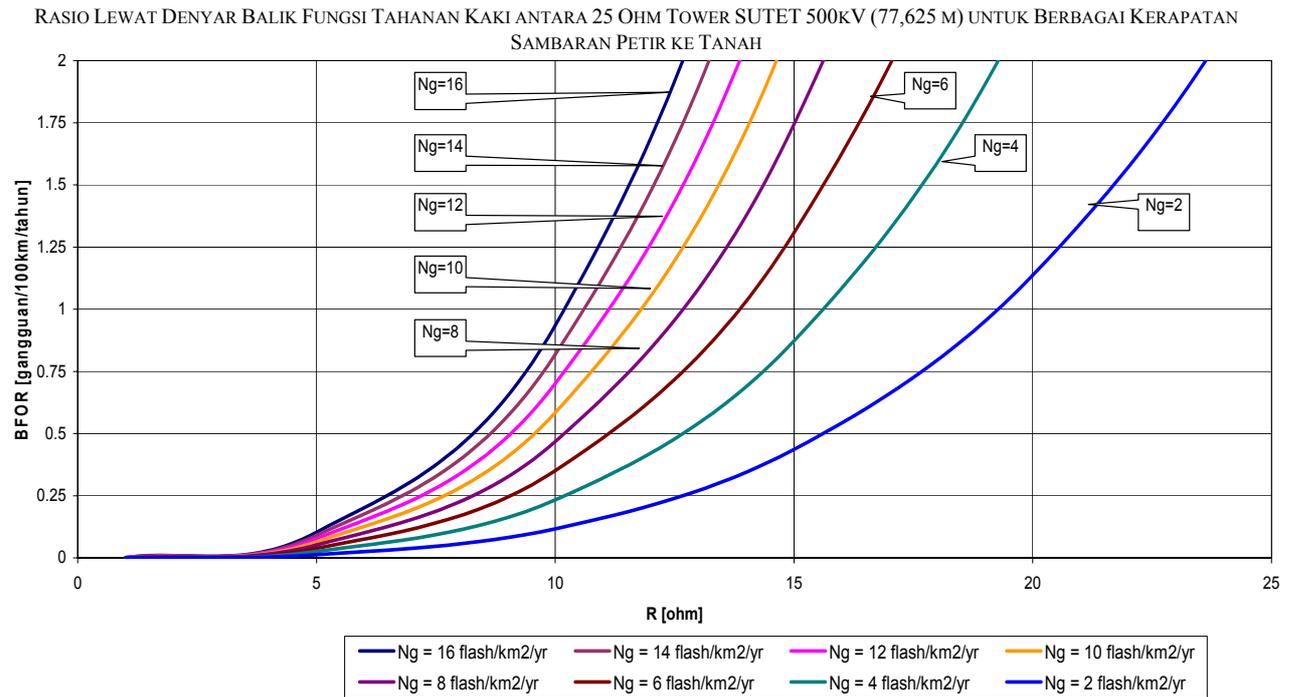
Gambar 13. Tegangan yang dirasakan oleh isolator sebagai fungsi tahan kaki menara

*E. Menghitung Kinerja SUTET 500 kV Paiton-Kediri*

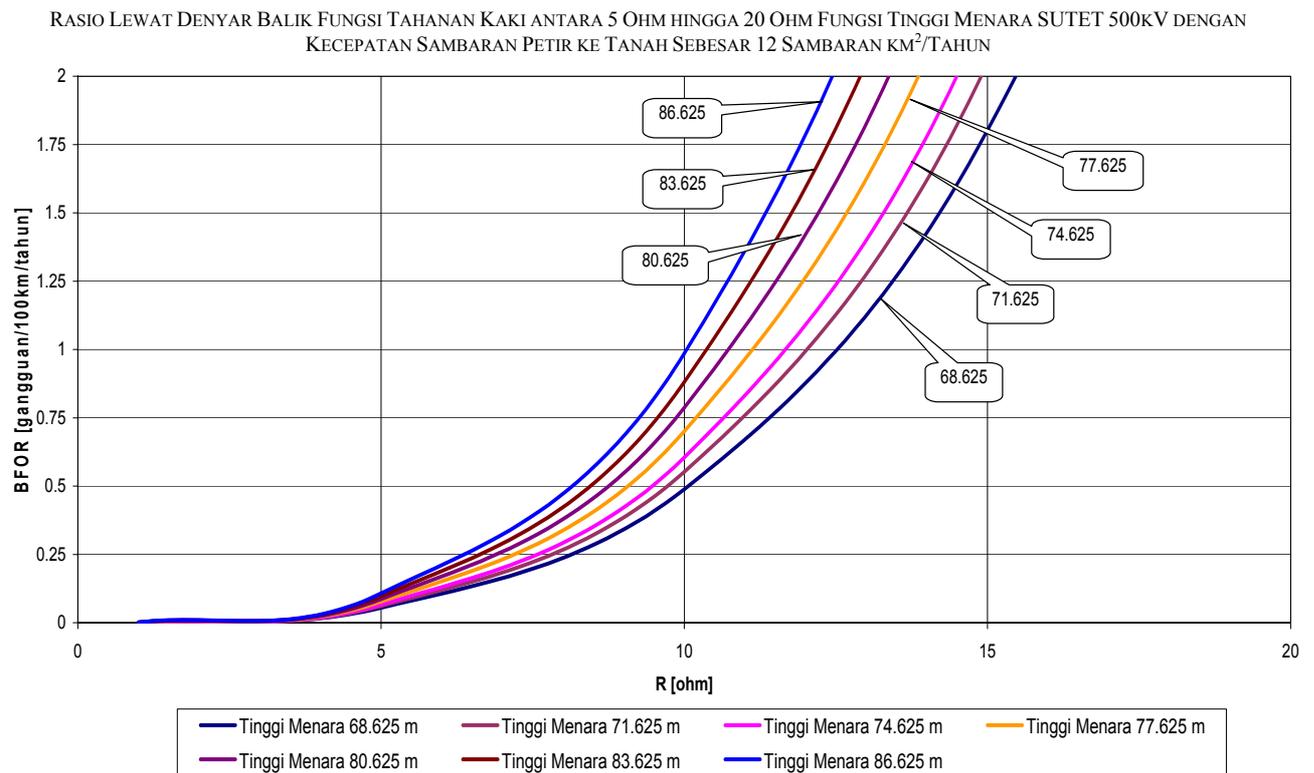
1. Estimasi lightning performance untuk SUTET 500 kV dengan kondisi tahanan tanah rata-rata 10 ohm,

dan kerapatan sambaran adalah maksimum 12 sambaran/km<sup>2</sup>/tahun adalah: FOR = BFOR + SFFOR = 0.70 + 0.071 = 0.771 gangguan/100 km/tahun

2. Dari data diketahui bahwa jumlah menara adalah 493 menara, dengan span rata-rata 400 m, dan panjang saluran kurang lebih 197.2 km, sehingga total gangguan yang mungkin terjadi selama setahun adalah : $Jumlah\ gangguan = 0.771 \times 197.2/100 = 1.52$  gangguan/100 km/tahun



Gambar 14. Rata-rata terjadinya lewat denyar balik terhadap tahanan kaki menara SUTET 500 kV (77.625 m) untuk berbagai kerapatan sambaran ke tanah



Gambar 15. BFOR terhadap tahanan kaki menara pada Kerapatan sambaran 12 sambaran/km<sup>2</sup>/ tahun untuk berbagai ketinggian menara

V. KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi dan observasi data dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Adanya korelasi data gangguan dan jumlah isolator pecah dengan data variasi bulan kejadian sambaran petir, yang menunjukkan bahwa gangguan disebabkan akibat sambaran petir.
2. Dari hasil observasi pada SUTET 500 kV didapat arus puncak yang diukur pada dua kali sambaran adalah 26 kA.
3. Angka kinerja perlindungan terhadap sambaran petir pada SUTET 500 kV Paiton-Kediri sebesar 2 gangguan/100km/tahun lebih tinggi dari angka kinerja

standar PLN untuk SUTET 500 kV yaitu 1.1 gangguan/100km/tahun.

4. Perhitungan dengan metode levelisasi memberikan hasil yang hampir sama dengan metode koridor yaitu 1.5 gangguan/100 km/tahun, hal ini sesuai dengan data gangguan pada tahun 2005 yaitu 1.5 gangguan/100 km/tahun.
5. SUTET 500 kV Paiton-Kediri mempunyai nilai *lightning performance* sebesar 0.5 sehingga menurut standar hal ini memiliki kualifikasi “*Good Grounding and Shielding*”.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hileman, A.R., ‘Insulation Coordination for Power Systems’, Marcel Dekker, Inc., New York, 1999.
- [2] Berger, K., ‘The Earth Flash’, dalam *Lightning Volume 1: Physics of Lightning*, Bob Golde, R.H., Editor, Academic Press, London, 1977, halaman 119 – 190.
- [3] Ragaller, K., ‘Surge in High Voltage Networks’, Plenum Publishing, Co., New York, 1980.
- [4] Whitehead, E.R., ‘Protection of Transmission Lines’, dalam *Lightning Volume 2 : Lightning Protection*, Bab 22, Golde, R.H., Editor, Academic Press, London, 1977, halaman 697 – 746.
- [5] Cliff, J.S., ‘Insulation Coordination’, dalam *Lightning Volume 2 : Lightning Protection*, Bab 24, Golde, R.H., Editor, Academic Press, London, 1977, halaman 773 – 792.
- [6] Anderson, J.G., ‘Lightning Performance of Transmission Lines’, dalam *Transmission Lines Reference Book : 345 kV and Above*, Bab 12, LaForest, J.J., Editor, Palo Alto, California, 1982, halaman 545 – 597.
- [7] Zoro, R., ‘Proteksi Terhadap Tegangan Lebih pada Sistem Tenaga Listrik (Surge Protection)’, dalam *Proteksi Sistem Tenaga Bagian I*, ITB, Bandung, 1987.
- [8] IEEE, ‘IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines’, *IEEE Standard 1243-1997*, Dec. 1997.
- [9] Zoro, R., ‘Karakteristik Petir dan Kondisi Cuaca di Daerah Tropis: Kasus di Gn. Tangkuban Perahu Indonesia’, *Disertasi Program Doktor*, ITB, Bandung, 1999.
- [10] Kinoshita Y., dkk., ‘Lightning Surge Response of Actual 500 kV Transmission Tower with Overhead Ground Wires’, *Proc. 27th International Conference on Lightning Protection*, Avignon, 2004, halaman 6b3.
- [11] CIGRE Working Group 01 of study committee 33, ‘Guide To Procedures For Estimating The Lightning Performance of Transmission Lines’, Electra, Paris, 1991.
- [12] Yoh Yasuda, dkk., ‘Lightning Surge Analysis for 500 kV Transmission line using Grounding Model with Dynamic Characteristic’, *Proc. in International Conference on Power Systems Transients*, Montreal, 2005.
- [13] Chowduri, P., ‘Parameters of Lightning Strokes and Their Effects on Power Systems’, *Proc. of IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Atlanta, 2005.
- [14] Omura, H., dkk., ‘Observation of Lightning Overvoltage at Japanese EHV Station’, *Proc. 27th International Conference on Lightning Protection*, Avignon, 2005, halaman 6P8.
- [15] Hidayat, S., Ishii, M. ‘Lightning Discharge on Land and Sea in Indonesia,’ *Proc in ICPADM 2006*, Vol 1, Denpasar Bali. 2006, materi nomor K-7.
- [16] Soetjipto, S., Sunoto, M. A., Iskanto, E., ‘Polarity and probability of lightning current magnitude in Java Island of Indonesia’, *Proc. 8<sup>th</sup> ISH*, Yokohama, 1993, materi nomor 17.12.
- [17] Greenwood, A., ‘Electrical Transients in Power Systems’, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1991.
- [18] ANSI C92.1-1982, ‘American National Standard for Power System Insulation Coordination’, ANSI, New York, 1982.
- [19] Prasetijo, Dj., ‘Operating Experiences With EHV Transmission Sistem in Java’, *Jurnal Teknik Tegangan Tinggi Indonesia*, Forum Studi Teknik Tegangan Tinggi Antar Universitas, Jakarta, 1999.
- [20] Zoro, R., Pramono, E.Y., ‘Evaluasi Gangguan dan Penanggulangan Sambaran Petir Pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi di PT PLN (Persero) P3B RJTB Indonesia’, *LAPI ITB*, Bandung, 2006.