

# Model Distribusi Potensial Listrik dan Medan Listrik pada Isolator Porselen Tegangan Menengah 20 kV Berbasis FEM

Ashadi Amir Nurhakim<sup>1</sup>, Robby Ikhsan Ar Rasyid<sup>2</sup>, dan Waluyo<sup>3</sup>

<sup>1 2 3</sup> Institut Teknologi Nasional

Jl. PH.H. Mustofa No.23, Neglasari, Kec. Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat 40124, Indonesia

ashadi.nurhakim.an@gmail.com<sup>1</sup>, ikhsanra@gmail.com<sup>2</sup>, waluyoprosesional@gmail.com<sup>3</sup>

**Abstrak**— Salah satu peralatan tegangan menengah pada jaringan distribusi saluran udara adalah isolator. Isolator berfungsi mengisolir konduktor saluran distribusi yang bertegangan dengan tiang penyangga konduktor. Karena adanya tegangan menengah tersebut, maka setiap bagian pada isolator mengalami distribusi dan besar potensial dan medan listrik yang berbeda. Distribusi tegangan dan medan listrik pada isolator merupakan daerah yang masih dipengaruhi sifat kelistrikan dari muatan tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini membahas simulasi distribusi potensial dan medan listrik pada isolator tegangan menengah 20 kV berjenis porselen berbasis *finite element method* (FEM). Metode ini digunakan untuk memudahkan dalam menghitung potensial listrik dan distribusi medan listrik pada isolator karena merupakan salah satu metode numerik yang lebih praktis untuk memecahkan masalah elektrostatik. Dari hasil simulasi 3D diperoleh pola distribusi potensial listrik selalu mengikuti kontur dari isolator sedangkan untuk distribusi medan listriknya mencapai nilai tertinggi sebesar 5,3 kV/cm. Sedangkan dari grafik distribusi medan listrik terlihat lebih jelas bahwa distribusi medan listrik terbesar terdapat pada titik-titik sambungan isolator-konduktor dan isolator-ground, mencapai 4,5 kV/cm.

**Kata kunci**— *finite element method* (FEM), medan listrik, isolator porselen, potensial listrik.

**Abstract**— *One of the medium voltage equipment in the overhead line distribution network is an insulator. The insulator functions to isolate the voltage distribution line conductors with the conductor support poles. Due to medium voltage, every part of the insulator experiences a different distribution and magnitude of potential and electric fields. The distribution of voltage and electric field on an insulator is an area that is still influenced by the electrical properties of a certain charge. Therefore, this study discusses the simulation of the distribution of potential and electric fields on a medium voltage 20 kV porcelain insulator based on finite element method (FEM). This method is used to make it easier to calculate electric potential and electric field distribution on insulators because it is one of the more practical numerical methods for solving electrostatic problems. Based on the 3D simulation results, the electric potential distribution pattern always follows the contours of the insulator, while the electric field distribution reaches the highest value of 5,3 kV/cm. Meanwhile, from the electric field distribution graph, it is clearer that the largest electric field distribution is at the connection points of the insulator-conductor and insulator-ground, reaching 4.5 kV/cm.*

**Keywords**— *finite element method (FEM), electric field, porcelain insulator, electric potential.*

## I. PENDAHULUAN

Salah satu peralatan tegangan tinggi pada jaringan distribusi saluran udara adalah isolator. Isolator berfungsi mengisolir konduktor saluran distribusi yang bertegangan dengan tiang penyangga konduktor agar arus listrik tidak mengalir dari konduktor jaringan ke tanah (Tobing, 2012). Isolator juga merupakan komponen penyaluran listrik yang selalu berhubungan dengan udara luar. Maka dari itu, banyak faktor yang dapat mengakibatkan isolator tidak berfungsi dengan baik, diantaranya dipengaruhi tingkat bobot polusi udara yang dimana isolator tersebut dipasang. Polutan yang terkandung di udara dapat menempel pada permukaan isolator dan berangsur-angsur membentuk suatu lapisan tipis dan mengakibatkan terjadi penumpukan partikel-partikel pengotor di permukaan

isolator (Anwar, 2019). Kerusakan pada sistem isolasi dapat terjadi jika sistem isolasi mengalami tekanan medan listrik yang tinggi. Medan listrik yang tinggi pada bahan isolasi dapat memicu terjadinya peluahan lokal atau yang dikenal dengan peluahan sebagian (Panjaitan, 2014). Berdasarkan data potensi kebutuhan dan rencana pembangunan kelistrikan tentunya penggunaan bahan aksesoris kelistrikan seperti isolator akan tetap dibutuhkan nantinya (Garinas, 2016).

Metode Elemen Hingga/*Finite Element Method* (FEM) pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950. Perkembangan Metode Elemen Hingga didukung secara langsung oleh perkembangan teknologi terutama teknologi komputer yang sangat cepat. Peningkatan kemampuan komputer menyebabkan kemungkinan yang semakin besar untuk melakukan analisis

persoalan teknik yang besar dan lebih kompleks (Prasetyo, 2010). *Finite Element Method* (FEM) paling tepat untuk menghitung medan listrik dan distribusi potensial dalam isolator karena merupakan salah satu metode numerik yang lebih berhasil untuk memecahkan masalah elektrostatik (Sima, 2006).

Simulasi numerik adalah pendekatan yang memberikan para peneliti kemungkinan untuk menganalisis perilaku beberapa fenomena yang karena kompleksitasnya, berada di luar cakupan kalkulus klasik (Bessedik, 2015). Untuk alasan ini, maka digunakan software simulasi berbasis FEM sehingga dapat berfungsi sebagai cara yang tepat dan interaktif untuk memecahkan masalah kompleks menggunakan metode elemen hingga.

## II. METODE PENELITIAN

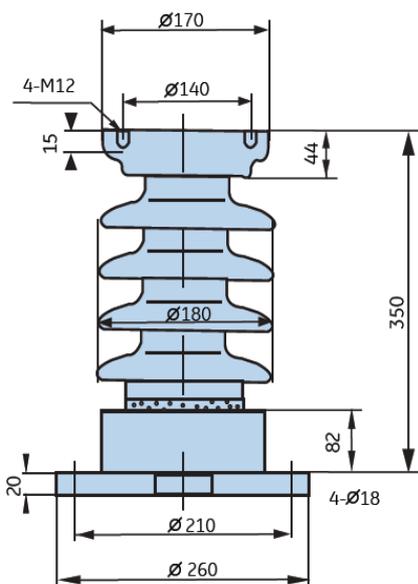
### A. Spesifikasi Isolator

Spesifikasi dari isolator 20 kV yang berbahan dasar porcelain ditunjukkan pada Tabel 1 berikut

TABEL I. SPESIFIKASI ISOLATOR

No	Specification	
1	Operating Voltage	20 kV
2	Spacing (H)	350 mm
3	Diameter (D)	180 mm
4	Creepage Distance (L)	400 mm
5	Brand / Product Code	XDGE/ZS-20/10
6	Structure Insulator	Post
7	Dielectric Constant	6

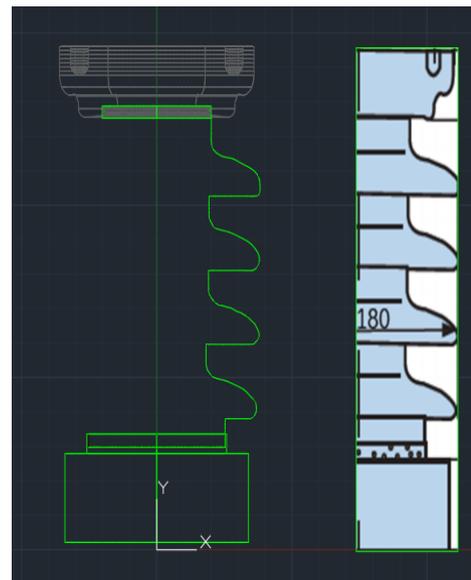
Nilai konstanta dielektrik pada isolator porselen adalah 6 (Xu et al., 2017; Rosli et al., 2017). Gambar 1 menunjukkan gambar teknik isolator porselen tipe post dari produk XDGE dengan kode produk ZS-20/10 (XDGE).



Gambar 1. Gambar Teknik Isolator Porselen Tipe Post

### B. Pemodelan Isolator 3D

Pemodelan isolator dimulai dengan membuat model 2D isolator, lalu diubah kedalam bentuk 3D. Pemodelan ke dalam bentuk 3D dilakukan dengan menggunakan teknik *revolve*. Pemodelan 2D isolator dilakukan dengan mengikuti data spesifikasi isolator, mulai dari panjang, lebar, ketinggian, hingga konturnya. Mula-mula isolator hanya digambar setengah bagian, lalu model isolator yang telah dibuat dalam bentuk 2D diputar 360° pada sumbu bagian tengah isolator sehingga menghasilkan model isolator 3D. Gambar 2 berikut merupakan proses pemodelan 2D isolator tersebut



Gambar 2. Pemodelan 2D Isolator

Gambar 3 di bawah ini merupakan hasil *revolve* dari isolator 3D. Setelah pemodelan 3D isolator selesai, maka tahap selanjutnya adalah simulasi dengan menggunakan *software* berbasis FEM.



Gambar 3. Hasil Pemodelan 3D Isolator

C. *Finite Element Method (FEM)*

*Finite element method (FEM)* atau metode elemen hingga (MEH) kadang-kadang disebut sebagai analisis elemen hingga (FEA), adalah teknik komputasi yang digunakan untuk mendapatkan solusi perkiraan masalah nilai batas dalam rekayasa. Sederhananya, masalah nilai batas adalah masalah matematika di mana satu atau lebih variabel dependen harus memenuhi persamaan diferensial di mana-mana dalam domain yang diketahui dari variabel independen dan memenuhi kondisi spesifik pada batas domain (Huton, 2004).

Prinsip dasar dari FEM adalah proses diskretisasi. Dalam proses diskretisasi, suatu benda atau daerah yang dianalisis dibagi kedalam bentuk *mesh* (kumpulan elemen) yang saling terhubung, dan kemudian dimodelkan kedalam bentuk satu, dua atau tiga dimensi (Pratama, 2016).

Analisis penyelesaian FEM dapat dibagi menjadi dua, yaitu (Pratama, 2016):

1. Analisis struktur, digunakan untuk menganalisis tegangan pada struktur rangka, getaran, bucking.
2. Analisis non-struktur, digunakan untuk menganalisis kejadian transfer panas, aliran fluida, distribusi dari potensial medan magnet dan medan listrik.

Pada penelitian ini, metode elemen hingga digunakan untuk memecahkan masalah elektrostatik. Masalah elektrostatik mempertimbangkan perilaku intensitas medan listrik ( $E$ ), dan kerapatan fluks listrik (sebagai alternatif perpindahan listrik) ( $D$ ). Ada dua syarat yang harus dipenuhi oleh besaran-besaran ini. Kondisi pertama adalah bentuk diferensial dari Hukum Gauss, yang mengatakan bahwa fluks keluar dari setiap volume tertutup sama dengan muatan yang terkandung dalam volume (Muniraj & Chandrasekar, 2012). Persamaan dasar yang digunakan untuk menghitung potensial dan medan listrik adalah persamaan Maxwell. Untuk model elektrostatik, persamaan berikut digunakan:

$$\text{div } \vec{D} = \rho \tag{1}$$

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} \tag{2}$$

$$\vec{E} = -\text{grad}V \tag{3}$$

Kombinasi dari ketiga persamaan ini memberikan:

$$\text{div } \epsilon (-\text{grad} V) = \rho \tag{4}$$

$$\text{div } \epsilon \text{grad} V = \rho \tag{5}$$

Persamaan ini disebut persamaan Poisson. Sehingga persamaan Laplace dapat diperoleh dengan membuat muatan ruang  $\rho = 0$ . Perhitungan pada perangkat lunak untuk menentukan potensial listrik dan mendapatkan distribusi medan dengan menyelesaikan persamaan diferensial parsial berikut untuk dua dimensi:

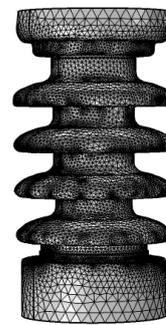
$$\text{div } \epsilon \text{grad} V - \text{div } \sigma \text{grad} V = 0 \tag{6}$$

Untuk langkah-langkah resolusi pada *software* berbasis FEM ini dapat diringkas dalam empat langkah berturut-turut berikut ini (Benguesmia, 2018):

1. Langkah pertama adalah memperkenalkan geometri tiga dimensi (3D) dari isolator ke perangkat lunaksimulasi.

2. Langkah kedua menyangkut definisi sifat listrik dari bahan yang digunakan. Ini terdiri dari mendefinisikan permitivitas relatif  $\epsilon$  dan konduktivitas  $\sigma$  untuk setiap bagian dari isolator. Juga, perlu untuk menentukan kondisi batas yang diterjemahkan ke dalam potensial yang dikenakan pada setiap elektroda (kondisi Dirichlet).
3. Langkah ketiga dikhususkan untuk memecahkan masalah dengan menerapkan metode numerik dan konstruksi sistem persamaan, dan ini dengan memperkenalkan faktor-faktor dari setiap bagian persamaan.
4. Langkah terakhir adalah menyelesaikan masalah dan menampilkan hasil simulasi sebagai distribusi potensial dan medan listrik.

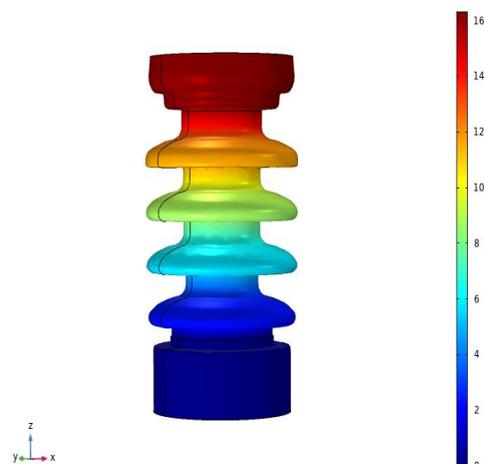
Gambar 4 berikut menunjukkan hasil diskretisasi atau *mesh* sebagai salah satu tahapan dari proses penyelesaian simulasi berbasis FEM ini.



Gambar 4. Hasil *Mesh* pada Model Isolator

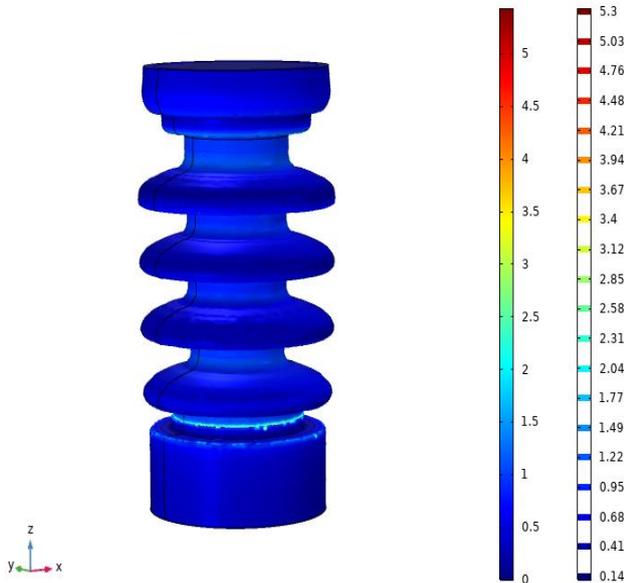
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahapan ini akan membahas hasil simulasi distribusi potensial listrik dan medan listrik berbasis FEM yang telah dilakukan. Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi 3D distribusi potensial listrik pada isolator porselen, nilai potensial listrik terlihat terus berkurang dari bagian bertegangan menuju *ground* dengan mengikuti pola kontur isolator yang ada.



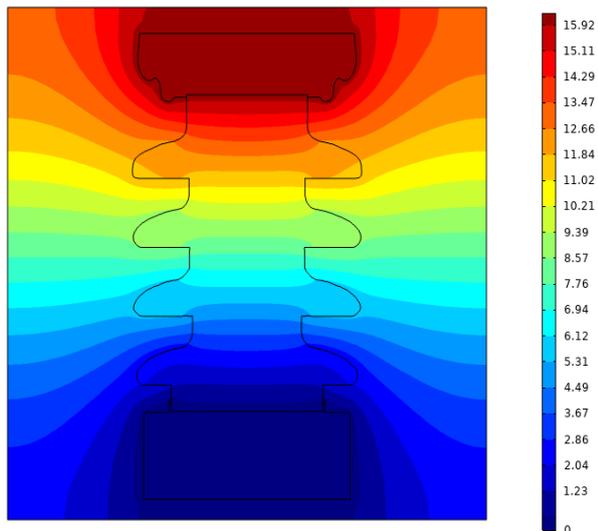
Gambar 5. Hasil Simulasi 3D Distribusi Potensial Listrik Isolator Porselen

Sedangkan Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi 3D distribusi medan listrik dengan nilai tertinggi medan listriknya terdeteksi mencapai 5,3 kV/cm.



Gambar 6. Hasil Simulasi 3D Distribusi Medan Listrik Isolator Porselen

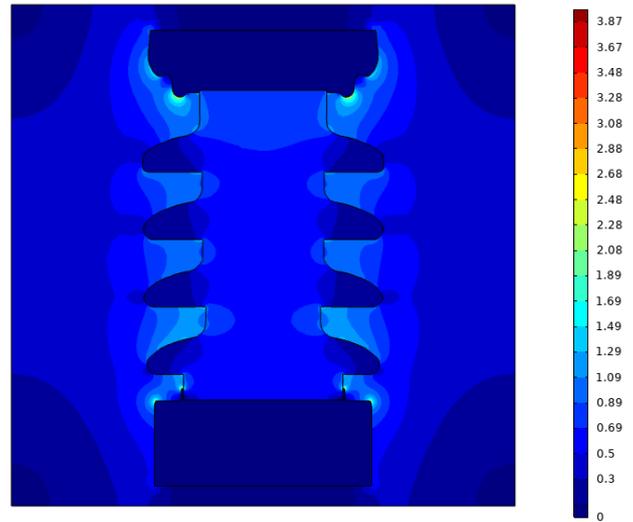
Warna biru yang lebih cerah yang terlihat pada Gambar 5 menunjukkan bahwa pada daerah tersebut terdapat stres medan listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya. Daerah tersebut terletak pada titik-titik sambungan isolator dengan *ground* dan sambungan isolator dengan bagian bertegangan.



Gambar 7. Hasil Simulasi 2D Distribusi Potensial Listrik Isolator Porselen

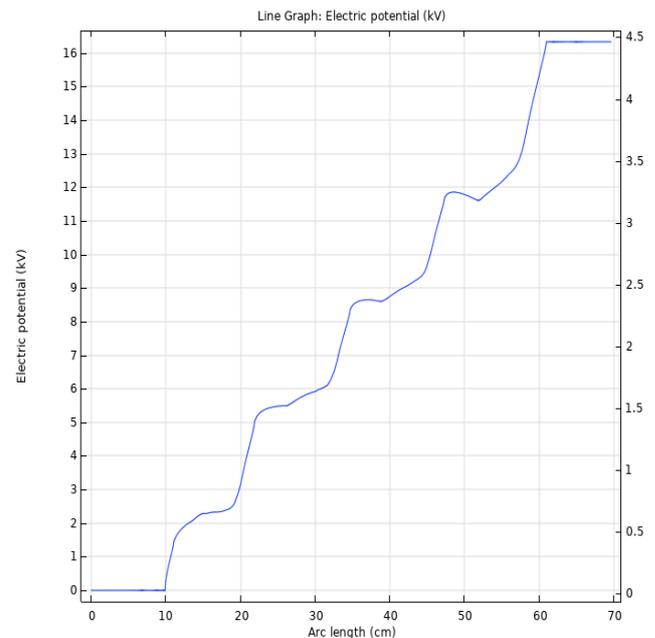
Gambar 7 merupakan hasil simulasi 2D distribusi potensial listrik pada isolator porselen, garis-garis potensial listrik terlihat bergelombang mengikuti kontur sirip. Potensial listrik tertinggi yang ditandai warna merah tua berada di bagian paling

atas isolator, menunjukkan bahwa daerah tersebut bersentuhan langsung dengan bagian bertegangan.



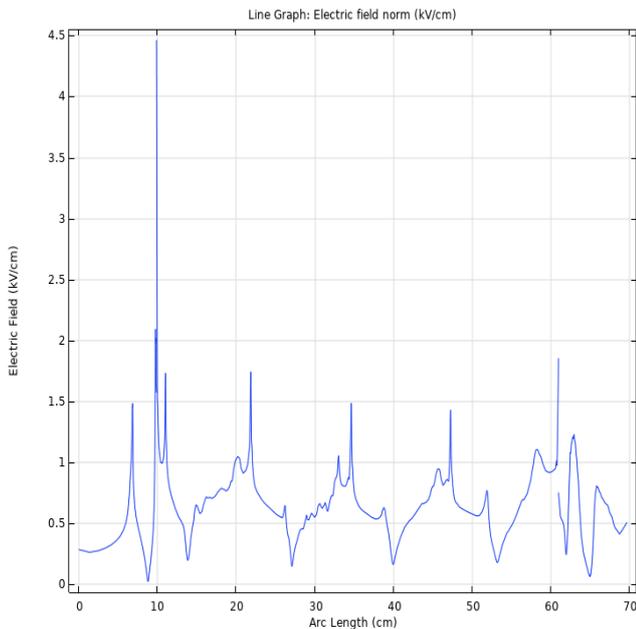
Gambar 8. Hasil Simulasi 2D Distribusi Medan Listrik Isolator Porselen

Gambar 8 merupakan hasil simulasi 2D distribusi medan listrik isolator porselen. Selaras dengan hasil simulasi 3D-nya, terlihat bahwa bagian tengah isolator mengalami stres medan listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian sirip-siripnya. Selain itu, medan listrik yang lebih tinggi juga terjadi pada *domain* udara di sekitar sirip-sirip isolator tersebut. Sementara itu, daerah dengan stres medan listrik paling tinggi berada di sambungan antara isolator dengan bagian bertegangan juga dengan bagian *ground*, ditunjukkan dengan munculnya warna merah yang samar.



Gambar 9. Grafik Distribusi Potensial Listrik pada Isolator Porselen

Gambar 9 menunjukkan grafik potensial listrik pada isolator porselen. Dimana sumbu x yaitu *arc length* (cm) dibandingkan terhadap sumbu y yaitu potensial listriknya (kV). Terlihat pada Gambar 9 bahwa tegangan sepanjang permukaan isolator tersebar secara merata dan mengikuti kontur permukaan dari isolator tersebut, nilai pengukuran akan semakin turun jika jarak pengukuran semakin jauh dari sumber tegangan atau konduktor (Saris, 2012).



Gambar 10. Grafik Distribusi Medan Listrik pada Isolator Porselen

Gambar 10 menunjukkan grafik medan listrik pada isolator porselen. Dimana sumbu x yaitu *arc length* (cm) dibandingkan terhadap sumbu y yaitu medan listriknya (kV). Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai medan listrik tidak selalu berbanding lurus dengan nilai potensial listriknya. Pada grafik ini, dapat terlihat lebih jelas bahwa distribusi medan listrik terbesar terdapat pada titik-titik sambungan (isolator-konduktor dan isolator-ground), mencapai 4,5 kV/cm. Hal ini dikarenakan medan listrik cenderung menyebar ke daerah dengan muatan ruang nol atau memilih jalur dengan hambatan kecil (Saris, 2012).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan bahwa pola distribusi potensial listrik selalu mengikuti kontur dari permukaan isolator itu sendiri, sehingga ukuran sirip sebuah isolator akan mempengaruhi pendistribuan tegangan dan medan listrik pada permukaan maupun ujung-ujung isolator tersebut, semakin panjang sirip isolator akan semakin besar menahan distribusi tegangan dan distribusi medan listrik yang mengalir. *Stress* medan listrik yang cenderung lebih tinggi pada isolator terjadi di daerah perbatasan antara *ground* dengan isolator dan perbatasan isolator dengan bagian bertegangan.

#### REFERENSI

- Tobing, B. L. (2012). *Peralatan Tegangan Tinggi Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Anwar, W. (2019). *Pengaruh Endapan Polutan MgCl<sub>2</sub> Terhadap Tegangan Korona pada Isolator Keramik Tegangan Menengah*. Gorontalo: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo.
- Panjaitan, J. S., Sinaga, H. H., Purwasih, N. (2014). Analisis Peluahan Sebagian di Udara Menggunakan Metode Elektromagnetik. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. Doi: <https://doi.org/10.23960/elc.v8n3.149>.
- Garinas, W. (2016). Proses Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Keramik untuk Bahan Baku Isolator Listrik Keramik Porselen. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*. Doi: <https://doi.org/10.29122/mipi.v10i3.487>
- Prasetyo, A.J. (2010). *Aplikasi Metode Elemen Hingga (MEH) pada Struktur Rib Bodi Angkutan Publik*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sima, W., Yang, Q., Sun, C., & Guo, F. (2006). Potential and electric-field calculation along an ice-covered composite insulator with finite-element method. *IEEE Proceedings-generation Transmission and Distribution*. Doi: 10.1049/ip-gtd:20050227.
- Bessedik, S. A. (2015). *Contournement des isolateurs pollués*. Algeria:Oran.
- Xu, C., Hu, C., Xu, J., Liu, Y., Zhang, K., & Pei, S. (2017). Influence of Deteriorated Porcelain Insulator on Electric Field and Potential Distribution of Insulators Strings in 110kV Transmission Lines. *IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities*. Doi: 10.1109/ICSGSC.2017.8038569.
- Rosli, H., Othman, N. A., Jamail, N.A.M., & Ismail, M. N. (2017). Potential and Electric Field Characteristics of Broken Porcelain Insulator. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. Doi: <http://doi.org/10.11591/ijece.v7i16.pp3114-3123>
- XDGE. *IEC® Porcelain Post Insulators for AC and DC Applications*. Retrieved from [www.gegridsolutions.com](http://www.gegridsolutions.com).
- Dixon. *Dielectric Constants-Dixon Valve*. Retrieved from [www.dixonvalve.com](http://www.dixonvalve.com).
- Muniraj, C., & Chandrasekar, S. (2012). Finite Element Modeling for Electric Field and Voltage Distribution along the Polluted Polymeric Insulator. *World Journal of Modelling and Simulation*, 8(4):310-320.
- Huton. (2004). *Fundamentals of Finite Element Analysis*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Pratama, G. K. I. (2016). *Analisis Pengaruh Kontaminan Terhadap Distribusi Medan Listrik pada Isolator Load Break Switch Menggunakan Finite Element Method*. Tugas Akhir: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Benguesmia, H., M'ziou, N., & Boubakeur, A. (2018). Simulation of the potential and electric field distribution on high voltage insulator using the finite element method. *Diagnostyka*, 19(2),41-52.
- Saris, H. B., Hermawan, & Syakur, A. (2012). Simulasi Distribusi Tegangan dan Medan Listrik pada Isolator Suspensi 20 kV 3 Sirip dengan 4 Tipe Ukuran Sirip. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 1(4), 218-225.
- Putera, A. A. G. D., Negara, I. M. Y., & Fahmi, D. (2016). Analisis Persebaran Medan Listrik Pada Lightning Arrester 20 kV Menggunakan Finite Element Method. *Jurnal Teknik ITS*. Doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16107