

Deteksi Suara *Corona Discharge* berdasarkan *Noise* menggunakan Metode LPC dan *Euclidean Distance*

NURMIATI PASRA¹, MIFTAHUL FIKRI¹, KARTIKA TRESYA MAURIRAYA¹, TRI RIJANTO², I GUSTI PUTU ASTO BUDITJAHJANTO²

¹Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Indonesia

²Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

Email: miftahul@itpln.ac.id

Received 25 Oktober 2022 | Revised 24 November 2022 | Accepted 29 November 2022

ABSTRAK

Kegagalan isolasi masih sering terjadi pada sistem kelistrikan di Indonesia yang disebabkan oleh fenomena tegangan tinggi seperti corona discharge (CD). Hal ini dikarenakan deteksi dini kegagalan isolasi belum dapat dilakukan. Salah satu bentuk CD ialah suara. Langkah awal untuk mendeteksi dini kegagalan isolasi ialah diperlukannya suatu penelitian yang dapat mengkluster suara CD berdasarkan noise yang merupakan tujuan penelitian ini. Pengamatan dilakukan pada kubikal 20-22 kV dengan cara menaik-turunkan tegangan dengan elektroda jarum-batang sejauh 3 cm. Klasifikasi suara CD ditetapkan menjadi 3 cluster yaitu CD murni, CD disertai noise mendesis dan noise mendesis murni. Clustering dilakukan menggunakan metode linear predictive coding (LPC) sebagai ekstraksi ciri dan Euclidean distance sebagai pencocokan pola hasil ekstraksi. Adapun suhu di dalam kubikal antara 25°C - 32°C dan kelembaban berkisar 70% - 90%. Hasil akurasi clustering rata-rata yang diperoleh adalah 100% untuk data training dan 97,78% untuk data testing.

Kata kunci: *corona discharge, linear predictive coding, Euclidean distance, kegagalan isolasi*

ABSTRACT

Insulation failures often occur in the electrical system in Indonesia caused by high voltage phenomena such as corona discharge (CD). This is because early detection of insulation failure cannot be carried out. One form of CD is sound. The first step for early detection of insulation failure is the need for a study that can cluster CD sounds based on noise which is the purpose of this study. Observations were made at 20-22 kV cubical by increasing and decreasing the voltage with a needle-rod electrode as far as 3 cm. The classification of CD sound is set into 3 clusters i.e. pure CD, CD with hissing noise, and pure hissing noise. Clustering is done using linear predictive coding (LPC) as feature extraction and Euclidean distance as pattern matching extraction results. The temperature inside the cubical is between 25°C - 32°C and the humidity is around 70% - 90%. The average clustering accuracy results obtained are 100% and 97.78% for training and testing data.

Keywords: *author's guideline, document's template, format, style, abstract*

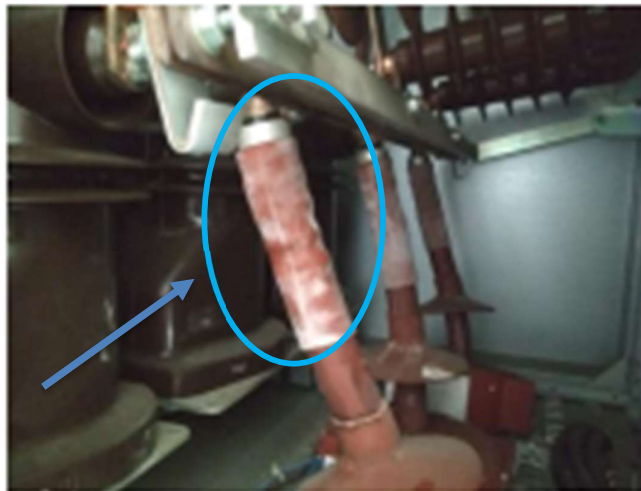
1. PENDAHULUAN

Gejala *corona discharge* berpotensi timbul pada setiap bentuk elektroda yang diberi tegangan menengah atau tegangan tinggi saat kondisi tertentu (**Prihatnolo, dkk, 2011**). Ketika elektroda diberi tegangan maka timbul medan listrik yang berpengaruh dalam proses terjadinya ionisasi di sekitar elektroda. Sehingga dapat menimbulkan ion positif atau elektron pada media isolasi di kubikel tegangan menengah 20 kV. Hal ini dapat menjadi sumber bunyi atau suara mendesis ketika banjir elektron yang berasal dari ion positif atau elektron berkumpul pada satu titik. Apabila banjir elektron ini semakin banyak yang dipengaruhi oleh kelembapan udara maka semakin besar juga suara mendesis atau gangguan bising (*corona discharge*) yang dibangkitkan elektroda (**Widyastuti & Dharma, 2019**). Sehingga parameter untuk mengukur gangguan akibat gejala *corona discharge* dapat dilakukan dengan ukuran besarnya tingkat kebisingan. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan suara bising yang timbul akibat *corona discharge* dengan variabel tegangan yang dinaik-turunkan berkisar antara 20-22 kV sesuai kondisi riil.

Berdasarkan data statistik PLN pada tahun 2006, DKI Jakarta merupakan pusat beban listrik di Indonesia. Wilayah PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang memiliki beban listrik sebesar 11.564 MVA yang disalurkan kepada sekitar 7 juta pelanggan mulai dari pelanggan rumah tangga hingga bisnis perkantoran. Memiliki transformator gardu induk sebanyak 12.426 buah. Umumnya jumlah kubikel tegangan menengah yang dibutuhkan untuk menyalurkan energi listrik sebanyak tiga kali dari jumlah gardu induk tersebut (**Portugues, dkk, 2009**). Akibatnya proses inspeksi dalam rangka pemeliharaan menjadi tidak maksimal jika hanya dilakukan oleh tenaga manusia mengingat jumlah kubikel yang sangat banyak. Kubikel-kubikel tersebut beroperasi dalam tegangan menengah yaitu 20 kV yang dapat berpotensi terjadi gejala *corona discharge* yang jika dibiarkan sangat berbahaya. Hal tersebut perlu ditangani secepat mungkin sebelum menyebabkan terjadinya hubung singkat yang merusak media isolasi kubikel tersebut. Selain itu, kegagalan media isolasi semakin cepat terjadi apabila *corona discharge* terjadi pada kondisi lingkungan yang lembap atau kondisi hujan (**Wang, dkk, 2016**). Selama ini proses inspeksi yang dilakukan untuk mendeteksi gejala *corona discharge* dilakukan secara manual dengan cara mendatangi lokasi kubikel kemudian mengamati dengan bantuan panca indra manusia (**Rusdi, 2019**). Permasalahan ini dapat segera diatasi jika segera dilakukan perbaikan, salah satunya dibuat sistem monitoring yang dapat mengetahui kondisi kubikel tersebut dengan interval waktu tertentu.

Permasalahan berikutnya adalah banyak yang beranggapan bahwa *corona discharge* memiliki potensi yang kecil untuk timbul pada peralatan dengan tegangan 20 kV atau tegangan menengah. Karena tegangan 20 kV dianggap tidak cukup untuk menimbulkan fenomena *corona discharge* dan antisipasi yang dilakukan lebih kepada tegangan tinggi. Padahal dalam kenyataannya *corona discharge* dapat timbul dan menyebabkan kegagalan penyaluran tenaga listrik akibat telat melakukan tindakan perbaikan sebelum lompatan denyar terjadi (**Masarrang, dkk, 2019**). Pada kubikel 20 kV secara teknis sulit terjadi *corona discharge* karena besarnya tegangan yang tidak terlalu tinggi (<30 kV) sehingga hal ini merupakan permasalahan yang unik dan tidak umum terjadi di dunia. Tetapi di Indonesia memiliki iklim tropis dengan tingkat kelembapan yang cukup tinggi sehingga udara mudah terionisasi walaupun pada tegangan menengah. Deteksi sedini mungkin perlu dilakukan untuk segera melakukan tindakan perbaikan, jika terlewatkan akan timbul *arc* dan *breakdown* pada kubikel. Oleh karena itu banyak kasus pemadaman listrik terjadi pada sistem distribusi listrik tegangan menengah di Indonesia akibat *corona discharge*. (**Menesy, dkk, 2020**) (**Montanari, dkk, 2022**).

Berdasarkan kondisi di lapangan bahwa kerusakan kubikel sering terjadi yang diawali oleh fenomena *corona discharge*. Untuk menggambarkan kondisi tersebut bahwa setiap tahun telah terjadi kerusakan 300 unit kubikel 20 kV di Gardu Distribusi PT. PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. Pentingnya membentuk suatu sistem monitoring yang dapat menginformasikan kondisi dari seluruh kubikel yang terpantau secara terpusat. Sehingga kondisi terkini dari kubikel dapat diketahui dan jika terjadi anomali berupa gejala *corona discharge* maka para teknisi dapat segera melakukan tindakan perbaikan sebelum sistem isolasi kubikel mengalami *breakdown*. Dengan begitu durasi terjadinya *corona discharge* dapat berkurang dan risiko kerusakan juga semakin berkurang (Li, dkk, 2018). Bagian terminasi kabel 20 kV yang mengalami *corona discharge* dan kondisi sesudah terjadi kegagalan isolasi pada kubikel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi Kubikel 20 kV Gardu KG 68 JI Tipar Kampung Baru Cakung

Deteksi dini gejala *corona discharge* dapat mencegah kegagalan isolasi yang dapat menyebabkan *breakdown* pada peralatan. Cara yang dilakukan adalah mendeteksi fenomena suara *corona discharge* berdasarkan *noise*. Pada penelitian ini *noise* berupa suara mendesis sehingga terdapat tiga jenis suara, yaitu suara *corona discharge* murni, suara *corona discharge* disertai suara mendesis dan suara mendesis murni. Kemudian melakukan ekstraksi ciri menggunakan metode *linear predictive coding* (LPC) berdasarkan data suara yang telah direkam. Hal ini perlu dilakukan karena suara yang diperoleh (domain waktu) berfluktuatif cukup tinggi, sehingga perlu diubah menjadi dalam domain frekuensi. Meskipun banyak metode untuk mendapatkan ekstraksi ciri tetapi metode LPC telah lama dikenal dan andal dalam digunakan pada banyak data suara untuk mendapatkan ekstraksi ciri. Diperlukan pencocokan suara berdasarkan ekstraksi ciri yang telah diperoleh untuk mendapatkan hasil yang akurat seperti yang dilakukan pada penelitian (Dewi, dkk, 2018) untuk identifikasi suara tangisan bayi, (Helmiyah, dkk, 2020) untuk identifikasi emosi manusia berdasarkan ucapan. Metode *deep learning* juga digunakan pada *corona discharge* untuk membedakan sumber tunggal dan banyaknya sumber (Borghei & Ghassemi, 2021).

Pada (Karimi, dkk, 2019) telah dilakukan klasifikasi *partial discharge* berupa *internal discharge*, *surface discharge* ataupun *corona discharge*, kemudian pada (Al-geelani, dkk, 2018) telah dilakukan pengenalan *corona discharge* berdasarkan suara tetapi belum dilakukan *clustering* berdasarkan *noise* (deteksi), (Fikri, dkk, 2022) dilakukan *clustering* suara *corona discharge* berdasarkan tegangan. Penelitian *corona discharge* berdasarkan *noise* seperti (Liu, dkk, 2020), (Xu, dkk, 2021), (Bolot & Kalenderli, 2017) menjadi permasalahan yang

perlu mendapat fokus agar dalam melakukan monitoring menjadi lebih akurat. Sebagai langkah awal, penelitian akan mendeteksi suara *corona discharge* berdasarkan *noise* menggunakan metode yang sederhana tetapi telah banyak digunakan dan cukup akurat untuk pengenalan suara.

1.1 Pengaruh Tegangan Tinggi

Dalam jumlah energi yang sama, semakin tinggi tegangan suatu penghantar maka akan semakin kecil arus listrik yang mengalir. Sehingga tegangan tinggi dibutuhkan dalam rangka menyalurkan energi listrik dalam jumlah besar untuk mengurangi rugi-rugi yang ditimbulkan oleh arus listrik (**Zhu, dkk, 2017**). Dengan naiknya suatu tegangan pada penghantar akan timbul faktor-faktor lain yang perlu dipertimbangkan. Adapun faktor tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Semakin mudah timbul gejala *corona discharge* karena medan listrik yang dihasilkan semakin kuat. *Corona discharge* dapat mengakibatkan kerugian disipasi energi listrik menjadi suara serta gangguan interferensi radio yang bersifat merugikan.
- b. Munculnya persoalan isolasi penghantar yang semakin jauh jaraknya sehingga mempengaruhi bentuk tiang (*tower*) yang semakin tinggi serta perbedaan pola operasi.
- c. Pemilihan bahan-bahan isolasi perlu dipertimbangkan serta pengaruh kontaminasi partikel asing yang bersifat konduktif seminimal mungkin terjadi sehingga penyempurnaan konstruksi perlu dilakukan untuk mengurangi kegagalan isolasi (**Syakur, dkk, 2005**).

Seluruh faktor-faktor tersebut menyebabkan melonjaknya nilai investasi yang diperlukan untuk melakukan kajian, perancangan konstruksi, penyusunan prosedur operasi, dan lainnya. Sehingga perlu dikaji secara matang langkah-langkah preventif yang perlu dipersiapkan untuk menjaga keandalan penyaluran tenaga listrik. Seperti pada penelitian ini membahas faktor yang pertama yaitu "*corona discharge*" yang perlu deteksi dini gejalanya.

1.2 Corona Discharge

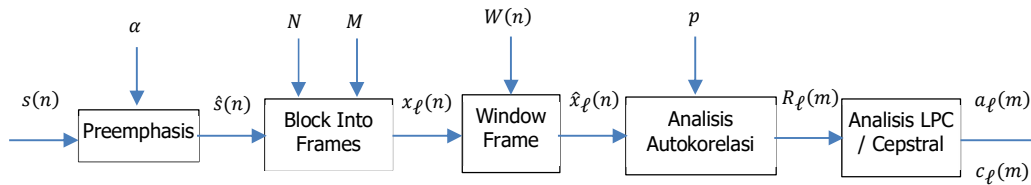
Pada udara terdapat partikel yang bergerak bebas yaitu elektron. Di alam bebas terdapat radio aktif yang berasal dari ketidakstabilan inti hasil reaksi nuklir. Pada umumnya, radio aktif tersebut merupakan asal dari pembentukan elektron dengan adanya sinar kosmik. Medan listrik baik yang menuju ataupun yang menjauhi kawat jaringan transmisi akan mempengaruhi elektron-elektron yang terletak dekat dengan jaringan tersebut (**Prihatnolo, dkk, 2011**). Ionisasi akan terjadi ketika electron bergerak melewati *gradient* medan listrik. Hal tersebut dikarenakan adanya tabrakan antar molekul dari udara dan menghasilkan ion positif bebas dan elektron. Adanya ion positif bebas dan electron menyebabkan ionisasi terus berlanjut yang kemudian akan membentuk banjir elektron (*avalanche*) (**Illias, dkk, 2012**).

Breakdown atau tegangan tembus dari udara akan terjadi ketika dilakukan penataan kembali *gradient* yang disebabkan adanya banjir elektron yang melewati dua kawat sejajar. Penataan kembali *gradient* perlu dilakukan karena adanya perubahan pembagian *gradient voltage* dari udara di antara kedua kawat tersebut. Sifat isolasi oleh udara sekitar jaringan transmisi akan gagal terjadi jika terdapat *Breakdown*. Potensial *gradient* sebagian akan berubah bisa menyebabkan misalnya pada satu kawat akan mengalami perubahan jika dilakukan penataan hanya pada satu kawat tersebut (**Prihatnolo, dkk, 2011**). Oleh sebab itu awal dikatakan sifat dari *corona discharge* adalah jika pada saat muatan terlepas ke udara sekitar dan menyebabkan permukaan suatu kawat terdapat medan listrik yang nilainya melampaui nilai tertentu. Besar atau kecilnya kawat dan kawat macam apapun itu yang digunakan jika diberi tegangan yang cukup tinggi akan terjadi *corona discharge* yang akan

menyebabkan gangguan radio atau R.I. dan juga menyebabkan kerugian tenaga (**Widyastuti & Dharma, 2019**).

1.3 Metode *Linear Predictive Coding* (LPC)

Metode *linear predictive coding* (LPC) cukup lama telah dikenal sebagai metode dalam mencari ekstraksi ciri dan menjadi semakin populer ketika Rabiner pada tahun 1989 menggunakan metode ini untuk mengekstraksi ciri sinyal suara (**Rabiner, 1989**). Dalam paper tersebut, LPC mempunyai kelebihan yaitu sederhana dan dapat mudah diterapkan. Encoding dan Decoding merupakan komponen atau bagian utama yang terdapat dalam proses LPC. Komponen *encoding* untuk membagi sinyal suara ke dalam beberapa bagian yang sebelumnya telah diperiksa terlebih dahulu. Selanjutnya data suara akan diolah setelah melalui proses *decoding* yang digunakan mengubah data suara. Proses metode LPC dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Umum Metode *Linear Predictive Coding* (Rabiner & Juang, 1993) (Rabiner, 1989)

dengan

$$\tilde{s}(n) = s(n) - \alpha s(n-1) \quad (1)$$

di mana s adalah data/sinyal suara,
 n jumlah data pada sinyal suara,
 $0.9 \leq \alpha \leq 1$.

$$x_\ell(n) = \tilde{s}(M\ell + n) \quad (2)$$

dengan M menyatakan banyaknya *frame*,
 $\ell = 1, 2, \dots, M$

$$\tilde{x}_\ell(n) = x_\ell(n) w(n) \quad (3)$$

dengan $w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), 0 \leq n \leq N-1$

$$r_\ell(m) = \sum_{n=0}^{N-1-m} \tilde{x}_\ell(n) \tilde{x}_\ell(n+m) \quad (4)$$

dengan $m = 0, 1, \dots, p$.

$$a_m = \alpha_m^{(p)} \quad (5)$$

dengan $1 \leq m \leq p$

$$k_i = \frac{E^{(0)} = r(0)}{\left\{ r(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j^{(i-1)} r(|i-j|) \right\}} \\ \alpha_i^{(i)} = k_i \\ \alpha_j^{(i)} = \alpha_j^{(i-1)} - k_i \alpha_{i-j}^{(i-1)} \\ E^{(i)} = (1 - k_i^2) E^{(i-1)}$$

$$c_0 = \ln 1 \quad (6)$$

$$c_m = a_m + \sum_{k=1}^{m-1} \left(\frac{k}{m}\right) c_k a_{m-k} \quad (7)$$

di mana $1 \leq m \leq p$.

1. *Preemphasis* merupakan suatu metode yang digunakan untuk menghilangkan *noise* dari input suara aslinya.
2. *Frame blocking* merupakan segmentasi suara yang diperoleh dengan proses pembagian sinyal suara yang dihasilkan.
3. Sinyal suara yang telah tersegmentasi dideteksi dan dipilah perbedaannya menggunakan suatu proses *Windowing*.
4. Selanjutnya menyamakan sinyal dari setiap frame menggunakan analisis autokorelasi.
5. Analisis LPC akan mengubah hasil dari analisis autokorelasi menjadi nilai parameter LPC yang terdiri dari koefisien perbandingan daerah *logaritmis*, koefisien LPC dan koefisien pantulan yang sebelumnya menggunakan metode ini untuk memperoleh parameter LPC.
6. Analisis *cepstral* sama seperti analisis LPC tetapi menghasilkan parameter yang lebih *robust* dibanding parameter LPC. Cara memperoleh parameter analisis *cepstral* adalah dengan menggunakan transformasi Fourier yang mengubah parameter LPC menjadi koefisien *cepstral*.

Berdasarkan (**Rabiner & Juang, 1993**), hasil yang diperoleh pada Persamaan (6) dan (7) inilah yang kemudian diinputkan pada metode *Euclidean Distance* karena pada koefisien *cepstral* lebih robust dibandingkan koefisien LPC pada Persamaan (5).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Terdapat skema untuk mendeteksi fenomena suara yang ditimbulkan *corona discharge* berdasarkan *noise* mendesis, selain menggunakan metode LPC diatas juga digunakan metode *Euclidean Distance*.

2.1 Metode *Euclidean Distance*

Nilai ekstraksi ciri pada data training menggunakan metode LPC di atas, dapat diukur kesamaannya dengan seluruh data menggunakan metode *Euclidean distance* atau jarak Euclid. Hal ini dilakukan menggunakan formula Pythagoras.

$$Ed_{ij} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (W_i - X_j)^2} \quad (8),$$

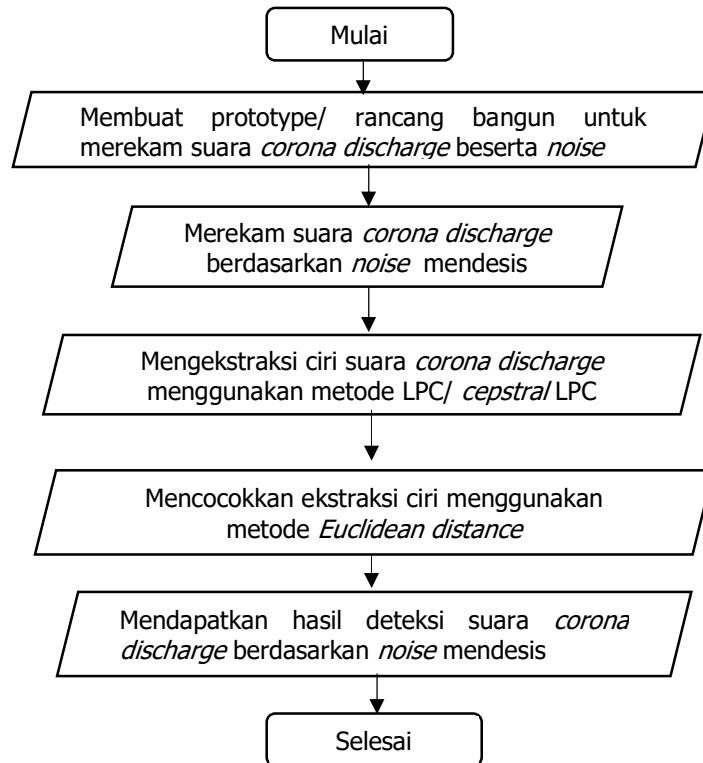
dimana ED_{ij} : *Euclidean distance*

W_i : data *training*

X_j : seluruh data (data *training* dan *testing*).

Prinsipnya adalah menentukan selisih antara W_i (data training) dan X_j (seluruh data). Ketika semakin kecil kemiripan antara dua objek tersebut atau data yang dibandingkan berbeda jauh, maka semakin besar jarak Ed_{ij} yang diperoleh. Namun sebaliknya, semakin kecil jarak Ed_{ij} yang dihasilkan, maka semakin besar kemiripan antara kedua objek tersebut (W_i dan X_j). (**Fikri, dkk, 2022**), (**Dewi, dkk, 2018**).

Berikut merupakan diagram alir penelitian dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Deteksi Suara *Corona Discharge*

Berdasarkan tahap-tahap penelitian seperti pada diagram alir di Gambar 3 terdapat kegiatan merekam suara *corona discharge* berdasarkan *noise*. Suara *noise* yang digunakan berupa desis yang dibuat menyerupai suara asli dari *corona discharge*. Selanjutnya data sinyal suara *noise* dan *corona discharge* akan digunakan untuk pengujian. Lokasi kegiatan tersebut dilakukan pada laboratorium teknologi dan peralatan tegangan tinggi Institut Teknologi PLN selama 3 bulan (27 Januari 2021 sampai dengan 28 April 2021). Selanjutnya data yang diperoleh berupa sinyal suara yang akan diolah menggunakan metode LPC dan *Euclidean distance* dengan bantuan *software* matlab 2016b. Adapun hasil yang diperoleh akan dibahas pada bahasan berikutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil deteksi suara *corona discharge* berdasarkan *noise* mendesis diperoleh dan dijelaskan pembahasan sebagai berikut:

3.1 Rancang Bangun

Dilakukan simulasi pada rancang bangun sistem kubikasi 20 kV sebagai langkah awal dalam mengumpulkan data. Bertempat di laboratorium dan peralatan tegangan tinggi rancang bangun tersebut digunakan pada penelitian ini terdiri dari elektroda jarum dan batang, *microphone*, *box* uji, dan trafo uji untuk memberikan tegangan pada elektroda yang akan menghasilkan suara *noise* saat terjadi *corona discharge*. kemudian suara yang dihasilkan digunakan sebagai data pengamatan untuk dianalisis tingkat akurasi pendeteksi suara dalam

mengenal suara fenomena *corona discharge*. Kondisi di laboratorium dibuat mendekati dengan kondisi pada lapangan yang terdapat suara *noise* dari lingkungan sekitar. Rancang bangun simulasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.

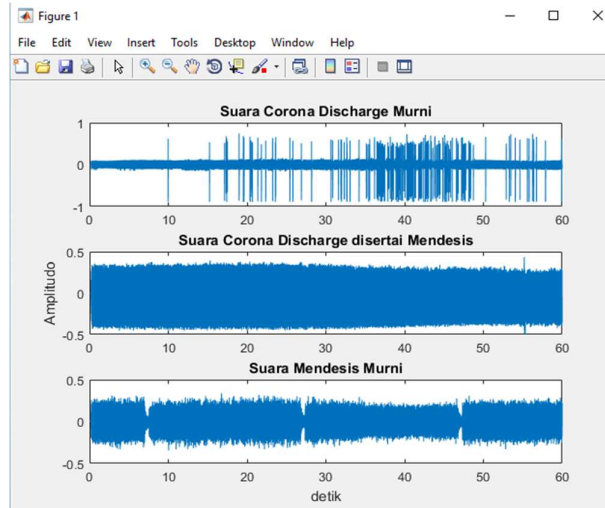


Gambar 4. Rancang Bangun Simulasi Perekaman Terjadinya Fenomena *Corona Discharge*

Tegangan yang dibangkitkan oleh transformator uji dapat menaikkan tegangan hingga 100 kV dengan skala perbandingan 200 volt seperti pada Gambar 4. Pada penelitian ini tegangan dinaik-turunkan berkisar 20-22 kV agar mendekati kondisi *real*. Selama periode kenaikan dan penurunan tegangan ini diiringi dengan proses perekaman suara *corona discharge* untuk diolah menggunakan matlab 2016b. Jarak antara kedua elektroda (jarum-batang) diatur sebesar (*space gap*) 3 cm untuk menimbulkan efek *corona discharge* karena jarak yang terlalu dekat. Perekaman dilakukan menggunakan piranti mikrofon yang berjarak 12 cm dari sela elektroda, kemudian hasil dari rekaman tersebut dianalisis menggunakan metode LPC dan *Euclidean distance* untuk memperoleh hasil yang akurat. Adapun hasil pengamatan kondisi lingkungan selama pengambilan data berupa suhu di antara 25°C hingga 32°C dan tingkat kelembaban berkisar 70% hingga 90%.

3.2 Pengambilan Data Suara *Corona Discharge*

Pengambilan data suara *corona discharge* murni, suara *corona discharge* disertai suara mendesis dan suara mendesis murni dilakukan pada rancang bangun seperti di Gambar 4. Pada masing-masing data ini dilakukan perekaman sebanyak dua puluh (20) kali agar data yang diperoleh cukup bervariasi serta mewakili suara *corona discharge* dan *noise* yang dihasilkan meskipun masih dalam skala laboratorium. Meskipun demikian hal ini nantinya dapat dimanfaatkan untuk mendekati kondisi riil. Proses pengambilan data berupa perekaman yang dilakukan pada jarak antar elektroda (*space gap*) sebesar 3 cm selama 60 detik. Perekaman menggunakan piranti mikrofon yang berjarak 12 cm dari sela elektroda. Data suara yang diperoleh kemudian disimpan ke komputer untuk diolah agar dapat menentukan suara desis yang murni akibat *corona discharge* dengan akurat. Data perekaman ini yang kemudian digunakan sebagian untuk *training* dan sebagian lagi untuk *testing*. Sampel hasil perekaman ini masing-masing dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

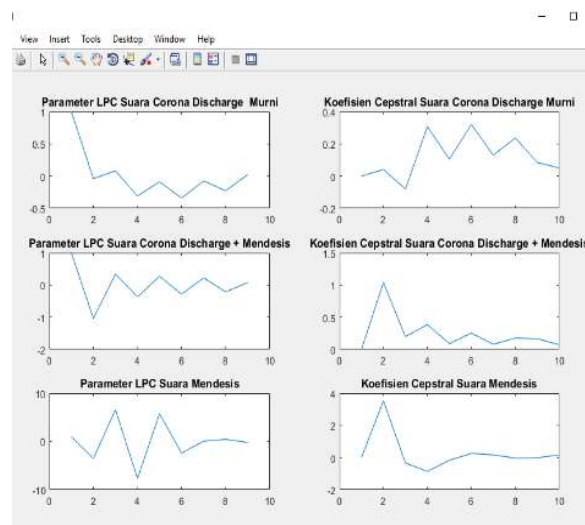


Gambar 5. Sampel Suara *Corona Discharge* dan *Noise* Mendesis

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa data memiliki fluktuatif yang tinggi dan memiliki amplitude diantara -1 dB dan 1 dB baik untuk data suara *corona discharge* murni, suara *corona discharge* disertai suara mendesis dan suara mendesis murni. Dari data pada Gambar 5 ini yang kemudian dihitung ekstraksi ciri menggunakan metode LPC.

3.3 Ekstraksi Ciri dengan Metode LPC

Pada Gambar 5 suara *corona discharge* yang didapatkan kemudian dilakukan perhitungan ekstraksi ciri dengan metode LPC (koefisien LPC dan *cepstral* LPC) menggunakan Persamaan (1) – (7) (Rabiner, 1989). Adapun kedua hasil ini, baik untuk ekstraksi ciri suara *corona discharge* murni, suara *corona discharge* disertai mendesis maupun suara mendesis murni diperlihatkan di Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Ekstraksi Ciri Suara *Corona Discharge* (kiri) Koefisien LPC dan (kanan) Cepstral LPC

Hasil yang diperoleh pada Gambar 6, memiliki pola dan nilai ekstraksi ciri yang berbeda cukup signifikan antara suara *corona discharge* murni, suara *corona discharge* disertai suara

mendesis dan suara mendesis murni yang dapat dilihat pada Gambar 6 secara baris per baris. Pada Gambar 6 (kiri) merupakan koefisien LPC yang diperoleh menggunakan Persamaan (5) dan Gambar 6 (kanan) merupakan *cepstral* LPC yang diperoleh menggunakan Persamaan (6) – (7), keduanya memiliki pola dan nilai yang berbeda cukup signifikan sehingga diharapkan memberikan hasil *clustering* yang akurat. Ekstraksi ciri berupa *cepstral*/LPC ini yang kemudian digunakan sebagai input pada metode *Euclidean distance* untuk mendeteksi/ *clustering* suara *corona discharge*.

3.4 Hasil Deteksi Suara Corona Discharge Berdasarkan Noise Mendesis

Hasil ekstraksi ciri yang telah diperoleh berdasarkan metode LPC kemudian digunakan untuk pencocokan pola antara data *training* dengan keseluruhan data (data *training* dan data *testing*). Pencocokan pola ini dilakukan menggunakan metode *Euclidean distance* yang dirumuskan pada Persamaan (8). Nilai terkecil yang diperoleh dengan metode *Euclidean distance* digunakan untuk mendeteksi/ *clustering* suara *corona discharge* berdasarkan *noise* mendesis. Hasil *Euclidean distance* yang diperoleh dapat ditinjau pada Gambar 7.

Penjelasan pada Gambar 7 yaitu baris berkorespondensi dengan keseluruhan data yang berupa data *training* maupun data *testing*, sedangkan kolom berkorespondensi dengan data *training* dimana kolom 1-10 merupakan data *training* untuk suara *corona discharge* murni (*cluster 1*), kolom 11-20 merupakan data *training* untuk suara *corona discharge* disertai mendesis (*cluster 2*), kolom 21-30 merupakan data *training* untuk suara mendesis murni (*cluster 3*). Hasil *clustering* diperoleh berdasarkan nilai *Euclidean distance* terkecil pada Gambar 7. Proses ini disimulasikan menggunakan program yang dibuat pada *software* Matlab versi 2016b. Hasil *running* program ini mengacu pada *Euclidean distance* terkecil yang terlihat pada Gambar 7, baik untuk data *training* maupun data *testing*. Hasil ini yang kemudian menentukan kesimpulan deteksi suara tersebut apakah berupa *corona discharge* murni atau suara *corona discharge* disertai suara mendesis atau suara mendesis murni.

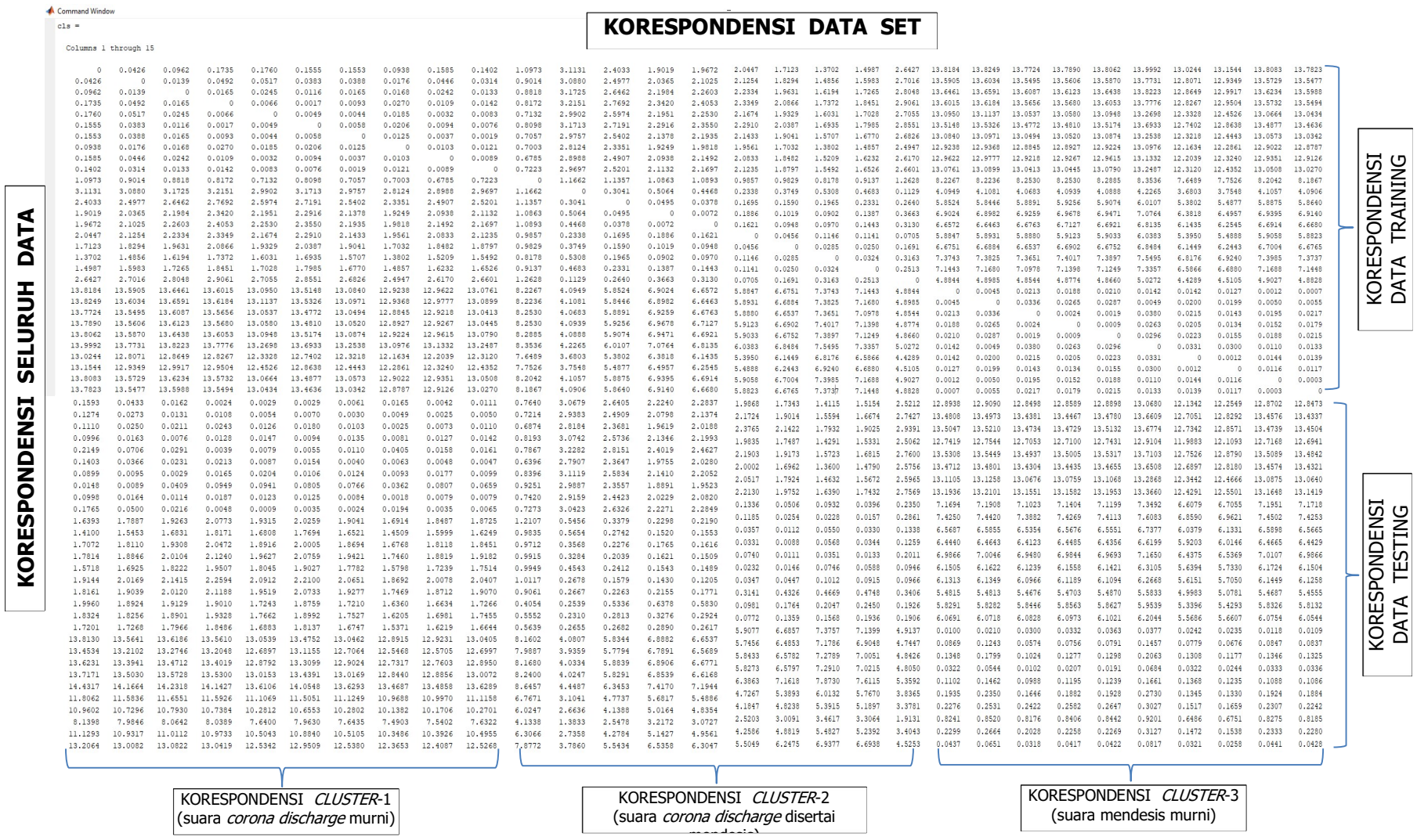
Langkah-langkah pada sub bahasan ini menjelaskan bahwa data perekaman suara berada dalam domain waktu, kemudian dilakukan ekstraksi ciri, selanjutnya ekstraksi ciri ini digunakan untuk perhitungan jarak dan terakhir jarak terkecil yang diperoleh digunakan untuk mendeteksi suara *corona discharge* murni, suara *corona discharge* disertai suara mendesis atau suara mendesis murni. Selain pengambilan data yang dilakukan sebanyak 20 kali untuk masing-masing klaster yang diharapkan cukup mewakili suara *corona discharge* dan *noise* yang dihasilkan dalam skala laboratorium, simulasi juga dilakukan dengan berbagai variasi banyaknya data *training* dan *testing* agar hasil yang didapatkan merepresentasikan metode yang digunakan untuk mendeteksi *corona discharge*. Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Akurasi Deteksi Suara Corona Discharge berdasarkan Noise Mendesis

NO.	SKEMA		AKURASI		RATA-RATA
	<i>Training</i>	<i>Testing</i>	<i>Training</i>	<i>Testing</i>	
1	15	5	100%	100%	97.78%
2	10	10	100%	100%	
3	5	15	100%	93.3%	

Tabel 1 menginformasikan proses simulasi ini dilakukan secara berulang dengan perlakuan 15 data *training* - 5 data *testing*, 10 data *training* – 10 data *testing*, 5 data *training* – 15 data *testing* pada masing-masing klaster. Rangkuman akurasi hasil deteksi/ *clustering* suara *corona discharge* dengan berbagai data *training-testing* diperoleh rata-rata akurasi sebesar 97.78% yang dapat dilihat pada Tabel 1 di atas.

Deteksi Suara *Corona Discharge* berdasarkan *Noise* menggunakan Metode LPC dan *Euclidean Distance*



4. KESIMPULAN

Pengamatan secara langsung dilakukan di Laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi Institut Teknologi PLN terkait data suara *corona discharge* murni, suara *corona discharge* disertai suara mendesis dan suara mendesis murni dengan tegangan dinaik turunkan antara 20-22 kV menggunakan transformator uji dengan skala perbandingan 200 V. Perekaman dilakukan selama 60 detik. Adapun kondisi lingkungan berupa suhu berkisar antara 25°C sampai dengan 32°C dan kelembaban berkisar 70% hingga 90%. Selama priode menaikkan dan menurunkan tegangan diiringi dengan proses pengambilan sampel suara. Perekaman menggunakan piranti mikrofon yang berjarak 12 cm dari sela elektroda yang berjarak 3 cm. Data suara yang diperoleh kemudian disimpan ke komputer untuk diolah menggunakan metode LPC dan *Euclidean Distance* agar dapat menentukan suara desis yang murni akibat *corona discharge* dengan akurat. Hasil deteksi suara *corona discharge* berdasarkan *noise* mendesis menggunakan metode LPC dan *Euclidean distance* diperoleh rata-rata akurasi baik untuk data *training* dan data *testing* masing-masing sebesar 97.78%.

DAFTAR RUJUKAN

- Al-geelani, N. A., Piah, M. A. M., & Abdul-Malek, Z. (2018). Identification of acoustic signals of corona discharges under different contamination levels using wavelet transform. *Electrical Engineering, 100*(2), 1059–1067. <https://doi.org/10.1007/s00202-017-0568-5>
- Bolat, S., & Kalenderli, Ö. (2017). Estimation of corona location from audible noise. *Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s00202-017-0578-3>
- Borghei, M., & Ghassemi, M. (2021). A deep learning approach for discrimination of single- And multi-source corona discharges. *IEEE Transactions on Plasma Science, 49*(9), 2936–2945. <https://doi.org/10.1109/TPS.2021.3102115>
- Dewi, I. A., Zulkarnain, A., & Lestari, A. A. (2018). Identifikasi Suara Tangisan Bayi menggunakan Metode LPC dan Euclidean Distance. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 6*(1), 153. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v6i1.153>
- Fikri, M., Christiono, & K., I. G. M. (2022). Clustering Fenomena Corona Discharge berdasarkan Suara menggunakan Metode LPC dan Euclidean Distance. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 10*(3), 689–701.
- Helmiyah, S., Riadi, I., Umar, R., Hanif, A., Yudhana, A., & Fadlil, A. (2020). Identifikasi Emosi Manusia Berdasarkan Ucapan Menggunakan Metode Ekstraksi Ciri LPC dan Metode Euclidean Distance. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 7*(6), 1177. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2020722693>
- Illias, H., Teo Soon Yuan, Bakar, A. H. A., Mokhlis, H., Chen, G., & Lewin, P. L. (2012). Partial discharge patterns in high voltage insulation. *PECon 2012 - 2012 IEEE International Conference on Power and Energy, December, 750–755*.

<https://doi.org/10.1109/PECon.2012.6450316>

- Karimi, M., Majidi, M., Mirsaeeedi, H., Arefi, M. M., & Member, S. (2019). A Novel Application of Deep Belief Networks in Learning Partial Discharge Patterns for Classifying Corona , Surface and Internal Discharges. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *PP(c)*, 1. <https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2908580>
- Li, X., Wang, J., Lu, T., & Cui, X. (2018). Statistical analysis of audible noise generated by AC corona discharge from single corona sources. *High Voltage*, *3(3)*, 207–216. <https://doi.org/10.1049/hve.2017.0159>
- Liu, Y., Xv, J., Liu, Y., Yuan, H., & Cui, Y. (2020). A Method for the Indirect Detection of Audible Noise from High-Voltage Direct Current Transmission Lines. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *69(7)*, 4358–4369. <https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2942251>
- Masarrang, R., Patras, L. S., & Tumaliang, H. (2019). Efek Korona pada Saluran Transmisi Gardu Induk Tello Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, *8(2)*, 67–74. <https://doi.org/10.35793/jtek.8.2.2019.23980>
- Menesy, A. S., Jiang, X., Ali, M. A., Sultan, H. M., Alfakih, N. M., & Kamel, S. (2020). Partial Discharge and Breakdown Characteristics in Small Air Gap Length Under DC Voltage in Needle-Plane Electrode Configuration. *2020 IEEE IAS Industrial and Commercial Power System Asia Technical Conference*, (pp. 869–874).
- Montanari, G. C., Ghosh, R., Cirioni, L., Galvagno, G., & Mastroeni, S. (2022). Partial Discharge Monitoring of Medium Voltage Switchgears: Self-condition Assessment using an Embedded Bushing Sensor. *IEEE Transactions on Power Delivery*, *37(1)*, 85–92. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2021.3053658>
- Pengfei Xu, Sören Hedtke, Bo Zhang, Martin Pfeiffer, Christian M. Franck, J. H. (2021). Research Collection. *IEEE Transactions on Power Delivery*, *36(1)*, 1–8. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010025751>
- Portugues, I. E., Moore, P. J., Glover, I. A., Johnstone, C., McKosky, R. H., Goff, M. B., & van der Zel, L. (2009). RF-based partial discharge early warning system for air-insulated substations. *IEEE Transactions on Power Delivery*, *24(1)*, 20–29. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2008.2005464>
- Prihatnolo, S. T., Syakur, A., & Facta, M. (2011). Pengukuran Tegangan Tembus Dielektrik Udara pada Berbagai Sela dan Bentuk Elektroda dengan Variasi Temperatur Sekitar. *Jurnal Teknik Elektro Undip*, 1–8.
- Rabiner, L. (1989). A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech

Recognition. *Proceeding of the IEEE*.

- Rabiner, L., & Juang, B.-H. (1993). *Fundamentals of speech recognition*. Prentice Hall.
- Rabiner, L. R. (1989). A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Re. *Proceedings of The IEEE*, 77(2), 257–288.
<https://doi.org/10.25300/MISQ/2017/41.3.08>
- Rusdi, S. (2019). Analisa Terbentuknya Korona Pada Saluran Kubicle Tegangan 20Kv Serta Pengaruhnya Terhadap Rugi-Rugi Daya. *Lensa*, 2(48), 14–21.
- Syakur, A., Facta, M., Elektro, J. T., Diponegoro, U., & Sudharto, J. P. (2005). Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang. *Transmisi*, 2(2), 26–29–29.
<https://doi.org/10.12777/transmisi.7.2.26-29>
- Wang, X., Taylor, N., & Edin, H. (2016). Effect of Humidity on Partial Discharge in a Metal-Dielectric Air Gap on Machine Insulation at Trapezoidal Testing Voltages. *Journal of Electrostatics*, 83, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2016.08.003>
- Widyastuti, C., & Dharma, I. N. B. Y. (2019). Dampak Korona pada SUTET 500 kV Terhadap Radio Interference. *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*, 11(2), 87–97.
- Zhu, M. X., Wang, Y. B., Liu, Q., Zhang, J. N., Deng, J. B., Zhang, G. J., Shao, X. J., & He, W. L. (2017). Localization of Multiple partial Discharge Sources in Air-Insulated Substation Using Probability-Based Algorithm. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24(1), 157–166. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2016.005964>