

ANALISIS SIFAT KIMIAWI DAN TINGKAT POLUTAN SALURAN TRANSMISI DI KAWASAN INDUSTRI-KOTA KUPANG, NUSA TENGGARA TIMUR

Sri Kurniati^{1*}, Sudirman Syam², Nursalim³

¹Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang
Jl. Adisucipto, Penfui, 0380-881558

² Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang
Jl. Adisucipto, Penfui, 0380-881558

³ Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang
Jl. Adisucipto, Penfui, 0380-881558

*Corresponding Author Email: sri_kurniati@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Daerah pesisir dan industri merupakan daerah utama perubahan warna pada permukaan produsen isolator. Polutan pada permukaan lapisan isolator biasanya terdiri dari komponen isolatif dan komponen induktif. Apabila terjadi pembasahan isolator, maka arus bocor lapisan pengotor akan mengalir cukup besar. Arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator yang tercemar akan memicu pelepasan sebagian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur sifat kimia dan kadar pencemar yang terjadi di wilayah pesisir dan kawasan industri di kota Kupang. Metode eksperimental digunakan dalam penelitian ini dengan menguji sampel polutan dari kawasan industri di Laboratorium Kimia Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana. Berdasarkan hasil pengukuran sifat kimia menunjukkan bahwa konduktivitas larutan sebelum adanya polutan (air dan NH₄Cl) memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan konduktivitas setelah tidak ada polutan. Hal ini disebabkan adanya polutan PT. Semen Kupang mengandung bahan kimia yang bukan merupakan penyumbang komponen konduktif dan juga memiliki sifat yang tidak mudah terurai menjadi ion-ion dalam suatu larutan. Selain itu, hasil perhitungan diketahui bahwa kandungan Equivalent Salt Deposit Density (ESDD) isolator meningkat dengan bertambahnya konsentrasi polutan dalam larutan masing – masing pengujian sebesar 40 mg/ml. Berdasarkan klasifikasi tingkat pencemaran menurut Standar IEC No. 815 1994, dapat dikatakan bahwa tingkat pencemaran pada isolator pemasangan luar di Kupang berada pada tingkat yang sangat ringan dengan harga 0 sampai 0,03 mg/cm².

Keyword: ESDD, polusi, flashover

1. PENDAHULUAN

Saluran transmisi dan distribusi banyak melewati daerah pantai, daerah industri dan daerah yang kelembabannya tinggi. Seperti halnya keberadaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Tenau Kupang dengan kapasitas 2 x 15 MW dan PLTU di Atapupu (2 x 15 MW) di Atambua Belu yang berada di pinggir laut. Jaringan transmisi 70 kV ini selain melewati daerah pantai, juga melewati kawasan industri Bolok (PT. Semen Kupang) dan daerah perbukitan dan pergunungan menuju Bandara Eltari dengan jarak ± 30,5 kms. Sementara jaringan sistem interkoneksi transmisi 150 kV menuju ke arah timur perbatasan kota Atambua (TTU) sepanjang ± 350 kms dengan melewati daerah pantai dan pergunungan.

Daerah pantai dan industri merupakan daerah utama penghasil pengotoran pada permukaan isolator (Wahrn, & Eri., 1999) (Santosa, 2017). Polutan yang terkandung di udara dapat menempel pada permukaan isolator dan berangsur-angsur membentuk suatu lapisan pada permukaan isolator (Armansyah, 2021) (Tobing, 2016) (Jumari et al., 2020). Lapisan polutan pada permukaan isolator biasanya terdiri dari komponen isolatif dan komponen induktif. Jika terjadi pembasahan pada lapisan

pengotor akan mengalir arus bocor yang cukup besar. Arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator yang terpolusi ini akan memicu terjadinya peluahan sebagian. Peluahan ini ditandai dengan munculnya nyala api pada lapisan polutan permukaan isolator tersebut. Akibat pengaruh hubung singkat ini arus bocor yang mengalir menjadi lebih besar sehingga menimbulkan pemanasan lanjutan dan menghubungkan singkat lapisan polutan berikutnya. Selanjutnya timbul busur api karena adanya peluahan yang semakin panjang. Apabila panjang busur yang terjadi dapat menjembatani konduktor dengan penyangga isolator, maka terjadilah peristiwa lewat denyar (flashover) pada isolator tersebut (Anwar, 2019) (Ferdiansyah et al., 2016).

Dalam penelitian (Syam, & Kurniati, 2012) mengemukakan bahwa arus bocor yang terjadi pada kondisi kabut garam lebih tinggi dibanding dengan kondisi kabut bersih. Selain itu, dalam penelitian ini juga menunjukkan bahwa semakin tinggi polutan yang menempel pada isolator semakin tinggi arus bocor yang mengalir pada isolator tersebut. Dengan demikian, penelitian ini akan memperkuat penelitian - penelitian sebelumnya, yaitu bahwa pada kondisi kelembaban tinggi, lapisan konduktif pada polutan akan semakin mudah terjadi sehingga terbentuk pita kering yang dapat menimbulkan lewat denyar (Aprianto & Syakur, n.d.). Pada kondisi demikian arus bocor yang terjadi pada permukaan isolator yang tidak dilapisi senyawa silikon dapat mencapai 364 μA berbanding dengan 118 μA pada isolator yang dilapisi silikon (Suwarno, Darmawan, 2015) .

Gejala-gejala timbulnya polutan pada isolator ini sangat mudah sekali terjadi pada isolator keramik yang banyak digunakan di Indonesia (Santosa, 2017) (Suwarno, Darmawan, 2015) . Dengan iklim tropis ini isolator keramik mudah terkontaminasi pada bagian permukaan yang membentuk formasi pita kering atau dry band dan mempunyai sifat hidrofilik (menerima air). Untuk mengurangi dan mengatasi lewat denyar akibat pengotoran (terkontaminasi) telah dikembangkan beberapa metode, yaitu pemilihan desain isolator berdasarkan tingkat pengotoran daerah operasi (Wahrn, Eri., 1999), pencucian isolator secara periodik (periodic washing), dan pelapisan permukaan (coating) dengan material tertentu untuk meningkatkan kinerja isolator yang terkontaminasi (Faiqoh et al., 2017). Dalam paper Faiqoh et al. (2017) telah melakukan analisis pengaruh kondisi permukaan terhadap unjuk kerja isolator polimer epoksi 20 kV untuk lingkungan tepi pantai dengan menggunakan silicon rubber RTV 683. Kondisi pengujian isolator dilakukan pada kondisi kering serta basah dengan variasi tegangan 11-15 kV. Parameter yang diukur yaitu sudut kontak, arus bocor dan THD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolator yang telah mengalami coating memiliki hasil yang terbaik dan bersifat hidrofobik karena sudut kontaknya lebih dari 90°. Hal yang sama juga telah dilakukan oleh (Wahrn, & Eri., 1999) dengan melakukan metode penyemprotan senyawa silikon yang sebelumnya telah dilarutkan dengan larutan trichloroethane TCE II pada isolator keramik jenis pos pin 20 kV . Kemudian pelapisan isolator ini diuji pada berbagai kondisi lingkungan baik dalam kondisi bersih maupun dalam kondisi berpolutan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada kondisi normal diperoleh puncak gelombang arus bocor pada kisaran 20 μA , sedangkan pada kondisi isolator terpolusi puncak gelombang arus bocor meningkat hingga lebih dari empat kali lipat kondisi normal. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan terjadinya degradasi pada permukaan isolator yang akan menjadi jembatan akan terjadinya tembus listrik (flashover).

Kondisi polutan yang terjadi pada isolator juga dipengaruhi oleh tingkat polutan pada daerah – daerah pantai, dimana setiap daerah pantai mempunyai tingkat polutan yang berbeda-beda. Dalam paper ini akan membahas tingkat polutan pada daerah

pantai dan kawasan industri yang berada di pinggir pantai Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur.

2. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di daerah Pantai dan Kawasan Industri PT. Semen Kupang, Bolok, Tenau Kupang dan Laboratorium Kimia Fakultas Pertanian Undana.

2.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: TD Scan IV untuk mengukur konduktivitas, sedangkan bahan yang digunakan berupa: polutan PT Semen Kupang; NH_4Cl sebagai pembanding; air mineral dengan merk "Aqua" sebagai pelarut

2.3 Prosedur Eksperimen Sifat Kimia

Gambar 1 memperlihatkan pengukuran konduktivitas larutan polutan.



Gambar 1. Pengukuran konduktivitas larutan polutan

Adapun metode dan prosedur dari eksperimen sebagai berikut:

- Air destilasi ($V=100\text{ml}$) dituangkan dalam sebuah wadah (labu ukur). Kemudian NH_4Cl dimasukkan secara berkala sesuai dengan komposisi yang ditentukan (20 mg, 60mg, 100mg, 140mg, 180mg), selanjutnya dilakukan pengukuran konduktivitas dengan menggunakan konduktivimeter TDD scan 4 dan temperaturnya dengan menggunakan termometer (nilai D1).
- Air destilasi ($V=100\text{ ml}$) juga dituangkan pada wadah lainnya. Dengan menggunakan kapas basah polutan yang menempel pada permukaan isolator diambil secara perlahan, sampai permukaan isolator benar – benar hilang dari polutan. Polutan yang diambil kemudian dimasukkan kedalam wadah bersama

dengan kapas. Kemudian air yang kini mengandung polutan diukur konduktivitasnya dengan menggunakan konduktivimeter TDD scan 4 dan temperaturnya dengan menggunakan termometer (Nilai D2). Untuk menjaga harga konduktivitas yang akurat, digunakan pelarut berupa air mineral kemasan dengan nama dagang "Aqua". Dari hasil pengukuran didapatkan harga konduktivitas dari "Aqua" yaitu 0,2 mS (air PDAM harga konduktivitas berubah antara 0,2 - 0,4 mS).

- Larutan yang terbentuk merupakan suatu suspensi dimana antara pelarut (air aqua) dan polutan akan terpisah kalau didiamkan. Walaupun terjadi pemisahan, konduktivitas suatu larutan hanya dipengaruhi oleh komponen yang larut menjadi ion-ion saja tidak tergantung pada pengendapan yang terjadi. Dengan demikian saat pengukuran tidak mempengaruhi harga konduktivitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Sifat Kimia (Pengukuran Konduktivitas Larutan)

Berdasarkan hasil pengukuran konduktivitas larutan pada suhu tertentu, maka besar konduktivitas pada suhu 20°C dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b (\theta - 20)] \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

- σ_{20} = konduktivitas pada suhu 20°C
- θ = suhu larutan
- σ_{θ} = konduktivitas pada suhu θ
- b = faktor koreksi pada suhu θ (20°C = 0.09105)

Dari persamaan 1, diperoleh konduktivitas pada suhu 20°C, kemudian dihitung konduktivitas garam dalam mg dengan menggunakan persamaan 2.

$$D = \frac{5,7 \cdot 10^{-4} \times \sigma_{20}}{10} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- D = konsentrasi garam NH₄Cl
- σ_{20} = konduktivitas pada suhu 20°C

Setelah diperoleh konduktivitas pada suhu 20°C dan konsentrasi garam, kemudian dihitung nilai ESDD dengan menggunakan 3.

$$ESDD = 10 \times V \times \frac{(D_2 - D_1)}{S} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- ESDD : *Equivalent Salt Deposit Density*, mg/cm²
- D₁ : konsentrasi garam ekivalen dalam wadah setelah isolator dibersihkan (%)
- D₂ : konsentrasi garam ekivalen air sebelum isolator dibersihkan (%)
- S : luas permukaan isolator, (cm²)

Berdasarkan hasil pengujian pengukuran konduktivitas larutan polutan, maka didapatkan data pada Tabel 1 berupa konsentrasi dari polutan PT. Semen Kupang dan NH₄cl dimulai dari harga 20 mg/ml (zat polutan) sampai harga 180 mg/ml, dengan kenaikan setiap harga 40 mg/ml. Larutan pembentuk merupakan

suspensi, zat pelarut (air aqua) dan zat yang dilarutkan (polutan PT. Semen Kupang dan NH₄cl).

Tabel 1. Data pengukuran konduktivitas larutan polutan PT. Semen Kupang dan NH₄Cl

No.	Berat polutan Mg/ml	Konduktivitas Larutan (ms)			
		Sebelum ada polutan		Sesudah ada polutan	
		Σ (μs)	T (°C)	Σ (μs)	T (°C)
1	20	0.6	31	0.45	31
2	60	1.36	31	0.85	31
3	100	2.225	31	1.24	31
4	140	2.905	31	1.57	31
5	180	3.705	31	1.99	31

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa konduktivitas larutan sebelum ada polutan (air dan NH₄Cl) mempunyai nilai yang lebih besar dibanding dengan konduktivitas sesudah ada polutan (air, NH₄Cl dan polutan), hal ini dikarenakan pada polutan PT. Semen Kupang mengandung zat-zat kimia yang bukan merupakan penyumbang komponen konduktif dan juga memiliki sifat yang tidak mudah terurai menjadi ion dalam suatu larutan.

3.2 Pengujian ESDD

Tabel 1 merupakan hasil pengukuran konduktivitas permukaan isolator yang diberi perbandingan dengan polutan buatan (NH₄Cl). Dimana hasil pengukuran konduktivitas pada air mineral dengan merk 'Aqua' sebelum dilakukan pencucian (D₁) dan konduktivitas sesudah adalah hasil pengukuran air dan kapas sesudah dilakukan pencucian (D₂). Berdasarkan pengujian pengukuran konduktivitas larutan polutan, maka didapatkan data pada Tabel 2. Tabel ini menunjukkan konsentrasi dari polutan PT. Semen Kupang dan NH₄cl dimulai dari harga 20 mg/ml (zat polutan) sampai harga 180 mg/ml, dengan kenaikan setiap harga 40 mg/ml. Larutan pembentuk merupakan suspensi, zat pelarut (air aqua) dan zat yang dilarutkan (polutan PT. Semen Kupang dan NH₄cl). Adapun hasil dari perhitungan ESDD dapat dilihat pada Tabel 2 dengan proses perhitungannya sebagai berikut:

- (1) Pengukuran konduktivitas air, kapas, dan garam NH₄Cl baik yang mengandung polutan maupun yang tidak pada suhu tertentu, kemudian dihitung dalam persamaan 1. Diambil salah satu besar konsentrasi polutan 20 mg/ml.
 - Sebelum ada polutan

$$\sigma_{20} = 31[1-0.01905(0.6-20)] = 42,45667 \mu s$$
 - Sesudah ada polutan

$$\sigma_{20} = 31[1-0.01905(0,45-20)] = 42.54525 \mu s$$
- (2) Sesudah didapat konduktivitas pada suhu 20°C, selanjutnya dihitung konduktivitas garam dalam mg, menggunakan persamaan 2.

$$D_1 = \frac{5,7 \cdot 10^{-4} \times 42,45667}{10}$$

$$D_1 = 2.43 \times 10^{-3} \text{ mg}$$

$$D_2 = \frac{5,7 \cdot 10^{-4} \times 42,54525}{10}$$

$$D_2 = 2.425 \times 10^{-3} \text{ mg}$$

(3) Setelah diperoleh konduktivitas pada suhu 20°C dan konsentrasi garam, kemudian dihitung nilai ESDD menggunakan 3.

$$ESDD = 10 \times 100 \times \frac{(2,425 \cdot 10^{-3} - 2,42 \cdot 10^{-3})}{27,5}$$

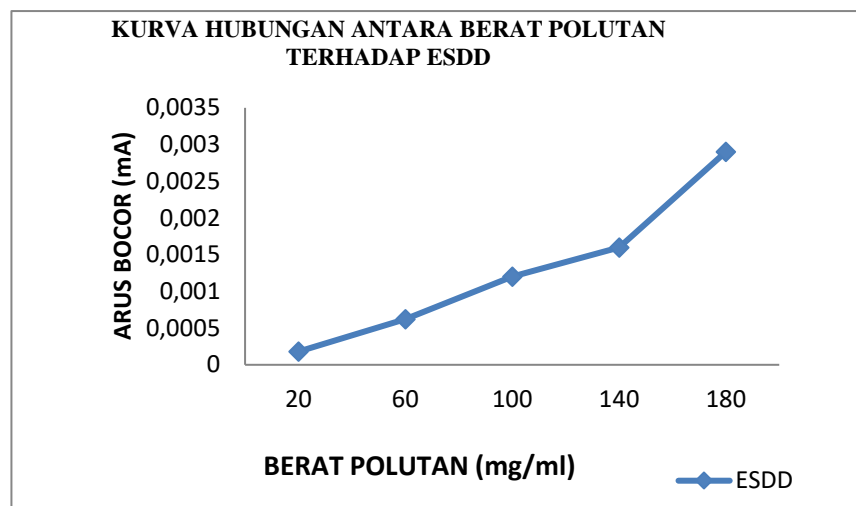
$$ESDD = 1,818 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan ESDD Pada Isolator

No.	Berat Polutan n (mg/ml)	Sebelum ada Polutan		Sesudah ada Polutan			ESDD (mg/cm ²)	Rata-Rata (mg/cm ²)	
		Σ(μs) σ ₂₀ (μs)	T(°C)	Σ(μs)	T(°C)	σ ₂₀ (μs)			
1	20	0.6	31	42.45	0.45	31	42,54	0.00018	0.0013
2	60	1.36	31	42.00	0.85	31	42.30	0.00062	
3	100	2.225	31	41.49	1.24	31	41.07	0.0012	
4	140	2.905	31	41.10	1.57	31	41.88	0.0016	
5	180	3.705	31	40.62	1.99	31	41.35	0.0029	

Keterangan: σ : Konduktivitas larutan
t : Suhu larutan
σ₂₀ : Konduktivitas larutan pada suhu 20 °C

Berdasarkan Tabel 2 dan dari hasil perhitungan dapat kita lihat bahwa kandungan ESDD pada isolator semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi polutan pada larutan untuk tiap – tiap pengujian yaitu 40 mg/ml. Dengan besar kenaikan ESDD mulai dari 1.8x10⁻⁴ pada konsentrasi polutan 20 mg / ml hingga mencapai 2.9x10⁻³ pada konsentrasi polutan 180 mg/ml, dengan jumlah rata-rata dari ESDD yaitu 1.3x10⁻³, dan dari hasil yang diperoleh tersebut maka dibuat grafik garis pada Gambar 2. Selanjutnya, Tabel 3 memperlihatkan klasifikasi tingkat polusi menurut Standar IEC No. 815 Tahun 1994. Berdasarkan Tabel 3 tersebut, dapat dikatakan bahwa tingkat polusi pada isolator pasangan luar di Kupang berada pada tingkat yang sangat ringan dengan harga 0 - 0,03 mg/cm².



Gambar 2. Kurva hubungan antara berat polutan terhadap ESDD

Tabel 3. Klasifikasi polusi

ESDD (mg / cm ²)	Klasifikasi polusi
0 - 0,03	Bersih atau polusi sangat ringan
0,03 - 0,06	Polusi ringan
0,06 - 0,1	Polusi sedang
> 0,1	Polusi berat

3.3 Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa hasil pengukuran konduktivitas permukaan isolator sebelum dilakukan pencucian (D_1) lebih besar dengan kenaikan nilai konduktivitasnya, yaitu dari $0.6\mu\text{s}$ s/d $3.705\mu\text{s}$. Dibanding dengan konduktivitas hasil pengukuran air dan kapas sesudah dilakukan pencucian (D_2) dengan nilainya hanya berkisar dari $0.44\mu\text{s}$ s/d $1.99\mu\text{s}$. Hal ini dikarenakan pada polutan PT. Semen Kupang mengandung zat-zat kimia yang bukan merupakan penyumbang komponen konduktif tetapi juga memiliki sifat yang tidak mudah terurai menjadi ion dalam suatu larutan. Hasil pengukuran konduktivitas pada Tabel 1, maka dibuat perhitungan ESDD yang tertera pada Tabel 2.

Selanjutnya, berdasarkan Tabel 2 terlihat hasil perhitungan kandungan ESDD pada isolator semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi polutan pada larutan untuk tiap – tiap pengujian, yaitu 40 mg/ml. Dengan besar kenaikan ESDD mulai dari 1.8×10^{-4} pada konsentrasi polutan 20 mg/ml hingga mencapai 2.9×10^{-3} pada konsentrasi polutan 180 mg/ml, dengan jumlah rata-rata dari ESDD yaitu 1.3×10^{-3} .

4. KESIMPULAN

Dengan berdasarkan hasil pembahasan dan data-data yang diperoleh, maka dapat disimpulkan:

1. Karakteristik sifat kimia dari polutan PT semen Kupang berdasarkan hasil pengukuran nilai ESDD menunjukkan bahwa semakin besar volume polutan yang larut seperti polutan garam yang ada pada isolator, maka nilai ESDD juga meningkat.

2. Tingkat polusi pada isolator pasangan luar di PT. Semen kupang berada pada tingkat yang sangat ringan dengan harga 0-0,03 mg/cm².

5. DAFTAR REFERENSI

1. Anwar, A. 2019. Pengaruh polutan tak larut terhadap ketahanan isolator. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering (JJEET)*, 1, 22–28.
2. Aprianto, A., & Syakur, A. 2008. Pengaruh Kelembaban dan Suhu Terhadap Karakteristik Arus Bocor pada Isolator Bahan Resin Epoksi dengan Pengisi Bahan Pasir Silika. *Skripsi*, 1–12.
3. Armansyah. 2021. Analisa Pengaruh Endapan Polutan Garam pada Isolator Terhadap Arus Bocor. *Journal of Electrical Technology*, 6(2).
4. Faiqoh, E., Nugroho, A., & Syakur, A. 2017. Pembuatan dan Analisis Pengaruh Kondisi Permukaan Terhadap Unjuk Kerja Isolator Polimer Resin Epoksi 20 kV Tipe Sirip Seragam dengan Variasi Tegangan Uji. *Transient*, 6(3), 388–395.
5. Ferdiansyah, D., Nainggolan, J. M., & Despa, D. 2016. Karakteristik Peluahan Sebagian (Partial Discharge) Pada Isolasi Epoksi Resin (Resin Epoxy) Dengan Metode Emisi Akustik. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 1, 1–6. <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/531>
6. Jumari, 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*, 9, 31–43.
7. Santosa, D. H. 2017. Analisa Percepatan Umur Isolator Keramik Pada Saluran Distribusi 20 Kv Di Daerah Pesisir Pantai Akibat Kontaminasi Udara. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh November.
8. Suwarno, Darmawan, H. 2001. Studi Bentuk Gelombang Arus Bocor pada Isolator Keramik POS-PIN 20 kV dalam Berbagai Kondisi Lingkungan. *Teknik Elektro*, 7(1).
9. Syam, S., & Kurniati, S. 2012. Pengaruh Kabut Garam Terhadap Kinerja Isolator 20 kV Berbahan Polimer Resin Epoxy. *Jurnal Media Elektro*, 1(2).
10. Tobing, O. P. L. 2016. Pengaruh Kelembaban Terhadap Arus Bocor Isolator Piring Jenis Porselen Terpolusi Abu Vulkanik. *Singuda ENSIKOM*, 14(38), 7–12.
11. Wahrun, & Eri., S. 1999. Studi Pelapisan Isolator Keramik dengan Lapisan Senyawa Silikon untuk Mengatasi Masalah Akibat Kontaminasi. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan '99, Serpong, 20-21 Oktober 1999*.