

**KOORDINASI PROTEKSI ARESTER PCB DAN DIODA ZENER DENGAN  
ELEMEN DEKOPLING PADA PERALATAN LISTRIK**

**JURNAL SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**RESI RATNASARI**

**NIM. 105060307111034 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**

# KOORDINASI PROTEKSI ARESTER PCB DAN DIODA ZENER DENGAN ELEMEN DEKOPLING PADA PERALATAN LISTRIK

Resi Ratnasari<sup>1</sup>, Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T.<sup>2</sup>, Ir. Soemarwanto, M.T.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro, <sup>2,3</sup>Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email: ratnasari\_resi@ymail.com

**Abstrak** – Pada arester PCB terdapat kesulitan dalam merencanakan jarak elektroda sela udara di bawah 1 mm dengan tingkat proteksi 1,5 kV. Apabila digunakan untuk mendapatkan tingkat proteksi 0,8 kV dibutuhkan suatu kombinasi proteksi antara arester PCB dan dioda zener secara kaskade. Kaskade arester ini memerlukan suatu elemen dekopling agar koordinasi proteksinya dapat berjalan dengan baik. Penelitian ini menggunakan beberapa metode yaitu perancangan, pengujian dan analisis kaskade arester. Perancangan kaskade arester meliputi perancangan arester PCB, pemilihan dioda zener dan perancangan elemen dekopling. Pengujian dilakukan dengan menaikkan tegangan dari 2 kV hingga 10 kV impuls puncak. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa elemen dekopling yang digunakan adalah induktor 0,36 mH dengan inti ferit. Pada kaskade arester dengan elemen dekopling tersebut, tegangan impuls 10 kV mampu dipotong hingga 317 V dengan waktu pemotongan 80 ns.

**Kunci kunci** – kaskade arester, arester PCB, dioda zener, elemen dekopling, induktor

## I. PENDAHULUAN

Sambaran petir dapat menimbulkan gelombang berjalan pada saluran yang akan menyebabkan terjadinya tegangan lebih sehingga berujung pada kerusakan peralatan listrik. Salah satu peralatan proteksi untuk melindungi peralatan listrik dari gangguan tegangan lebih adalah arester PCB (*Printed Circuit Board*). Pada arester PCB terdapat kesulitan dalam merencanakan jarak sela udara di bawah 1 mm dengan tingkat proteksi 1.5 kV. Apabila teknologi tersebut digunakan untuk mendapatkan tingkat proteksi 0,8 kV, maka dibutuhkan inovasi teknologi yaitu dengan mengkombinasikan arester PCB dan dioda zener secara kaskade.

Pada sistem kaskade ini diperlukan suatu impedansi agar koordinasi proteksi antar arester dapat berjalan dengan baik. Impedansi yang biasa disebut elemen dekopling ini dapat berupa resistor, induktor atau kapasitor. Perilaku masing-masing komponen tersebut akan mempengaruhi bentuk gelombang surja. Oleh karena itu, maka pada penelitian ini akan membahas jenis dan nilai elemen dekopling yang sesuai agar terjadi koordinasi arester PCB dan dioda zener dengan tingkat proteksi 0,8 kV.

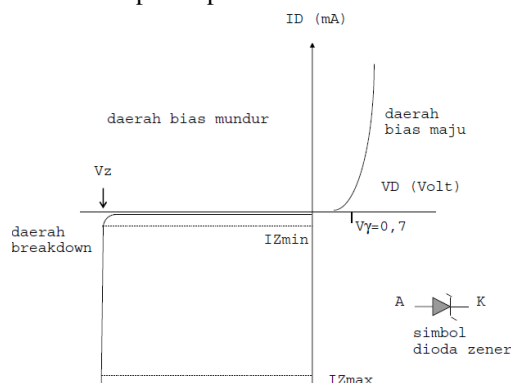
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Arestor PCB

Arestor PCB merupakan salah satu bentuk inovasi dari arester sela udara yang digunakan pada sistem catu daya tegangan rendah. Pengujian arester jenis ini dilakukan antar fasa – ground, maka saat tegangan dinaikkan hingga mencapai nilai tertentu akan terjadi tembus di arester tersebut.

### B. Dioda Zener

Dioda zener merupakan salah satu komponen pelindung surja sekunder yang digunakan untuk menjepit tegangan surja secara akurat (Dagostino dan Wujek, 2010:637). Dioda zener mampu menyalurkan arus dalam suatu rangkaian ke arah yang berlawanan apabila terdapat tegangan yang melampaui batas tegangan zener. Karakteristik dari dioda zener dapat dilihat pada Gambar 1. Apabila terdapat tegangan yang mencapai batas tegangan dioda zener, maka arus dioda zener akan naik dengan cepat. Perubahan ini tidak berpengaruh terhadap tegangan dioda zener yang relatif konstan. Daerah breakdown inilah yang menjadi titik fokus untuk penerapan dioda zener.



Gambar 1 Kurva karakteristik dioda zener  
Sumber: Surjono, 2011:42

### C. Gelombang Berjalan

Gelombang berjalan secara sistematis dinyatakan dengan persamaan berikut (Hutauruk, 1989:5).

$$e(t) = E \left( \varepsilon^{-\frac{t}{\theta}} - \varepsilon^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2-1)$$

dimana:

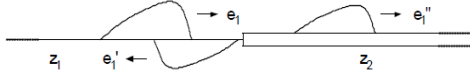
$E$  = tegangan surja puncak (kV)

$\tau$  = konstanta waktu dahi ( $\mu$ s)

$\theta$  = konstanta waktu paruh punggung ( $\mu$ s)

$t \geq 0 \mu$ s

Gelombang berjalan ini apabila menemui titik peralihan, maka sebagian gelombangnya akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Perambatan gelombang berjalan  
Sumber: Hutauruk, 1989:26

Secara berturut-turut persamaan gelombang tegangan terusan dan gelombang tegangan pantul dapat dirumuskan yaitu:

$$e_t = \frac{2Z_2}{Z_1+Z_2} e_i \quad (2-2)$$

$$e_r = \frac{Z_2-Z_1}{Z_1+Z_2} e_i \quad (2-3)$$

dimana:

$e_i$  = gelombang tegangan datang

$e_t$  = gelombang tegangan terusan

$e_r$  = gelombang tegangan pantul

$Z_1, Z_2$  = impedansi surja saluran

#### D. Elemen Dekopling

Elemen dekopling dapat berupa resistor, induktor atau kapasitor. Penyisipan elemen dekopling di antara dua arester akan memberikan pengaruh terhadap perambatan gelombang berjalan. Induktor berfungsi sebagai rangkaian hubung buka, sedangkan kapasitor berfungsi sebagai rangkaian hubung singkat pada bagian muka gelombang. Apabila gelombang datang berbentuk gelombang eksponensial ganda, maka gelombang tegangan terusannya adalah (Rudernberg, 1968:107):

$$e_t = \frac{2Z_2}{Z_1+Z_2} E \left[ \frac{\varepsilon^{-\frac{t}{\theta}} - \varepsilon^{-\frac{t}{T}}}{1-\frac{T}{\theta}} - \frac{\varepsilon^{-\frac{t}{\tau}} - \varepsilon^{-\frac{t}{T}}}{1-\frac{T}{\tau}} \right] \quad (2-4)$$

dimana:

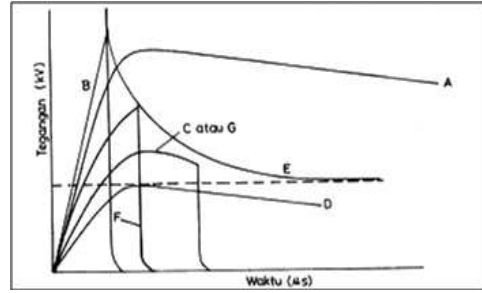
$E$  = amplitudo gelombang

$T$  = konstanta waktu

Konstanta waktu untuk induktor yaitu  $T_L = \frac{L}{Z_1+Z_2}$ , sedangkan untuk kapasitor yaitu  $T_C = \frac{Z_1 Z_2 C}{Z_1+Z_2}$ . Semakin tinggi nilai induktansi dan kapasitansi, maka semakin lama waktu yang diperlukan gelombang untuk naik mencapai puncak. Pada resistor, gelombang tegangan terusannya tidak dipengaruhi oleh konstanta waktu  $T$ .

#### E. Pemotongan Gelombang Tegangan

Arester bekerja berdasarkan tegangan yaitu apabila tegangan impuls pada terminal melampaui teraan impulsnya maka arester akan bekerja dengan memotong tegangan lebih tersebut (Mansuri, 2009:9). Karakteristik tegangan potong arester merupakan kombinasi dua variabel yaitu tegangan potong dan waktu potong, seperti terlihat pada Gambar 3.

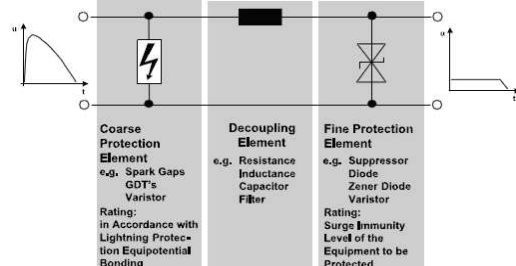


Gambar 3 Karakteristik v-t  
Sumber: Arismunandar, 1983:115

Berdasarkan karakteristik v-t ini dapat disimpulkan arester ideal adalah arester yang mampu memotong setiap tegangan lebih di bagian muka dengan tingkat pemotongan tegangan yang selalu sama.

#### F. Kaskade Arester

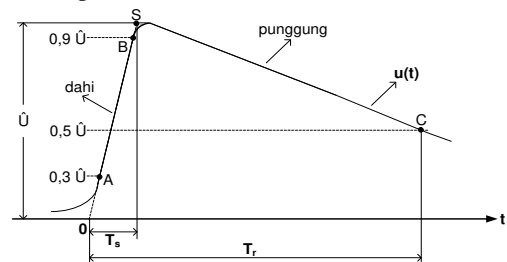
Sistem kaskade arester terdiri dari proteksi primer dan proteksi sekunder. Proteksi primer berfungsi mencegah surja petir, sedangkan proteksi sekunder berfungsi melindungi peralatan dari sisa gangguan proteksi primer. Proteksi primer dihubungkan dengan proteksi sekunder melalui suatu elemen dekopling. Elemen dekopling berfungsi mengaktifkan proteksi primer setelah proteksi sekunder mulai membawa arus, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Rangkaian kaskade arester  
Sumber: Hasse, 2008:206

#### G. Tegangan Impuls

Bentuk gelombang impuls standar menurut IEC adalah 1,2/50  $\mu$ s. 1,2  $\mu$ s menyatakan waktu dahi  $T_s$  dan 50  $\mu$ s menyatakan waktu paruh punggung  $T_r$  seperti terlihat pada Gambar 5.

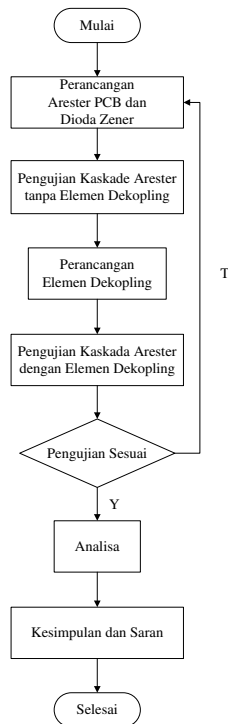


Gambar 5 Parameter tegangan impuls  
Sumber: Kind, 1993:34

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah untuk merealisasikan kaskade arrester ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



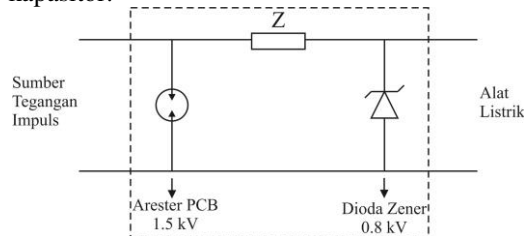
Gambar 6 Diagram alir penelitian

#### B. Variabel Penelitian

Variabel yang terkait dengan penelitian ini adalah jenis elemen dekopling, nilai elemen dekopling, tegangan impuls 1.2/50  $\mu$ s serta tegangan potong dan waktu pemotongan.

#### C. Objek Uji

Objek uji yang digunakan tersebut dilukiskan dengan Gambar 7. Arrester PCB memiliki tingkat proteksi 1,5 kV, dioda zener memiliki tingkat proteksi 0,8 kV dan elemen dekopling dapat berupa resistor, induktor atau kapasitor.



Gambar 7 Objek uji kaskade arrester dengan elemen dekopling

#### D. Sistem Pengujian

Pengujian dilakukan pada arrester dengan spesifikasi yang telah ditentukan yaitu mampu memotong tegangan lebih 0,8 kV. Pengujian kaskade arrester ini dilakukan di Laboratorium

Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Kabel dihubungkan ke sumber tegangan tinggi impuls pada fasa dan salah satunya pada *ground*. Pengujian dilakukan dengan menaikkan tegangan dari 2 kV hingga 10 kV impuls puncak. Setiap kenaikan 1 kV diambil data-data seperti tegangan searah  $U_{dc}$ , tegangan impuls  $U_{impuls}$  dan gelombang pemotongan. Catat hasil pengukuran pada tabel dan simpan hasil pemotongan tegangan dari osiloskop.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

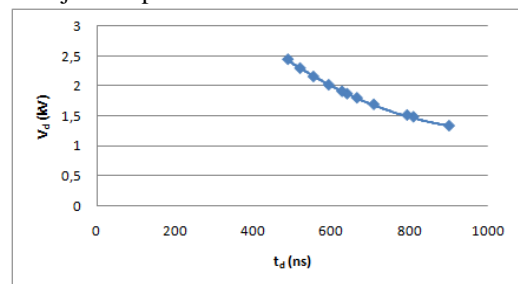
#### A. Pengujian Arrester PCB

Arrester PCB berupa PCB *single layer* dengan jarak sela udara 0,3 mm. Tabel 1 adalah hasil pengujian pada arrester PCB.

Tabel 1 Data hasil pengujian

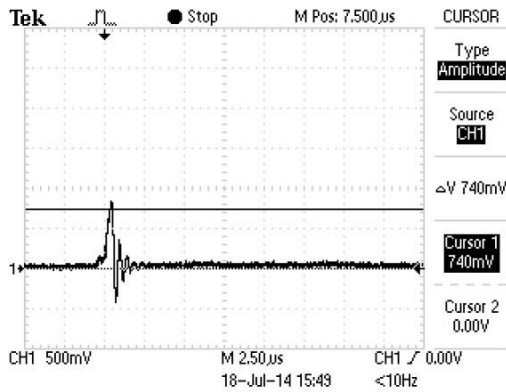
No.	Tegangan Puncak Impuls (kV)	Tegangan Potong $V_d$ (kV)	Waktu Potong $t_d$ (ns)
1	2,00	1,33	900
2	2,74	1,48	809
3	3,57	1,51	793
4	4,45	1,69	708
5	5,32	1,8	665
6	6,17	1,87	640
7	7,01	1,91	627
8	7,80	2,02	593
9	8,99	2,16	554
10	9,70	2,30	520
11	10,67	2,45	489

Grafik karakteristik v-t untuk arrester PCB ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Karakteristik v-t arrester PCB

Bentuk gelombang hasil pemotongan tegangan impuls standart 1,2/50  $\mu$ s dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9 Pemotongan gelombang tegangan lebih oleh arester PCB

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa arester PCB ini menghasilkan tingkat pemotongan tegangan yaitu 1,33 kV – 2,45 kV dengan waktu pemotongan 900 ns – 489 ns.

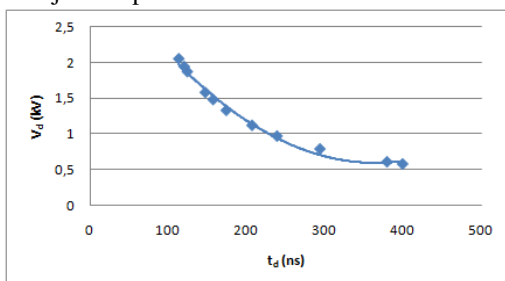
### B. Pengujian Dioda Zener

Dioda zener yang digunakan memiliki tegangan 200 V. Tabel 2 adalah hasil pengujian pada dioda zener.

Tabel 2 Data hasil pengujian

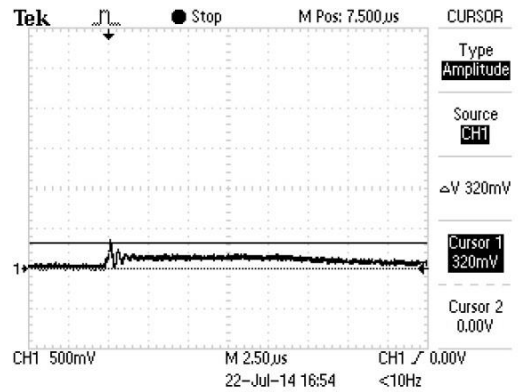
No.	Tegangan Puncak Impuls (kV)	Tegangan Potong $V_d$ (kV)	Waktu Potong $t_d$ (ns)
1	2,38	0,58	400
2	2,78	0,61	380
3	3,64	0,79	294
4	4,50	0,97	239
5	5,38	1,12	207
6	6,18	1,33	174
7	7,05	1,48	157
8	7,85	1,58	147
9	8,73	1,87	124
10	9,88	1,94	120
11	10,45	2,05	113

Grafik karakteristik v-t untuk dioda zener ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Karakteristik v-t dioda zener

Bentuk gelombang hasil pemotongan tegangan impuls standart 1,2/50  $\mu$ s dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11 Pemotongan gelombang tegangan lebih oleh dioda zener

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa dioda zener ini menghasilkan tingkat pemotongan tegangan yaitu 0,58 kV – 2,05 kV dengan waktu pemotongan 400 ns – 113 ns.

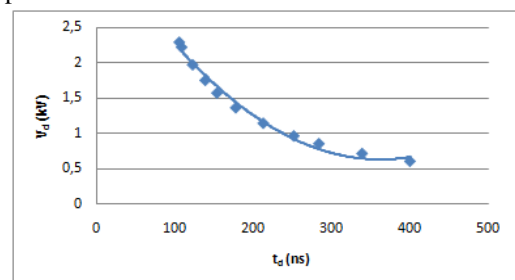
### C. Pengujian Kaskade Arestor tanpa Elemen Dekopling

Tabel 3 adalah hasil pengujian pada kaskade arester tanpa elemen dekopling.

Tabel 3 Data hasil pengujian

No.	Tegangan Puncak Impuls (kV)	Tegangan Potong $V_d$ (kV)	Waktu Potong $t_d$ (ns)
1	2,36	0,61	400
2	2,82	0,72	339
3	3,66	0,86	284
4	4,47	0,97	252
5	5,34	1,15	213
6	6,19	1,37	178
7	6,98	1,58	154
8	7,84	1,76	139
9	8,76	1,98	123
10	9,57	2,23	109
11	10,37	2,30	106

Grafik karakteristik v-t untuk kaskade arester tanpa elemen dekopling ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Karakteristik v-t kaskade arester tanpa elemen dekopling

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kaskade arester tanpa

elemen dekopling ini menghasilkan tingkat pemotongan tegangan yaitu 0,61 kV – 2,30 kV dengan waktu pemotongan 400 ns – 106 ns. Tingkat pemotongan tegangan kaskade arester tanpa elemen dekopling hampir sama dengan tingkat pemotongan tegangan dioda zener. Hal itu dapat disimpulkan bahwa saat kaskade arester tanpa elemen dekopling dikenai tegangan impuls, maka hanya dioda zener yang akan bekerja.

#### D. Pengujian Kaskade Arester dengan Elemen Dekopling

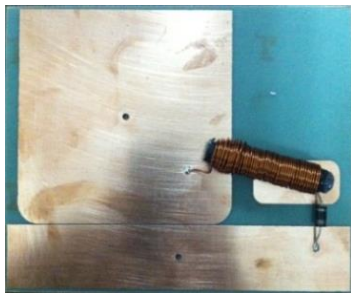
Elemen dekopling yang digunakan adalah induktor. Nilai dari reaktansi induktif induktor saat frekuensi tinggi lebih besar daripada saat frekuensi rendah. Ketika nilai reaktansi induktif tinggi, induktor akan menahan arus dalam jumlah besar sehingga dioda zener akan berada di daerah yang aman.

Nilai induktor diperoleh dari persamaan berikut ini.

$$e_L = \frac{L}{Z_2} \frac{de_t}{dt} \quad (2-5)$$

Diketahui  $e_L = 0,7$  kV dan  $Z_2 = 445 \Omega$ .  $\frac{de_t}{dt}$  merupakan hasil penurunan dari gelombang tegangan terusan pada persamaan (2-4). Berdasarkan hasil perhitungan didapat nilai induktansi sebesar 0,36 mH.

Induktor yang digunakan memiliki nilai induktansi 0,36 mH. Induktor ini menggunakan inti ferit. Hal ini dikarenakan inti ferit memiliki lengkung histerisis yang sempit dan resistivitas yang tinggi, sehingga pada frekuensi tinggi tidak dapat menyebabkan kerugian daya. Rancang bangun kaskade arester PCB dengan elemen dekopling ditunjukkan oleh Gambar 11 berikut ini.



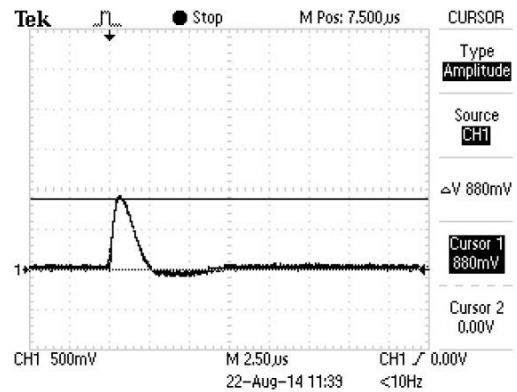
Gambar 11 Kaskade arester dengan elemen dekopling

Tabel 4 adalah hasil pengujian pada kaskade arester dengan elemen dekopling.

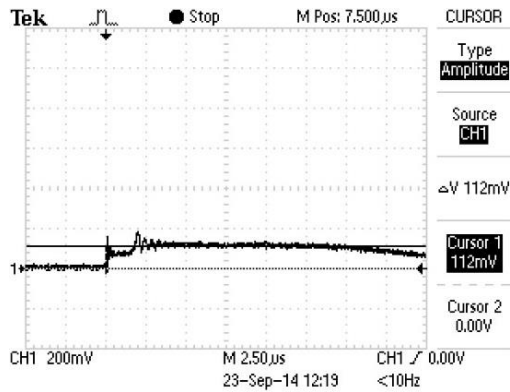
Tabel 4 Data hasil pengujian

No.	U <sub>impuls</sub> (kV)	Arester PCB		Dioda Zener	
		V <sub>d</sub> (kV)	t <sub>d</sub> (ns)	V <sub>d</sub> (V)	t <sub>d</sub> (ns)
1	2,30	1,58	600	210	120
2	2,78	1,62	585	215	117
3	3,72	1,66	571	221	114
4	4,55	1,69	561	225	112
5	5,30	1,73	548	230	110
6	6,15	1,76	539	234	108
7	7,10	1,87	507	249	101
8	7,90	2,09	454	278	91
9	8,71	2,23	425	297	85
10	9,66	2,27	418	301	84
11	10,42	2,38	398	317	80

Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa pada kaskade arester dengan elemen dekopling ini terjadi proses pemotongan tegangan oleh arester PCB yaitu 1,58 kV – 2,38 kV dengan waktu pemotongan 600 ns – 398 ns. Sisa pemotongan tegangan dari arester PCB tersebut dipotong oleh dioda zener yang menghasilkan tingkat pemotongan tegangan yaitu 200 kV – 317 kV dengan waktu pemotongan 120 ns – 80 ns. Hal itu dapat disimpulkan bahwa saat kaskade arester dengan elemen dekopling dikenai tegangan impuls, maka arester PCB akan bekerja pertama kali dan tahap berikutnya sisa tegangan surja dipotong oleh dioda zener.



Gambar 14 Pemotongan gelombang tegangan lebih oleh arester PCB pada kaskade arester dengan elemen dekopling



Gambar 15 Pemotongan gelombang tegangan lebih oleh arester PCB pada kaskade arester dengan elemen dekoupling

## V. PENUTUP

Pada penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil adalah:

- Elemen dekoupling yang dapat digunakan dalam koordinasi arester PCB dan dioda zener adalah induktor.
- Nilai induktor yang diperlukan dalam koordinasi arester PCB dan dioda zener adalah 0,36 mH dengan inti ferit.

Pada penelitian ini, saran yang dapat diberikan yaitu perlu dilakukan penelitian untuk jenis elemen proteksi sekunder yang lain, sehingga dapat disimpulkan komponen yang paling baik untuk memotong sisa tegangan impuls dari arester PCB selain dioda zener.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. 1983. *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Jakarta: GhaliaIndonesia.
- Dagostino, F.R. & Wujek, J.B. 2010. *Mechanical and Electrical Systems in Architecture, Engineering, and Construction*. USA: Prentice-Hall.
- Hutauruk, T. S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta: Erlangga.
- Hasse, P. 2008. *Overvoltage Protection of Low Voltage Systems*. London: The Institution of Engineering and Technology.
- Mansuri. 2002. *Perencanaan dan Pembuatan Prototipe Arestor Jenis Kancing untuk Proteksi Tegangan Rendah*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rudenberg, R.1968. *Electrical Shock Waves in Power Systems*. Massachusetts: Harvard University Press.
- Surjono, H.D. 2007. *Elektronika: Teori dan Penerapan*. Jember: Penerbit Cerdas Ulet Kreatif.