

ANALISIS KETAHANAN UJI *RESIDUAL VOLTAGE SURGE ARRESTER* 24KV-10KA MENGGUNAKAN *LIGHTNING IMPULSE*

Putri Andini Maulana^{1*}, Ilham Akbar Darmawan²

Department of Electrical Engineering Vocational Education, Faculty of Teacher Training and Education, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Riwayat artikel:

Received: 24 Oktober 2022

Accepted: 29 Desember 2023

Published: 1 Januari 2024

Keywords:

Protection;

Residual voltage;

Surge Arrester;

Correspondent Email:

putriandini178@gmail.com

Abstrak. Alat sistem proteksi peralatan listrik dari sambaran petir pada saluran distribusi sebagian besar menggunakan *surge arrester* 24kv-10kA berbahan *metal oxide varistor* (MOV). Oleh sebab itu *surge arrester* harus memiliki ketahanan terhadap tegangan lebih. Uji *residual voltage* dilakukan setelah proses produksi untuk mengetahui tingkat ketahanan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi, studi pustaka, dan pengujian. Dalam penelitian ini terdapat dua hasil pengujian *residual voltage*, yaitu *surge arrester* yang memiliki ketahanan dan *surge arrester* yang meledak. Dimana pada *surge arrester* meledak hasilnya melebihi nilai standar pengujian. Grafik yang dihasilkan gelombang meledak digunakan memiliki bentuk yang tidak teratur setelah terbentuknya T2 (waktu puncak gelombang). Namun, meledaknya *surge arrester* dapat disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya yakni besarnya *partial discharge*.

Abstract. Most electrical equipment protection systems from lightning strikes in distribution channels use 24kv-10kA surge arresters made from metal oxide varistors (MOV). Therefore, surge arresters must have resistance to overvoltage. The residual voltage test is carried out after the production process to determine the level of resistance. The methods used in this research are observational, literature review and testing. In this research there are two residual voltage test results, namely a surge arrester that has resistance and a surge arrester that explodes. Where the surge arrester explodes the results exceed the standard test value. The resulting graph of the burst wave used has an irregular shape after the formation of T2 (wave peak time). However, the explosion of a surge arrester can be caused by several factors, one of which is the large partial discharge.

PENDAHULUAN

Pada jaringan distribusi pada umumnya terdapat trafo distribusi yang dipasang pada tiang listrik. Tingginya letak trafo ini menjadi salah satu faktor yang membuat petir mudah menyambar dan merusak jaringan distribusi. Jaringan tegangan rendah bercabang dari jaringan tegangan tinggi dari gardu induk ke berbagai arah untuk menyalurkan tenaga listrik bahkan ke daerah yang terpencil sekalipun [1].

Kilatan petir secara representasikan bahaya pada jaringan distribusi listrik di mana hal itu menyebabkan kerusakan. Selain itu, petir dapat

menyebabkan padamnya sistem tenaga listrik [2]. Sambaran petir dapat menyebabkan kerusakan fisik pada bangunan maupun kerusakan internal terhadap isi dan atau penghuni bangunan tersebut[3].

Surge arrester dirancang untuk melindungi perangkat sistem distribusi daya dari tegangan berlebih transien, yang disebabkan oleh proses penyalaan dan sambaran petir [4], [5]. *Arrester* adalah bagian penting dari proteksi sistem tenaga dan oleh karena itu harus dapat diandalkan dalam kondisi normal dan kondisi saat terjadi lonjakan[6]. Secara umum proteksi

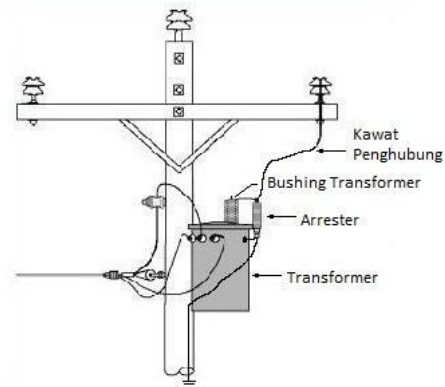
didefinisikan sebagai pengamanan atau perlindungan suatu sistem tertentu untuk mencegah kerusakan atau hal-hal yang tidak diharapkan dan berpotensi merugikan sistem tersebut [7]

Arrester mempunyai fungsi sebagai proteksi peralatan dari tegangan lebih. Ketika terjadi tegangan lebih *arrester* akan berfungsi melewati aliran listrik tinggi ke tanah sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan, namun saat kondisi normal *arrester* berlaku sebagai isolasi [8]. Ciri utama MOSA (*Metal Oxide Surge Arresters*) adalah tingginya ketidaklinieran antara tegangan dan arus (kurva V-I). Karakteristik ini memungkinkan arus dalam kisaran miliampere mengalir melalui MOSA, ketika kondisi normal. Namun, puluhan kiloampere bisa mengalir melalui MOSA ketika ada sambaran petir [9]. *Arrester* terdiri dari dua jenis : jenis ekspulsi atau tabung pelindung dan jenis katup [10].

Sebagai sistem proteksi ketahanan *surge arrester* harus dibuktikan terlebih dahulu, jika tidak dapat menyebabkan bahaya ketika alat tidak berfungsi dengan baik. Oleh sebab itu pengujian *residual voltage* dilakukan untuk mengetahui ketahanan dan kualitas dari *surge arrester*. Hasil dari pengujian ini juga dapat digunakan sebagai tolak ukur pemilihan *surge arrester*. Dalam penelitian ini *surge arrester* akan diuji dengan *lightning impulse* untuk mengetahui perbandingan ketahanan masing-masing.

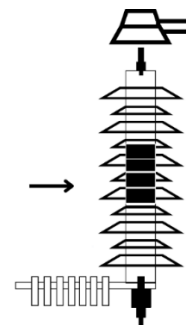
TINJAUAN PUSTAKA

Pada pemasangan *arrester*, ketika tegangan lebih mengalir pada konduktor dan berjalan sepanjang saluran maka dibuang oleh *arrester* ketika mencapai tegangan kerjanya dan ditanahkan. *Arrester* akan membuang energi dari petir ke tanah tanpa mengijinkan terjadinya arus ikutan pada frekuensi sistem [11]. *Arrester* ditempatkan sedekat mungkin dengan terminasi kabel, dimana kawat penghubung *arrester* dihubungkan dengan pembumian kabel dan dibumikan langsung dari terminal pembumian *arrester* [12].



Gambar 1. Penempatan *Surge Arrester*
Sumber: SPLN D5.006

2.1 Material Utama *Surge Arrester*



Gambar 2. *Metal Oxide Varistor*

Varistor metal oxide (varistor ZnO) adalah komponen utama MOSA (*Metal Oxide Surge Arresters*), yang merupakan semikonduktor yang memiliki karakteristik non-linear. Artinya hubungan tegangan dan arus tidak linier, dan resistansi elemen bervariasi sehubungan dengan tegangan yang diterapkan [13].

Varistor (*variable resistor*) adalah resistor tergantung tegangan dengan kurva karakteristik V/I yang memiliki karakteristik tahanan yang dapat berubah-ubah tergantung dan arus atau tegangannya [14].

2.2 Tegangan Residual *Surge Arrester*

Tegangan Residual Maksimum (*Maximum Residual Voltage*) adalah nilai puncak tegangan antara terminal dari *arrester* selama terjadi arus pelepasan [12].

Untuk dapat mengetahui *surge arrester* akan berfungsi dengan baik atau tidak maka dilakukan pengujian *residual voltage* dengan *Lightning Impulse Residual Voltage Test*. Dalam ketentuan standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60099-4 (2009)

menyatakan bahwa saat Impuls ini diberikan maka dalam *surge arrester* terbentuk gelombang yang memiliki waktu awal antara $7\mu\text{s}$ hingga $9\mu\text{s}$ dan waktu V_{pp} adalah antara $18\mu\text{s}$ hingga $22\mu\text{s}$ [15].

Standar ketahanan uji *residual voltage* berdasarkan IEC 60099-4 tahun 2009 dan SPLN D5.006 tahun 2013 adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Standar Hasil Pengujian *Residual Voltage Surge Arrester*

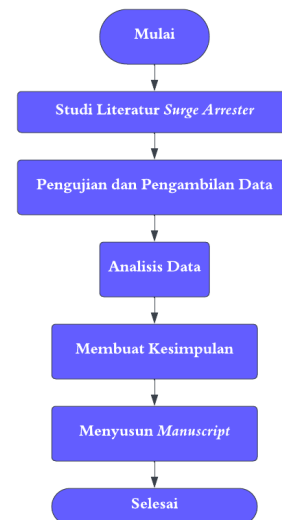
Arus (kA)	T1 (μs)	T2 (μs)
$10\pm 5\%$	7-9	18-22

Tegangan Residual Maksimum standarnya telah ditetapkan dalam SPLN D5.006: 2013 bahwa tegangan residual dengan arus impuls petir (gelombang 8/20 μs) harus $<67\text{ kV}$. Namun standar hasil pengujian bukan merupakan faktor terbesar meledaknya *surge arrester* saat pengujian, melainkan ada beberapa faktor lain yang akan dibahas dalam analisis ini.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi, studi Pustaka dan pengujian. Teknik pengumpulan data dengan observasi tidak terbatas pada orang, tetapi juga obyek-obyek lain[16]. Teknik ini digunakan karena dalam penelitian ini akan mengamati ketahanan suatu produk.

Studi pustaka merupakan proses pengumpulan data dengan mencari referensi dari buku, jurnal, artikel, dan lain-lain yang relevan dengan apa yang diamati.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Impulse current Test System* 100kV, 50 kJ ICS 100-50. Dimana mesin ini memiliki 3 bagian yaitu:

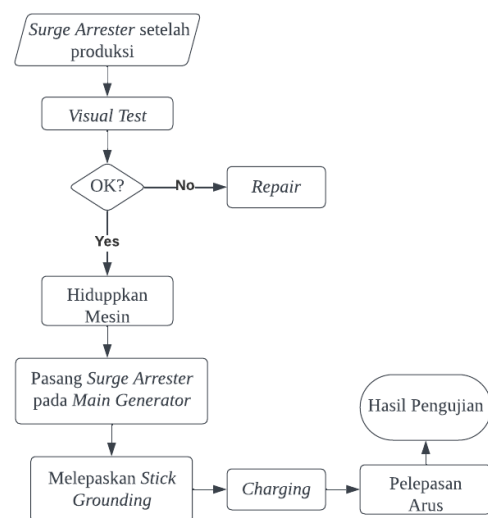


Gambar 4. *Impulse current Test System* 100kV, 50 kJ

- *Control Desk*, merupakan komputer yang dapat menghidupkan dan mematikan mesin, ataupun mengatur tegangan yang akan diberikan saat pengujian. Mesin *impulse* ini diaktifkan dengan menggunakan *impulse control system*. Pada *impulse control system* ini juga digunakan untuk mengatur besar tegangan pelepasan dengan maksimal tegangan 100 kV dan mengatur waktu *charging*. Selain itu komputer ini juga menangkap dan menunjukkan hasil dari pengujian yang berupa gelombang. Pada saat impuls terjadi gelombang di osiloskop terbentuk dengan kecepatan yang tidak dapat diamati oleh mata manusia. Satuan waktu gelombang tersebut mencapai μs .

- *Generator Main Body*, adalah bagian utama dari mesin pada pengujian *residual voltage*. Generator ini yang berfungsi melepaskan tegangan tinggi (*Lightning Impulse*) pada surge arrester. Pada *Generator main body* ini terdapat kapasitor yang dapat menyimpan tegangan sampai dengan 25kV, dan terdapat 10 kapasitor pada alat ini. Selain itu pada generator terdapat *ground* yang terhubung langsung dengan tanah untuk surge arrester mengalirkan tegangan.
- *Charging rectifier*, yaitu bagian yang berfungsi untuk mengalirkan tegangan menuju kapasitor sebelum dilepaskan.

Selain bagian diatas pengujian ini menggunakan *stick grounding* untuk menghilangkan sisa sisa tegangan setelah pengujian pada generator. *Residual voltage test* dilakukan dengan beberapa tahapan, tahapan-tahapan tersebut antara lain:



Gambar 5. Proses Pengujian

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk gelombang disertai beberapa parameter yang berpengaruh dalam analisis pengujian ini yaitu:

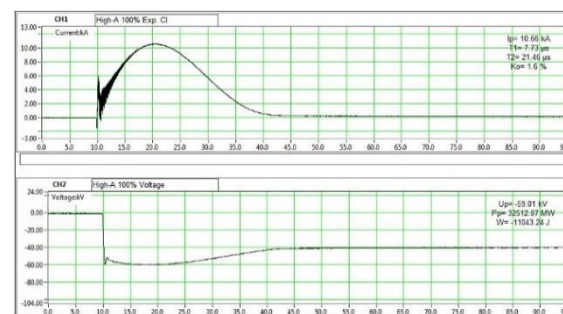
- I_p = Arus pengujian (kA)
- T_1 = Waktu gelombang terbentuk (μs)
- T_2 = Waktu puncak gelombang (μs)
- U_p = Tegangan residual (kV)

Selain parameter diatas yang terdapat pada hasil pengujian tidak mempengaruhi analisis terhadap *residual voltage test surge arrester*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Surge arrester atau penangkal petir merupakan alat proteksi sistem distribusi listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh petir. Cara kerja *surge arrester* adalah ketika menerima tegangan yang nilainya mencapai pada tegangan kerja maka varistor akan langsung bersifat sebagai konduktor yang mengalirkan tegangan lebih ke *ground*. Setelahnya varistor akan dengan cepat kembali menjadi isolator untuk menghindari daya yang terbuang dari sistem distribusi.

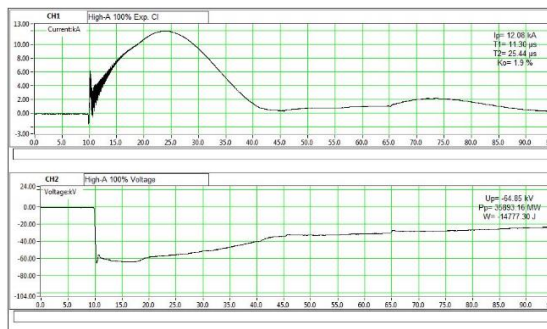
Dari pengujian *residual voltage* diperoleh hasil *surge arrester* yang memiliki ketahanan dan *surge arrester* yang meledak. *Surge arrester* yang memiliki ketahanan terhadap tegangan uji residual dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 6. Grafik Gelombang Tidak Meledak

Gelombang CH 1 menunjukkan gelombang arus dalam *surge arrester*. Sedangkan CH 2 menunjukkan gelombang tegangan yang ditangkap pada saat tegangan pelepasan. Positif dan negatif dari kedua gelombang dipengaruhi polaritas dari alat yang berguna untuk membedakan gelombang arus dan tegangan. Dari gambar dapat dilihat bahwa gelombang yang terbentuk tidak memiliki distorsi setelah terbentuknya puncak, dengan hasil ini maka gelombang yang dihasilkan dapat dikategorikan dengan gelombang normal dalam uji *residual voltage*.

Adapun hasil pengujian selanjutnya merupakan hasil pengujian dari *surge arrester* yang meledak saat pengujian *residual voltage* dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 7. Grafik Gelombang Meledak

Gambar di atas memperlihatkan adanya distorsi yang signifikan pada kedua gelombang baik itu gelombang arus dan gelombang tegangan setelah terbentuknya puncak. Hasil ini dikatakan dengan gelombang yang tidak normal pada uji *residual voltage*. Distorsi gelombang ini dapat disebabkan adanya kerusakan dalam varistor bawah yang membuat lonjakan tegangan terjadi kembali.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengujian

Surge Arrester	Arus (kA)	T1 (μ s)	T2 (μ s)	Tegangan Residual (kV)
Tidak Meledak	10.66	7.73	21.46	59.01
Meledak	12.08	11.30	25.44	64.85

Dari tabel di atas diketahui hasil dari pengujian *residual voltage surge arrester* yang tidak meledak dan meledak. *Surge arrester* tidak meledak memiliki hasil pengujian yang sesuai dengan standar hasil pengujian (Tabel 1). Arus yang didapatkan sesuai dengan arus rating yaitu 10kA dan tegangan bernilai <67kV. Sedangkan *surge arrester* meledak menunjukkan hasil yang tidak sesuai standar hasil pengujian. Meskipun nilai tegangan residual yang masih dibawah nilai maksimum, namun nilai lainnya melebihi standar pengujian. T1 *surge arrester* meledak yaitu 11.30 μ s yang berarti memiliki selisih sebesar 2,30 μ s dengan standar hasil pengujian, T2 memiliki selisih sebesar 3,44 μ s dan pada arusnya terdapat selisih 2.08A. Nilai arus yang didapat *surge arrester* meledak lebih besar 0.208% dari standar hasil pengujian. Meledaknya alat sistem proteksi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. Besarnya *partial discharge* yang terdapat dalam surge arrester. *Partial discharge* ini merupakan peristiwa

dimana terdapat percikan api dari listrik yang mengenai satu titik di isolator dan menciptakan suatu rongga.

2. Tegangan uji yang dilepaskan melebihi nilai yang ditentukan dalam system. Hal ini disebabkan oleh *error system* dari alat yang digunakan.
3. Varistor yang tidak bekerja mengantarkan tegangan residual menuju *ground*.

Untuk mencegah meledaknya *surge arrester* kembali dapat dilakukan beberapa cara berikut sebagai bentuk antisipasi:

1. Melakukan uji *partial discharge surge arrester* secara keseluruhan. Hal ini dapat dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *partial discharge* dari setiap *surge arrester* setelah produksi. Jika *partial discharge* sudah melebihi standarnya yakni 10 pC maka tidak layak untuk dilakukan pengujian *residual voltage*.
2. Penggulangan *discharge tube arrester* dilakukan dengan teliti agar tidak terbentuk rongga antar *insulator paper* dengan varistor.
3. Mempersiapkan *Impulse Current System* sebelum digunakan serta melakukan perawatan rutin untuk mencegah terjadinya *error system* saat pengujian.
4. Mengecek mutu material secara keseluruhan agar terhindar dari kecacatan material.

KESIMPULAN

Dari pengujian *residual voltage* dan analisis hasil yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian residual voltage mengimplementasikan tegangan tinggi yang dihasilkan petir. Pengujian *residual voltage* sangat penting dalam pemilihan *surge arrester*.
2. Dari kedua hasil pengujian *surge arrester* yang meledak dan *surge arrester* yang tidak meledak memiliki perbedaan pada nilai T1, T2 dan arus. Hasil pengujian *surge arrester* meledak melebihi standar hasil pengujian. Dimana selisih antara hasil pengujian dan standar pengujian yaitu: T1 *surge arrester* memiliki selisih sebesar

- 2,30 μ s dan T2 berselisih 3,44 μ s dan pada arus terdapat selisih 2.08A.
3. Grafik gelombang yang terbentuk pada *surge arrester* meledak mengalami distorsi signifikan pada arus dan tegangannya.
 4. Faktor lain yang mempengaruhi meledaknya *surge arrester* pada pengujian *residual voltage* ini, yaitu nilai *partial discharge*, kualitas mutu material, dan kinerja alat *impulse*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan dalam penelitian hingga penyusunan laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Gomez-Exposito, A. J. Conejo, And C. Canizares, *Electric Energy Systems Analysis and Operation*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2009.
- [2] N. A. Sabiha, “Limiting surge arrester failure under direct lightning strokes for attaining service continuity of distribution networks,” *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 14, no. 21, pp. 4796–4804, Nov. 2020, doi: 10.1049/iet-gtd.2020.0388.
- [3] L. Angrisani *et al.*, *Lightning Science, Engineering, and Economic Implications for Developing Countries*. Beach Road: Springer, 2021. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/7818>
- [4] D. Zhang, F. Kasolis, and M. Clemens, “Topology optimization for a station class surge arrester model,” *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, vol. 36, no. 3, May 2023, doi: 10.1002/jnm.3041.
- [5] M. Barannik and V. Kolobov, “System for Monitoring the Condition of Metal-Oxide Surge Arresters in Service,” in *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2020. doi: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271582.
- [6] C. A. Christodoulou, M. V. Avgerinos, L. Ekonomou, I. F. Gonos, and I. A. Stathopoulos, “Measurement of the resistive leakage current in surge arresters under artificial rain test and impulse voltage subjection,” *IET Science, Measurement and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 256–262, 2009, doi: 10.1049/iet-smt:20080123.
- [7] T. Puspita and I. Akbar Darmawan, “Thermal Overload Relay (TOR) Sebagai Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Pada Mesin Molding Biofuel Pelletizer Di PT. Sejin Lestari Furniture,” *JTMEI*, vol. 2, no. 2, pp. 168–181, 2023, doi: 10.55606/jtmei.v2i2.1773.
- [8] D. Satya Prawira, T. Wrahatnolo, T. Rijanto, and T. Elektro, “Analisis Kinerja Lightning Arrester Akibat Sambaran Petir Sebagai Proteksi Transformator Di PT. PLN (Persero) Distribusi Lamongan,” vol. 4, no. 2, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.454.
- [9] V. S. Brito, G. R. S. Lira, E. G. Costa, and M. J. A. Maia, “A Wide-Range Model for Metal-Oxide Surge Arrester,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 1, pp. 102–109, Feb. 2018, doi: 10.1109/TPWRD.2017.2704108.
- [10] R. Saragih, R. Saragih, R. Nasution, and D. Prodi Teknik Elektro, “Studi Peralatan Proteksi Sambaran Petir Lightning Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 KV,” 2020.
- [11] A. Junaidi, “Analisa Surja Petir Menggunakan Elektromagnetik Transien Program Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi,” *KILAT*, vol. 10, no. 2, pp. 359–369, Oct. 2021, doi: 10.33322/kilat.v10i2.1450.
- [12] PT PLN (Persero), *Pedoman Pemilihan Arrester Untuk Jaringan Distribusi 20 kV*, Jakarta Selatan. PT PLN (Persero), 2013.
- [13] V. Vončina, J. Pihler, and M. Milanovič, “Extracting the resistive current component from a surge arrester’s leakage current without voltage reference,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, pp. 1–18, Feb. 2021, doi: 10.3390/s21041257.
- [14] S. Bandri, R. Andari, Z. Anthony, and J. T. Elektro, “Studi Koordinasi Proteksi Tegangan Lebih pada Peralatan Elektronik,” 2022.
- [15] IEC, “IEC 60099-4 2009: Metal-Oxide Surge Arresters Without Gaps for A.C. Systems,” 2013.

- [16] Sugiono, Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta, 2017.