

Optimasi *Likelihood Function* Suara *Corona Discharge* Menggunakan Model Normal *Hidden Markov* Sebagai Langkah Awal Deteksi Dini Kegagalan Isolasi

Miftahul Fikri¹; Christiono¹; Iwa Garniwa Mulyana K.^{1,2}

¹Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN

²Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia
miftahul@itpln.ac.id

ABSTRACT

Insulation failure due to high voltage phenomena such as corona discharge (CD) still occurs in many electrical systems in Indonesia. This is due to not being able to do early detection of CD. One form of CD is sound. As the first step for early detection of insulation failure in the form of clustering, a study is needed (in a 20 kV cubicle) that can optimize the sound characteristics of CD, which is the aim of this research. Based on observations on the needle-rod electrode 3 cm apart, the smallest breakdown was obtained at 34.3 kV. So that the classification of CD sound is set into 3 clusters starting from the cubicle voltage of 20 kV until before the breakdown occurs, namely 33 kV. The temperature in the cubical is between 27.5°C - 35.3°C and humidity ranges from 70% - 95%. Feature extraction was carried out using the linear predictive coding (LPC) method, then optimization of the likelihood function was carried out using the normal hidden Markov model which is expected to be used as a first step for early detection of insulation failure.

Keywords: corona discharge, likelihood function, insulation failure, linier predictive coding, hidden Markov model

ABSTRAK

Kegagalan isolasi akibat adanya fenomena tegangan tinggi seperti corona discharge (CD) masih banyak terjadi pada sistem kelistrikan di Indonesia. Hal ini disebabkan belum dapat dilakukannya deteksi dini CD. Salah satu bentuk CD ialah suara. Sebagai langkah awal deteksi dini kegagalan isolasi berupa clustering diperlukan suatu penelitian (pada kubikel 20 kV) yang dapat mengoptimalkan ciri suara CD yang merupakan tujuan dari penelitian ini. Berdasarkan pengamatan pada elektroda jarum-batang berjarak 3 cm diperoleh breakdown terkecil pada 34.3 kV. Sehingga klasifikasi suara CD ditetapkan menjadi 3 cluster yang dimulai dari tegangan kubikel 20 kV hingga sebelum breakdown terjadi yaitu 33 kV. Adapun suhu di dalam kubikal antara 27.5°C - 35.3°C dan kelembaban berkisar 70% - 95%. Ekstraksi ciri dilakukan menggunakan metode linear predictive coding (LPC), selanjutnya dilakukan optimasi fungsi likelihood menggunakan model normal hidden Markov yang diharapkan dapat digunakan sebagai langkah awal deteksi dini kegagalan isolasi.

Kata kunci: corona discharge, likelihood function, kegagalan isolasi, linear predictive coding, model hidden Markov

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data statistik PLN tahun 2006, Distribusi Jaya dan Tangerang memiliki pelanggan sebanyak 7 juta lebih dengan daya terpasang 11.564 MVA dan jumlah *substation transformer* mencapai 12.426 buah. Jumlah *substation* sebesar itu memerlukan *cubicle* hampir 3 kali lebih dari jumlah *substation* tersebut [1], sehingga pemeriksaan dalam rangka pemeliharaan akan mengalami banyak kesulitan jika dilakukan secara manual. Pada *cubicles* tersebut diterapkan tegangan sebesar 20 kV yang dapat mengakibatkan terjadinya gejala *corona discharge* dan selanjutnya apabila dibiarkan akan menyebabkan kegagalan listrik atau hubung singkat, terutama apabila pada kondisi hujan atau kondisi lingkungan lembab [2]. Masalah tersebut dapat segera ditanggulangi apabila segera dilakukan perbaikan namun informasi mengenai kondisi *cubicle* tersebut hanya dapat diketahui dengan mendatangi lokasi *cubicle* tersebut [3].

Sebagai gambaran telah terjadi kerusakan *cubicle* TM sebanyak lebih dari 300 unit setiap tahun di Gardu Distribusi PT. PLN (Persero) Distribusi Jaya dan Tangerang, di mana kerusakan tersebut mayoritas diawali oleh adanya *corona discharge*. Oleh karena itu, perlu ada suatu sistem pemantau yang mampu memberikan informasi terkini dari seluruh *cubicle* yang tersebar namun dapat dilihat pada pusat kontrol. Konstruksi dan kondisi sesudah terjadi kerusakan pada *cubicle* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Corona discharge pada Cubicle 20 kV

Pada Gambar 1 dapat di lihat sebuah *cubicle* 20 kV yang mengalami kegagalan isolasi akibat terjadinya fenomena *corona discharge* yang tidak diketahui sejak dini sehingga pada isolatornya mengalami kerusakan permanen.

Setiap bentuk elektroda yang bertegangan tinggi atau tegangan menengah pada kondisi tertentu dapat timbul gejala *corona discharge* [4] [5]. Hal ini dikarenakan elektroda yang dipengaruhi oleh medan listrik akan menyebabkan terjadinya proses ionisasi sehingga dapat menimbulkan elektron atau ion positif pada isolasi *cubicle* 20 kV. Elektron atau ion positif ini akan berkumpul pada satu titik berupa *electron avalanche* yang kemudian menjadi sumber bunyi atau dapat membangkitkan suara. Semakin banyak kumpulan titik, maka besar gangguan bising yang dibangkitkan elektroda akan semakin besar.

Beberapa penelitian terkait seperti [6] membahas *corona discharge* pada kawat transmisi menggunakan pengukuran *partial discharge*, [7] membahas klasifikasi *corona discharge* berdasarkan pola *partial discharge*. [8] membahas identifikasi sinyal suara *corona discharge* berdasarkan level kontaminasi/ polusi menggunakan transformasi *wavelet* yang dibandingkan dengan alat ukur *partial discharge detector*. Selain itu, [9] melakukan *clustering* suara *corona*

discharge tersebut berdasarkan tegangan dengan linear predictive coding (LPC) sebagai ekstraksi ciri tetapi hanya menggunakan *Euclidean distance* sebagai pengenalan pola sedangkan pada penelitian ini akan dilakukan optimasi likelihood function suara corona discharge menggunakan model hidden Markov sebagai langkah awal yang diharapkan dapat mendeteksi dini kegagalan isolasi pada *cubicle* 20 kV.

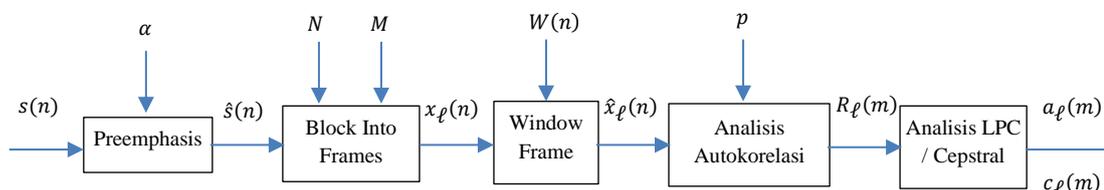
1.1 Corona Discharge

Pergerakan elektron bebas di udara umumnya berasal dari radiasi radio aktif yang terdapat di alam bebas dan adanya sinar kosmik. Elektron-elektron yang letaknya berdekatan dengan kawat transmisi dipengaruhi oleh adanya medan listrik yang menjauhi atau menuju ke kawat tersebut [4]. Selama gerakan elektron tersebut melewati gradien medan listrik, elektron tersebut akan bertubrukan dengan molekul pada udara yang dapat menyebabkan terjadinya ionisasi pada molekul tersebut. Akibat terjadinya ionisasi ini maka terdapat elektron bebas dan ion positif yang akan mendorong terjadinya ionisasi lebih lanjut. Apabila proses ini terus berlanjut maka akan membentuk *electron avalanche* [10].

Jika dua kawat yang sejajar dilintasi oleh *electron avalanche* ini maka dapat mengakibatkan terjadinya perubahan pembagian gradien tegangan dari udara di antara kedua kawat tersebut. Penataan kembali pada gradien ini dapat mengakibatkan nilai tegangan melampaui kekuatan udara (tegangan *breakdown*). Ini akan mengakibatkan terjadinya kegagalan isolasi udara. Oleh karena itu, *corona discharge* diidentifikasi dengan terjadinya suatu pelepasan muatan yang bermula pada permukaan dari suatu kawat jika nilai medan listrik pada permukaan kawat tersebut melebihi nilai tertentu. Gejala ini dapat terjadi pada berbagai macam kawat ketika diberi tegangan yang cukup tinggi, baik kawat berukuran kecil maupun berukuran besar.

1.2 Linier Predictive Coding

Metode LPC merupakan metode yang telah dikenal cukup lama untuk pengenalan suara. Menurut [11], keunggulan LPC ialah sederhana dan dapat diterapkan pada berbagai macam perangkat. Terdapat dua komponen utama pada LPC yaitu *Encoding* dan *Decoding*. *Encoding* berfungsi untuk memeriksa dan mengurai sinyal suara menjadi beberapa bagian, sedangkan *decoding* berfungsi untuk mengubah suara yang telah direkam. Adapun proses metode LPC diperlihatkan pada Gambar 2 [12], [11].



Gambar 2. Proses umum metode LPC

Adapun penjelasan tahapan pada Gambar 2 di atas dapat dijelaskan sebagai berikut : [12], [9].

1. *Pre-emphasis* adalah salah satu metode yang dapat menghilangkan *noise* suara dari input suara yang orisinil. *Noise* merupakan gangguan atau interferensi dari obyek suara asli yang terjadi di sekitarnya.
2. *Frame blocking* adalah proses pembagian sinyal suara yang berupa segmen suara.

3. *Windowing* adalah salah satu proses untuk mendeteksi dan memilah perbedaan pada sinyal suara yang telah terbagi menjadi beberapa segmen suara.
4. *Autocorrelation analysis* merupakan tahapan untuk menyamakan sinyal dari setiap frame.
5. *LPC analysis* Merupakan bagian yang mengubah besaran hasil analisis autokorelasi menjadi besaran parameter LPC (koefisien perbandingan daerah *logaritmis*, koefisien pantulan dan koefisien LPC).
6. *Cepstral analysis* yaitu mengkonversi parameter LPC menjadi koefisien *cepstral* menggunakan transformasi Fourier [13].

1.3 Model Normal Hidden Markov

Model normal *hidden* Markov (MNHM) merupakan model hidden Markov $\{X_t, Y_t\}_{t \in \mathbb{N}}$ yang diasumsikan peluang observasi Y_t dengan syarat diketahui X_t memiliki distribusi normal [14]. $\{X_t\}_{t \in \mathbb{N}}$ merupakan penyebab kejadian yang diasumsikan tidak diamati dan membentuk suatu rantai Markov dengan ruang *state* $S_X = \{1, 2, \dots, m\}$. Permasalahan utama model hidden Markov ialah memaksimalkan fungsi likelihood dari proses observasi Y yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 L_T(\phi) &= P(Y_1 = y_1, Y_2 = y_2, \dots, Y_T = y_T | \phi) \\
 &= \sum_{i_1=1}^m \dots \sum_{i_T=1}^m (\pi_{y_1 i_1} \pi_{y_2 i_2} \dots \pi_{y_T i_T}) \times (\delta_{i_1} \gamma_{i_1 i_2} \gamma_{i_2 i_3} \dots \gamma_{i_{T-1} i_T}) \\
 &= \sum_{i_1=1}^m \dots \sum_{i_T=1}^m \delta_{i_1} \pi_{y_1 i_1} \prod_{t=2}^T \gamma_{i_{t-1} i_t} \pi_{y_t i_t}. \tag{1}
 \end{aligned}$$

Pada penelitian ini, y_1, y_2, \dots, y_T merupakan ekstraksi ciri suara *corona discharge* menggunakan metode *linear predictive coding* (LPC). Untuk memaksimalkan fungsi likelihood ini dilakukan pendugaan parameter yaitu rataan, varians dan matriks transisi dari model normal hidden Markov. Optimasi likelihood function pada persamaan (1) dilakukan menggunakan algoritme Expectation Maximization (EM algorithm) secara iterasi, dengan masing-masing rumusan sebagai berikut.

$$\mu_i^{(k+1)} = \frac{\sum_{t=1}^T \alpha_t^{(k)}(i) \beta_t^{(k)}(i) y_t}{\sum_{t=1}^T \alpha_t^{(k)}(i) \beta_t^{(k)}(i)}, \tag{2}$$

$$\sigma_i^{2(k+1)} = \frac{\sum_{t=1}^T \alpha_t^{(k)}(i) \beta_t^{(k)}(i) (y_t - \mu_i^{(k+1)})^2}{\sum_{t=1}^T \alpha_t^{(k)}(i) \beta_t^{(k)}(i)}, \tag{3}$$

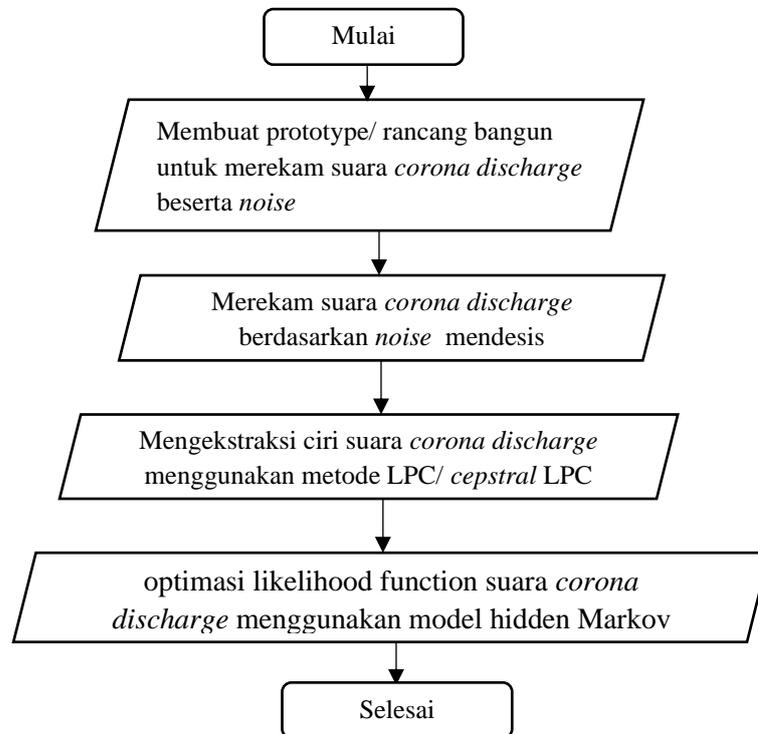
$$\gamma_{ij}^{(k+1)} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \alpha_t^{(k)}(i) \gamma_{ij}^{(k)} P^{(k)}(y_{t+1} | j) \beta_t^{(k)}(j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \alpha_t^{(k)}(i) \beta_t^{(k)}(i)}. \tag{4}$$

dengan $\alpha_t(i) = P(Y_1 = y_1, Y_2 = y_2, \dots, Y_t = y_t, X_t = i | \phi)$ dan $\beta_t(i | \phi) = P(Y_{t+1} = y_{t+1}, \dots, Y_T = y_T | X_t = i, \phi)$ masing-masing dapat dihitung secara rekursif menggunakan algoritme forward dan algoritme backward.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Pada penelitian ini, pengambilan data dilakukan pada Laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi Institut Teknologi PLN (Lab TPTT ITPLN). Data yang diperoleh kemudian diolah

menggunakan program matlab versi 2016b. Adapun diagram alir optimasi likelihood function suara corona discharge menggunakan model hidden Markov dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. diagram alir optimasi *likelihood function* suara corona discharge

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rancang Bangun Perekaman Suara Corona Discharge

Perekaman suara *corona discharge* dilakukan pada laboratorium tegangan tinggi ITPLN dengan rancang bangun pada Gambar 4.



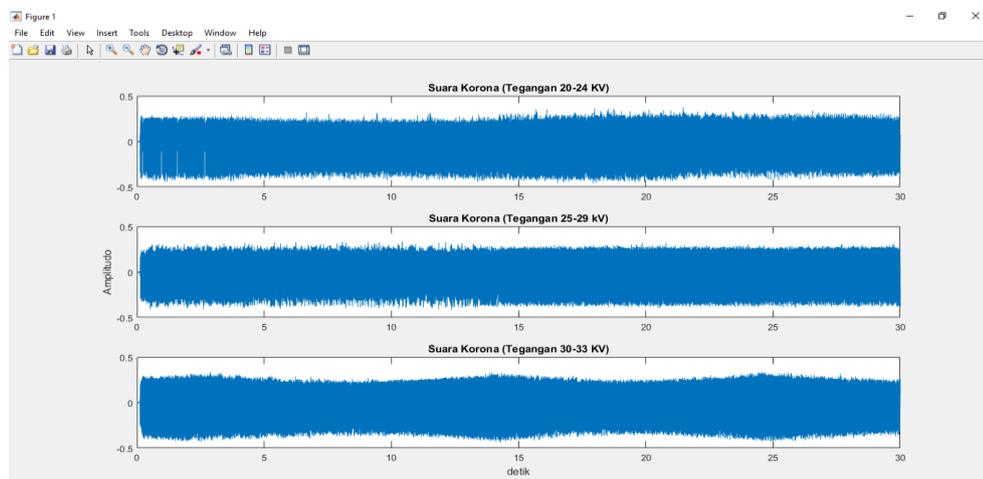
Gambar 4. Rancangan Bangun Perekaman Suara Corona Discharge Cubicle 20 kV

Gambar 4 merupakan rancang bangun perekaman suara *corona discharge* pada Lab TPTT ITPLN. Tegangan Tinggi yang dibangkitkan oleh *transformator* uji dengan skala perbandingan 200 V yang dapat dinaikkan hingga 100 kV. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan sebagai analisis

pendahuluan penelitian didapatkan tegangan *breakdown* sebesar 34,3 kV. Sehingga pada penelitian ini dilakukan perekaman suara *corona discharge* yang dimulai dari tegangan 20 kV kemudian dinaikan bertahap sehingga terbentuk tiga *cluster* suara *corona discharge* yaitu 20-24 kV, 25-29 kV dan 30-33 kV. Kondisi suhu pengamatan di dalam *cubicle* selama pengambilan data berkisar antara 27,5°C sampai dengan 35,3°C serta kelembaban berkisar 70% hingga 95%. Selama periode kenaikan tegangan diiringi dengan proses perekaman suara *corona discharge* yang terjadi di antara kedua elektroda dengan jarak antar elektroda sebesar 3 cm. Adapun perekaman suara menggunakan piranti mikrofon yang berjarak 5 cm dari sela elektroda, kemudian hasil dari rekaman tersebut di simpan ke komputer untuk diolah.

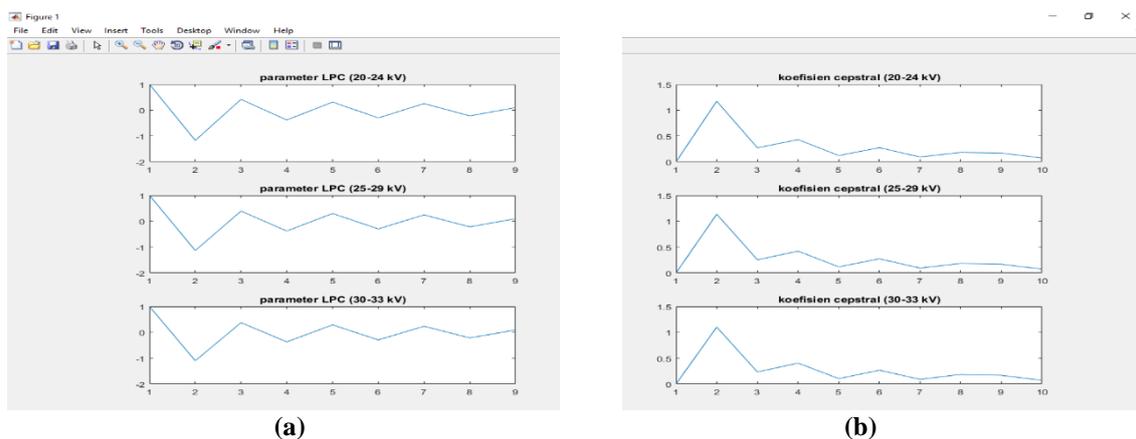
3.2 Sampel Data Dan Ekstraksi Ciri Suara *Corona Discharge* Dengan Metode LPC

Rancang bangun pada Gambar 5 digunakan untuk merekam suara *corona discharge* dengan masing-masing *cluster* (20-24 kV, 25-29 kV, 30-33 kV) diambil sebanyak 10 data dan diperoleh sampel hasil perekaman pada Gambar 5.



Gambar 5. Sampel Suara *Corona Discharge* Berdasarkan Tegangan

Suara *corona discharge* seperti yang diperoleh pada Gambar 5 dilakukan ekstraksi ciri menggunakan metode LPC dan diperoleh hasil pada Gambar 6.

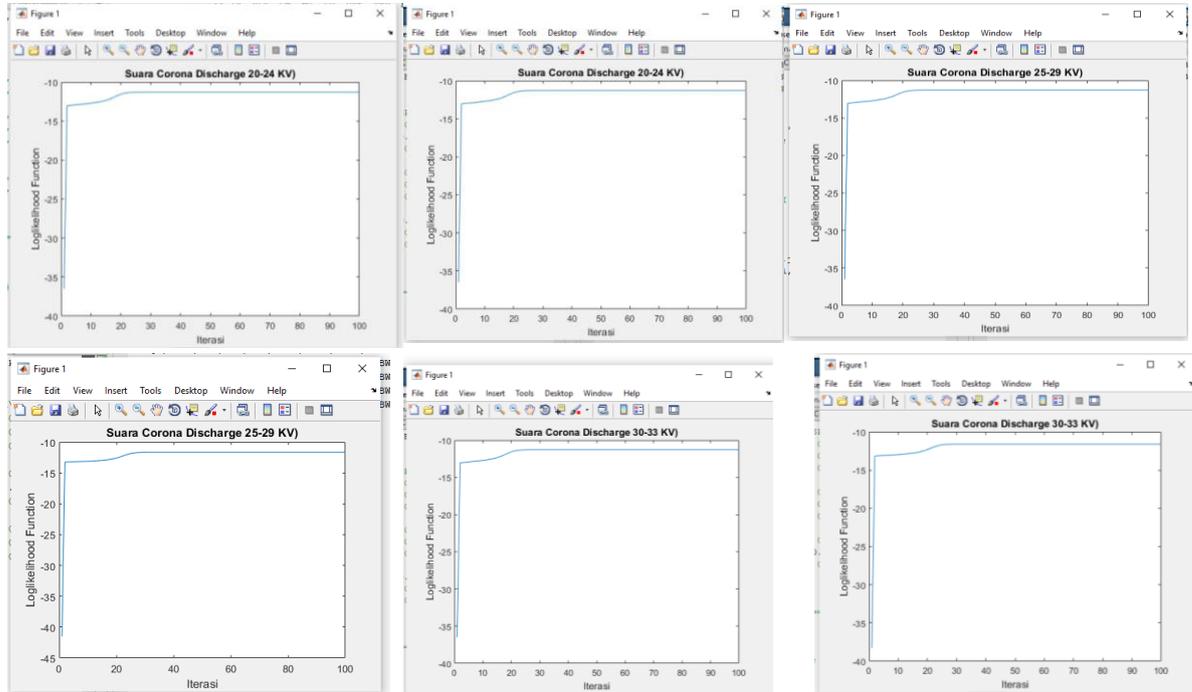


Gambar 6. Ekstraksi Ciri Suara *Corona Discharge* (a) parameter LPC (b) koefisien *cepstral*

Data suara pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa pola dan nilai yang hampir sama baik pada bagian (a) maupun bagian (b) dikarenakan ketiga *cluster* ini merupakan obyek yang sama berupa suara *corona discharge*. Koefisien *cepstral* ini yang kemudian dilakukan optimasi *likelihood function*.

3.3 Optimasi Likelihood Function Suara Corona Discharge

Optimasi fungsi likelihood pada persamaan (1) menggunakan persamaan (2)-(4). Adapun hasil optimalisasi likelihood function suara corona discharge menggunakan model normal hidden Markov diperoleh sebagai berikut



Gambar 7. Optimasi likelihood function suara corona discharge

Berdasarkan Gambar 7 di atas, likelihood function pada suara corona discharge terhadap seluruh variasi data tegangan (20-24 kV, 25-29 kV, 30-33 kV) merupakan fungsi monoton naik terhadap iterasi. Sehingga penelitian menggunakan model normal hidden Markov dapat dilanjutkan untuk mendeteksi dini (clustering) kegagalan isolasi berupa corona discharge.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini dilakukan perekaman suara *corona discharge* secara langsung di Laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi Institut Teknologi PLN. Perekaman suara *corona discharge* menggunakan *transformator* uji dengan skala perubahan tegangan sebesar 200 V. Terdapat tiga *cluster* suara *corona discharge* berdasarkan tegangan 20–24 kV, 25–29 kV dan 30–33 kV. Adapun selama pengambilan data kondisi suhu berkisar antara 27,5°C hingga 35,3°C dan kelembaban berkisar antara 70% hingga 95%. Selama periode pengaturan tegangan diiringi dengan proses perekaman suara *corona discharge* yang terjadi di antara kedua elektroda dengan jarak antar elektroda sebesar 3 cm. Perekaman dilakukan menggunakan piranti *mikrofon* yang berjarak 5 cm dari sela elektroda. Hasil dari rekaman tersebut kemudian diolah dengan metode LPC. Parameter LPC yang diperoleh kemudian dilakukan optimasi likelihood function menggunakan model normal hidden Markov. Hasil penelitian menunjukkan bahwa likelihood function merupakan fungsi monoton naik terhadap iterasi, sehingga model normal hidden Markov dapat digunakan untuk clustering fenomena corona discharge sebagai Langkah awal deteksi dini kegagalan isolasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN yang telah memberikan dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. E. Portugues *et al.*, “RF-based partial discharge early warning system for air-insulated substations,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 24, no. 1, pp. 20–29, 2009.
- [2] X. Wang, N. Taylor, and H. Edin, “Effect of Humidity on Partial Discharge in a Metal-Dielectric Air Gap on Machine Insulation at Trapezoidal Testing Voltages,” *J. Electrostat.*, vol. 83, pp. 88–96, 2016.
- [3] S. Rusdi, “Analisa Terbentuknya Korona Pada Saluran Kubicle Tegangan 20Kv Serta Pengaruhnya Terhadap Rugi-Rugi Daya,” *Lensa*, vol. 2, no. 48, pp. 14–21, 2019.
- [4] S. T. Prihatnolo, A. Syakur, and M. Facta, “Pengukuran Tegangan Tembus Dielektrik Udara pada Berbagai Sela dan Bentuk Elektroda dengan Variasi Temperatur Sekitar,” *J. Tek. Elektro Undip*, pp. 1–8, 2011.
- [5] A. Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1978.
- [6] S. Hedtke, M. Pfeiffer, and C. M. Franck, “Corona discharge pulse pattern and audible noise on hybrid AC/DC transmission lines under electric field bias, ripple and ion coupling,” *J. Electrostat.*, vol. 102, no. August, 2019.
- [7] M. Karimi, M. Majidi, H. Mirsaedi, M. M. Arefi, and M. Oskuoee, “A novel application of deep belief networks in learning partial discharge patterns for classifying corona, surface, and internal discharges,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 67, no. 4, pp. 3277–3287, 2019.
- [8] N. A. Al-geelani, M. A. M. Piah, and Z. Abdul-Malek, “Identification of acoustic signals of corona discharges under different contamination levels using wavelet transform,” *Electr. Eng.*, vol. 100, no. 2, pp. 1059–1067, 2017.
- [9] M. Fikri, Christiono, and I. G. M. K., “berdasarkan Suara menggunakan Metode LPC dan Euclidean Distance Clustering Fenomena Corona Discharge,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 3, pp. 689–701, 2022.
- [10] H. Illias, Teo Soon Yuan, A. H. A. Bakar, H. Mokhlis, G. Chen, and P. L. Lewin, “Partial discharge patterns in high voltage insulation,” in *PECon 2012 - 2012 IEEE International Conference on Power and Energy*, 2012, no. December, pp. 750–755.
- [11] L. Rabiner, “A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition,” in *Proceedings of the IEEE*, 1989, vol. 77, no. 2, pp. 257–286.
- [12] L. Rabiner and B.-H. Juang, *Fundamentals of speech recognition*. Prentice Hall, 1993.
- [13] A. Abriyono and A. Harjoko, “Pengenalan Ucapan Suku Kata Bahasa Lisan Menggunakan Ciri LPC, MFCC, dan JST,” *IJCCS (Indonesian J. Comput. Cybern. Syst.)*, vol. 7, no. 1, pp. 23–34, 2013.
- [14] O. Cappe, *Inference in Hidden Markov Models*. Springer, 2005.