

Pengaruh Efek Kontaminasi Isolator Keramik Terhadap Rugi Daya Saluran Udara Tegangan Tinggi

Ruwahjoto^{b)}, Dhimas Dhesah Kharisma^{*a)}, Tresna Umar Syamsuri^{a)}, Aly Imron^{b)}

(Artikel diterima: September 2023, direvisi: Oktober 2023)

Abstract: *In meeting consumers' needs for electric power continuously, the reliability of electric power distribution is something that needs to be considered. One of the reliability parameters is the network's ability to distribute power from generators continuously, with the allowable voltage and frequency quality. For this reason, the presence of an insulator in the power distribution system is very important considering its function is to separate live conductors from their supports. If the isolation properties do not function, a voltage failure will occur so that power distribution will stop, resulting in low system reliability. From the data from the calculation results of 150 kV high voltage overhead line power losses due to flashovers on insulators installed in each fouling area, it is clear that increasing the contaminant value will make it easier for flashovers to occur which cause very large power losses and conversely, insulators that are clean make it difficult. the occurrence of flashover so as to reduce power losses on the transmission line. The appropriate insulator to use is the fog type, because the diameter is wider, increasing the propagation distance so that the insulator's ability to withstand greater voltage*

Keywords: *Insulator, losses, contaminant*

1. Pendahuluan

Dalam memenuhi kebutuhan konsumen akan tenaga listrik secara terus menerus, keandalan penyaluran tenaga listrik merupakan hal yang perlu diperhatikan. Salah satu parameter keandalan adalah kemampuan jaringan dalam penyaluran daya dari pembangkit secara kontinyu, dengan kualitas tegangan dan frekuensi yang diijinkan. Untuk itu keberadaan isolator pada sistem penyaluran tenaga adalah sangat penting mengingat fungsinya untuk memisahkan konduktor yang bertegangan dengan penyangganya. Apabila sifat isolasi tersebut tidak berfungsi, maka akan terjadi kegagalan tegangan sehingga penyaluran tenaga akan terhenti yang berakibat keandalan sistem menjadi rendah. [1]

Karena isolator akan mengalami kondisi pengotoran, retakan atau pecah dan sebagainya, yang tergantung dari penempatannya, maka kondisi tersebut diperlukan penanganan khusus pada daerah dengan kondisi udara yang berbeda. Seperti daerah industri dengan kondisi udara yang berpolusi tinggi akibat dari pembuangan asap cerobong dan kendaraan bermotor serta letak geografis dekat pantai, dimana kondisi uap udara mengandung kadar garam yang cukup tinggi. [2]

Isolator yang terpasang pada saluran transmisi senantiasa terkontaminasi pada permukaannya. Komponen konduktif dan komponen tak larut yang dibawa oleh angin akan membentuk lapisan kontaminan pada permukaan isolator. Apabila isolator yang terkontaminasi berada di udara yang lembab atau berkabut, maka lapisan kontaminan akan menyerap uap air di sekitarnya. Pada saat butiran uap air meresap kedalam kontaminan maka sebagian terserap bahan tak larut dan sebagian larut bersama bahan kontaminan. Larutan kontaminan tersebut akan menghasilkan kenaikan volume larutan dan konduktifitas larutan. Jalur konduktif atau *dryband* yang dibentuk oleh lapisan kontaminan akan menyebabkan terjadinya arus bocor dari saluran ketanah. Jika arus

bocor pada isolator tersebut membesar karena adanya banjir elektron dan kemudian akan menghasilkan loncatan api (*flashover*) yang melintasi permukaan isolator. Arus bocor yang melalui lapisan kontaminan isolator tersebut, pada saluran yang bertegangan akan menyebabkan rugi daya listrik dengan adanya tahanan permukaan isolator terkontaminasi yang mempunyai nilai besar. [3]

2. Metode Penelitian

2.1 Macam-macam Isolator dan Penggunaannya

Isolator dalam sistem transmisi dapat dibedakan berdasarkan penggunaan dan konstruksinya. Ada empat jenis isolator yang umum digunakan:

1. Isolator Tipe Pasak (Pin Type): Digunakan pada saluran transmisi tegangan rendah (kurang dari 22-23 kV). Isolator ini memiliki konstruksi yang sederhana dan terbuat dari porselen.
2. Isolator Pos Saluran (Line Post): Seperti isolator tipe pasak, isolator ini juga digunakan pada saluran transmisi rendah. Mereka terbuat dari porselen dan dirancang untuk digunakan sendiri tanpa gandingan.

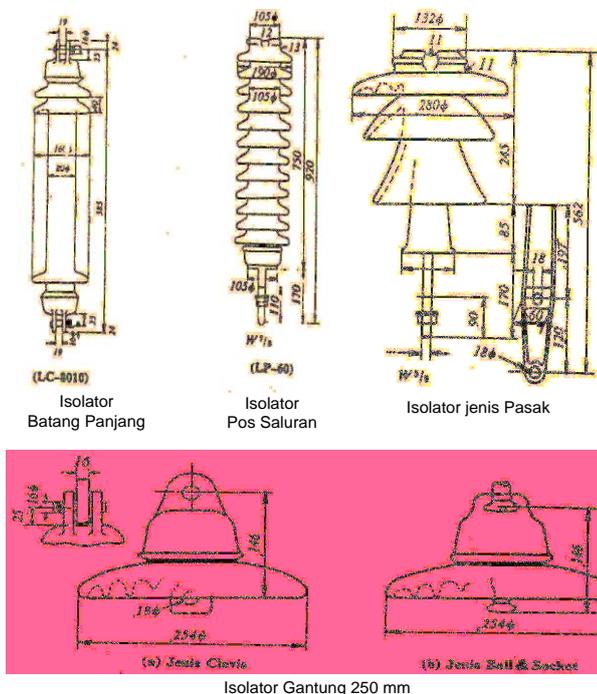
Sementara itu, isolator gantung dan isolator batang panjang lebih cocok untuk saluran transmisi tegangan tinggi. Keduanya digunakan di daerah-daerah di mana risiko pencemaran udara oleh garam dan debu tinggi.

1. Isolator Gantung (Suspension): Isolator gantung dapat ditemukan dalam dua varian, yakni clevis type dan ball-and-socket type. Mereka terbuat dari porselen dengan tutup besi tempaan di satu ujung dan pasak baja di ujung lainnya. Isolator gantung dapat digandeng-gandengkan sesuai dengan tingkat tegangan yang diperlukan. Ukuran yang umum termasuk piringan dengan berbagai diameter dan gaya mekanis yang bervariasi.
2. Isolator Batang Panjang (Long Rod): Jenis isolator ini memiliki sedikit bagian logam, sehingga tahan terhadap kerusakan. Konstruksi yang sederhana membuatnya mudah dibersihkan oleh hujan, sehingga cocok digunakan di daerah yang sering terkena garam dan debu.

* Korespondensi: dhimasdk@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Pemilihan jenis isolator didasarkan pada tegangan saluran transmisi dan kondisi lingkungan tempat isolator akan digunakan. Isolator tipe gantung dan batang panjang umumnya cocok untuk tegangan tinggi dan daerah berisiko pencemaran, sementara isolator tipe pasak dan line-post digunakan pada tegangan lebih rendah.



GAMBAR 2.1. MACAM-MACAM ISOLATOR KERAMIK

2.2 Kegagalan Isolator

Isolator, yang digunakan dalam waktu yang cukup lama, mengalami penurunan daya isolasi seiring waktu. Ini dapat disebabkan oleh sejumlah faktor, seperti retakan pada material porselen isolator. Proses ini dikenal sebagai pemburukan (deterioration) isolator. Pemburukan terutama disebabkan oleh perkembangan kimia dan pengembangan bahan semen. Penyebab utama pemburukan meliputi pengembangan panas yang berbeda di berbagai isolator, perkembangan panas akibat arus bocor, dan korosi pada bagian logam isolator.

Untuk mencegah pemburukan isolator, langkah-langkah berikut perlu diambil:

1. Meningkatkan kekuatan mekanis pada bagian porselen isolator.
2. Mengendalikan perkembangan kimia pada bagian semen isolator.
3. Melakukan pelapisan (buffer paint) pada bagian semen isolator.
4. Menghindari penggunaan semen di dalam lapisan porselen isolator.

Isolator tipe pasak (pin-type) lebih rentan terhadap proses pemburukan, dan ini sering kali menjadi penyebab gangguan pada saluran transmisi. Di sisi lain, isolator gantung, isolator long-rod, dan isolator line post jarang menyebabkan gangguan karena

pemburukan.

2.3 Karakteristik Isolator

Pada tiap-tiap daerah memiliki dua buah musim yaitu musim hujan dan musim panas. Penumpukan kontaminasi pada mulanya terjadi pada musim panas/kering. Kontaminasi dapat berupa debu, polusi kendaraan, asap-asap pabrik dan juga garam jika isolator tersebut dekat dengan pantai. Kemudian pada saat awal terjadinya hujan, tetesan-tetesan air hujan membentuk jalur lintasan arus listrik.

Dengan bertambahnya volume air hujan yang jatuh bersama kontaminan akan membentuk jalur/aliran listrik dari kawat bertegangan menuju tiang penyangga. Apabila hal tersebut terjadi maka akan menyebabkan terjadinya *flashover voltage*. [3]

Isolator jenis *Pin Post* memberikan alternatif yang lebih baik karena memiliki celah pemisah yang panjang dan dalam sehingga tidak dapat membentuk polusi air hujan dibandingkan dengan isolator jenis *Line Pos* (ANSI 57-2) memiliki celah pemisah yang dengan jarak yang pendek sehingga mempermudah pembentukan jalur aliran listrik melalui media kontaminan. [4], [5]

Pengujian dilakukan dengan penyiraman isolator yang diberi tegangan AC dengan kontaminasi air hujan buatan yang mengandung kadar garam. Terjadi lompatan api pada isolator *Line Pos* (ANSI 57-2) yang bisa disebabkan adanya jalur lintasan arus listrik yang mengalir dari kawat yang bewrtegangan menuju tiang penyangganya. Lompatan arus listrik (*flashover voltage*) menimbulkan bunga listrik yang dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi isolator, yang dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan ketahanan (*withsand*) isolator terhadap keadaan sesungguhnya dilapangan.

2.4 Gangguan Kerusakan Isolator

Isolator pada dasarnya memiliki batasan daya hantar listrik yang dinyatakan dalam bentuk resistansi jenis. Isolator yang terpasang di luar ruangan cenderung mengalami penurunan daya hantar karena terpengaruh oleh berbagai polutan udara, seperti debu, asap, garam laut, serta polusi yang dapat terjadi pada saat cuaca berubah dari basah ke kering. Polutan-polutan ini menempel pada permukaan isolator dan membentuk lapisan kontaminan, yang pada gilirannya dapat menghasilkan pita kering pada permukaan isolator. Ketika isolator menghadapi tekanan dari tegangan tinggi, hal ini dapat menyebabkan arus bocor dan bahkan terjadinya busur api pada permukaan isolator.

Beberapa faktor yang berkontribusi terhadap polusi yang merusak isolator tegangan menengah dan tinggi termasuk uap garam dari air laut, paparan sinar matahari, air hujan yang bisa menyebabkan korosi pada isolator, gas buang kendaraan (seperti CO), serta residu pembakaran sampah, dan lain sebagainya. Semua faktor ini dapat menyebabkan penurunan kualitas isolator, yang sebenarnya berfungsi sebagai alat isolasi pada saluran transmisi.

Kerusakan isolator ini berpotensi mengakibatkan kerugian daya pada saluran transmisi dan distribusi. Oleh karena itu, perlu melakukan analisis kerugian daya pada saluran transmisi, terutama yang terkait dengan kontaminasi isolator pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Nilai konduktivitas polutan di permukaan isolator akan berfluktuasi tergantung pada kondisi kelembaban.

Pengujian isolator dalam kondisi kering maupun basah dilakukan untuk menilai daya tahan isolasi pada tingkat gradien tegangan tertentu. Hal ini bertujuan untuk mencegah kegagalan isolasi yang dapat menyebabkan terjadinya lonjakan tegangan (flashover) dan arus bocor pada saluran transmisi.

TABEL 2.1. TINGKAT GANGGUAN KERUSAKAN ISOLATOR

Tahun	Isolator Rusak	Total Gangguan	%	MWH Tersalurkan	MWH Tak Tersalurkan Karena Isolator Rusak
2004	97	13.817	0,7020	8,541,60	59,9469
2003	91	12.474	0,7295	8,373,52	61,0863
2002	106	14.939	0,7096	8,673,90	61,5458
Rata-rata	95	13.799	0,6835	8.601,93	58,49828

Pada Tabel 2.1, merupakan salah satu data tingkat gangguan isolator dari tahun ke tahun. Tampak terlihat rata-rata daya yang tidak disalurkan sebesar 61,6 MW. Daya sebesar ini hilang akibat adanya kerusakan pada isolator tegangan tinggi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perbandingan Isolator Jenis Standar Dan Tipe Fog

Dari data PLN Divisi Engineering, Isolator SUTT memakai isolator jenis *suspension type ball* dan *socket*, dengan kekuatan tarik mekanik sebesar 11,340 kg untuk 150 kV dan isolator pendukung adalah jenis *long rod*.

TABEL 3.1 PERBANDINGAN ISOLATOR KERAMIK JENIS STANDAR & JENIS FOG

No.	Karakteristik			Jenis Isolator	
				Standart	Fog-type
				CA-515MC	CA-845EB
1.	Porcelain Disc Diameter (mm)			254	320
2.	Unit Spacing (mm)			146	170
3.	Creepage Distance (mm)			292	550
4.	Mechanical Failing Load (KN)			120	210
5.	Mechanical Routine Test Load (KN)			32	84
6.	Minimum Flashover	Low Frequency	Dry	80	100
			Wet	50	55
	Voltage (KV)	Impulse	Positive	125	150
			Negative	130	160
7.	Withstand Voltage (KV)	Low Frequency	Dry	65	90
			Wet	40	50
		Impulse	125	140	
8.	Berat (Kg)			4,5	12

Berdasarkan Tabel 3.1 diatas, kemampuan isolator jenis *fog-type* sesuai digunakan sebagai isolator untuk daerah berpolusi tinggi, karena hasil parameternya lebih baik dibandingkan dengan jenis standar, yaitu tegangan ketahanan impuls menunjukkan nilai 15 KV lebih tinggi, tegangan ketahanan frekuensi kerja keadaan basah 10 KV lebih tinggi, sebab di gunakan untuk keadaan kering 25 KV lebih tinggi.

Jika melihat alam atau petir di Jawa Timur, angka frekuensinya cukup tinggi, sebagai dasar lokasi untuk polusi kompleks, sebab terletak di daerah Surabaya yang secara geografis terletak di daerah tepi pantai. Memiliki tingkat hunian penduduk dan mobilitas yang tinggi, volume kendaraan sangat padat dan terdapat kawasan industri yang tersebar di wilayah Surabaya. Sehingga tingkat polusi dibandingkan dengan daerah yang lain lebih tinggi, maka kemungkinan terjadinya kegagalan

isolator menjadi cukup besar sehingga diperlukan isolator yang mampu menahan surya petir yang melewatinya. Untuk itu berdasarkan kemampuan ketahanan terhadap tegangan impuls dan kuat medan listrik, isolator jenis *fog-type* adalah alternatif yang lebih baik digunakan untuk kondisi Jawa Timur, khususnya pada daerah tepi pantai dan kawasan industri. Tidak semua daerah di Jawa Timur menggunakan isolator jenis *fog-type*, dilihat dari segi ekonomisnya isolator jenis *fog-type* membutuhkan biaya yang sangat mahal dibandingkan isolator jenis standar. Oleh sebab itu isolator jenis *fog-type* digunakan pada daerah dengan kontaminasi yang tinggi, sedangkan daerah dengan kontaminasi yang rendah cukup dengan menggunakan isolator jenis standar. [8], [9]

3.2 Kontaminasi Akibat Adanya Timbunan Kadar Garam (ESDD)

Adapun 4 lokasi yang dipilih dengan daerah lokasi yang berbeda-beda dan letak geografis di tepi laut, terdapat kawasan industri dengan hunian penduduk yang berbeda-beda juga. Lokasi yang terpilih adalah:

- Data GI Tandes
- Data GI Petro Kimia
- Data GI Tuban
- Data GI Tuban III

Dari keempat lokasi yang dipilih terdapat rata-rata ESDD (*equivalent salt deposit density*) yang berbeda-beda, hal ini sesuai dengan besarnya kontaminasi pada masing-masing daerah.

Adapun hasil untuk masing-masing wilayah adalah:

- Untuk Wilayah GI Tandes

TABEL 3.2 GI TANDES

Lokasi	Jl. Margo Mulyo 5, Surabaya.
Sektor	Surabaya
Jalur	GI. Tandes
Jenis Isolator	Fog Type (CA-845EB)
Nilai ESDD	0,321 (mg/cm ²)
Arus Beban	2580 Ampere

$$\begin{aligned}
 f(w) &= \frac{1}{0,45\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\log w - 0,08}{0,45} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{0,45\sqrt{2 \times 3,14}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\log 0,321 - \log 0,08}{0,45} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{0,45\sqrt{6,28}} \exp -0,899 \\
 &= 0,887^{-0,899} \\
 &= 1,11
 \end{aligned}$$

TABEL 3.3 GI PETRO KIMIA

Lokasi	Jl. Prof. M. Yamin, Gresik
Sektor	Surabaya
Jalur	GI. Petro Kimia
Jenis Isolator	Fog Type (CA-845EB)
Nilai ESDD	0,450 (mg/cm ²)
Arus Beban	740 Ampere

TABEL 3.4 GI TUBAN

Lokasi	Jl. Basuki Rachmat, Tuban
Sektor	Madiun
Jalur	GI. Tuban
Jenis Isolator	Fog Type (CA-845EB)
Nilai ESDD	0,900 (mg/cm ²)
Arus Beban	645 Ampere

TABEL 3.5 GI SEMEN TUBAN III

Lokasi	PT. Semen Gresik, Desa Sumber arum, Kerek, Tuban
Sektor	Surabaya
Jalur	GI. Petro Kmia
Jenis Isolator	Fog Type (CA-845EB)
Nilai ESDD	0,450 (mg/cm ²)
Arus Beban	740 Ampere

TABEL 3.6 HASIL KLASIFIKASI DAERAH PENGOTORAN

Lokasi	Nilai ESDD (mg/cm ²)	Besar Kepekatan Dari nilai ESDD	Klasifikasi Daerah Pengotoran
GI Tandes	0,321	1,11	Pengotoran Berat
GI Petro Kimia	0,450	1,18	Pengotoran Berat
GI Tuban	0,900	1,39	Pengotoran Berat
GI Semen Tuban III	0,500	1,27	Pengotoran Berat

Pada Tabel 3.6, besar nilai ESDD (timbunan kadar garam) terjadi pada gardu induk Tuban dengan nilai ESDD terkecil Gardu Induk Tandes. Hasil yang didapatkan bahwa semua gardu induk termasuk klasifikasi berat. Salah satu penyebab termasuk klasifikasi berat karena lokasi ke empat gardu induk tersebut berada di sekitar pantai utara jawa yang tingkat kadar garam daerah sekitar pantai sangat tinggi.

3.3 Kontaminasi Akibat Adanya Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Hubungan antara kelembaban Relatif (*Relative Humidity*) dengan terjadinya Tegangan Kritis (*Flashover Voltage*) sangat erat. Walaupun kelembaban relatif menyebabkan terjadinya pembahasan secara perlahan-lahan, dan jika diikuti oleh kontaminasi debu atau garam maka akan mempercepat terjadinya flashover. Kelembaban Relatif (*relative humidity*) nilainya cepat berubah-ubah setiap harinya. Oleh sebab itu dalam perhitungan ini dipergunakan nilai Kelembaban Relatif (*relative humidity*) rata-rata dalam satu tahun. Berdasarkan rumus akan diperoleh nilai

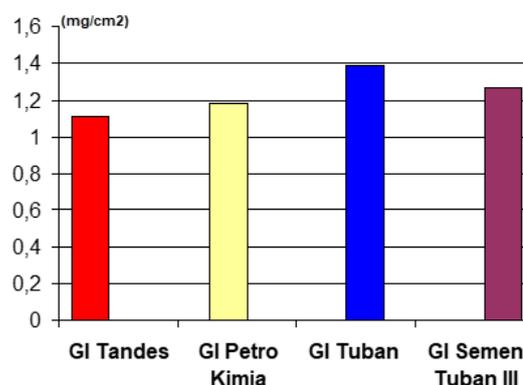
kepekatan dari Kelembaban Relatif (*relative humidity*) untuk kondisi iklim Jawa Timur:

$$RH(h) = \frac{1}{0,13\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\left(\frac{h-0,65}{0,13}\right)^2\right\}$$

$$= \frac{1}{0,13\sqrt{2 \times 3,14}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{75,4-0,65}{0,13}\right)^2\right\}$$

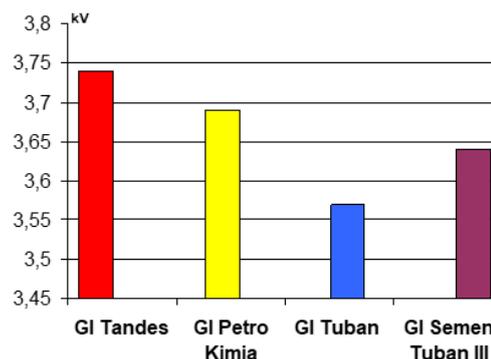
$$= 3,07^{-0,32}$$

$$= 0,69$$



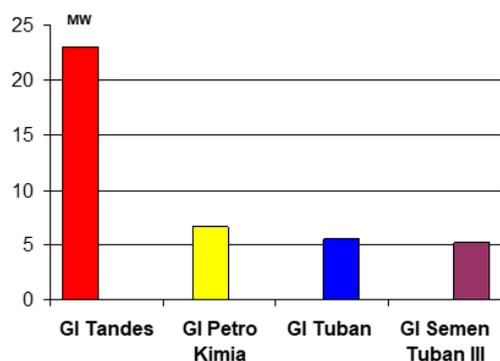
GAMBAR 3.1. GRAFIK KEPADATAN ADHESI GARAM (MG/CM²)

Berdasarkan Gambar 3.1, linier dengan Tabel 3.6, kepekatan adhesi dan pengotoran, semua gardu induk memiliki kepekatan adhesi garam serta termasuk klasifikasi daerah pengotoran.



GAMBAR 3.2 GRAFIK FLASHOVER AKIBAT TERKONTAMINASI (kV)

Pada Gambar 3.2, merupakan tegangan tembus (*flashover*) di empat gardu induk. Tegangan *flashover* terbesar terjadi pada gardu induk Tandes, berbeda dengan gardu induk tuban memiliki nilai ESDD terbesar. Hal ini bisa disebabkan lokasi gardu induk Tandes yang memiliki hari guruh terbanyak daripada tiga gardu induk lainnya.



Gambar 3.3 Grafik Rugi Daya Akibat Terjadinya Flashover (MW)

Gambar 3.3 diatas nilai perhitungan rugi daya masing-masing gardu. Didapatkan nilai tertinggi terletak pada gardu induk Tandes, yaitu sebesar 23 MW. Hal ini akibat salah satu pengaruh pada tegangan tembus *flashover* tertinggi pada gardu induk tersebut. Semakin besar tegangan tembus *flashover*, maka semakin besar pula nilai rugi dayanya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan dapat di simpulkan sebagai berikut:

1. Pada isolator keramik ESDD tertinggi saat terpolutan bobot berat (1000gr) sebesar 0,1739 mg/cm². Kenaikan arus bocor terbesar terjadi pada terpolutan dengan tingkat bobot polutan ringan (150gr) kondisi kering yaitu sebesar 53,9%. Ketika terpolutan dengan tingkat bobot polutan berat (1000gr) kondisi basah merupakan arus bocor paling besar yaitu 1,81 mA dan terkecil saat kondisi bersih dan kering sebesar 0,18 mA.
2. Dari data hasil perhitungan rugi daya saluran udara tegangan tinggi 150 kV, terjadinya *flashover* pada isolator yang terpasang pada masing-masing daerah pengotoran adalah dengan meningkatnya nilai kontaminan maka akan mempermudah terjadinya *flashover* yang menyebabkan rugi pada daya yang sangat besar dan sebaliknya isolator dalam keadaan bersih mempersulit terjadinya *flashover* sehingga mampu mengurangi rugi daya pada saluran transmisi.
3. Semakin besar tegangan tembus *flashover* tidak selalu linier dengan nilai timbunan garam (ESDD), dikarenakan tegangan tembus *flashover* identik dengan petir. Sedangkan petir terkait hari guruh. Pada gardu induk Tandes hari guruh lebih banyak terjadi dari gardu induk Tuban yang daerah tersebut lebih dekat dengan pantai, sehingga gardu induk Tandes tegangan *flashover* lebih besar dari ke tiga gardu induk lainnya.
4. Isolator yang tepat untuk dipergunakan pada SUTT 150 kV adalah isolator keramik jenis fog-type. Karena dengan diameter lebih lebar 70 mm, akan menambah jarak rambatan sehingga kemampuan isolator menahan tegangan semakin besar sehingga sulit terjadi *flashover*. Sedangkan kelemahannya terletak pada berat bersih tiap unit sebesar tiga kali lipat lebih berat.

Daftar Pustaka

- [1] F. R. Yanti, Y. Warmi, "Analisa Pengaruh Kontaminan Isolator Terhadap Jumlah Flashover Pada Saluran Transmisi 150 kV Koto Panjang Payakumbuh", *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi* Vol 12 No. 1 November 2022.
- [2] Jumari, J. Sinaga, S. Zega, "Studi Pengaruh Kontaminasi Polusi Udara Pada Isolator Tegangan Menengah 20 kV Pada PT. PLN Persero UP3 Medan", *Jurnal Teknologi Energi UDA* Vol. 9 No.1 Maret 2020.
- [3] A. Setiawan, A. Priatama, "Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Di PLN Singguminasa", UMM 2021.
- [4] M. F. Prasetyo, "Pengaruh Polutan Fly Ash Paiton Terhadap Isolator Keramik Yang Dilapisi Senyawa Silikon", Institut Teknologi Surabaya 2018.
- [5] Mustamin, "Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi Di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan Yang Dipercepat", Universitas Hasanudin Makasar 2021.
- [6] Porcelain Insulator and Electrical Equipment Manufacture. PT WIKAL-NGK INSULATORS GUNUNG PURTI, BOGOR.
- [7] Stanislaw Gubanski, Ralf Hartings, September 20015, "Swedish Reasech On The Application Of Composite Insulator In Outdoor Insulation",
- [8] K. Naito, Y. Mizuno, W. Naganawar, July 2013. "A Study On Probabilistic Assesment Of Contamination Flashover Of High Voltage Insulation", *IEEE Transaction On Power Delivery* 10,3: 1378-1383.
- [9] Tobing Bongas 1. Peralatan Tegangan Tinggi, Suplemen, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Umum, 2003.
- [10] Harijanto, P. S., Setiawan, A., & Prasetyo, B. E. (2023). Analisa Proteksi Gangguan Petir Pada SUTT 70 KV Antara GI Kebonagung-Polehan. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(1), 13-18.
- [11] Harijanto, P. S., & Zoro, R. (2016, November). Analysis of lightning strike to overhead EHV 500 KV transmission system Jawa-Bali Crossing. In *2016 3rd Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)* (pp. 275-280). IEEE.
- [12] Jumari, J., Sinaga, J., & Zega, S. (2020). STUDI PENGARUH KONTAMINASI POLUSI UDARA PADA ISOLATOR TEGANGAN MENENGAH 20 KV PADA PT PLN (Persero) UNIT PELAKSANA PELAYANAN PELANGGAN (UP3) MEDAN. *JURNAL TEKNOLOGI ENERGI UDA: JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 9(1), 31-43.
- [13] Santosa, D. H., & Negara, E. I. M. Y. (2017). Analisa Percepatan Umur Isolator Keramik Pada Saluran Distribusi 20 Kv Di Daerah Pesisir Pantai Akibat Kontaminan Udara. *Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November*.
- [14] JNONOWA, M. (2019). STUDI PERBANDINGAN KINERJA ISOLATOR GANTUNG PORSELIN DAN GELAS AKIBAT KONTAMINASI ZAT TAK LARUT. *Skripsi*, 1(521412044).
- [15] Rany, S. (2013). Fabrication of isolated high voltage transformer 150 kV/300 VA.