

Realisasi dan Pengujian Prototype Alat Proteksi Petir dengan Metoda Pembalik Muatan

AJI TRI MULYANTO¹, SITI SAODAH HERLINA², TEGUH ARFIANTO¹

¹Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung

²Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

Email: ajitrimulyanto@gmail.com

ABSTRAK

Sistem proteksi petir merupakan suatu sistem yang sangat diperlukan pada saat ini, mengingat peralatan listrik semakin berkembang dengan pesat. Secara umum, sistem proteksi petir eksternal terdiri dari dua yaitu sistem proteksi Aktif dan sistem proteksi Pasif. Pada tugas akhir ini akan merealisasi dan menguji sistem proteksi petir dengan metode pembalik muatan dengan menggunakan prinsip kerja Op-Amp dimana dalam pengujiannya akan membandingkan dua buah finial dengan mengukur kuat medan listrik antara keduanya, dimana salah satu finial akan dipasang alat pembalik muatan. Besar pengujian alat proteksi ini menggunakan tegangan $50 V_{AC}$ dengan jarak finial 1-5 cm. Dimana pada penelitian ini didapatkan nilai muatan q_1 sebesar $9,3 \times 10^{-13}$ C dan q_2 sebesar $9,32 \times 10^{-15}$ C dengan Gaya F sebesar $7,8 \times 10^{-11}$ N dari nilai E_{non} yang sudah di ukur sebesar $83,78$ V/m yang telah dibangkitkan dengan tegangan $50 V_{AC}$ dengan jarak antar finial 1 cm pada sisi *non-inverting* dan untuk *inverting* di dapat nilai muatan q_1 sebesar $9,3 \times 10^{-13}$ C dan q_2 sebesar $8,11 \times 10^{-15}$ C dengan gaya $6,79 \times 10^{-11}$ N dari nilai E_{inv} yang sudah di ukur sebesar 73 V/m yang telah dibangkitkan dengan tegangan $50 V_{AC}$ dengan jarak antar finial 1 cm pada sisi *inverting*.

Kata kunci: air terminal, kuat medan listrik, muatan, sistem proteksi petir.

ABSTRACT

Lightning protection system is a system that greatly needed at this time, due to the electrical equipment are growing rapidly. In general, the external lightning protection system consists of two types, active protection system and passive protection system. This research has realized and tested the lightning protection system with inverting charge method using op-amp work principle in which the test compared two finial by the measuring of electric field strength between both, which one was finial used inverting charge device. The large voltage testing used $50 V_{AC}$ with the finial was 1-5 cm. The value of the charge q_1 was $9,3 \times 10^{-13}$ C and q_2 was $9,32 \times 10^{-15}$ C with the force F as $7,8 \times 10^{-11}$ N and E_{non} value that has been measured at $83,78$ V/m and the generated voltage was $50 V_{AC}$ with the distance between the finial 1 cm on the side of the non-inverting and the inverting was achieved the charge q_1 was $9,3 \times 10^{-13}$ C and q_2 was $8,11 \times 10^{-15}$ C with the force was $6,79 \times 10^{-11}$ N. The E_{inv} measured value was 73 V/m which the generated voltage was $50 V_{AC}$ with the distance between two finials was 1 cm on the inverting side.

Keywords: air terminal, charge, electric field, lightning protection system.

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki hari guruh yang tinggi dengan jumlah sambaran petir yang banyak, parameter arus petir yang tinggi, sehingga kerusakan dan kerugian yang ditimbulkan akibat sambaran petir pun cukup besar.

Mengingat kerusakan-kerusakan yang dapat timbul akibat adanya sambaran petir, maka munculah berbagai usaha untuk mengatasi sambarannya. Di dalam bidang teknik elektro dikenal dengan proteksi petir. Kerusakan tersebut terjadi karena adanya sambaran langsung ke peralatan atau bangunan.

Proteksi petir sendiri terbagi menjadi 2 yaitu proteksi aktif dan proteksi pasif. Proteksi aktif bekerja dengan menyebarkan ion-ion disekitar yang bertujuan untuk mengarahkan pilot leader ke air terminal, sedangkan proteksi pasif bekerja secara pasif dimana air terminal hanya di letakkan pada titik-titik tertentu sesuai dengan perhitungan dan karakter petir pada daerah tersebut (Hermawan, 2010).

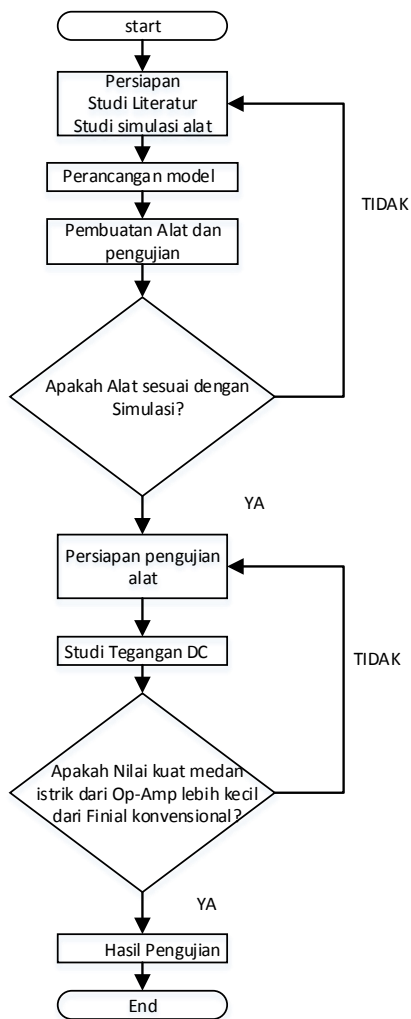
Dengan melihat kerusakan akibat sambaran petir serta proteksi petir saat ini, maka penulis akan mencoba merancang serta menguji proteksi petir dari hasil hipotesa yang diteliti pada thesis yang ditulis dengan judul Simulasi Dan Analisa Perancangan Alat Penangkal Petir Dengan Metoda Pembalik Muatan, yang mana prinsip kerja dari alat ini berdasarkan pada Operasional Amplifier (Op-Amp) *inverting*.

Maksud dan tujuan dilakukan penelitian pada tugas akhir ini adalah merealisasikan dan menguji rangkaian pembalik muatan untuk proteksi petir dengan cara merancang hasil simulasi dari thesis yang berjudul simulasi dan analisa Perancangan alat penangkal petir dengan Metoda pembalik muatan serta mengukur dua buah finial dengan membandingkan besar kuat medan listrik antara finial yang pasang dengan rangkaian pembalik dengan finial konvensional.

2. METODOLOGI

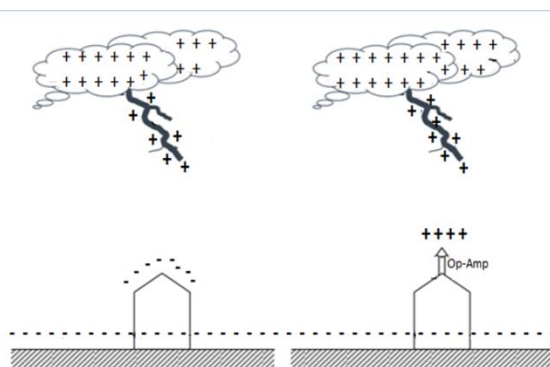
2.1 Diagram Alir

Metodologi penelitian merupakan proses ataupun langkah-langkah yang bertujuan supaya perancangan dapat dilakukan secara sistematis. Metode penelitian dapat dibuat dengan diagram alir. Dan dibawah ini adalah diagram alir dalam merealisasikan serta menguji alat yang telah dilakukan dalam penelitian ini, diagram alir dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Perancangan Model Penelitian

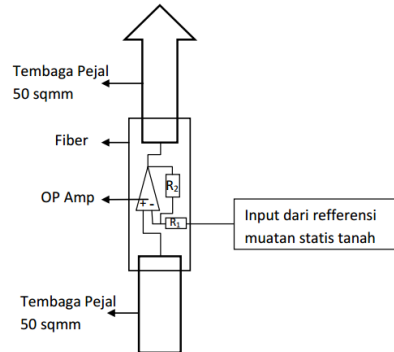


Gambar 2. Model Penelitian

Gambar 2 terlihat Muatan listrik yang terkonsentrasi di awan akan menginduksikan muatan lawannya pada permukaan bumi. Pilot leader akan menyambar gedung yang muatannya berlawanan (gambar 2 sebelah kiri) dan disalurkan ke tanah. Pada penelitian ini diharapkan

Gambar 2 sebelah kanan) ketika ada pilot leader maka pada permukaan bumi akan menghasilkan muatan yang sama sehingga tidak terjadi sambaran (Arfianto, 2013).

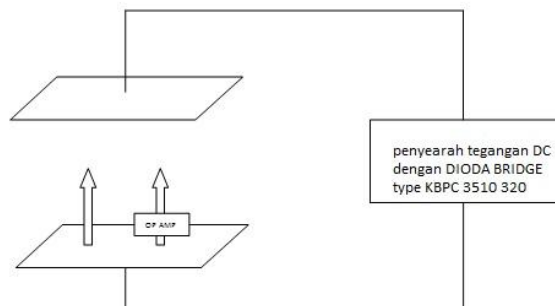
2.3 Pemodelan Pembalik Muatan



Gambar 3. Desain Pengujian Alat

Gambar 3 menunjukkan pembuatan alat penangkal petir pembalik muatan terdapat beberapa komponen yang terdiri dari Tembaga pejal sebagai finial, Op-Amp *inverting* digunakan untuk menghasilkan muatan yang berlawanan (Arfianto, 2013).

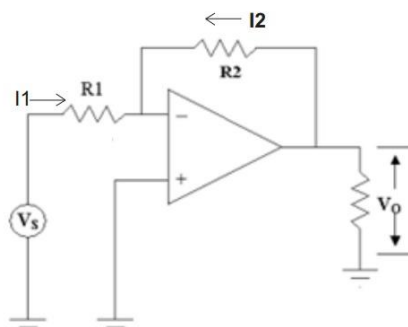
2.4 Model Pengujian Alat



Gambar 4. Model Pengujian Alat

Pada Gambar 4 penelitian yang telah dilakukan membandingkan dua buah finial yang mana akan diuji dengan tegangan dengan DC menggunakan diode bridge dimana pada sisi awan berupa awan positif dan tanah sebagai negatif, pada pengujian ini menggunakan DC karena pada tegangan DC dapat dibedakan polaritasnya (muatan) (Arfianto, 2013).

2.5 Inverting Amplifier



Gambar 5. Rangkaian *Inverting Amplifier*

Merupakan rangkaian *inverting amplifier*, sehingga didapatkan rumus:

$$I_1 = -I_2 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$$I_1 = \frac{V_s}{R_1} \dots\dots\dots (2)$$

Dan ,

$$I_2 = -\frac{V_o}{R_2} \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan 2 dan persamaan 3 dapat di substitusi menjadi:

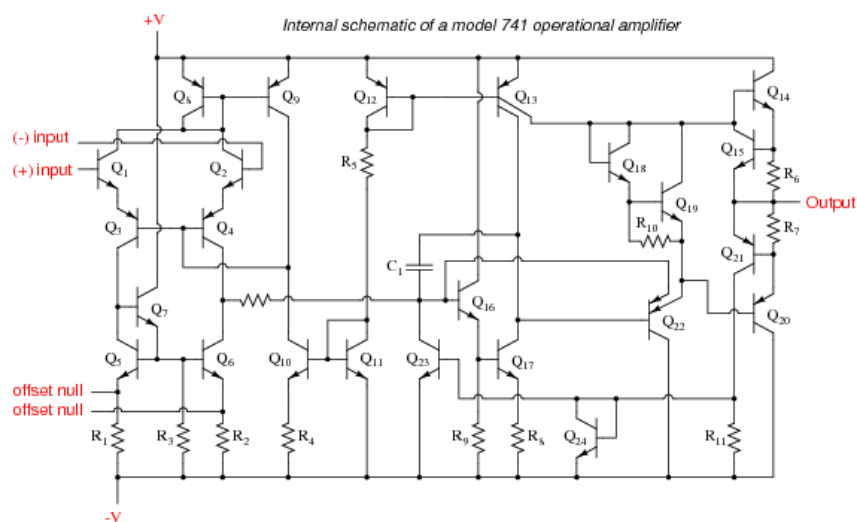
$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots (4)$$

Dari persamaan 4 didapatkan tegangan output sebesar :

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_s \dots\dots\dots (5)$$

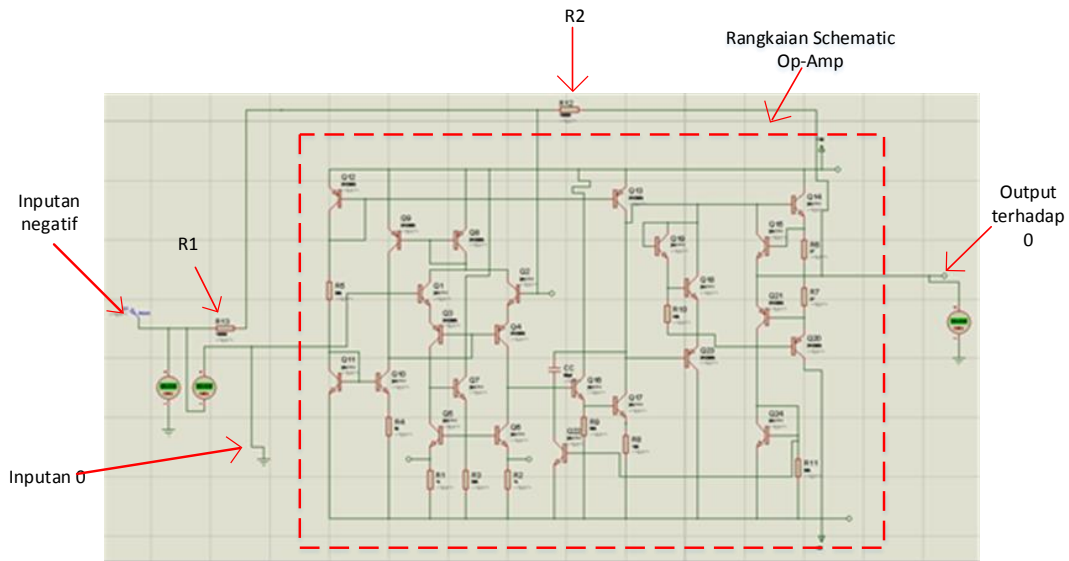
(Mancini, 2001).

2.6 Desain Rangkaian Op-Amp



Gambar 6. Rangkaian Schematic IC Op-Amp tipe LM 741 yang akan direalisasikan menjadi Pembalik Muatan (Datasheet LM 741, 2000)

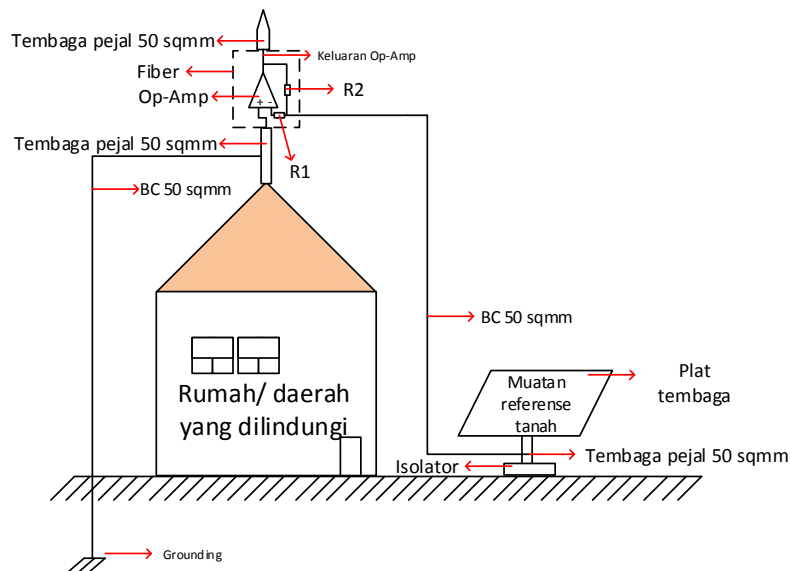
Gambar 6 menunjukkan rangkaian schematic IC op amp tipe LM 741 yang telah direalisasikan dengan menggunakan ISIS PROTEUS seperti yang di tunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Simulasi Dari Rangkaian *Schematic* IC Op-Amp Tipe LM 741 Menggunakan ISIS PROTEUS

Pada Gambar 7 penelitian ini penulis telah mengamati penelitian sebelumnya yang berjudul simulasi dan analisa perancangan alat penangkal petir dengan metoda pembalik muatan, dimana rangkaian pada penelitian sebelumnya menggunakan rangkaian Op-Amp jenis LM741 yang disimulasikan dengan menggunakan ISIS PROTEUS yang di tunjukkan pada gambar 7.

2.7 Penerapan alat



Gambar 8. Aplikasi Alat Pembalik Muatan

Dari Gambar 8 merupakan aplikasi pemasangan alat dimana masukan dari op-amp berasal dari inputan reference dari muatan statis permukaan tanah dan nantinya inputan reference muatan statis tanah ini akan dibalikkan muatannya sehingga pada ujung finial menjadi muatan lawan dari muatan statis tanah atau sama dengan muatan pada awan. ketika saat terjadi muatan sama maka diharapkan tidak akan terjadi pelepasan muatan pada titik yang

dilindungi. Sebelum alat ini di aplikasikan maka akan di lakukan pengujian terlebih dahulu apakah op-amp dapat membalikkan muatan (polaritas dalam penelitan ini).

3. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1 Hasil Pengujian

Tujuan dari pengukuran kuat medan listrik ini adalah mendapatkan nilai kuat medan listrik antara dua buah finial pada tegangan serta jarak tertentu. Kemudian data ini akan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya mengingat penelitian ini baru direalisasikan untuk perkembangan proteksi petir ke depannya. Data hasil penelitian ini menggunakan tegangan 50 V_{AC} dan jarak finial terhadap awan adalah 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5cm dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Pengukuran Kuat Medan Listrik Antara Dua Buah Finial Dengan Tegangan 50 V_{AC}

Input (AC)	Tegangan (V)			Jarak Finial (cm)	Kelembaban (mmhg)	Kelembaban Rata-rata (mmhg)	Suhu (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kuat Medan Listrik (V/m)			
	Output (DC)								Inverting	Inverting Rata-rata	Non-Inverting	Non-Inverting Rata-rata
	Tegangan DC	Inverting	Non-Inverting									
50	46.4	44.6	-46.4	1	77%	79%	26.8	26.3	68.67	73.00	74	82.78
					79%		26.6		74.33		89	
					80%		25.5		76		85.33	
50	46.4	44.6	-46.4	2	78%	78%	26.9	26.5	49	60.67	61.33	77.22
					77%		26.7		39		61	
					80%		25.8		94		109.33	
50	46.4	44.6	-46.4	3	77%	79%	26.7	26.3	31.67	46.78	74	61.00
					79%		26.3		35.33		35.33	
					80%		26		73.33		73.67	
50	46.4	44.6	-46.4	4	76%	78%	26.9	26.4	24.67	43.00	37.33	57.55
					79%		26.6		41.33		50.33	
					80%		25.8		63		85	
50	46.4	44.6	-46.4	5	77%	79%	26.8	26.4	20	39.89	42.33	51.33
					79%		26.7		37		44	
					80%		25.8		62.67		67.67	

3.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan Rangkaian Op-Amp

Pada penelitian yang telah dilakukan penulis telah merangkai sebuah rangkaian sesuai dengan penelitian sebelumnya yang berjudul "Simulasi Dan Analisa Perancangan Alat Penangkal Petir Dengan Metoda Pembalik Muatan" dan telah menguji hasil simulasi pada penelitian sebelumnya serta membandingkan alat yang sudah dibuat sesuai simulasi. Untuk merakit op-amp pada penelitian ini penulis menggunakan komponen sesuai dengan simulasi yang dibuat serta saran penulisnya. Hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

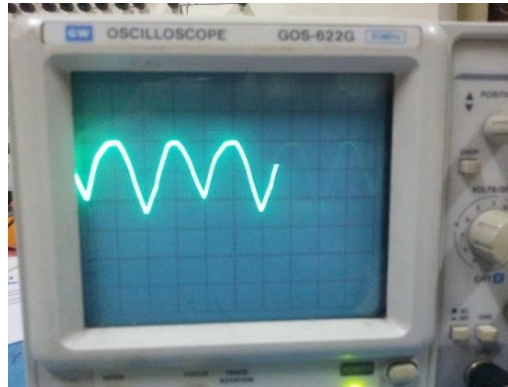
3.3 Hasil Pengujian dan Pembahasan Rangkaian Pembangkit Tegangan DC Dengan Dioda Bridge

Pada penelitian yang telah dilakukan penulis menggunakan diode bridge dengan seri KBPC 3510 sebagai pembangkitan tegangan DC, jadi muatan disini seperti polaritas yang mana dapat dibedakan antara sisi positif dan negatifnya.

Dalam penelitian yang telah dilakukan penulis juga menggunakan tegangan AC 50 V_{AC} sehingga setelah melewati rangkaian penyearah gelombang penuh yang akan menjadi

keluaran Tegangan DC yang dibangkitkan sebesar $\pm 46,4 V_{DC}$ seperti Gambar 9 merupakan keluaran dari diode bridge yang diukur menggunakan oscilloscope.

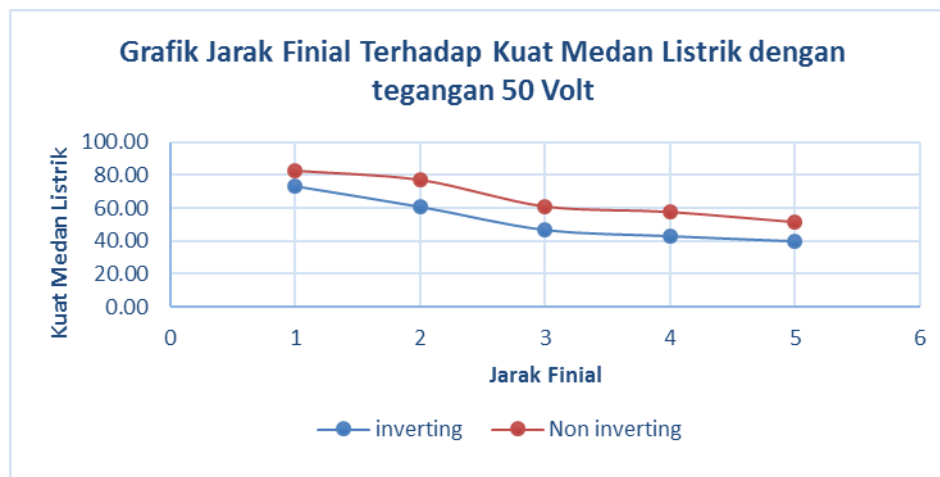
karena keterbatasan alat dan bahan dalam melakukan penelitian ini.



Gambar 9. Keluaran Dioda Bridge dengan Menggunakan Oscilloscope

3.4 Pengukuran dan Pembahasan kuat Medan Listrik

Dari serangkaian pengukuran yang telah dilakukan diperoleh data pengukuran kuat medan listrik dari dua buah finial yang telah di ujikan, hasil dari data pengukuran kuat medan listrik ini dapat dilihat dari tabel 1, dimana hasil dari data pengukuran yang diuji dengan tegangan $50 V_{AC}$ dan jarak antara 1-5 cm. Dari data tersebut akan diambil beberapa data untuk di plot menjadi sebuah grafik agar memudahkan penulis untuk menganalisa data tersebut, Salah satunya adalah mengambil data dengan tegangan konstan dan jarak finial yang berbeda.



Gambar 10. Grafik Kuat Medan Listrik Rata –Rata terhadap Jarak Finial dengan Tegangan Konstan $50 V_{AC}$

Menurut Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai kuat medan listrik pada sisi op amp lebih kecil dari finial *non-inverting* dan kuat medan listrik yang terbesar berada pada jarak finial 1 cm, sedangkan nilai terkecil berada pada jarak finial 5 cm. Dari Gambar 10 juga didapatkan Hubungan antara tegangan (V), kuat medan listrik (E) dan jarak kedua elektroda (s) adalah:

$$E = \frac{V}{s} \left(\frac{volt}{cm} \right) \dots\dots\dots(6)$$

3.5 Pengaruh Kelembaban dan Suhu Terhadap Kuat Medan Listrik

Kuat medan listrik dipengaruhi adanya muatan listrik. Muatan listrik yang berbeda yang saling bertumbukan menyebabkan adanya beda potensial. Pada serangkaian pengujian yang telah dilakukan, pada penelitian ini menghubungkan nilai kuat medan listrik dengan kelembaban dan suhu, dimana kelembaban dan suhu pada medan listrik berpengaruh pada permitifitasnya. karena semakin lembab suatu keadaan, menyebabkan kondisi di daerah tersebut semakin basah, sehingga konduktivitas meningkat, sesuai dengan persamaan :

$$\varepsilon = \varepsilon - j \frac{\sigma}{\omega} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana konduktivitas menjadi sebuah bagian imajiner dari permitivitas kompleks ε . sedangkan nilai permitivitas kompleks sendiri dapat dilihat pada persamaan :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \times \varepsilon_r \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan tersebut dapat dilihat bahwa permitivitas komplek sendiri merupakan hasil perkalian antara permitivitas ruang hampa dengan permitivitas relative. Dimana ε_0 merupakan permitivitas ruang hampa dengan nilai ε_0 sebesar $8,854 \times 10^{-12}$ F/m, sedangkan ε_r merupakan permitivitas relative dengan nilai > 1 untuk bahan dielektrik.

Kuat medan listrik sendiri merupakan hasil bagi antara gaya coulomb per muatan, seperti persamaan :

$$E = \frac{F}{q} \dots\dots\dots(9)$$

Sedangkan Gaya coulomb sendiri memiliki persamaan :

$$F = k \frac{q^1 \cdot q^2}{r^2} \dots\dots\dots(10)$$

Nilai $k = \frac{1}{4 \pi \varepsilon} \approx 9 \times 10^9$, sehingga besar kuat medan listrik dapat diumuskan pada persamaan :

$$E = \frac{Q}{4 \pi \varepsilon r^2} \dots\dots\dots(11)$$

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa nilai kuat medan listrik (E) berbanding terbalik dengan nilai permitivitas (ε), sedangkan kelembaban merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai permitivitas, sehingga besar kuat medan listrik berbanding terbalik dengan nilai kelembaban disekitar area medan listrik tersebut (Zuhdi, 2013).

3.6 Hubungan antara Petir dengan Pembalik muatan

Petir merupakan proses alam yang terjadi di atmosfer bumi pada waktu hujan (*thunderstorm*). Muatan-muatan tersebut akan terkonsentrasi di dalam awan atau bagian dari awan dan muatan yang berlawanan akan timbul pada permukaan tanah di bawahnya. Jika muatan bertambah, beda potensial antara awan dan tanah akan naik, maka kuat medan listrik di udara pun akan meningkat. Jika kuat medan listrik ini melebihi kekuatan dielektrik diantara awan-awan tersebut, maka akan terjadi pelepasan muatan (petir). Setelah satu pelepasan muatan, akan terjadi lagi pengumpulan muatan di awan, dan dalam waktu 10 – 20 detik, petir berikutnya akan terjadi. Jika awan guntur terbentuk, terjadi kuat

medan listrik di atmosfer, dengan besar 1 V/cm di atas tanah, 0.02 V/cm pada ketinggian 9 km, dan 10 V/cm di dalam awan tanpa adanya pelepasan muatan. Pada saat terjadi sambaran petir, kuat medan listrik bisa mencapai 4 kV/cm. Petir mempunyai frekuensi antara 10^6 sampai 10^7 Hz (Zoro. 1999).

3.6.1 Perhitungan Muatan Petir Pada Jarak 1 Km

$$E = \frac{q}{4 \pi \epsilon r^2}$$

$$E = \frac{q}{4 \pi (\epsilon_0 \times \epsilon_r) r^2}$$

Permittivitas kompleks merupakan hasil perkalian antara permittivitas ruang hampa ϵ_0 sebesar $8,854 \times 10^{-12}$ F/m, Pada penelitian ini bahan dielektrik adalah udara dan permittivitas relative udara $\epsilon_r = 1,00054 \approx 1$, maka $\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r = 8,854 \times 10^{-12} \times 1 = 8,854 \times 10^{-12}$. Jadi untuk nilai dari permittivitas kompleks dalam penelitian ini diperoleh :

$$q = 44.4 \text{ C}$$

Setelah didapatkan muatan q awan maka dapat kita cari gaya yang terjadi saat terjadi pelepasan muatan petir, dengan menggunakan rumus :

$$E = \frac{F}{q}$$

$$(400000 \frac{\text{V}}{\text{m}}) = \frac{F}{44,4 \text{ C}}$$

$$F = 17760000 \text{ N}$$

$$= 17,76 \times 10^6 \text{ N}$$

Dalam perhitungan ini akan diambil salah satu data dari tabel 1 yaitu pada jarak 1 cm dengan nilai E *inverting* sebesar 73,00 V/m dan nilai E *non-inverting* sebesar 82,78 V/m.

3.6.2 Perhitungan pada sisi *Non-Inverting* pada jarak 1 cm :

$$E = \frac{q}{4 \pi \epsilon r^2}$$

$$(83,78 \frac{\text{V}}{\text{m}}) = \frac{q}{(4) (3,14) (8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}) (0,01^2 \text{m})}$$

$$(83,78 \frac{\text{V}}{\text{m}}) = \frac{q}{1,11 \times 10^{-14}}$$

$$q_1 = 9,30 \times 10^{-13} \text{ C}$$

Setelah didapatkan muatan q awan maka dapat kita cari gaya yang terjadi saat *non inverting*, sebesar :

$$F = 7,80 \times 10^{-11} \text{ N}$$

Dari hasil gaya yang terjadi pada sisi noninverting maka dapat kita cari muatan yang terjadi pada sisi tanah *non inverting* maka diperoleh :

$$q_2 = 9,32 \times 10^{-15} \text{ C}$$

Dari perhitungan di atas maka dapat di dapat nilai muatan q_1 sebesar $9,30 \times 10^{-13} \text{ C}$ dan q_2 sebesar $9,32 \times 10^{-15} \text{ C}$ dari nilai E_{non} yang sudah di ukur sebesar 83,78 V/m yang telah dibangkitkan dengan tegangan 50 V_{AC} dengan jarak antar finial 0,01 m pada sisi *non-inverting*.

3.6.3 Perhitungan Pada Sisi Inverting Pada Jarak 1 Cm

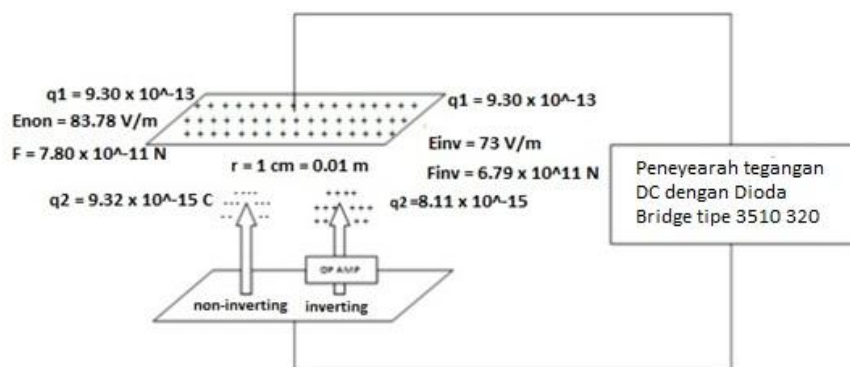
Kita dapatkan nilai kuat medan listrik disaat pengukuran pada sisi inverting sebesar 73 v/m dan menggunakan muatan awan q_1 yang sudah diketahui, maka dapat kita cari gaya yang terjadi sebesar :

$$F = 6.79 \times 10^{-11} \text{ N}$$

Dari hasil gaya yang terjadi pada sisi inverting maka dapat kita cari muatan yang terjadi pada sisi tanah inverting diperoleh :

$$q_2 = 8,11 \times 10^{-15} \text{ C}$$

Dan untuk *Inverting* di dapat nilai muatan q_1 sebesar $9,30 \times 10^{-13} \text{ C}$ dan q_2 sebesar $8,11 \times 10^{-15} \text{ C}$ dari nilai E_{inv} yang sudah di ukur sebesar 73 V/m yang telah dibangkitkan dengan tegangan 50 V_{AC} dengan jarak antar finial 0,01 m pada sisi inverting.



Gambar 11. Pengujian Dua Buah Finial

pada alat yang telah dibuat untuk *inverting* di dapat nilai muatan q_1 sebesar $9,30 \times 10^{-13} \text{ C}$ dan q_2 sebesar $8,11 \times 10^{-15} \text{ C}$ dari nilai E_{inv} yang sudah di ukur sebesar 73 V/m yang telah dibangkitkan dengan tegangan 50 V_{AC} dengan jarak antar finial 0,01 m pada sisi inverting, dengan acuan yang telah ada maka pengujian selanjutnya untuk menghasilkan E_{petir} sebesar 400000 V/m pada jarak r sebesar 1 cm setara 0,01 m, dapat didekati dengan menggunakan persamaan 6 diperoleh :

$$V = 4000 \text{ V} = 4 \text{ kV}$$

Jadi agar dapat menghasilkan E_{petir} sebesar 400000 V/m pada jarak 0,01 m maka dibutuhkan tegangan sebesar 4 kV.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian alat yang telah dilakukan telah dirancang, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dalam pengujian dua buah finial dengan menguji kuat medan listrik antara kedua buah finial didapat nilai finial E_{inv} sebesar 73 V/m dengan menggunakan Op-Amp dan Nilai

- E_{non} sebesar 82,78 V/m tanpa menggunakan Op-Amp dengan menggunakan tegangan input 50 V_{AC} dengan tegangan output diode 46,4 V_{DC} pada jarak 1 cm, Nilai dari finial yang menggunakan Op-Amp lebih kecil daripada tanpa menggunakan op amp.
2. Kuat medan listrik terbesar rata-rata berada pada jarak 1 cm dengan nilai E_{inv} sebesar 73 V/m untuk *Inverting* dan E_{non} sebesar 82,78 V/m untuk *non-inverting* dengan tegangan 50 V_{AC} dan kuat medan listrik terkecil rata-rata berada pada jarak 5 cm dengan nilai E_{inv} sebesar 39,89 V/m untuk *inverting* dan E_{non} sebesar 51,33 V/m untuk *non-inverting* dengan tegangan 50 V_{AC}, maka dapat di simpulkan bahwa semakin jauh jarak finial maka semakin kecil juga kuat medan listriknya.
 3. Dari penelitian yang dilakukan di dapatkan nilai muatan q_1 sebesar $9,3 \times 10^{-13}$ dan q_2 sebesar $9,32 \times 10^{-15}$ C dengan Gaya F sebesar $7,8 \times 10^{-11}$ N dari nilai E_{non} yang sudah di ukur sebesar 83,78 V/m yang telah dibangkitkan dengan tegangan 50 V_{AC} dengan jarak antar finial 0.01 m pada sisi *non-inverting* dan untuk *inverting* di dapat nilai muatan q_1 sebesar $9,3 \times 10^{-13}$ dan q_2 sebesar $8,11 \times 10^{-15}$ C dengan gaya $6,79 \times 10^{-11}$ N dari nilai E_{inv} yang sudah di ukur sebesar 73 V/m yang telah dibangkitkan dengan tegangan 50 V_{AC} dengan jarak antar finial 0,01 m pada sisi *inverting* sedangkan pada saat pelepasan muatan petir menghasilkan kuat medan listrik sebesar E_{petir} sebesar 400000 V/m pada jarak r sejauh 1 km setara dengan 1000 m dari atas permukaan tanah, maka pada penelitian selanjutnya untuk menghasilkan E_{petir} sebesar 400000 V/m pada pengujian dengan menggunakan jarak r sejauh 1 cm setara dengan 0,01 m dibutuhkan tegangan sebesar 4 kV.

DAFTAR RUJUKAN

- Dadan Hermawan, Asep. 2010. Laporan Tugas Akhir *Optimalisasi System Penangkal Petir Eksternal Menggunakan Jenis Early Streamer (Studi Kasus UPT LAGG BPPT)*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Arfianto, Teguh. 2013. Laporan Thesis *Simulasi dan Analisa Perancangan Alat Penangkal Petir dengan Metoda Pembalik Muatan*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Zuhdi, Muhammad. 2013. Laporan Tugas Akhir *Pengaruh Kelembaban Dan Temperature Udara Terhadap Kuat Medan Listrik Dan Medan Magnet Di Bawah Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV*. Jogjakarta: Universitas Gajah Mada.
- Mancini, Ron. 2001. *Op-Amp for Everyone*. Texas Instrument Incorporated.
- Zoro, Reynaldo. 1999. Disertasi Doktor *Karakteristik Petir dan Kondisi Cuaca di Daerah Tropis – Kasus Gunung Tangkuban Perahu*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.