

# PENGUJIAN LIGHTNING ARRESTER 20KV TIPE ZnO MENGGUNAKAN GENERATOR IMPULS SERTA SIMULASI SAMBARAN PETIR MELALUI PROGRAM ATP Draw

Muhammad Noor Eka Putra<sup>1</sup>, Ir. Prastyono Eko Pambudi, MT.<sup>2</sup>, Slamet Hani, ST., MT.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa, <sup>2</sup>Dosen Pembimbing Pertama, <sup>3</sup>Dosen Pembimbing Kedua

TEKNIK ELEKTRO

Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Jl. Kalisahak 28 Komplek Balapan Tromol Pos 45 Yogyakarta 55222

Telp. (0274)563029

## INTISARI

Lightning Arrester ZnO 20kV digunakan untuk melindungi peraalatan listrik dari sambaran petir, terutama gangguan petir pada jaringan distribusi agar keandalan jaringan tetap terjaga. Sambaran petir dapat menyebabkan tegangan impuls yang memiliki variasi waktu yang bermacam-macam untuk mencapai puncak gelombang dan memiliki berbagai macam waktu penurunan tegangannya. Standar tegangan impuls petir yang digunakan adalah Standar Jepang, Amerika, Inggris, dan IEC.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kerja Lightning Arrester ZnO 20kV setelah adanya penambahan kapasitor paralel. Metode yang digunakan pada penelitian ini dimulai dari tahap studi literatur, simulasi menggunakan program ATP Draw untuk mengetahui tingkat keefektifitasan rangkaian yang akan diuji, hingga pengujian secara riil di laboratorium tegangan tinggi. Hasil pengujian yang dilakukan adalah dapat dibuktikan bahwa penambahan kapasitor yang dirangkai paralel dengan arrester dapat memotong tegangan impuls sebesar 92-97 persen. Apabila nilai kapasitans kapasitor yang diberikan semakin besar maka pemotongan tegangan yang akan didapatkan juga semakin besar, namun tetapi riak tegangan yang diperoleh juga semakin banyak. Namun pemakaian kapasitor dalam jangka panjang juga tidak terlalu handal.

**Kata kunci :** Petir, kapasitor, arrester, ATPDraw, paralel

## Pendahuluan

Sambaran petir bisa mengakibatkan tegangan lebih di sepanjang saluran tenaga listrik. Perambatan surja dapat menyebabkan tegangan lebih pada sistem tegangan rendah, utamanya dapat merusak peralatan tegangan rendah hingga dapat merusak sistem.

Untuk melindungi saluran tenaga listrik dari sambaran petir, maka diperlukan arrester. Arrester melindungi peralatan tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan yang datang dan dialirkan ke tanah. Arrester mengadakan jalur bagi arus/tegangan transien dari sambaran petir ke tanah dengan impedansi yang kecil sehingga tidak akan menyebabkan tegangan lebih pada peralatan listrik lainnya.

Penelitian tentang arrester masih minim yang melakukan penelitian dengan variable terhadap front time

(Tf) dan variasi Lightning Arrester menggunakan Paralel Kapasitor. Maka, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dan karakteristik dari arrester BIL 20 kV terhadap berbagai sambaran petir. Artinya sampai sejauh mana arrester dapat bekerja dengan berbagai besar impuls yang ditimbulkan oleh petir. Sebagai mana diketahui bahwa nilai tegangan lebih dari petir tidak menentu besarnya. Untuk mengubah-ubah tegangan impuls, dapat dilakukan dengan mengatur front time (Tf)-nya. Sehingga, saluran tenaga listrik terlindungi dari sambaran petir.

## Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas permasalahan yang akan dianalisis pada penelitian ini dapat diformulasikan sebagai berikut,

- a. Bagaimana karakteristik kinerja Lightning Arrester setelah dan sebelum dipasang kapasitor.
- b. Bagaimana pengaruh pemasangan kapasitor secara paralel terhadap keandalan Lightning Arrester.

### Dasar Teori Arrester

Peristiwa sambaran petir adalah suatu fenomena listrik alam. Hal ini barulah diyakini kebenarannya pada tahun 1749 berkaitan penelitian yang dilakukan oleh seorang ilmuan yang bernama Benjamin Franklin. Petir merupakan kejadian alam dimana terjadi loncatan muatan listrik antara awan dengan bumi. Loncatan muatan listrik tersebut diawali dengan mengumpulkannya uap air di dalam awan. Ketinggian antara permukaan atas dan permukaan bawah pada awan dapat mencapai jarak sekitar 8 km dengan temperatur bagian bawah sekitar  $60^{\circ}\text{F}$  dan temperatur bagian atas sekitar  $-60^{\circ}\text{F}$ . Akibatnya di daerah awan tersebut akan terjadi kristal-kristal es. Karena didalam awan terdapat angin segala arah, maka kristal-kristal es tersebut akan saling bertumbukan dan bergesekan sehingga terpisahkan antara muatan positif dan muatan negatif. Pemisahan muatan inilah yang menjadi sebab utama terjadinya sambaran petir (Zoro, 2005).

Alat pelindung berfungsi melindungi peralatan tenaga listrik dengan cara membatasi surja (surge) tegangan lebih yang datang dan mengalirkan ke tanah. Alat pelindung yang paling bagus adalah arrester (lightning arrester kadang-kadang juga disebut surge diverter) (Arismunandar, 1975).

Arrester petir atau disingkat arester, atau sering juga disebut penangkal petir adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Ia berlaku sebagai jalan pintas (*by-pass*) sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50 Hz.

Jadi pada kerja normal arrester itu berlaku sebagai isolator dan bila timbul surja dia berlaku sebagai konduktor, jadi melewatkan arus yang tinggi. Setelah surja hilang arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutusan daya tidak sempat membuka. Berlainan dengan sela batang yang dibicarakan dimuka arrester dapat memutuskan susulan tanpa menimbulkan gangguan. Inilah salah satu fungsi penting dari arrester (T. S. Hutahuru).

Arrester sendiri tidak memiliki fungsi sebagai pembatas antara tegangan lebih dan sistem, tapi lebih kepada meneruskan tegangan lebih menuju tanah. Inilah keunikan tersendiri yang dimiliki oleh arrester yang memiliki sifat *arrester fault*. Ia bisa membatasi dan mengenali tegangan sistem. Dan hanya bersifat konduktif (dengan nilai R mendekati 0) saat surja petir mengenainya.

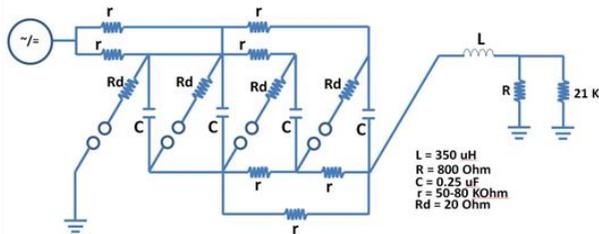
Arrester sendiri juga harus memiliki tahanan isolasi agar saat terjadi surja petir, ia tidak pecah dan tetap bisa menjalankan fungsinya sebagai mana mestinya. Oleh sebab itu, penting kiranya dibahas sedikit mengenai sistem isolasi dan hal-hal yang mempengaruhinya.



Gambar 1 Penampakan Fisik Arrester

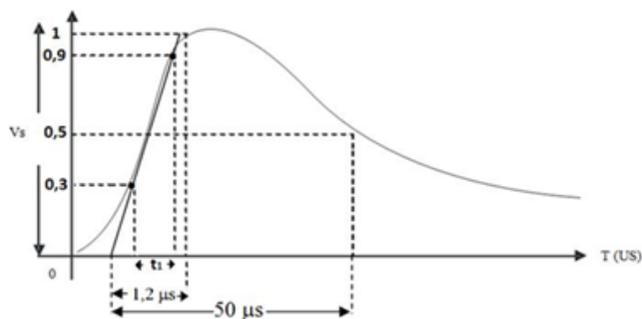
### Cara Kerja Generator Impuls (RLC)

Tegangan Impuls dibangkitkan dengan melakukan pelucutan muatan dari 4 kapasitor tegangan tinggi dalam rangkaian RC seperti yang terlihat pada gambar 2. Kapasitor diisi lalu ditrigger hingga kapasitor jadi discharge dan tegangan impuls tercipta. Trigger adalah proses yang dilakukan untuk menghasilkan tegangan pelucutan atau untuk menghasilkan impuls tegangan tinggi pada sela bola.



Gambar 2 Skema Kapsitor Rangkaian RLC

Berikut adalah cara untuk mencari  $T_f$  (muka gelombang) dan  $T_t$  (ekor gelombang) gelombang impuls pada gambar 3.



Gambar 3 Mencari  $T_f$  dan  $T_t$  gelombang impuls

Langkah pertama, nilai  $t_1$  harus ditentukan terlebih dahulu. Nilai  $t_1$  dibentuk dari waktu selisih antara waktu saat gelombang mencapai nilai 90% dan 30% tinggi gelombang impuls. Setelah mengetahui nilai  $t_1$ , nilai  $T_f$  dapat dicari dengan persamaan 1 Sebagai berikut.

$$T_f = 1,67 \times t_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Waktu ekor gelombang (tail time/ $t_t$ ) adalah nilai waktu saat gelombang impuls mencapai nilai 50% nya. *Front time* (muka gelombang) juga dapat dicari dengan menarik garis lurus antara titik 30% tinggi gelombang impuls dengan waktunya dan titik 90% tinggi gelombang impuls dengan waktunya. Garis lurus ini akan memotong gelombang impuls. Akhir dari garis lurus ini ditarik

kebawah menuju sumbu x, sehingga didapatkan nilai waktunya. Selisih antara waktu ini dengan waktu saat garis lurus dimulai adalah waktu muka (*face time*) nya. Dan nilai ini adalah 1.2  $\mu$ s.

**Karakteristik Arrester yang Baik**

*Overshoot* tegangan ZnO dibandingkan dengan SiC jauh lebih rendah. Artinya ZnO memiliki karakteristik yang lebih baik dalam menahan gelombang impuls. Arrester ZnO juga memiliki kemampuan meredam gelombang surja yang terbilang cepat. Namun jika dibandingkan dengan SiC, jauh lebih lambat.

Perbedaan pemotongan tegangan impuls terletak pada perbedaan kapasitans tegangan tiap arrester dan bahan penyusunnya. Tegangan lebih akan dipotong arrester sebelum masuk sistem. Semakin besar kapasitans pemotongan arrester, semakin baik pula fungsi proteksi yang dilakukannya.

Secara keseluruhan, arrester yang baik adalah arrester yang memiliki titik *breakdown* paling cepat. Arrester sendiri memiliki sifat *Resistor Fault*. Yaitu akan bocor atau mengalirkan arus listrik (resistans bisa mendekati 0) saat ada tegangan impuls dan akan cepat pulih kembali saat tehanan lebih itu hilang. Atau sering juga disebut sebagai tahanan keran.

**Pengertian Kapasitor**

Kapasitor adalah dua buah lempeng logam yang dipisahkan oleh zat elektrolit. Besar beda potensial (tegangan listrik) antara satu lempeng dengan lempeng lainnya tergantung pada besar medan listrik yang dihasilkan (E) dan jarak antar lempeng (r).

$$V = E.r \quad \dots\dots\dots (2)$$

Hubungan antara muatan, tegangan dan kapasitans (dalam Farad) dijelaskan dalam rumus sebagai berikut.

$$C = \frac{q}{V} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Apabila kapasitor diparalel akan didapatkan kondisi sebagai berikut,

$$V_T = V_1 + V_2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$C_T = C_1 + C_2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$q_T = q_1 + q_2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

Seperti yang terlihat dari rumus di atas, tegangan yang harus ditanggung oleh tiap kapasitor sama besarnya dengan tegangan yang dimiliki sumber. Jika beberapa kapasitor dirangkai secara paralel, maka nilai kapasitans total yang akan didapatkan menjadi besar. Dan muatan yang mengalir adalah total injeksi tiap kapasitor.

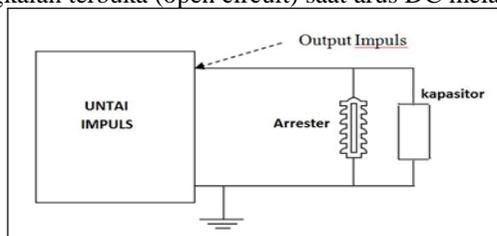
Untuk besar daya yang disimpan dalam kapasitor sendiri bisa didapatkan melalui rumus sebagai berikut,

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} \cdot qV = \frac{1}{2} \cdot CV^2 \quad \dots\dots (7)$$

**Hubungan Paralel antara Arrester dan Kapasitor**

Ada beberapa aspek yang wajib diketahui dalam pemasangan arrester paralel dengan kapasitor seperti yang ditunjukkan pada gambar 9. Aspek-aspek tersebut adalah sebagai berikut.

1. Sifat kapasitor yang memperbaiki tegangan akan dipadukan dengan arrester yang memiliki sifat memotong tegangan.
2. Kapasitor sendiri memiliki respon terhadap waktu (*charging time*), sehingga akan ada waktu pengisian dan ini harus dihindari, karena konsep pemotongan tegangan pada arrester sendiri harus cepat dan tidak ada tundaan waktu. Kapasitor hanya bisa dilalui oleh arus AC dan akan menjadi rangkaian terbuka (open circuit) saat arus DC melaluinya.



Gambar 4 Skema Rangkaian Pengujian Hubungan Paralel antara Arrester dan Kapasitor

**Metode Penelitian**

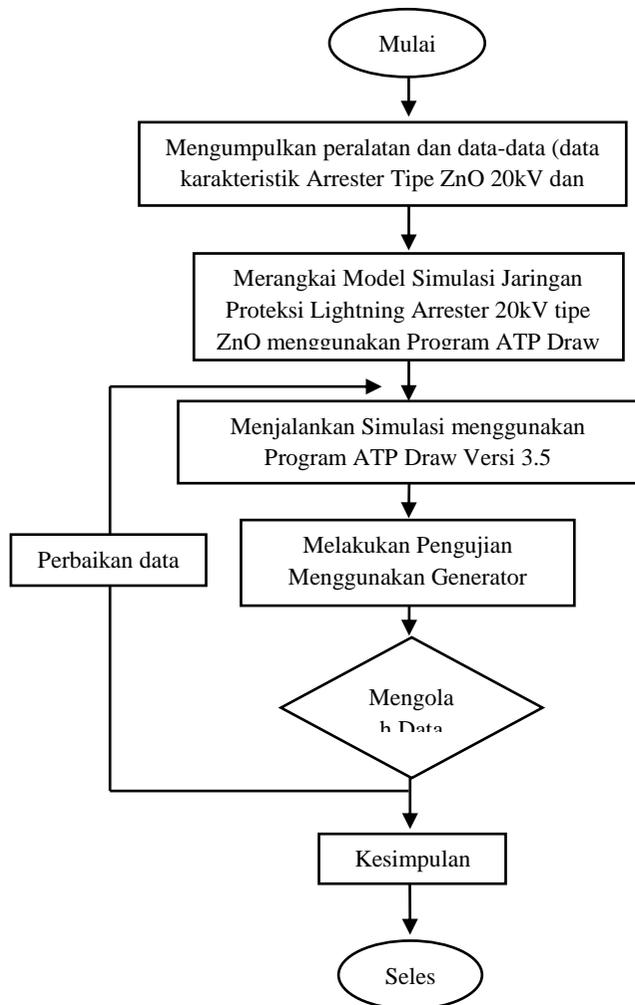
Dalam penelitian ini akan di kaji sistem proteksi pada jaringan Distribusi 20kV menggunakan Lightning Arrester Tipe ZnO dan pengaruh pada sistem proteksi yang disebabkan oleh pemasangan kapasitor dengan nominal yang telah ditentukan dengan cara diparalel pada Lightning Arrester. Dari pengujian tersebut didapatkan suatu pembandingan untuk mengetahui kekurangan dan kelebihan pada sistem proteksi baik yang menggunakan Lighning Arrester serta sistem proteksi yang menggunakan Lightning Arrester dan diparalel dengan kapasitor. Dan juga dilakukan adanya simulasi proteksi jaringan menggunakan program ATP Draw Versi 3.5 untuk selanjutnya dapat di analisis. Kemudian hasil analisa ini akan dibandingkan dalam bentuk representasi grafik atau tabel serta melalui analisa yang didapat sehingga dapat diketahui unjuk kerja Lightning Arrester Tipe ZnO sebelum dan setelah diparalel dengan kapasitor terhadap sistem proteksi pada jaringan 20kV.

**Deskripsi Data Penelitian**

Data Penelitian diperoleh dari Uji Laboratorium yang dilaksanakan menggunakan generator impuls yang ada di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi lantai 2 Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi UGM dari simulasi megunakan Program ATP Draw Versi 3.5.

Untuk pengujian ini digunakan arrester ZnO gapless seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1. dibawah ini, dengan spesifikasi :

- Rating Voltage ( $U_r$ ) = 25kV
- Rating MCOV ( $U_c$ ) = 20kV
- Discharge Current = 10kA



Gambar 5 Diagram Alur Proses Penelitian

### Hasil Penelitian dan Pembahasan

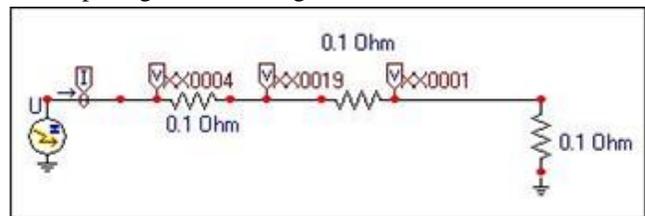
#### Hasil Simulasi Melalui Program ATP Draw

Tabel 1 Karakteristik V-I Arrester ZnO 20kV

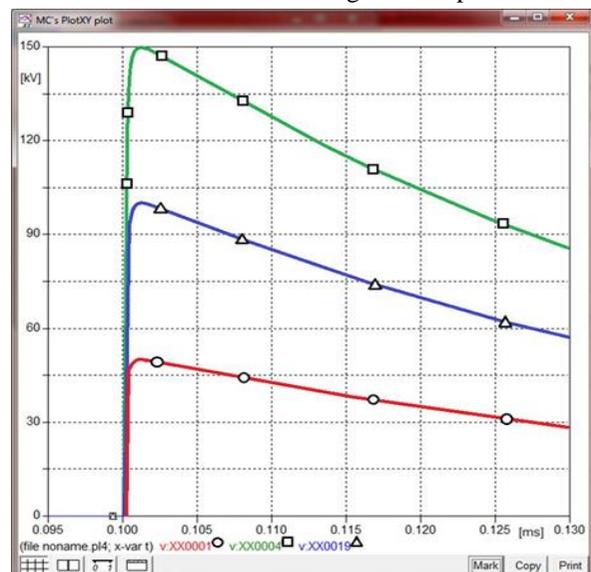
Arus (A)	Tegangan Puncak (V)
0.9	12000.0
9	12678.6
112.5	14071.0
225	14500.0
450	15000.0
900	15857.1
1350	16428.6
2700	17285.7
45000	18142.9

9000	19428.6
18000	21357.1
36000	24000.0
90000	30000.0

Pada simulasi ini, beban 0.1 Ohm tidak dipasang arrester, sehingga jika terjadi petir, besar kemungkinan akan terjadi kerusakan. Konfigurasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6 Simulasi ATP Rangkaian tanpa Arrester



Gambar 7 Hasil Plot Simulasi Rangkaian tanpa Arrester

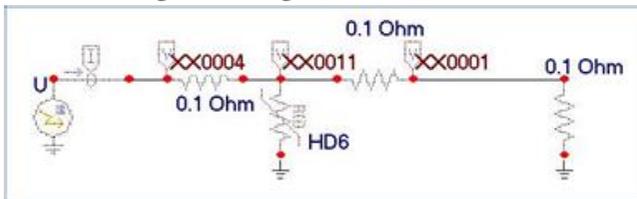
Dari grafik diatas, puncak garis berwarna Hijau (v:XX0004) bernilai 150kV yang merupakan nilai puncak tegangan impuls yang terukur dari Sumber Heider. Tegangan yang sangat tinggi ini akan mengalir ke beban sebelum terjadi drop tegangan disalurkan.

Puncak garis berwarna Biru (v:XXX0019) bernilai 100kV. Garis ini adalah tegangan sisa hasil dari residu beban 0.1 Ohm setelah sumber gelombang impuls. Hasil simulasi ini, bisa didapatkan dengan rumus pembagian

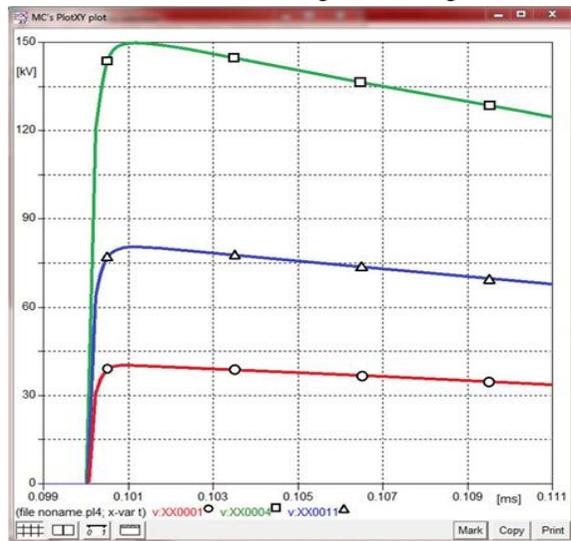
tegangan. Total beban adalah 0.3 Ohm, sehingga tegangan yang di drop oleh setiap beban 0.1 Ohm merupakan sepertiga tegangan sumber. Karena titik pengukuran berada di point XX0019 dimana tegangan yang diukur adalah 2 buah resistor, sehingga tegangan yang di drop oleh kedua resistor ini otomatis dua kali drop tegangan tiap resistor. Oleh sebab itu nilai 100kV didapatkan dari hasil simulasi.

Puncak garis berwarna Merah (v:XX0001) adalah tegangan yang sampai di beban. Nilainya adalah 50kV.

### Simulasi Rangkaian dengan Arrester



Gambar 8 Simulasi ATP Rangkaian dengan Arrester



Gambar 9 Hasil Plot Simulasi Rangkaian dengan Arrester

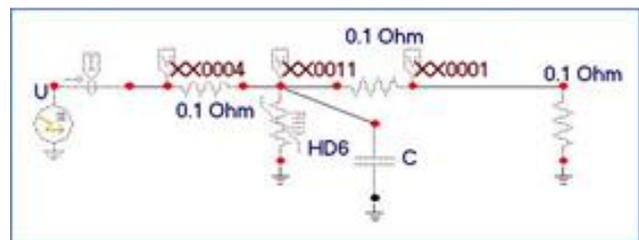
Gambar 9 adalah hasil plotting dari rangkaian gambar 8 yang disimulasikan menggunakan program ATP Draw. Puncak garis berwarna Hijau (v:XX0004) bernilai 150kV. Ini adalah nilai puncak tegangan gelombang impuls yang diukur sebelum mengalami drop tegangan akibat transmisi maupun beban.

Puncak garis berwarna Biru (v:XX0011) bernilai 80.4kV. Nilai ini merupakan hasil pemotongan akibat pemasangan Arrester. Terlihat bahwa tegangan yang awalnya 100kV sebelum pemasangan arrester menurun menjadi 80.4 kV akibat pemasangan Arrester.

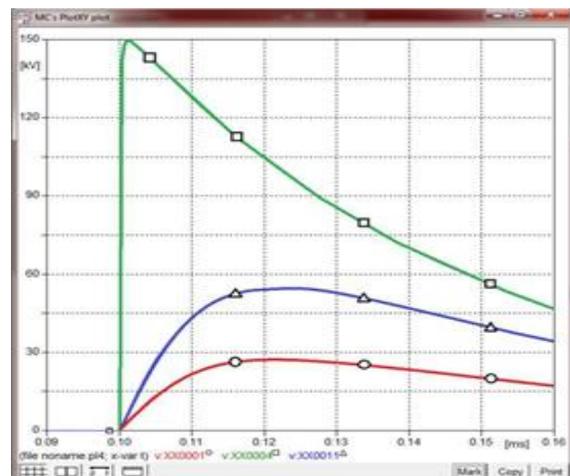
Puncak Garis berwarna Merah (v:XX0001) bernilai 40.2kV. Nilai ini merupakan tegangan yang terukur pada beban.

### Simulasi Rangkaian dengan Pemasangan Kapasitor yang diletakkan Paralel dengan Arrester

Arrester 20 kV ini dipasang paralel dengan kapasitor 220μF seperti yang ditunjukkan oleh rangkaian simulasi pada gambar 4.6 berikut.



Gambar 10. Simulasi ATP Rangkaian dengan Arrester yang Telah diparalel Kapasitor



Gambar 11 Hasil Plot Simulasi Rangkaian Arrester Paralel Kapasitor

Sekarang hasil simulasi rangkaian Arrester yang diparalel menggunakan Kapasitor telah didapat pada

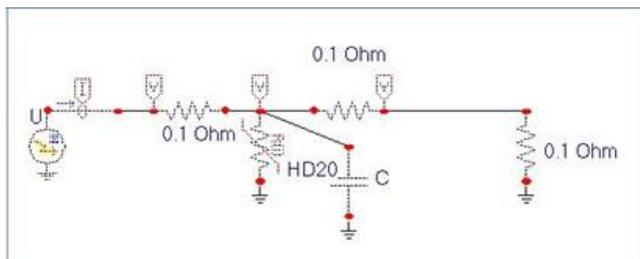
gambar 11. Hasil Plot yang ditunjukkan pada gambar 11 menunjukkan trend yang jauh berbeda dengan plot-plot sebelumnya. Puncak Garis Hijau (v:XX0004) yang bernilai 150kV merupakan puncak gelombang impuls petir yang terukur. Puncak garis berwarna Biru (v:XX0011) yang bernilai 54.5 kV adalah nilai pengukuran tegangan setelah pemasangan arrester dan kapasitor.

Terlihat jelas bahwa puncak tegangan dengan tanpa kapasitor (hanya mengandalkan arrester) bernilai 80.4 kV. Setelah kapasitor dipasang paralel dengan arrester, nilai puncak tegangan yang didapatkan menjadi turun. Artinya lebih banyak tegangan yang dipotong dari sebelumnya. Puncak Garis berwarna Merah (v:XX0001) adalah nilai tegangan di beban. Yaitu bernilai 27kV. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat dirangkum dalam tabel 4.1 sebagai berikut ini.

Tabel 2 Rangkuman Tegangan Residu Hasil Simulasi ATP Draw

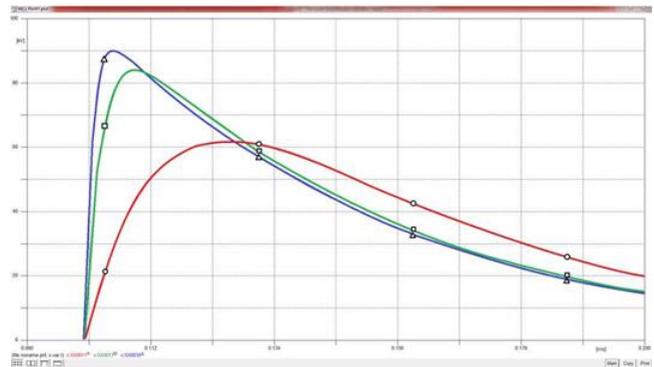
Skenario	Tegangan Impuls (kV)	Tegangan dititik sbml beban (kV)	Tegangan Beban (kV)
Tanpa LA	150	100	50
Dengan LA	150	80.4	40.2
Dengan LA + Kapasitor	150	54.5	27

**Simulasi Pemasangan Variasi Kapasitor Paralel terhadap Arrester**



Gambar 12 Rangkaian Simulasi Pemasangan Variasi Kapasitor Paralel + Arrester

Gambar 12. dibawah ini adalah hasil simulasi pemasangan paralel arrester dengan kapasitans kapasitor 220µF, 24µF, dan 22µF.



Gambar 13 Hasil Plot ATP Draw untuk Pemasangan Variasi Kapasitor Paralel terhadap Arrester

Kurva v: XX0011 (yang berwarna Merah) adalah hasil plot pemasangan kapasitor 220µF terhadap arrester 20kV.

Kurva v: XX0017 (yang berwarna Hijau) adalah hasil plot pemasangan kapasitor 47µF terhadap arrester 20kV.

Kurva v:XX0035 (yang berwarna Biru) adalah hasil plot pemasangan kapasitor 22µF terhadap arrester 20kV.

Hasil tegangan puncak yang didapatkan dari simulasi ini dirangkum dalam tabel 4.2 Sebagai berikut,

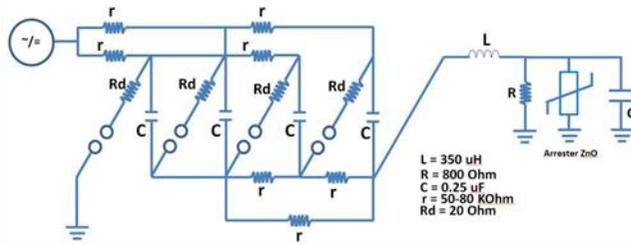
Tabel 3 Nilai Puncak dari Tegangan Potong Hasil Simulasi ATP Draw pada Pemasangan Variasi Kapasitans Kapasitor Paralel Arrester

Kapasitans (µF)	Tegangan Hasil Pemotongan (KV)
220	62
47	84
22	90

Dapat dibuktikan bahwa semakin besar nilai kapasitans yang diberikan, maka semakin besar pula tegangan yang dipotong oleh rangkaian. Artinya, tegangan hasil pemotongan yang didapatkan semakin kecil.

**Pengujian Paralel Arrester dengan Kapasitor**

Rangkaian pengujiannya adalah sebagai berikut:



Gambar 14 Rangkaian Pengujian Arrester Paralel dengan Kapasitor

Tabel 4 Jenis, Rating, dan Kapasitor yang digunakan dalam pengujian

Jenis Kapasitor	Rating Tegangan (V)	Kapasitas ( $\mu\text{F}$ )
Polar	450	470
	450	220
	450	47
	450	33
	450	22
	450	3.3
	450	2.2
	450	1
Milar	2000	$2 \times 10^{-7}$
	2000	$22 \times 10^{-6}$
	2000	$27 \times 10^{-4}$
	2000	$10^{-2}$
	2000	$12 \times 10^{-3}$
	2000	$15 \times 10^{-3}$
	2000	$18 \times 10^{-3}$
	2000	$27 \times 10^{-3}$
	2000	$27 \times 10^{-3}$

Setelah rangkaian generator gelombang impuls menghasilkan gelombang impuls, maka selanjutnya gelombang impuls ini digunakan sebagai input pada Arrester ZnO.

Dimulai dengan mengetahui nilai tegangan impuls standar dengan muka gelombang sebesar  $1.25\mu\text{s}$  dan ekor gelombang sebesar  $40.1\mu\text{s}$ . Dengan nilai puncak tegangan impuls sebesar  $71.66\text{kV}$ .

Dari hasil yang diperoleh Osiloskop pada gambar gelombang impuls dengan pengamanan Arrester, dapat dilihat bahwa terjadi pemotongan amplitudo gelombang impuls. Titik puncak gelombang impuls yang awalnya  $71.6\text{kV}$ , kini dipotong oleh arrester sehingga nilainya menjadi  $48\text{kV}$ .

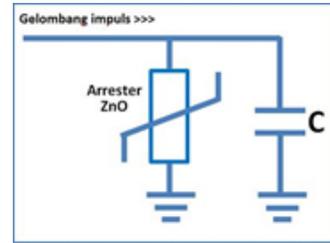
Terlihat bahwa dengan adanya arrester, amplitudo gelombang dapat dipotong sebesar  $32.55\%$ . Pengujian berikutnya adalah dengan menempatkan kapasitor parralel dengan arrester.

Data pengujian peasangan berbagai jenis kapasitor ini dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5 Tegangan Residu Setelah Pemasangan Kapasitor

Jenis	Rating (V)	Kapasitas ( $\mu\text{F}$ )	Tegangan Residu Setelah Pemasangan Kapasitor (kV)
Polar	450	470	2.57
	450	220	2.76
	450	47	3.12
	450	33	3.26
	450	22	3.6
	450	3.3	3.82
	450	2.2	4.3
	450	1	5
	Milar	2000	$2 \times 10^{-7}$
2000		$22 \times 10^{-6}$	1.8
2000		$27 \times 10^{-4}$	3.26
2000		$10^{-2}$	2.71

	2000	$12 \times 10^{-3}$	2.71
	2000	$15 \times 10^{-3}$	3.46
	2000	$18 \times 10^{-3}$	2.95
	2000	$27 \times 10^{-3}$	3.37



Gambar 17 Rangkaian Paralel Arrester ZnO dengan Kapasitor

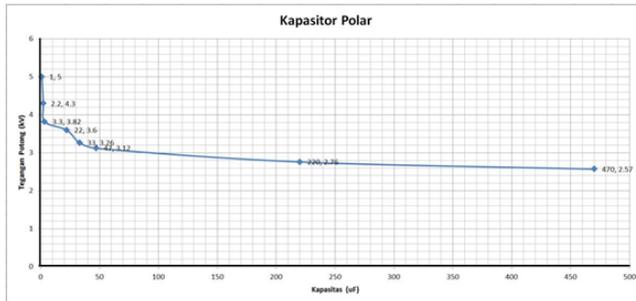
Nilai kapasitans yang semakin besar akan membuat pemotongan Amplitudo lebih banyak. Hasil ini dapat dibuktikan oleh gambar 4.13 sampai gambar 4.20 untuk pengujian variasi kapasitor polar. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan rumus impedans sebagai berikut.

$$Z_C = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots (9)$$

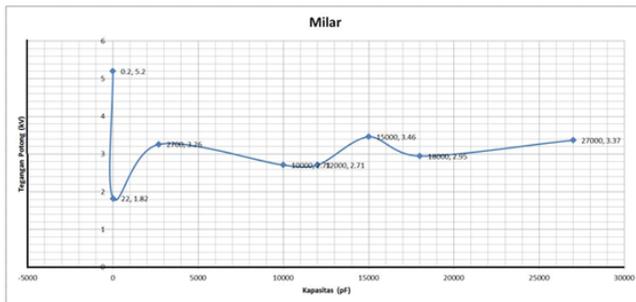
Dari rumus tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai kapasitans (C) yang diberikan, maka semakin kecil pula nilai Zc yang didapatkan.

$$Z_C = \frac{1}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_C}} = \frac{Z_A \times Z_C}{Z_A + Z_C} \dots\dots\dots (10)$$

Dengan mengecilnya nilai Zc, maka nilai Impedanz total (ZTotal) antara arrester (ZA) dan Kapasitor (ZC) mengecil. Terlihat pada rumus ZTOTAL di atas, sifat konduktifnya meningkat saat gelombang petir mengenainya. Dari pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat perbandingannya sebagai berikut.



Gambar 15 Grafik Plot Hasil Pengujian Arrester Paralel Kapasitor Polar



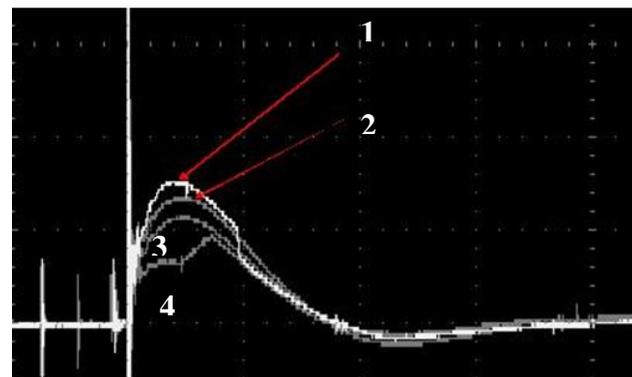
Gambar 16 Grafik Plot Hasil Pengujian Arrester Paralel Kapasitor Milar

**Analisis Variasi Kapsitans Kapasitor Polar**

Dalam analisis rangkaian paralel, nilai impedans yang akan dihasilkan akan bernilai lebih kecil dari nilai impedans terkecil yang membentuk rangkaian paralel itu sendiri. Sesuai dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_{total} = \frac{1}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_C}} = \frac{Z_A \times Z_C}{Z_A + Z_C} \dots\dots\dots (8)$$

Semakin besar nilai kapasitans yang diparalel dengan arrester, semakin besar pula pemotongan yang akan didapatkan. Artinya tegangan yang terbaca di Osiloskop mengecil.



Gambar 18 Hubungan antara Kenaikan Kapasitas Kapasitor polar dengan tegangan potong yang dihasilkan rangkaian

Keterangan Gambar :

1. Kapasitor polar 450V 2.2 $\mu$ F
2. Kapasitor polar 450V 3.3 $\mu$ F
3. Kapasitor polar 450V 33 $\mu$ F
4. Kapasitor polar 450V 470 $\mu$ F

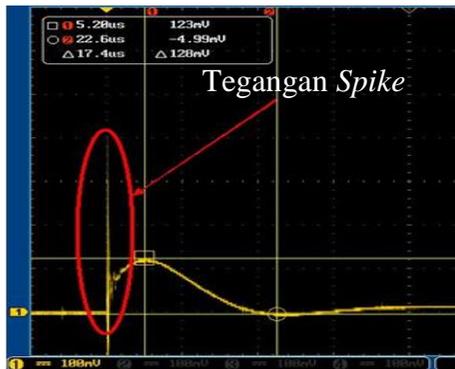
### Analisis Variasi Rating Tegangan Kapasitor

Rating tegangan pada kapasitor tidak terlalu berpengaruh pada pemasangan ini. Rating tegangan yang tertera pada kapasitor yang diuji adalah rating tegangan untuk gelombang DC bukan gelombang impuls, sehingga tingkat ketahanan yang ada juga berbeda.

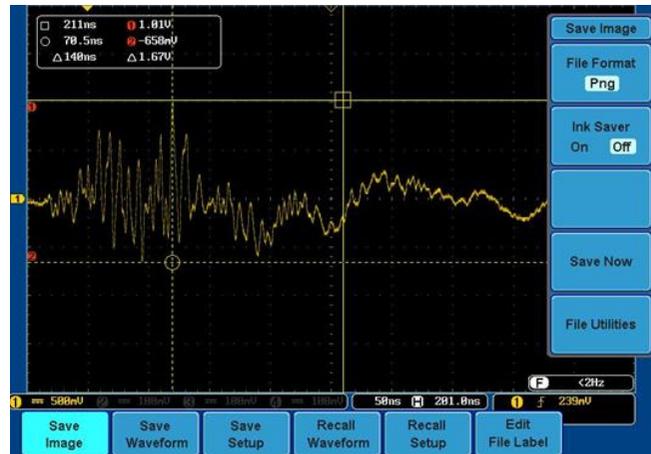
### Analisis Variasi Jenis Kapasitor

Pemasangan kapasitor menimbulkan riak tegangan pada gelombang residu seperti terlihat pada gambar 19, sehingga butuh percobaan lebih lanjut dalam mengkompensasi riak yang ada. Riak yang muncul ini disebabkan adanya proses *charging* dan *discharging* pada kapasitor itu sendiri.

Adanya kapasitor yang dirangkai paralel dengan arrester ini menimbulkan tegangan *spike* yang sangat tinggi dan terjadi dalam waktu singkat. Fenomena yang didapatkan dapat terlihat pada gambar 19, fenomena tersebut terjadi karena sebelum kapasitor mengalirkan arus, kapasitor bersifat *short circuit* hingga tegangan yang terukut tinggi akibat arus yang sangat besar melaluinya.



Gambar 19 Tegangan Spike yang Muncul dalam Waktu Singkat



Gambar 20 Riak Hasil Tegangan Potong dari Paralelisasi Arrester dan Kapasitor

Kapasitor *polar* memiliki bahan dielektrik berupa elektrolit, sedangkan bahan dielektrik dari kapasitor milar adalah kertas. Perbedaan baha penyusun ini akan sangat berpengaruh pada nilai kapasitans yang tiap kapasitor miliki.

Kapasitor *polar* dalam pengujian ini memiliki nilai kapasitans dalam orde mikrofarad. Sedangkan kapasitorm ilar memiliki kapsitans dalam orde pikoFarad. Gelombang petir yang merupakan gelombang impuls memiliki ekor gelombang 50 $\mu$ s.

Nilai R yang seri dengan kapasitor pengujian adalah keempat buah nilai Rd sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar Pembangkit Generator Impuls yang memiliki total nilai resistans 80  $\Omega$ . Tabel 4.3 menunjukkan bahwa kapasitans terkecil yang dimiliki oleh kapasitor *polar* adalah 1 $\mu$ F. Artinya, periode terkecil sekalipun dari kapasitor *polar* yang diteliti nilainya masih lebih besar daripada nilai periode tegangan impuls yang mengenainya, sehingga tegangan potong yang didapatkan juga bersifat stabil.

Kapasitans kapasitor milar yang ukurannya paling besar sesuai dengan tabel 4.3 adalah 27F(0.027 $\mu$ F). Artinya, kapasitor terisi secara penuh dan telah melewati

masa pengisiannya ia akan *discharge* pada arrester walaupun kontribusi arus yang diberikan kapasitor kecil, sehingga nilai tegangan potong yang didapatkan tidak stabil.

### **Kesimpulan**

Dari hasil Simulasi Program ATP Draw dan percobaan laboratorium yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa,

1. Hasil pemasangan arrester yang diparalel dengan kapasitor dapat memotong Amplitudo gelombang impuls sebesar 92-97 persen dari tegangan impuls yang diberikan.
2. Rating yang tertera pada kapasitor yang diuji adalah rating tegangan untuk gelombang DC bukan gelombang impuls.
3. Apabila nilai kapasitans (C) kapasitor yang diparalel dengan arrester semakin besar, maka semakin besar pula tegangan potong yang akan didapatkan.
4. Perbedaan jenis kapasitor yang digunakan akan berpengaruh pada waktu pengisian (*charging time*).
5. Pemasangan kapasitor berdampak menimbulkan riak tegangan pada gelombang output, sehingga akan mengganggu peralatan yang berfrekuensi tinggi.
6. Penggunaan kapasitor juga kurang handal apabila dipakai dalam waktu yang lama, dikarena nilai impedansnya semakin lama semakin naik saat diberikan tegangan impuls terus menerus.
7. Kapasitor juga menimbulkan *spike* tegangan sebelum melakukan pemotongan sehingga sangat berbahaya mengingat tegangan spike yang ditimbulkan sangat besar nilainya.

### **Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran yang dapat disampaikan adalah,

Pemasangan kapasitor paralel terhadap arrester memiliki efek tambahan berupa riak tegangan dan ini memiliki efek negatif bagi peralatan yang berfrekuensi tinggi. Oleh sebab itu diharapkan butuh studi lebih lanjut untuk mengkompensasi riak yang ditimbulkannya.

### **Daftar Pustaka**

- Abduh, S. 2001, "Teknik Tegangan Tinggi", Salemba Teknik, Jakarta.
- Acika, M. Yoza. 2009. Penempatan Lightning Arrester dan Watak Perlindungan yang diberikan pada Peralatan. *Skripsi*. Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Arismunandar, A. 1984. Teknik Tegangan Tinggi. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Brown, Ryan. (ed). 2004. *Reliability Enhancement of The Avista Electric PowerSystem*. Gonzaga University, Spokane.
- Cooray, Vernon. 2010. Lightning Protection. London : The Institution of Engineering and Technology.
- Hutahuruk, T.S., 1989 "Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja", Erlangga Jakarta.
- IEEE Working Group 3.4.11. Modeling of metal oxide surge arresters. IEEE Transaction on Power Delivery. 1992, Vol 7, iss. 1, pp. 302 - 309. ISSN 0885-8977. DOI:10.1109 / 61.108922.
- Mukti, Harrij K. 2012. Analisis Penentuan Penempatan Arrester Sebagai Pengaman Transformator Distribusi 20 Kv. Jurnal ELTEK. Vol 10, No 02, April 2012.
- PRIKLER, L. And H. K. Hoidalen. ATP Draw Version 5.6 for Windows 9x/NT/2000/Vista/User Manual. 2002. Available on that website, <http://www.elkraft.ntnu.no/atpdraw/ATPDMan56.pdf>

Yunida, Devia E., dan Haryono, T. 2014. Tegangan Residu Keping Arester Sebagai Fungsi Dari Cacah Keping Arester. Jurnal Teknosains. Vol 3, No.2 (2014).

Zoro. R, Saodah. S, "Peningkatan Ketahanan SUTM 20kV Terhadap Sambaran Petir di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat – APJ Bogor", LPPM ITB, Bandung, 2005.