

# Pengurangan Intensiti Medan Listrik Akibat Sambaran Petir Pada Menara Tiang Transmissi

Budi Utama

Tenaga Edukatif pada Jurusan Teknik Elektro STTNAS Yogyakarta

[budiutamaduautama@gmail.com](mailto:budiutamaduautama@gmail.com)

## Abstrak

Indonesia adalah negara kepulauan di Asia Tenggara yang memiliki iklim tropis dengan dua musim yang berbeda, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Pada musim hujan frekuensi sambaran petir akan muncul dengan angka *Iso kraunic Level* (IKL) antara 30 sd 40, densiti sambaran petir yang tertinggi terjadi di kota Bogor dan sekitarnya. Rute saluran transmisi yang ada di Indonesia juga mengalami gangguan akibat sambaran petir dan menimbulkan *tripout* pada sistem penyaluran daya listrik. Tulisan ini bertujuan menyajikan cara pereduksian intensiti medan listrik yang terpapar di permukaan bumi ketika terjadi sambaran petir di menara saluran transmisi. Metoda *discrete* (cuplikan) pada setiap titik dari suatu permukaan tanah yang akan ditentukan intensiti medan listriknya diterapkan setelah penyusunan Matriks Koefisien Potensial *Maxwell* (MKPM) terbentuk yang bersesuaian dengan pemodelan (*modelling*) terhadap konfigurasi dari komposisi jumlah konduktor fasa dan kawat tanah pada struktur menara transmisi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketika terjadi sambaran petir dgn amplitudo 41.9 kA intensiti maksimum medan listrik yang muncul terpapar di atas permukaan tanah sebesar 12 418 V/m. Setelah pemasangan kawat tanah tambahan di bawah jaringan konduktor fasa, intensiti medan ini mampu diturunkan menjadi 8 038.9 V/m (terjadi penurunan sekitar 35.3 %).

Kata Kunci : Transmissi, Medan-Listrik, Petir, Menara, Tiang.

## 1. Pendahuluan

Ketika sebuah sambaran petir terjadi maka akan tampak perjalanan sebuah alur petir yang dipresentasikan sebagai lidah lompat (*stepped leader*), Kecepatan lidah lompat ini kira kira mendekati 3 % dari kecepatan cahaya dengan alur jalan patah patah (*zig-zag*). Pascapemunculan lidah lompat dari permukaan bagian bawah awan, ujung dari lidah lompat ini akan berjalan mengarah ke bumi dalam waktu perjalanan 20 000 mikro-detik = 0.02 detik. Terminasi udara (*lightning rod*) bertugas untuk membantu menyongsong lidah lompat (*stepped leader*) petir ini, sekaligus menyalurkan dan membuang gelombang impuls petir ini melalui *down conductor* menuju bumi dengan melewati sistem elektroda pentanahannya (*grounding system*). Dalam proses penyongsongan lidah lompat (*stepped leader*) ini ada aliran pergerakan kanal muatan listrik yang muncul dari bumi bergerak ke arah atas lalu bertemu dan menyambut (menyongsong) ujung lidah lompat ini sebagaimana disebut sebagai "aliran penghubung naik" (*upward streamer*). Pemunculan "aliran-penghubung-naik" ini tidak semata mata hanya dapat muncul pada permukaan tanah / bumi, namun dapat juga melalui struktur/objek yang berkonduktiv dengan tanah. Contoh : menara tiang (*tower*), struktur kapal laut/sungai, bangunan yang berstruktur vertikal tinggi, pohon-pohon, hewan bahkan manusia sekalipun. Menara tiang (*tower*) saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) adalah salah satu bentuk / perwujudan media yang dapat dilalui oleh aliran penghubung naik (*upward streamer*)

ini. Menara SUTET ini terbentang pada *route* yang menghubungkan bagian sisi ujung barat pulau Jawa hingga ujung timur pulau Jawa. Rentang *route* jarak yang begitu jauh, membuat menara SUTET ini menjadi rentan/rawan terhadap sambaran petir langsung (*direct lightning strike*) pada kawasan-kawasan tertentu. Apalagi ketika jatuh pada musim penghujan dimana sebagian besar pulau Jawa akan mengalami badai petir (*thunderstorm*). Berdasarkan laporan statistik dari Cina Selatan bahwa sistem jaringan SUTET 500 kV mengalami *trip-outs* yang disebabkan oleh sambaran petir sebesar 73 % untuk kawasan pegunungan dan perbukitan dan diketahui juga bahwa menurut sebuah studi pengamatan selama tujuh tahun di wilayah tenggara Cina bahwa insiden / kecelakaan akibat sambaran petir 56 % terjadi di jalur SUTET 500 kV yang terjadi di kawasan pegunungan dan 26 % terjadi di kawasan perbukitan, serta 18 % terjadi di kawasan dengan kontur permukaan tanah *flat* / datar (Cuaran, dkk., 2016). Untuk negara Indonesia masih sedikit informasi tentang jumlah gangguan petir yang didokumentasikan, namun demikian untuk gambaran beberapa tahun belakangan dapat dijadikan indikasi bahwa SUTET dan SUTET di Indonesia juga mengalami gangguan dari sambaran petir. Didasarkan dari pengalaman pengoperasian SUTET 500 kV yang diperoleh dari PT PLN-P3B Jawa-Bali selama 13 tahun terakhir (1985 sd 1998). Penyebab gangguan menunjukkan bahwa sambaran petir merupakan penyebab utama, yaitu sebesar 31.6 % , diikuti dengan kesalahan operasi dari proteksi rele (*mal function of pro*

tection relays ) sebanyak 21.4 %, kesalahan manusia sebanyak 9.8 %, gangguan pohon-pohon sebanyak 8.1 %, layang layang dan balon 7.7 %, peralatan yang rusak 6.3 %, kesalahan operasi dan peralatan signal 5.9 %, lewat denyar (*flashover*)/pollusi 4.2 %, dan penyebab faktor faktor lain 3.8 % (Prasetyo dkk, 1998). Sedangkan untuk P3B Sumatera UPT Tanjung Karang, pada tahun 2011 terdapat enam kali gangguan petir pada saluran *backbone* dengan total lama padam SUTT selama 1 jam 52 menit dan total energi tidak tersalurkan sebesar 1 098.8 MWh. Sedangkan pada tahun 2012 gangguan petir pada saluran transmisi *backbone* telah mengakibatkan 4 kali pd konsumen dengan total energi tidak tersalurkan sebesar 1 804.94 MWh (Wihartady dkk, 2012 ).

Gangguan yang terkait dengan sambaran petir pada saluran transmisi ditentukan melalui angka *lightning performance*-nya dengan satuan probabilitas gangguan per 100 km per tahun. Metode Monte Carlo pernah digunakan oleh Anderson (1961). Di dalam menentukan angka *Lightning Performance*. Liew dan Darveniza (1971) mempertimbangkan 'aliran penghubung naik' (*upward streamer*) yang muncul di titik sambaran petir pada struktur yang disambar. Oleh karena itu komponen ini mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap tegangan lebih (*overvoltage*) akibat dari sambaran petir pada puncak menara saluran transmisi sehingga pemakaian Metode Monte Carlo yang dibuat oleh Anderson (1961) pada dekadean 1980-an menyisipkan dan mempertimbangkan aliran penghubung naik (*upward streamer*) ini dalam setiap aplikasinya. Tegangan lebih (*overvoltage*) induksi petir terhadap saluran distribusi juga dikerjakan oleh Erickson (1982) dimana variabel yang mempengaruhi secara dominan dari sambaran induksi petir ini bergantung pada parameter jarak, dimensi desain struktur tiang dan tata letak antar konduktor phasanya. Baik Liew maupun Erickson (masing-masing tahun 1971 dan 1982) konsensus pada pemunculan tegangan lebih yang disebabkan oleh sebuah sambaran petir ke sistem jaringan listrik pada saluran transmisi dan distribusi busnya. Piantini (2016) menyebutkan bahwa tegangan lebih (*overvoltage*) yang disebabkan oleh sambaran petir langsung maupun tak langsung (induksi) mampu menimbulkan kegagalan (*failures*) penyaluran daya listrik dalam sistem jaringan distribusi tenaga listrik. Kegagalan dikarenakan ketika terjadi sambaran petir induksi (*indirect strike*) di dekat jaringan maka induksi itu akan berdampak signifikan memicu ke naikan sistem tegangan pada jaringan listrik tersebut dan memicu juga nilai gradien tegangan disekitar jaringan dan tiang penyangga konduktornya sehingga medan listrik disekitar dan di bawah jaringan juga akan terpicu menjadi naik intensitasnya. Hal yang sama juga akan terjadi bila suatu sambaran petir menyentuh puncak struktur menara (*tower*) Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) karena kenaikan tegangan sistem pada fenomena tegangan lebih akibat dari sambaran petir, akan berbanding lurus meningkatkan gradien tegangan disekitar struktur menara dan di bawah jaringannya.

Dari deskripsi diatas diperoleh fakta bahwa terjadi kegagalan pada sistem penyalur daya disebabkan oleh insiden sambaran petir (gangguan eksternal) dan semua gangguan akibat sambaran petir menimbulkan terjadi fenomena tegangan lebih (*overvoltage*) pada sistem tenaga listrik, khususnya pada rute sistem penyaluran/transmisi tegangan tinggi dan ekstra tinggi. Kenaikan nilai tegangan menjadi terkondisi bertegangan lebih atau *over voltage* akan memicu kenaikan nilai gradien tegangan (*voltage gradient*). Jadi dalam konteks fenomena ini, besaran tegangan merupakan unsur terpenting (*important agent*) yang menyebabkan terjadi kenaikan gradien tegangan yang berperan dalam paparan medan listriknya.

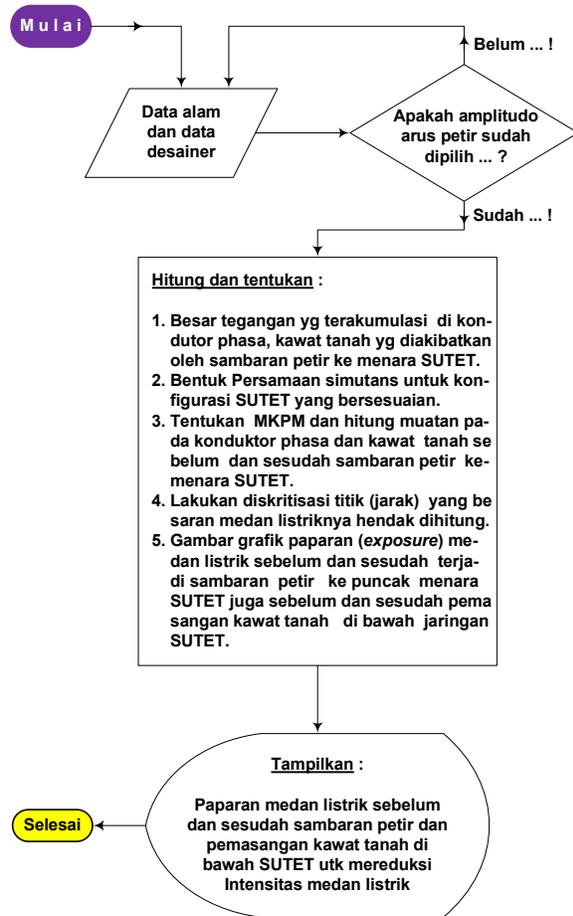
Penelitian ini mencoba memetakan paparan medan listrik di bawah jaringan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, SUTET (*extra high voltage transmission lines*) ketika terjadi suatu sambaran langsung petir ke puncak menara SUTET-500 kV dengan frekuensi sistem 50 Hz serta melakukan reduksi terhadap angka intensitas medan listriknya dengan memasang kawat tanah tambahan di bawah jaringan konduktor phasanya (Utama,

## 2. Metode

Keperluan data lapangan / alam dan data desain menjadi data masukan untuk komputer sebagai simulasi dilakukan dengan cara pengukuran di lapangan. Sedangkan untuk data alamnya diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) setempat (Yogyakarta). Khusus data alam, pada konteks besaran amplitudo arus sambaran petir, dilengkapi dengan frekuensi keterjadian sambaran petirnya diambil dari histogram arus sambaran petir (Anderson, 1961). Karena keseluruhan data berupa data (besaran) kuantitatif sehingga diperlukan formulasi praktis yang terkait dengan besaran listrik elektrostatis. Di dalam menentukan tegangan yang terakumulasi di dalam konduktor fasa ketika terjadi sambaran petir digunakan konsep *dipole* listrik (*electric dipole*) yang dikembangkan oleh Wagener dan Hileman (1960) untuk transmisi kemudian disempurnakan oleh Liew dan Darveniza (1971) dengan mempertimbangkan 'aliran-penghubung-naik' (*upward streamer*). Penentuan medan listriknya dikerjakan dengan mencari muatan listrik yang ada di dalam konduktor fasa saat konduktor tersebut mengalami kenaikan nilai tegangan (*overvoltage*) lalu muatan listrik ini dicari melalui persamaan elektrostatis dengan melakukan invers pada matriks koefisien potensial *Maxwell* yang dikalikan dengan matriks tegangannya. Medan listrik dihitung melalui Metode diskrit (*discrete*) dikerjakan dengan cara proses diskritisasi (mencuplik) titik-titik di permukaan bumi dimana di titik tersebut medan listriknya dihitung (Epri, 1975).

Secara keseluruhan pelaksanaan penelitian simulasi ini dapat digambarkan diagram alir yang merupakan algoritma perhitungan, pemetaan dan gambar berupa grafik

paparan medan listrik di permukaan tanah akibat dari se-  
 buah sambaran petir dengan amplitudo petir sebesar  
 41.9 kA .



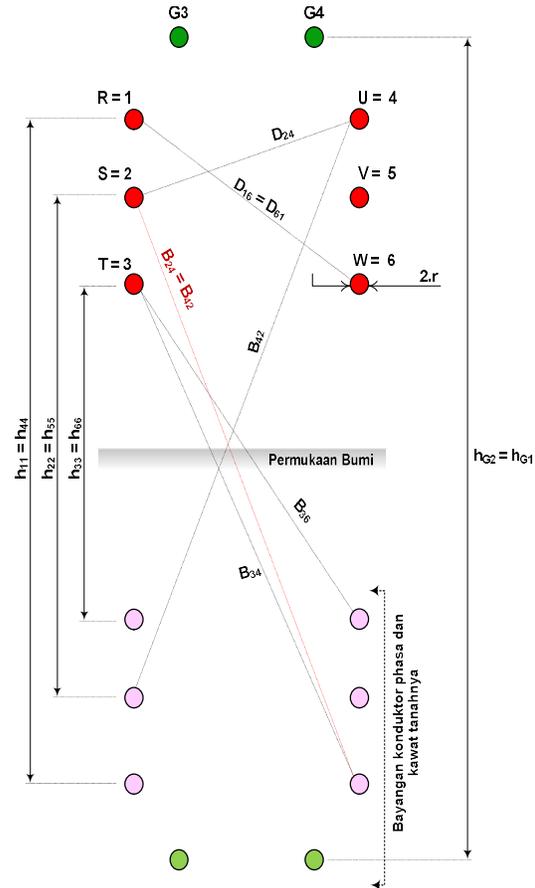
Gambar 1

Algoritma pemetaan, perhitungan medan listrik ketika terjadi sambaran petir di puncak menara SUTET-500 kV

### 2.1 Metoda Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dari dimensi desain struktur menara SUTET dengan komposisi konduktor fasanya yang telah di *modelling* dimasukan ke Matriks Koeffisien Potensial *Maxwell* (MKPM) dan membentuk suatu matrik bujur sangkar dimana jumlah baris sama dengan jumlah kolom. Ukuran matriks ditentukan didasarkan atas jumlah penghantar yang ditinjau. Untuk penelitian ini penghantar yang ditinjau hanya pada jumlah konduktor fasanya, yaitu sebanyak 6 buah konduktor : (R, S, T) dan (U, V, W). Dengan demikian ukuran dari MKPM adalah membentuk matriks bujur sangkar (6 × 6), dgn. jumlah elemen 36 elemen matriks untuk MKPM-nya. Data elemen MKPM diperoleh dengan cara menggambarkan konsep *dipole* listrik pada komposisi konduktor fasanya dengan *modelling* seperti Gbr. 1. Dalam perhitungan nilai P kawat tanah dalam konteks ini tidak diikuti sertakan.

Sehingga secara keseluruhan Matriks Koeffisien Potensial *Maxwell* (MKPM) untuk konfigurasi vertikal,6 konduk-



Gambar 2

Konfigurasi Konduktor fasa dan Kawat Tanah dengan Bayangannya

tor fasa dapat ditulis,

$$P_{11} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{0.5 \times h_{11}}{d_1}$$

$$P_{12} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{B_{12}}{D_{12}} \text{ dst sampai dgn } P_{G2,G2}$$

	01	02	03	04	05	06	07	08
01	PG1G1	PG1r	PG1s	PG1t	PG1u	PG1v	PG1w	PG1G2
02	PrG1	Prr	Prs	Prt	Pru	Prv	Prw	PrG2
03	PsG1	Psr	Pss	Pst	Psu	Psv	Psw	PsG2
04	PtG1	Ptr	Pts	Ptt	Ptu	Ptv	Ptw	PtG2
05	PuG1	Pur	Pus	Put	Puu	Puv	Puw	PuG2
06	PvG1	Pvr	Pvs	Pvt	Pvu	Pvv	Pvw	PvG2
07	PwG2	Pwr	Pws	Pwt	Pwu	Pwv	Pww	PwG2
08	PG2G1	PG2r	PG2s	PG2t	PG2u	PG2v	PG2w	PG2G2

Gambar 3

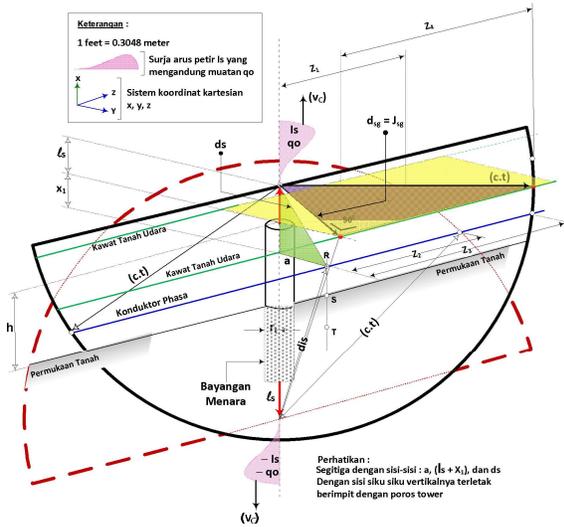
MKPM untuk konfigurasi Vertikal, 6 Konduktor Fasa, 2 Kawat Tanah Tambahan untuk mereduksi intensitas Medan Listrik

Matriks Gbr.3 dengan ukuran (8 × 8) adalah matriks MKPM setelah pemasangan kawat tanah G1 dan G2 di bawah jaringan konduktor phasanya. Sedangkan matriks yang ditengahnya, diberi bayangan gelap (6 × 6) adalah matriks MKPM sebelum pemasangan kawat tanah G1 dan G2. Proses pengisian data elemen matriks ini diperolehi dari Gbr.2 yang menunjukkan tata-letak/komposisi penghantar. Berikut MKPM [P] yang telah diisi dengan data desain,

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0370	0.0411	0.0537	0.0772	0.0404	0.0522	0.0727	0.2322
2	0.0411	1.1551	0.3601	0.2095	0.3723	0.2935	0.1893	0.0404
3	0.0537	0.3601	1.1063	0.3036	0.2935	0.3245	0.2385	0.0522
4	0.0772	0.2095	0.3036	1.0391	0.1893	0.2385	0.2600	0.0727
5	0.0404	0.3723	0.2935	0.1893	1.1551	0.3601	0.2095	0.1678
6	0.0522	0.2935	0.3245	0.2385	0.3601	1.1063	0.3036	0.1251
7	0.0772	0.1893	0.2385	0.2600	0.2095	0.3036	1.0391	0.0772
8	0.2322	0.0404	0.0522	0.0727	0.1678	0.1251	0.0772	1.0370

Gambar 4  
 Matriks Koefisien Potensial Maxwell (MKPM) setelah (warna gelap) dan sebelum pemasangan kawat tanah

Data utk memperoleh nilai tegangan lebih (*overvoltage*) diperoleh didasarkan keperluan dimensi pada Gbr. 5.



Gambar 5  
 Model Konsep dipole listrik 3 Dimensi utk Struktur menara Transmisi (Liew dan Darveniza, 1971)

Untuk menentukan nilai tegangan lebih pada konduktor fasa ( $V_c$ ) dihitung terlebih dahulu tegangan keterlambatan (*Retarded Potential*),  $\psi_{res}$ . Potensial keterlambatan ( $\psi_{res}$ ) adalah potensial yang muncul dari fenomena elektromagnetik yang disebabkan ada besaran arus listrik ( $I$ ) atau penyebaran besaran muatan ( $q$ ) pada saat kondisi (masa) lalu yang terjadi ketika sambaran petir menyentuh puncak menara. Menurut Liew dan Darveniza (1971) nilai ( $\psi_{res}$ ) dapat ditulis sebagai,

$$\psi_{res} = \left( \frac{30 \cdot I_s}{v} \right) \times \left[ \sinh^{-1} \left( \frac{v \cdot c \cdot t + x}{\sqrt{(z^2 + y^2) \cdot (1 - v^2)}} \right) - \sinh^{-1} \left( \frac{x}{\sqrt{z^2 + y^2}} \right) + \ln \left( \frac{1 - v}{1 + v} \right) \right] \quad (1)$$

Sedangkan untuk efek *electric dipole*-nya,

$$\psi'_{res} = \left( \frac{30 \cdot I_s}{v} \right) \times \left[ \sinh^{-1} \left( \frac{2 \cdot (h + l_s) - x}{\sqrt{z^2 + y^2}} \right) - \sinh^{-1} \left( \frac{v \cdot c \cdot t + 2 \cdot (h + l_s) - x}{\sqrt{(z^2 + y^2) \cdot (1 - v^2)}} \right) - \ln \left( \frac{1 - v}{1 + v} \right) \right] \quad (2)$$

Dengan demikian, besar potensial yang dicapai oleh konduktor fasa ketika terjadi sambaran petir di puncak menara adalah sama dengan potensial rata-rata,  $V_c$  (Liew dan Darveniza, 1971).

$$V_c = \frac{1}{Z_3} \cdot \left[ \int_0^{Z_2} (\psi_{res} + \psi'_{res}) \cdot dz + \int_{Z_2}^{Z_3} \psi_{res} \cdot dz \right] \quad (3)$$

Semua notasi variabel persamaan (1), (2), dan (3) bersesuaian dengan Gbr. 5.

## 2.2 Metode Analisis Data

Setelah data konfigurasi konduktor fasa (Gbr. 2) dimasukkan ke dalam Matriks Koefisien Potensial Maxwell (MKPM) Gbr.3, tentukan muatan ( $Q$ ) pada masing-masing penghantar dan muatan di dalam kawat tanah G1 dan G2 melalui persamaan elektrostatis dalam bentuk matriks berikut :

$$[Q]_{(n \times 1)} = ([P]_{(n \times n)}) \cdot ([V]_{(n \times 1)} + [V_c]) \quad (4)$$

$n$  = jumlah penghantar fasa + jumlah kawat tanah.

$[V]_{(n \times 1)}$  = Tegangan pada konduktor fasa sebelum terjadi sambaran petir.

Untuk matrik  $[Q]$  dan  $[V]$  besarnya adalah :

$$Q = \begin{bmatrix} -1.1032e-06 + 5.5087e-07i \\ -3.8534e-06 - 3.1641e-06i \\ -2.3973e-06 + 3.0756e-06i \\ -1.1032e-06 + 5.5087e-07i \\ -3.8534e-06 - 3.1641e-06i \\ -2.3973e-06 + 3.0756e-06i \end{bmatrix} \quad (C/m)$$

$Q$  adalah muatan listrik yang terkumulasi di konduktor fasa dengan satuan (Coulomb per meter). Sedangkan  $V$  adalah tegangan *line-to-neutral* sebelum terjadi sambaran

Petir di puncak menara SUTET. Matrks muatan [Q] dan matriks tegangan [V] berupa matriks kolom yang terdiri dari enam baris, satu kolom (6 × 1).

$$V = \begin{pmatrix} -5.1596e+05 + 0.0000e+00i \\ -7.5343e+05 - 2.5000e+05i \\ -5.6436e+05 + 2.5000e+05i \\ -5.1596e+05 + 0.0000e+00i \\ -7.5343e+05 - 2.5000e+05i \\ -5.6436e+05 + 2.5000e+05i \end{pmatrix} \text{ (Volt)}$$

Oleh karena itu, besar medan listrik di suatu titik sejauh  $L_k$  di permukaan bumi yang ditimbulkan oleh muatan (Q) dapat dihitung (Epri, 1975),

$$E(k) = \left( \frac{Q_{rx} + j Q_{jx}}{2\pi \epsilon} \right) \times \left( \frac{2 \cdot H}{H_k^2 + L_k^2} \right) \quad (5)$$

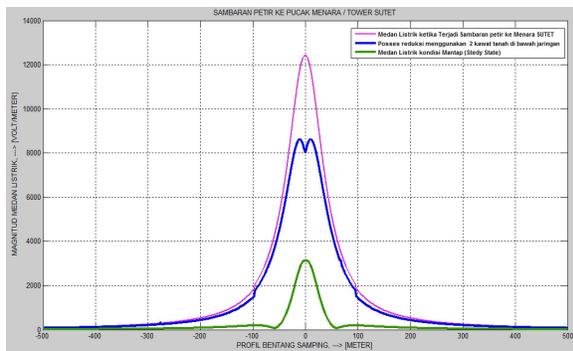
Dengan H adalah ketinggian penghantar/kawat tanah yg ditinjau. Untuk menentukan reduksi medan listrik, guna kan matriks [P] dengan ukuran (8 × 8) Gbr. 4. Yaitu matrik [P] yang telah memasukan data kawat tanah G<sub>1</sub> dan G<sub>2</sub>. Dengan memasukan nilai  $L_k$  yang dipilih secara diskrit maka akan diperoleh nilai gradien tegangan pada jarak  $L_k$ . Gerakan  $L_k$  ini menyamping dari menara (*lateral distance*) dengan interval sebesar 2 meter.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Reduksi medan listrik

Hasil yang diperoleh diurut dalam tiga kondisi paparan medan listrik yaitu :

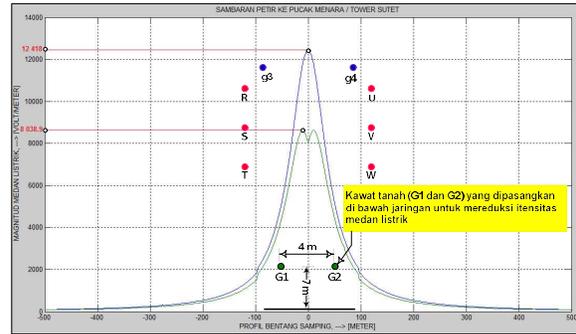
1. kondisi beroperasi mantap (*steady state*).
2. kondisi terjadi sambaran petir di puncak menara/tiang
3. kondisi terjadi sambaran setelah dilakukan pereduksi



**Gambar 6**  
 Paparan Medan Listrik ketika terjadi sambaran di puncak menara, setelah pemasangan kawat tanah, dan kondisi *Steady State*

Diperoleh informasi baru dalam penelitian ini bahwa untuk konfigurasi menara (*tower*) SUTET vertikal, medan listrik maksimum ketika terjadi sambaran petir 41.9 kA ke puncak menara muncul pada koordinat (0, 12418), yaitu pd titik 0 meter dari pusat poros menara dgn magnitudo medan listrik sebesar 12418 V/m atau 12.418 kV/m (lihat Gbr.5). Kemudian setelah pemasangan kawat tanah

G1 dan G2 intensitas medan sebesar ini (12 418 V/m) turun menjadi 8 038.9 V/m. Ini berarti proses reduksi pa-



**Gambar 7**  
 Lokasi Pemasangan Kawat Tanah G1 dan G2

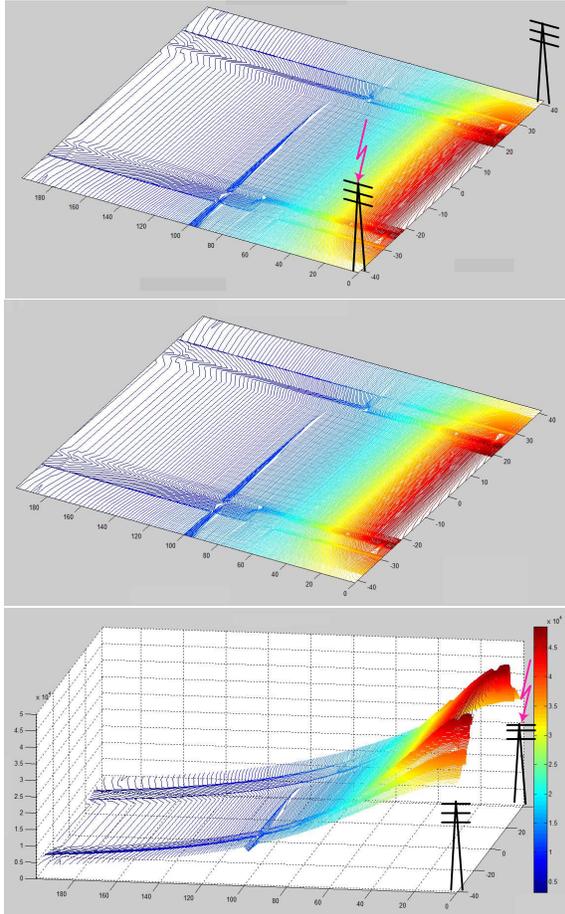
paran medan listrik untuk kondisi pemasangan dua kawat tanah dengan jarak antar kawat tanah 4 meter dan posisi ketinggian dari permukaan tanah 7 meter di bawah jaringan SUTET mampu mereduksi medan listrik yang disebabkan oleh sambaran petir ke puncak menara sebesar 35.3 %.

Medan listrik yang ditimbulkan oleh sambaran petir 41.9 kA ini sebesar 12 418 Volt per meter (0.12 kV/mm). Angka gradien ini jauh di bawah tembus udara yaitu 3 kV/mm. Ini berarti ketika terjadi sambaran petir sebesar 41.9 kA di puncak menara SUTET ternyata medium udara di bawah jaringan masih mempunyai kekuatan *insulation* yg baik (tidak terjadi tembus udara). Sedangkan kekuatan *insulation* pada isolator piringnya tidak dianalisis dalam penelitian ini. (mungkin saja terjadi lewat denyar (*flash over*) atau sebaliknya tidak sama sekali).

Proses reduksi / pengurangan angka intensitas medan listrik yang telah dikerjakan dalam penelitian ini adalah dengan meletakkan kawat tanah di bawah jaringan SUTET dengan memperhatikan keberadaan posisi dimana titik medan listrik tertinggi muncul. Medan listrik maksimum ketika terjadi sambaran petir 41.9 kA ke puncak menara muncul pada koordinat (0, 12418), yaitu pada titik 0 meter dari pusat poros menara dengan magnitudo medan listrik sebesar 12 418 V/m atau 12.418 kV/m (Gbr. 6 dan Gbr. 7). Setelah pemasangan kawat tanah G1 dan G2 intensitas medan sebesar ini (12 418 V/m) turun menjadi 8 038.9 V/m. jarak antar kawat tanah 4 meter dan posisi ketinggian dari permukaan tanah 7 meter di bawah jaringan SUTET mampu mereduksi medan listrik yang disebabkan oleh sambaran petir ke puncak menara sebesar 35.3 %. Level tegangan penyalan (*ignition voltage*) sangat membahayakan ketika hadir bahan bakar cair yang gampang menyala (*flammable*). Sehingga perlu diteliti lebih lanjut sehubungan dengan angka intensitas medan listrik yang dikaitkan dengan sambaran petir. Karena setiap sambaran petir mempunyai amplitudo dari yang terkecil, katakanlah, 10 kA sd 110 kA. Pengaruh kelembaban udara disekitar SUTET perlu diteliti secara seksama me

ningkat keterjadian petir di kawasan Indonesia selalu bersamaan dengan hujan rintik sampai kondisi berhujan deras. Sehingga pengaruh kondisi ini akan ikut berperan dalam pemaparan medan listriknya.

Berikut di bawah ini paparan medan listrik dalam 3 dimensi ketika petir (41.9 kA) menyambar menara (*tower*) SUTET-500 kv, 50 Hz.



Gambar : 8  
Paparasi Medan Listrik untuk sambaran petir 41.9 kA ke menara SUTET

#### 4. Kesimpulan

Hasil deskripsi dan analisis penentuan tingkat reduksi angka intensitas medan listrik akibat sambaran petir pada menara tiang (*tower*) transmisi SUTET-500 kV, 50 Hz, dapat disimpulkan beberapa poin berikut,

1. Proses reduksi intensitas medan listrik dapat dikerjakan dengan pemasangan kawat tanah dua buah di bawah konduktor konduktor phasanya, masing – masing berjarak 2 meter dari poros menara (*tower*), dengan ketinggian 7 meter, membentang

secara horizontal ke kiri dan ke kanan dari poros menara.

2. Intensitas medan listrik untuk sambaran petir sebesar 41.9 kA ke puncak menara menimbulkan medan maksimum sebesar 12 418 V/m dengan posisi 0 meter, yaitu terletak di poros menara/saluran ganda (*double circuit*) konduktor konduktornya.

3. Medan maksimum ketika terjadi sambaran petir di puncak menara sebesar 12 418 V/m jika dibandingkan saat operasi normal (*steady-state*) sebesar 3 137 V/m maka terjadi kenaikan intensitas medan listrik sebesar 395.85 %. atau lebih kurang 4 kali medan nominalnya ketika tegangan operasional 500 kV dalam kondisi mantap (*steady state*).

4. Intensitas medan listrik yang dapat direduksi ketika terjadi sambaran petir 41.9 kA adalah sebesar (12 418 – 8 038.9) V/m = 4 379 V/m atau sekitar 35.26 %.

#### Daftar Pustaka

- Anderson, JG., 1961, "Monte Carlo Computer Calculation of Transmission Line Lightning Performance", AIEE Transaction Part III, vol.80, p.414-420.
- Cuaran, J., Roman, F., Becerra, M., 2016., *Lightning Shielding Analysis of EHV and UHV Transmission Lines : On the Effect of Terrain Topography*., The IEEE 33<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection (ICLP), DOI : 10.1109/ICLP.2016.7791371., 08 – 30 Sept. 2016, p. : 1 – 6, Estoril, Portugal (PRT).
- Epri, 1975, "Transmission Line Reference Book 345 kV and Above", Edition ... ?, p. 94, & 249., Electric Power Research Institute, Palo Alto, California (CA), United State of America (USA).
- Erickson, AJ., Stringfellow, MF., Meal, DV., 1982., "Lightning – Induced Overvoltages on Overhead Distribution Lines", IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems, Vol. PAS-101, No. 64 IEEE -PES Summer Meeting, Portland, Oregon (OR) – United State of America (USA).
- Liew. AC., dan Darveniza. M., 1971., "A Sensitivity Analysis of Lightning Performance Calculations for Transmission Lines"., The IEEE Summer Power Meeting and EHV Conference, The IEEE Conference, The IEEE Transmission & Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society, DOI : 10.1109/TPAS.1971.293128., July 12-17, p. 1443-

1451, Los Angeles, California (CA) – United State of America (USA).

Piantini, A., 2016., "*Lightning-Induced Overvoltages on Overhead Medium-Voltage Lines*", IEEE International conference on High Voltage Engineering and Application (IEEE-ICHVE), 19 – 22 Sept 2016, Chengdu, China (CHN).

Prasetijo, D., Rusdjaja, T., Harijadi, J. 1998, "*Operating Experiences with EHV Transmission System in Java*", Seminar Nasional dan Workshop Teknik Tegangan Tinggi I., Institut Teknologi Bandung, 07 – 08 Desember, Bandung – Indonesia (INA).

Wihartady, H., Prasetyo, P., Rahmady, MB., Hidayat, R Wibowo, AT., 2012., "*Mitigasi Gangguan akibat Petir pd PT. PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Tanjung-Karang*", <http://www.researchgate.net/publication/29233534> PT.PLN (Persero) P3B Sumatera PT Tanjung Karang Jl. Basuki Rahmat No.19, Bandar Lampung – Indonesia (IDN).



SEMINAR NASIONAL  
**REKAYASA TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMASI**  
**SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA**

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman 55281, Telp. (0274) 485390, 486986 Fax. (0274) 487294  
Email : [seminar@sttnas.ac.id](mailto:seminar@sttnas.ac.id) website : [www.retii.sttnas.ac.id](http://www.retii.sttnas.ac.id)



CERTIFICATE NO. ID1001471

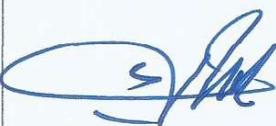
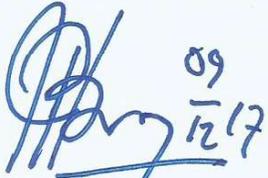
**NOTULEN**  
**KEGIATAN SEMINAR NASIONAL ReTII KE-12 TAHUN 2017**

Pada hari ini Sabtu, Tanggal 9 Desember, Tahun 2017 telah dilaksanakan Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) ke-12, atas :

- Nama Pemakalah : Budi Utama
- Judul Makalah : PENGURANGAN INTENSITI MEDAN LISTRIK AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA MENARA TIANG TRANSMISI
- Pukul : 09.45 - 10.00
- Bertempat di : STTNAS Yogyakarta
- Dengan alamat : Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, DIY
- Ruang : D.21

Pertanyaan/Kritik/Saran	Tanggapan Pemakalah
1. Apakah ada instrumen untuk mengukur sambaran petir?	1. Ada instrumen yang bisa dipertanggungjawabkan

Yogyakarta, 9 Desember 2017

Ketua Panitia	Moderator	Pemakalah
 Dr. Ir. Sugianto, MT	 Tugino, S.T., M.T	 Budi Utama



SEMINAR NASIONAL  
**REKAYASA TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMASI**  
**SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA**

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman 55281 Telp. (0274) 485390, 486986 Fax. (0274) 487294  
Email : [seminar@sttnas.ac.id](mailto:seminar@sttnas.ac.id) website : [www.retii.sttnas.ac.id](http://www.retii.sttnas.ac.id)



CERTIFICATE NO. ID10/01471

**NOTULEN**  
**KEGIATAN SEMINAR NASIONAL ReTII KE-12 TAHUN 2017**

Pada hari ini Sabtu, Tanggal 9 Desember, Tahun 2017 telah dilaksanakan Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) ke-12, atas :

- Nama Pemakalah : Budi Utama
- Judul Makalah : PENGURANGAN INTENSITI MEDAN LISTRIK AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA MENARA TIANG TRANSMISI
- Pukul : 09.45 - 10.00
- Bertempat di : STTNAS Yogyakarta
- Dengan alamat : Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, DIY
- Ruang : D.21

Pertanyaan/Kritik/Saran	Tanggapan Pemakalah
1. Apakah ada instrumen untuk mengukur sambaran petir?	1. Ada instrumen yang bisa dipertanggungjawabkan

Yogyakarta, 9 Desember 2017

Ketua Panitia	Moderator	Pemakalah
 Dr. Ir. Sugianto, MT	 Tugino, S.T., M.T	 Budi Utama