

# ARESTER PCB (*PRINTED CIRCUIT BOARD*) BENTUK BAJI SEBAGAI ALTERNATIF PEMOTONG TEGANGAN LEBIH IMPULS

Tito Ardiansyah Putra.<sup>1</sup>, Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT.<sup>2</sup>, Hery Purnomo, Ir., MT.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, <sup>2,3</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
E-mail: titoardiansyah7@gmail.com

## ABSTRAK

Jurnal ini menguraikan tentang rekayasa arrester sela udara sebagai pemotong tegangan lebih impuls dengan menggunakan PCB (*Printed Circuit Board*) berbentuk baji. Perancangan arrester disesuaikan dengan standar DIN VDE 0110/IEC Publ.664a yang termasuk dalam kategori 1 dengan tingkat proteksi 1,5 kV. Susunan elektroda menggunakan bahan PCB karena lebih ekonomis dan rekayasanya lebih mudah. Variabel pengujian yang dilakukan yaitu meliputi pengaruh jarak sela dan sudut baji terhadap tegangan potong yang dihasilkan. Pengaruh dari penambahan jarak sela dan sudut baji yaitu meningkatkan nilai tegangan potong arrester. Kemudian dilakukan pengujian perbesaran arrester dengan susunan keping elektroda, dimana semakin banyak susunan keping elektroda, maka tegangan potong yang dihasilkan akan semakin kecil. Selanjutnya dilakukan pengujian dan analisis kurva karakteristik tegangan-waktu arrester. Semakin tinggi amplitudo tegangan impuls maka semakin tinggi pula tegangan potongnya, sedangkan waktu potongnya akan semakin kecil. Dari hasil pengujian, didapatkan pemotong tegangan lebih impuls dengan menggunakan elektroda PCB bentuk baji untuk tingkat proteksi 1,5 kV dengan dimensi jarak sela 0,3 mm dan sudut baji 30°, serta 15 susunan keping elektroda.

**Kata kunci:** tegangan lebih impuls, arrester PCB, karakteristik tegangan-waktu

## ABSTRACT

*This journal describes the result of research about the arrester air gap design for cutting impulse overvoltage by using PCB (*Printed Circuit Board*) that wedge-shaped. Design arrester adapted to the standard DIN VDE 0110 / IEC Publ.664a included in category 1 with a protection level of 1.5 kV. The material of the electrode using PCB because it is more economical and engineering easier. Variables observed that is the effect of gap distance and angle of the wedge to the residual voltage generated. The addition of the gap distance and angle of the wedge, cause the residual voltage value getting higher. Then testing magnification arresters with electrode arrangement of pieces, where the addition each electrode arrangement of pieces, the residual voltage generated will be smaller. Furthermore testing and analysis of voltage-time characteristic curve arresters. The higher the amplitude of the voltage impulse, the residual voltage getting higher, while the time of intersection getting smaller. From the test results, obtained residual voltage of impulse overvoltage by using electrodes PCB wedge-shaped for protection level of 1.5 kV with distance of gap 0.3 mm, wedge angle of 30°, and 15 pieces of the arrangement of pieces electrode.*

## I. PENDAHULUAN

Di era modern ini, perkembangan teknologi dalam berbagai bidang menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik. Penggunaan peralatan elektronik dalam beberapa bidang seperti industri, telekomunikasi, dan bahkan rumah tangga semakin meningkat. Peralatan elektronik ini mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap tegangan lebih sehingga dapat merusak komponen di dalam peralatan elektronik tersebut.

Posisi geografis Indonesia yang terletak pada iklim tropis menyebabkan kejadian frekuensi petir di Indonesia sangat besar yaitu 12/km<sup>2</sup>/tahun yang berarti setiap luas area 1 km<sup>2</sup> berpotensi menerima sambaran sebanyak 12 kali setiap tahunnya<sup>[1]</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa ancaman kerusakan

peralatan elektronik akibat tegangan lebih impuls yang ditimbulkan oleh sambaran petir menjadi lebih besar. Selain itu, gangguan tegangan lebih impuls juga dapat terjadi dari faktor internal seperti surja hubung. Salah satu cara perlindungan peralatan elektronik dari tegangan lebih impuls adalah menggunakan arrester.

Penelitian tentang rekayasa arrester menggunakan PCB telah dilakukan pada peralatan listrik 3 fasa dengan tingkat proteksi 4 kV oleh Desinta Ayu dan pada peralatan listrik 1 fasa dengan tingkat proteksi 1,5 kV oleh Ayu Puspitasari. Pada skripsi Ayu dikemukakan bahwa pada penelitian terdapat kesulitan dalam membentuk arester PCB dengan bentuk permukaan yang rata, sehingga perlu adanya percobaan untuk bentuk elektroda yang baik dalam memotong

tegangan impuls dengan tegangan proteksi 1,5 kV<sup>[2]</sup>.

Berdasarkan pembahasan diatas penulis mencoba merencanakan sebuah arester sela udara dengan menggunakan PCB (*Printed Circuit Board*) sebagai arester tegangan rendah dengan tingkat proteksi 1,5 kV yang dibentuk baji untuk menguji tingkat tegangan proteksi dan karakteristik impulsnya.

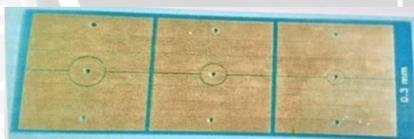
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Arestor

Arestor merupakan suatu alat pelindung peralatan sistem terhadap tegangan surja dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Pada kondisi normal, arester bersifat isolator sedangkan saat terdapat tegangan lebih di sistem maka arester bersifat konduktor yang meneruskan tegangan lebih tersebut ke tanah. Setelah surja dilepaskan, arus masih mengalir karena adanya tegangan sistem. Arus ini dinamakan arus dinamik atau arus susulan. Arestor harus mempunyai ketahanan termis yang cukup terhadap energi dari arus susulan ini, dan harus mampu memutuskannya.

### B. Arestor PCB

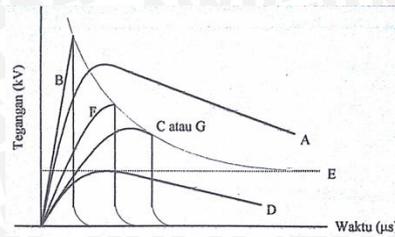
Sela udara merupakan salah satu komponen pelindung surja primer. Tingkat proteksi dari sela udara ditentukan oleh bentuk, material, dan jarak antar elektroda. Salah satu bentuk inovasi dari arester sela udara adalah arester PCB, seperti terlihat pada Gambar 2.1. Arestor PCB biasanya digunakan pada aplikasi sistem catu daya tegangan rendah. Pengujian arester jenis ini dilakukan antar fasa-ground dimana saat tegangan dinaikkan hingga mencapai nilai tertentu akan terjadi tembus di arester tersebut.



Gambar 2.1 Arestor PCB<sup>[2]</sup>

### C. Pemotongan Tegangan Lebih

Jika ada surja petir datang ke sebuah peralatan, dapat digambarkan gelombangnya menyerupai karakteristik A pada Gambar 2.2 Surja yang datang ke peralatan sebagai gelombang curam yang terpotong pada mukanya (karakteristik B dan F) atau sebagai gelombang curam yang terpotong pada ekornya ( karakteristik C atau G) atau surja yang datang dapat berbentuk gelombang penuh (karakteristik D). Arestor yang ideal adalah arester yang selalu mampu memotong setiap tegangan lebih di bagian muka dan tingkat pemotongan tegangannya selalu sama.



Gambar 2.2 Lengkung volt-waktu<sup>[3]</sup>

### D. Karakteristik Tegangan-Waktu

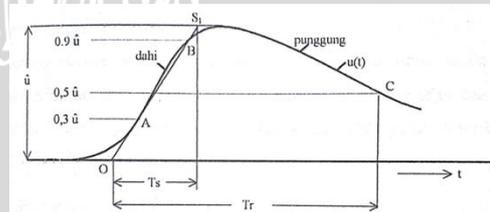
Lengkung E yang didapat dengan menghubungkan ketiga puncak dari tiga gelombang di atas, merupakan karakteristik tegangan-waktu dari tiga gelombang tegangan yang datang ke peralatan. Lengkung ini juga melalui titik-titik lompatan api pada puncak (lengkung F).

Karakteristik v-t merupakan karakteristik yang menghubungkan puncak-puncak tegangan potong sejumlah impuls dengan bentuk tertentu diterapkan pada isolasi dengan kata lain karakteristik v-t adalah tempat kedudukan titik-titik potong koordinat ( $t_{potong}$ ,  $U_{potong}$ ).

### E. Tegangan Tinggi Impuls

Tegangan impuls merupakan suatu tegangan yang naik mencapai puncaknya secara cepat dan turun secara perlahan menuju nol. Tegangan impuls diperlukan untuk pengujian terpaan tegangan lebih dan mekanisme tembus.

Tegangan impuls yang digunakan pada penelitian ini yaitu tegangan impuls eksponensial ganda karena tipe inilah yang mendekati tipe gelombang dari petir. Berdasarkan IEC gelombang petir memiliki tipe standar yaitu 1,2/50 µs, berarti besar waktu dahi (muka)  $T_s = 1,2 \mu s$  dan waktu paruh punggung  $T_r = 50 \mu s$  seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Parameter tegangan uji impuls petir standar<sup>[4]</sup>

### F. Faktor Efisiensi Medan Listrik

Bila efisiensi medan suatu elektroda diketahui, maka kuat medan maksimum dari suatu dielektrik pada sela elektroda pada sela elektroda dapat ditentukan. Demikian pula bila kuat medan tembus suatu dielektrik dan faktor efisiensi medan suatu sela elektroda diketahui maka tegangan tembus pada sela elektroda tersebut dapat ditentukan yaitu :



$$U_d = E_d \times s \times \eta$$

$$\text{dan } \eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{maksimum}}$$

$$E_{rata-rata} = \frac{U_d}{s}$$

dengan:

$U_d$  = tegangan tembus pada susunan elektroda (kV)

$s$  = jarak sela antar elektroda (cm)

$\eta$  = efisiensi medan listrik pada susunan elektroda

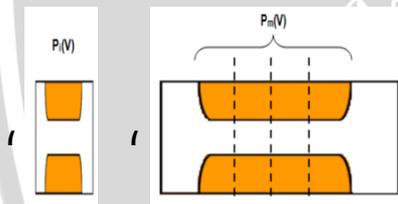
$E_{rata-rata}$  = kuat medan listrik rata-rata (kV/cm)

$E_{maksimum}$  = kuat medan listrik lokal tertinggi (kV/cm)

Dari persamaan diketahui bahwa tingkat tegangan tembus berbanding lurus dengan jarak sela. Sedangkan pada  $E_{maksimum}$  merupakan kekuatan dielektrik udara yang pada kerapatan udara tegangan impuls besarnya 30 kV/cm. Pada medan seragam kenaikan tegangan tembus  $U_d$  berbanding lurus dengan jarak sela ( $s$ ).

### G. Hukum Perbesaran (*Enlargement Law*)

Hukum perbesaran ini mengatakan bahwa penurunan tegangan tembus terjadi jika sistem isolasi diperbesar (bertambah) dimensinya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.8 Perbesaran dimensi elektroda [5]

## III. METODE PENELITIAN

### A. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan mempelajari buku-buku literatur yang berkaitan dengan pembangkitan tegangan tinggi impuls, karakteristik potong arester dan jurnal-jurnal dari situs internet yang berkaitan dengan penyelesaian penelitian ini. Studi literatur bertujuan sebagai dasar teori yang menunjang penyelesaian penelitian tentang rancang bangun arester pcb bentuk baji sebagai pemotong tegangan impuls.

### B. Variabel Penelitian

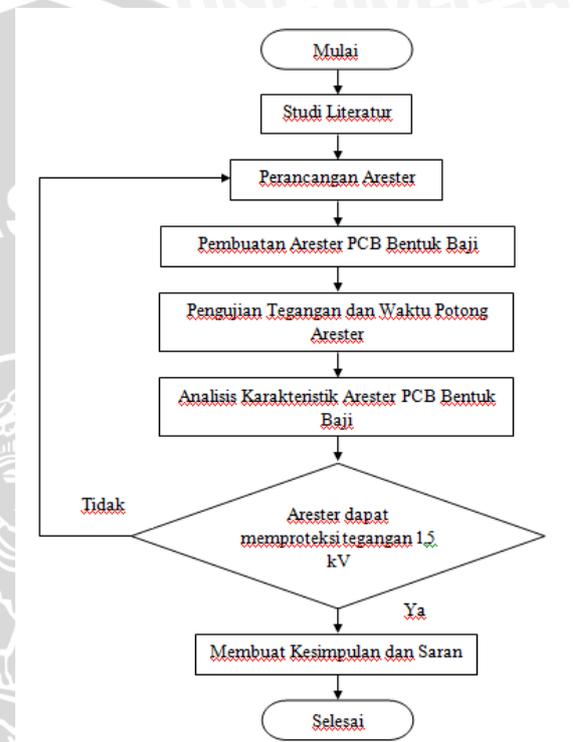
Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang akan diamati, antara lain jarak sela, sudut baji, dan panjang arester yang digunakan sebagai elektroda dalam penelitian ini.

### C. Objek Uji

Dalam pengujian ini menggunakan objek uji berupa elektroda PCB bentuk baji dengan variabel yang diubah-ubah yaitu jarak sela, sudut baji, dan perpanjangan arrester.

### D. Diagram Alir Penelitian

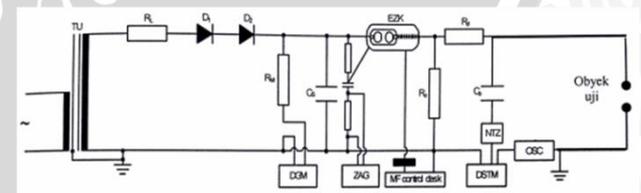
Pada Gambar 3.1 merupakan diagram alir proses rekayasa penelitian pembuatan arester PCB bentuk baji.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Pembuatan Arrester

### E. Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian yang digunakan untuk mengetahui tingkat tegangan potong arester akan diberikan seperti pada Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2 Rangkaian percobaan pembangkitan tegangan impuls 1,2/50  $\mu$ s [4]

Trafo uji disusun secara seri dengan tahanan  $R_L$  dan dua buah dioda. Pada rangkaian ini menggunakan dioda karena tegangan tinggi impuls yang dibangkitkan merupakan tegangan tinggi impuls DC. Selanjutnya tahanan  $R_M$  dipasang seri dengan DGM (alat ukur tegangan tinggi DC).

Tegangan tinggi DC ini kemudian disimpan muatannya di dalam kapasitor  $C_S$  yang disusun secara paralel. Setelah itu diberikan *triger* melalui ZAG, sehingga EZK yang awalnya pada kondisi *open circuit* menjadi *short circuit* hanya untuk waktu yang singkat. Muatan yang tersimpan dalam kapasitor  $C_S$  selanjutnya akan mengalir ke kapasitor  $C_B$  melewati tahanan  $R_D$ . Pada kapasitor  $C_B$  inilah tempat terjadinya tegangan tinggi impuls. Dengan dipasangnya arester secara paralel dengan kapasitor  $C_B$ , maka tegangan impuls akan terpotong. Gelombang impuls ini dapat dilihat pada osiloskop.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Karakteristik Jarak Sela Arestes Terhadap Tegangan Potong

Tabel 4.1 merupakan tabel data pengujian jarak sela arester 0,3 mm terhadap tegangan potong.

Tabel 4.1 Pengujian Jarak Sela 0,3 mm Arestes Terhadap Tegangan Potong

Jarak sela (mm)	$U_i$ (kV)	$U_d$ (kV)	$\bar{U}_d$ (kV)
0,3	3,19	1,48	1,47
		1,48	
		1,45	
	6,12	1,51	1,51
		1,52	
		1,51	
	9,10	1,97	2,00
		2,08	
		1,94	
12,06	2,38	2,35	
	2,34		
	2,34		
15,06	2,96	2,90	
	2,89		
	2,85		

Tabel 4.2 merupakan tabel data pengujian jarak sela arester 0,4 mm terhadap tegangan potong.

Tabel 4.2 Pengujian Jarak Sela 0,4 mm Arestes Terhadap Tegangan Potong

Jarak sela (mm)	$U_i$ (kV)	$U_d$ (kV)	$\bar{U}_d$ (kV)
0,4	3,19	1,61	1,53
		1,50	
		1,49	
	6,12	1,61	1,58
		1,56	
		1,56	
	9,10	2,23	2,20
		2,16	
		2,23	
	12,06	2,48	2,45
		2,41	
		2,45	
	15,06	3,00	3,01
		3,03	
		3,00	

Tabel 4.3 merupakan tabel data pengujian jarak sela arester 0,5 mm terhadap tegangan potong.

Tabel 4.3 Pengujian Jarak Sela 0,5 mm Arestes Terhadap Tegangan Potong

Jarak sela (mm)	$U_i$ (kV)	$U_d$ (kV)	$\bar{U}_d$ (kV)
0,5	3,19	1,61	1,58
		1,57	
		1,57	
	6,12	1,79	1,71
		1,68	
		1,64	
	9,10	2,38	2,30
		2,23	
		2,30	
	12,06	2,56	2,53
		2,52	
		2,52	
	15,06	3,00	3,03
		3,18	
		2,92	



Tabel 4.4 merupakan tabel data pengujian jarak sela arester 0,6 mm terhadap tegangan potong.  
Tabel 4.4 Pengujian Jarak Sela 0,6 mm Arester Terhadap Tegangan Potong

Jarak sela (mm)	$U_i$ (kV)	$U_d$ (kV)	$\bar{U}_d$ (kV)
0,6	3,19	1,79	1,80
		1,79	
		1,83	
	6,12	1,90	1,85
		1,83	
		1,83	
	9,10	2,48	2,39
		2,38	
		2,30	
	12,06	2,74	2,69
		2,67	
		2,67	
15,06	3,18	3,17	
	3,11		
	3,22		

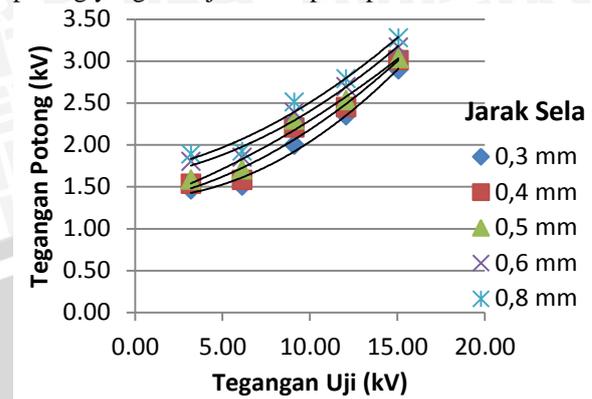
Tabel 4.5 merupakan tabel data pengujian jarak sela arester 0,7 mm terhadap tegangan potong.

Tabel 4.5 Pengujian Jarak Sela 0,8 mm Arester Terhadap Tegangan Potong

Jarak sela (mm)	$U_i$ (kV)	$U_d$ (kV)	$\bar{U}_d$ (kV)
0,8	3,19	1,90	1,89
		1,94	
		1,83	
	6,12	1,90	1,92
		1,94	
		1,94	
	9,10	2,48	2,51
		2,52	
		2,52	
	12,06	2,89	2,79
		2,89	
		2,59	
15,06	3,29	3,28	
	3,29		
	3,25		

Dari tabel dan grafik yang telah didapat pada pengujian jarak sela arester dengan tegangan uji yang bervariasi maka didapatkan grafik hubungan

pengaruh perubahan jarak sela terhadap tegangan potong yang ditunjukkan seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Jarak Sela Arester Terhadap Tegangan Potong

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya jarak sela, maka nilai tegangan potong naik secara eksponensial. Kenaikan ini berlaku untuk sudut baji dan dimensi elektroda yang sama.

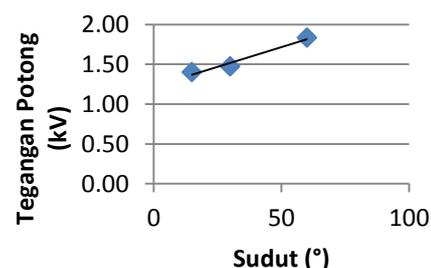
### B. Karakteristik Sudut Baji Terhadap Tegangan Potong

Tabel 4.7 merupakan tabel data pengujian nilai tegangan potong arester dengan beberapa sudut baji yang berbeda.

Tabel 4.7 Pengujian Pengaruh Sudut Baji Terhadap Tegangan Potong

No	Jarak sela (mm)	Sudut	$U_i$ (kV)	$U_d$ (kV)	$\bar{U}_d$ (kV)
1	0,3	15°	4.21	1.39	1.40
				1.42	
				1.39	
2	0,3	30°	4.23	1.48	1.47
				1.48	
				1.45	
3	0,3	60°	4.26	1.83	1.83
				1.75	
				1.90	

Dengan menggunakan data pada Tabel 4.7, maka dapat di buat grafik pengaruh sudut baji terhadap tegangan potong arester yang diberikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Sudut Baji Terhadap Tegangan Potong

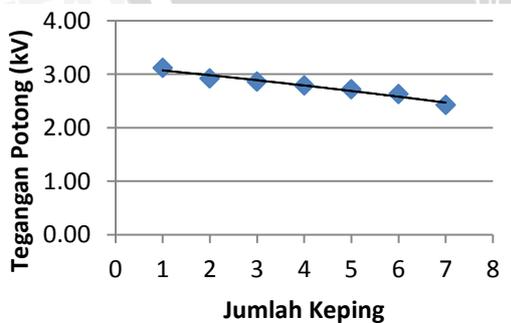
### C. Pengaruh Perbesaran dengan Susunan Keping Elektroda Terhadap Tegangan Potong

Pada Tabel 4.8 merupakan hasil data pengujian pengaruh perbesaran arester terhadap nilai tegangan potong arester dengan cara menambahkan susunan keping elektroda yang dihubungkan secara paralel.

Tabel 4.8 Pengaruh Perbesaran Arestor Terhadap Tegangan Potong Arestor

No	Jumlah Keping	$U_i$ (kV)	$U_d$ (kV)	$\bar{U}_d$ (kV)
1.	1	15,03	3,33	3,12
			3,00	
			3,03	
2.	2	15,03	2,89	2,92
			2,92	
			2,96	
3.	3	15,03	2,81	2,86
			2,85	
			2,92	
4.	4	15,03	2,78	2,79
			2,74	
			2,85	
5.	5	15,03	2,74	2,72
			2,70	
			2,70	
6.	6	15,03	2,56	2,63
			2,67	
			2,67	
7.	7	15,03	2,30	2,42
			2,45	
			2,52	

Berdasarkan Tabel 4.8, selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara perbesaran arester dan tegangan potong rata-ratanya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Perbesaran Arestor Terhadap Tegangan Potong

Gambar 4.9 merupakan grafik perubahan perbesaran arester, dari gambar dapat dilihat bahwa semakin banyak susunan keping elektroda maka tegangan potong menjadi semakin besar.

### D. Efisiensi Medan Listrik

Efisiensi medan listrik merupakan salah satu yang menentukan tingkat homogenitas suatu arester. Rentang nilai efisiensi medan listrik yaitu antara 0-1. Semakin mendekati nilai 1 maka semakin tinggi tingkat homogenitas dari arester. Setelah mendapatkan nilai kuat medan maksimum, maka dapat dihitung berapa efisiensi dari arester elektroda bentuk baji ini. Dengan terlebih dahulu menghitung medan rata-ratanya. Dengan  $U_d$  sebesar 1,5 kV dan jarak sela (s) sebesar 0,3 mm, maka nilai meda rata-ratanya adalah sebagai berikut,

$$E_{rata-rata} = \frac{U_d}{s}$$

$$E_{rata-rata} = \frac{1,5}{0,3}$$

$$E_{rata-rata} = 5 \text{ kV/mm}$$

Dengan nilai kuat medan listrik maksimum sebesar 6,593 kV/mm dan nilai kuat medan rata-ratanya sebesar 5 kV/mm, maka faktor efisiensi medan listrik pada arester bentuk baji adalah sebagai berikut,

$$\eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{maksimum}}$$

$$\eta = \frac{5}{6,593}$$

$$\eta = 0,72$$

### E. Arestor PCB Bentuk Baji

#### 1. Bentuk Geometri

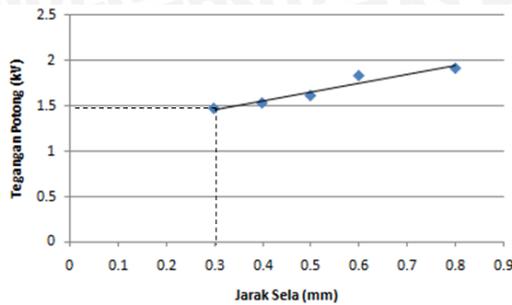
Didapatkan perancangan bentuk geometri arseter bentuk baji seperti pada Gambar 4.10. Perancangan tersebut sama dengan plat bentuk baji sebagai fasa dan piring sebagai ground. Bentuk plat pada fasa dibuat runcing karena pada distribusi medan listrik yang kurang homogenitasnya mempunyai tegangan tembus yang kecil.



Gambar 4.10 Bentuk Geometri Rancang Bangun Arestor PCB Bentuk Baji

#### 2. Jarak Sela Arestor

Pada pengujian jarak sela yang ditunjukkan pada Gambar 4.7, didapatkan bahwa semakin besar jarak sela, maka tegangan potong yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin besar jarak sela dari suatu arester maka akan dibutuhkan energi yang lebih besar pula bagi elektron untuk bergerak. Dari data pengujian tersebut jarak sela yang menghasilkan tegangan potong sebesar 1,5 kV yaitu pada jarak sela antara 0,3 – 0,4 mm. Oleh karena itu jarak sela dalam rentang 0,3 - 0,4 mm akan digunakan sebagai jarak sela arester seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Jarak Sela yang Dipilih

### 3. Sudut Baji

Pada pengujian sudut baji yang ditunjukkan pada Gambar 4.8, didapatkan bahwa semakin besar sudut baji, maka tegangan potong yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin besar sudut baji arester maka medan yang dihasilkan akan semakin homogen. Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa saat pengujian arester dengan sudut baji  $15^\circ$  didapatkan nilai tegangan potongnya sebesar 1,40 kV. Saat pengujian menggunakan arester dengan sudut baji  $30^\circ$  didapatkan nilai tegangan potongnya sebesar 1,47 kV. Selanjutnya pada pengujian arester dengan sudut baji  $60^\circ$  didapatkan nilai tegangan potongnya sebesar 1,83 kV. Dari data hasil pengujian tersebut sudut yang menghasilkan tegangan potong 1,5 kV yaitu sudut  $15^\circ$  dan  $30^\circ$ . Oleh karena sudut yang mendekati tegangan potong 1,5 kV adalah  $30^\circ$  maka yang akan digunakan sebagai sudut arester PCB bentuk baji yaitu sudut  $30^\circ$ .

### 4. Perbesaran Arestor

Pada pengujian sudut baji yang ditunjukkan pada Gambar 4.9, didapatkan bahwa semakin banyak susunan keping elektroda, maka tegangan potong yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin banyak susunan keping elektroda maka terjadi perbesaran dimensi elektroda, sehingga elektron membutuhkan energi yang lebih sedikit untuk bergerak yang menyebabkan probabilitas tembusnya menjadi meningkat.

Berdasarkan pada grafik hubungan antara tegangan potong dan penambahan susunan keping elektroda pada Gambar 4.9 didapatkan persamaan *polynomial* untuk tingkat proteksi 1,5 kV yaitu :

$$U_d = -0,002Y^2 - 0,083Y + 3,155$$

$$1,5 = -0,002Y^2 - 0,083Y + 3,155$$

$$-0,002Y^2 - 0,083Y + 1,655 = 0$$

Dari hasil persamaan diatas digunakan rumus abc untuk mengetahui nilai akar-akar persamaannya

$$Y_1, Y_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$Y_1, Y_2 = \frac{-(-0,083) \pm \sqrt{(0,083)^2 - 4 \cdot (-0,002) \cdot (1,655)}}{2 \cdot (-0,002)}$$

$$Y_1, Y_2 = \frac{0,083 \pm \sqrt{0,006889 + 0,01324}}{-0,004}$$

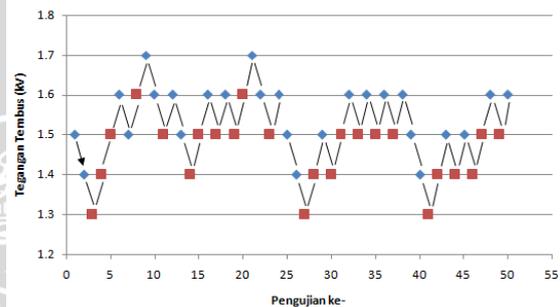
$$Y_1, Y_2 = \frac{0,083 \pm 0,1419}{0,004}$$

$$Y_1 = \frac{0,083 + 0,1419}{-0,004} = -56,2 \text{ atau } Y_2 = \frac{0,083 - 0,1419}{-0,004} = 14,7$$

Dari persamaan kuadrat dengan menggunakan rumus abc maka didapatkan akar-akar persamaannya yaitu -56,2 dan 14,7. Namun untuk perbesaran elektroda yang maka persamaan yang digunakan adalah 14,7 yang kemudian dibulatkan menjadi 15 keping susunan elektroda.

### F. Pengujian Tegangan Tembus Arestor dengan Metode Naik-Turun

Pengujian tegangan tembus dengan metode naik-turun berfungsi untuk mengukur tegangan tembus yang dihasilkan oleh arester PCB bentuk baji.



Gambar 4.12 Pengujian Tegangan Tembus Arestor dengan Metode Naik-Turun

Keterangan:

◆ : Terjadi tembus

■ : Tidak terjadi tembus

Dari Gambar 4.12 dapat dibuat tabel dengan  $x$  merupakan tingkat tegangan dimana "■" terjadi,  $n_x$  merupakan jumlah "■" yang terjadi pada tingkat  $x$ , dan dimana tidak terjadi tembus maka  $x = 0$ .

Tabel 4.9 Pengujian tegangan tembus arester

$x$	$n_x$	$x \cdot n_x$
3	2	6
2	12	24
1	7	7
0	3	0
<b>Jumlah</b>	24	37

Dari Tabel 4.9 dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui tegangan tembus yang dihasilkan arester. Dengan  $U_{min}$  merupakan tegangan yang terjadi pada tanda "■" terendah, dan  $U_x$  merupakan tegangan pada tingkat  $x$  (tertinggi).

$$U = U_{min} + (U_x - U_{x-1}) \times \left( \frac{\sum x \cdot n_x}{\sum n_x} + \frac{1}{2} \right)$$

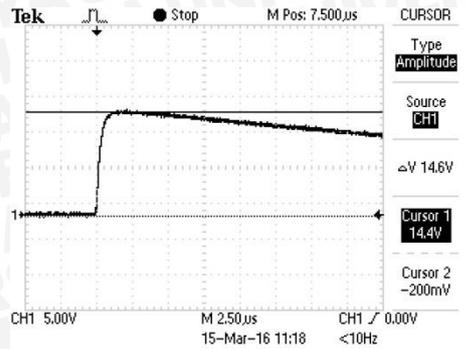
$$U = 1,3 + (1,7 - 1,6) \times \left( \frac{37}{24} + \frac{1}{2} \right)$$

$$U = 1,504 \text{ kV}$$

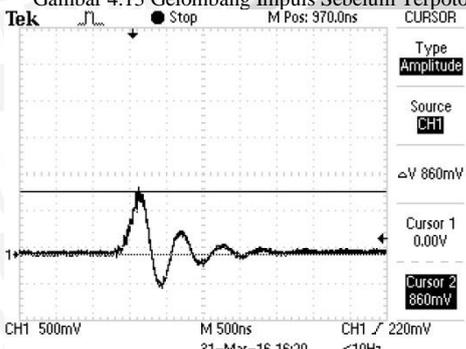
### G. Karakteristik Tegangan Waktu Arestor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kurva karakteristik pemotongan tegangan impuls

oleh arester PCB. Gambar 4.13 dan gelombang impuls pada saat terpotong arester seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14



Gambar 4.13 Gelombang Impuls Sebelum Terpotong



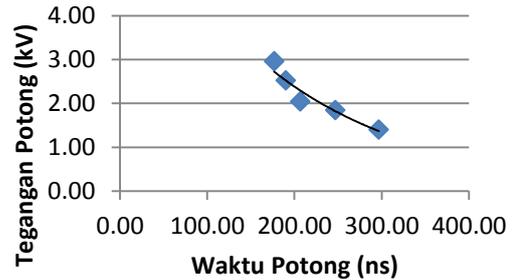
Gambar 4.14 Gelombang Impuls Setelah Terpotong

Tabel 4.10 merupakan tabel data pengujian karakteristik tegangan-waktu arester PCB bentuk baji. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap tegangan uji yang berbeda-beda kemudian diambil nilai rata-ratanya. Nilai  $U_i$  merupakan nilai tegangan masukan,  $U_d$  merupakan nilai tegangan potong arester,  $\bar{U}_d$  merupakan nilai rata-rata tegangan potong arester,  $t_d$  merupakan nilai waktu potong arester, dan  $\bar{t}_d$  merupakan nilai rata-rata waktu potong arester.

Tabel 4.10 Pengujian Karakteristik Tegangan – Waktu Arestor PCB Bentuk Baji

No.	$U_i$ (kV)	$U_d$ (kV)	$\bar{U}_d$ (kV)	$t_d$ (ns)	$\bar{t}_d$ (ns)
1.	3,19	1,40	1,41	270	296,67
		1,40		300	
		1,42		320	
2.	6,06	1,85	1,90	250	246,67
		1,90		260	
		1,95		230	
3.	9,01	2,05	2,13	200	206,67
		2,16		210	
		2,19		210	
4.	12,03	2,52	2,51	190	190,00
		2,56		180	
		2,45		200	
5.	15,02	2,96	2,90	180	176,67
		3,03		190	
		2,70		160	

Pada Tabel 4.10 dapat dibuat grafik kurva karakteristik tegangan-waktu arester PCB bentuk baji yang ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Karakteristik Tegangan-Waktu Arestor PCB Bentuk Baji

## V. PENUTUP

### A. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilaksanakan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pemotongan tegangan lebih impuls menggunakan variabel variasi jarak sela dan sudut baji. Dari variable tersebut maka didapatkan pemotong tegangan lebih impuls dengan menggunakan elektroda PCB bentuk baji untuk tingkat proteksi 1,5 kV dengan dimensi jarak sela 0,3 mm dan sudut baji 30°, serta 15 susunan keping elektroda.
2. Arestor elektroda PCB bentuk baji mampu menghasilkan tegangan potong pada bagian muka gelombang dengan tingkat proteksi 1,5 kV yang sesuai standar DIN VDE 0110/IEC Publ.664, arester ini dikategorikan kedalam kategori I untuk melindungi peralatan elektronik. Didapatkan pula karakteristik arester, dimana semakin tinggi amplitudo tegangan impuls maka semakin tinggi pula tegangan potongnya, sedangkan waktu potongnya akan semakin kecil.

### B. SARAN

Saran untuk penelitian yang akan datang dari hasil penelitian ini sebagai berikut :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait pengaruh permukaan elektroda PCB yang tidak rata, karena dapat mempengaruhi karakteristik pemotongan tegangan impuls dari elektroda PCB tersebut.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait elektroda PCB dengan bentuk geometri yang berbeda dan penggunaan PCB *double layer*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://psta.lapan.go.id/index.php/subblog/read/20014/13/Pupuk-Dari-Atmosfer/articles>
- [2] Puspitasari, A. 2014. *Rancang Bangun Peralatan Proteksi Lampu Penerangan Jalan Umum Satu Fasa Terhadap Bahaya SurjaPetir Menggunakan PCB (Printed Circuit Board)*. Malang : Universitas Brawijaya
- [3] Arismunandar, A., Prof. Dr. 1983. *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- [4] Kind, D. 1993. *Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Terjemahan K.T. Sirait. Bandung : Penerbit ITB.
- [5] Hauschild, W dan W. Mosch. 1984. *Statistical Techniques For High-Voltage Engineering*. Berlin : VEB Verlag Technik

