

Pengaruh Fluktuasi Tegangan Akibat Black Out Pada Saluran Distribusi 20 KV Terhadap Kinerja Arrester

Rizky Junito¹, Dian Eka Putra^{1*}, Raden Ahmad Yani¹, Nofiansah²

1 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Palembang, Indonesia

2 Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia.

*e-mail: dianekaputra90@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis fluktuasi tegangan pada saluran distribusi 20 kV di penyulang Arjuna dari Gardu Induk Talang Kelapa dan dampaknya terhadap keandalan sistem kelistrikan. Fluktuasi tegangan yang signifikan dapat memengaruhi kinerja peralatan listrik dan keamanan jaringan. Metode yang digunakan meliputi pengukuran tegangan periodik dan analisis data untuk mengidentifikasi pola fluktuasi serta penyebabnya. Hasil penelitian menunjukkan fluktuasi mencapai 50,15% dari tegangan nominal, terutama disebabkan oleh perubahan beban mendadak dan insiden Black Out pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Meskipun arrester masih berfungsi dalam batas aman, fluktuasi yang tidak terkelola dapat merusak peralatan, menurunkan keandalan sistem, dan meningkatkan biaya pemeliharaan. Penelitian ini menekankan pentingnya pemantauan berkelanjutan dan pengelolaan fluktuasi untuk menjaga kestabilan sistem. Rekomendasi meliputi peningkatan sistem pemantauan, penggunaan arrester berkapasitas lebih tinggi, dan pengaturan beban yang lebih baik. Selain itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk memahami pola fluktuasi lebih dalam dan mengembangkan strategi mitigasi yang efektif. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada peningkatan keandalan dan keamanan sistem distribusi listrik, serta memberikan wawasan berharga bagi operator dan pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi pengelolaan jaringan yang lebih efektif.

Kata Kunci: *Black out, fluktuasi tegangan, arrester, penyulang Arjuna*

ABSTRACT

This study analyses the voltage fluctuations on the 20 kV distribution line in the Arjuna feeder of the Talang Kelapa Substation and its impact on the reliability of the electrical system. Significant voltage fluctuations can affect the performance of electrical equipment and network security. The methods used include periodic voltage measurements and data analysis to identify fluctuation patterns and their causes. The results showed that fluctuations reached 50.15% of the nominal voltage, mainly caused by sudden load changes and Black Out incidents on High Voltage Air Lines (SUTT). Although the arresters are still functioning within safe limits, unmanaged fluctuations can damage equipment, lower system reliability and increase maintenance costs. This research emphasises the importance of continuous monitoring and fluctuation management to maintain system stability. Recommendations include improved monitoring systems, the use of higher capacity arresters, and better load regulation. In addition, further research is needed to understand fluctuation patterns more deeply and develop effective mitigation strategies. As such, this research contributes to improving the reliability and safety of the electricity distribution system, and provides valuable insights for operators and policy makers in formulating more effective grid management strategies.

Keywords: *Black out, voltage fluctuations, arresters, Arjuna feeder*

PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan jaringan panjang sistem kelistrikan tempat energi listrik didistribusikan dari sumber pembangkit ke konsumen[1]. Dalam perjalanannya, jaringan distribusi dapat terganggu oleh beberapa kondisi, salah satunya adalah lonjakan energi secara tiba-tiba seperti yang terjadi pada sistem kelistrikan di wilayah Sumatera Selatan pada tanggal 04 Juni 2024, yang berdampak dari gangguan transmisi SUTT 275 kV Linggau - Lahat, dimana kejadian tersebut menimbulkan fluktuasi lonjakan energi atau tegangan yang besar di penyulang 20 KV. Lonjakan ini dapat terjadi karena beberapa kondisi, yaitu sambaran petir, gangguan sistem, penambahan beban secara tiba-tiba, dan ancaman transien lainnya[2]. Dalam era modern ini, kebutuhan akan pasokan energi listrik yang andal dan berkualitas sangat penting bagi masyarakat dan industri. Sistem distribusi tenaga listrik memiliki peran krusial dalam mengalirkan energi dari sumber pembangkit ke konsumen. Salah satu komponen utama dalam sistem distribusi adalah saluran distribusi tegangan menengah, seperti saluran distribusi 20 kV. Di Indonesia, banyak daerah yang bergantung pada gardu induk sebagai titik distribusi utama, salah satunya adalah Gardu Induk Talang Kelapa.

Namun, operasional sistem distribusi sering kali menghadapi tantangan, seperti fluktuasi tegangan yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk gangguan pada sistem, perubahan beban[3], dan kejadian black out pada Saluran Utama Tegangan (SUTT)[4]. Fluktuasi tegangan ini dapat berpengaruh signifikan terhadap kinerja arrester, yang berfungsi melindungi peralatan listrik dari lonjakan tegangan yang berbahaya. Arrester, sebagai perangkat proteksi, dirancang untuk mengalihkan lonjakan energi ke tanah dan melindungi peralatan dari kerusakan akibat fluktuasi tegangan[5]. Namun, jika fluktuasi tersebut melebihi kapasitas arrester, risiko kerusakan peralatan meningkat. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana fluktuasi tegangan yang terjadi di Saluran Distribusi 20 kV dari Gardu Induk Talang Kelapa dapat mempengaruhi kinerja arrester, terutama dalam konteks gangguan yang ditimbulkan oleh black out SUTT[6].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fluktuasi tegangan pada penyulang Arjuna terhadap kinerja arrester dalam kondisi tertentu, dengan fokus pada gangguan yang disebabkan oleh black out. Dengan memahami hubungan ini, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi dan meminimalisir dampak negatif terhadap peralatan listrik. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem proteksi yang lebih baik serta meningkatkan pemahaman mengenai pengelolaan fluktuasi tegangan dalam sistem distribusi tenaga listrik di wilayah kerja PT. PLN (Persero) ULP Sukarame

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode komputasi untuk menganalisis fluktuasi tegangan terhadap kinerja arrester pada saluran distribusi 20 kV di Gardu Induk Talang Kelapa. Data yang digunakan meliputi data primer dari pengukuran langsung tegangan dan arus selama terjadinya gangguan, khususnya saat black out pada Saluran Utama Tegangan Tinggi (SUTT) 275 kV Linggau - Lahat, serta data sekunder dari catatan operasional PT. PLN (Persero) ULP Sukarame. Metode komputasi dilakukan dengan formula yang dibutuhkan untuk menentukan persentase perbandingan besaran lonjakan tegangan akibat gangguan SUTT, dan menganalisis respons arrester dalam menangani fluktuasi tersebut. Parameter yang diamati meliputi besaran tegangan, waktu respons arrester, serta dampak fluktuasi terhadap sistem proteksi. Hasil komputasi kemudian divalidasi dengan data lapangan untuk memastikan keakuratan. Analisis dilakukan secara statistik untuk mengidentifikasi hubungan



antara fluktuasi tegangan dan kinerja arrester, serta memberikan rekomendasi teknis untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi dan distribusi tenaga listrik[7,8].

Formula fluktuasi tegangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Delta V = V_{max} - V_{min} \quad (1)$$

Persentase fluktuasi dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Persentase Fluktuasi} = \left(\frac{\Delta V}{V_n} \right) \times 100 \% \quad (2)$$

Tegangan sistem maksimum

$$V_{max} = V_{nominal} + 10\% \text{ (faktor toleransi)} \quad (3)$$

Tegangan maksimum yang diterima atau ($V_{received}$) oleh arrester selama fluktuasi:

$$V_{received} = V_{max} \quad (4)$$

Analisis kinerja arrester, arrester berfungsi dengan baik jika tegangan maksimum yang diterima ($V_{received}$) tidak melebihi nilai V_{arrest} .

$$V_{received} < V_{max} \quad (5)$$

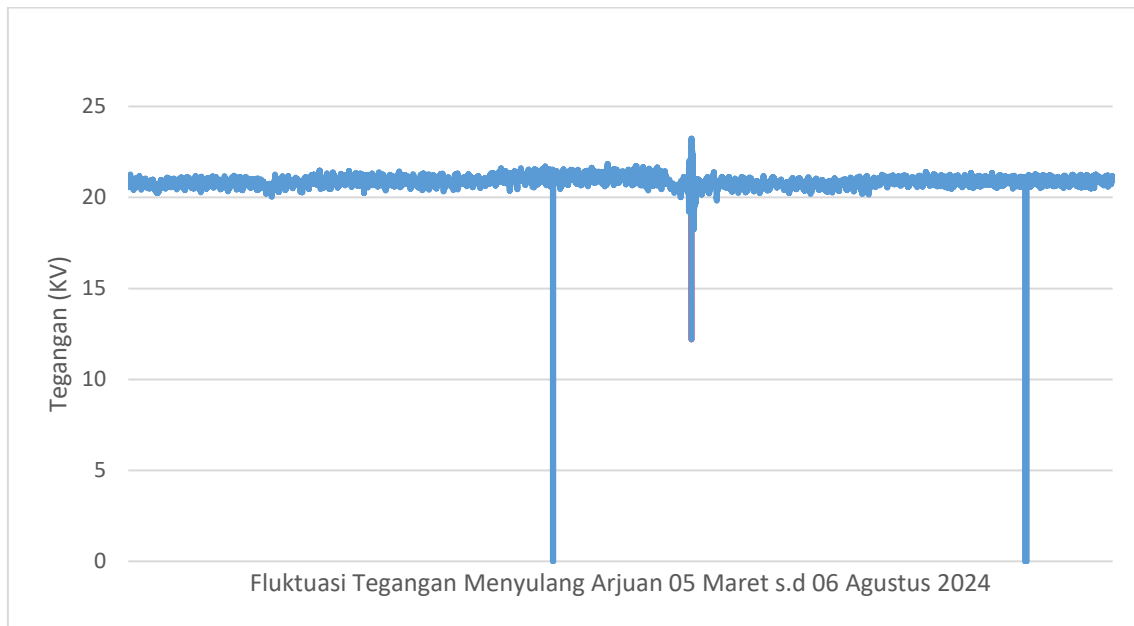
HASIL DAN PEMBAHASAN

Fluktuasi Tegangan Penyulang Arjuna

Fluktuasi tegangan adalah fenomena yang sering terjadi dalam sistem distribusi listrik, dan merupakan salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh operator jaringan kelistrikan. Dalam konteks saluran distribusi 20 kV penyulang Arjuna dari Gardu Induk Talang Kelapa, fluktuasi tegangan dapat terjadi akibat berbagai faktor, baik alami maupun buatan. Fenomena ini sering kali dipicu oleh perubahan beban yang tiba-tiba, seperti saat banyak pelanggan menggunakan peralatan listrik secara bersamaan, atau oleh kondisi cuaca ekstrem yang dapat menyebabkan lonjakan tegangan.

Salah satu sumber utama fluktuasi tegangan di area ini adalah insiden Black Out SUTT (Saluran Utama Tegangan Tinggi) yang dapat mengakibatkan gangguan signifikan pada kestabilan pasokan listrik. Saat black out terjadi, sistem distribusi sering kali mengalami lonjakan tegangan yang tiba-tiba ketika aliran listrik dipulihkan. Perubahan ini dapat berpotensi merusak komponen sistem, termasuk arrester yang berfungsi sebagai pelindung dari lonjakan tegangan.

Berikut hasil pengukuran atau data historis grafik fluktuasi tegangan pada sistem 20 KV penyulang Arjuna dari Gardu Induk Talang Kelapa dari tanggal 05 maret sampai dengan 06 Agustus 2024.



Gambar 1. Fluktuasi tegangan di penyulang 20 kV Arjuna

Dari Gambar 1. dimana fluktuasi tegangan pada penyulang Arjuna yang terjadi pada tanggal 4 Juni 2024 menunjukkan dampak signifikan dari proses pembebanan dan insiden Black Out. Grafik ini mencerminkan perubahan tegangan yang dialami sistem, di mana penurunan tegangan mencapai 12,2 KV terlihat jelas saat terjadi pembebanan tinggi akibat penggunaan peralatan listrik secara bersamaan. Penurunan ini menunjukkan bahwa sistem menghadapi beban melebihi kapasitas yang dapat ditangani, yang dapat menyebabkan ketidakstabilan. Ketika Black Out terjadi, pasokan listrik terputus secara mendadak, dan saat sistem kembali beroperasi, lonjakan tegangan yang tajam muncul sebagai respons terhadap pemulihan aliran listrik mencapai 23,23 KV pada tanggal 05 Juni 2024. Lonjakan ini berpotensi merusak arrester dan peralatan lain yang terhubung, mengingat fungsinya untuk melindungi dari fluktuasi. Setelah Black Out, grafik menunjukkan kenaikan tegangan yang signifikan, yang mencerminkan upaya sistem untuk kembali stabil. Namun, lonjakan ini berisiko jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, analisis fluktuasi tegangan ini menegaskan pentingnya pengelolaan yang efektif untuk menjaga keandalan sistem distribusi listrik, termasuk penerapan strategi mitigasi seperti pemantauan berkelanjutan dan pengaturan beban dinamis untuk meminimalkan dampak fluktuasi terhadap peralatan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami pola fluktuasi ini dan mengembangkan langkah-langkah perlindungan yang lebih baik.

Berikut komputasi fluktuasi tegangan yang dapat digunakan dalam pembahasan mengenai fluktuasi tegangan di saluran distribusi 20 kV dan pengaruhnya terhadap kinerja arrester.

Data awal :

- Tegangan nominal saluran distribusi (V_n) = 20 kV
- Fluktuasi tegangan yang terukur.
 - Tegangan maksimum : $V_{max} = 22,23$ kV
 - Tegangan minimum : $V_{min} = 12,2$ kV

Fluktuasi tegangan didapat :

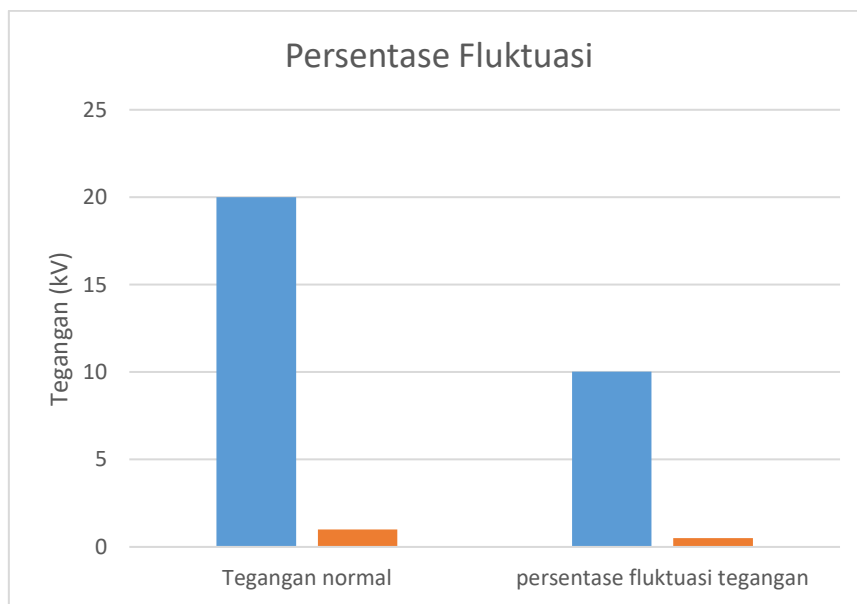
$$\Delta V = 10,03 \text{ kV}$$

Persentase fluktuasi dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Persentase Fluktuasi} = \left(\frac{10,03}{20} \right) \times 100 \%$$

$$\text{Persentase Fluktuasi} = 50,15 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas diketahui dampak dari Black Out SUTT yang terjadi tanggal 04 juni 2024 dan masa pemulihan tanggal 05 juni 2024 mengakibatkan terjadinya fluktuasi tegangan pada saluran tegangan menengah di penyulang Arjuna sebesar 50,15%.



Gambar 2 Persentase fluktuasi tegangan di penyulang Arjuna

Dampak Fluktuasi Terhadap Arrester

Pada sistem distribusi tegangan 20 kV umumnya setiap penyulang dimana arrester ditanahkan dengan tahanan rendah koefisien pentanahan dipilih 100% (pentanahan tidak efektif) dengan tegangan sistem tertinggi adalah 20 kV, maka tegangan pengenalan arrester menjadi :

Tegangan sistem maksimum

$$V_{nominal} + 10\% \text{ (faktor toleransi)}$$

$$V_{max} = V_{nominal} \times 1,1 = 20 \times 1,1$$

$$V_{max} = 22 \text{ kV (tegangan pengenalan arrester)}$$

$$V_p = V_{max} \times 1,0$$

$$V_p = 22 \text{ kV}$$

Perhitungan diatas merupakan tegangan pengenalan yang umum digunakan, akan tetapi pada setiap pabrikan memiliki kekuatan maksimal tegangan pada setiap arrester yang diproduksi. Pada penelitian ini untuk mengetahui dampak fluktuasi terhadap arrester, perlu spesifikasi lapangan teknis dari arrester yang digunakan memiliki nilai tegangan kerja maksimum pada arrester yang digunakan pada penyulang Arjuna :



Gambar 3. Lightning arrester penyulang Arjuna

Dari gambar 3, tegangan kerja maksimum arrester : $V_{\text{arrester}} = 24 \text{ kV}$

Tegangan yang diterima Arrester (V_{received})

Tegangan maksimum yang diterima oleh arrester selama fluktuasi:

$$V_{\text{received}} = V_{\text{max}} = 22,23 \text{ kV}$$

Analisis Kinerja Arrester

Arrester berfungsi dengan baik jika tegangan maksimum yang diterima (V_{received}) tidak melebihi nilai V_{arrest}

$$V_{\text{received}} < V_{\text{arrest}}$$

$$22,23 \text{ kV} < 24 \text{ kV} \text{ (kinerja arrester dalam batas aman)}$$

Pada perhitungan diatas, diketahui bahwa fluktuasi tegangan mencapai 50,15 % dari tegangan nominal, namun masih dalam batas aman untuk arrester yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa arrester tetap berfungsi dengan baik meskipun terdapat fluktuasi tegangan, asalkan nilai maksimum tidak melebihi kapasitas arrester yaitu sebesar 24 kV.

Dari pembahasan diatas dapat diambil argument bahwa fluktuasi tegangan pada saluran distribusi tegangan menengah, khususnya di penyulang Arjuna dari Gardu Induk Talang Kelapa, merupakan fenomena yang dapat mengancam keandalan dan keamanan sistem distribusi kelistrikan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa fluktuasi tegangan pada saluran distribusi 20 kV di penyulang Arjuna dari Gardu Induk Talang Kelapa memiliki dampak signifikan terhadap keandalan dan keamanan sistem kelistrikan. Faktor penyebab fluktuasi, seperti perubahan beban mendadak dan insiden Black Out SUTT, berkontribusi pada ketidakstabilan tegangan yang dapat mencapai 50,15% dari tegangan nominal. Meskipun fluktuasi ini dapat menimbulkan risiko, analisis menunjukkan bahwa arrester yang terpasang masih berfungsi dalam batas aman, dengan tegangan maksimum yang diterima tidak melebihi kapasitasnya. Namun, penting untuk mengelola fluktuasi ini secara efektif, karena dampaknya yang berpotensi merusak peralatan listrik yang dilindungi. Penelitian ini menegaskan perlunya pemantauan berkelanjutan dan implementasi strategi mitigasi untuk menjaga keandalan sistem distribusi, serta memberikan rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut guna memahami pola fluktuasi dan meningkatkan perlindungan terhadap peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. E. Putra, Y. Riswanto, and A. Komaini, "Investigasi Overload Transformator Distribusi 20 KV Diunit Layanan Pelanggan Pangkalan Balai PT. PLN (Persero)," *Semin. Nas. AVoER XIII*, pp. 378–383, 2021.
- [2] D. Septiani, Melti. Aribowo, "Analisis Pemasangan Arrester Pada jaringan SUTM P . Dewasa untuk Pengurangan Dampak Petir PT . PLN (Persero) UP3 CIKUPA," *Amplifier*, vol. 14, no. 2, pp. 120–124, 2024, doi: 10.33369/jamplifier.v14i2.37285.
- [3] D. Fauziah, M. W. Agustian, and N. Hariyanto, "Optimasi Tegangan Jatuh dan Rugi Daya pada Saluran Distribusi 20 KV ULP Sukaraja," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 12, no. 1, p. 260, 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i1.260.
- [4] S. Harmono, R. Ilham Fauzi, T. Kurniawan, J. Zainal Abidin Pagar Alam No, L. Ratu, and B. Lampung, "Studi Pembangunan Saluran Transmisi 150 Kv Kayu Agung-Gumawang Untuk Mengatasi Keandalan Sistem Kelistrikan Lampung," *J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 02, no. 1, pp. 28–36, 2021, [Online]. Available: <http://www.journal.uml.ac.id/jtr/article/view/401%0Ahttp://www.journal.uml.ac.id/jtr/article/download/401/282>
- [5] Almas.Syukri.Muliadi, "Analisis Pengaruh Pembebanan Lebih Pada Trafo Distribusi GH Krueng Cut Banda Aceh," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 6–10, 2024.
- [6] B. Utama and D. Suwarti, "Modelling Mitigasi Kebencanaan Black Out pada Kasus Paparan (Exposure) Medan Listrik SUTET-500 kV," *Pros. Nas. Rekayasa Teknol. Ind. dan Inf. XV Tahun 2020*, vol. 2020, pp. 75–89, 2020, [Online]. Available: <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/>
- [7] R. A. Yani, D. E. Putra, R. M. E. Suherman, and J. Ardian, "Penggunaan Arrester Sebagai Pengaman Gardu Distribusi 20 KV Use of Arrester as Security for 20 KV Distribution Substation on 160 KVA Transformer at Akasia Feeder," *AMPERE*, vol. 9, no. 2, pp. 141–149, 2024, doi: <http://doi.org/10.31851/ampere> Penggunaan.
- [8] M. F. Maskun, "Analisis perbandingan efektivitas penempatan Fuse Cut Out (FCO) terhadap Lightning Arrester (LA) pada gardu distribusi ULP Daya," *Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 416–420, 2023.

