

STUDI PENGARUH PEMASANGAN SISTEM COUNTERPOISE PADA LIGHTNING ARRESTER DI GARDU DISTRIBUSI BERBASIS SOFTWARE ETAP

IG Suputra Widharma¹, Putri Alit WS², DA Indah Cahya Dewi³, IM Sajayasa⁴

IN Sunaya⁵, IGN Sangka⁶, IGK Sri Budarsa⁷

¹²³⁴⁵⁶⁷Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

E-mail: suputra@pnb.ac.id, putrialit@pnb.ac.id, ayuindah@pnb.ac.id, msajayasa@pnb.ac.id, nengahsunaya@pnb.ac.id, kmgsangka@pnb.ac.id, sribudarsa@pnb.ac.id

Abstrak – Keandalan sistem distribusi tenaga listrik sangat diperlukan untuk menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik dari gardu induk sampai ke pelanggan melalui gardu distribusi. Ini terjadi karena lightning arrester yang mengalami kegagalan dalam menyalurkan tegangan impuls ke tanah karena resistansi pembumian yang cukup tinggi. Pada bagian ini transformator merupakan komponen terpenting dari gardu distribusi. Oleh sebab itu, transformator harus dilindungi oleh lightning arrester dengan nilai resistansi pembumian yang kecil yaitu $\leq 3 \Omega$. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil perhitungan counterpoise di Gardu Induk. Dalam menentukan efisiensi penyaluran daya listrik dipergunakan simulasi dengan memanfaatkan perangkat lunak ETAP sehingga diperoleh besarnya efisiensi penyaluran daya listrik pada gardu tersebut. Kualitas tegangan yang diamati di sisi beban dari penyulang yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan program ETAP diketahui sebesar 95,65%. Berdasarkan hasil pengujian ketiga konstruksi pembumian counterpoise untuk memperbaiki nilai resistansi pembumian lightning arrester, maka yang paling efektif dan tepat diimplementasikan di lapangan yaitu konstruksi III dengan hasil perhitungan counterpoise didapat hasil $2,5 \Omega$, sedangkan pengujian di lapangan diperoleh hasil $2,78 \Omega$ dengan persentase penurunan yaitu 87,96% dari resistansi awal sebesar $23,1 \Omega$. Memperhatikan hasil analisis dan kesimpulan, maka disarankan kepada pihak terkait agar melakukan kajian lebih mendalam untuk mendapatkan nilai yang lebih sesuai (actual). Analisis ini juga bisa menjadi bahan pertimbangan kepada pihak terkait untuk pengembangan jaringan ke depannya.

Kata kunci : Lightning Arrester; Pembumian; Counterpoise; Software ETAP.

Abstract - Reliability of the electric power distribution system is needed to keep the electrical energy can be distributed continuously from substation to the customer through the distribution substation. However, the distribution system often has disruption due to lightning surges striking distribution substation. The transformer is the most important component of the distribution substation. Therefore, the transformer must be protected by lightning arrester with a small earthing resistance value that is $\leq 3 \Omega$. This research aims to compare the results of the counterpoise calculation in the substation. To determine the efficiency of power distribution in the substation by using ETAP software, so that the efficiency of distribution in the substation can be found. Quality of voltage noticed at the load sector from the feeder that found from simulation result by using software ETAP, found electric power transmission is 95,65%. Based on the test results of the three counterpoise earthing constructions to repair the lightning arrester earthing resistance value, the most effective and appropriate implementation in the field is construction III with counterpoise calculation got value $2,5 \Omega$, while test result in the field got value $2,78 \Omega$ with percentage decrease is 87,96% from the initial resistance of $23,1 \Omega$. Considering to analysis result and conclusions, it's important inform for stakeholders who will using this data to do optimal study anymore to find actual value of distribution system reliability. This analysis results can be a good reference for stakeholders in their programs who want to improve the distribution network in the future.

Keyword : Lightning Arrester; Grounding; Counterpoise; ETAP Software.

PENDAHULUAN

Keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik sangat diperlukan untuk menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik dari gardu induk sampai ke pelanggan melalui gardu distribusi. Namun, pada kenyataannya sistem distribusi sering mengalami gangguan, salah satunya yaitu gangguan akibat surja petir yang menyambar gardu distribusi, dimana lightning arrester atau disingkat LA gagal menyalurkan tegangan impuls ke tanah karena resistansi pembumian yang cukup tinggi. Sambaran petir dapat merusak peralatan listrik yang diakibatkan oleh adanya gelombang amplitudo transien yang berjalan sepanjang jaringan dan tegangan yang tinggi dari sambaran petir. Sambaran petir dapat berupa sambaran langsung maupun tidak langsung yang bisa menyambar dari berbagai titik. Adapun komponen terpenting dari gardu distribusi adalah transformator, karena transformator terhubung dengan saluran udara 20 kV dan penempatannya berada pada tempat yang terbuka, sehingga pada transformator dapat terjadi gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir secara langsung atau sambaran petir tidak langsung (induksi).

Sambaran petir akan menghasilkan tegangan lebih yang tinggi melebihi kemampuan isolasi transformator sehingga dapat menyebabkan kerusakan isolasi yang fatal[1]. Oleh sebab itu, transformator harus dilindungi oleh lightning arrester dengan nilai resistansi pembumian yang kecil. Sistem pembumian pada jaringan distribusi digunakan sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi [2]. Sistem pembumian diharapkan memiliki nilai resistansi pembumian sekecil mungkin, agar tegangan lebih dapat disalurkan langsung ke tanah. Penyulang Panji sering mengalami gangguan akibat surja petir. Selama kurun waktu 2019 sampai dengan Februari 2021, pada Penyulang tersebut mengalami gangguan akibat surja petir sebanyak 7 kali. Ini menunjukkan bahwa sistem pembumian belum optimal menyalurkan tegangan impuls ke tanah yang diakibatkan oleh surja petir. Hal ini tentunya disebabkan karena nilai resistansi pembumian yang

kurang baik dan belum memenuhi standar. Dari beberapa data hasil pengukuran nilai resistansi pembumian lightning arrester pada Penyulang Panji, masih terdapat nilai resistansi pembumian yang lebih besar dari 3 Ω dan bahkan ada yang sampai 41 Ω . Nilai resistansi pembumian tersebut tentunya memerlukan upaya perbaikan, sehingga diperoleh nilai resistansi pembumian lightning arrester yang sesuai standar Instruksi Kerja Pembangunan Gardu Distribusi Unit Induk Distribusi Bali yaitu $\leq 3 \Omega$.

METODE

Dengan maksud dan tujuan ingin mengetahui kondisi terkini dari gardu khususnya berkenaan dengan efisiensi penyaluran daya listrik dan kualitas tegangan yang disalurkan. Penyulang tersebut sering mengalami gangguan akibat surja petir. Selama kurun waktu 2019 sampai dengan Februari 2021, pada Penyulang tersebut mengalami gangguan akibat surja petir sebanyak 7 kali. Ini menunjukkan bahwa sistem pembumian belum optimal menyalurkan tegangan impuls ke tanah yang diakibatkan oleh surja petir. Hal ini tentunya disebabkan karena nilai resistansi pembumian yang kurang baik dan belum memenuhi standar.

Dari beberapa data hasil pengukuran nilai resistansi pembumian lightning arrester pada Penyulang tersebut, masih terdapat nilai resistansi pembumian yang lebih besar dari 3 Ω dan bahkan ada yang sampai 41 Ω . Nilai resistansi pembumian tersebut tentunya memerlukan upaya perbaikan, sehingga diperoleh nilai resistansi pembumian lightning arrester yang sesuai standar Instruksi Kerja Pembangunan Gardu Distribusi Unit Induk Distribusi Bali yaitu $\leq 3 \Omega$ maka Penulis mencoba melakukan analisis jaringan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Adapun data-data yang digunakan dasar dalam simulasi sistem tersebut adalah bersumber dari Laporan Tahunan (*Annual Report*) dan data Penyulang, beserta data dari *Library* ETAP. Di mana hasil simulasi melalui respon sistem

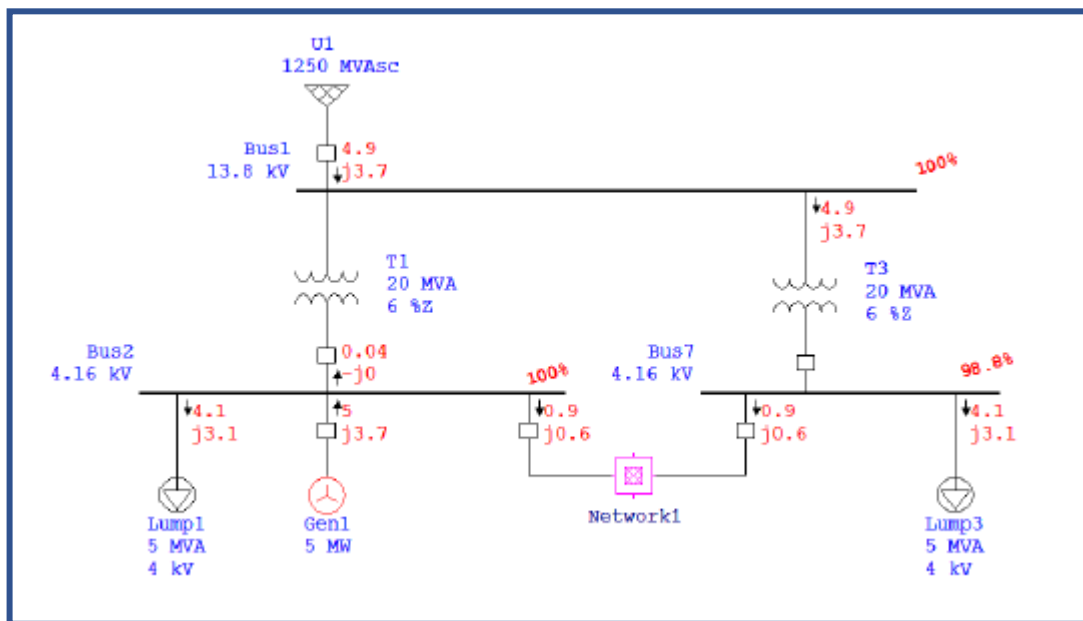
yang ditunjukkan ETAP akan dilakukan perhitungan serta dianalisis terhadap besaran efisiensi penyaluran daya listrik, begitu juga akan dihitung dan dianalisis terhadap kualitas tegangan di sisi ujung beban Penyulang tersebut. Dalam melakukan analisis, Penulis menggunakan metode kuantitatif dan komparatif, di mana hasil analisis terhadap dua kondisi Penyulang tersebut akan dibandingkan dengan SPLN no. 72 Tahun 1987.

HASIL DAN PEMBAHASAN

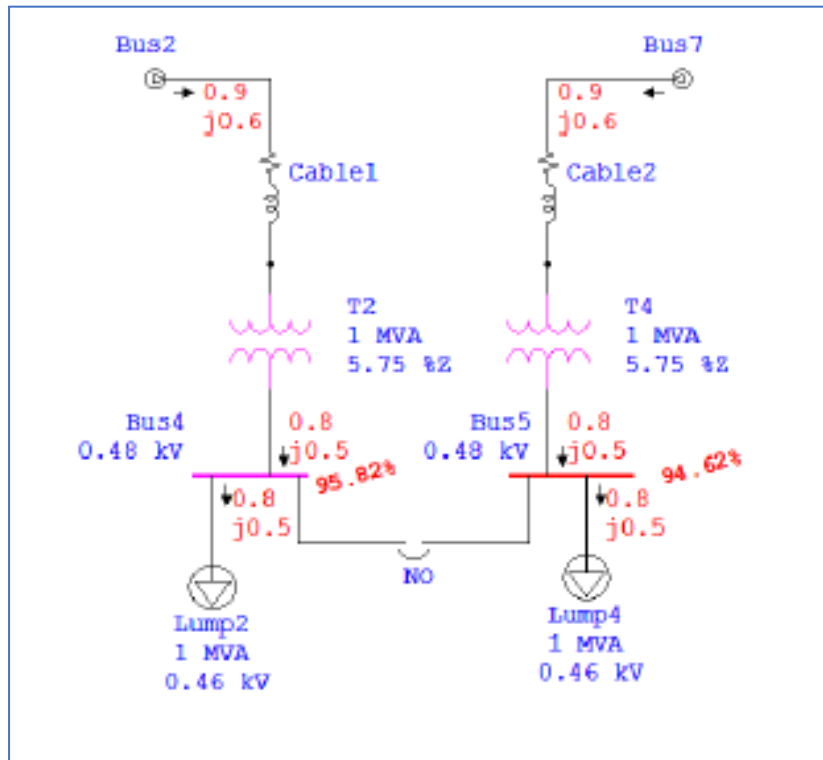
Berikut merupakan gambar *single line diagram* yang menggambarkan sistem kelistrikan dalam kondisi *existing*, mulai dari sumber daya yang mensuplai unit transformator distribusi seperti ditunjukkan gambar 1 di bawah.

Adapun tujuan yang ingin dicapai oleh penulis dari penelitian ini adalah untuk mengetahui

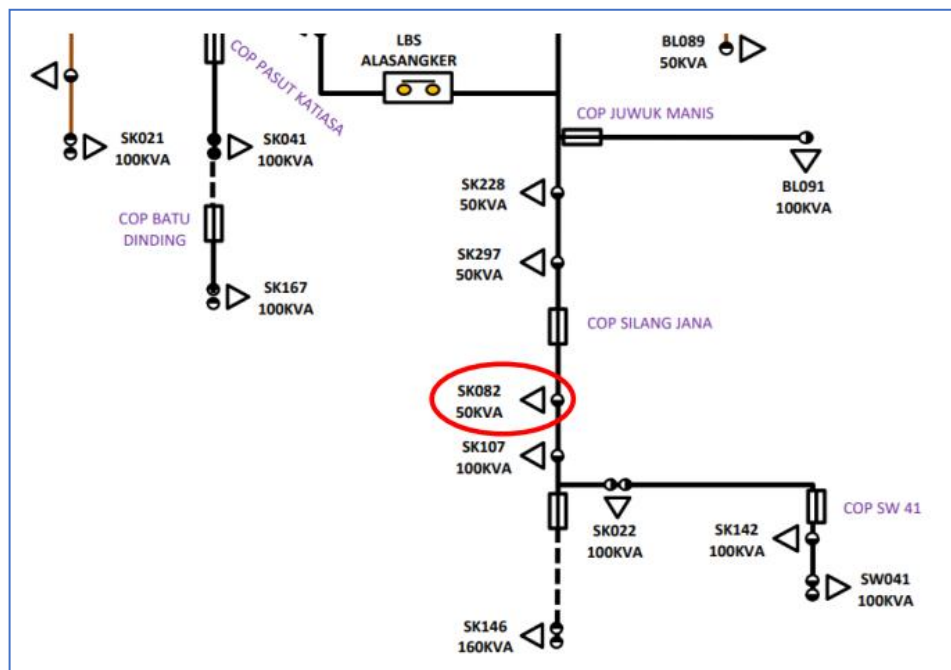
perbandingan hasil pengukuran resistansi counterpoise di Penyulang tersebut, mengetahui perbandingan hasil perhitungan counterpoise dengan hasil pengujian di lapangan, untuk mengetahui efisiensi penyaluran daya listrik di Penyulang tersebut. Langkah awal yang perlu dilakukan adalah membuat diagram satu garis (*single line diagram*) dan kemudian meng-*input* data teknik masing-masing peralatan listrik pendukung sistem. Setelah semua data-data teknik yang diperlukan di-*input* dan di-*setting* sesuai kebutuhan, selanjutnya ETAP di-*run* melalui *Run Load Flow Analysis*. Berikut gambar *single line diagram* yang ditampilkan pada ETAP berturut-turut seperti gambar 2 dan gambar 3. Sedangkan cuplikan respon hasil simulasi ETAP seperti ditunjukkan gambar 4 di bawah.



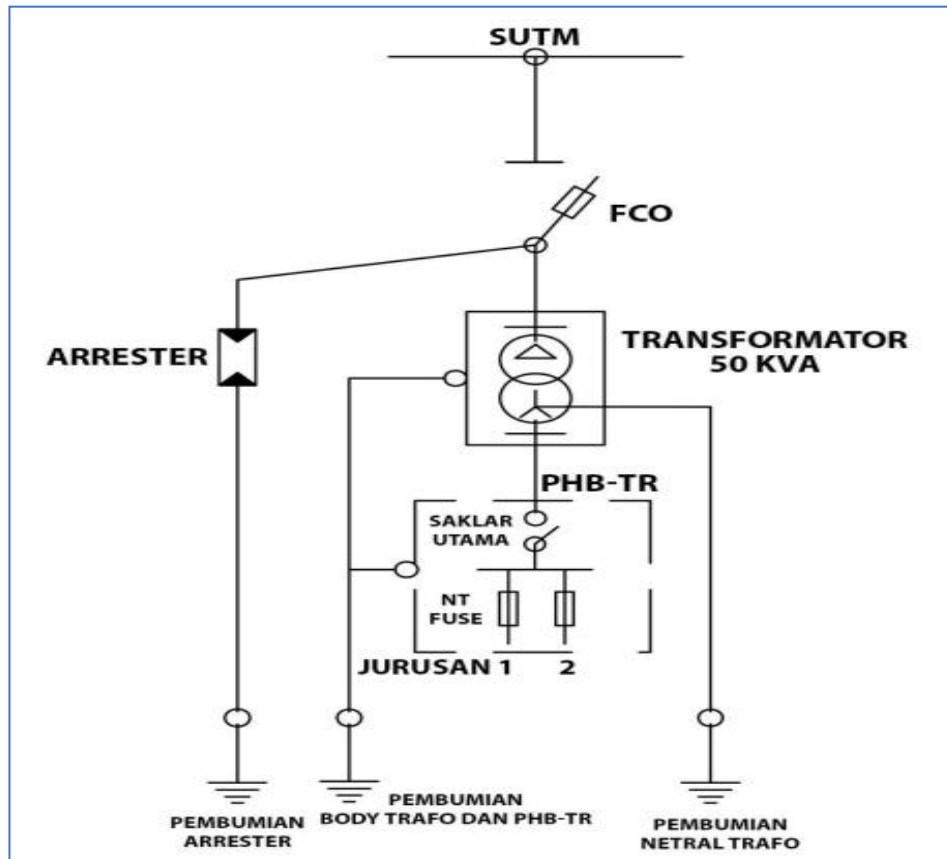
Gambar 1 Simulasi *Single Line Diagram* Penyulang dengan Software ETAP



Gambar 2. Simulasi Load Flow pada Penyulang menggunakan ETAP



Gambar 3. Simulasi Penyulang menggunakan ETAP



Gambar 4. Cuplikan respon hasil simulasi *load flow* menggunakan ETAP

Berdasarkan hasil perhitungan counterpoise, kemudian dibandingkan hasil perhitungannya dengan pengujian di lapangan, serta menentukan persentase penurunan.

Pekerjaan pemasangan counterpoise dilakukan di Gardu pada Penyulang Panji yang berlokasi di Desa Silangjana Utara. Dari pengamatan yang dilakukan di lapangan, saat pekerjaan pemasangan pembumian metode counterpoise dan wawancara dengan pengawas pekerjaan, proses pemasangan pembumian metode counterpoise untuk lightning arrester di Gardu SK 082 dilakukan hasil simulasi terhadap *load flow* penyulang dalam kondisi *existing* menggunakan perangkat lunak ETAP.

Pengujian sistem pembumian metode counterpoise untuk lightning arrester dengan membandingkan pembumian counterpoise telah dilakukan di wilayah kerja di Gardu SK 082 Penyulang.

$$R = \sqrt{r \cdot \rho} \cdot \text{Coth} (L \sqrt{r / \rho})$$

$$R = \sqrt{0,0004608 \times 100} \times \text{Coth}(40 \sqrt{0,0004608 / 100})$$

$$R = \sqrt{0,04608} \times \text{Coth}(40 \sqrt{0,000004608})$$

$$R = 0,2146625258 \times \text{Coth}(40 \times 0,0021466253)$$

$$R = 0,2146625258 \times \text{Coth}(0,0858650103)$$

$$R = 0,2146625258 \times 11,6747949947$$

$$R = 2,5061409822 \Omega$$

$$R = 2,51 \Omega \text{ (dibulatkan)}$$

Perbaikan nilai resistansi pembumian lightning arrester dilakukan dengan menerapkan ketiga konstruksi pembumian counterpoise secara bergantian. Dengan hasil perhitungan resistansi pembumian counterpoise (R) sebesar 2,51 ohm. Pada perhitungan persentase nilai resistansi pembumian dapat dihitung besarnya persentase yaitu sebagai berikut.

$$\text{Persentase penurunan} = \frac{\text{Nilai Sebelum} - \text{Nilai Setelah}}{\text{Nilai Sebelum}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase penurunan} = \frac{23,1 - 2,32}{23,1} \times 100\%$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh persentase adalah sebesar 89,96%.

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{5} + \frac{1}{5}$$

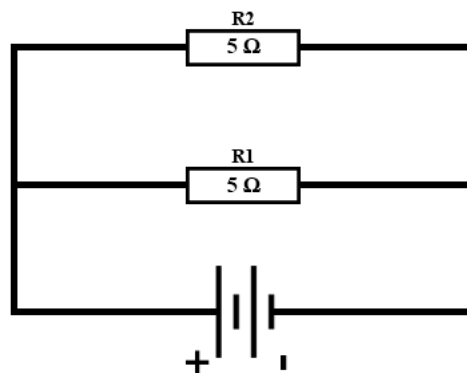
$$\frac{1}{R_p} = \frac{2}{5}$$

$$R_p = \frac{5}{2}$$

$$R_p = 2,5 \Omega$$

Berdasarkan hasil perhitungan counterpoise (R) konstruksi III untuk lightning arrester, diperoleh hasil resistansi pembumian lightning arrester dengan 2 elektrode masing-masing 10 meter di tingkat pertama yaitu 5 Ω . Kemudian ditambah 2 elektrode.

Konstruksi pembumian metode counterpoise yang paling efektif menurunkan nilai resistansi pembumian $\leq 3 \Omega$ yaitu konstruksi pembumian counterpoise 1 elektrode 40 meter dengan metode 1 tingkat dengan persentase penurunan sebesar 89,96%, tetapi di lapangan akan sangat sulit mengimplementasikan konstruksi tersebut karena membutuhkan lahan yang luas, sehingga yang paling tepat digunakan.



Gambar 5. Rangkaian Paralel Ekuivalen

Konstruksi pembumian counterpoise 4 elektrode 10 meter dengan metode 2 tingkat dirangkai paralel dengan persentase penurunan sebesar 87,96%.

Dari hasil perhitungan maupun hasil pengujian di lapangan diperoleh hasil resistansi pembumian lightning arrester metode counterpoise konstruksi III yaitu dengan perhitungan counterpoise serta perhitungan rangkaian paralel didapat hasil 2,5 Ω . Sedangkan hasil pengujian di lapangan setelah dilakukan perbaikan diperoleh hasil 2,78 Ω . Jadi, nilai resistansi hasil percobaan sedikit berbeda dengan hasil perhitungan.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis di atas, maka dapat disimpulkan dan sekaligus menjadi bahan pertimbangan kepada pihak terkait beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil pengujian konstruksi pembumian counterpoise 1 elektrode 40 meter dengan metode counterpoise diperoleh nilai resistansi sebesar 2,32 Ω , sehingga konstruksi counterpoise ini yang paling efektif menurunkan nilai resistansi pembumian $\leq 3 \Omega$ dengan persentase penurunan sebesar 87,96%.
2. Kualitas tegangan yang diamati di sisi beban dari Penyulang yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan program ETAP diketahui sebesar 95,65%.

3. Memperhatikan hasil analisis dan kesimpulan di atas, maka disarankan kepada pihak terkait agar melakukan kajian lebih mendalam untuk mendapatkan nilai yang lebih sesuai (*actual*). Analisis ini juga bisa menjadi bahan pertimbangan kepada pihak terkait untuk pengembangan jaringan ke depannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terpublikasinya artikel ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada redaktur Jurnal Vastuwidya dan pihak PT PLN (Persero) Distribusi Bali atas bantuan data pendukungnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Baykuni W.S. 2019. *Evaluasi Perhitungan Susut Daya Listrik Pada Jaringan Distribusi Penyulang JJR-7 Gardu Induk Jajar*. Sekrepsi diterbitkan. Univeristas Muhammadiyah Surakarta.
- Faridah. "Evaluasi Sistem Pembumian Penyulang Gontang Gardu Induk Tanjung Bunga Makasar." ILTEK, Volume 11, Nomor 02, Oktober 2016. ISSN: 1907- 0772.
- Laginda, Tumaliang dan Silimang. 2018. Perbaikan Kualitas Tegangan Pada Jaringan Distribusi Primer 20 KV Di Kota Tahuna. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. Vol 7, no 2. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Permana Kadek Adi. 2021. *Analisis Simulasi Perencanaan Rekonfigurasi Penyulang Ponjok Batu untuk Meningkatkan Efisiensi penyaluran daya listrik dan Kualitas Tegangan*. Tugas Akhir tidak diterbitkan. Politeknik Negeri Bali.
- Peukasa D. 2014. *Analisa Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi 20 kV Pada Feeder Syiah Kuala PT.PLN (Persero) UPT Tragi Banda Aceh*. Sekrepsi diterbitkan. Universitas Syiah Kuala.
- PT PLN (Persero). 1987. *SPLN 72: 1987 Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*. Jakarta Selatan.
- Shokooh Farrokh. 1986. *ETAP (Electric Transient and Analysis Program) software*. Irvin California.
- Sunaya, IN, IGS Widharma, IM Sajayasa. 2017. Analisis Posisi Recloser Terhadap Keandalan Kinerja Penyulang Sempidi Berbasis Software ETAP Power Sation. *Logic* vol 17 (3).
- Simon Patabang, Sistem Pentanahan, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Atma Jaya Makassar, 2016.
- Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014, Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, PT PLN (Persero), 2014
- Widharma, IGS, IN Sunaya, Arka, IGP, IM Sajayasa. 2017. Effect of using ground wire to lightning surge interference at 20 KV medium voltage distribution system based on genetics algorithm. *IRJEIS* vol 3 (3).
- Yosua Seto Dwi Nugroho, Proteksi Trafo Distribusi 20 kV terhadap Bahaya Sambaran Petir dengan Menggunakan Lightning Arrester di Gardu Distribusi MB 053 PT PLN (Persero) Rayon Tuban Jawa Timur, 2015.
- Yuntyansyah, Wibawa dan Utomo, 2015. Studi Perkiraan Susut Teknis dan Alternatif Perbaikan pada Penyulang Kayoman Gardu Induk Sukorejo. *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro*. Universitas Brawijaya Malang