Evaluasi Pemasangan Surge Arrester terhadap Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV di Penyulang Salassae

Risa Wahyu Guntoro, Nurmayanti Zain, Lompo Ramos Emakarim, Farhan Rezki Arifin, Ummu Khalsum, Muh. Irham M, dan Abdul Hakim Udin*

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Cokroaminoto Makassar

**Correspondent Author: nurmayanti.zain@ucm-si.ac.id*

***Abstract* — The electric power system requires reliable protection against overvoltage disturbances caused by lightning surges, particularly in 20 kV distribution networks with limited basic insulation levels. This study evaluates the insulation coordination and reliability of the 20 kV distribution network on the Salassae Feeder, ULP Tanete UP3 Bulukumba, following surge arrester installation. A quantitative descriptive method was employed using historical disturbance data from before installation (January-March 2026) and after installation (April-June 2026), along with technical data on arrester specifications and grounding systems. The results show that the required arrester rated voltage of 22.32 kV is met by the installed arrester (Ur 24 kV, Uc 19.2 kV, In 10 kA). However, the theoretical maximum separation distance of 8.7 meters yields only a 0% protection margin, necessitating an actual installation distance limited to a maximum of 5 meters to achieve a protection margin above 20%. The SAIFI index decreased from 6 to 3 times per customer and SAIDI from 10.72 to 3.28 minutes per customer per quarter, representing a 50% reduction in disturbance frequency and 69.40% reduction in outage duration. This study recommends improvements to arrester lead wire construction, grounding system enhancement, and limiting installation distance to a maximum of 5 meters from the protected transformer.**

***Keyword* — Distribution network, insulation coordination, lightning disturbance, reliability indices, surge arrester.**

Abstrak — Penelitian Sistem tenaga listrik memerlukan perlindungan yang andal terhadap gangguan tegangan lebih akibat surja petir, khususnya pada jaringan distribusi 20 kV dengan tingkat isolasi dasar terbatas. Penelitian ini mengevaluasi koordinasi isolasi dan keandalan jaringan distribusi 20 kV pada Penyulang Salassae, ULP Tanete UP3 Bulukumba, setelah pemasangan surge arrester. Metode deskriptif kuantitatif digunakan dengan data historis gangguan periode sebelum pemasangan (Januari--Maret 2026) dan sesudah pemasangan (April--Juni 2026), serta data teknis spesifikasi arrester dan sistem pentanahan. Hasil penelitian menunjukkan tegangan pengenal arrester yang dibutuhkan sebesar 22,32 kV telah terpenuhi oleh spesifikasi arrester terpasang (Ur 24 kV, Uc 19,2 kV, In 10 kA). Jarak pemisah maksimum teoretis 8,7 meter hanya menghasilkan margin proteksi 0%, sehingga jarak pemasangan aktual perlu dibatasi maksimal 5 meter agar margin proteksi >20%. Indeks SAIFI menurun dari 6 menjadi 3 kali per pelanggan dan SAIDI dari 10,72 menjadi 3,28 menit per pelanggan per triwulan, setara penurunan frekuensi gangguan 50% dan durasi pemadaman 69,40%. Penelitian ini merekomendasikan perbaikan konstruksi kawat penghubung arrester, perbaikan sistem pentanahan, serta pembatasan jarak pemasangan maksimal 5 meter dari transformator yang dilindungi.

Kata kunci — Gangguan petir, indeks keandalan, jaringan distribusi, koordinasi isolasi, surge arrester.

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan infrastruktur vital yang menopang berbagai sektor kehidupan modern. Jaringan distribusi 20 kV memegang peranan strategis sebagai penghubung antara gardu induk dengan konsumen akhir, sehingga keandalannya harus senantiasa dijaga untuk menjamin kontinuitas penyaluran energi listrik [1] [2].

Indonesia sebagai negara tropis memiliki tingkat aktivitas petir yang tinggi sepanjang tahun. Berdasarkan Peta Sambaran Petir *Total Cloud to Ground* yang dipublikasikan BMKG [3], wilayah Sulawesi Selatan, termasuk lokasi Penyulang Salassae, berada pada kategori aktivitas petir tertinggi. Kondisi ini menyebabkan jaringan SUTM 20 kV berisiko tinggi mengalami tegangan lebih akibat sambaran petir, baik secara langsung maupun melalui induksi elektromagnetik. Tegangan lebih yang melampaui tingkat isolasi dasar peralatan dapat menyebabkan kegagalan isolasi dan gangguan pemadaman.

Surge arrester merupakan perangkat proteksi yang berfungsi mengalirkan arus surja ke tanah dan membatasi tegangan lebih yang sampai ke peralatan [4]. Efektivitas perlindungannya sangat ditentukan oleh kesesuaian spesifikasi teknis, jarak pemasangan terhadap peralatan yang dilindungi, serta kualitas sistem pentanahan. Evaluasi terhadap ketiga aspek tersebut penting dilakukan untuk memastikan sistem proteksi bekerja optimal [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi koordinasi isolasi dan keandalan jaringan distribusi 20 kV pada Penyulang Salassae setelah pemasangan surge arrester. Fokus penelitian diarahkan pada dua hal utama: pertama, kesesuaian spesifikasi dan jarak pemasangan arrester berdasarkan perhitungan koordinasi isolasi; kedua, pengaruh pemasangan arrester terhadap indeks keandalan SAIFI dan SAIDI. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi masukan konstruktif bagi peningkatan keandalan sistem distribusi di masa mendatang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jaringan Distribusi 20 kV dan Gangguan Petir

Jaringan distribusi 20 kV berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Di Indonesia, konstruksi yang paling banyak digunakan adalah Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) yang memiliki risiko gangguan lebih tinggi akibat faktor cuaca, terutama sambaran petir [6].

Surja petir *(lightning surge)* merupakan tegangan lebih transien yang disebabkan oleh sambaran petir, baik langsung maupun tidak langsung. Tegangan ini dapat mencapai ratusan kilovolt dengan waktu muka gelombang dalam orde mikrodetik. Apabila melampaui tingkat ketahanan isolasi dasar *(Basic Insulation Level/BIL)* peralatan, dapat terjadi kegagalan isolasi yang berakibat pada kerusakan permanen transformator dan peralatan jaringan lainnya [7].

B. Surge Arrester dan Koordinasi Isolasi

Surge arrester adalah alat pelindung dari tegangan lebih transien. Pada kondisi normal, arrester bersifat isolator; ketika terjadi tegangan lebih yang melampaui tegangan kerjanya, *arrester* menjadi konduktif dan mengalirkan arus surja ke tanah, kemudian kembali ke kondisi isolasi normal setelah tegangan lebih hilang [8].

Parameter teknis utama dalam pemilihan arrester meliputi *rated voltage (Ur), continuous operating voltage (Uc), nominal discharge current (In),* dan tegangan pelepasan *arrester* (Ea). Tegangan pengenal *arrester* ditentukan oleh tegangan sistem dan faktor pentanahan, dengan persamaan:

$$Ur = Ce \times Vm \tag{1}$$

dimana Ce adalah faktor pentanahan sistem (0,93 untuk sistem pembumian resistensi rendah) dan Vm adalah tegangan tertinggi sistem (kV) [9].

Koordinasi isolasi memastikan tegangan pelepasan *arrester* selalu berada di bawah BIL peralatan yang dilindungi dengan margin proteksi yang memadai. Jarak pemisah maksimum antara arrester dan peralatan yang dilindungi merupakan faktor kritis, dihitung dengan persamaan [10]:

$$\text{Xmax} = \frac{(\text{BIL} - \text{Ea}) \times v}{2 \times A} \tag{2}$$

dimana Xmax adalah jarak maksimum (meter), BIL adalah tingkat isolasi dasar (125 kV untuk sistem 20 kV), Ea adalah tegangan pelepasan *arrester* (kV), A adalah kecuraman gelombang surja (kV/µs), dan v adalah kecepatan rambat gelombang (300 m/µs).

Tegangan surja yang sampai pada terminal transformator akibat jarak pemasangan aktual dihitung dengan:

$$\text{Et} = \text{Ea} + \frac{2 \times A \times X}{v} \tag{3}$$

dimana Et adalah tegangan surja pada terminal peralatan (kV), Ea adalah tegangan pelepasan *arrester* (kV), A adalah kecuraman gelombang surja (kV/µs), X adalah jarak aktual antara *arrester* dan peralatan yang dilindungi (m), dan v adalah kecepatan rambat gelombang (300 m/µs).

Margin proteksi dihitung dengan persamaan:

$$\text{PM} = \left(\frac{BIL}{Et} - 1\right) \times 100\% \tag{4}$$

dengan PM adalah protection margin atau margin proteksi (%), BIL adalah Basic Insulation Level peralatan (kV), dan Et adalah tegangan surja pada terminal peralatan (kV). Berdasarkan standar IEEE dan SPLN, koordinasi isolasi dinyatakan aman apabila PM > 20% [10][11].

C. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi diukur melalui indeks SAIFI dan SAIDI [12][13].

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} \tag{5}$$

dimana SAIFI adalah System Average Interruption Frequency Index atau indeks frekuensi pemadaman rata-rata sistem (kali/pelanggan), N_i adalah jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman (pelanggan), dan N_T adalah total jumlah pelanggan yang dilayani (pelanggan).

$$SAIDI = \frac{\sum(N_i \times t_i)}{N_T} \tag{6}$$

dimana SAIDI adalah System Average Interruption Duration Index atau indeks durasi pemadaman rata-rata sistem (menit/pelanggan atau jam/pelanggan), N_i adalah jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman (pelanggan), t_i adalah durasi pemadaman (menit atau jam), dan N_T adalah total jumlah pelanggan yang dilayani (pelanggan).

III. METODE PENELITIAN

A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif, yaitu pendekatan yang bertujuan untuk menggambarkan dan menganalisis suatu kondisi atau permasalahan berdasarkan data-data yang bersifat terukur. Pendekatan deskriptif dipilih untuk menggambarkan karakteristik dan pola gangguan pada Penyulang Salassae berdasarkan parameter kerja relai proteksi, jenis pemulihan, dan sifat gangguan sebelum dan sesudah pemasangan arrester. Sementara itu, pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang diperoleh berupa data numerik, baik spesifikasi teknis peralatan maupun data historis gangguan, yang kemudian diolah menggunakan persamaan-persamaan teknis untuk menghasilkan temuan yang objektif dan terukur [14]

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada jaringan distribusi 20 kV Penyulang Salassae yang berada dalam wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Tanete UP3 Bulukumba. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada tingginya frekuensi gangguan akibat petir di wilayah tersebut serta telah dilakukannya pemasangan *surge arrester* sebagai upaya peningkatan keandalan sistem.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data historis gangguan serta data teknis peralatan proteksi pada periode Januari hingga Juni 2026. Periode tersebut dipilih karena mencakup data sebelum pemasangan *surge arrester* (Januari-Maret 2026) dan data sesudah pemasangan (April-Juni 2026), sehingga memungkinkan dilakukannya analisis perbandingan yang valid.

C. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui empat teknik yang saling melengkapi. Pertama, studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai referensi seperti buku, jurnal ilmiah, standar teknis, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan surge arrester dan keandalan sistem distribusi. Studi ini bertujuan untuk memperoleh landasan teoretis yang kuat serta memastikan bahwa analisis yang dilakukan mengacu pada kaidah-kaidah teknis yang berlaku dan terkini.

Kedua, observasi lapangan dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap kondisi pemasangan surge arrester pada lokasi penelitian. Kegiatan ini mencakup pemeriksaan visual terhadap konstruksi kawat penghubung *(lead wire)*, pengukuran tahanan pentanahan menggunakan *earth tester*, serta dokumentasi kondisi fisik peralatan. Observasi ini penting untuk mengidentifikasi aspek-aspek teknis yang berpotensi dioptimalkan guna meningkatkan efektivitas proteksi.

Ketiga, wawancara dilakukan dengan petugas teknisi dan operator jaringan untuk memperoleh informasi tambahan yang tidak tercantum dalam data tertulis. Informasi yang digali meliputi riwayat gangguan di lapangan, pertimbangan teknis dalam pemasangan surge arrester, serta kendala-kendala operasional yang dihadapi selama pelaksanaan pemasangan dan pemeliharaan peralatan proteksi.

Keempat, dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder dari arsip-arsip resmi PT PLN (Persero) ULP Tanete. Data yang dikumpulkan meliputi spesifikasi teknis peralatan, catatan gangguan operasional (logsheet), Single Line Diagram jaringan, serta data jumlah pelanggan yang dilayani oleh Penyulang Salassae. Seluruh data yang terkumpul kemudian direkapitulasi dan disusun secara sistematis untuk memudahkan proses analisis.

C. Metode Analisis Data

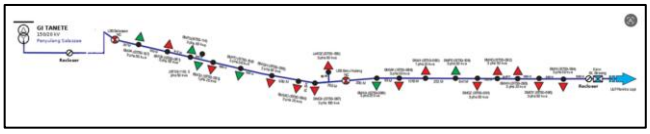
Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua tahap utama yang saling terkait. Tahap pertama adalah evaluasi koordinasi isolasi surge arrester yang meliputi perhitungan tegangan pengenal arrester menggunakan persamaan (1), perhitungan jarak pemisah maksimum menggunakan persamaan (2), serta perhitungan tegangan terminal dan margin proteksi menggunakan persamaan (3) dan (4) untuk berbagai skenario jarak pemasangan. Parameter yang digunakan dalam perhitungan ini mengacu pada standar SPLN D5.006:2013 dan data spesifikasi arrester yang terpasang di lapangan. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan standar yang berlaku untuk menilai tingkat kesesuaian dan mengidentifikasi aspek-aspek yang memerlukan optimasi.

Tahap kedua adalah analisis pengaruh pemasangan surge arrester terhadap keandalan jaringan. Kegiatan ini dimulai dengan rekapitulasi data gangguan sebelum dan sesudah pemasangan, dilanjutkan dengan perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI menggunakan persamaan (5) dan (6), serta diakhiri dengan perbandingan nilai kedua indeks untuk mengukur tingkat perbaikan keandalan yang dicapai. Seluruh perhitungan dilakukan secara cermat dan divertifikasi ulang untuk memastikan keakuratan hasil. Temuan dari kedua tahap analisis kemudian disintesis untuk merumuskan rekomendasi perbaikan yang konstruktif dan aplikatif bagi peningkatan keandalan sistem distribusi di masa mendatang.

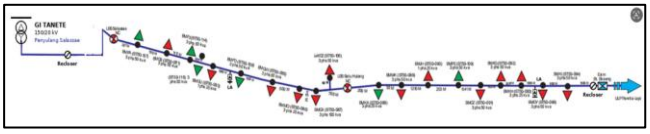
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Penyulang Salassae

Penyulang Salassae merupakan salah satu penyulang 20 kV yang disuplai dari Gardu Induk Tanete dan berada dalam wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Tanete UP3 Bulukumba. Penyulang ini dikonstruksi sebagai Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dengan pola operasi radial yang dilengkapi titik-titik manuver berupa LBS dan recloser, sehingga memungkinkan dilakukannya pemisahan seksi pada saat terjadi gangguan. Jumlah total pelanggan yang dilayani oleh Penyulang Salassae adalah 716 pelanggan. Berdasarkan riwayat lokasi gangguan dan keterangan penduduk setempat, pemasangan *surge arrester* dilakukan pada dua titik line jaringan 20 kV. Gambar 1 dan Gambar 2 masing-masing menyajikan Single Line Diagram (SLD) Penyulang Salassae sebelum dan sesudah pemasangan surge arrester.



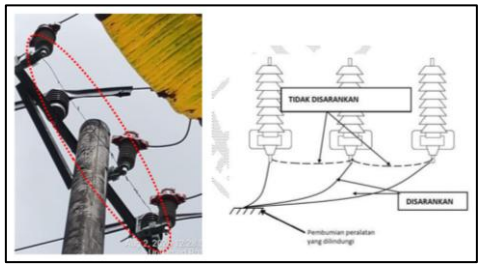
Gambar 1. SLD Sebelum Dipasang *Surge Arrester*



Gambar 2. SLD Setelah Dipasang *Surge Arrester*

B. Kondisi Eksisting Pemasangan Surge Arrester

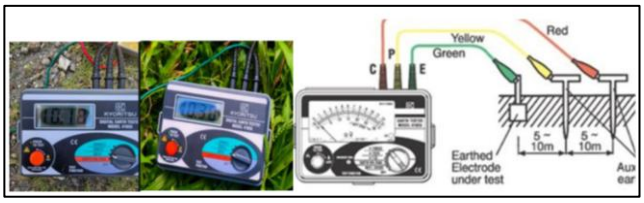
Berdasarkan hasil observasi lapangan dan pengukuran, teridentifikasi beberapa aspek konstruksi yang masih memerlukan penyesuaian guna menyelaraskan dengan rekomendasi teknis terkini dalam SPLN D5.006:2013. Gambar 3 memperlihatkan sambungan kawat penghubung pembumian surge arrester yang terpasang di lokasi penelitian.



Gambar 3. Sambungan Kawat Penghubung Pembumian

Konstruksi kawat penghubung *(lead wire)* dari *surge arrester* ke pembumian masih belum sepenuhnya ideal. Hal ini penting karena induktansi pada kawat penghubung dapat meningkatkan tegangan keluaran arrester [15], bahwa semakin panjang kawat penghubung, semakin besar jatuh tegangan induktif yang terjadi, sehingga tegangan total yang muncul pada peralatan yang dilindungi menjadi lebih tinggi.

Selain itu, hasil pengukuran tahanan pentanahan pada kedua titik lokasi pemasangan menunjukkan nilai yang masih berada di atas standar yang direkomendasikan. Berdasarkan SPLN D5.008-1:2020, nilai tahanan pentanahan maksimal adalah 5 Ω. Gambar 4 mendokumentasikan proses pengukuran tahanan pentanahan di lapangan.



Gambar 4. Pengukuran Tahanan Pentanahan

Hasil pengukuran menunjukkan nilai tahanan pentanahan sebesar 10,18 Ω pada titik pertama dan 10,30 Ω pada titik kedua. Tingginya nilai tahanan pentanahan di lokasi penelitian diduga kuat dipengaruhi oleh kondisi resistivitas tanah setempat serta keterbatasan akses untuk pemasangan elektroda pentanahan yang lebih dalam. Kondisi ini mengindikasikan adanya peluang peningkatan efektivitas penyaluran arus surja, sehingga perbaikan sistem pentanahan direkomendasikan untuk memastikan proteksi yang lebih optimal.

B. Karakteristik dan Pola Gangguan

Data gangguan Penyulang Salassae diperoleh dari catatan operasional *(logsheet)* PT PLN (Persero) ULP Tanete UP3 Bulukumba. Data dikelompokkan ke dalam dua periode, yaitu periode sebelum pemasangan *surge arrester* (Januari-Maret 2026) tampak pada Tabel 1 dan periode sesudah pemasangan *surge arrester* (April-Juni 2026) tampak pada Tabel 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Gangguan Penyulang Salassae Sebelum Pemasangan *Surge* Arrester

No	Tanggal	Penyulang	Relay	Beban Penyulang (A)	Beban Padam (A)	Jam Padam	Jam Nyala	Lama Padam (Jam)	ENS (kWh)	Jenis Gangguan	Penyebab Gangguan	Jumlah Pelanggan
1	07/02/2026	P_SALASAE	GFR	23	23	19:50:42	19:51:44	0.0172	13.71	TEMPORER	ALAM/PETIR	716
2	17/02/2026	P_SALASAE	GFR	28	28	20:05:03	20:06:27	0.0233	22.61	TEMPORER	ALAM/PETIR	716
3	21/02/2026	P_SALASAE	GFR	19	19	10:44:40	10:45:42	0.0172	11.32	TEMPORER	ALAM/PETIR	716
4	23/02/2026	P_SALASAE	GFR	30	30	21:00:44	21:03:44	0.0500	51.90	TEMPORER	ALAM/PETIR	716
5	08/03/2026	P_SALASAE	OCR	23	23	12:50:45	12:52:35	0.0306	24.32	TEMPORER	ALAM/PETIR	716
6	17/03/2026	P_SALASAE	OCR	20	20	13:29:59	13:32:24	0.0403	27.87	TEMPORER	ALAM/PETIR	716

Pada periode Januari-Maret 2026, tercatat 6 kejadian gangguan dengan total durasi pemadaman 10,72 menit dan total pelanggan terdampak 4.296 pelanggan.

Tabel 2. Rekapitulasi Gangguan Penyulang Salassae Setelah Pemasangan *Surge Arrester*

No	Tanggal	Penyulang	Relay	Beban Penyulang (A)	Beban Padam (A)	Jam Padam	Jam Nyala	Lama Padam (Jam)	ENS (kWh)	Jenis Gangguan	Penyebab Gangguan	Jumlah Pelanggan
1	27/06/2026	P_SALASAE	GFR	23	23	11:32:50	11:34:08	0.0206	14.94	TEMPORER	ALAM/PETIR	716
2	27/06/2026	P_SALASAE	GFR	19	19	13:16:25	13:17:55	0.0258	16.98	TEMPORER	ALAM/PETIR	716
3	30/06/2026	P_SALASAE	GFR	22	22	18:43:41	18:44:11	0.0083	6.34	TEMPORER	ALAM/PETIR	716

Pada periode April-Juni 2026, tercatat 3 kejadian gangguan dengan total durasi pemadaman 3,28 menit dan total pelanggan terdampak 2.148 pelanggan. Setelah pemasangan *surge arrester*, frekuensi kejadian menunjukkan penurunan yang signifikan.

Distribusi jenis relai proteksi yang bekerja pada kedua periode disajikan pada Tabel 3. Tampak bahwa gangguan pada Penyulang Salassae sangat didominasi oleh kerja relai *GFR (Ground Fault Relay)*, yaitu 66,66% pada periode sebelum pemasangan dan 100% pada periode sesudah pemasangan surge arrester. Dominasi kerja GFR mengindikasikan bahwa gangguan yang terjadi umumnya berupa gangguan satu fasa ke tanah. Pola ini konsisten dengan mekanisme gangguan akibat surja petir pada jaringan SUTM, di mana tegangan lebih transien menyebabkan flashover pada isolator menuju cross-arm dan tiang yang tertanahkan, sehingga terbentuk lintasan arus gangguan ke tanah dalam waktu yang sangat singkat

Tabel 3. Distribusi Relai Proteksi yang Bekerja

Jenis Relai	Sebelum (Kejadian)	Persentase	Sesudah (Kejadian)	Persentase
GFR	4	66.66 %	3	100 %
OCR	2	33.34 %	0	0 %
Total	6	100 %	3	100 %

Setelah dilakukan pemasangan surge arrester, baik frekuensi maupun durasi gangguan mengalami penurunan yang signifikan. Jumlah kejadian gangguan menurun sebesar 50% dari 6 kejadian menjadi 3 kejadian, sementara total

durasi pemadaman menurun sebesar 69,40% dari 10,72 menit menjadi 3,28 menit. Capaian ini menunjukkan bahwa langkah proteksi yang telah dilakukan oleh operator jaringan telah berhasil menekan frekuensi dan durasi gangguan akibat petir.

C. Evaluasi Kesesuaian Spesifikasi dan Penempatan Surge Arrester

Evaluasi kesesuaian surge arrester dilakukan melalui perhitungan tegangan pengenal, jarak pemisah maksimum, tegangan terminal, dan margin proteksi. Parameter yang digunakan dalam perhitungan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Perhitungan Evaluasi *Surge Arrester*

Parameter	Simbol	Nilai	Sumber / Acuan
Tegangan nominal sistem	V	20 kV	Data sistem
Tegangan tertinggi sistem	Vm	24 kV	SPLN T6.001:2013
Faktor pentanahan	Ce	0,93	SPLN D5.006 : 2013 sistem pembumian resisten rendah (*non efektif*)
Tingkat isolasi dasar trafo	BIL	125 kV	SPLN D5.006 : 2013
Tegangan pelepasan arrester	Ea	67 kV	SPLN D5.006 : 2013
Kecuraman gelombang surja	A	1.000 kV/µs	SPLN D5.006 : 2013
Kecepatan rambat gelombang	v	300 m/µs	Saluran udara

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (1), tegangan pengenal arrester yang dibutuhkan adalah 22,32 kV. Spesifikasi arrester terpasang (Ur 24 kV, Uc 19,2 kV, In 10 kA) telah memenuhi persyaratan minimum untuk sistem 20 kV dengan pembumian resistensi rendah.

Evaluasi jarak pemisah maksimum antara surge arrester dan transformator yang dilindungi dihitung menggunakan persamaan (2) dengan parameter BIL 125 kV, tegangan pelepasan arrester (Ea) 67 kV, kecuraman gelombang 1.000 kV/µs, dan kecepatan rambat 300 m/µs. Hasil perhitungan menunjukkan jarak pemisah maksimum teoretis sebesar 8,7 meter. Namun, pada jarak tersebut tegangan surja yang sampai ke transformator tepat sama dengan BIL transformator (125 kV), sehingga margin proteksi yang dihasilkan adalah 0%.

Untuk memenuhi kriteria margin proteksi >20% sesuai standar IEEE dan SPLN, jarak pemasangan aktual perlu dibatasi tidak lebih dari 5 meter dari terminal transformator, yang mampu menghasilkan margin proteksi 24,6%. Hasil perhitungan untuk berbagai variasi jarak disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Margin Proteksi pada Berbagai Jarak

Jarak Pemasangan (X)	Tegangan Terminal (Et)	Margin Proteksi (PM)	Keterangan
8,7 m	125,0 kV	0%	Batas maksimum teoretis
5,0 m	100,3 kV	24,6%	Memenuhi syarat (>20%)
2,0 m	80,3 kV	55,7%	Sangat baik

Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun spesifikasi tegangan arrester telah sesuai, jarak pemasangan aktual perlu dioptimalkan untuk memberikan ruang aman yang memadai. Selain itu, hasil pengukuran tahanan pentanahan pada dua titik pemasangan menunjukkan nilai di atas standar 5 Ω, sehingga sistem pentanahan juga direkomendasikan untuk diperbaiki guna memastikan efektivitas penyaluran arus surja ke tanah.

D. Perhitungan dan Perbandingan Indeks SAIFI dan SAIDI

Perhitungan indeks keandalan mengacu pada IEEE Std 1366 dan SPLN 68-2:1986 dengan persamaan (5) dan (6). Jumlah total pelanggan yang dilayani Penyulang Salassae adalah 716 pelanggan.

Pada periode sebelum pemasangan berdasarkan data pada Tabel 1, perhitungan menghasilkan:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} = \frac{4.296}{716} = 6\ kali\ per\ pelanggan$$

$$SAIDI = \frac{\sum(N_i \times t_i)}{N_T} = \frac{127{,}8776}{716} = 0{,}1786\ jam$$

$$SAIDI = 10{,}72\ menit\ per\ pelanggan$$

Pada periode sesudah pemasangan, berdasarkan data pada Tabel 2, perhitungan menghasilkan:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} = \frac{2.148}{716} = 3\ kali\ per\ pelanggan$$

$$SAIDI = \frac{\sum(N_i \times t_i)}{N_T} = \frac{39{,}1652}{716} = 0{,}0547\ jam$$

$$SAIDI = 3{,}28\ menit\ per\ pelanggan$$

Hasil perhitungan menunjukkan adanya perbaikan tingkat keandalan penyaluran tenaga listrik pada Penyulang Salassae setelah pemasangan surge arrester. Indeks SAIFI mengalami penurunan sebesar 50% dari 6 menjadi 3 kali per pelanggan, sementara indeks SAIDI mengalami penurunan sebesar 69,40% dari 10,72 menjadi 3,28 menit per pelanggan. Angka SAIFI dan SAIDI pada perhitungan ini merupakan indeks keandalan triwulan (3 bulan), bukan nilai tahunan.

Penurunan indeks SAIFI dan SAIDI yang signifikan ini mengindikasikan bahwa pemasangan surge arrester telah memberikan kontribusi positif dalam mengurangi frekuensi dan durasi gangguan akibat petir pada Penyulang Salassae.

Pemasangan surge arrester merupakan salah satu langkah efektif untuk mempertahankan tingkat keandalan sistem distribusi [16].

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas jangka panjang pemasangan *surge arrester*, pemantauan indeks keandalan perlu dilanjutkan hingga mencakup minimal satu siklus musim penuh (12 bulan) agar pengaruh faktor musiman terhadap hasil evaluasi dapat dieliminasi.

D. Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, beberapa rekomendasi perbaikan dapat dirumuskan sebagai masukan bagi peningkatan keandalan sistem distribusi di masa mendatang.

Pertama, terkait penempatan dan jumlah surge arrester, untuk mengoptimalkan margin proteksi, jarak pemasangan surge arrester terhadap transformator direkomendasikan tidak melebihi 5 meter dari terminal transformator, sesuai hasil perhitungan margin proteksi. Seluruh konstruksi kawat penghubung pembumian perlu disesuaikan dengan rekomendasi teknis dalam SPLN D5.006:2013 untuk menghindari induktansi berlebih yang dapat meningkatkan tegangan keluaran arrester. Penambahan surge arrester juga direkomendasikan pada peralatan yang belum terproteksi, seperti sectionalizer dan transformator yang masih belum terpasang arrester, guna meningkatkan ketahanan sistem secara menyeluruh.

Kedua, terkait spesifikasi teknis, perlu dipastikan bahwa tegangan pelepasan (Ea) surge arrester yang dipilih menghasilkan margin proteksi lebih besar dari 20% pada jarak pemasangan aktual di lapangan. Pemilihan arrester dengan tegangan pelepasan yang lebih rendah akan memberikan margin proteksi yang lebih besar untuk jarak pemasangan yang sama.

Ketiga, sistem pentanahan dan pemeliharaan perlu mendapat perhatian khusus. Perbaikan tahanan pentanahan pada titik-titik pemasangan arrester direkomendasikan agar sesuai dengan standar yang berlaku (SPLN D5.008-1:2020), guna memastikan efektivitas penyaluran arus surja ke tanah. Pengukuran dan perbaikan tahanan pentanahan surge arrester perlu dilakukan secara berkala karena tahanan pentanahan yang tinggi akan menurunkan efektivitas penyaluran arus surja ke tanah dan meningkatkan tegangan pada terminal peralatan yang dilindungi. Inspeksi visual surge arrester secara berkala juga perlu dilakukan terhadap indikasi penurunan kinerja seperti retak pada housing, jejak flashover eksternal, dan bekerjanya disconnector.

Keempat, sistem pencatatan data perlu diperbaiki. Pemantauan indeks keandalan Penyulang Salassae direkomendasikan untuk dilanjutkan hingga mencakup minimal satu siklus musim penuh (12 bulan) setelah pemasangan surge arrester, agar pengaruh faktor musim terhadap hasil evaluasi dapat dieliminasi. Digitalisasi pencatatan data gangguan dan indeks keandalan juga disarankan untuk mendukung proses monitoring dan analisis yang lebih cepat, akurat, dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi operator jaringan dalam menyusun program pemeliharaan dan peningkatan keandalan sistem distribusi di masa mendatang, sebagai wujud komitmen bersama dalam memberikan pelayanan kelistrikan yang terbaik kepada masyarakat.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi koordinasi isolasi dan keandalan jaringan distribusi 20 kV pada Penyulang Salassae setelah pemasangan surge arrester. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesifikasi surge arrester terpasang (Ur 24 kV, Uc 19,2 kV, In 10 kA) telah memenuhi kebutuhan tegangan pengenal minimum sebesar 22,32 kV, namun berdasarkan perhitungan koordinasi isolasi, jarak pemisah maksimum teoretis 8,7 meter hanya menghasilkan margin proteksi 0%, sehingga jarak pemasangan aktual perlu dibatasi maksimal 5 meter dari terminal transformator untuk mencapai margin proteksi di atas 20%. Selain itu, sistem pentanahan pada dua titik pemasangan masih memerlukan optimasi karena nilai tahanan terukur berada di atas standar 5 Ω, yang berpotensi menurunkan efektivitas penyaluran arus surja ke tanah. Pemasangan surge arrester terbukti memberikan kontribusi positif terhadap keandalan jaringan, ditunjukkan oleh penurunan indeks SAIFI sebesar 50% (dari 6 menjadi 3 kali per pelanggan per triwulan) dan SAIDI sebesar 69,40% (dari 10,72 menjadi 3,28 menit per pelanggan per triwulan). Dengan demikian, optimasi jarak pemasangan, perbaikan sistem pentanahan, serta penambahan titik proteksi pada peralatan yang belum terlindungi direkomendasikan untuk menjaga keberlanjutan peningkatan keandalan sistem distribusi di masa mendatang, sebagai wujud komitmen bersama dalam memberikan pelayanan kelistrikan yang andal kepada masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) ULP Tanete UP3 Bulukumba yang telah memberikan izin, akses data, dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian di lapangan.

DAFTAR ACUAN

[1] R. Adawiyah and H. Amri, “Analisa indeks keandalan pelayanan sistem distribusi tenaga listrik 20 kV berdasarkan SAIFI pada PT PLN (Persero) ULP Bengkalis,” *INOVTEK – Seri Elektro*, 2025.

[2] T. Sitompul and Zulkifli, “Analisa keandalan sistem distribusi 20 kV penyulang Bandung jurusan Sei Alam menggunakan

metode SAIDI pada PT PLN (Persero) ULP Bengkalis," *INOVTEK – Seri Elektro*, 2025.
[3] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), "Informasi sambaran petir bulan Januari 2026," *Peta Sambaran Petir*, Jan. 2026.
[4] J. Wańkowicz, H. Śmietanka, P. Ranachowski, Z. Ranachowski, S. Kúdela, and M. Aleksiejuk, "Comparative studies on degradation of varistors subjected to operation in surge arresters and surge arrester counters," *Archives of Metallurgy and Materials*, 2023.
[5] B. S. Ibrahim, D. M. Soomro, S. Sundarajoo, and M. N. A. Tahrir, "Lightning and surge arrester simulation in power distribution system," *2023 IEEE 8th Int. Conf. Eng. Technol. Appl. Sci. (ICETAS)*, pp. 1–4, 2023.
[6] PT PLN (Persero), *Konstruksi Distribusi Jaringan Tegangan Menengah*, SPLN D5.008-1, Jakarta Selatan, Indonesia, 2020.
[7] D. L. Aguirre, J. M. Bermeo, F. Q. Palomeque, and M. Quizhpi-Cuesta, "Voltage doubler circuit for the generation of basic insulation level impulses up to 200 kV," 2025 Interdisciplinary Conf. Electrics Comput. (INTCEC), pp. 1–6, 2025.
[8] IEEE Std. C62.82.1-2010, *IEEE Standard for Insulation Coordination—Definitions, Principles, and Rules*. New York, NY, USA: IEEE, 2010.
[9] PT PLN (Persero), *Tegangan-Tegangan Standar*, SPLN T6.001:2013, Jakarta Selatan, Indonesia, 2013.
[10] PT PLN (Persero), *Pedoman Pemilihan Arrester untuk Jaringan Distribusi 20 kV*, SPLN D5.006:2013, Jakarta Selatan, Indonesia, 2013.
[11] IEEE Std. 1366-2003, *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. New York, NY, USA: IEEE, 2003.
[12] PT PLN (Persero), *Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik, Bagian Dua: Sistem Distribusi*, SPLN 68-2:1986, Jakarta, Indonesia, 1986.
[13] A. K. Fajri, L. Al-Huda, N. J. Al Fama, and B. Evan, "Evaluasi keandalan sistem distribusi 20 kV pada gardu induk 150 kV Bantul berdasarkan indeks SAIFI, SAIDI, dan CAIDI berbasis Matlab GUI," *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 12, no. 2, pp. 204–217, 2026.
[14] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2017.
[15] Novizon, T. U. Septiyeni, and S. Wulandari, "Effect of surge arrester lead length on 20kV distribution transformer protection," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2592, no. 1, p. 060002, 2023.
[16] A. Gholami, M. Khodsuz, and V. Mashayekhi, "The lightning protection assessment of distribution lines with considering frequency grounding system," *Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 191–205, 2025.