

## ANALISA PENGARUH KONTAMINAN ISOLATOR TERHADAP JUMLAH FLASHOVER PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV KOTO PANJANG- PAYAKUMBUH

Fitri Rahma Yanti<sup>1\*</sup> dan Yusreni Warmi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang  
Jl. Gajah Mada kandis Raya, Kp.Olo, Kec. Nanggalo, Padang 25173.

\*Email: 2018310003.fitri@itp.ac.id

### Abstrak

*Isolator dapat diselimuti oleh lapisan polutan yang terbang melalui udara. Iklim udara Koto Panjang-Payakumbuh memiliki curah hujan yang tinggi, dan sambaran petir yang sangat banyak. Hal tersebut dibuktikan dari Isokeraunik level 174 hari/tahun pada saluran transmisi 150 kV, dengan jumlah flashover tertinggi wilayah Koto Panjang-Payakumbuh terjadi diarea perbukitan yaitu sebesar 82%, sawah 16%, dan gurun 2%, dengan isolator yang digunakan jenis keramik. Jumlah Trip-out terbanyak yang terjadi pada daerah cadas yaitu 9 kali gangguan pada tower 17, karena tower ini memiliki nilai pentanahan melebihi standar PUIL ( $\leq 5\Omega$ ) yaitu  $22.5\Omega$ . Dengan mengevaluasi isolator yang bersih dan berpolutan lumut pada saluran transmisi 150 Kv Koto Panjang-Payakumbuh, tingkat flashover diprediksi dengan menghitung tegangan tembus pada isolator di daerah cadas yang terjadi sambaran petir. Pada penelitian ini terbukti bahwa isolator yang terkontaminasi lumut memiliki daya tahan kekuatan dielektrik yang lebih kecil, karena pada saat tegangan uji 78.728 kV telah terjadi tegangan tembus pada isolator sebesar 20.54 kV untuk pengujian satu piring, 30.511 kV 2 piring, 56.328 kV 3 piring, dan 196.85 kV pengujian 11 piring isolator. Tingkat perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil simulasi pada saat isolator bersih dan terkontaminasi lumut memberikan hasil yang mirip untuk nilai tegangan flash dengan persentase 83.605%. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor resistansi pentanahan dan karakteristik kontaminan yang dimodelkan pada simulasi EMTP.*

**Kata kunci:** EMTP, Flashover, Kontaminan Isolator, Resistansi Pentanahan.

### 1. PENDAHULUAN

Pencemaran isolator merupakan langkah awal dari *flashover*, yang mekanismenya dipengaruhi oleh beberapa variabel dinamis seperti konfigurasi insulasi, polusi dan iklim. Koto Panjang-Payakumbuh memiliki iklim tropis serta sambaran petir yang banyak, hal tersebut dibuktikan dengan *isokeraunik level* saluran transmisi mencapai 174 hari/tahun (Warmi dan Viyoldi, 2019). Menurut referensi (Warmi dan Michishita, 2018) jumlah flashover tertinggi wilayah Koto Panjang-Payakumbuh terjadi diarea perbukitan yaitu sebesar 82%, sawah 16%, dan gurun 2%. Flashover terjadi ketika petir langsung menyambar kawat tanah dan atau kawat fasa.

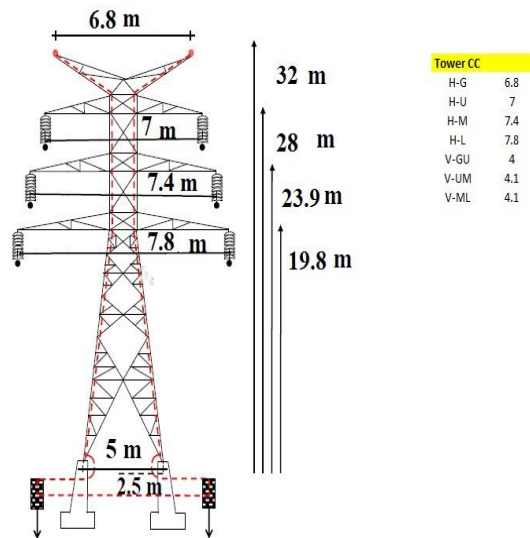
Daerah Koto Panjang-Payakumbuh menggunakan isolator jenis keramik yang dilapisi dengan campuran glasier, beberapa bahan yang terdapat dalam pembuatan glasier seperti silika (SiO<sub>2</sub>), feldspar, kapur (CaCO<sub>3</sub>), kaolin, Zinc Oxide, dan Rutile dengan lapisan senyawa pada isolator ini memiliki ketebalan 0.35 mm-0.4 mm. Isolator yang terkontaminasi biologis dapat menurunkan sifat hidropobisitas dalam keadaan berpolutan lumut (Ouyang dkk., 2019) (Warmi dan Febrian, 2021).

Dengan mengevaluasi isolator yang bersih dan berpolutan dalam kondisi lumut pada saluran transmisi, tingkat flashover diprediksi dengan menghitung kemungkinan tingkat tegangan tembus isolator yang bersih dan berpolutan didaerah cadas yang terjadi sambaran petir. Oleh karena itu diperlukan “Analisis Pengaruh Kontaminan isolator terhadap jumlah flashover pada saluran Transmisi 150 kv Koto Panjang-Payakumbuh”.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Investigasi

Koto Panjang-Payakumbuh memiliki saluran transmisi dengan total panjang saluran 86 km yang terdiri dari 248 menara. Terdapat 4 jenis konfigurasi menara yang digunakan yaitu tipe AA, BB, CC, dan DD. Jenis menara yang digunakan sesuai dengan lokasi dan tempat penanaman menara, untuk sistem pentanahan yang digunakan adalah driven ground (Warmi dan Michishita, 2016). Gambar 1 menunjukkan konfigurasi menara tipe CC, dimana jenis menara ini memiliki gangguan trip-out yang paling banyak selama 2012-2021 dengan jumlah 9 kali gangguan.



Gambar 1. Konfigurasi menara tipe CC

#### 2.2.1 Resistivitas Tanah

Faktor utama yang menentukan nilai tahanan tanah adalah resistivitas tanah. Untuk melakukan pengukuran nilai tahanan tanah, maka nilai resistivitas tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Asadpourahmadchali dkk., 2020).

$$\rho = \frac{2 \pi L R}{\left(\ln \frac{4L}{a} - 1\right)} \quad (1)$$

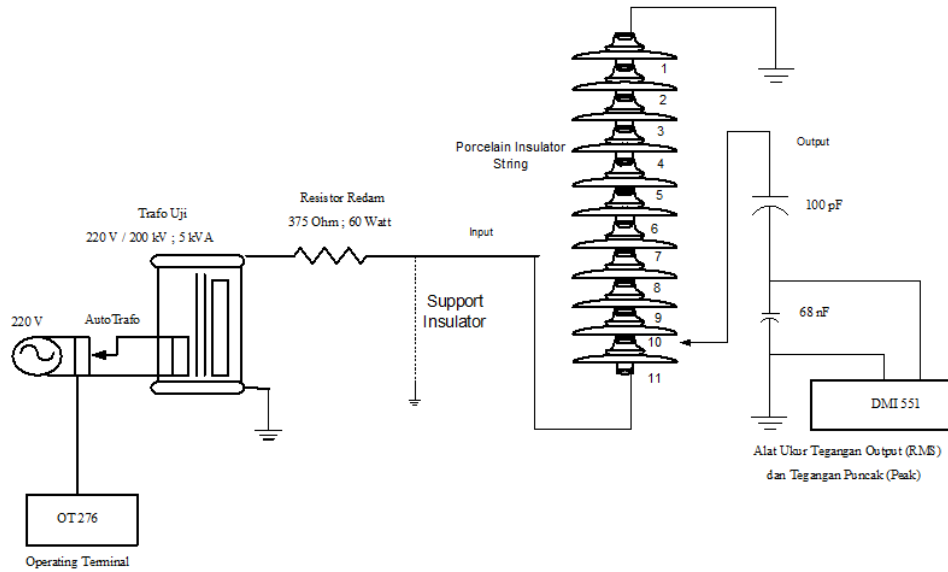
#### 2.2.2 Tahanan Tanah

Setelah nilai resistivitas tanah didapatkan, maka dilakukan perhitungan nilai tahanan tanah dengan rumus sebagai berikut (Warmi dan Michishita, 2018) (Warmi dan Ismail, 2018).

$$R_a = \frac{\rho}{2 \pi L} \left( \ln \frac{4L}{\sqrt[4]{2^{1/2} a^3 r}} - 1 \right) \quad (2)$$

### 2.2. Eksperimen

Isolator Koto Panjang-Payakumbuh dominan memiliki jenis polutan dalam kondisi lumut. Hal tersebut dikarenakan 66% tata letak tower yang berada pada area perbukitan atau pegunungan. Sehingga dilakukan pengujian XRD dan pengujian tegangan tembus terhadap isolator yang terkontaminasi lumut, dengan rangkaian pengujian sebagai berikut.



**Gambar 2. Rangkaian pengujian tegangan tembus isolator**

### 2.3. EMTP (*Elektromagnetik Transient Program*)

EMTP dapat diproyeksikan untuk menganalisis *transien* pada sirkuit yang berisi parameter terkonsentrasi (R, L, dan C), saluran transmisi dengan parameter terdistribusi, dan saluran tanpa transposisi. Konduktor fasa dan kabel pelindung dimodelkan berdasarkan data menara (Bennett dan Shabanov, 2021).

Garis besar model EMTP-ATP draw yang digunakan untuk makalah ini disajikan dalam bentuk model yang terdiri dari beberapa komponen (Karami dkk., 2020): (i) Generator, (ii) konduktor fase saluran transmisi dan kabel pelindung termasuk pemutusan saluran dan tegangan frekuensi daya, (iii) menara saluran transmisi, impedansi pembumihan menara, (iv) string isolator karakteristik flashover, (v) arus petir dan impedansi saluran petir, (vi) karakteristik kontaminan isolator

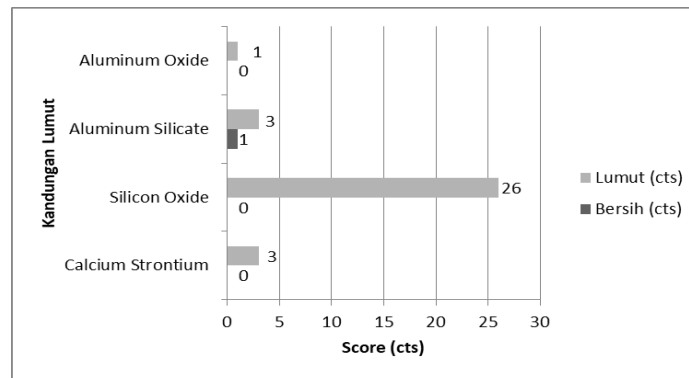
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari investigasi data pareto yang telah dilakukan maka diperoleh 64 tower yang mengalami gangguan dari tahun 2012-2021, dari 64 tower yang mengalami gangguan tersebut diperoleh 6 tower yang gangguannya  $\geq 4$  kali dengan IKL sebesar 174 hari/tahun. Tabel 1 merupakan data menara yang mengalami gangguan trip-out  $\geq 4$  kali. Tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai tahanan tanah dan jenis pentanahan merupakan salah satu penyebab terjadinya *flashover* pada saluran transmisi 150 kV Koto Panjang – Payakumbuh.

**Tabel 1. Nilai tahanan tanah dari resistivitas tanah persamaan (2)**

No. Menara	Resistivitas terukur (ohm)	Resistansi terhitung (ohm)	Jumlah Trip Outs
10	128	2,49	4
17	650	2,02	9
43	290	5,44	4
48	464	6,95	6
50	281	3,74	4
59	104	2,18	4

Untuk memperoleh data kontaminan dilakukan pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan sampel isolator flash dalam kondisi bersih dan berlumut seperti grafik berikut ini.



**Gambar 3. Hasil pengujian XRD**

Gambar 3 menunjukkan bahwa penyebab utama kontaminasi pada saluran transmisi 150 kV Koto Panjang - Payakumbuh adalah silicon oxide sebesar 26 cts.

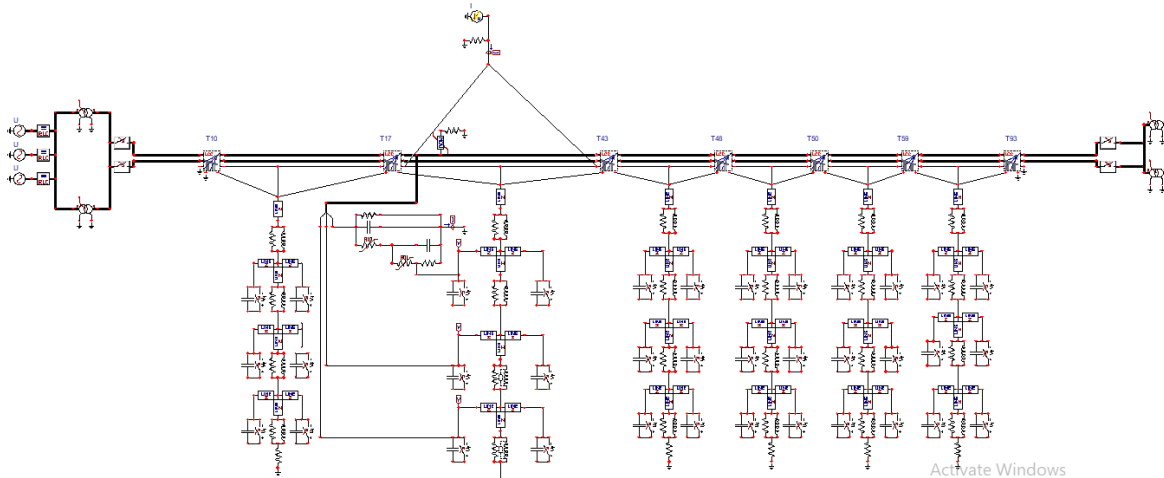
Pada pengujian eksperimen isolator yang bersih dari lapangan dan yang terkontaminasi lumut diperoleh hasil sebagai berikut.

**Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan flash isolator**

Jenis	Jumlah Piring Isolator	Tegangan Uji (KV)	Tegangan Flash (KV)
Bersih	1	98,273	70,41
	1	78,728	20,54
Lumut	2	78,728	30,511
	3	78,728	56,328

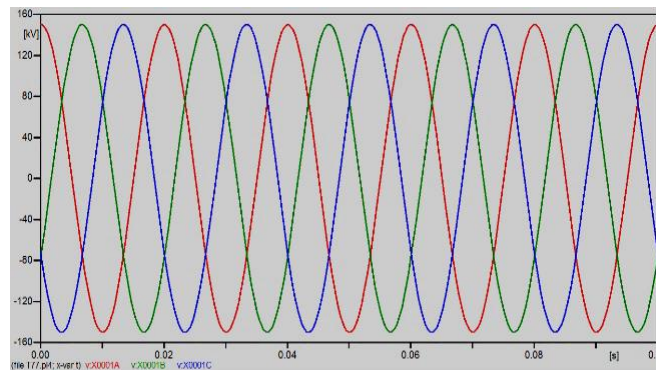
Tabel 2 menunjukkan bahwa pada saat tegangan uji 78.728 kV isolator yang berpolutan lumut telah terjadi tegangan flash, sedangkan untuk isolator yang bersih flash ketika 98,273 kV. Hal tersebut membuktikan bahwa kekuatan dielektrik lumut lebih kecil dibandingkan kekuatan dielektrik isolator kondisi bersih.

Setelah diperoleh hasil eksperimen, maka dilakukan perbandingan dengan menggunakan *software* EMTP. Dengan Heidler sebagai sumber petir dengan arus injeksi hingga 100 kA, representasi Line Circuit Cable (LCC) sebagai menara, Jalur Z sebagai kawat fasa dan rangkaian RL sebagai isolator. Pada simulasi, nilai tegangan sistem generator yang digunakan disajikan dengan tegangan puncak normal sistem sebesar 150 kV. Rangkaian simulasi ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.



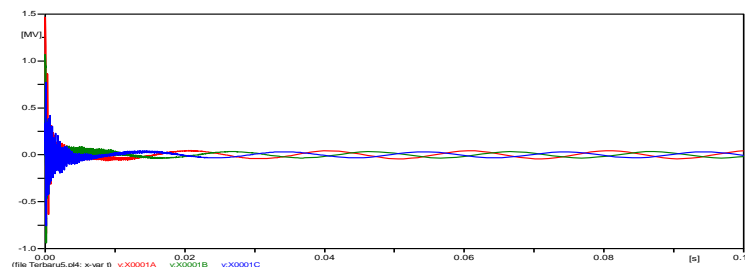
**Gambar 4. Rangkaian simulasi EMTP**

Gambar 4 merupakan rangkaian simulasi menggunakan EMTP untuk 6 menara berdasarkan investigasi data analisa pareto dengan gangguan terjadi pada menara 17. Hal tersebut disebabkan karena menara nomor 17 memiliki gangguan paling banyak yaitu 9 gangguan trip-out selama 10 tahun terakhir.



**Gambar 5. Hasil simulasi dalam keadaan normal**

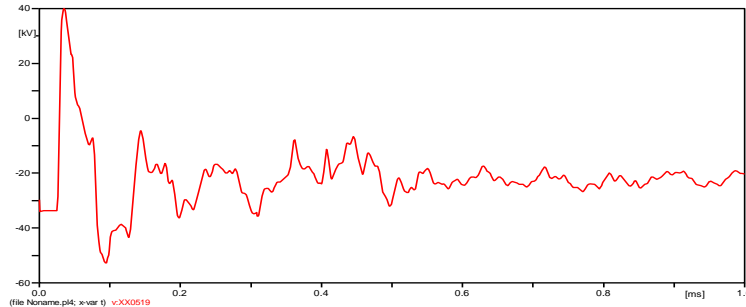
Dengan menginput data menara nomor 17 pada rangkaian simulasi, hasilnya seperti pada Gambar 5 dan gambar 6. Simulasi gelombang tegangan pada kondisi normal untuk Saluran transmisi 150 kV Koto Panjang - Payakumbuh dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 6. Hasil tegangan puncak tower nomor 17**

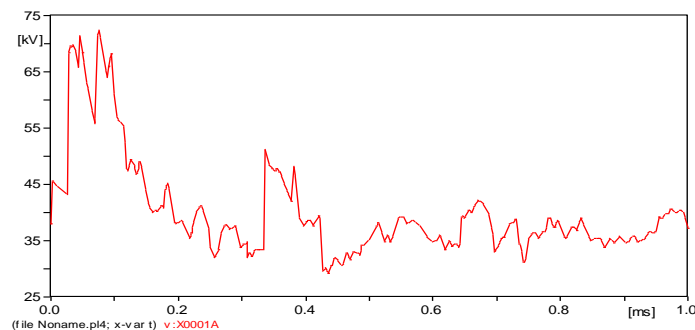
Gambar 6 merupakan hasil simulasi yang diperoleh dari plot XY dimana grafik merah menunjukkan besarnya tegangan isolator fasa R sebesar 1,4684 MV, grafik hijau menunjukkan nilai tegangan isolator fasa S sebesar 1,0703 MV dan grafik biru menunjukkan fasa T tegangan isolator 0,7708 MV. Hasil

simulasi menunjukkan bahwa ketika terjadi gangguan petir pada fasa R, tegangan isolator pada fasa R lebih tinggi dibandingkan fasa lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh faktor kopling antara kabel arde atas (OHGW) dan penghantar fasa sehingga menyebabkan tegangan pada fasa R juga lebih besar dibandingkan fasa lainnya. Hasil simulasi menara nomor 17 dengan adanya kontaminan lumut yang mengalami gangguan seperti pada gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Hasil tegangan flash polutan lumut

Gambar 7 menunjukkan tegangan flash isolator yang terkontaminasi lumut dengan pengujian 2 piring isolator, dimana tegangan puncak yang diperoleh sebesar 39,670. Hasil simulasi menara 17 isolator dalam keadaan bersih dengan adanya proteksi di saluran yang mengalami gangguan seperti gambar 8 di bawah ini.

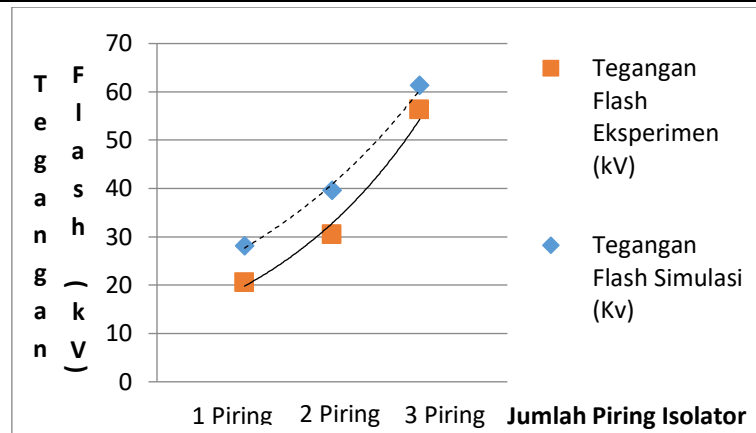


Gambar 8. Hasil tegangan flash kondisi isolator bersih

Gambar 8 merupakan hasil tegangan flash isolator dalam kondisi bersih dengan tegangan uji yang sama dengan eksperimen yaitu 98,273 kV didapatkan flash sebesar 72,363 kV. Hasil semua tegangan *flashover* isolator dalam semua kondisi seperti tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Perbandingan hasil eksperimen dan simulasi

Jenis	Jumlah Piring Isolator	Tegangan Uji (Kv)	Tegangan Flash Eksperimen (Kv)	Tegangan Flash Simulasi (Kv)
Bersih	1	98,273	70,41	72,363
	1	78,728	20,54	28,11
Lumut	2	78,728	30,511	39,67
	3	78,728	56,328	61,317



Gambar 9. Hasil perbandingan tegangan *flashover* isolator lumut

Tabel 3 dan gambar 4 merupakan hasil perbandingan antara eksperimen dan simulasi dimana saat isolator kondisi bersih (yang sudah dipakai dilapangan) memiliki tegangan flash yang mendekati dengan BIL (isolator baru dari pabrik) yaitu sebesar 70,41 kV. Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh faktor lamanya pemakaian isolator yang berkisar 2-5 tahun. Ketika isolator terkontaminasi lumut, tegangan tembus dan tegangan uji yang diperoleh jauh lebih kecil dibandingkan isolator bersih. Hal tersebut disebabkan oleh tingkat kontaminasi lumut yang tinggi menyebabkan daya tahan kekuatan dielektrik isolator sangat berkurang yaitu sebesar 89,46 Kv. Gambar 9 menunjukkan bahwa tingkat perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil simulasi pada saat isolator bersih, dan terkontaminasi lumut memberikan hasil yang mirip untuk nilai tegangan flash dengan persentase 85.678%.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Isolator yang terkontaminasi lumut memiliki daya tahan kekuatan dielektrik yang lebih kecil, karena pada saat tegangan uji 78.728 kV telah terjadi tegangan tembus pada isolator sebesar 20.54 kV untuk satu piring isolator, 30.511 kV pengujian 2 piringan isolator, dan pengujian 3 piring isolator sebesar 56.328 kV, sehingga dapat dikatakan bahwa lumut mengurangi tegangan flashover isolator sebesar 13.87%-18.67% dari BIL (*Basic Insulation Level*).
2. Tingkat perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil simulasi pada saat isolator bersih, terkontaminasi debu dan terkontaminasi lumut memberikan hasil yang mirip untuk nilai tegangan flash dengan persentase 84.223%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Asadpourahmadchali, M., Niasati, M. dan Alinejad-Beromi, Y. (2020) 'Improving tower grounding vs. insulation level to obtain the desired back-flashover rate for HV transmission lines', *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 123(May), p. 106171. doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106171.
- Bennett, A. J. dan Shabanov, G. D. (2021) 'Influence of Lightning Characteristics on Back Flashover in Extra High Voltage Transmission Line : A case study Influence of Lightning Characteristics on Back Flashover in Extra High Voltage Transmission Line : A case study'. doi: 10.1088/1742-6596/1811/1/012048.
- Karami, E. dkk. (2020) 'Monte-Carlo-based simulation and investigation of 230 kV transmission lines outage due to lightning', 5, pp. 83–91. doi: 10.1049/hve.2019.0147.
- Ouyang, X. *et al.* (2019) 'Research of biological contamination and its effect on the properties of RTV-coated insulators', *Electric Power Systems Research*, 167(March 2018), pp. 138–149. doi: 10.1016/j.epsr.2018.10.025.

- Warmi, Y. dan Febrian, K. (2021) 'Analisis Variasi Ketebalan Coating Senyawa Glasir terhadap Daya Tahan Dielektrik Isolator Keramik Saluran Transmisi 150kV', 9(2), pp. 249–262.
- Warmi, Y. dan Ismail, F. (2018) 'Perbaikan Desain Proteksi Petir Saluran Transmisi 150 kV Payakumbuh – Koto Panjang', *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(1), pp. 1–6. doi: 10.21063/jte.2018.3133701.
- Warmi, Y. dan Michishita, K. (2016) 'Investigation of lightning tripouts on 150-kV transmission lines in West Sumatra in Indonesia', *IEEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 11(5), pp. 671–673. doi: 10.1002/tee.22286.
- Warmi, Y. dan Michishita, K. (2018) 'Tower-footing resistance and lightning trip-outs of 150 kV transmission lines in west sumatra in Indonesia', *MATEC Web of Conferences*, 215, pp. 4–11. doi: 10.1051/mateconf/201821501022.
- Warmi, Y. dan Viyoldi, T. O. (2019) 'Analisa Pengaruh Panjang Gap Arcing Horn Terhadap Jumlah Trip-out Pada Saluran Transmisi 150 kV Payakumbuh – Koto Panjang', 8(2), pp. 82–86.