

***Clustering* Suara *Corona Discharge* berdasarkan Tegangan menggunakan Metode Fuzzy C-Mean**

MIFTAHUL FIKRI¹, CHRISTIONO¹, IWA GARNIWA MULYANA K.^{1,2}, KARTIKA TRESYA MAURIRAYA¹, NURMIATI PASRA¹, SAMSURIZAL¹, MUHAMMAD LUTHFIANSYAH ROMADHONI³, ANDI AMAR THAHARA¹

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

²Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Indonesia

³UIP3B Kalimantan, PT PLN (Persero), Kalimantan Indonesia

Email: miftahul@itpln.ac.id

Received 4 Mei 2023 | *Revised* 24 Mei 2023 | *Accepted* 30 Mei 2023

ABSTRAK

Corona discharge (CD) atau peluahan permukaan merupakan faktor kegagalan isolasi pada sistem kelistrikan yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tidak menentu dan perlu pemantauan secara terkini. CD menghasilkan gelombang suara yang digunakan sebagai parameter untuk langkah awal mencapai tujuan tersebut, penelitian ini mengkluster suara CD pada terminasi kubikel 20 kV. Penelitian menggunakan elektroda jarum-jarum berjarak 3 cm. Tercatat nilai sebelum *breakdown voltage* terjadi pada tegangan 33,4 kV, dan pengambilan data terbagi 3 kluster: 20-24 kV, 25-29 kV, 30-33 kV. Proses klasterisasi dengan metode LPC untuk menghasilkan ekstraksi suara. Kemudian menggunakan metode fuzzy c-mean untuk memperoleh akurasi dengan membandingkan pola suara *training* dan *testing*. Pada Kelembapan berkisar 70%-95% dengan suhu antara 27,5°C - 35.3°C diperoleh hasil akurasi 96,00% untuk data *training* dan 80,00% untuk data *testing*.

Kata kunci: *Corona discharge, fuzzy c-mean, linear predictive coding, kegagalan isolasi*

ABSTRACT

Corona discharge (CD) is a factor in insulation failure in electrical systems, which is affected by uncertain environmental conditions and requires up-to-date monitoring. CD which produces sound waves, is used as a parameter for the initial step to achieve this goal. This research will cluster CD sounds at 20 kV cubicle terminations. The study used electrode needles spaced 3 cm apart. The value recorded before the breakdown voltage occurred was 33.4 kV, and data collection was divided into 3 clusters: 20-24 kV, 25-29 kV, and 30-33 kV. The clustering process with the LPC method produces sound extraction. Then use the fuzzy C-mean method to obtain accuracy by comparing trained and tested sound patterns. At a humidity range of 70%-95% and temperatures between 27.5°C-35.3°C, the results obtained an accuracy of 96.00% for training data and 80.00% for testing data.

Keywords: *Corona discharge, fuzzy c-mean, linier predictive coding, insulation failure*

1. PENDAHULUAN

Beban listrik berpusat di DKI Jakarta dengan daya yang terpasang pada pelanggan sebesar 11.564 MVA yang dimana pelanggannya berjumlah sebanyak 7 juta lebih sesuai dengan data statistik PLN DIstribusi Jaya dan Tangerang pada tahun 2006. Jumlah substation yang dipakai oleh PLN cukup besar yaitu sekitar 12.426 buah, oleh karena itu diperlukan *cubicle* lebih dari 35.000 (**Portugues, dkk, 2009**). Akibatnya, jika dilakukan pemeliharaan secara manual, pemeriksaan dalam lingkup tersebut akan sangat terganggu. Di dalam *cubicle* tersebut terdapat tegangan sekitar 20 kV yang dapat mencegah terjadinya *corona discharge* atau peluahan permukaan, bahkan jika terjadi dapat menimbulkan hubung singkat terutama pada saat lingkungan yang lembab atau sedang hujan (**Wang, dkk, 2016**). Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan cara mendatangi Lokasi kubikel tersebut untuk mendapatkan informasi tentang kondisi *cubicle*, sehingga permasalahan yang muncul dapat segera dilakukan perbaikan (**Rusdi, 2019**). Peluahan parsial permukaan pada kubikel Tegangan Menengah (TM) atau kubikel 20 kV dianggap memiliki potensi yang kecil karena tegangan operasi 20 kV tidak cukup untuk menimbulkan peluahan permukaan. Pada kenyataannya sering terjadi kegagalan isolasi yang cukup untuk menghasilkan peluahan permukaan. Kemudian terlambat untuk ditangani sehingga terjadi *flashover* yang menyebabkan kubikel *breakdown* (**Masarrang, dkk, 2019**).

Masalah peluahan Permukaan dengan kubikel TM adalah satu-satunya masalah yang tidak biasa dan langka karena tegangan besar (20 kV) sistem cukup sukar untuk menghasilkan peluahan Permukaan, tetapi keadaan ini sering terdapat pada sistem tenaga listrik baik tegangan menengah 20 kV maupun tegangan tinggi 150 kV di Indonesia. Pada tegangan 20 kV sering luput dari perhatian akan adanya *corona discharge*. Namun, *Corona discharge* dapat timbul bahkan terjadi *flashover* yang membuat isolasi kubikel mengalami *breakdown* dalam menyalurkan tenaga listrik. Faktanya bahwa Indonesia memiliki tingkat kelembaban yang tinggi membuat mudahnya bagi udara untuk terionisasi dan sebagai akibatnya, menyebabkan peluahan permukaan, yang jika tidak ditangani dengan benar dapat menyebabkan arching dan kerusakan yang terjadi di kubikel 20 kV. (**Menesy, dkk, 2020**). Sebagai contoh, kerusakan kubikel TM terjadi pada sekitar tiga ratus unit per tahun di PT. PLN (Persero) Distribusi Jaya Raya dan menjelaskan permasalahan pada gardu distribusi di Tangerang, dengan mayoritas insiden ini disebabkan oleh peluahan permukaan. Karena itu, harus ada semacam sistem pemantauan yang dapat memberikan informasi real-time dari setiap kubik yang jauh tersebar tetapi dapat dilihat dari ruang kontrol. Jadi, dengan menggunakan data dari kondisi terkini tersebut, tim pemeliharaan dapat segera mulai melakukan pekerjaan mereka dalam upaya untuk mencegah terjadinya flashover. (**Li, dkk, 2018**). Kondisi dan konstruksi persis seperti yang terjadi dalam kubikel dapat ditunjukkan dalam 1.



Gambar 1. Tampak Konstruksi Kubikel 20 kV (a) Tampak Bagian Isolator Tumpu Kubikel (b) Tampak Kerangka Kubikel setelah Terjadi Kerusakan

Pada Gambar 1 Salah satu dari penyebab timbulnya gejala peluahan permukaan terjadi dari setiap macam bentuk konduktor yang bertegangan menengah atau bertegangan tinggi pada keadaan lingkungan tertentu **(Prihatnolo, dkk, 2011) (Arismunandar, 1978)**, karena konduktor yang dilingkupi oleh keberadaan medan listrik akan membentuk suatu fenomena ionsasi maka akan mengakibatkan timbulnya elektron atau ion negatif pada isolasi udara antara konduktor dengan kubikel 20 kV. Keberadaan elektron atau ion netatif ini kemudian menyatu pada satu tempat berupa *electron avalanche* atau banjir elektron. Elektroda akan memperbesar gangguan bising apabila kumpulan titik yang muncul bertambah banyak **(Widyastuti & Bagus, 2019)**. Tingkat gejala peluahan permukaan dapat diukur melalui pengukuran kebisingan dengan menaikkan tegangan hingga 33 kV.

Sejumlah studi tentang peluahan permukaan telah dilakukan, termasuk **(Hedtke, dick, 2019)** yang membahas peluahan permukaan di kawat, transmisi menggunakan pengukuran pelepasan parsial **(Moore, dkk, 2018)** yang membicarakan peluahan permukaan dengan teknologi sistem udara tidak berawak **(Karimi, dkk, 2019)**. Selain itu, **(Wahyudi, dkk, 2019)** menggunakan transformasi Fourier yang cepat untuk mendeteksi peluahan permukaan. Kemudian, **(Al-geelani, dkk, 2017)** membahas mengidentifikasi peluahan permukaan sinyal berdasarkan tingkat kontaminasi polusi menggunakan transformator gelombang yang lebih unggul dari detektor pelepasan parsial, namun peluahan permukaan tersebut tidak mengalami cluster. Selain itu **(Fikri, dkk, 2022) (Pasra, dkk, 2023)** membahas *clustering* CD berdasarkan tegangan dan noise menggunakan metode *Euclidean distance (supervised learning)*, tetapi bukan *unsupervised learning*.

Dalam penelitian ini, pengelompokan fenomena peluahan permukaan dilakukan dengan menggunakan *unsupervised learning* (fuzzy c-mean) sebagai langkah awal dalam upaya mendeteksi adanya kerusakan isolasi yang menyebabkan peluahan permukaan dalam kubikel dengan tegangan 20 kV. Metode linear predictive coding (LPC) adalah cara yang telah teruji waktu dan andal untuk mengekstrak informasi dari rekaman suara, memungkinkan pelepasan suara *corona discharge* yang sebelumnya terdeteksi untuk didapatkan karakteristiknya menggunakan metode LPC. Setelah ekstraksi diperoleh, fuzzy c-mean clustering dilakukan untuk melakukan komparasi antara data suara *training* dan data suara *testing*. **(Bezdek, 1984) (Gröll & Jäkel, 2005) (Hathaway & Bezdek, 1988) (Pal & Bezdek, 1995)** sehingga diharapkan diperoleh *clustering* yang akurat dan *unsupervised learning*.

1.1 Karakteristik Tegangan Tinggi

Meningkatnya dalam jumlah banyak energi yang hilang melalui saluran transmisi, maka akan semakin intens kerugiannya. Dimungkinkan untuk meminimalisir kondisi ini dengan meningkatkan nominal tegangan dari kawat yang relevan **(Zhu, dkk, 2017)**. Tetapi, dengan penambahan tegangan, faktor-faktor lain yang sebelumnya dapat diperhitungkan akan timbul menjadi permasalahan. Beberapa faktor dalam daftar ini meliputi:

- a. Akan ada *corona discharge* atau peluahan permukaan yang semakin meluas karena tegangan operasi yang tinggi sehingga menghasilkan gangguan radio (RI) dan kehilangan energi yang signifikan.
- b. Ketika tegangan bertambah lebih signifikan, akan ada lebih banyak mendiskusikan tentang cara isolasi konduktor atau kawat, bentuk tiang (menara), dan cara melakukan pola beroperasi.
- c. Terdapat cacat isolasi pada peralatan yang dapat menyebabkan konstruksi berubah, sehingga memerlukan pembahasan yang lebih panjang mengenai bahan isolasi **(Syakur & Facta, 2005)**.

1.2 Gejala Peleuhan Permukaan

Partial discharge (PD) adalah peristiwa pelepasan listrik yang tidak menjembatani sepenuhnya elektroda antara sistem isolasi di bawah tekanan medan listrik yang tinggi. Umumnya, PD terjadi di lokasi cacat seperti delaminasi, gigi berlubang, sendi atau rongga dalam sistem isolasi komponen tegangan tinggi, seperti sebagai generator listrik, transformator daya, transmisi daya kabel saluran dan daya. Terdapat 5 jenis *partial discharge*. Dari kelima jenis *Partial discharge* yang dapat mengeluarkan suara yaitu *corona discharge* dan *surface discharge*. Sehingga dalam mendeteksi keberadaannya dapat dilakukan dengan penangkap gelombang ultrasonik. Ketika medan listrik di permukaan elektroda melebihi kekuatan kerusakan gas, ionisasi udara dekat permukaan elektroda terjadi. Hal ini disebabkan bidang tangensial pada permukaan isolasi cukup tinggi untuk menyebabkan PD di sepanjang permukaan material. Pelepasan permukaan terus terjadi sampai aktivitas sementara berhenti. Ketika tegangan yang diberikan adalah meningkat, jumlah ionisasi elektron meningkat dan longsor elektron dapat tumbuh lebih lama di sepanjang permukaan material. **(Prihatnolo, dkk, 2011)**. PD biasanya terjadi di lokasi cacat dalam isolasi sistem karena kekuatan kerusakan isolasi yang lebih tinggi bahan dari situs cacat. Sebagian besar, cacat hadir di sistem isolasi dalam bentuk kekosongan berisi gas selama manufaktur. Namun, kekosongan berisi gas tidak dapat dideteksi dalam pengujian pabrik. Cacat ini dapat mempengaruhi kinerja dari sistem isolasi dalam pelayanan karena pengulangan PD menyebabkan degradasi sistem isolasi, yang mungkin menyebabkan kerusakan sistem isolasi. Akibatnya, kegagalan peralatan tegangan tinggi akan terjadi. Rincian sistem isolasi membutuhkan biaya dan waktu yang mahal pemeliharaan karena seluruh komponen perlu diganti. Oleh karena itu, pengukuran PD dan analisis data PD sangat penting untuk menilai kinerja dan kondisi sistem isolasi di untuk menghindari kerusakan sistem isolasi yang tidak diinginkan. Ini dapat membantu mengurangi biaya dan waktu pemeliharaan.

Sementara elektron saat ini bergerak melalui gradien medan listrik, elektron akan bersentuhan dengan permukaan molekul, yang dapat mengakibatkan permukaan molekul mengalami ionisasi. Menanggapi ionisasi ini, ada ion positif dan negatif yang akan menyebabkan ionisasi lebih lanjut terjadi. Jika proses ini terus berlanjut, maka akan terjadi longsor elektron **(Illias, dkk, 2012)**. Selain itu pengaruh dari konstruksi kubikel dapat menimbulkan efek peleuhan pada permukaan. Benda runcing akan mengumpulkan elektron pada suatu titik yang nantinya akan menimbulkan suara mendesis. Kelembapan juga berpengaruh terhadap terjadinya peleuhan permukaan. Kemudian *void* yang terdapat pada terminasi akan menyebabkan *discharge* pada internal kabel.

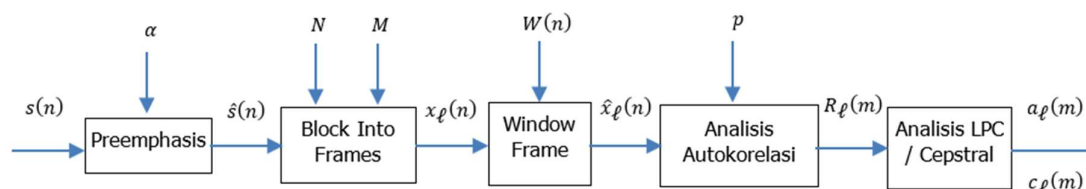
Jika dua konduktor yang hampir terpengaruh oleh longsor elektron dapat dicegah untuk mengubah derajat tegangan gradien dari tepi kedua konduktor yang dimaksud. Penataan kembali pada tingkat ini dapat mencegah nilai tegangan yang menembus isolasi udara (tegangan *breakdown*). Hal ini akan mencegah kegagalan isolasi udara yang sedang berlangsung. Pelepasan internal menyiratkan bahwa PD terjadi dalam rongga atau rongga di dalam dielektrik padat atau cair. Untuk kabel daya tegangan tinggi (HV), PD juga muncul di rongga atau kekosongan antara perlindungan semi-konduktif pada konduktor dan isolasi atau perlindungan semi-konduktif antara isolasi dan eksterior. Biasanya, internal debit yang disebabkan oleh rongga pada isolator kabel listrik yang terbentuk pada bahan isolasi terdiri dari gas atau udara (*void*). Hal ini juga mampu menurunkan bahan isolasi tergantung pada kekuatan medan dan besarnya pembuangan. Sebaliknya, pelepasan korona diperoleh dalam bentuk gas dan cairan, di mana tepi debit yang tajam terjadi pada potensi bumi. Pelepasan permukaan biasanya terjadi di luar atau di peralatan listrik, seperti bushing, kabel bawah tanah, dan terminal saluran udara. Pelepasan juga dapat terjadi pada setiap titik isolator antara elektroda. Terakhir, saluran pohon listrik disebabkan oleh cacat bahan isolasi. Ketika medan listrik di permukaan elektroda melebihi kekuatan kerusakan gas, ionisasi udara dekat

permukaan elektroda terjadi. Hal ini disebabkan bidang tangensial pada permukaan isolasi cukup tinggi untuk menyebabkan PD di sepanjang permukaan material. Pelepasan permukaan terus terjadi sampai aktivitas sementara berhenti. Ketika tegangan yang diberikan adalah meningkat, jumlah ionisasi elektron meningkat dan longoran elektron dapat tumbuh lebih lama di sepanjang permukaan material.

Jika ini mencegah perubahan bahkan satu konduktor potensial dari udara, seperti hanya di sekitar konduktor, maka hanya satu konduktor yang akan mengalami perubahan (**Prihatnolo, dkk, 2011**). Karena itu, peluahan permukaan didefinisikan sebagai peristiwa yang terjadi ketika muatan pelepasan dimulai selama kawat permukaan dari konduktor tertentu dan melebihi nilai tertentu. Kejadian ini dapat terjadi pada berbagai jenis konduktor yang berbeda ketika mereka menerima tegangan yang sangat kuat, apakah mereka memiliki lubang kecil atau besar. Gejala ini menyebabkan adanya gangguan RI atau menambah kerugian tenaga (**Widyastuti & Bagus, 2019b**).

1.3 Linear Predictive Coding

Sintesis suara dapat diperoleh dengan salah satu metode yaitu LPC atau Linear Predictive Coding. Metode ini sudah diterapkan secara masif khususnya untuk menghasilkan ekstraksi dari suara atau audio sebagai pembeda karakteristik suara untuk dikenali. Keunggulan LPC yaitu mudah dalam mengolahnya dan kompatibel untuk diaplikasikan pada berbagai jenis piranti. Komponen utama pada LPC terdiri dari dua bagian yaitu proses penguraian sinyal suara menjadi komponen-komponen yang berbentuk *code* atau *encoding*. Kemudian komponen yang kedua yaitu proses pengubahan komponen-komponen penyusun suara menjadi suara seperti semula atau decode. Gambar 2 menunjukkan tahap-tahap dalam menghasilkan ekstraksi suara untuk dikenali dengan menggunakan metode LPC (**Rabiner & Juang, 1993**) (**Rabiner, 1989**).



Gambar 2. Proses Umum Metode LPC

dengan,

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

di mana : s merupakan sinyal suara,

n banyaknya data pada sinyal suara,

$$0.9 \leq a \leq 1.$$

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

di mana M banyaknya frame

$$\ell = 1, 2, \dots, M$$

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

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

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

di mana $m = 0, 1, \dots, p$

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

di mana $1 \leq m \leq p$

$$E^{(0)} = r(0)$$

$$k_i = \frac{\{r(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j^{(i-1)} r(i-j)\}}{E^{(i-1)}}$$

$$\alpha_i^{(i)} = k_i$$

$$\alpha_j^{(i)} = \alpha_j^{(i-1)} - k_i \alpha_{i-j}^{(i-1)}$$

$$E^{(i)} = (1 - k_i^2) E^{(i-1)}$$

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

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

di mana $1 \leq m \leq p$

Namun, penjelasan yang diberikan dalam tahap 2 di atas dapat diberikan sebagai berikut: **(Rabiner & Juang, 1993) (Dewi, dkk, 2018)**.

1. Pra-penekanan adalah satu-satunya teknik yang dapat menghilangkan kebisingan sinyal input yang salah dari ucapan. Kebisingan adalah produk sampingan atau gangguan dari operasi pemanenan energi matahari terbuka di dekatnya.
2. Pemblokiran bingkai adalah proses memasukkan satu baris jahitan untuk bingkai.
3. Windowing adalah satu-satunya metode yang paling efektif untuk mengidentifikasi dan menganalisis perbedaan dalam gelombang sinus yang telah diubah menjadi sejumlah gelombang sinus.
4. Salah satu alat untuk menganalisis sinyal dari setiap frame adalah analisis autokorelasi.
5. Hasil analisis autokorelasi dapat diubah menjadi parameter LPC (Koefisien LPC, Koefisien pantulan, pantulan, dan koefisien perbandingan daerah logaritmis) dengan menggunakan analisis LPC.
6. Penggunaan transformator fourier dalam proses konversi parameter LPC menjadi koefisien cepstral disebut dengan analisis cepstral **(Abriyono & Harjoko, 2013)**.

1.4 Fuzzy cluster Mean

Fuzzy c-Mean (FcM) merupakan metode yang digunakan untuk clustering data berdasarkan parameter rata-rata dan derajat keanggotaan dengan prinsip fuzzy logic. Permasalahan utama metode FcM ialah meminimumkan error dari Objective Function FCM sebagai berikut **(Hathaway & Bezdek, 1988)**:

$$J_m(U, v) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (U_{ik})^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (8)$$

Hasil ekstraksi ciri data peluahan permukaan (y_1, y_2, \dots, y_T) menggunakan metode *linear predictive coding* (LPC), kemudian diinputkan pada metode FcM untuk meminimumkan error yang beriringan dengan menduga parameter FCM yaitu rata-rata dan derajat keanggotaan. Minimasi error pada Persamaan (13) dilakukan dengan iterasi menggunakan rumusan sebagai berikut **(Hathaway & Bezdek, 1988)**.

$$(v_i^*) = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^*)^m y_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^*)^m} \quad (9)$$

$$u_{ik}^* = \left(\sum_{j=1}^c a_{ijk}^* \right)^{-1} \quad (10)$$

Dengan v pusat kluster dan u derajat keanggotaan. Hasil ini yang kemudian digunakan untuk clustering fenomena peluahan permukaan baik terhadap voltage maupun noise dengan memperhatikan eror terkecil.

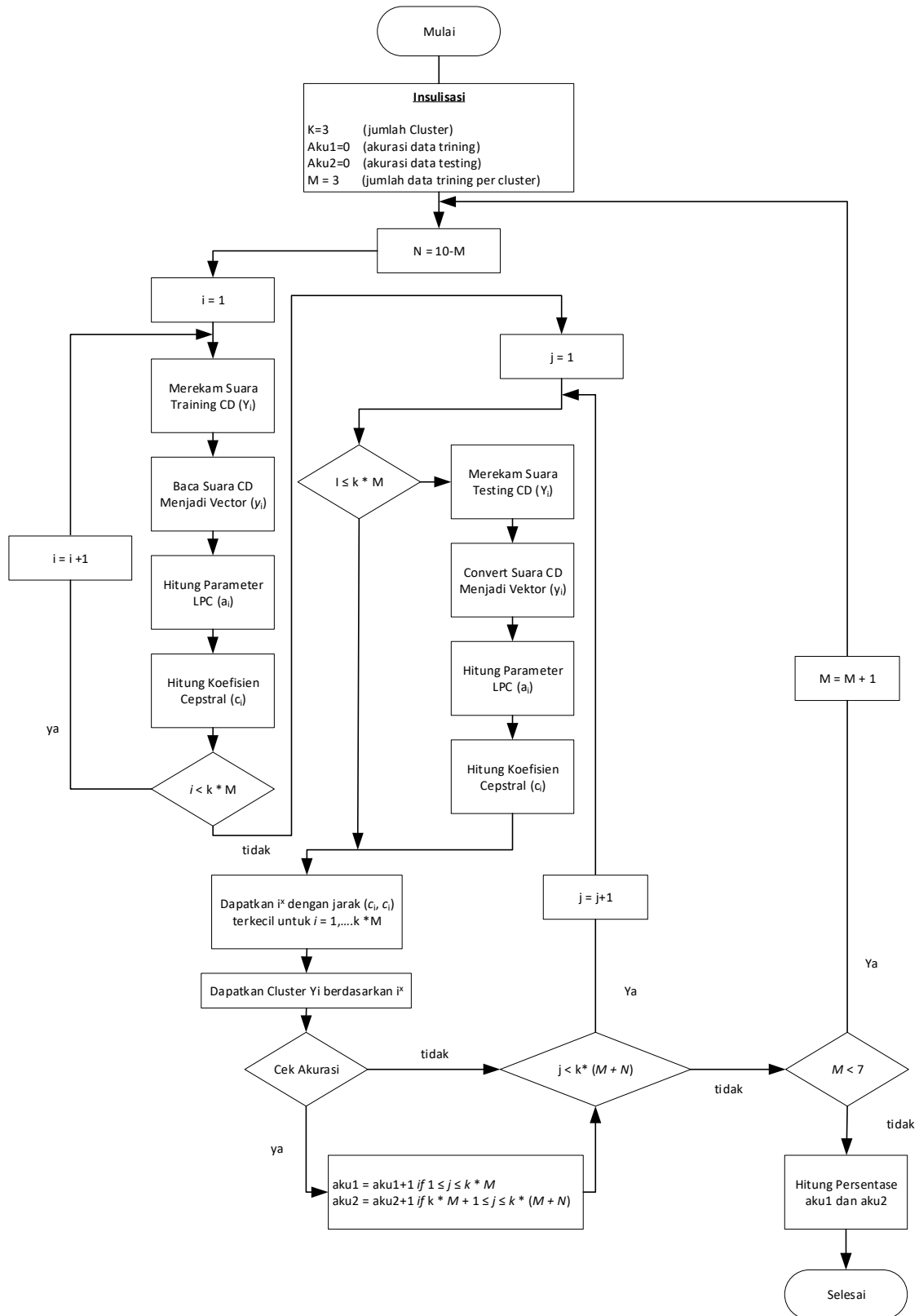
2. METODE

Pengumpulan data pada penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi Institut Teknologi PLN (Laboratorium TPTT ITPLN) selama kurang lebih tujuh bulan tanggal 3 Februari 2021 sampai dengan 15 September 2021. Kemudian mengolah data yang didapatkan menggunakan software Matlab versi 2016b. Prinsip clustering dilakukan dengan cara membagi suara peluahan permukaan menjadi dua, yaitu sebagian data menjadi data *training* dan data lainnya menjadi data *testing*. Adapun proses *clustering* suara peluahan permukaan berdasarkan tegangan menggunakan metode fuzzy c-mean dimulai dari inialisasi variabel yang digunakan, kemudian penginputan data *training* suara peluahan permukaan, selanjutnya dilakukan ekstraksi ciri dengan metode LPC dan perhitungan parameter fuzzy c-mean. Hasil parameter fuzzy c-mean pada data *trainig* ini yang kemudian digunakan sebagai pembandingan dengan seluruh data suara peluahan permukaan, yaitu terhadap data *training* maupun terhadap data *testing*. Terakhir dilakukan perhitungan akurasi baik terhadap data *training* maupun terhadap data *testing*. Proses ini disajikan pada Gambar 3 yang merupakan diagram alir *clustering* fenomena peluahan permukaan berdasarkan level tegangan yang berbeda.

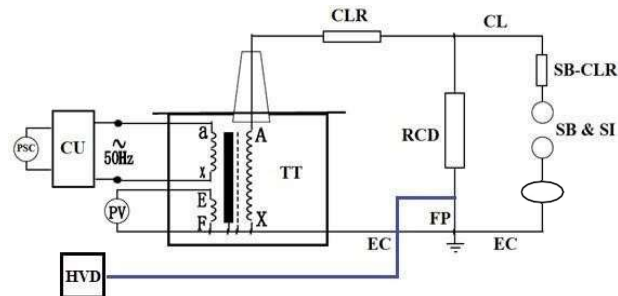
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rangkaian Alat dan Prototipe Pengambilan audio Peluahan Permukaan

Gambar 4 menunjukkan contoh percobaan peluahan permukaan yang dilakukan di laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi Institut Teknologi PLN (Lab TPTT ITPLN) menggunakan prototipe:



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Pengenalan Suara Peluahan Permukaan



Gambar 4. Prototipe Pengambilan Suara Peluahan Permukaan

Prototipe bekerja seperti pada pada Gambar 4 terdiri dari sumber yang terhubung ke Unit Pengaturan (CU) kemudian dihubungkan dengan alat uji yang menaikkan tegangan atau trafo step up sehingga tegangan masukan yang sebesar 220 V dapat menghasilkan output yang diatur keluarannya hingga 100 kV. Tegangan nominal yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara 20 kV hingga 33 kV. Tegangan kemudian dilanjutkan melewati ke resistor pembatas arus (CRL), yang berfungsi sebagai perangkat perlindungan terhadap arus lebih yang efektif jika terjadi hubung-singkat. Tegangan kemudian dilanjutkan melewati konduktor atau elektroda sebagai tempat untuk mengamati fenomena tegangan tinggi dengan jarak selebar 3 cm. Ketika tegangan meningkat, itu akan melemahkan isolasi antara perangkat listrik yang dapat mencegah terjadinya fenomena yang dikenal sebagai peluahan permukaan, yang ditandai dengan tegangan seperti tembus dan penurunan sirkuit kontinu oleh perangkat arus sisa (RCD). Pada Gambar 5, dimungkinkan untuk melihat data rancang bangun tentang peluahan permukaan.



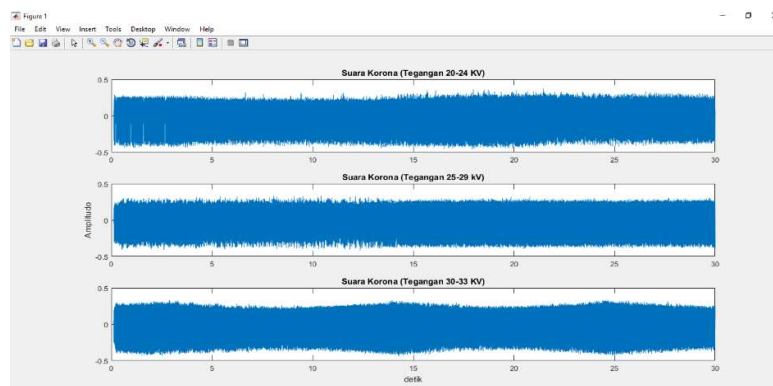
Gambar 5. Prototipe Perekaman Suara Peluahan Permukaan pada Simulasi Kubikel 20 kV

Dalam Lab TPTT ITPLN, Gambar 5 adalah rancang bangun perekaman suara peluahan permukaan. Tujuannya merekam suara mendesis yang dihasilkan dari gejala peluahan permukaan. Sebelumnya diperlukan suatu tegangan yang menyerupai kondisi di kubikel 20 Kv. Dalam menaikkan tegangan untuk menghasilkan suara *Corona discharge* perlu mengatur tegangan dan jarak elektroda. Tegangan tinggi yang dihasilkan berasal dari trafo penaik tegangan. Trafo tersebut bisa memberikan tegangan hingga 100 kV dengan skala kenaikan per 200 V. kemudian ditentukan jarak elektroda yang berbentuk jarum dan jarum. Disini

menggunakan jarak 3 cm. selanjutnya dicari nilai tegangan hingga isolasi udara elektroda tembus. Diperoleh tegangan tembus sebesar 33,4 kV. Sehingga untuk menyamakan dengan kondisi dikubikel 20 kV, dilakukan proses klasterisasi menjadi 3 kelompok tegangan yang dimulai dari tegangan 20 kV hingga tegangan tembus tercapai yaitu 33,4 kV. Ketiga kluster tersebut adalah 20-24 kV sebagai kluster ke-1, 25-29 kV sebagai kluster ke-2, dan 30-33 kV sebagai kluster ke-3. Pada Kelembapan berkisar 70%-95% dengan suhu antara 27,5°C - 35.3°C dilakukan pemberian tegangan pada elektroda di dalam ruang kotak prototipe kubikel 20 kV. Kemudian dalam mengambil rekaman suara menggunakan piranti *microphone* yang diletakan pada jarak 5 cm dari celah jarum tersebut. Pada tegangan kluster pertama menghasilkan suara mendesis yang direkam menggunakan piranti *microphone*. Kegiatan tersebut dilakukan berulang hingga ketiga kluster diperoleh data rekaman suara. Hasil rekaman kemudian ditransfer ke computer untuk diolah menggunakan metode LPC dan Fuzzy c-means.

3.2 Pembentukan Ekstraksi Ciri Audio Peluahan Permukaan dari Metode LPC

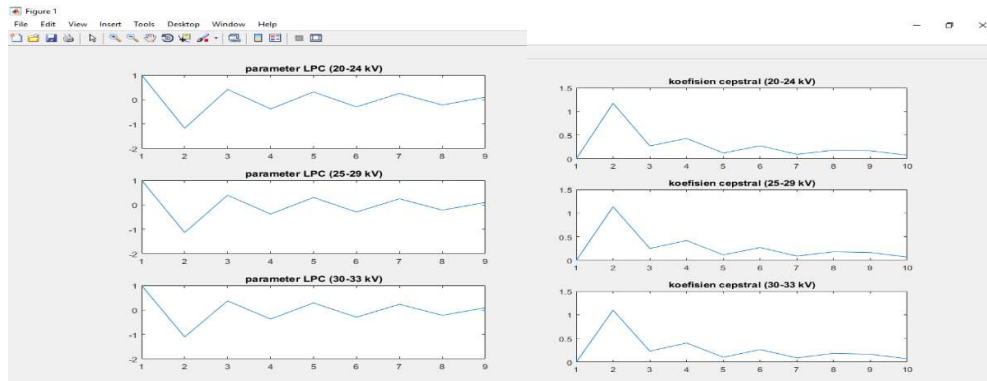
Sekitar 10 buah data dikumpulkan menggunakan rancang bangun pada Gambar 5 untuk mensimulasikan peluahan permukaan dengan tiga kluster berbeda (20-24 kV sebagai kluster ke-1, 25-29 kV sebagai kluster ke-2, dan 30-33 kV sebagai kluster ke-3), berikutnya hasil dari perekaman ketiga suara dari kluster tersebut ditampilkan pada Gambar 6 sebagai hasil sampel.



Gambar 6. Sampel Suara Peluahan Permukaan Berdasarkan Tegangan

Peluahan permukaan, sebagai bentuk suara yang ditampilkan dalam bentuk gelombang memiliki nilai amplitude yang berbeda menunjukkan tingkat kebisingan dari gejala peluahan permukaan. Ditunjukkan pada Gambar 6 yang diambil dari aplikasi matlab 2016b. Kemudian diolah dengan menggunakan metode LPC menggunakan Persamaan (1)–(7) (**Rabiner & Juang, 1993**). Hasil dari pengolah tersebut akan menghasilkan ekstraksi ciri dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah ini.

Clustering Suara *Corona Discharge* berdasarkan Tegangan menggunakan Algoritma *Unsupervised Learning*

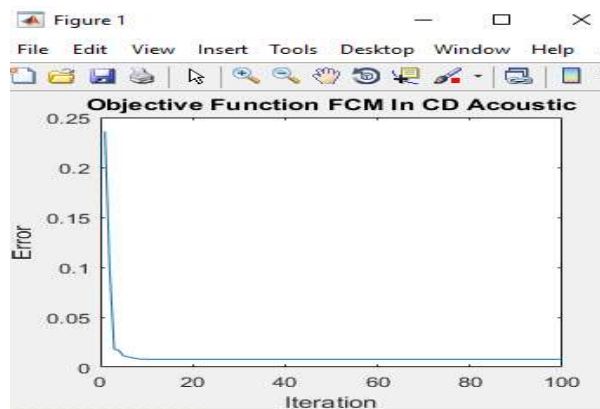


(a) (b)
Gambar 7. Peluasan Permukaan dalam Ekstraksi Ciri (a) Parameter LPC (b) Coefficient Cepstral

Data ekstraksi ciri dari Gambar 6 selanjutnya diolah berdasarkan Persamaan (1) sampai dengan 5 sebelum dikenakan parameter LPC pada Gambar 7(a). Hasil dari proses ini kemudian diolah menggunakan Persamaan (6) sampai dengan (7) dan data yang dihasilkan digunakan untuk menghasilkan LPC koefisien cepstral 7(b). Karena fakta bahwa komponen keempat cluster ini adalah obyek dengan fungsi serupa berdasarkan peluasan permukaan, pola dan/atau nilai hampir identik pada bagian (a) dan bagian (b). Setelah itu, prosedur pola-pencocokkan dilakukan pada coefficient cepstral ini.

3.3 *Unsupervised Learning Process*

Untuk melakukan clustering suara *corona discharge* dengan metode FcM diperlukan *learning process* pada metode FcM agar eror jarak yang diperoleh seminimum mungkin. Parameter yang diperoleh dari hasil *learning process* ini yang kemudian digunakan untuk clustering fenomena *corona discharge*. Gambar 8 memperlihatkan learning process metode FcM yang diterapkan untuk suara corona discharge.

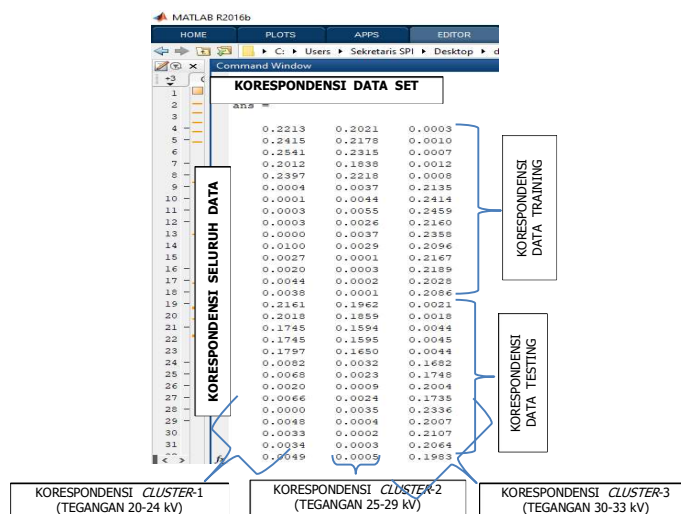


Gambar 8. FcM Learning Process untuk Clustering Suara Corona Discharge

Pada Gambar 8 di atas, fungsi obyektif FcM pada suara *corona discharge* merupakan fungsi monoton turun terhadap iterasi, sehingga hasil ini menunjukkan *learning process* metode FcM yang diterapkan pada suara *corona discharge* telah tervalidasi.

3.4 Komparasi Hasil Ekstraksi Ciri

Hasil analisis data diperoleh dengan menggunakan metode LPC pada Gambar 7(b) dan proses pembelajaran FcM pada Gambar 8 di atas. Kemudian, analisis data dilakukan dengan menggunakan data pelatihan atau pengujian data berdasarkan fungsi algoritma fuzzy c-mean (8). Hasil pengelompokan yang dilakukan pada 5 data pelatihan dan 5 data uji dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Simulasi FcM untuk Klasterisasi Gejala Peluahan Permukaan

Pada Gambar 9, dapat dilihat bahwa baris responsif terhadap setiap bagian data, apakah itu data pelatihan atau pengujian, dan bahwa cluster responsif terhadap letter. Kolom 1 memiliki rentang respons CD 20 hingga 24 kV (klaster 1), Kolom 2 memiliki rentang respons CD 25 hingga 29 kV (klaster 2), dan kolom 3 memiliki rentang respons CD 30 hingga 33 kV (klaster 3). Hasil clustering diberikan oleh nilai jarak terkecil bersesuaian dengan fungsi obyektif FcM pada Persamaan (8) yang dapat ditandai dalam Gambar 8.

Pembahasan pada subbab 3.1 sampai 3.4 merupakan tahap-tahap yang menjelaskan bahwa audio atau suara yang dihasilkan dari peluahan permukaan dilakukan perekaman audio dengan domain waktu. Kemudian dilakukan ekstraksi ciri untuk memperoleh sample audio yang mewakili keseluruhan. Selanjutnya melalui learning process dengan metode FcM untuk clustering suara peluahan permukaan yang selanjutnya ditunjukkan validasi metode FcM. Tahap ini secara menyeluruh dapat dilihat pada *flowchart* di Gambar 3. Tingkat akurasi hasil klaster suara peluahan permukaan ditampilkan dan disederhanakan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Akurasi Pengenalan Suara Peluahan Permukaan

No.	Training		Testing	
	Jumlah Data	Akurasi (%)	Jumlah Data	Akurasi (%)
1	3	100	7	80,95
2	4	100	6	77,78
3	5	100	5	73,33
4	6	94,44	4	75
5	7	90,47	3	100
Average		96,00		80,00

Rangkuman dari pengujian data menggunakan FcM pada Tabel 1 menunjukkan bahwa ekstraksi ciri yang dihasilkan dengan menggunakan metode LPC kemudian diolah dengan metode Fuzzy c-mean. Pengenalan suara permukaan permukaan dicapai dengan menggunakan metode LPC dan fuzzy c-mean. Proses ini dilakukan secara bergantian dengan kombinasi dari 3 data training dan 7 data testing menjadi 7 data training dan 3 data testing berdasarkan perbandingan seperti yang dibuat pada Gambar 9. Sebagai contoh rating akurasi kurang lebih 100% untuk data training dan 73,33 % untuk pengujian data diberikan untuk lima data training dan lima data testing. Kemudian pada pengujian 6 data *training* mengalami penurunan akurasi menjadi 94,44% sedangkan pada 4 data *testing* mengalami kenaikan akurasi dari 73,33% menjadi 75%. Untuk memperoleh gambaran dari seluruh rangkaian percobaan maka dihitunglah nilai rata-rata dari masing-masing data *training* dan data *testing*. Pada Tabel 1 disebutkan bahwa rata-rata tingkat keberhasilan berbagai percobaan pengujian data training dan data testing adalah sekitar 96,00% untuk data training dan 80,00% untuk data testing.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, Laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi Institut Teknologi PLN sebagai tempat untuk pengambilan suara *corona discharge* atau permukaan permukaan secara langsung. Transformator uji yang mengubah tegangan rendah menjadi tinggangan tinggi digunakan untuk memberikan tegangan pada elektroda. Skala perubahan tegangan yang dihasilkan sebesar 200 V dengan kelompok kluster tegangan dibagi menjadi 3. Kluster pertama pada rentang tegangan 20 kV sampai 24 kV, kluster kedua pada rentang 25 kV sampai 29 kV, dan kluster ketiga 30 sampai 33 kV. Masing-masing kluster terdiri dari 10 data. Kelembapan udara dan suhu ruang pada saat pengambilan data yaitu 70% - 90% dan 27,5°C - 35,3°C. Selama pengambilan data suara, tegangan dinaikan secara bertahap berdasarkan pembagian kluster. Jarak antar elektroda jarum-jarum yang digunakan untuk menghasilkan efek *corona discharge* yaitu 3 cm dengan tegangan breakdown di 33,4 kV. Untuk menangkap gelombang suara, menggunakan piranti *microphone* yang diletakan sejauh 5 cm dari *gap* elektroda. Data suara yang berhasil disimpan selanjutnya diubah menjadi ekstraksi ciri dengan menggunakan metode LPC. Setelah diperoleh ekstraksi ciri dari suara tersebut, selanjutnya dilakukan pencocokan data *training* dan data *testing* untuk menentukan kluster dari data masukannya. Hasil *clustering* suara *corona discharge* menggunakan metode LPC dan *fuzzy c-mean* diperoleh rata-rata akurasi sebesar 96,00% untuk data *training* dan 80,00% untuk data *testing*.

DAFTAR RUJUKAN

- Abriyono, A., & Harjoko, A. (2013). Pengenalan Ucapan Suku Kata Bahasa Lisan Menggunakan Ciri LPC, MFCC, dan JST. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, 7(1), 23–34. <https://doi.org/10.22146/ijccs.2149>
- Al-geelani, N. A., Piah, M. A. M., & Abdul-Malek, Z. (2017). 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>
- Arismunandar, A. (1978). *Teknik Tegangan Tinggi*. Pradnya Paramita.

- Bezdek, J. C. (1984). FCM: The Fuzzy C-Means Clustering Algorithm. In *Computers & Geosciences* 10(3).
- 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), 153–164. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v6i1.153>
- FIKRI, M., CHRISTIONO, C., & MULYANA K., I. G. (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. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i3.689>
- Gröll, L., & Jäkel, J. (2005). A new convergence proof of fuzzy c-means. In *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 13(5), pp. 717–720). <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2005.856560>
- Hathaway, R. J., & Bezdek, J. C. (1988). Recent convergence results for the fuzzy c-means clustering algorithms. *Journal of Classification*, 5(2), 237–247. <https://doi.org/10.1007/BF01897166>
- Hedtke, S., Pfeiffer, M., & Franck, C. M. (2019). *Corona discharge* pulse pattern and audible noise on hybrid AC/DC transmission lines under electric field bias, ripple and ion coupling. *Journal of Electrostatics*, 102(August). <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2019.103373>
- 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., Mirsaeeadi, H., Arefi, M. M., & Oskuoee, M. (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*, 67(4), 3277–3287. <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>
- 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*, 869–874.
- Moore, A. J., Schubert, M., & Rymer, N. (2018). Technologies and Operations for High Voltage Corona Detection with UAVs. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2018.8585759>
- Pal, N. R., & Bezdek, J. C. (1995). On Cluster Validity for the Fuzzy c-Means Model. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *3*(3), 370–379. <https://doi.org/10.1109/91.413225>
- PASRA, N., FIKRI, M., MAURIRAYA, K. T., RIJANTO, T., & BUDITJAHJANTO, I. G. P. A. (2023). Deteksi Suara *Corona discharge* berdasarkan Noise menggunakan Metode LPC dan Euclidean Distance. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, *11*(1), 72. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i1.72>
- 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. *Proceedings of the IEEE*, *77*(2), 257–286. <https://doi.org/10.1109/5.18626>
- Rabiner, L., & Juang, B.-H. (1993). *Fundamentals of speech recognition*. Prentice Hall.
- 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. (2005). Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang. *Transmisi*, *10*(2), 26–29. <https://doi.org/10.12777/transmisi.7.2.26-29>
- Wahyudi, M., Tumiran, Yulistya Negara, I. M., Akhmad Setiawan, N., & Sugiyantoro, B. (2019). Audiosonic Acoustic Detection of Air *Corona discharge* based on Fast Fourier Transform. *Proceedings of the 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS 2019*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011029>

- 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., & Bagus, I. N. (2019a). *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Dampak Korona pada SUTET 500 kV Terhadap Radio Interference Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*. *11*(2), 87–97.
- Widyastuti, C., & Bagus, I. N. (2019b). *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah 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>