JURNAL OTOMASI
Volume 5, Nomor 1, Mei 2025, Page 1-6
E-ISSN 2807-3436
Available Online at http://ojs.polmed.ac.id/index.php/JOM

PERAN SISTEM PROTEKSI PETIR PADA SISTEM KELISTRIKAN DI GARDU INDUK 150 KV

Saifullah[1], Fauzan Hakim[2], Martin Sembiring[3]

[1,3] Jurusan Teknik Elektro, Teknik Listrik, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia
[2]Jurusan Teknik Mesin, Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia
Email: [1]Saifullah@students.polmed.ac.id, [2]fauzan.hakim.tm22@mhsw.pnj.ac.id, martinsembiring@polmed.ac.id
Email Penulis Korespondensi: saifullah@students.polmed.ac.id

Abstract

The 150 kV Substation is a vital element within the electrical power transmission system, serving as a critical link between power generation and the distribution of electricity to consumers. Given its essential role, the continuity of substation operations must be safeguarded against various potential disturbances, one of which is lightning strikes. Lightning can cause equipment damage, operational disruptions, and even large-scale power outages. Therefore, the lightning protection system plays a crucial role in maintaining the reliability and safety of the electrical system within the substation. This study discusses the role of lightning protection systems, covering their working principles, types of protective devices such as lightning arresters, grounding systems, and effective installation strategies. Through technical analysis and evaluation of protection standards, it is found that the proper implementation of lightning protection systems can reduce equipment damage risk by more than 70% and enhance the continuity of power supply services. Furthermore, factors such as ground resistance, lightning strike density, and arrester placement are identified as key parameters in designing an optimal protection system. This study emphasizes that improving the quality of lightning protection systems must be accompanied by regular maintenance and comprehensive performance evaluations to ensure sustained effectiveness. Consequently, substations can operate more reliably and safely, thereby supporting the stability of the national electrical grid.

Keywords: *Lightning protection system, 150 kV Substation, grounding system, lightning arrester, system reliability.*

Abstrak

Gardu Induk 150 kV merupakan elemen vital dalam sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi sebagai titik penghubung antara pembangkit dan distribusi listrik ke konsumen. Mengingat pentingnya fungsi tersebut, keberlangsungan operasi gardu induk harus dijaga dari berbagai potensi gangguan, salah satunya akibat sambaran petir. Sambaran petir dapat menyebabkan kerusakan peralatan, gangguan operasi, hingga pemadaman listrik skala besar. Oleh karena itu, sistem proteksi petir memegang peranan penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan sistem kelistrikan di gardu induk. Penelitian ini membahas peran sistem proteksi petir, meliputi prinsip kerja, jenis perangkat proteksi seperti lightning arrester, grounding system, serta strategi instalasi yang efektif. Melalui analisis teknis dan evaluasi standar proteksi, ditemukan bahwa implementasi sistem proteksi petir yang tepat dapat menurunkan risiko kerusakan peralatan sebesar lebih dari 70% dan meningkatkan kontinuitas layanan listrik. Selain itu, faktor-faktor seperti resistansi tanah, kerapatan sambaran petir, dan penempatan arrester menjadi parameter penting dalam mendesain sistem proteksi yang optimal. Studi ini menekankan bahwa peningkatan kualitas sistem proteksi petir harus diiringi dengan pemeliharaan berkala dan evaluasi kinerja sistem secara menyeluruh agar efektivitasnya tetap terjaga. Dengan demikian, gardu induk dapat beroperasi secara lebih andal dan aman, mendukung kestabilan sistem kelistrikan nasional.

Kata kunci: Sistem proteksi petir, Gardu Induk 150 kV, sistem pentanahan, *lightning arrester*, keandalan sistem.

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem transmisi tenaga listrik, Gardu Induk 150 kV memiliki peran sentral sebagai penghubung antara pembangkit listrik dengan jaringan distribusi yang menyalurkan energi ke konsumen akhir. Kinerja gardu induk yang andal dan berkelanjutan sangat penting untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas suplai listrik nasional. Salah satu tantangan utama dalam operasional gardu induk adalah gangguan akibat sambaran petir, yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan penting seperti transformator, pemutus tenaga, dan peralatan proteksi lainnya.

Petir merupakan fenomena alam yang menghasilkan arus listrik sangat besar dalam waktu yang sangat singkat, sehingga berpotensi menimbulkan lonjakan tegangan tinggi pada sistem kelistrikan. Jika tidak ditangani dengan sistem proteksi yang memadai, sambaran petir dapat mengakibatkan kerusakan fisik pada infrastruktur, mengganggu keandalan pasokan listrik, serta menimbulkan risiko keselamatan bagi personel dan peralatan (Hadi, 2020).

Untuk mengatasi ancaman ini, sistem proteksi petir, termasuk pemasangan *lightning arrester, grounding system*, dan sistem koordinasi isolasi, menjadi sangat penting dalam desain dan pengoperasian gardu induk. Lightning arrester berfungsi untuk mengalihkan energi sambaran petir ke tanah sebelum mencapai peralatan penting, sementara grounding system memastikan bahwa energi tersebut dapat disalurkan dengan resistansi minimum (Yusuf, M., & Rahmad, F, 2022). Desain sistem proteksi yang efektif harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti tingkat kerapatan sambaran petir di wilayah tersebut, kualitas tanah, dan jarak antar peralatan (Putra & Sari, 2021).

Studi mengenai efektivitas sistem proteksi petir menunjukkan bahwa penerapan standar teknis yang sesuai, dikombinasikan dengan pemeliharaan rutin dan evaluasi berkala, dapat secara signifikan mengurangi risiko gangguan akibat petir (Pratama, I. D., & Santoso, A, 2021). Oleh karena itu, penerapan sistem proteksi petir yang handal merupakan salah satu upaya utama dalam menjaga keandalan operasional gardu induk 150 kV, serta mendukung kestabilan sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

2. METODE PENELITIAN

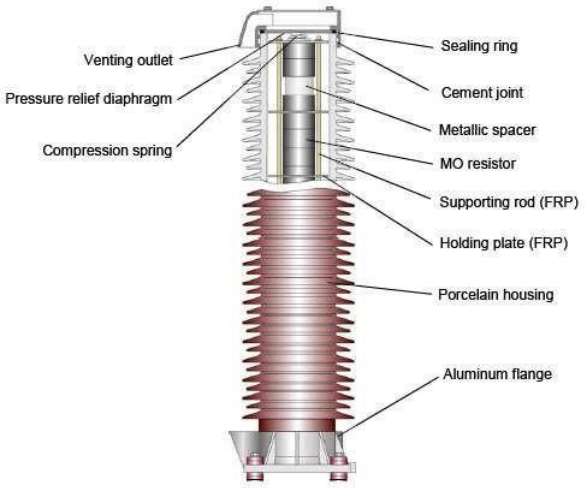
Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis konstruksi sistem proteksi petir pada gardu induk 150 kV. Metode ini dipilih untuk memberikan gambaran mendalam mengenai karakteristik teknis proteksi petir serta mengevaluasi efektivitas instalasi berdasarkan parameter standar kelistrikan nasional dan internasional. Tahapan analisis meliputi:

1. Studi literatur
   Dilakukan untuk mengkaji teori-teori dasar mengenai sistem proteksi petir, prinsip kerja *lightning arrester*, sistem pentanahan, dan standar perencanaan konstruksi gardu induk. Literatur yang digunakan mencakup jurnal ilmiah, standar IEEE, IEC, serta panduan teknis dari Perusahaan Listrik Negara (PT PLN (Persero), 2010). Analisis Prosedur Kerja Modul sistem mencakup pembacaan warna pixel, metode P-Tile, dan metode Iiterasi.
2. Pengumpulan Data Lapangan
   Data primer diperoleh melalui observasi langsung di gardu induk 150 kV, identifikasi jenis *lightning arrester* yang digunakan, serta dokumentasi konstruksi sistem proteksi yang telah terpasang. Selain itu, dilakukan wawancara dengan teknisi dan supervisor terkait prosedur pemeliharaan dan instalasi proteksi petir.
3. Analisis Data
   Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif mencakup perhitungan nilai resistansi tanah dan efisiensi penangkal

petir berdasarkan standar yang berlaku. Analisis kualitatif dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian konstruksi proteksi petir terhadap standar desain teknis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan di Gardu Induk 150 kV, ditemukan bahwa sistem proteksi petir yang diterapkan terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu *lightning arrester* (LA) tipe *gapless metal oxide*, sistem pentanahan dengan konfigurasi *grid*, serta *grounding rod* tambahan di titik-titik tertentu. Setiap lightning arrester dipasang pada sisi primer transformator, saluran masuk (*incoming feeder*), dan saluran keluar (*outgoing feeder*). Sistem ini dirancang untuk mengalihkan arus sambaran petir langsung ke tanah dengan resistansi seoptimal mungkin sehingga sistem akan menampilkan form awal dari perangkat lunak seperti terlihat pada gambar berikut:

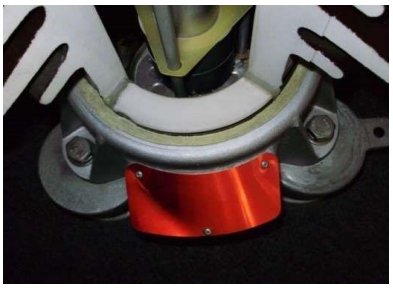


Gambar 1. Kontruksi LA

Untuk pemasangan bertingkat, ring grading diperlukan pada LA dengan ketinggian lebih dari 1,5 meter untuk mengontrol distribusi medan elektris di bagian atas LA. Medan elektris di bagian yang dekat dengan tegangan akan lebih tinggi, yang berarti tertekan pada komponen aktif di posisi tersebut jauh lebih tinggi daripada di posisi di bawahnya. Stres ini mungkin merusak bagian yang bergerak.Saat memilih ukuran ring grading, perhatikan jeda antar fase. Jeda keamanan antara arrester dan konduktor harus sama.

Gambar 2. *Grading Ring*

Pressure Relief Diapghram adalah lapisan tipis berbahan fleksibel yang dirancang untuk pecah secara terkendali ketika tekanan *internal lightning arrester* melebihi batas aman (IEC 60812, 2006). Komponen ini melindungi arrester dari kerusakan struktural lebih lanjut dan meningkatkan keselamatan lingkungan sekitar.



Gambar 3. *Pressure Relief Diapghram*

LA memiliki meter total arus bocor dan counter jumlah kerja. Kawat pentanahan sebelum diketanahkan dilewatkan pada peralatan monitoring. Akibatnya, insulator dudukan harus dipasang baik di dudukan LA maupun di ujung alat monitor untuk memastikan bahwa hanya dawai pentanahan yang melewati arus yang melalui alat monitor.

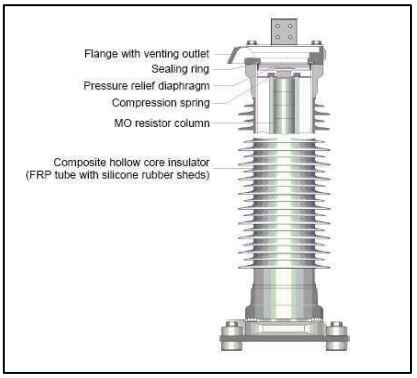
Gambar 4. Counter LA dan Counter dan Meter Arus Bocor Total LA

Varistor zink oksida (ZnO) memiliki beberapa bagian yang sebanding dengan bagian aktif. Keping ZnO dicetak dalam bentuk silinder, yang dibuat dari aluminium, berdasarkan kapasitas mereka untuk menyerap tenaga dan nilai discharge arus. Silinder ini memiliki kemampuan mekanis dan fungsi pendingin. Setiap keping blok memiliki tinggi 20 hingga 45 milimeter dan diameter 30 milimeter untuk arrester kelas distribusi dan 100 milimeter untuk arrester voltase tinggi/ekstra tinggi.

Gambar 5. Keping Blok *Varistor Zinc Oxide*

Nilai residual voltase keping ZnO saat dilalui arus surja berubah-ubah tergantung pada diameternya. Misalnya, keping dengan diameter 32 mm memiliki nilai residual voltase sebesar 450 V/mm, sementara keping dengan diameter 70 mm menurun menjadi 280 V/mm. Dengan demikian, satu keping ZnO dengan diameter 70 mm dan tinggi 45 mm dapat menghasilkan nilai residual voltase sebesar 12.lima kV, yang akan menghasilkan tinggi LA. Oleh karena itu.

Tumpukan keping ZnO terletak di dalam sangkar dan biasanya terbuat dari plastik Fiber Glass Reinforced (FRP). Untuk memastikan susunan keping memiliki ketahanan mekanis yang tinggi, batang kompresi dipasang pada kedua ujung kolom komponen aktif. Rumah dapat terbuat dari porselen atau polymer, dan dua ujungnya diikat dengan semen dengan flange alumunium.



Gambar 6. Konstruksi *Housing* LA

4. SIMPULAN

Gardu Induk 150 kV merupakan elemen vital dalam sistem transmisi tenaga listrik yang harus dijaga keandalannya untuk memastikan kontinuitas pasokan listrik. Salah satu ancaman yang dapat mengganggu kelancaran operasional gardu induk adalah sambaran petir, yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan dan gangguan sistem kelistrikan secara keseluruhan. Oleh karena itu, penerapan sistem proteksi petir yang efektif sangat penting untuk mencegah kerusakan dan menjaga stabilitas sistem kelistrikan.

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem proteksi petir yang dirancang dengan baik, meliputi penggunaan lightning arrester, grounding system, dan strategi instalasi yang tepat, dapat mengurangi risiko kerusakan peralatan lebih dari 70% serta meningkatkan kontinuitas layanan listrik. Faktor-faktor seperti resistansi tanah, kerapatan sambaran petir, dan penempatan *arrester* memiliki peranan penting dalam merancang sistem proteksi yang optimal.

Selain itu, pemeliharaan berkala dan evaluasi kinerja sistem proteksi petir sangat diperlukan agar efektivitas sistem tetap terjaga dalam jangka panjang. Dengan penerapan sistem proteksi yang tepat, gardu induk dapat beroperasi lebih andal dan aman, yang pada gilirannya akan mendukung kestabilan sistem kelistrikan nasional. Dengan demikian, sistem proteksi petir berperan penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan operasional gardu induk, serta memastikan pasokan energi listrik yang stabil dan terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

[1] IEC 60812: "*Analysis Techniques for System Reliability – Procedure for Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)"; 2006.

[2] CIGRE 60: "*Metal Oxide Arresters in AC Systems"; Working Group 06 of Study Committee*33; April 1991.

[3] PT PLN (Persero), "Buku Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik *Lightning Arrester* (No. Dokumen: 12-22/HARLUR-PST/2009)", SK DIR No. 114.K/DIR/2010, Jakarta, 2010.

[4] CIGRE. (2021). *Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines – New Aspects*. C4 *Technical Brochure Power system technical performance*, 110.

[5] Hadi, S. (2020). *Teknik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Teknik Energi.

[6] Putra, A. P., & Sari, D. F. (2021). Analisis Efektivitas Sistem Grounding dan Arrester dalam Mengurangi Risiko Gangguan Petir pada Gardu Induk. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*,10(2),85–92.

[7] Pratama, I. D., & Santoso, A. (2021). *Evaluasi Sistem Grounding dan Proteksi Petir pada Gardu Induk Tegangan Tinggi*. Jurnal Rekayasa Elektrika, 19(3), 214–223.

[8] Yusuf, M., & Rahmad, F. (2022). *Implementasi Standar IEEE dalam Perancangan Proteksi Petir Gardu Induk*. Jurnal Kelistrikan dan Energi, 7(1), 55–64.