

STUDI UNJUK KERJA *LIGHTNING AIR TERMINAL PROTECTION* DITINJAU DARI JENIS BAHAN

Anastasia Br Napitupulu^{*)}, Agung Nugroho, and Abdul Syakur

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: *anastasianapitupulu@gmail.com*

Abstrak

Lightning air terminal merupakan bagian utama dari sistem proteksi petir eksternal. Parameter yang menentukan baik buruknya kinerja lightning air terminal franklin ialah level tegangan tembus. Pada penelitian ini membahas lightning air terminal yang ditinjau dari jenis bahan. Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium dengan 6 kali percobaan pada 4 jenis bahan yang berbeda. Standard mengacu pada International Electrotechnical Commission (IEC) 62305. Metode penelitian menggunakan tegangan tinggi DC polaritas negatif dengan mengatur jarak sela kemudian dilakukan pemetaan distribusi tegangan dan medan listrik dengan metode FEM (Finite Element Method) menggunakan software Matlab R2008. Variabel yang dicari berupa tegangan tembus, resistansi, distribusi tegangan dan medan listrik dari masing-masing lightning air terminal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis bahan mempengaruhi kemampuan menyalurkan arus petir sampai ke ground. Dengan jarak sela yang sama, dihasilkan tegangan tembus yang berbeda. Probabilitas peugujian tegangan tembus pada jenis bahan tembaga, aluminium, besi galvanis, dan besi sebesar 100 % , 100 % , 96,67 % dan 100 % dengan resistansi 0,06 Ω , 0,08 Ω , 0,10 Ω , dan 0,11 Ω .Distribusi tegangan dan medan listrik tidak merata untuk keempat lightning air terminal.

Kata kunci: Lightning air terminal, tegangan tembus, resistansi, distribusi tegangan, distribusi medan listrik

Abstract

Lightning air terminal is a major part of the external lightning protection system. The parameters which determine whether the poor performance is lightning air terminal franklin breakdown voltage level. In this study discusses the lightning air terminal in terms of types of materials. This research was conducted by a laboratory scale with 6 time trial on four different types of material. Standard reference to the International Electrotechnical Commission (IEC) 62305. The method uses a negative polarity DC high voltage by adjusting the distance between then mapping the distribution of voltage and electric field by the method of FEM (Finite Element Method) using Matlab R2008. Variables that are sought in the form of breakdown voltage, resistance, voltage and electric field distribution of each lightning air terminals. The results showed that the type of material affects the ability to deliver the lightning current to the ground. With the gap between the same, produced a different breakdown voltage. The probability of breakdown voltage test of the type of materials as copper, aluminum, galvanized iron, and iron by 100%, 100%, 96.67% and 100% with resistance of 0.06 Ω , 0.08 Ω , 0.10 Ω , and 0,11 Ω .Distribusi voltage and electric field of lightning air terminal is not spread to all four terminals.

Keywords: lightning air terminal, breakdown voltage, resistance, voltage distribution, electric field distribution

1. Pendahuluan

Petir merupakan fenomena alam dimana terjadi loncatan muatan listrik antara awan dengan bumi. Jika muatan di awan bertambah besar, maka muatan induksi makin besar sehingga beda potensial antara awan dengan bumi menjadi semakin besar. Kejadian tersebut diikuti oleh adanya pelepasan muatan elektron yang berupa lidah-lidah petir yang turun dari awan dan juga naik dari bumi.[1][10]

Indonesia merupakan daerah yang memiliki intensitas sambaran petir yang sangat tinggi. Hal ini didukung oleh letak Indonesia yang berada di kawasan tropis sehingga memiliki tingkat kelembapan dan pemanasan yang tinggi[2].

Mengingat kerusakan-kerusakan yang dapat timbul akibat adanya sambaran petir, maka muncul berbagai usaha untuk mengatasi sambarannya. Salah satu usahanya adalah

dengan memasang sistem pengamanan yang akan menyalurkan arus petir sampai kembali ke tanah, peralatan yang dipakai biasanya berupa *Lightning air terminal* (LAT), *down conductor* dan *grounding*[3].

Lightning air terminal adalah bagian sistem proteksi petir eksternal yang dikhususkan untuk menangkap sambaran petir, berupa elektroda logam yang dipasang secara tegak maupun mendarat. Parameter utama yang menentukan baik buruknya kinerja *lightning air terminal* dilihat dari level tegangan tembus (setelah korona) yang terjadi. Menurut Schwaiger, level atau tingkatan tegangan tembus dipengaruhi oleh distribusi medan listriknya.[4]

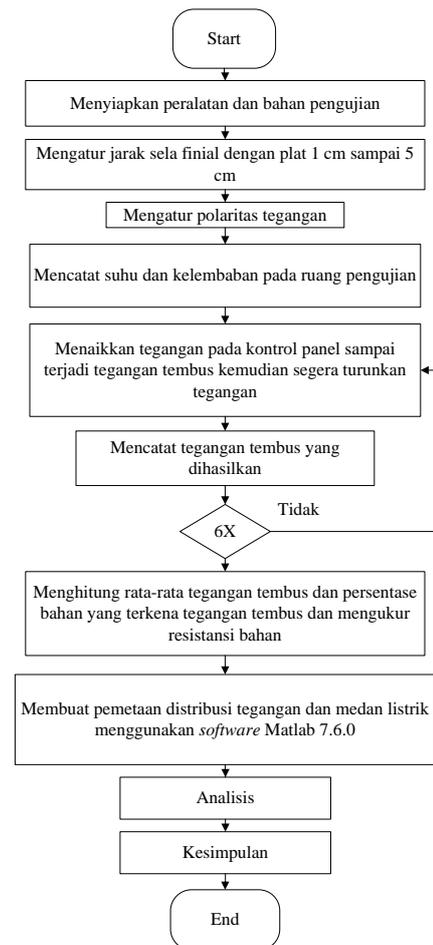
Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method / FEM*) adalah metode numerik untuk memecahkan masalah matematika dan teknik, digunakan untuk menentukan nilai pendekatan (*approximate solution*) dari Persamaan Differensial Parsial (*Partial Differential Equation/PDE*) dalam memecahkan masalah distribusi tegangan dan medan listrik[5].

Pemilihan *Lightning air terminal* (LAT) dengan jenis bahan yang tidak sesuai dengan bangunan tidak dapat menjadi penangkap petir yang baik, sehingga arus petir tidak dapat disalurkan ke tanah secara maksimal dan menyebabkan berbagai kerusakan pada peralatan elektronik maupun manusia yang ada di dalam bangunan. Sebagaimana menurut Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) bahwa letak, bentuk, dan ukuran dari bangunan sangat mempengaruhi sukar atau mudahnya suatu bangunan tersambar petir (Dept. PU, 1983 : 15) [6].

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

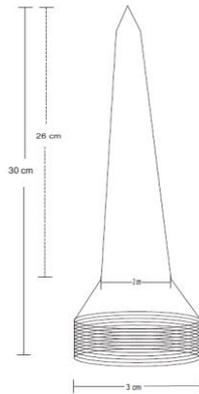
Pada penelitian ini menggunakan 2 metode, yaitu pengujian tegangan tembus dan pemetaan distribusi tegangan serta medan listrik menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Kedua metode tersebut memiliki tahapan penelitian seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Pembuatan Sampel uji

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah plat aluminium yang memiliki diameter 50 cm dan ketebalan sebesar 1.5 mm serta *lightning air terminal* dengan 4 jenis bahan yang berbeda yaitu tembaga, aluminium, besi galvanis dan besi. Dimensi dari keempat *lightning air terminal* telah sesuai IEC 62305.



Gambar 2. Dimensi Sampel [3]

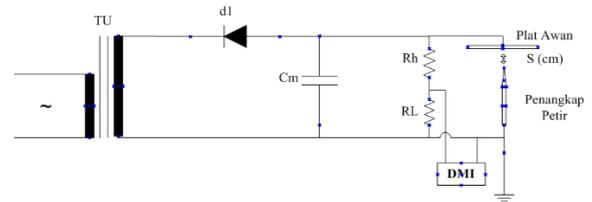
Parameter geometris dapat dilihat pada tabel 1. Total pembuatan sampel adalah berjumlah 4 buah, yang terdiri dari jenis bahan tembaga, aluminium, besi dan besi galvanis. Keempat sampel diuji tegangan tembus dengan variasi jarak sela, diukur resistansinya serta perhitungan konduktivitas tiap bahan dan dilakukan pula pemetaan distribusi tegangan dan medan listrik.

Tabel 1. Parameter Geometris Sampel Uji

Nama Bahan Uji	Lightning air terminal
Ketinggian total	30 cm
Bahan	Tembaga, Aluminium, Besi, Besi Galvanis
Diameter luar	2.54 cm (1 inchi)

2.3. Pengujian Tegangan Tembus

Parameter untuk mengetahui baik buruknya kinerja dari lightning air terminal dilihat dari level tegangan tembus setelah (korona) terjadi. Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan menggunakan sebuah plat aluminium yang dimodelkan sebagai awan dan 4 buah lightning air terminal dengan jenis bahan yang berbeda. Kemudian mengeliminasi jenis bahan dari lightning air terminal yang memiliki probabilitas terkena tegangan tembus paling besar. Pengujian tegangan tembus menggunakan pembangkitan tegangan tinggi searah (DC) polaritas negatif. Pembangkitan tegangan tinggi searah dapat menggunakan pembangkitan tegangan tinggi bolak-balik yang keluarannya dihubungkan dengan rangkaian penyearah setengah gelombang (menggunakan dioda tegangan tinggi). Untuk rangkaian penyearah dengan kapasitor perata, memberikan tegangan searah yang lebih murni daripada tanpa kapasitor. Dengan memperbesar ukuran kapasitor perata, frekuensi dan jumlah fasa akan mengurangi tegangan cacat yang dihasilkan[4]. Adapun gambar pengujian tegangan tembus dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus [4,9]

Keterangan gambar:

TU = Trafo Uji tiga belitan tegangan tinggi 220 V//100 kV

d1 = Dioda tegangan tinggi

Cm = Capacitor pengukuran 10000 pF

Rh = Resistor pengukuran high 280 MΩ

RL = Resistor pengukuran low 15 KΩ

DMI = Alat ukur tegangan tinggi searah (kV)

Menurut tabel-tabel normalisasi dan standarisasi menyatakan bahwa untuk macam-macam alat berlaku suatu tegangan lompatan api tertentu pada keadaan standar. Misal menurut Japanese Industrial Standard (JIS) dan Japanese Electrotechnical Committee (JEC). Pengujian dalam keadaan standar adalah [[11] :

Tekanan barometer 760 mmHg

Suhu sekeliling 20°C

Kelembapan mutlak 11 gram/m³

Oleh karena itu keadaan lompatan api kering selalu dipengaruhi oleh keadaan udara. Maka untuk dapat membandingkan hasil pengujian dengan tabel normalisasi yang ada diperlukan rumus yang dapat mengubah hasil tersebut menjadi dalam keadaan standar. Hal ini untuk mengetahui apakah spesimen yang diuji memenuhi syarat atau tidak.

Untuk mengoreksi hasil pengujian terhadap tekanan dan suhu dipakai rumus :

$$V_s = \frac{V_b}{\delta} \quad (1)$$

Dimana :

V_s= tegangan lompatan pada keadaan standard (KV)

V_b= tegangan lompatan pada keadaan sebenarnya (KV)

δ = Faktor koreksi udara.

$$= \frac{p}{760} \times \frac{273+20}{273+\theta} = \frac{0.386 \times p}{273+\theta} \quad (2)$$

Sedangkan p = tekanan udara pada waktu pengujian (mmHg) dan θ = suhu sekeliling pada saat pengujian (°C). Sebagai koreksi pada kelembapan udara mutlak dipakai rumus empiris :

$$V_b = \frac{\delta V_s}{K_h} \quad (3)$$

Keterangan :

V_s=tegangan tembus standar (KV)

V_b=tegangan tembus yang diukur pada keadaan sebenarnya (KV)

Kh=faktor koreksi yang bergantung pada kelembapan udara

2.4. Pengukuran Resistansi

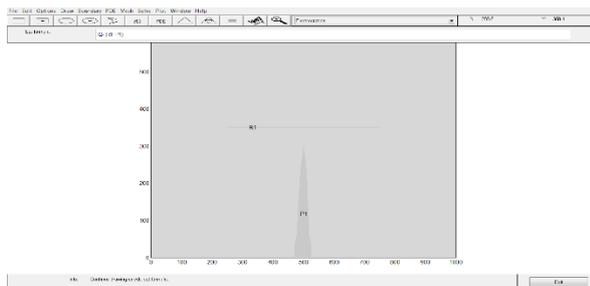
Pengukuran resistansi dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tahanan pada suatu jenis bahan dari *lightning air terminal*. Pengukuran resistansi menggunakan MiliOhm Meter yang diletakkan pada kedua ujung dari *lightning air terminal*. Semakin besar resistansi suatu jenis bahan dari *lightning air terminal* maka kemampuan untuk mengalirkan arus semakin kecil. Adapun gambar pengukuran resistansi menggunakan MiliOhm Meter diperlihatkan gambar 4.



Gambar 4. Pengukuran Resistansi Menggunakan MiliOhm Meter

2.5. Pemetaan Distribusi Tegangan dan Medan Listrik

Untuk pemetaan distribusi tegangan dan medan listrik pada *lightning air terminal* dalam penelitian ini menggunakan *Finite Elemen Method* dengan bantuan *software Matlab 7.6.0*



Gambar 5. Parameter Geometris *Lightning Air Terminal* Pada Matlab R2008

1. Bentuk Geometri

Lightning air terminal dan plat aluminium digambar dalam bentuk dua dimensi sesuai dengan bentuk aslinya. *Lightning air terminal* digambar dalam bentuk polygon, plat aluminium dan udara yang melingkupinya digambar berbentuk segiempat (*rectangle/square*).

2. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Kondisi batas dibagi menjadi dua jenis kondisi, yaitu kondisi *dirichlet* dan kondisi *Neumann*. Kondisi

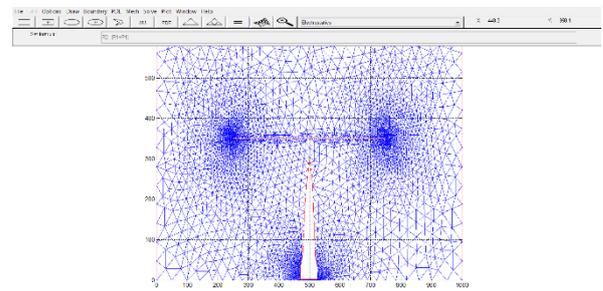
dirichlet diset sesuai tegangan tembus dari masing-masing *lightning air terminal* berdasarkan jenis bahan dan 0 volt untuk *ground*.

3. PDE Mode

Mode untuk menentukan parameter dari permitivitas relatif udara dengan mengubah nilai pada *PDE specification*, permitivitas relative udara bernilai 1,00059 sedangkan nilai rho diisikan nol.

4. Mesh

Mesh mode untuk membagi seluruh permukaan pada *PDE mode* menjadi ribuan titik (*nodal*) dan ribuan segitiga yang disebut proses *discretization* yang memiliki kualitas berbeda pada tiap-tiap segitiga sesuai dengan bentuk geometri.



Gambar 6. Mesh Mode Pada *Lightning Air Terminal*

5. Solusi

Solve mode, yaitu mode untuk menampilkan pendistribusian tegangan dan medan listrik pada permukaan isolator dan udara yang melingkupinya. Pengaturan untuk perubahan dengan mengubah parameter *plot mode*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus

Nilai rata-rata pengujian tegangan tembus dari *lightning air terminal* dengan 4 jenis bahan yang berbeda dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai Rata-rata Pengujian Tegangan Tembus dari keempat jenis bahan *lightning air terminal*

Rata-rata tegangan tembus Jarak Sela (cm)	Tembaga	Alumunium	Besi Galvanis	Besi
1	-8.232	-8.481	-8.642	-9.678
2	-11.663	-13.048	-13.055	-15.823
3	-15.593	-18.161	-18.390	-19.560
4	-18.931	-21.598	-21.705	-22.995
5	-21.311		-25.561	-26.061
	24.896			

Dapat dilihat pada tabel 2 di atas nilai rata-rata tegangan tembus setiap *lightning air terminal* pada jarak interval

tertentu. Nilai rata-rata tegangan tembus *lightning air terminal* dengan bahan tembaga pada jarak interval 1 cm sebesar -8.232 KV, pada bahan alumunium -8.481 KV, pada bahan besi galvanis -8.642 KV serta nilai rata-rata pada bahan besi-9.678 KV.

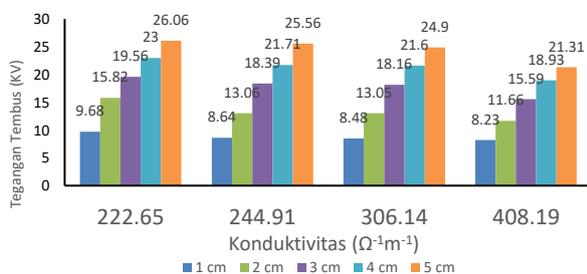
Pada jarak sela 2 cm, nilai tegangan tembus *lightning air terminal* dengan jenis bahan tembaga sebesar -11.663 KV, pada jenis bahan alumunium sebesar -13.048 KV, pada jenis bahan besi galvanis sebesar -13.055 KV, serta nilai rata-rata tegangan tembus pada bahan besi sebesar -15.823 KV.

Pada jarak sela 3 cm, nilai tegangan tembus *lightning air terminal* dengan jenis bahan tembaga sebesar -15.593 KV, pada jenis bahan alumunium sebesar -18.161 KV, pada jenis bahan besi galvanis sebesar -18.390 KV, serta nilai rata-rata tegangan tembus pada bahan besi sebesar -19.56 KV.

Pada jarak sela 4 cm, nilai tegangan tembus *lightning air terminal* dengan jenis bahan tembaga sebesar -18.931 KV, pada jenis bahan alumunium sebesar -21.598 KV, pada jenis bahan besi galvanis sebesar -21.705 KV, serta nilai rata-rata tegangan tembus pada bahan besi sebesar -22.995 KV.

Pada jarak sela 5 cm, nilai tegangan tembus *lightning air terminal* dengan jenis bahan tembaga sebesar -21.311 KV, pada jenis bahan alumunium sebesar -24.896 KV, pada jenis bahan besi galvanis sebesar -25.561 KV, serta nilai rata-rata tegangan tembus pada bahan besi sebesar -26.060 KV.

Probabilitas bahan terkena tegangan tembus pada setiap jenis bahan *lightning air terminal* dengan interval jarak sela tertentu yaitu jenis bahan tembaga sebesar 100%, jenis bahan alumunium 100 %, jenis bahan besi galvanis sebesar 96.67 % dan jenis bahan besi sebesar 100% pada setiap pengujian dengan jarak sela 1 cm



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata Tegangan Tembus dari *Lightning Air Terminal* Berdasarkan Jenis Bahan

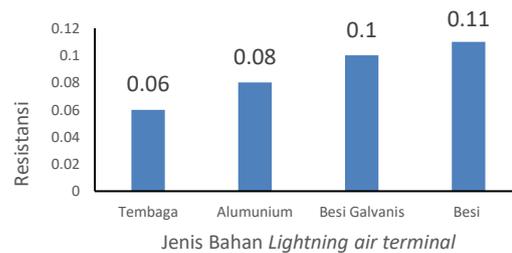
Parameter buruk baiknya kinerja dari *lightning air terminal* dapat dilihat dari nilai tegangan tembusnya (setelah terjadi korona)[4] seperti pada gambar 7. Perbedaan nilai dari tegangan tembus pada *lightning air terminal* dengan jenis bahan yang berbeda ini dipengaruhi oleh resistansi dari masing-masing jenis bahan *lightning air terminal* . Semakin besar tahanan suatu jenis bahan dari *lightning air terminal* maka tegangan tembus dari jenis bahan tersebut semakin besar. Ini berarti proses *breakdown* pada isolasi semakin lama.

3.2. Hasil Pengukuran Resistansi

Dari pengukuran yang telah dilakukan, nilai resistansi setiap sampel uji dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 . Hasil pengukuran resistansi setiap sampel uji

No	Jenis Bahan <i>Lightning air terminal</i>	Resistansi (Ω)
1	Tembaga	0.06
2	Alumunium	0.08
3	Besi Galvanis	0.10
4	Besi	0.11



Gambar 8. Grafik Perbandingan Resistansi Jenis Bahan Dari *Lightning air terminal*

Data hasil pengukuran resistansi jenis bahan *lightning air terminal* dengan menggunakan MiliOhm Meter menunjukkan bahwa urutan resistansi *lightning air terminal* dari yang terbesar sampai yang terkecil yaitu : jenis bahan besi, besi galvanis, alumunium dan tembaga. Dari hasil pengukuran resistansi diatas dapat dihitung nilai konduktivitas listriknya, ditunjukkan bahwa hal yang mempengaruhi daya hantar listrik pada suatu bahan bergantung pada struktur internal dari bahan penghantar tersebut. Material tembaga memiliki nilai resistansi terkecil dari antara bahan lainnya karena merupakan bahan logam yang memiliki jumlah elektron-elektron bebas yang lebih banyak terlepas dari inti atom.

Setelah dilakukan pengukuran resistansi menggunakan MiliOhm Meter, maka dilakukan perhitungan konduktivitas setiap jenis bahan dari *lightning air terminal* dengan persamaan seperti dibawah ini.

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{4}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{5}$$

dimana :

R=Resistansi (Ω)

ρ = Resistivitas (Ωm)

L= panjang *lightning air terminal* (m)

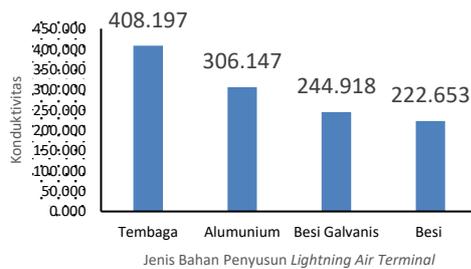
A = Luas permukaan (m^2)

σ =Konduktivitas listrik ($\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)

Dengan menggunakan persamaan diatas maka nilai konduktivitas setiap jenis bahan dari *lightning air terminal* didapatkan seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai konduktivitas *lightning air terminal* berdasarkan jenis bahan

No	Jenis Bahan Penyusun <i>Lightning Air Terminal</i>	Resistivitas (Ωm)	Konduktivitas ($\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)
1	Tembaga	0.002	408.197
2	Alumunium	0.003	306.147
3	Besi Galvanis	0.004	244.918
4	Besi	0.004	222.653



Gambar 9. Grafik Perbandingan Konduktivitas Jenis Bahan Dari *Lightning air terminal*

Pada grafik nilai konduktivitas *lightning air terminal* diatas didapatkan nilai konduktivitas yang paling tinggi terdapat pada jenis bahan tembaga sedangkan nilai konduktivitas terendah terdapat jenis bahan besi. Hal ini disebabkan karena tiap bahan memiliki struktur internal yang berbeda. Konduktivitas suatu jenis bahan tergantung dari jumlah elektron bebas yang tidak terikat pada inti atom, proses pelepasan elektron pada logam ke dalam gas (peristiwa emisi),kerapatan muatan dan mobilitas elektron. maka memiliki nilai konduktivitas tertinggi dari keempat bahan lainnya. Bahan dari *lightning air terminal* yang memiliki nilai konduktivitas tertinggi mampu menyalurkan arus dan tegangan induksi yang berlebih sampai ke *ground*.

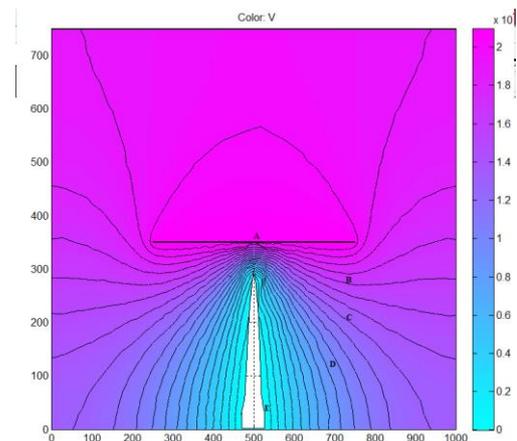
3.3. Analisis Pemetaan Distribusi Tegangan dan Medan Listrik Pada *Lightning air terminal*

3.3.1. Analisis Pemetaan Distribusi Tegangan Pada *Lightning air terminal*

Perbandingan distribusi tegangan pada ujung *lightning air terminal* yaitu membandingkan pendistribusian tegangan pada ujung *lightning air terminal* sampai pada titik pengukuran dekat *ground* berdasarkan jenis bahan satu

dengan lainnya yang telah diberi tegangan yang berbeda sehingga dapat dilihat perbedaan distribusi tegangan pada masing-masing ujung dari keempat jenis bahan *lightning air terminal* yang disimulasikan.

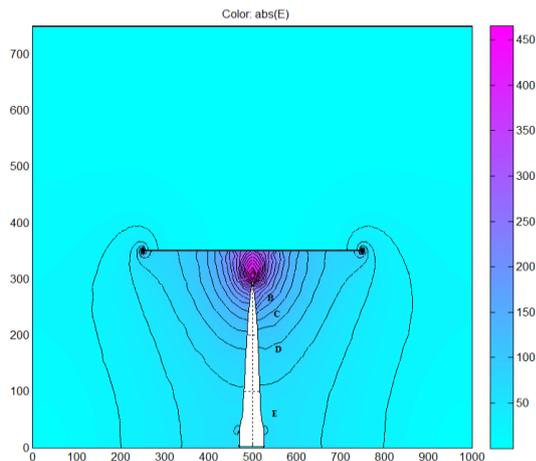
Dari hasil simulasi pada *software* Matlab dapat dilihat pada setiap jenis bahan dari *lightning air terminal* pendistribusian tegangannya tidak simetris. Hal ini terlihat dari garis-garis tegangannya tetapi semakin jauh titik pengukuran pada *lightning air terminal* (menuju *grounding*) dari konduktor plat alumunium maka tegangan akan semakin menurun. Adapun selisih penurunan nilai tegangan antara ujung penerima pada *lightning air terminal* dengan bagian lainnya dikarenakan kontruksi *lightning air terminal* yang memiliki ujung runcing dan jarak antara plat alumunium dengan titik pengukurannya yang semakin jauh, sehingga tegangan semakin menurun dan tegangan dapat tidak terdistribusi merata pada tiap permukaan [7] seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hasil Distribusi Tegangan *Lightning Air Terminal* Berdasarkan Jenis Bahan Pada *Software* Matlab 7.6.0

3.3.2. Analisis Pemetaan Medan Listrik Pada *Lightning air terminal*

Penyebaran nilai garis (*contour*) pada distribusi medan listrik sama dengan distribusi tegangan, jika pada distribusi tegangan penyebaran warna terdistribusi secara tidak simetris tetapi nilai tegangan besar pada *contour* pertama pada konduktor plat alumunium, selanjutnya nilai semakin kecil hingga mendekati nol pada *contour* yang terdekat dengan *ground*. Pada distribusi medan listrik penyebaran kuat medan tidak seragam (*non uniform*), terlihat pada gambar garis-garis medan listriknya dan kuat medan cenderung besar pada jarak antara konduktor plat alumunium yang diberi tegangan dengan *lightning air terminal* serta ujung dari *lightning air terminal*, pemetaan *contour* pada distribusi medan listrik menggunakan tipe cool. Gambar 11. menunjukkan pendistribusian medan listrik pada *lightning air terminal*.



Gambar 11. Pendistribusian Medan Listrik Pada Lightning Air Terminal Berdasarkan Jenis Bahan

Medan listrik terdistribusi tidak merata pada keempat *lightning air terminal* dengan jenis bahan yang berbeda dan garis-garis medan listriknya cenderung merapat ketika berada pada sela antara plat alumunium dan *lightning air terminal*. Pada ujung dari *Lightning air terminal* garis-garis medan listrik lebih rapat dari titik pengukuran sebelumnya yang menyebabkan nilai medan pada ujung permukaan *Lightning air terminal* meningkat. Hal ini dikarenakan medan listrik cenderung menyebar ke daerah dengan muatan ruang nol ($\rho_v=0$), sehingga kuat medan berkonsentrasi pada jarak sela dan cenderung mengumpul pada konduktor logam yang memiliki permukaan lebih runcing dikarenakan adanya gejala emisi medan tinggi dimana elektron yang terdapat pada permukaan logam katoda (K) akan mengalami gaya yang arahnya menuju anoda (A) sehingga elektron pada ujung runcing akan mengalami gaya yang lebih besar karena intensitas medan elektrik di titik tersebut relatif lebih besar dibandingkan dengan intensitas medan elektrik dibagian yang datar [8]. Nilai medan listrik cenderung semakin kecil seiring dengan bertambah besarnya jarak antara plat alumunium yang diberi tegangan dengan *lightning air terminal*.

4. Kesimpulan

Setelah mempertimbangkan nilai tegangan tembus, nilai pengukuran resistansi, perhitungan konduktivitas listrik serta distribusi tegangan dan medan listrik pada keempat jenis bahan dari *lightning air terminal* maka didapatkan bahwa jenis bahan yang memiliki rata-rata tegangan tembus terbesar dan memiliki probabilitas tertinggi terkena tegangan tembus pada pengujian I yaitu jenis bahan tembaga dengan probabilitas 100 % dan pada pengujian II jenis bahan yang memiliki probabilitas tertinggi yaitu jenis bahan alumunium serta pada pengujian III jenis bahan yang memiliki probabilitas tertinggi yaitu 96.67% pada jenis bahan besi galvanis pada jarak sela tertentu dengan cara mengeliminasi tiap jenis bahan yang memiliki

probabilitas tertinggi pada pengujian sebelumnya. Nilai rata-rata tegangan tembus berbeda pada tiap jenis bahannya disebabkan oleh perbedaan nilai resistansi dari tiap bahan *lightning air terminal*. Resistivitas mempengaruhi kemampuan daya hantar listrik sampai ke *ground*. Nilai resistansi jenis bahan yang memiliki tegangan tembus terkecil yaitu tembaga sebesar 0.06Ω , nilai resistansi alumunium sebesar 0.08Ω dan nilai resistansi besi galvanis sebesar 0.10Ω serta jenis bahan yang memiliki nilai rata-rata tegangan tembus dan nilai resistansi terbesar terdapat pada jenis bahan besi sebesar 0.11Ω . Kinerja baik buruknya suatu *lightning air terminal* dapat dilihat dari level tegangan tembusnya. Sedangkan level tegangan tembus dipengaruhi oleh medan listrik. Distribusi tegangan untuk keempat jenis bahan dari *lightning air terminal* tidak merata pada seluruh bagian. Sistribusi tegangan terbesar terletak pada konduktor plat alumunium yang diberi tegangan dan akan semakin mengecil pada bagian dekat dengan *ground* sedangkan distribusi medan listrik cenderung tidak merata pada seluruh permukaan *lightning air terminal*. Distribusi medan listrik terbesar terdapat pada ujung *lightning air terminal* dan jarak sela antara *lightning air terminal* dengan plat alumunium yang bertegangan. Hal ini disebabkan karena medan listrik cenderung menyebar ke daerah dengan muatan ruang nol ($\rho_v=0$), sehingga kuat medan berkonsentrasi pada jarak sela dan cenderung mengumpul pada konduktor logam yang memiliki permukaan lebih runcing dikarenakan adanya gejala emisi medan tinggi dimana elektron yang terdapat pada permukaan logam katoda (K) akan mengalami gaya yang arahnya menuju anoda (A) sehingga elektron pada ujung runcing akan mengalami gaya yang lebih besar karena intensitas medan elektrik di titik tersebut relatif lebih besar dibandingkan dengan intensitas medan elektrik dibagian yang datar. Nilai medan listrik cenderung semakin kecil seiring dengan bertambah besarnya jarak antara plat alumunium yang diberi tegangan dengan *lightning air terminal*. Dalam pengujian tegangan tembus masih banyak kontaminasi dari lingkungan sekitar seperti debu dll. Untuk itu perlu diperhatikan faktor yang dapat mempengaruhi nilai dari tegangan tembus pada pengujian level tegangan tembus dari *lightning air terminal* seperti suhu, kelembapan dan tekanan udara agar tingkat akurasi data lebih tinggi

Referensi

- [1]. A. D. Hermawan, "Optimalisasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Menggunakan Jenis Early Streamer," Universitas Indonesia, Depok, 2010.
- [2]. Husni, M, "Workshop Penanggulangan Bencana Alam, Gempa bumi, Cuaca dan Iklim", BMKG. Jakarta. 2006.
- [3]. IEC 62305-1, "Protection against lightning", IEC Publication, 2010.
- [4]. Harry Soekotjo Dachlan dkk, "Pengaruh Sudut Keruncingan dan Diameter Finial Franklin Terhadap Distribusi Medan Listrik dan Tingkat Tegangan Tembus," jurnal EECCIS, vol II, No 1, Juni 2008

- [5]. Klaus Jurgen Bathe, "*Finite Element Procedur*" second edition, USA, 2016.
- [6]. Richard Chadwick, "*The Comparison of lightning Protection System (LPS) in Accordance with NFPA 780 and IEC 62305-3*", 2016.
- [7]. Hari benu Saris, "*Simulasi Distribusi Tegangan dan Medan Listrik Pada Isolator Suspensi 20 KV 3 Sirip Dengan 4 Tipe Ukuran Sirip*", Semarang, 2012.
- [8]. Safarul azmi, "*Penggunaan FEM (Finite Element Methode dalam Memetakan Medan Listrik Pada Permukaan Isolator Jenis Pin dan Post Pada 20 KV dan Udara Disekitarnya*", skripsi. Universitas Diponegoro. Semarang
- [9]. Abdul Syakur, "*Teori dan Hasil Eksperimental Partial Discharge pada Bahan Isolasi*". Semarang, 2009
- [10]. Agung Nugroho, Abdul Syakur "*Penentuan Lokasi Peasangan Lightning Mast Pada Menara Transmisi Untuk Mengurangi Kegagalan Perlindungan Akibat Sambaran Petir*" Universitas Diponegoro, 2005.
- [11]. Bonggas. L. Tobing, "*Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*", Jakarta: Gramedia, 2002.