

Analisis Sistem Proteksi Arrester Pada Sistem Tenaga Listrik

Agung Ari Wibowo¹, Syafriwel², Ayu Fitriani³, Jhoni Hidayat⁴, Nurmahendra Harahap⁵
^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tjut Nyak Dhien
Email : syafriwel.lp3i@gmail.com
Korespondensi : syafriwel.lp3i@gmail.com

Abstrak

Sistem tenaga listrik memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi listrik bagi masyarakat dan industri. Namun, gangguan dan gangguan listrik seperti hubung singkat, beban lebih, dan gangguan petir dapat menyebabkan kerusakan peralatan, pemadaman listrik, serta kerugian ekonomi yang besar. Tujuan penelitian ini dibuat ialah. Menganalisis cara kerja dan karakteristik arrester tipe MOV. Mengevaluasi keefektifan sistem proteksi arrester dalam mencegah kerusakan akibat tegangan lebih.. Memberikan rekomendasi teknis terhadap peningkatan sistem proteksi arrester pada jaringan distribusi listrik. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur digital transient recorder atau surge counter. Pengukuran dilakukan di jaringan distribusi 20 kVolt pada gardu induk saluran udara. dan parameter yang diukur adalah puncak tegangan lebih, lama kejadian, dan respon sistem proteksi arrester aktif atau tidak aktif dalam merespon pengukuran. Cara kerja dan karakteristik arrester tipe MOV dapat bekerja dengan baik dan sensitifitas yang sangat bagus. Keefektifan arrester bekerja sesuai yang diharapkan karena dapat bekerja sesuai koordinasi sistem dan proteksi sangat handal karena dapat merespon waktu kurang dari 25 nanodetik. Rekomendasi agar arrester dapat bekerja dengan baik adalah dilakukan pergantian berkala antara 5 sampai 10 tahun agar keandalan sistem arrester bekerja sesuai yang diharapkan. Selanjutnya ditambahkan arrester dibagian yang rawan terhadap gangguan agar sistem kelistrikan dapat bekerja sesuai standar yang diharapkan.

Kata Kunci : arrester, proteksi, petir, keandalan, gangguan

Abstract

The electric power system has an important role in meeting the electrical energy needs of the community and industry. However, electrical disturbances and disturbances such as short circuits, overloads, and lightning disturbances can cause equipment damage, power outages, and large economic losses. The purpose of this study is to analyze the workings and characteristics of MOV type arresters. Evaluate the effectiveness of the arrester protection system in preventing damage due to overvoltage. Provide technical recommendations for improving the arrester protection system in the electrical distribution network. Measurements are carried out using a digital transient recorder or surge counter. Measurements are carried out in a 20 kVolt distribution network at an overhead line substation. The parameters measured are the peak overvoltage, the duration of the event, and the response of the active or inactive arrester protection system in responding to measurements. The workings and characteristics of the MOV type arrester can work well and have very good sensitivity. The effectiveness of the arrester works as expected because it can work according to system coordination and protection is very reliable because it can respond in less than 25 nanoseconds. It's recommended that arresters be replaced regularly every 5 to 10 years to ensure the system's reliability meets expectations. Arresters should also be installed in areas prone to disruption to ensure the electrical system operates to expected standards.

Keywords : arrester, protection, lightning, reliability, disturbance

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi listrik bagi masyarakat dan industri. Namun, gangguan dan gangguan listrik seperti hubung singkat, beban lebih, dan gangguan petir dapat menyebabkan kerusakan peralatan, pemadaman listrik, serta kerugian ekonomi yang besar [1]. Oleh karena itu, sistem proteksi dan pengamanan yang handal sangat diperlukan untuk meningkatkan keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik [2].

Dalam penelitian ini, dianalisis dengan pengukuran sistem proteksi yang lebih canggih dan efisien dengan memanfaatkan teknologi terkini dan pengukuran, seperti sistem proteksi berbasis Arester MOV, dengan mendapatkan data pengukuran pada arester hasil pengukuran dan observasi sistem proteksi ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kestabilan sistem tenaga listrik secara menyeluruh untuk keandalan dan kestabilan maupun keamanan sistem tenaga listrik [3]. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut, bagaimana pengembangan sistem proteksi dengan data pengukuran yang efektif untuk mengurangi dampak gangguan pada sistem tenaga listrik dengan hasil data yang diperoleh, Bagaimana implementasi teknologi terkini dalam sistem proteksi tenaga listrik dan Seberapa efektif sistem proteksi yang dikembangkan dalam meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik. Adapun maksud dan tujuan penelitian ini dibuat ialah menganalisis cara kerja dan karakteristik arrester tipe MOV, mengevaluasi keefektifan sistem proteksi arrester dalam mencegah kerusakan akibat tegangan lebih dan memberikan rekomendasi teknis terhadap peningkatan sistem proteksi arrester pada jaringan distribusi listrik [4].

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sistem jaringan distribusi pabrik dan jaringan PLN serta laboratorium sistem proteksi distribusi dan laboratorium rangkaian listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Tjut Nyak Dhien Medan. Penelitian ini dilaksanakan mulai selama 5 bulan dari Maret 2025 sampai dengan bulan Juli 2025.

Prosedur Penelitian

Penelitian berlangsung selama 5 bulan dari Maret 2025 sampai dengan Juli 2025 di laboratorium sistem proteksi distribusi dan laboratorium rangkaian listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Tjut Nyak Dhien Medan. Data-data yang telah diperoleh kemudian diolah dan dianalisa sesuai dengan kebutuhan dalam rumusan masalah. Adapun data yang digunakan pada penelitian ini meliputi :

1. Pengamatan langsung terhadap sistem proteksi yang diukur dengan pengujian dan pengukuran..
2. Simulasi gangguan dan pencatatan respons sistem.
3. Analisis data hasil pengujian untuk menentukan efektivitas sistem proteksi.

Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini penulis melakukan beberapa metode dalam melakukan pengumpulan data antara lain :

1) Studi literature

Melakukan studi literature dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan halaman *web*, Dalam melakukan analisa, penelitian mengumpulkan buku referensi dari perkuliahan atau dari materi pelatihan tentang peralatan di laboratorium dan sistem penangkal peralatan yang digunakan oleh laboratorium serta sebagai tambahan dicari referensi yang berasal dari internet baik itu berupa sumber jurnal nasional dan internasional sebagai pendukung yang berhubungan penelitian.

2) Metode observasi

Melakukan peninjauan langsung pada lokasi pengumpulan data dengan cara observasi ke tempat lokasi untuk penelitian dan pengambilan data hasil pengukuran dan pengamatan..

3) Metode wawancara

Melakukan wawancara kepada pihak teknis yang mengerti tentang judul penelitian diatas, tentunya berkaitan dengan kasus yang akan diteliti. Wawancara ini bertujuan untuk

menambah pengetahuan lebih jauh mengenai dampak hasil penelitian terhadap peralatan lainnya dan memperjelas data-data yang diperoleh saat observasi.

Metodologi

Diagram alir metodologi yang dilakukan dalam pemecahan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

Berikut gambar diagram alur penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 1 Diagram alur penelitian

Sumber: Penulis

Analisis Data

Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan metode perbandingan antara sistem proteksi konvensional dengan sistem proteksi yang dikembangkan. Efektivitas proteksi diukur berdasarkan waktu respons, tingkat gangguan yang dapat ditangani, serta stabilitas sistem setelah gangguan terjadi

1. Analisis statistik untuk melihat korelasi antara gangguan listrik dan keandalan sistem proteksi
2. Simulasi gangguan listrik menggunakan perangkat yang dilakukan dengan sumber listrik saat on maupun off untuk melihat dampaknya terhadap peralatan proteksi
3. Perbandingan dengan standar industri terkait gangguan listrik dan operasional peralatan proteksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengujian

Sistem proteksi yang digunakan adalah aresster tipe *metal oxide varistor* MOV yang terpasang pada jaringan distribusi 20 kV yang berfungsi untuk melindungi peralatan dari lonjakan tegangan petir dan *switching* [5]. Aresster terpasang pada gardu distribusi penyulang utama. Penempatan *arrester* biasanya pada titik masuk gardu distribusi, ujung trafo, dan jaringan saluran udara tegangan menengah (SUTM) [6][7].



Gambar 2. Aresster Tipe *Metal Oxide Varistor* MOV

Analisis yang dilakukan adalah menganalisis cara kerja aresster, mengevaluasi keefektifan sistem proteksi pada aresster MOV dan melihat peningkatan sistem proteksi pada jaringan listrik [8][9].

Pengukuran Tegangan Lebih

Berdasarkan data pengukuran pada alat monitoring menggunakan alat pencatat surge, tegangan lebih sesaat yang terdeteksi saat gangguan petir dapat mencapai 35 kVolt–50 kVolt. Tegangan ini jauh di atas rating isolasi peralatan (sekitar 24 K Volt–30 kVolt), sehingga tanpa aresster, peralatan rentan mengalami kerusakan. Pengukuran tegangan lebih transien dilakukan untuk mengetahui seberapa besar lonjakan tegangan yang terjadi akibat gangguan eksternal seperti petir maupun *switching* dalam sistem tenaga listrik. Data ini menjadi dasar untuk mengevaluasi apakah *arrester* yang terpasang mampu meredam gangguan tersebut secara efektif [10][11][12].

Hasil pengukuran dilakukan dilapangan selama periode pengamatan yang dilakukan dirangkum dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Data Pengukuran Aresster

No	Lokasi Pengukuran	Tegangan lebih Maksimum kiloVolt	Lama Kejadian (μ s)	Respon Aresster
----	-------------------	----------------------------------	--------------------------	-----------------

1	Gardu Induk A	46 kV	150 μ s	Aktif
2	Tiang 20 Kvolt SUTM B	41 kV	120 μ s	Aktif
3	Trafo distribusi C	39 kV	200 μ s	Tidak aktif tidak ada arester (tidak terpasang arester pada trafo distribusi)
4	SUTM D	52 kV	170 μ s	Aktif
5	Gardu	44 kV	140 μ s	Aktif

Lonjakan tegangan terjadi bervariasi antara 39 kVolt sampai 52 kVolt yang melebihi batas kemampuan isolasi normal sistem pada distribusi yaitu sekitar 24 kVolt sampai 30 kVolt. Potensi terjadi kerusakan tinggi isolasi pada trafo dikarenakan tidak terdapat arester, Aresster tipe MOV yang dipasang berhasil meredam tegangan lebih karena berada di tegangan aman yaitu sekitar maksimal 30 kVolt. Berdasarkan data sistem proteksi diatas dapat dilihat bahwa lokasi yang dilengkapi dengan arester MOV aktif sangat efektif sistem proteksi sedangkan lokasi tanpa proteksi arester berisiko tinggi mengalami kerusakan isolasi. Umur arester juga menjadi faktor penting. Hasil pengukuran dan pengamatan menunjukkan arester lebih dari 10 tahun mengalami penurunan kinerja proteksi [13][14].



Gambar 3. Contoh Tampilan Alat Ukur Digital Transient Recorder/Surge Counter

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur digital transient recorder atau surge counter. Pengukuran dilakukan di jaringan distribusi 20 kVolt pada gardu induk saluran udara dan parameter yang diukur adalah puncak tegangan lebih, lama kejadian, dan respon sistem proteksi arester aktif atau tidak aktif dalam merespon pengukuran.

Kinerja Aresster MOV

Aresster yang memiliki respon sangat cepat kurang dari 25 ns terhadap lonjakan tegangan dan juga dilihat sesuai batas standar IEEE C62.11 tertulis tengan normal dan maksimum, waktu respon dan arus impuls maksimum. Hasil uji lapangan dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut sesuai parameter yang ada dapat dirangkum pada tabel dibawah ini:

Tabel 2 Hasil Uji Kinerja di Lapangan

No	Parameter	Hasil Uji Lapangan	Batas Standar IEEE C62.11
1	Tegangan operasi nominal	24 kiloVolt	sesuai
2	Tegangan <i>Clamp</i> Maksimum	60 kiloVolt	< 65 kiloVolt
3	Waktu respon	23 ns	< 25 ns
4	Arus impuls maksimum	10 kiloAmpere	> 8 kiloAmpere lurus)

Metal Oxide Varistor bekerja berdasarkan sifat *non-linear* resistansi. Pada tegangan normal, MOV memiliki resistansi sangat tinggi dan hampir tidak mengalirkan arus. Namun saat terjadi tegangan lebih, resistansi turun drastis sehingga arus gangguan dapat dialirkan ke tanah, melindungi peralatan yang terhubung.

Tabel 3. Hasil Pengujian Lapangan dengan Perbandingan Standar IEEE

No	Parameter	Nilai Standar (IEEE C62.11)	Hasil Pengujian Lapangan	Status
1	Tegangan Operasi Nominal	24 kV	24 kV	Sesuai
2	Tegangan <i>Clamp</i> Maksimum	< 65 kV	58 kV	Aman
3	Waktu Respon	< 25 ns	20–23 ns	Cepat
4	Arus Impuls Maksimum	≥ 10 kA	12 kA	Memadai
5	Energi Disipasi (per event)	> 400 J	460–520 J	Efektif
6	Toleransi terhadap Pengulangan	≥ 20 kali surge besar	> 25 kali	Tahan lama

Berdasarkan Hasil Uji Lapangan kemampuan MOV mampu merespons tegangan lebih dalam waktu < 25 nanodetik. Pada kejadian gangguan petir di jaringan 20 kV, MOV berhasil membatasi tegangan hingga di bawah 30 kiloVolt, jauh di bawah ambang kerusakan isolasi peralatan sekitar 35 kiloVolt hingga 40 kiloVolt. Beberapa arrester lama menunjukkan penurunan kinerja *clamp* menjadi 65 kiloVolt hingga 68 kiloVolt, mengindikasikan bahwa perangkat perlu diganti atau diuji ulang.

Gangguan Pada Proteksi Arester

Gangguan pada sistem proteksi arester adalah tegangan lebih atau *overvoltage* yang disebabkan diantaranya petir, *swicthing* atau gangguan hubung singkat. Saat terjadi gangguan tersebut arester akan bekerja terus menerus berulang kali dan dapat menyebabkan degradasi material pada arester. Gangguan lainnya adalah kegagalan isolasi pada jaringan yang disebabkan kelembaban, polusi atau kerusakan fisik pada arester bisa menyebabkan kebocoran pada arester dan terjadi pelepasan tidak terkendali bahkan sampai ledakan di arester. Selain itu bisa juga disebabkan kesalahan pemasangan, *setting* arester yang buruk dan *overcurrent* yang melebihi kapasitas arester itu sendiri.

Tabel 4. Resiko Gangguan Proteksi Arester

No	Gangguan	Akibat pada jaringan
1	Tidak aktif saat ada petir	Peralatan rusak akibat surge/petir
2	Aktif terus menerus	Kehilangan fungsi proteksi dan potensi terjadi kebakaran
3	Salah spesifikasi	Koordinasi sistem proteksi bisa mengalami kegagalan

Pencegahan gangguan perlu dilakukan salah satunya adalah dengan memasang arester sesuai standar IEEE, pemasangan sesuai standar teknis, penggantian arester secara periodik setiap 5 atau 10 tahun sekali.

Analisis Hasil Pengujian dan Pengukuran

Pengukuran tegangan lebih transien menunjukkan bahwa sistem distribusi 20 kV sangat memerlukan perlindungan arrester. Arrester tipe MOV terbukti efektif mengurangi dampak lonjakan tegangan, namun perlindungan tidak merata karena keterbatasan titik pemasangan dan kurangnya peremajaan perangkat. Arrester tipe MOV menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam melindungi sistem tenaga listrik terhadap gangguan tegangan lebih dan gangguan lainnya. Namun, pemeliharaan berkala dan penggantian arrester lama secara periodik menjadi penting untuk dilakukan menjaga keandalan proteksi sistem

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data pengukuran dan pengujian di lapangan maka di dapatkan hasil dari sistem dan karakteristik arester MOV dapat diambil kesimpulan sebagai berikut Cara kerja dan karakteristik arester tipe MOV dapat bekerja dengan baik dan sensitifitas yang sangat bagus. Keefektifan arester bekerja sesuai yang diharapkan karena dapat bekerja sesuai koordinasi sistem dan proteksi sangat handal karena dapat merespon waktu kurang dari 25 nanodetik. Rekomendasi agar arester dapat bekerja dengan baik adalah dilakukan pergantian berkala antara 5 sampai 10 tahun agar keandalan sistem arester bekerja sesuai yang diharapkan. Selanjutnya ditambahkan arester dibagian yang rawan terhadap gangguan agar sistem kelistrikan dapat bekerja sesuai standar yang diharapkan.

Sistem proteksi arester sangat diperlukan dalam sistem jaringan kelistrikan pada penelitian selanjutnya disarankan untuk memasang dan mengukur lebih banyak lagi arester dan menobservasi berkala untuk melihat efektifitas arester tipe MOV atau dikombinasi dengan tipe lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Liu, J., & Wu, Y. (2021). "Development and Application of Intelligent Protection Systems in Power Grids." *IEEE Transactions on Power Delivery*, 36(2), 1040-1050. doi:10.1109/TPWRD.2020.3042982.
- [2] Kumar, S., & Yadav, A. (2020). "Smart Protection Techniques for Power Systems: A Review." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105696. doi:10.1016/j.ijepes.2019.105696.
- [3] Zhang, T., & Zhao, Y. (2022). "Advanced Protection Strategies for Modern Power Systems." *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 17(3), 1341-1352. doi:10.1007/s42835-022-00712-8.
- [4] Patel, R., & Shah, K. (2023). "Cybersecurity in Power System Protection: Challenges and Solutions." *Energy Reports*, 9, 1234-1245. doi:10.1016/j.egy.2023.01.022.
- [5] Ali, H. & Khan, M. (2022). "Real-Time Monitoring and Protection for Smart Grids." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111085. doi:10.1016/j.rser.2021.111085.
- [6] 1Khodsuz, M., Teymourian, M. H., & Seyyedbarzegar, S.(2023). New criteria for metal oxide surge arrester condition monitoring based on leakage current analysis considering non-uniform pollution effect, *IET Generation, Transmission & Distribution* , 17(2), 345–356.
- [7] Zacarias, T. G., & Sant'Ana, W. C. (2024). A bibliometric and comprehensive review on condition monitoring of metal oxide surge arresters, *Sensors*, 24(1), 235.
- [8] Zhang, Q., et al. (2021). Research of ZnO arrester deterioration mechanism based on electrical performance and micro material test *Electronics*, 10(21), 2624.
- [9] Novizon, N., Abdul-Malek, Z., & Mashak, S. V. (2024). Thermal image and leakage current diagnostic as a tool for testing and condition monitoring of ZnO surge arrester *Jurnal Teknologi*, 86(1), 21–31.

- [10] Khopkar, A. S., & Pandya, K. S. (2025). A novel approach to the ageing process of metal oxide surge arresters. *Engineering, Technology & Applied Science Research* 15(2), 2345–2351.
- [11] Lu, Z., Zhang, H., & Zhao, X. (2024). The aging phenomenon of ZnO varistor for the roof arrester of Electric Multiple Unit under high harmonics. In *Lecture Notes in Electrical Engineering* (pp. 345–356). Springer.
- [12] Wooi, C. L., Abdul-Malek, Z., & Mashak, S. V. (2024). Effect of ambient temperature on leakage current of gapless metal oxide surge arrester *Jurnal Teknologi*, 87(2), 55–65.
- [13] Khopkar, A. S., & Pandya, K. S. (2025). Online condition monitoring technique for metal oxide surge arresters based on leakage current components. *Everant Engineering & Technology Journal*, 9(3), 178–186.
- [13] Zacarias, T. G., Sant’Ana, W. C., & Lopes, R.(2022). Condition monitoring of metal oxide surge arresters in power distribution networks: A review *Energies*, 15(21), 8091.
- [14] Pop, C., et al. (2024). Performance of Zinc Oxide–Vanadium Pentoxide varistors in medium voltage surge arresters *Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics – Electrical Engineering Series* 2024(1), 45–52.