

STUDI AWAL ALAT PROTEKSI PETIR DENGAN METODE PEMBALIK MUATAN

Siti Saodah¹, Aji Tri Mulyanto², Teguh Arfianto³

1. Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung

2. Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional

3. Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional

Email : ss_herlina@yahoo.com

ABSTRAK

Sistem proteksi petir merupakan suatu sistem yang sangat diperlukan pada saat ini, mengingat peralatan listrik semakin berkembang dengan pesat. Sistem ini melindungi kita serta peralatan listrik kita dari sambaran langsung. Di Indonesia sendiri sebagai kawasan dengan intensitas petir yang tinggi. Secara umum, sistem proteksi petir eksternal terdiri dari dua yaitu sistem proteksi Aktif dan sistem proteksi Pasif. Pada penelitian ini akan membahas tentang studi awal alat sistem proteksi petir dengan metode pembalik muatan dengan menggunakan prinsip kerja Op-Amp dimana dalam pengujianya 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 0-230 VDC dengan jarak finial 1-5 cm. Pembahasan dari hasil pengujian dua buah finial yang telah diujikan menunjukkan bahwa kuat medan listrik yang dipasang dengan pembalik muatan lebih kecil dibandingkan dengan kuat medan listrik tanpa pembalik muatan. Dalam pengujianya hanya menggunakan parameter tegangan, jarak, kelembaban udara dan suhu disekitarnya.

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

1. Pendahuluan

Latar Belakang

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 dua 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.

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 Penelitian

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah studi awal tentang system proteksi petir dengan metoda pembalik muatan

Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini perlu dilakukan untuk mengurangi ruang lingkup pembahasan. Adapun batasan masalah tersebut adalah:

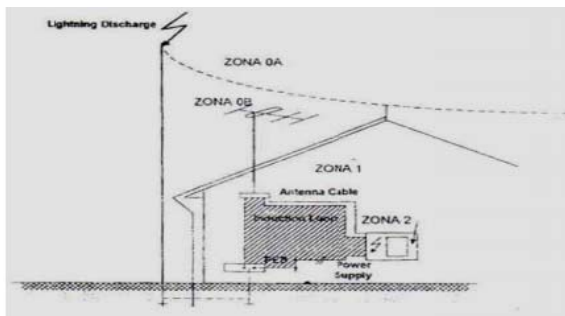
1. Tegangan uji yang digunakan untuk pengujian alat adalah 0-230 VDC.
2. Parameter hasil pengujian dari alat hanya dibandingkan dengan hasil hipotesa yang diteliti pada thesis yang ditulis dengan judul Simulasi Dan Analisa Perancangan Alat Penangkal Petir Dengan Metoda Pembalik Muatan.
3. Untuk perancangan alat di batasi dengan cara kerja Op-Amp inverting.
4. Perhitungan tegangan dari alat menggunakan teori Op-Amp inverting.
5. Pada saat pengujian alat awan di asumsikan sebagai muatan positif (+).

2. Tinjauan Pustaka

Kosep dasar sistem proteksi petir

Penelitian ini mengacu pada standard IEC 1024-1/1990, IEC 1024-1-1/1993, IEC 62305 tentang proteksi terhadap sambaran petir. Menurut

standar IEC diatas, daerah yang ditempati peralatan dan personil di bagi dalam zona-zona proteksi dapat dilihat pada gambar 2.3 sebagai berikut :



Gambar 1 Zona Proteksi Petir

Zona OA

Daerah dimana dengan kemungkinan disambar petir langsung dan objek tersebut harus sanggup untuk menerima dan menyalurkan seluruh arus petir ke tanah pada saat terjadi sambaran.

Zona OB

Daerah yang terlindung dari bahaya sambaran petir secara langsung, namun masih mendapat impuls elektromagnetik yang sangat kuat. Daerah ini disebut proteksi eksternal yang terdiri dari batang *finial*, *down conductor* dan sistem pentanahan.

Zona 1

Daerah yang terlindung dari bahaya sambaran petir secara langsung dan pengaruh medan magnetik yang lemah akibat sudah teredam oleh dinding bangunan.

Zona 2

Daerah di dalam zona 1 dengan perlindungan seperti *cabinet*.

Sistem Proteksi Petir Eksternal

Sistem proteksi petir eksternal menghindari bahaya langsung suatu sambaran petir pada instalasi- instalasi, peralatan-peralatan yang terpasang diluar gedung/bangunan, di menara dan bagian-bagian luar bangunan. Dalam hal ini termasuk juga perlindungan terhadap manusia yang berada di luar gedung. Sistem proteksi petir eksternal terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Proteksi aktif
2. Proteksi pasif

Proteksi Petir Pasif

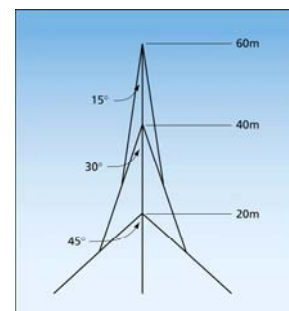
Finial :Fungsi utama dari sistem ini adalah untuk menangkap sambaran petir langsung pada titik yang ditentukan (yaitu terminal udara) sehingga arus petir dapat diteruskan melalui *down conductor* ketanah secara aman.

Finial (terminal) udara dipasang pada posisi sedemikian rupa sehingga dapat melindungi peralatan / instalasi / personil. Finial udara untuk gedung-gedung dipasang di atas atap struktur yang bersangkutan sesuai dengan bentuk bangunannya dengan metoda perencanaan sebagai berikut :

- Franklin Rod (Sudut lindung)
- Bola-Gelinding

Franklin Rod (Sudut Lindung)

Pengamanan bangunan terhadap sambaran kilat dengan menggunakan system penangkal petir *Franklin Rod* merupakan cara yang tertua namun masih sering digunakan karena hasilnya dianggap cukup memuaskan, terutama untuk bangunan-bangunan dengan bentuk tertentu, seperti misalnya : menara, masjid dan bangunan-bangunan lain yang beratap runcing. *Franklin Rod* (Tongkat Franklin), alat ini berupa kerucut tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut dengan sudut puncak 112° . Agar daerah perlindungan besar, Franklin Rod dipasang pada pipa besi dengan tinggi 1-3 meter. Makin jauh dari Franklin Rod makin lemah perlindungan di dalam daerah perlindungan tersebut. Franklin roda dapat dilihat berupa tiang-tiang di bubungan atap bangunan. Sistem yang digunakan untuk mengetahui area proteksi dari penyaluran petir ini adalah dengan menggunakan sistem proteksi kerucut.



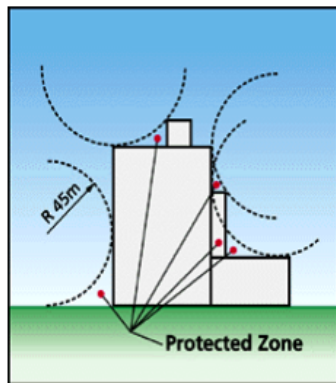
Gambar 2 Sistem Proteksi Kerucut

Bola-Gelinding

Metode bola bergulir baik digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R yang bergulir di atas tanah, sekeliling struktur dan di atas struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar. Titik sentuh bola bergulir pada struktur adalah titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak R dari ujung penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan. Besarnya R berhubungan dengan besar arus petir yang dinyatakan dengan persamaan :

$$R (m) = I^{0,75}$$

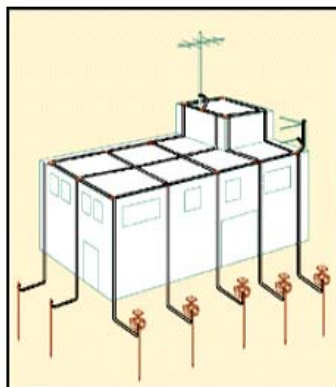
Bila ada arus petir yang lebih kecil dari nilai I tersebut mengenai bangunan, bangunan masih bisa tahan. Tetapi bila arus petir lebih besar dari arus tersebut, akan ditangkap oleh penangkap petir.



Gambar 3 Zona Proteksi Metode Bola Bergulir (Rolling Sphere Method)

Mesh

Penghantar untuk finial-atas, penghantar pada atap, harus membentuk suatu poligon tertutup dimana ujung-ujung poligon tersebut berada dekat dengan ujung-ujung bangunan



Gambar 4 Metode Jaring

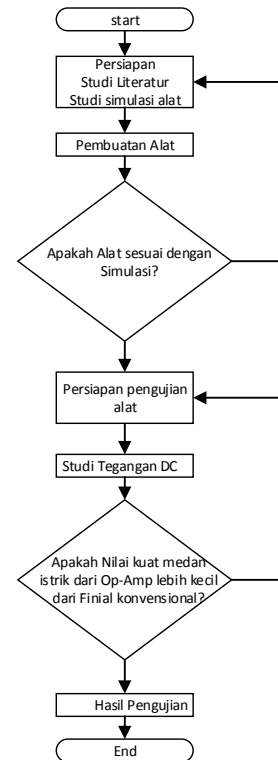
Down Conductor

Fungsi dari *down conductor* adalah menyalurkan arus petir ketanah yang telah ditangkap terminal udara secara aman yang tentunya impedansi dari kabel konduktor ini haruslah rendah sehingga tegangan yang terjadi tidak melebihi kekuatan isolasi dari kabel dan peralatan itu sendiri. Untuk menghindari adanya bahaya dari *sparking* atau loncatan arus (*side flashing*), rute dari *down conductor* haruslah sependek mungkin tanpa adanya patahan-patahan.

Pembumian (Grounding)

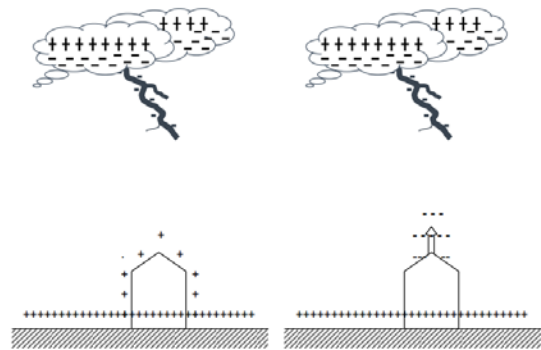
Pembumian adalah menanam satu/beberapa elektroda kedalam tanah dengan cara tertentu untuk mendapatkan tahanan pembumian yang diinginkan. Elektroda pembumian tersebut membuat kontak langsung dengan bumi. Penghantar bumi yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektroda bumi. Sebagai bahan elektroda, digunakan tembaga atau baja yang di *galvanisasi* atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain (misalnya pada perusahaan kimia).

3. Metode Pembuatan Dan Pengujian Alat Perancangan Alat Pembalik Muatan



Gambar 5 Flowchart Perancangan Serta Pengujian Alat

Perancangan Model Penelitian



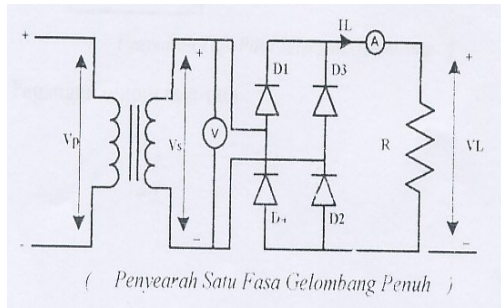
Gambar 6 Model Penelitian

Muatan listrik yang terkonsentrasi di awan akan menginduksikan muatan lawannya pada permukaan bumi. Pilot leader akan menyambar gedung yang muatannya berlawanan dan disalurkan ke tanah. Pada penelitian ini diharapkan ketika ada pilot leader maka pada permukaan bumi akan menghasilkan muatan yang sama sehingga tidak terjadi sambaran.

Pemodelan Awan

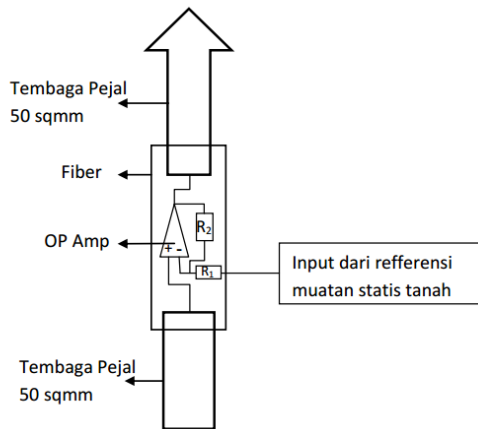
Dalam pemodelan pembuatan awan menggunakan 2 plat yang sejajar seperti dijelaskan oleh Abdul Rojak dalam penelitian Evaluasi Kebutuhan Sistem Proteksi Eksternal, yang mana mengingat dimensi bumi maka bumi dan awan

dianggap rata terhadap awan. Untuk memodelkan awan tersebut dalam penelitian ini penulis mencoba menggunakan pembangkitan tegangan DC, berhubung pengujian alat menggunakan tegangan rendah maka untuk pembangkitan tegangan DC menggunakan rangkaian Dioda Bridge.



Gambar 7 rangkaian pembangkitan tegangan DC

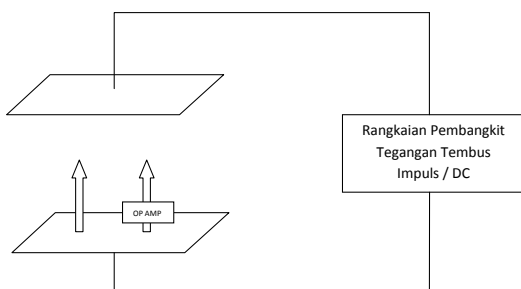
Pemodelan Pembalik Muatan



Gambar 8 Desain Pengujian Alat

Dalam 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.

Model Pengujian Alat

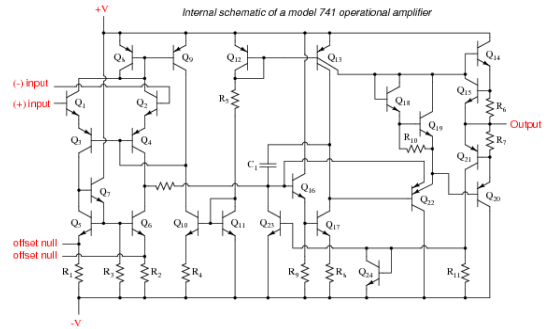


Gambar 9 Model Pengujian Alat

Untuk pengujian alat penangkal petir yang dilakukan dengan merancang sebuah peralatan

rangkaian Op-Amp Inverting dan Non Inverting yang digunakan dalam pembatas antara air terminal dan *grounding*, dalam peralatan yang digunakan dengan metoda perbandingan dibuat dua buah air terminal dengan dua konsep Op-Amp rangkaian pembangkit tegangan tembus DC. Plat sejajar finial yang berbeda satu air terminal langsung ke *ground* dan yang kedua air terminal yang sudah di beri rangkaian Op-Amp. Rangkaian pembangkit tegangan tembus DC digunakan untuk pengetesan rangkaian yang sudah digunakan untuk membangkitkan muatan yang diberikan pada plat sejajar sehingga konsentrasi muatan pada ujung air terminal terbentuk untuk mengetahui pola dan arah sambaran. Kedua air terminal dalam rangkaian dibuat dengan fungsi yang berbeda yang satu difungsikan untuk menyalurkan dan yang kedua difungsikan untuk menolak terjadinya tegangan tembus.

Desain Rangkaian Op-Amp



Gambar 10 Rangkaian pembalik muatan

4. Hasil Pengujian Dan Pembahasan

Hasil Penelitian

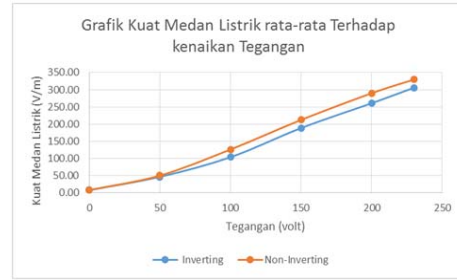
Tujuan dari pengukuran kuat medan listrik ini adalah mendapatkan nilai kuat medan listrik antara dua buah finial pada tegangan serta jarak tertentu. Kemudian data ini akan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya mengingat penelitian ini baru direalisasikan untuk perkembangan proteksi petir ke depannya. Data hasil penelitian ini menggunakan tegangan 50V, 100V, 150V, 200V,230V dan jarak finial terhadap awan adalah 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5cm. berikut data pengujian dari pengukuran dua buah finial dengan membandingkan kuat medan listrik antara keduanya.

Tabel 1 pengukuran dengan jarak finial 1 cm

Input (AC)	Tegangan (V)				Jarak Finial (cm)	Kebalihan (dB)	Kebalihan Rate-rata (dB)	Suhu Rate-rata (°C)	Suhu Rate-rata (°C)	Estat Medan Listrik (V/m)		
	Output (DC)		Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata						Non-Inverting Rate-rata		
	Tegangan DC	Inverting										
0	0	0	0	1	77%	26.8	2.55	2.55	2	50.44		
					80%	26.3	17.67	17.67	9.44	21		
					79%	25.5	8.33	8.33	8.33	8.33		
					77%	26.8	68.67	68.67	74	82.78		
	48	47.9	-48	1	79%	26.3	74.33	73.00	89	82.78		
					80%	25.5	76	76	85.33	85.33		
					77%	26.8	122.67	122.67	144.33	144.33		
					79%	26.3	145.33	145.33	158.33	158.33		
					80%	25.5	155	155	153.33	153.33		
					77%	26.8	162	162	206	206		
					80%	26.3	212.67	212.67	219.67	219.67		
					81%	25.5	284.33	284.33	290.33	290.33		
					78%	26.8	206.67	206.67	243	243		
					78%	26.3	207.33	207.33	226.44	226.44		
					80%	25.5	205.33	205.33	209	209		
					78%	26.8	255.67	255.67	295.67	295.67		
					78%	26.3	256.33	256.33	312.67	312.67		
					81%	25.5	426	426	403.33	403.33		

Tabel 2 pengukuran dengan jarak finial 2 cm

Input (AC)	Tegangan (V)			Jarak Finial (cm)	Kelembaban (mmHg)	Kelembaban Rate-rata (mmHg)	Suhu (°C)	Suhu Rate-rata (°C)	Kuat Medan Listrik (V/m)					
	Output (DC)								Inverting		Non-Inverting			
	Tegangan DC	Inverting	Non-Inverting						Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata	Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata		
0	0	0	0	2	77%	79%	26.9	26.7	2.00	17.67	9.11	9.11		
					80%				26.7				37.67	18.22
					79%				25.8				7.67	7.67
50	48	47.9	-48	2	77%	78%	26.9	26.5	49	60.67	43	77.22		
					80%				26.7				39	61.33
					77%				25.8				94	109.33
100	97	96.8	-97	2	77%	78%	26.9	28.5	78.67	104.89	117.33	131.11		
					80%				26.7				86.33	154
					77%				25.8				149.67	162
150	144	143.7	-144	2	77%	79%	26.8	26.5	140.67	198.11	210	228.78		
					80%				26.7				275	279
					77%				25.8				348.67	357.67
200	191	189	-191	2	77%	79%	26.7	26.5	179.67	255.22	225.33	289.67		
					80%				26.7				255.22	295.67
					77%				25.8				328.67	337.67
230	222	221	-222	2	77%	79%	26.7	26.4	230.33	304.78	304.78	336.78		
					80%				26.7				425.33	447
					77%				25.8					



Gambar 12 Grafik Kuat Medan Listrik rata-rata terhadap kenaikan Tegangan Dengan jarak finial konstan 3 cm

Tabel 3 pengukuran dengan jarak finial 3 cm

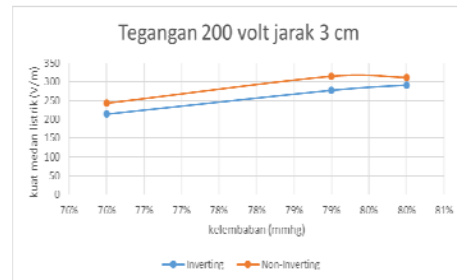
Input (AC)	Tegangan (V)			Jarak Finial (cm)	Kelembaban (mmHg)	Kelembaban Rate-rata (mmHg)	Suhu (°C)	Suhu Rate-rata (°C)	Kuat Medan Listrik (V/m)					
	Output (DC)								Inverting		Non-Inverting			
	Tegangan DC	Inverting	Non-Inverting						Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata	Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata		
0	0	0	0	3	77%	79%	26.7	26.3	1.33	8.22	16	8.11		
					80%				26.3				16	7.33
					79%				26				7.33	42.33
50	48	47.9	-48	3	77%	79%	26.7	26.3	31.67	46.78	55.33	50.44		
					80%				26.3				26.3	75.67
					77%				26				75.33	119.33
100	97	96.8	-97	3	77%	78%	26.3	26.3	113.67	103.89	139	126.22		
					80%				26.3				111.67	150.33
					76%				26.8				138.67	185
150	144	143.7	-144	3	77%	78%	26.3	26.4	207	188.56	232	212.33		
					80%				26.3				232	257.67
					76%				26.8				213.67	243
200	191	189	-191	3	77%	78%	26.3	26.4	277.33	260.89	315	289.89		
					80%				26.3				295.67	311.67
					77%				26.8				231	228.33
230	222	221	-222	3	77%	78%	26.3	26.4	329.33	305.89	357	329.78		
					80%				26.3				357.33	404
					77%				26					

Pengaruh Kelembaban 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.

Tabel 4 pengukuran dengan jarak finial 4 cm

Input (AC)	Tegangan (V)			Jarak Finial (cm)	Kelembaban (mmHg)	Kelembaban Rate-rata (mmHg)	Suhu (°C)	Suhu Rate-rata (°C)	Kuat Medan Listrik (V/m)					
	Output (DC)								Inverting		Non-Inverting			
	Tegangan DC	Inverting	Non-Inverting						Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata	Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata		
0	0	0	0	4	76%	78%	26.9	26.4	1.00	5.67	7	5.67		
					79%				26.6				7	7
					80%				25.8				9	9
50	48	47.9	-48	4	77%	78%	26.9	26.4	24.67	43.00	50.33	57.55		
					80%				26.6				43.33	83
					77%				25.8				83	85
100	97	96.8	-97	4	77%	79%	26.8	26.4	84.67	81.67	103.67	107.45		
					80%				26.8				85.33	103.67
					77%				25.8				111.67	137
150	144	143.7	-144	4	77%	79%	26.8	26.4	127.67	166.78	232	199.67		
					80%				26.6				207	255.67
					79%				25.8				165.67	211.33
200	191	189	-191	4	76%	78%	26.6	26.4	129	215.11	154.67	245.89		
					80%				26.6				154.67	185.33
					77%				25.8				207	197.67
230	222	221	-222	4	77%	78%	26.8	26.4	255.67	295.67	295.67	302.89		
					80%				26.6				295.67	317.33
					79%				25.8				273.33	295.67



Gambar 13 Grafik Kuat Medan Listrik Terhadap Kelembaban Udara dengan Tegangan 200 volt dengan Jarak Finial 3 cm

Tabel 5 pengukuran dengan jarak finial 5 cm

Input (AC)	Tegangan (V)			Jarak Finial (cm)	Kelembaban (mmHg)	Kelembaban Rate-rata (mmHg)	Suhu (°C)	Suhu Rate-rata (°C)	Kuat Medan Listrik (V/m)					
	Output (DC)								Inverting		Non-Inverting			
	Tegangan DC	Inverting	Non-Inverting						Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata	Inverting Rate-rata	Non-Inverting Rate-rata		
0	0	0	0	5	77%	79%	26.8	26.4	0.00	5	4.67	4.67		
					80%				26.7				9	9
					77%				25.8				20	74
50	48	47.9	-48	5	77%	79%	26.7	26.4	37	39.89	44	61.89		
					80%				26.8				62.67	67.67
					77%				25.8				41.33	50.33
100	97	96.8	-97	5	77%	78%	26.7	26.4	77	78.22	93.33	87.66		
					80%				26.8				116.33	121.33
					77%				25.8				86.67	72.33
150	144	143.7	-144	5	77%	78%	26.7	26.4	143	129.00	163.33	146.89		
					80%				26.8				197.33	205
					76%				26.8				66	83
200	191	189	-191	5	77%	78%	26.7	26.4	182.78	182.78	236.33	205.22		
					80%				26.8				296.33	296.33
					77%				26.9				76.33	90
230	222	221	-222	5	80%	79%	26.7	26.5	322.67	324.11	346	243.89		
					77%				25.8				295.67	
					77%				25.8					

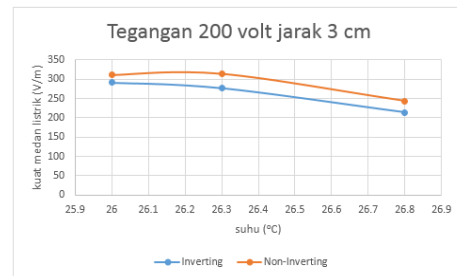
Semakin lembab suatu keadaan, menyebabkan kondisi di daerah tersebut semakin basah, sehingga konduktivitas meningkat.

Pengukuran kuat Medan Listrik

Dari data tersebut akan diambil beberapa data untuk di plot menjadi sebuah grafik. Dari data tersebut akan diambil beberapa data untuk di plot menjadi sebuah grafik agar memudahkan penulis untuk menganalisa data tersebut.



Gambar 11 Grafik Kuat Medan Listrik Rata-rata terhadap Jarak Finial dengan Tegangan Konstan 100 Volt



Gambar 13 Grafik Kuat Medan Listrik Terhadap Suhu dengan Tegangan 200 volt dengan Jarak Finial 3 cm

Sama halnya seperti kelembaban, suhu juga salah satu faktor yang mempengaruhi permitivitas pada medan listrik, hanya saja nilai kelembaban berbanding terbalik dengan suhu, dapat dilihat pada gambar 13, bahwa semakin rendah suhu, maka

semakin besar medan listrik di area tersebut, dikarenakan semakin rendah suhu, maka kelembaban semakin tinggi menyebabkan konduktivitas semakin tinggi.

5. Penutup

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil dan pembahasan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

1. Dalam pengujian dua buah finial dengan menguji kuat medan listrik antara kedua buah finial tersebut adalah finial yang dipasang dengan Op-Amp lebih kecil dibandingkan dengan finial konvensional
2. Kuat medan listrik terbesar rata-rata berada pada jarak 1 cm dan kuat medan listrik terkecil rata-rata berada pada jarak 5 cm, maka dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak finial maka semakin kecil juga kuat medan listriknya.
3. Sebagai proteksi petir maka harus mempertimbangkan suhu dan kelembaban, karena Suhu dan kelembaban udara berpengaruh terhadap konduktivitas udara, sehingga mempengaruhi permitivitas pada medan listrik.

Saran

Pada kesempatan ini penulis akan memberikan saran-saran agar pada penelitian selanjutnya saran ini dapat berguna dan penelitian ini dapat disempurnakan.berikut saran-saran penulis:

1. Pada saat pengujian dan pengukuran kuat medan listrik seharusnya pastikan menggunakan remote dan jauh dari manusia.karena akan sangat berpengaruh.
2. Pengembangan alat ini bertujuan sebagai proteksi petir, untuk ke depannya pastikan dan pelajari yang mempengaruhi kuat medan listrik seperti **kelembaban dan suhu udara serta pengaruh lainnya** dalam aplikasi alat ini.
3. Dalam pembuatan dan pengujian alat pembalik muatan pastikan alat bekerja sesuai dengan teori dalam pengembangannya.karena pada pengujian dan pengukuran ini merujuk pada hasil simulasi yang telah diteliti.

6. Daftar Pustaka

- Asep Dadan Hermawan, “Optimalisasi System Penangkal Petir Eksternal Menggunakan Jenis Early Streamer (Stud Kasus UPT LAGG BPPT)”, Skripsi Universitas Indonesia, 2010.
- Teguh Afrianto, “Simulasi dan Analisa Perancangan Alat Penangkal Petir dengan

Metoda Pembalik Muatan, Tesis Universitas Indonesia, 2013.

Abdul Rojak, “Evaluasi Kebutuhan System Proteksi Petir Eksternal”, Tugas Akhir, 2001.

Zoro, Reynaldo., Karakteristik Petir dan Kondisi Cuaca di Daerah Tropis–Kasus Gunung Tangkuban Perahu, Disertasi Doktor, ITB, Bandung, September 1999

ERITECH Lightning Protection Handbook,2009
Kent H Lundberg “ Internal and External Op-amp compensation: A control–centric tutorial”American control conference, 2004

IEC 1024-1-1, “Protection of structures against lightning” , First Edition 1993-08.

Zoro, Reynaldo, “ Sistem Proteksi Diktat Kuliah Teknik Elektro Itenas, Bandung 1993.

Muhammad Zuhdi, ”Pengaruh Kelembaban Dan Temperature Udara Terhadap Kuat Medan Listrik Dan Medan Magnet Di Bawah Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv”, Tugas Akhir, 2013