

# Analisis Pengaruh Kontaminan pada Isolator Polimer Terhadap Karakteristik *Partial Discharge* dengan Menggunakan Termal dan Akustik

Waseda Himawari, I Made Yulistya Negara, dan I Gusti Ngurah Satriyadi  
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: yulistya@ee.its.ac.id; didit@ee.its.ac.id.

**Abstrak**—Pada studi ini dilakukan analisa karakteristik PD isolator polimer dibawah pengaruh kontaminan berbasis emisi termal dan akustik. Adapun tujuan dari studi ini adalah membandingkan karakteristik PD antara isolator dengan dan tanpa kontaminan. Kontaminan yang dipergunakan adalah fly ash dan garam dengan berbagai variasi berdasarkan ESDD dan NSDD pada permukaan isolator. Tingkat konduktivitas masing-masing variasi kontaminan berdasarkan ESDD dan NSDD tersebut diukur untuk mengetahui tingkat kontaminasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kamera termal dan akustik pada tingkat tegangan tertentu. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontaminan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan temperatur dan emisi akustik pada isolator yang diuji. Temperatur tertinggi pada isolator tanpa dan dengan isolator pada tegangan 20 kV masing-masing 32°C. Secara umum, nilai emisi akustik dalam dB meningkat seiring peningkatan tegangan demikian pula dengan semakin tinggi tingkat kontaminan semakin tinggi pula temperatur dan emisi akustik pada isolator uji.

**Kata Kunci**—*Isolator Polimer, Kontaminan Fly Ash, Kontaminan Garam, Suhu, Partial Discharge.*

## I. PENDAHULUAN

ISOLATOR merupakan komponen terbuat dari bahan nonkonduktor yang berfungsi untuk melindungi konduktor dari tanah atau konduktor lain [1]. Isolator adalah salah satu komponen dalam sistem kelistrikan yang dapat mempengaruhi kinerja gardu induk dan saluran transmisi [2]. Isolator biasanya digunakan untuk mengisolasi satu konduktor dari yang lain serta menara yang dibumikan untuk mencegah arus bocor [3]. Isolator dibagi menjadi tiga macam yaitu isolasi padat, isolasi gas, dan isolasi cair. Isolasi padat memiliki ketahanan isolasi yang lebih baik bila dibandingkan dengan gas [4]. Terdapat dua jenis bahan isolasi yang biasa digunakan yaitu keramik (porselen dan kaca) dan non keramik (polimer dan komposit).

Isolator polimer memiliki keunggulan dibandingkan isolator porselen dalam kondisi terkontaminasi [5]. Pada isolator jika isolator berada di luar ruangan. Salah satu pengaruh kontaminan terhadap permukaan isolator dapat menyebabkan arus bocor pada isolator [6]. Isolator polimer memiliki retensi serta kinerja yang baik dalam kondisi basah dan saat berada didaerah lingkungan tercemar. Faktor lingkungan yang dapat merugikan isolator adalah kelembaban, hujan, dan radiasi UV dari sinar matahari. Bahan polimer digunakan pada material isolator karena

memiliki sifat kedap air [7]. Sifat hidrofobik yang dimiliki isolator polimer bukan menjadi jaminan isolator polimer menjadi kuat dalam menghadapi gangguan akibat polusi seperti air hujan, debu, *fly ash*, dan kontaminan lain yang menempel pada permukaan isolator. Pada sistem isolasi kelistrikan, material dielektrik dapat mengalami breakdown dikarenakan terjadinya *partial discharge* (PD) [8].

Kandungan kontaminan yang tinggi pada permukaan suatu isolator dapat mempengaruhi nilai medan listrik pada permukaan isolator [9]. Medan magnet yang berubah menyebabkan proses penuaan isolator menjadi lebih cepat. Isolator yang menua akan lebih rentan terhadap *flashover* dan gangguan pada jaringan sistem tenaga. Selain itu, penuaan isolator dapat menyebabkan penurunan daya tahan air dan terbentuknya lapisan polutan [10]. Lapisan bersifat konduktif dan dapat menyebabkan pita kering (*dry-band*). Permukaan isolator yang menunjukkan pita kering (*dry-band*) dapat menyebabkan arus bocor permukaan isolator [11]. Gangguan yang terjadi sering kali diluar kendali pengaturan. Dalam menangani kasus isolator terkontaminasi banyak metode yang digunakan, salah satunya dengan menggunakan termal dan kamera akustik. Metode akustik kebal terhadap elektromagnetik, sehingga mudah digunakan [12].

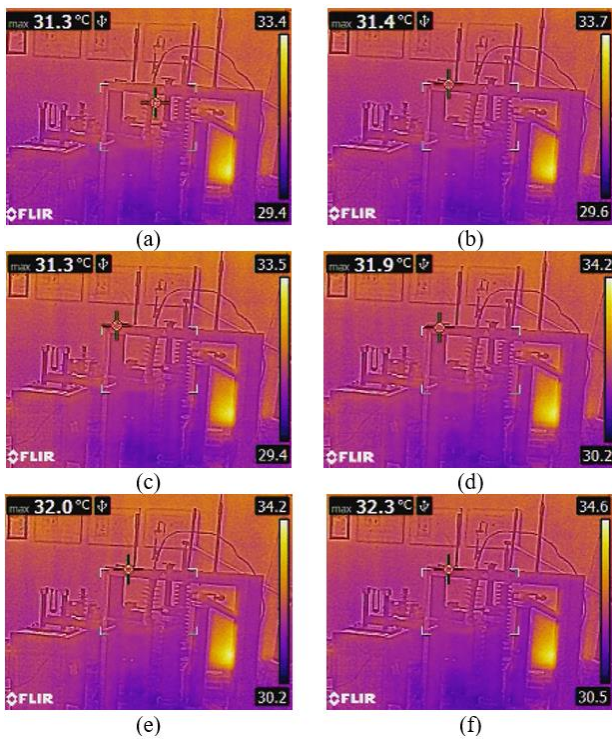
## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Isolator Polimer

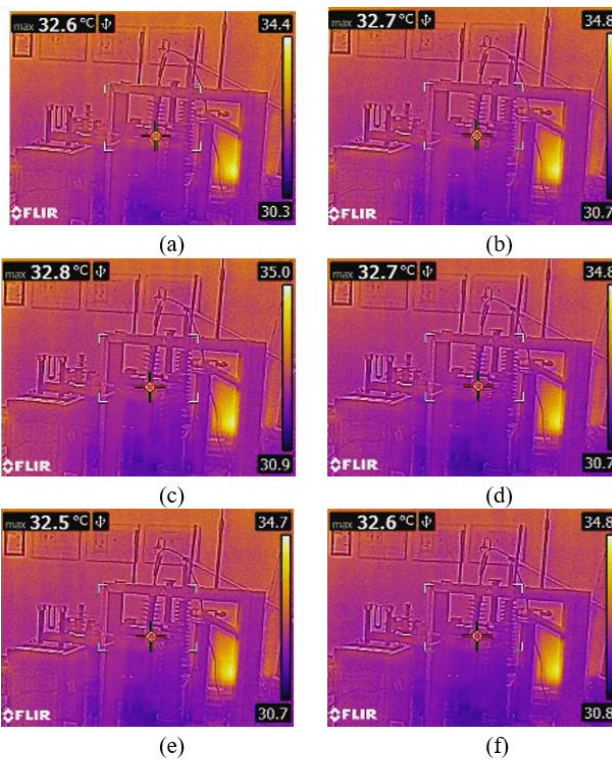
Isolator polimer merupakan isolasi yang ringan dan memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Isolator polimer terbuat dari susunan beberapa monomer [13]. Beberapa tahun terakhir ini isolator polimer mulai dikembangkan sebagai pengganti isolator gelas dan porselen karena memiliki beberapa kelebihan daripada isolator gelas [14].

### B. Tingkat Polusi Isolator

Permukaan isolator dapat terpolusi oleh kontaminan yang dapat menyebabkan penurunan kemampuan dielektrik isolator. Beberapa kasus isolator yang terkontaminasi ditemukan kontaminan oleh *fly ash* dan garam. Ada dua jenis kontaminan yang menempel pada isolator yaitu kontaminan konduktif dan kontaminan inert (lembam). Kontaminan konduktif merupakan kontaminan yang dapat mengalirkan arus listrik. Fenomena yang terjadi pada kontaminan lembam adalah hidrofilik dan hidrofobik [15]. Berdasarkan standar IEC 60815 tingkat polusi isolator dibagi menjadi ringan, sedang, berat dan sangat berat.



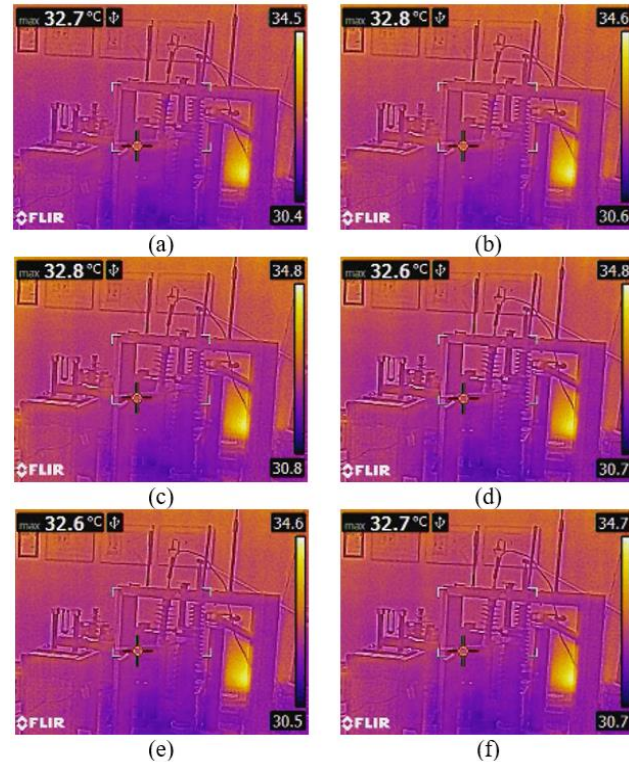
Gambar 1. Citra Termal Isolator Tanpa Kontaminasi pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).



Gambar 2. Citra Termal Isolator Terkontaminasi Fly Ash Ringan pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).

C. Gelombang Akustik

Bunyi yang merambat dalam media secara bergelombang merupakan sebuah gangguan pada media tersebut. Pada cairan, turbulensi akan menghasilkan kompresi dan penghalusan dalam media yang digunakan. Hal tersebut merupakan perubahan tekanan lokal (p) yang menyebabkan perubahan densitas (p) dan perpindahan molekul. Ini sering disebut sebagai perpindahan partikel. Tiga persamaan dasar yang menggambarkan kontinuitas, kekekalan momentum,



Gambar 3. Citra Termal Isolator Terkontaminasi Fly Ash Ringan pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).

dan elastisitas digabungkan untuk membentuk persamaan diferensial laplace gerak pada gelombang akustik [16].

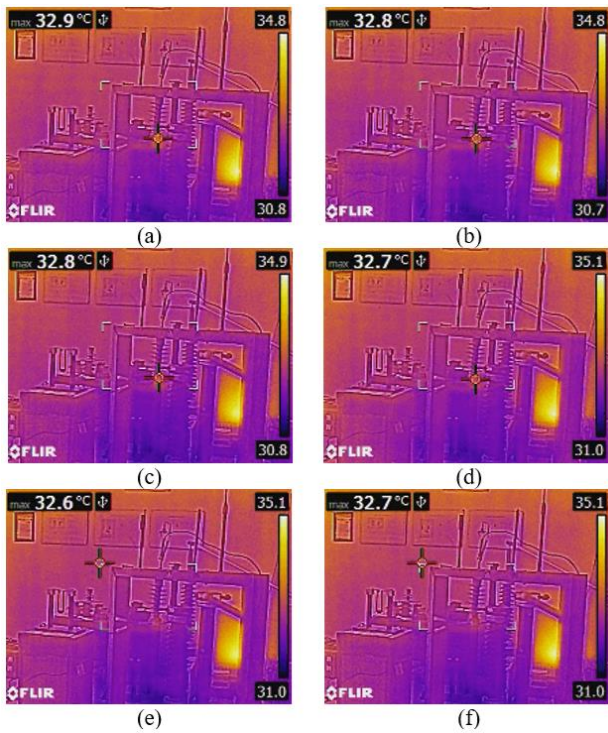
D. Partial Discharge (PD)

PD (Partial Discharge) atau disebut juga gangguan merupakan suatu peristiwa dimana pelepasan atau percikan melompati bagian dari isolator atau sistem isolasi listrik (baik di dalam rongga atau permukaan) karena perbedaan potensial yang tinggi di dalam isolator. Partial discharge dapat terjadi pada isolasi padat, cair atau gas. PD disebabkan oleh gerakan elektron yang tidak seragam di bawah medan. Kekuatan medan listrik di lokasi elektron harus melebihi nilai tertentu agar elektron dapat meninggalkan lokalisasinya di permukaan isolator [17]. Pelepasan dapat terjadi pada permukaan isolator jika terkontaminasi. Kilat isolator yang disebabkan oleh kontaminasi tidak mempengaruhi trauma listrik pada isolator [18].

III. PENGUJIAN ISOLATOR POLIMER

A. Pengkondisian Kontaminan Fly Ash pada Isolator Polimer

Pengkondisian fly ash telah dilakukan oleh Reynaldi Syahril [19]. Sebelum pengujian dilakukan, isolator dilakukan pengondisian fly ash. Kontaminan fly ash ditimbang sesuai dengan massa yang telah ditentukan sebelumnya dengan menggunakan neraca digital. Siapkan aquades sebanyak 50 ml dan dicampur dengan fly ash yang telah ditimbang. Larutan kontaminan fly ash dimasukkan ke dalam botol penyemprot kemudian disemprotkan ke permukaan isolator secara merata. Isolator yang telah disemprot larutan kontaminan fly ash dijemur di bawah sinar matahari hingga kering. Bila isolator telah kering berikutnya akan dipasang konduktor pada bagian atas isolator dan



Gambar 4. Citra Termal Isolator Terkontaminasi Garam Ringan pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).

isolator dipasang pada tiang penyangga untuk dilakukan pengujian termal dan akustik.

**B. Pengkondisian Kontaminan Garam pada Isolator Polimer**

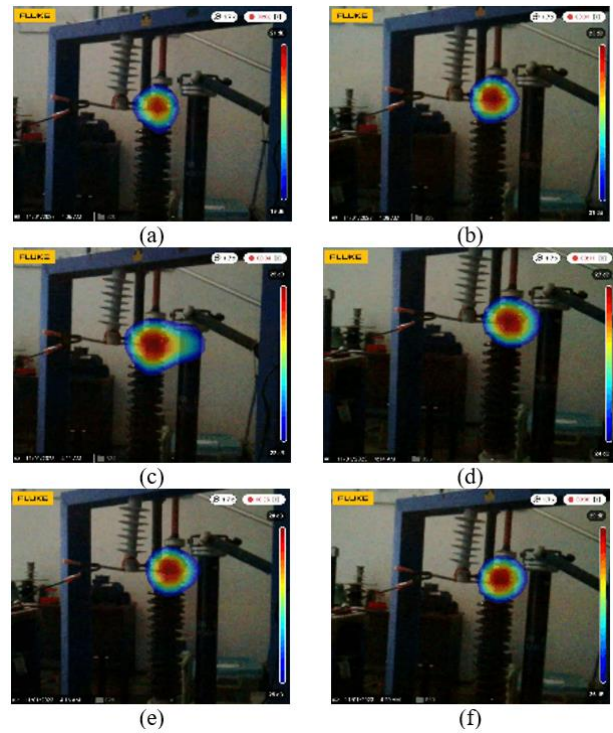
Pengkondisian garam ini telah dilakukan oleh Reynaldi Syahril [19]. Isolator dilakukan pengondisian garam. Kontaminan garam ditimbang dengan menggunakan neraca digital. Aquades disiapkan sebanyak 100 ml untuk proses pre-kondisi kontaminan garam. 50 ml aquades digunakan untuk pembuatan salinasi garam dan 50 ml digunakan untuk keperluan ESDD. Garam dilarutkan bersama dengan aquades di dalam gelas ukur. Jika sudah larut kemudian larutan dimasukkan ke dalam botol penyemprot. Semprotkan larutan kontaminan garam pada permukaan isolator dan jemur hingga kering. Isolator yang telah kering dipasang konduktor pada bagian atas isolator dan dipasang pada tiang penyangga untuk dilakukan pengujian termal dan akustik

**C. Pengujian Isolator dengan Citra Termal dan Emisi Akustik**

Metode step voltage digunakan untuk mengukur tahanan isolasi dan mengidentifikasi keberadaan PD. Metode pengujian ini dilakukan dengan cara menaikkan tegangan secara bertahap dengan menggunakan sumber tegangan yang diatur. Pada penelitian ini tegangan yang digunakan adalah tegangan tinggi AC. Level tegangan yang digunakan pada penelitian ini adalah 20 kV, 22 kV, 24 kV, 26 kV, 28 kV, dan 30 kV.

**1) Pengamatan Gelombang Akustik**

Gelombang akustik yang dihasilkan pada isolator yang mengalami PD dapat bervariasi tergantung pada karakteristik PD dan lingkungan sekitarnya. PD pada isolator dapat menghasilkan suara yang terkait dengan ionisasi udara di sekitar area PD. Suara ini seringkali berupa suara desis. Tampilan pada kamera akustik menampilkan gelombang akustik dengan nilai gelombang akustik. Peningkatan



Gambar 6. Citra Akustik Isolator Tanpa Kontaminan pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).

gelombang akustik mengindikasikan peningkatan dalam intensitas suara.

**2) Pengamatan Termal Suhu**

Pada pengujian ini suhu isolator yang mengalami PD sangat diperhatikan. Pengambilan video dari citra termal oleh kamera termal yang berdurasi 1 menit diolah. PD pada isolator dapat menghasilkan energi termal yang dapat meningkatkan suhu di sekitar lokasi PD. Bila isolator terkontaminasi maka kontaminan tersebut dapat menjadi titik fokus untuk peningkatan suhu yang lebih tinggi.

**3) Pengolahan Data**

Video yang telah diambil menggunakan kamera Flir e5 dan Fluke ii900 kemudian diekstrak berupa format foto yang dapat dilihat citra termalnya, sehingga dapat diamati dan diketahui titik suhu terpanas serta suhu terendah pada saat dilakukan pengujian PD. Proses ekstrak video diambil pada setiap detiknya sehingga mengetahui informasi suhu dan gelombang dari video tersebut. Setelah ekstraksi video, suhu dan gelombang dapat diidentifikasi dengan membandingkan nilai suhu pada setiap titik dalam video.

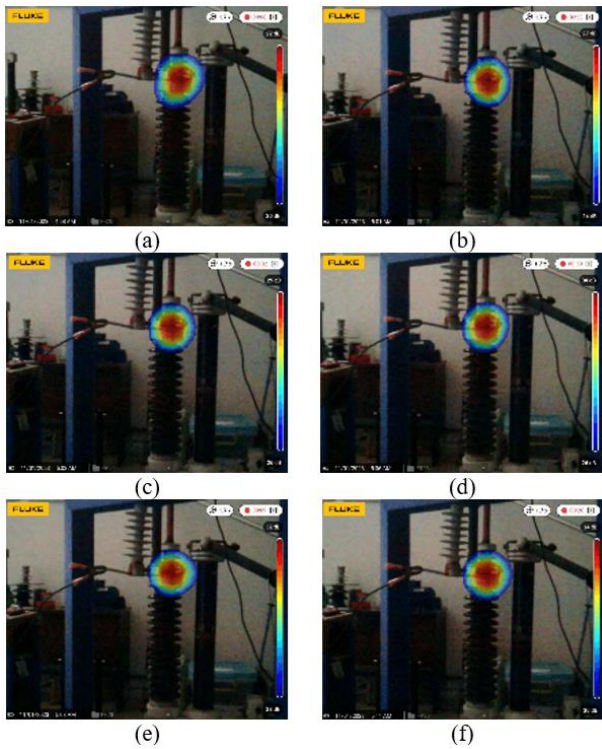
**IV. ANALISA HASIL**

**A. Perekaman Citra Termal**

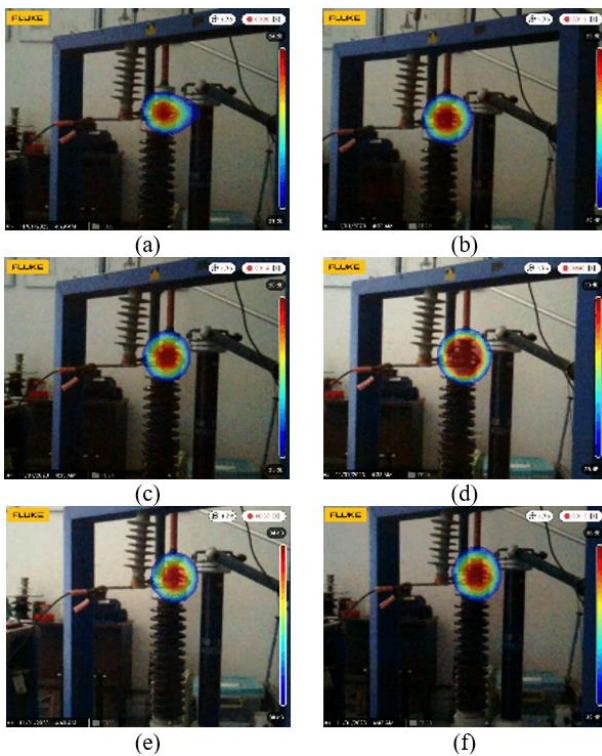
**1) Isolator Tanpa Kontaminan**

Gambar termal yang direkam dengan pencitraan termal Flir e5 dalam mode inframerah untuk mengetahui suhu ketika tegangan dinaikkan. Perekaman isolator ini saat terjadi menghasilkan data berupa perubahan suhu dari awal hingga terdengar desis dari isolator. Pada Gambar 1 memperlihatkan saat pengambilan citra isolator tanpa kontaminan dengan nilai variasi tegangan yang telah ditentukan dan terlihat bahwa nilai suhu meningkat seiring tegangan yang dinaikkan.

**2) Isolator Terkontaminasi Fly Ash Ringan**

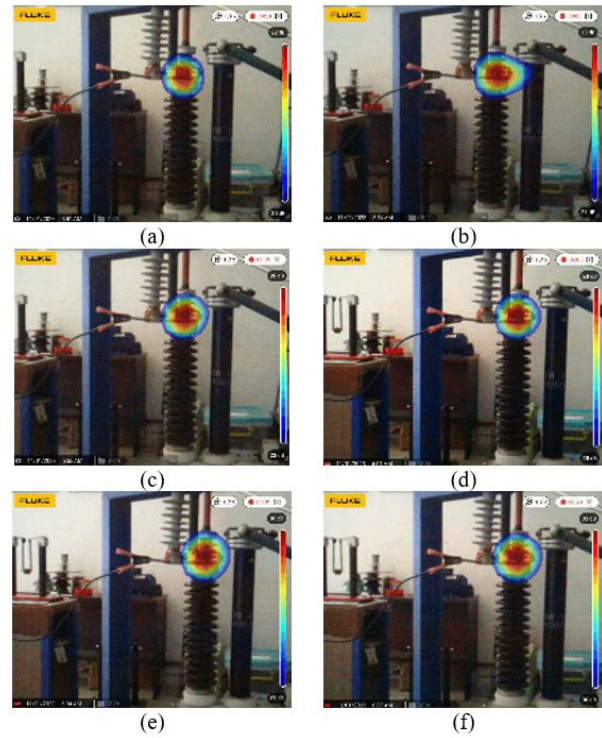


Gambar 7. Citra Akustik Isolator Terkontaminasi *Fly Ash* Ringan pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).

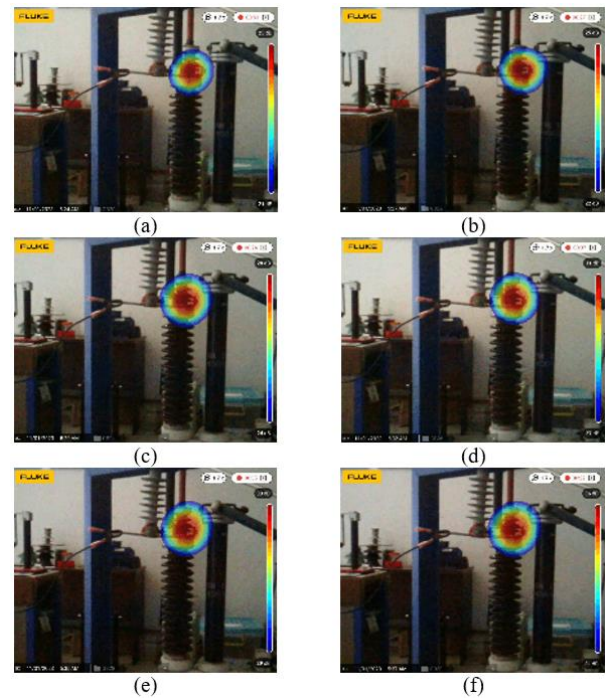


Gambar 8. Citra Akustik Isolator Terkontaminasi *Fly Ash* Berat pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).

Pengambilan gambar dilakukan sebelum terjadinya desis hingga berdesis pada isolator. Kenaikan suhu pada isolator terkontaminasi seiring dengan peningkatan tegangan. Gangguan tersebut menghasilkan panas yang dapat meningkatkan suhu isolator. Pada gambar 2 memperlihatkan saat pengambilan citra termal isolator terkontaminasi *fly ash* ringan. Pada Gambar 2 (a) sampai 2 (c) suhu mengalami peningkatan, kemudian gambar 2 (d) dan 2 (e) suhu



Gambar 9. Citra Akustik Isolator Terkontaminasi Garam Ringan pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).

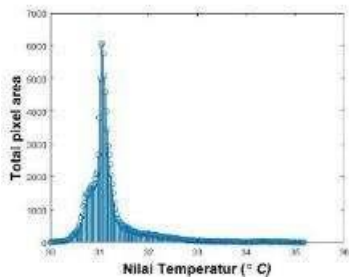


Gambar 10. Isolator Terkontaminasi Garam Berat pada Tegangan 20 kV (a), 22 kV (b), 24 kV (c), 26 kV (d), 28 kV (e), 30 kV (f).

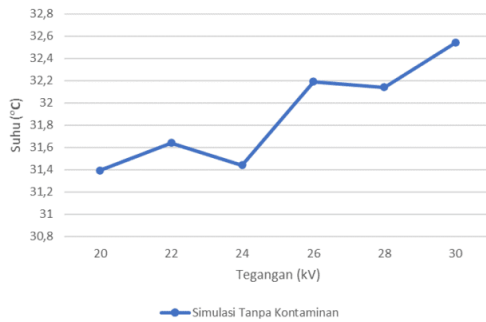
mengalami penurunan hingga 32.5 °C. Gambar 2 (f) mengalami kenaikan suhu.

### 3) Isolator Terkontaminasi *Fly Ash* Berat

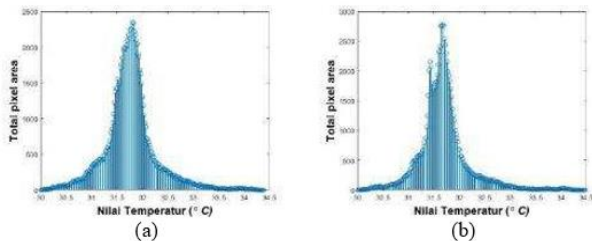
Pada Gambar 3 memperlihatkan saat pengambilan citra isolator terkontaminasi *fly ash* kondisi berat dengan nilai variasi tegangan yang telah ditentukan. Berdasarkan Gambar 3 (a) sampai (b) suhu yang diperoleh dari isolator uji mengalami kenaikan. Pada Gambar 3 (d) suhu yang diperoleh mengalami kenaikan dari Gambar 3 (b).



Gambar 11. Hasil Simulasi Citra Termal Isolator Polimer Tanpa Kontaminan.



Gambar 12. Grafik Simulasi Isolator Polimer Tanpa Kontaminan.



Gambar 13. Hasil Simulasi Citra Termal Isolator Terkontaminasi Fly Ash Ringan (a), Terkontaminasi Fly Ash Berat (b).

4) Isolator Terkontaminasi Garam Ringan

Kontaminan garam ringan yang menyerap kelembaban dari udara dapat menyebabkan aliran arus lebih besar sehingga arus tersebut menghasilkan panas yang meningkatkan suhu isolator (lihat Gambar 4).

5) Isolator Terkontaminasi Garam Berat

Kontaminan garam berat seperti garam mineral memiliki konduktivitas tinggi yang dapat berpengaruh terhadap kenaikan suhu isolator. Pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai yang diperoleh adalah 32.7 °C dan 32.6 °C.

B. Perekaman Akustik Isolator Polimer

1) Isolator Tanpa Kontaminan

Pada Gambar 6 memperlihatkan saat pengambilan citra akustik isolator tanpa kontaminan dengan nilai variasi tegangan yang telah ditentukan. Pengambilan gambar dilakukan sebelum terjadinya desis hingga berdesis pada isolator. Nilai gelombang pada saat belum terjadi desis dengan yang telah mengalami desis berbeda. Dapat dilihat pada Gambar 6 bahwa nilai dB yang dihasilkan mengalami kenaikan.

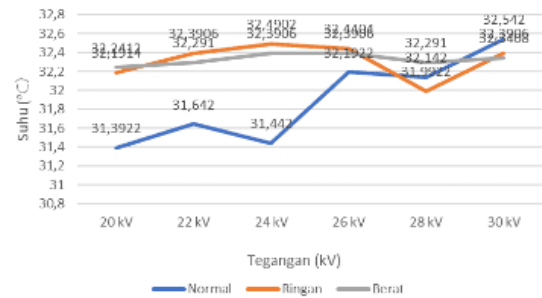
2) Isolator Terkontaminasi Fly Ash Ringan

Pada Gambar 7 memperlihatkan saat pengambilan citra akustik isolator terkontaminasi fly ash ringan dengan nilai variasi tegangan yang telah ditentukan. Pengambilan gambar dilakukan sebelum terjadinya desis hingga berdesis pada isolator. Nilai pada isolator terkontaminasi fly ash ringan

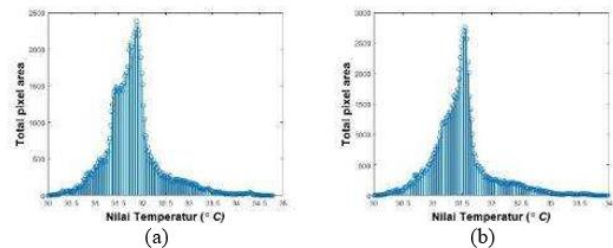
Tabel 1.

Nilai Rata-rata Suhu Kondisi Normal dan Dua Kondisi Kontaminan Fly Ash

| kV | Suhu Tertinggi (°C) |        |       | Rata-Rata Suhu (°C) |         |         |
|----|---------------------|--------|-------|---------------------|---------|---------|
|    | Normal              | Ringan | Berat | Normal              | Ringan  | Berat   |
| 20 | 31,3                | 32,7   | 32,6  | 31,3922             | 32,1914 | 32,2412 |
| 22 | 31,4                | 32,8   | 32,5  | 31,6420             | 32,3906 | 32,2910 |
| 24 | 31,4                | 32,8   | 32,6  | 31,4420             | 32,4902 | 32,3906 |
| 26 | 31,9                | 32,6   | 32,7  | 32,1922             | 32,4404 | 32,3906 |
| 28 | 32                  | 32,5   | 32,6  | 32,1420             | 31,9922 | 32,2910 |
| 30 | 32,3                | 32,6   | 32,7  | 32,5420             | 32,3906 | 32,3408 |



Gambar 14. Hasil Simulasi Nilai Rata-rata Suhu Isolator Terkontaminan Fly Ash.



Gambar 15. Hasil Simulasi Citra Termal Isolator Terkontaminasi Garam Ringan (a), Terkontaminasi Garam Berat (b).

mengalami kenaikan cukup tinggi seiring dengan meningkatnya tegangan.

3) Isolator Terkontaminasi Fly Ash Berat

Pada Gambar 8 memperlihatkan saat pengambilan citra akustik isolator terkontaminasi fly ash berat dengan nilai variasi tegangan yang telah ditentukan. Terlihat pada gambar 8 perubahan nilai gelombang saat diberi tegangan 20 kV, 22 kV, 24 kV, dan 26 kV tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Pada level tegangan 28 kV dan 30 kV terjadi kenaikan nilai gelombang yang cukup signifikan.

4) Isolator Terkontaminasi Garam Ringan

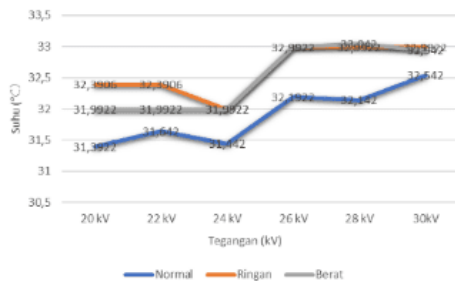
Pada Gambar 9 memperlihatkan saat pengambilan citra akustik isolator terkontaminasi garam ringan dengan nilai variasi tegangan yang telah ditentukan. Terlihat dari Gambar 10 perubahan nilai gelombang saat diberi tegangan mengalami kenaikan.

5) Isolator Tekontaminasi Garam Berat

Pada Gambar 10 memperlihatkan saat pengambilan citra akustik isolator terkontaminasi garam ringan dengan nilai variasi tegangan yang telah ditentukan. Terlihat pada Gambar 10 perubahan nilai gelombang saat diberi tegangan 20 kV dan 22 kV tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Pada level

Tabel 2.  
Nilai Rata-rata Suhu Kondisi Normal dan Dua Kondisi Kontaminan Garam

| kV | Suhu Tertinggi (°C) |        |       | Rata-rata Suhu (°C) |         |         |
|----|---------------------|--------|-------|---------------------|---------|---------|
|    | Normal              | Ringan | Berat | Normal              | Ringan  | Berat   |
| 20 | 31,3                | 32,9   | 32,8  | 31,3922             | 32,3906 | 31,9922 |
| 22 | 31,4                | 32,8   | 32,6  | 31,6420             | 32,3906 | 31,9922 |
| 24 | 31,4                | 32,8   | 32,7  | 31,4420             | 31,9922 | 31,9922 |
| 26 | 31,9                | 32,8   | 32,6  | 32,1922             | 32,9922 | 32,9922 |
| 28 | 32                  | 32,6   | 32,6  | 32,1420             | 32,9922 | 33,0420 |
| 30 | 32,3                | 32,8   | 32,6  | 32,5420             | 32,9922 | 32,9420 |



Gambar 16. Rata-rata Nilai Suhu Isolator Terkontaminasi Garam

Tabel 3.  
Nilai Rata-rata Kondisi Normal dan Dua Kondisi Kontaminan Garam

| kV | Desibel Tertinggi (dB) |        |       | Rata-rata Desibel (dB) |         |         |
|----|------------------------|--------|-------|------------------------|---------|---------|
|    | Normal                 | Ringan | Berat | Normal                 | Ringan  | Berat   |
| 20 | 21                     | 22     | 24    | 19,9961                | 20,9961 | 22,4941 |
| 22 | 23                     | 27     | 25    | 21,4941                | 25,4941 | 23,4941 |
| 24 | 25                     | 29     | 28    | 23,4941                | 27,4941 | 26,4941 |
| 26 | 27                     | 30     | 30    | 25,4941                | 27,9922 | 28,4941 |
| 28 | 28                     | 32     | 34    | 26,4941                | 29,9922 | 31,9922 |
| 30 | 29                     | 34     | 36    | 27,4941                | 31,9922 | 33,9922 |

tegangan 24 kV, 26 kV, 28 kV dan 30 kV terjadi kenaikan nilai gelombang yang cukup tinggi.

C. Pembahasan Citra Thermal

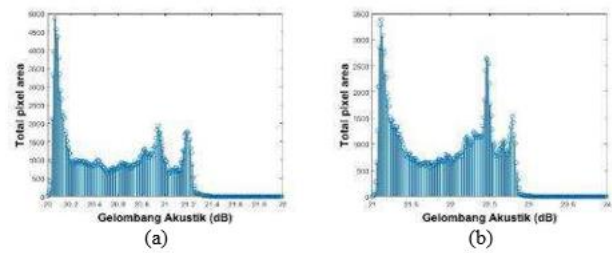
1) Citra Termal Isolator Tanpa Kontaminan

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil pada histogram yaitu nilai rata-ratanya adalah didapatkan rekap data untuk semua pengujian dengan citra termal pada kondisi tanpa kontaminan dan dengan terkontaminasi.

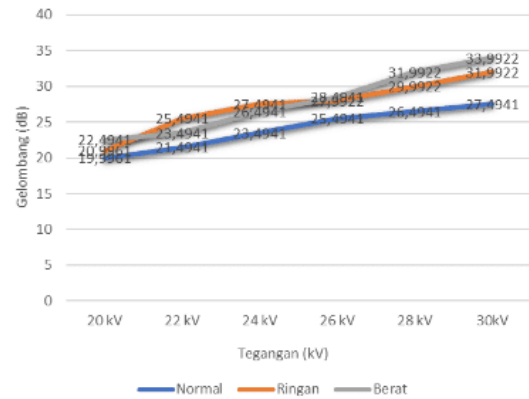
Simulasi dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata suhu yang terukur. Gambar 11 dan Gambar 12 merupakan grafik serta hasil simulasi isolator polimer dengan kondisi tanpa kontaminan yang menunjukkan bahwa ada kenaikan dan penurunan nilai suhu. Hal ini tidak sesuai dengan semakin tinggi tegangan yang diaplikasikan maka semakin tinggi nilai suhu yang dihasilkan.

2) Citra Termal Isolator Polimer Kontaminan Fly Ash

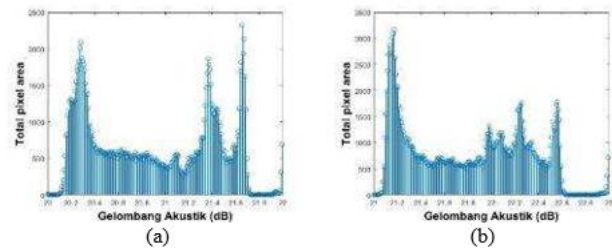
Gambar 13 merupakan hasil simulasi suhu tertinggi isolator polimer terkontaminasi fly ash. Saat kondisi kontaminan level ringan dan berat pada tegangan 20 kV menunjukkan nilai rata-rata yang didapatkan adalah 32,1°C dan 32,2°C suhu cukup naik lalu kemudian turun.



Gambar 17. Hasil Simulasi Citra Akustik Terkontaminasi Fly Ash Ringan (a), Terkontaminasi Fly Ash Berat (b).



Gambar 18. Hasil Simulasi Nilai Rata-rata Desibel Terhadap Kontaminan Fly Ash.



Gambar 19. Hasil Simulasi Citra Akustik Isolator Terkontaminasi Garam Ringan (a), Terkontaminasi Garam Berat (b).

Nilai rata-rata suhu isolator polimer terkontaminasi fly ash diperoleh hasil yang kurang baik dikarenakan beberapa faktor (lihat Tabel 1). Ketika nilai suhu tertinggi dan terendah didapat, kemudian dilakukan perhitungan statistik sehingga didapat nilai rata-rata.

Hasil dari simulasi yang didapatkan terlihat pada Gambar 14 bahwa nilai rata-rata suhu isolator terkontaminasi fly ash kondisi ringan memiliki nilai yang lebih tinggi.

3) Citra Termal Isolator Polimer Kontaminan Garam

Gambar 15 merupakan hasil simulasi isolator polimer terkontaminasi garam. Saat kondisi kontaminan level ringan dan berat pada tegangan 20 kV menunjukkan nilai rata-rata yang didapatkan adalah 32,3°C dan 31,9°C.

Berdasarkan hasil simulasi seperti pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai rata-rata suhu saat kondisi isolator terkontaminasi garam kondisi ringan lebih tinggi daripada saat kondisi berat. Hasil menunjukkan bahwa pada Gambar 16 nilai rata-rata tertinggi suhu isolator polimer adalah isolator polimer terkontaminasi garam berat.

D. Pembahasan Citra Akustik

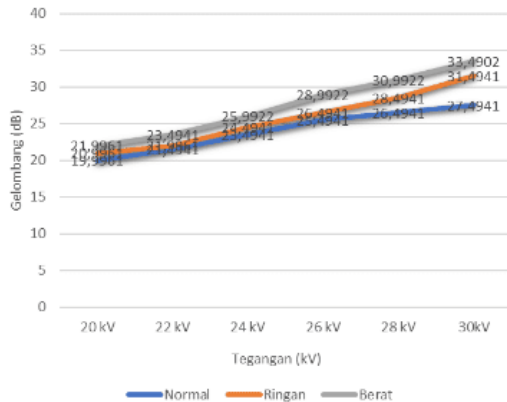
1) Citra Akustik Isolator Terkontaminasi Fly Ash

Simulasi citra akustik isolator polimer dengan kontaminan fly ash dilakukan dengan memvariasikan nilai tegangan dan

Tabel 4.

Nilai Rata-rata Desibel Kondisi Normal dan Dua Kondisi Kontaminasi Garam

| kV | Desibel Tertinggi (dB) |        |       | Rata-rata Desibel (dB) |         |         |
|----|------------------------|--------|-------|------------------------|---------|---------|
|    | Normal                 | Ringan | Berat | Normal                 | Ringan  | Berat   |
| 20 | 21                     | 21     | 23    | 19,9961                | 20,9961 | 21,9961 |
| 22 | 23                     | 23     | 25    | 21,4941                | 21,9961 | 23,4941 |
| 24 | 25                     | 26     | 28    | 23,4941                | 24,4941 | 25,9922 |
| 26 | 27                     | 28     | 31    | 25,4941                | 26,4941 | 28,9922 |
| 28 | 28                     | 30     | 33    | 26,4941                | 28,4941 | 30,9922 |
| 30 | 29                     | 33     | 36    | 27,4941                | 31,4941 | 33,4902 |



Gambar 20. Hasil Simulasi Nilai Rata-rata Gelombang Isolator Terkontaminasi Garam

kondisi polutan. Pada Tabel 3 nilai rata-rata yang didapat berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan.

Gambar 17 merupakan hasil simulasi nilai gelombang akustik isolator polimer terkontaminasi *fly ash*. Saat kondisi kontaminasi level ringan dan berat pada tegangan 20kV menunjukkan nilai rata-rata isolator terkontaminasi *fly ash* ringan memiliki nilai yang lebih tinggi.

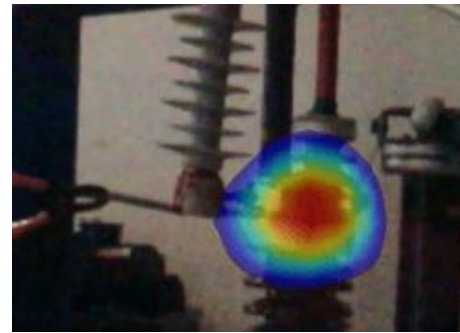
Berdasarkan Gambar 18 diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa kontaminasi *fly ash* memberikan dampak pada gelombang akustik. Gelombang akustik semakin meningkat seiring dengan tingkat kontaminasi yang semakin berat nilai rata-rata tertinggi gelombang isolator polimer adalah isolator polimer terkontaminasi *fly ash* berat.

## 2) Pembahasan Citra Akustik Isolator Terkontaminasi Garam

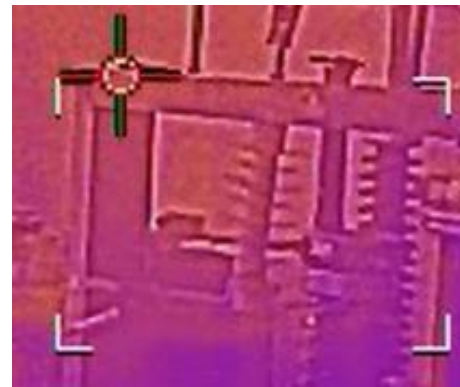
Gambar 19 merupakan hasil simulasi nilai gelombang akustik isolator polimer terkontaminasi garam. Saat kondisi kontaminasi level ringan dan berat pada tegangan 20 kV menunjukkan nilai rata-rata 20,9 dB dan 21,9 dB. Isolator terkontaminasi garam berat memiliki nilai yang lebih tinggi.

Simulasi citra termal isolator polimer dengan kontaminasi garam dilakukan dengan memvariasikan nilai tegangan dan kondisi polutan. Pada Tabel 4 nilai rata-rata yang didapat berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan perhitungan statistik.

Perbandingan nilai rata-rata gelombang akustik isolator polimer tanpa kontaminasi dan dengan kontaminasi garam pada kondisi level ringan dan berat. Hasil menunjukkan bahwa kontaminasi garam memberikan dampak pada gelombang akustik (lihat Gambar 20). Nilai gelombang akustik semakin meningkat seiring dengan tingkat kontaminasi yang semakin berat.



Gambar 21. Sinyal Akustik yang Diperoleh Menggunakan Fluke ii900.



Gambar 22. Hasil Termal yang Diperoleh Menggunakan Flir e5

## E. Kekurangan dari Metode yang Digunakan

Metode akustik dan termal digunakan dalam berbagai aplikasi seperti inspeksi material, deteksi cacat, dan pemantauan kondisi suatu sistem. Hasil yang diperoleh pada metode akustik adalah sinyal yang ditangkap oleh alat Fluke ii900 pada Gambar 21. Saat pengambilan video seharusnya sinyal terdeteksi pada isolator polimer yang diuji, namun tampaknya sinyal tersebut tertangkap pada konduktor, menunjukkan potensi adanya ketidakcocokan atau mungkin masalah pada konfigurasi pengukuran yang dilakukan.

Ketika pengambilan gambar menggunakan alat flir e5, hasil suhu yang diperoleh dapat mengalami perubahan akibat fluktuasi suhu di sekitarnya, menyebabkan variasi suhu yang tidak terduga (lihat Gambar 22). Alat flir e5 cenderung mengukur suhu terpanas yang ada di sekitar objek yang diamati, yang dapat mengakibatkan hasil nilai yang diperoleh tidak mencerminkan kondisi sebenarnya dari alat yang sedang diuji.

## V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kontaminasi garam dan *fly ash* yang menempel pada permukaan isolator polimer tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan suhu. Pada kondisi kontaminasi *fly ash* isolator polimer rata-rata nilai desibel pada tegangan 30kV adalah 27,7 dB. Berdasarkan teori, semakin tinggi tegangan akan menghasilkan suhu yang lebih tinggi, namun pada pengujian terdapat beberapa faktor yang menyebabkan nilai yang dihasilkan tidak sesuai, seperti suhu ruangan, pengambilan gambar diwaktu yang tidak sama, dll. Nilai gelombang akustik mendapat nilai yang hampir sama saat pengujian tegangan 30kV karena terjadi PD. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, isolator terkontaminasi *fly ash* menghasilkan nilai suhu dan nilai gelombang yang lebih tinggi daripada isolator terkontaminasi

garam. Nilai suhu yang dihasilkan oleh isolator tanpa kontaminan lebih rendah bila dibandingkan dengan isolator terkontaminan.

#### REFERENSI

- [1] Z. Zhao, G. Xu, and Y. Qi, "Representation of binary feature pooling for detection of insulator strings in infrared images," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 23, no. 5, pp. 2858–2866, 2016, doi: 10.1109/TDEI.2016.7736846.
- [2] L. Maraaba, K. Al-Soufi, T. Ssennoga, A. M. Memon, M. Y. Worku, and L. M. Alhems, "Contamination level monitoring techniques for high-voltage insulators: A review," *Energies* 2022, Vol. 15, Page 7656, vol. 15, no. 20, p. 7656, Oct. 2022, doi: 10.3390/EN15207656.
- [3] D. Fahmi, I. M. Y. Negara, A. Kusumaningrum, and D. H. Santosa, "Analysis of contaminant effect on ceramic & polymer insulator surface under artificial environmental condition," *2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Strengthening the Link Between University Research and Industry to Support ASEAN Energy Sector, ISITIA 2017 - Proceeding*, vol. 2017-January, pp. 161–164, Nov. 2017, doi: 10.1109/ISITIA.2017.8124073.
- [4] R. Yudian, "Pengujian Kekuatan Tembus Material Isolasi Polimer Menggunakan Berbagai Bentuk Elektroda dengan Variasi Temperatur," Departemen Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang, 2017.
- [5] L. He and R. S. Gorur, "Source strength impact analysis on polymer insulator flashover under contaminated conditions and a comparison with porcelain," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 23, no. 4, pp. 2189–2195, 2016, doi: 10.1109/TDEI.2016.7556494.
- [6] E. Darmawan, H. Hermawan, and A. Syakur, "Analisis pengaruh jenis kontaminan terhadap arus bocor dan THD (Total Harmonic Distortion) pada isolator polimer resin epoksi 20 kV dengan variasi tegangan uji," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 532–541, 2015, doi: 10.14710/TRANSIENT.V4I3.532-541.
- [7] D. Ghosh and D. Khastgir, "Degradation and stability of polymeric high-voltage insulators and prediction of their service life through environmental and accelerated aging processes," *ACS Omega*, vol. 3, no. 9, pp. 11317–11330, Sep. 2018, doi: 10.1021/ACSOMEGA.8B01560/ASSET/IMAGES/LARGE/AO-2018-01560U\_0007.JPEG.
- [8] H. B. Mu *et al.*, "Investigation of surface discharges on different polymeric materials under HVAC in atmospheric air," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 18, no. 2, pp. 485–494, 2011, doi: 10.1109/TDEI.2011.5739453.
- [9] J. Jumari, J. Sinaga, and S. Zega, "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*, vol. 9, no. 1, pp. 31–43, 2020.
- [10] D. H. Santosa, "Analisa Percepatan Umur Isolator Keramik pada Saluran Distribusi 20 kV di Daerah Pesisir Pantai Akibat Kontaminan Udara," Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [11] S. Ilhan and E. A. Cherney, "Comparative tests on RTV silicone rubber coated porcelain suspension insulators in a salt-fog chamber," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 25, no. 3, pp. 947–953, 2018, doi: 10.1109/TDEI.2018.006968.
- [12] L. E. Lundgaard, "Partial discharge. XIII. Acoustic partial discharge detection-fundamental considerations," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 8, no. 4, pp. 25–31, 1992, doi: 10.1109/57.145095.
- [13] S. Subekti, "Analisis proporsi limbah fly ash paiton dan tjiwi kimia terhadap kuat tekan pasta geopolimer," in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW)*, Surabaya, 2012, pp. F11–F30.
- [14] S. Amin and M. Amin, "Natural aging of SiR Insulators in Pakistan," in *2009 International Conference on Emerging Technologies, ICET 2009*, Islamabad, Pakistan: IEEE, 2009, pp. 114–117. doi: 10.1109/ICET.2009.5353192.
- [15] A. D. Hanif, "Pengaruh Jenis Kontaminan Pada Isolator Kaca Terhadap Karakteristik Surface Discharge," Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2022.
- [16] L. E. Lundgaard, "Partial Discharge - Part XIV: Acoustic partial discharge detection - practical application," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 8, no. 5, pp. 34–43, 1992, doi: 10.1109/57.156943.
- [17] M. Mustamin and S. Manjang, "Karakteristik isolator polimer tegangan tinggi di bawah penuaan tekanan iklim tropis buatan yang dipercepat," *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 9, no. 1, pp. 23–37, 2019, doi: 10.31963/SINERGI.V9I1.1065.
- [18] A. A. Salem *et al.*, "A New Flashover Prediction on Outdoor Polluted Insulator Using Leakage Current Harmonic Components," in *2018 IEEE 7th International Conference on Power and Energy, PECon 2018*, Kuala Lumpur, Malaysia: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018, pp. 413–418. doi: 10.1109/PECON.2018.8684043.
- [19] R. Syahril, "Pengaruh Jenis Kontaminan pada Isolator Polimer Terhadap Karakteristik Surface Discharge," Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2022.