



Studi Analisis Karakteristik Tingkat Polusi pada Penggunaan Insulator di Proyek SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro

Ade Septia Putra*, Andri Cahyo Kumoro, Ferry Hermawan

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*)Corresponding author: ade.septia@plne.co.id

(Received: January 29, 2025; Accepted: March 27, 2025)

Abstract

Analysis Study of Pollution Level Characteristics on Insulator Use in the 500 kV Paiton-Kalipuro SUTET Project. This study aims to determine the type and specifications of insulators suitable for the 500 kV Paiton-Kalipuro SUTET transmission line, taking into account environmental conditions and pollution levels in the area. This transmission line is 147.78 km long with 337 towers crossing various areas, including beaches, roads, rivers, railways and existing transmission networks. Based on the high level of pollution (*Very Heavy*), an insulator with a minimum creepage distance of 17,050 mm is required. Calculations show the need for 33 ceramic insulator plates of type U 210 BP or U 160 BLP, according to the SPLN T3.008-1:2021 standard. In addition, the study also evaluated the potential use of polymer insulators, which have advantages such as minimal maintenance, resistance to corrosion and high ability to withstand flashovers, making them suitable for use in highly polluted coastal areas. The results of this study provide recommendations for optimal insulator specifications to improve the reliability and operational efficiency of the 500 kV Paiton-Kalipuro SUTET transmission line.

Keywords: insulator, pollution, 500 kV SUTET

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis dan spesifikasi insulator yang sesuai untuk jalur transmisi SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro, dengan memperhatikan kondisi lingkungan dan tingkat polusi di area tersebut. Jalur transmisi ini memiliki panjang 147,78 km dengan 337 tower yang melintasi berbagai area, termasuk pantai, jalan, sungai, rel kereta api dan jaringan transmisi eksisting. Berdasarkan tingkat polusi yang tinggi (*Very Heavy*), diperlukan insulator dengan *creepage distance* minimum sebesar 17.050 mm. Perhitungan menunjukkan kebutuhan sebanyak 33 piringan insulator keramik tipe U 210 BP atau U 160 BLP, sesuai standar SPLN T3.008-1:2021. Selain itu, penelitian juga mengevaluasi potensi penggunaan insulator polimer, yang memiliki keunggulan seperti perawatan minimal, ketahanan terhadap korosi dan kemampuan tinggi menghadapi *flashover*, sehingga cocok digunakan di area pesisir yang berpolusi tinggi. Hasil penelitian ini memberikan rekomendasi spesifikasi insulator yang optimal untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional jalur transmisi SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro.

Kata kunci: insulator, polusi, SUTET 500 kV

How to Cite This Article: Putra, A. S., Kumoro, A. C., & Hermawan, F. (2025). Studi Analisis Karakteristik Tingkat Polusi pada Penggunaan Insulator di Proyek SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro. *JPII*, 3(1), 45-49. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2025.25735>

PENDAHULUAN

Insulator adalah media penyekat (umumnya terbuat dari porselen atau kaca) antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada pada fasilitas elektrik. Insulator berfungsi untuk mengisolir tegangan listrik antara kawat fasa (penghantar) dengan *tower* (tiang). Insulator terbagi atas beberapa jenis yaitu:

a. Menurut bentuknya

1. Piringan, yaitu insulator yang berbentuk piring, salah satu sisi dipasang semacam mangkuk logam dan sisi lainnya dipasang pasak. Antara pasak dengan mangkuk diisolasi dengan semen khusus. Ada 2 macam model sambungannya: *ball & socket*; *clevis & eye*. Pemasangan insulator jenis piring ini digandengkan dengan piringan lainnya. Jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan isolasi terhadap tegangan yang bekerja di transmisi tersebut. Jenis ini mempunyai fleksibilitas yang tinggi, karena bisa dipakai sebagai insulator gantung maupun insulator tarik



Gambar 1. Insulator piringan

2. *Long rod*, yaitu insulator yang berbentuk batang panjang, di kedua ujungnya dipasang sarana penghubung yang terbuat dari logam. Sirip-sirip insulator berada di antara kedua ujung tersebut. Insulator jenis ini dipakai sebagai insulator gantung.



Gambar 2. Insulator *long rod*

3. *Post* insulator adalah insulator berbentuk batang panjang, di kedua ujungnya dipasang sarana penghubung yang terbuat dari logam. Insulator ini dipakai sebagai insulator yang didudukkan.



Gambar 3. *Post* insulator

b. Menurut Bahannya

1. Keramik, mempunyai keunggulan tidak mudah pecah, tahan terhadap cuaca, harganya relatif mahal. Pada umumnya insulator menggunakan bahan ini.
2. Gelas/kaca, mempunyai kelemahan mudah pecah namun harganya murah. Digunakan hanya untuk insulator jenis piring. Sambungan insulator yaitu batang pasak dan mangkuknya terbuat dari logam digalvanis. Pada daerah yang banyak mengandung uap garam maupun zat kimia tertentu dapat membuat batang pasak karatan dan putus



Gambar 4. Insulator berbahan kaca

Polusi adalah pencemaran udara oleh partikel-partikel (polutan) yang memungkinkan terjadinya *flashover* pada insulator, seperti debu, unsur-unsur kimia, uap garam dan sebagainya. Setiap jenis material insulator yang akan dioperasikan pada transmisi SUTET 500 kV harus mampu bekerja dengan baik, terutama di bawah kondisi polusi terburuk. Kondisi polusi pada setiap kawasan yang dilintasi saluran transmisi berbeda, tergantung dari tingkat polusinya yang ditentukan berdasarkan ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) atau NSDD (*Non Soluble Deposit Density*) berkaitan dengan SPS (*Site Pollution Severity*).

Jarak rambat (*creepage*) spesifikasi insulator ditentukan sesuai dengan tingkat polusi, terutama polusi yang berat, seperti uap garam dan polutan yang berasal dari industri kimia. Polutan-polutan ini dapat menyebabkan terjadinya *flashover* pada insulator dan pada tingkat yang relatif ringan menyebabkan terjadinya arus bocor (*leakage current*). Berdasarkan IEC 60815-1 2008 tentang *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions Part 1: Definitions, information and general principles* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Tingkat polusi dan ciri-cirinya

Tingkat Polusi	Contoh Ciri-Ciri Lingkungan yang Khas
E1- <i>very light</i>	<ul style="list-style-type: none"> - > 50 kma dari laut, gurun, atau area kering terbuka. - > 10 km dari sumber polusi buatan manusia^b. <p>Dalam jarak yang lebih pendek dari sumber polusi yang disebutkan di atas, tetapi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Angin yang berlaku tidak langsung dari sumber polusi. - Dan/atau dengan pencucian akibat hujan bulanan secara teratur.
E2- <i>Light</i>	<ul style="list-style-type: none"> - 10-50 kma dari laut, gurun, atau area kering terbuka.

		<ul style="list-style-type: none"> - 5-10 km dari sumber polusi buatan manusia^b. <p>Dalam jarak yang lebih pendek dari sumber polusi yang disebutkan untuk level polusi sangat ringan, tetapi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Angin yang berlaku tidak langsung dari sumber polusi. - Dan/atau dengan pencucian akibat hujan bulanan secara teratur.
E3 dan E4	-	<ul style="list-style-type: none"> - 3-10 kmc dari laut, gurun, atau area kering terbuka.
<i>Medium</i>		<ul style="list-style-type: none"> - 1-5 km dari sumber polusi buatan manusia^b. <p>Dalam jarak yang lebih pendek dari sumber polusi yang disebutkan di atas, tetapi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Angin yang berlaku tidak langsung dari sumber polusi. - Dan/atau dengan pencucian akibat hujan bulanan secara teratur. <p>Lebih jauh dari pada sumber polusi, namun:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kabut tebal sering terjadi setelah musim kering polusi panjang terakumulasi. - Dan/atau hujan besar terjadi. - Dan/atau terdapat tingkat NSDD yang tinggi, di antara 5 dan 10 kali daripada ESDD.
E5 dan E6	-	<ul style="list-style-type: none"> - 1-3 kmc dari laut, gurun, atau area kering terbuka.
<i>Heavy</i>		<ul style="list-style-type: none"> - 1 km dari sumber polusi buatan manusia^b. <p>Dengan jarak yang lebih jauh dari sumber polusi pada E5, namun:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kabut tebal sering terjadi setelah musim polusi kering terakumulasi. - Dan/atau terdapat tingkat NSDD yang tinggi, di antara 5 dan 10 kali daripada ESDD.
E- <i>Very Heavy</i>		<p>Dalam jarak yang sama dari sumber polusi seperti yang dispesifikasikan pada area dengan tingkat polusi “berat” dan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Langsung terkena semprotan air laut atau kabut garam yang padat. - Atau langsung terkena kontaminan dengan konduktivitas yang tinggi, atau debu jenis semen dengan kepadatan tinggi, dan dengan sering terkena kabut atau gerimis. - Daerah gurun dengan akumulasi pasir dan garam yang tinggi, dan kondensasi yang rutin.

a. Pada kondisi badai, tingkat ESDD pada jarak dari laut dapat mencapai tingkat yang jauh lebih tinggi.

- b. Keberadaan kota besar akan berpengaruh pada jarak yang lebih jauh, yaitu jarak yang ditentukan untuk laut, gurun pasir dan area kering.
- c. Tergantung pada topografi wilayah pesisir dan intensitas angin.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan jenis dan spesifikasi insulator yang sesuai untuk jalur transmisi SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan dan tingkat polusi di area tersebut. Penelitian ini bertujuan memastikan bahwa insulator yang dipilih mampu memenuhi standar jarak rambat (*creepage distance*) untuk mencegah terjadinya *flashover* dan arus bocor akibat polusi, serta mendukung keandalan operasional sistem transmisi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan mengevaluasi penggunaan insulator keramik dan polimer dalam kondisi polusi tinggi, khususnya di area pesisir, untuk memberikan solusi optimal dalam memenuhi kebutuhan sistem transmisi di wilayah tersebut.

METODE PENELITIAN

Penentuan jenis insulator untuk jalur transmisi SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro dilakukan berdasarkan analisis data tingkat polusi di wilayah transmisi, sesuai standar IEC 60815-1:2008 dan SPLN T3.008-1:2021.

Perhitungan Jarak Lintasan Rambatan (*Creepage Distance*)

Panjang insulator dipengaruhi nilai jarak lintasan rambatan (*creepage distance*) dan impuls untuk level tegangan yang digunakan. Nilai *creepage distance* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

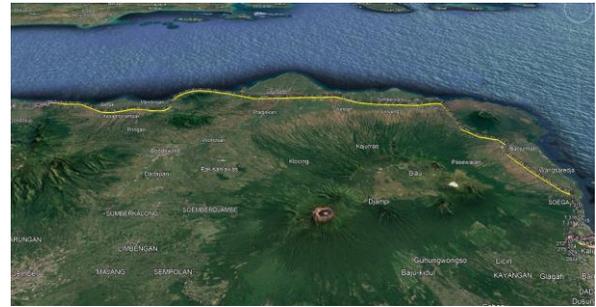
$$Creepage\ distance\ minimum\ (mm) = \frac{Tegangan\ maksimum\ sistem\ (highest\ voltage)\ (kV) \times Jarak\ rambat\ spesifik\ (mm/kV)}{1} \tag{1}$$

Tabel 2. *Creepage distance minimum*

Tegangan Nominal Sistem (kV)	Tegangan Maksimal Sistem (kV)	Tingkat Polusi	<i>Creepage Distance</i> total (mm)
500	550	Sangat Ringan	6985
		Ringan	8800
		Sedang	11000
		Berat	13750
		Sangat Berat	17050

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada lokasi yang ditinjau yaitu jalur Transmisi SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV Paiton-Kalipuro, lokasi jalur berada di sepanjang utara Pulau Jawa seperti terlihat pada peta jalur di bawah ini.



Gambar 5. Lokasi jalur SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro

Jalur transmisi SUTET 500 kV ditunjukkan oleh warna kuning. Total panjang jalur transmisi adalah 147,78 Kmr (Kilometer Route) dengan jumlah *tower* adalah 337 *tower*. Transmisi SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro berada di daerah pinggir pantai, jalan, sungai, rel kereta dan Jaringan Transmisi eksisting 150 kV.

Pengelompokan Jalur transmisi 500 kV SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro berada pada jalur:

- Radius > 3 km dari pantai : T.033-T.45, T.121-T.149, T.211-T.265
 - Radius < 3 km dari pantai : T.01-T.032, T.046-T.120, T.150-T.210, T.265-T.328.
 - Radius > 1 km dari sumber polusi manusia : -
 - Radius < 1 km dari sumber polusi manusia : -
- Mengacu pada data di atas dan juga keseragaman insulator, tingkat level polusi jalur transmisi 500 kV SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro berada pada level *Very Heavy*.

Perhitungan Diameter dan Jumlah Piringan

Berdasarkan Tabel 2, dapat ditentukan jumlah piringan/*disc* kebutuhan untuk suatu renceng insulator. Jumlah piringan insulator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Jumlah\ Piringan = \frac{Nilai\ Creepage\ Total}{Nilai\ Creepage\ per\ Piringan} \tag{2}$$

Sesuai dengan kebutuhan *creepage distance* dengan intensitas polusi level *E-Very Heavy* pada tegangan maksimum adalah sebesar 550 kV × 31 mm/kV = 17.050 mm. Jika menggunakan isolator dengan jenis U 210 BP dan U 160 BLP, maka sesuai SPLN T3.008-1:2021 tentang insulator keramik atau gelas tegangan tinggi/tegangan ekstra tinggi bagian 1: insulator renteng, *creepage distance* per-keping adalah 525 mm, sehingga untuk mencapai 17.050 mm dibutuhkan 33 keping.

Di pekerjaan ini juga mempertimbangkan penggunaan isolator polimer pada area sekitar pantai. Berdasarkan Studi Analisis Penggunaan Insulator Polimer di Indonesia, LAPI ITB 2019, performa yang baik dalam lingkungan berpolusi sehingga tidak memerlukan pencucian berkala (*maintenance free*), lebih tahan terhadap korosi pada bagian metal dan ketahanan

yang tinggi terhadap *flashover*, sehingga penggantian isolator polimer pun sangat jarang dilakukan. Inspeksi visual dari menara atau dari tanah masih dilakukan dengan frekuensi bervariasi setiap pengguna.

KESIMPULAN

Jalur transmisi SUTET 500 kV Paiton-Kalipuro memiliki panjang total 147,78 km dan terdiri dari 337 *tower*, yang melintasi berbagai area seperti pantai, jalan, sungai, rel kereta, serta jaringan transmisi eksisting 150 kV. Berdasarkan pengelompokan, jalur ini dibagi menjadi 2 kategori, yaitu yang berada di radius lebih dari 3 km dan kurang dari 3 km dari pantai, dengan tingkat polusi yang tergolong sangat tinggi (*Very Heavy*). Untuk memenuhi standar *creepage distance* pada jalur transmisi ini, diperlukan isolator dengan jumlah piringan sebanyak 33 keping, menggunakan jenis isolator U 210 BP dan U 160 BLP dengan *creepage distance* per piringan 525 mm, sesuai dengan standar SPLN T3.008-1:2021.

Selain isolator keramik, pertimbangan penggunaan isolator polimer di daerah pantai juga diungkapkan, mengingat isolator polimer memiliki keunggulan seperti perawatan yang minimal (*maintenance free*), ketahanan terhadap korosi dan ketahanan tinggi terhadap *flashover*. Dengan performa yang lebih baik dalam kondisi berpolusi, isolator polimer lebih cocok digunakan untuk area pesisir dan memerlukan penggantian yang lebih jarang dibandingkan isolator keramik.

DAFTAR PUSTAKA

- PT PLN (Persero). 1993. *SPLN 10.3B: 1993 Tingkat Intensitas Polusi Sehubungan dengan Pedoman Pemilihan Insulator*. PT PLN (Persero).
- PT PLN (Persero). 2021. *SPLN T3.008-1: 2001 Insulator Keramik atau Gelas Tegangan Tinggi/Tegangan Ekstra Tinggi Bagian 1: Insulator Renteng*. PT PLN (Persero).