

Implementasi *Fast Fourier Transform* dan *Artificial Neural Network* Pada Sistem Identifikasi dan Proteksi *Series Arc Fault* Pada DC Bus *Microgrid*

Dimas Okky Anggriawan^{1*}, Epyk Sunarno², Eka Prasetyono³, Suhariningsih⁴,
Muhammad Fauzi⁵

^{1*,2,3,4,5}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

*Email: dimas@pens.ac.id

Abstract

A microgrid is a cluster of electrical sources and loads that are interconnected and synchronized. Microgrid operation is typically divided into two modes, isolated or connected to the grid with a single or standalone control system. In this context, it can enhance the reliability and quality of electricity supply for connected customers. When using a microgrid system, it is important to consider the risk of series arc faults. Series arc faults are sudden bursts of flames resulting from ionization of gas between two electrode gaps. These faults can occur due to manufacturing defects, installation Errors, aging, or corrosion on conductor rods, leading to imperfect connections. Detecting series arc faults in DC microgrid system operations can be challenging using standard protective devices. Failure in the protection system can pose risks of fire, electrical shock hazards, and power loss in the DC microgrid. Therefore, a device has been designed to detect series arc faults by utilizing the fast Fourier transform method and artificial neural network, which function to analyze DC signal and make decisions when faults occur by examining the average sum of current frequency values during normal and fault conditions. In this study, the average sum of current frequency values during normal conditions was found to range from 0.35437 to 0.36906 A, while during fault conditions, it ranged from 0.21450 to 0.22793 A, with an average protection identification time of 1087 ms and an ANN output accuracy of 99.98%.

Keywords: *Microgrid, series arc fault, fast fourier transform, artificial neural network.*

Abstrak

Microgrid merupakan sekelompok sumber dan beban listrik yang terhubung dan sinkron. Pengoperasian *microgrid* biasanya terbagi menjadi dua mode, yakni dalam kondisi terisolasi atau terhubung ke jaringan dengan pengaturan tunggal atau sendiri. Dalam hal tersebut dapat meningkatkan keandalan dan kualitas penyediaan tenaga listrik untuk pelanggan yang terhubung ke jaringan. Dalam penggunaan sistem *microgrid* perlu diperhatikan mengenai resiko bahaya yakni gangguan *series arc fault*. *Series arc fault* merupakan sebuah loncatan bunga api yang terjadi akibat ionisasi gas diantara dua celah elektroda. *Series arc fault* terjadi akibat kesalahan manufaktur, kesalahan pemasang, penuaan atau pelapukan pada batang konduktor sehingga tidak terhubung secara sempurna. Operasi sistem *microgrid* gangguan *series arc fault* DC sulit teridentifikasi dengan menggunakan perangkat proteksi standar. Kegagalan dalam sistem proteksi dapat menyebabkan risiko kebakaran, bahaya sengatan listrik, dan kerugian daya yang dihasilkan dari DC *microgrid*. Maka dari itu, dirancang sebuah alat yang dapat mendeteksi adanya gangguan *series arc fault* dengan memanfaatkan metode *fast fourier transform* dan *artificial neural network* yang berfungsi sebagai analisa sinyal DC dan penentuan keputusan saat terjadinya gangguan dengan melihat nilai *average sum of frequency* arus kondisi normal dan gangguan. Pada penelitian ini didapatkan nilai *average sum of frequency* arus kondisi normal 0.35437-36906 A dan kondisi gangguan 0.21450-0.22793 A dengan waktu lama identifikasi proteksi rata-rata 1087 ms dengan akurasi *output ANN* 99.98%.

Kata kunci: *Microgrid, series arc fault, fast fourier transform, artificial neural network.*

1. Pendahuluan

Sumber energi saat ini seperti bahan bakar fosil merupakan sumber energi terbatas di alam. Oleh karena itu, dalam melakukan pemanfaatan sumber energi terbarukan banyak dilakukan sebagian besar negara di dunia [1]. Secara general, terdapat dua pendekatan dalam memanfaatkan energi untuk pembangkit listrik. Pertama, dengan menggunakan sumber energi konvensional tidak terbarukan seperti batu bara, minyak, dan gas. Kedua, dengan menggunakan yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, air, pasang surut, biomassa, dan panas bumi [2].

Hingga saat ini, energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dioperasikan secara terpusat dan terhubung dalam sebuah jaringan. Pembangkit listrik ini umumnya berada di lokasi pinggiran kota besar atau dekat dengan sumber energi utama. Pembangkit-pembangkit ini biasanya menggunakan sumber energi konvensional atau tidak terbarukan yang menghasilkan gas rumah kaca, menyebabkan masalah lingkungan, dan juga menyebabkan nilai harga minyak fluktuatif yang tidak stabil [3].

Sebagian besar masyarakat di wilayah terpencil menghadapi tantangan akses energi listrik karena jarak yang jauh dari jaringan listrik. Dalam menghadapi tantangan tersebut, satu-satunya alternatif adalah dengan menggunakan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan, baik dalam *mode off-grid* atau *on-grid*. Rencana pengembangan *microgrid* berbasis energi terbarukan merupakan solusi yang cocok dan tepat untuk memasok energi listrik ke daerah pedesaan sebagai sumber daya yang bisa diandalkan dan efisien.

Microgrid merupakan jaringan lokal yang terdiri dari sumber energi terdistribusi, penyimpanan energi, dan beban. Sumber energi terdistribusi dalam *microgrid* didapatkan dari pembangkit energi terbarukan maupun tidak terbarukan. Akan tetapi, dalam penggunaan sumber energi terbarukan seperti tenaga matahari dan angin memiliki kekurangan karena daya yang dihasilkan nilainya yang

cenderung fluktuatif tergantung pada kondisi intensitas matahari dan kecepatan angin. Dalam pengoperasian *microgrid* biasanya dilakukan dalam dua mode, yaitu terisolasi atau terhubung ke jaringan dengan kontrol tunggal atau sendiri. Dalam hal ini dapat meningkatkan keandalan dan kualitas pasokan listrik bagi konsumen yang terhubung ke jaringan [4].

Dalam penggunaan sistem *microgrid* dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu *Alternating Current (AC) microgrid*, *Direct Current (DC) microgrid*, dan *hybrid AC/DC microgrid*. Namun, lebih banyak keuntungan dalam penggunaan DC *microgrid* dibandingkan dengan AC *microgrid*. DC *microgrid* menawarkan keandalan yang lebih tinggi, peningkatan kualitas daya, pengurangan kerugian karena tidak memiliki daya reaktif, efisiensi yang lebih tinggi, struktur yang lebih sederhana, kinerja sistem yang lebih baik, dan penggunaan konverter DC yang lebih efisien [5].

Penggunaan jaringan DC bus *microgrid* ini perlu diiringi pula dengan perhatian masyarakat terkait potensi risiko bahaya sistem. Salah satu risikonya disebabkan oleh gangguan *arc fault* [6]. Gangguan *arc fault* disebabkan oleh adanya celah udara atau *air gap* antara kedua batang konduktor listrik. Penyebab terjadinya gangguan ini umumnya karena kesalahan manufaktur, kesalahan pemasangan, penuaan atau pelapukan pada batang konduktor [7]. Salah satu jenis dari gangguan *arc fault* adalah *series arc fault*. Dalam pengaplikasian sistem *microgrid*, *series arc fault* lebih sering terjadi akibat kegagalan kontinuitas yang seharusnya ada pada sebuah konduktor atau konektor dalam rangkaian listrik [8].

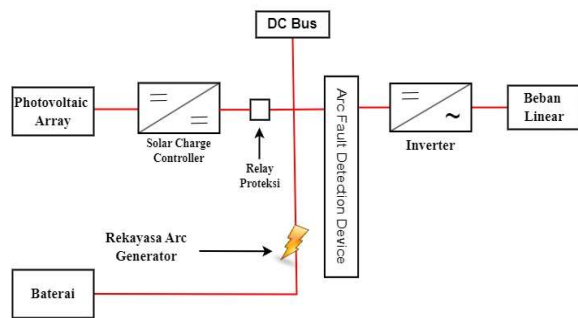
Operasi sistem *microgrid* gangguan *series arc fault* DC sulit teridentifikasi dengan menggunakan perangkat proteksi standar. Kegagalan dalam sistem proteksi dapat menyebabkan risiko kebakaran, bahaya sengatan listrik dan kerugian daya yang dihasilkan dari DC *microgrid* [9]. Sehingga dalam penelitian ini akan difokuskan pada alat *arc fault detection device* (AFDD) dalam mengidentifikasi dan memproteksi gangguan

series arc fault pada jaringan DC bus *microgrid* dengan memanfaatkan metode *fast fourier transform* dan *artificial neural network*. Penggunaan metode *fast fourier transform* dalam identifikasi gangguan *arc fault* memanfaatkan *spectrum* arus pada domain frekuensi. Sehingga, dalam penganalisaan sinyal DC saat kondisi normal dan gangguan dapat ditemukan perbedaan kondisi sinyal DC. Selanjutnya, dalam penentuan keputusan proteksi memanfaatkan metode *artificial neural network* dengan memasukkan data training hasil *output* FFT kondisi normal dan gangguan *arc fault*

2. Metoda Penelitian

2.1. Perencanaan Blok Diagram Sistem

Penelitian ini berfokus pada sistem identifikasi dan proteksi gangguan *series arc fault* yang terjadi pada DC bus *microgrid*. Adapun desain sistem dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.



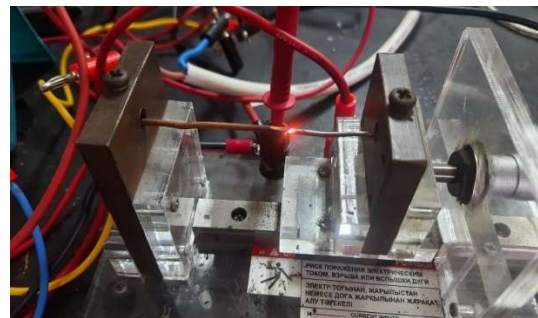
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 1 *photovoltaic* digunakan dalam sumber energi terbarukan dengan memanfaatkan iradiasi matahari yang akan mengkonversikan menjadi energi listrik searah atau DC. Dalam pengoptimalan daya *output photovoltaic* digunakan *solar charge controller* yang difungsikan dalam pengisian daya pada baterai. Sehingga, energi yang dikeluarkan akan disimpan terlebih dahulu dan atau digunakan secara langsung dalam mensuplai beban. Selanjutnya, dalam mensuplai beban AC digunakan inverter DC-AC yang akan mengkonversi listrik DC menjadi listrik AC. AFDD dalam perencanaannya menggunakan mikrokontroler STM32F407 yang digunakan

sebagai kontrol utama dalam identifikasi gangguan *series arc fault*. Pada DC bus *microgrid* dilengkapi *relay* proteksi yang berfungsi sebagai saklar yang akan memutus jaringan DC dari sumber *photovoltaic*. Perangkat AFDD menggunakan 1 sensor arus dan 1 sensor tegangan. Proses identifikasi gangguan akan difokuskan pada sensor arus dengan membaca nilai fluktuasi dari nilai arus yang akan diolah menggunakan metode *fast fourier transform* dalam analisis sinyal domain frekuensi. Selanjutnya, penentuan keputusan pada sistem *relay* proteksi pada penelitian ini memanfaatkan *artificial neural network*.

2.2. Arc Generator

Arc generator dibutuhkan sebagai rekayasa gangguan *arc fault* pada jaringan DC bus *microgrid*. *Arc generator* menggunakan 2 buah batang elektroda yang digunakan dalam desain *arc generator* [10]. Kedua batang elektroda akan dipisahkan dengan jarak atau *air gap* tertentu hingga *arc* dapat dibangkitkan. Bahan yang digunakan kedua elektroda dalam *arc generator* menggunakan tembaga. Berikut ini tampilan dari *arc generator* sebagai rekayasa membangkitkan gangguan *arc fault* pada Gambar 2.



Gambar 2. Rekayasa Arc Generator

Gambar 2 menampilkan rekayasa gangguan *arc fault* secara langsung dengan memanfaatkan *arc generator* yang digunakan sebagai rekayasa gangguan *arc fault* dengan memberikan *air gap* atau celah udara pada kedua batang konduktor sehingga tidak dapat terhubung dengan sempurna. Kondisi ini disebut *intermittent contact*. *Intermittent contact* akan menyebabkan sistem akan mengalami

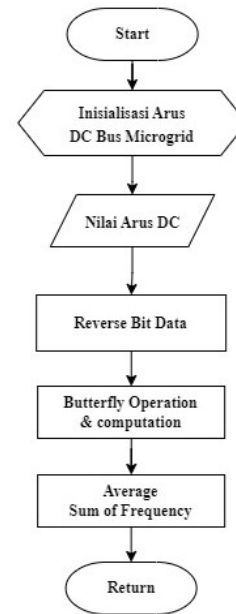
gangguan seperti daya yang dikeluarkan atau diserap tidak maksimal maupun potensi terjadinya kebakaran yang diakibatkan bunga api atau *arc fault*.

2.3. Fast Fourier Transform

Fast fourier transform merupakan salah satu transformasi *fourier* yang dapat melakukan transformasi dari domain waktu ke domain frekuensi. Penelitian ini menggunakan *fast fourier transform* radix-2 yang memiliki keunggulan dalam pengolahan data dibanding DFT. Radix -2 artinya untuk setiap pemecahan data yang masuk selalu dibagi menjadi 2 kelompok hingga komputasinya menjadi $Mog2N$ [11]. Persamaan yang digunakan dalam pengolahan data FFT radix-2 sebagai berikut.

$$X[m] = \sum_{N=0}^{(\frac{N}{2})-1} X(2n)W_{N/2}^{nm} + W_N^m \sum_{N=0}^{(\frac{N}{2})-1} X(2n+1)W_{N/2}^{nm}$$

Nilai $X[m]$ merupakan besar nilai *magnitude* pada setiap frekuensi orde ke m . Pada penelitian ini frekuensi yang digunakan dalam proses identifikasi dimulai dari orde ke-0 hingga orde ke-15. Besar nilai *magnitude* pada setiap frekuensi 0 hingga 15 akan diolah menjadi rata-rata nilai sehingga dapat disebut *average sum of frequency*. Nilai *average sum of frequency* akan dijadikan parameter dalam proses identifikasi gangguan *series arc fault* pada DC bus *microgrid*. Adapun diagram alir proses identifikasi metode FFT tertampil pada Gambar 3.

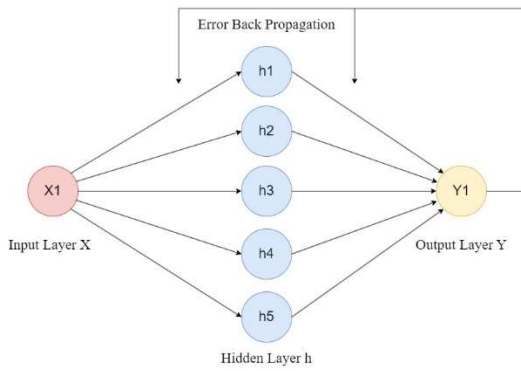


Gambar 3. Diagram alir FFT Radix-2

2.4. Artificial Neural Network

Artificial Neural Network (ANN) atau Jaringan Syaraf Tiruan adalah sebuah teknik pengolahan data yang terinspirasi dari cara kerja sistem saraf sel otak manusia pada memroses data. Elemen kunci dari ANN menurut teknik ini adalah struktur sistem pengolahan fakta yang bersifat unik dan majemuk buat tiap aplikasi. *Neural Network* terdiri menurut sejumlah akbar elemen pemrosesan fakta (*neuron*) yang saling terhubung dan bekerja bersama-sama untuk menuntaskan sebuah perkara tertentu [12].

Dalam penelitian ini, digunakan ANN jenis *back propagation* (BP) untuk melatih jaringan *neural* sehingga dapat melakukan pemetaan *input* ke *output* secara akurat. Metode ANN BP memiliki keunggulan dalam pemetaan dengan menggunakan pengenalan pola biner. Proses pelatihan ANN BP memiliki beberapa variasi, yang memungkinkan penentuan *binary output* (0-1). *Transfer function* dari *hidden layer* dapat menggunakan *S-type tangent function tansig*, sedangkan *transfer function* dari *output layer* dapat menggunakan *S-type logarithmic function logsig*, atau alternatifnya, berdasarkan algoritma *Levenberg-Marquardt* [13].



Gambar 4. Topologi ANN BP

Mengenai penghitungan metode jaringan saraf tiruan ANN dari hasil pelatihan, metode ANN yang melibatkan *input layer*, *hidden layer*, dan *output* yang berurutan, dimulai dari normalisasi *input* hingga denormalisasi *output*. Secara umum, persamaan metode ANN tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut [14].

- Normalisasi *Input*

$$y = \frac{(y_{max} - y_{min})(x - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} + y_{min}$$

- Perhitungan Bobot, Bias, dan *Transfer Function Hidden Layer*

$$y_{(h)n} = x_n w_{(h)n} + b_{(h)n}$$

$$Logsig(n) = \frac{1}{1 + \exp(-n)}, n = y_n$$

- Perhitungan Bobot, Bias, dan *Transfer Function Output Layer*

$$y_{(o)n} = x_n w_{(o)n} + b_{(o)n}$$

$$Tansig(n) = \frac{2}{1 + \exp(-2n)} - 1, n = y_n$$

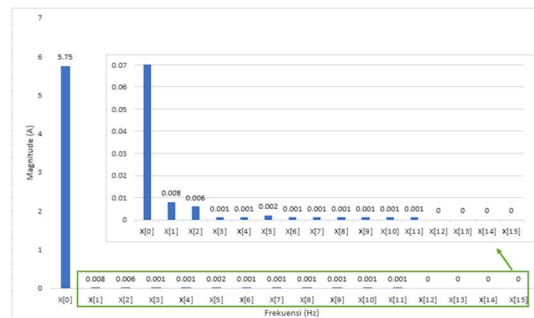
- Denormalisasi *Output*

$$x = \frac{(x_{max} - x_{min})(y - y_{min})}{(y_{max} - y_{min})} + x_{min}$$

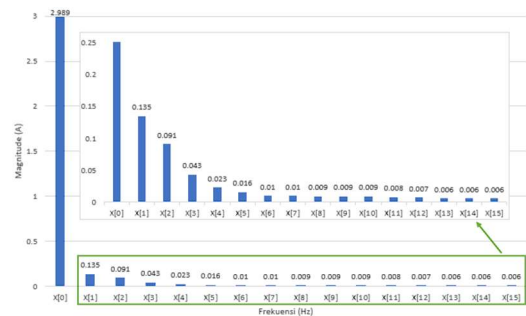
3. Hasil Penelitian

3.1. Karakteristik *Series Arc Fault*

Pengambilan data karakteristik gangguan *arc fault* pada sistem ini bertujuan untuk melihat besar nilai *average sum of frequency* arus pada jaringan DC bus *microgrid* dalam kondisi normal dan kondisi gangguan. Nilai *average sum of frequency* arus didapatkan dari nilai arus pada jaringan DC bus *microgrid* yang telah diolah menggunakan metode *fast fourier transform* (FFT) sehingga *output* FFT dalam sistem berupa nilai *average sum of frequency* arus. Berikut ini karakteristik gangguan *arc fault* dalam kondisi normal dan kondisi gangguan yang akan ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Karakteristik *arc fault* kondisi normal



Gambar 6. Karakteristik *arc fault* kondisi gangguan

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 diketahui karakteristik dari kondisi normal dan kondisi gangguan *arc fault*. Dari karakteristik tersebut dapat dijadikan acuan dalam proses training data ANN BP pada MATLAB. Sehingga hasil *output* ANN BP yang diharapkan dapat bekerja secara maksimal.

3.2. Identifikasi Kondisi Normal dan Gangguan

Pengujian identifikasi pada kondisi normal bertujuan untuk melihat kondisi sistem dalam kondisi prima atau normal dengan melihat besar nilai *average sum of frequency* arus pada jaringan DC bus *microgrid*. Pada *hardware* dilengkapi dengan lampu indikator yang akan menandakan kondisi normal ataupun gangguan. Selain itu, pada *solid state relay* (SSR) pada kondisi normal akan tetap terhubung dan jaringan DC bus *microgrid* akan mensuplai inverter dan beban. Berikut ini Pada Tabel 1 ditampilkan data pengujian identifikasi pada kondisi normal.

Tabel 1. Identifikasi Kondisi Normal

No.	Average Sum of Frequency (A)	Target ANN BP	Output ANN BP	Error ANN (%)
1	0.36087	0	0	0
2	0.35875	0	0.0011	1
3	0.36725	0	0	0
4	0.36906	0	0	0
5	0.35437	0	0.0013	1

Pada Tabel 1 dapat dilihat besaran nilai *average sum of frequency* arus pada jaringan DC bus *microgrid*. Nilai *average sum of frequency* arus didapatkan dari pengolahan secara matematika rata-rata nilai *magnitude* tiap frekuensi orde. Dilihat pada Tabel 1 besar nilai *average sum of frequency* arus dalam kondisi normal 0.35437-36906 A dengan rata-rata *error ANN BP* sebesar 0.4 %. Langkah selanjutnya yakni pengujian identifikasi kondisi gangguan *arc fault*.

Tabel 2. Identifikasi Kondisi Normal

No.	Average Sum of Frequency (A)	Target ANN BP	Output ANN BP	Error ANN (%)
1	0.22006	1	1	0
2	0.21106	1	0.998	0.2
3	0.22793	1	1	0
4	0.20562	1	0.997	0.3
5	0.21450	1	0.998	0.2

Pada Tabel 2 dapat dilihat besaran nilai *average sum of frequency* arus pada jaringan DC bus *microgrid*. Nilai *average sum of frequency* arus didapatkan dari pengolahan secara matematika rata-rata nilai *magnitude* tiap frekuensi orde. Dilihat pada Tabel 2 besar nilai *average sum of frequency* arus dalam kondisi gangguan 0.21450-0.22793 A dengan rata-rata *error ANN BP* sebesar 0.14 %. Pada kondisi ini, SSR akan memutus jaringan DC bus *microgrid* untuk memproteksi terhadap gangguan yang muncul. Proses pengujian kondisi normal dan saat terjadinya gangguan dilakukan sebanyak 5 kali percobaan sehingga nilai *average sum of frequency* arus yang didapatkan berbeda-beda. Hal ini dikarenakan karakteristik saat terjadinya gangguan *series arc fault* memiliki perbedaan saat penurunan nilai arus yang terbaca pada DC bus *microgrid* [15].

3.3. Lama Waktu Identifikasi Gangguan Terhadap Waktu

Selain pengujian identifikasi adanya gangguan *arc fault* pada DC bus *microgrid*. Pengujian lama waktu identifikasi proteksi *relay* terhadap waktu sangat perlu dilakukan. Dalam implementasinya, *relay* proteksi harus mampu memproteksi jaringan DC bus *microgrid* dengan membuat kondisi *relay* menjadi *trip* atau memutus jaringan DC bus sehingga suplai ke beban terputus. Pada penelitian ini pengambilan data menggunakan data *logger* 1 ms sehingga data gangguan yang muncul dapat diketahui lama waktu identifikasi proteksi saat kondisi normal – gangguan. Tabel 3 akan menampilkan lama waktu identifikasi proteksi.

Tabel 3. Lama Waktu Identifikasi Proteksi

No.	Average Sum of Freq (Normal-Gangguan)	Lama Waktu Identifikasi Proteksi (ms)	Akurasi ANN (%)
1	0.36087-0.22006	1130	100
2	0.35875-0.21106	960	99.8
3	0.36725-0.22793	1008	100
4	0.36906-0.20562	1350	99.7
5	0.35437-0.21450	988	99.8
Rata-rata		1087	99.8

Pada Tabel 3 tertampil lama waktu identifikasi proteksi yang didapatkan dari data *logger* saat kondisi sistem sedang berjalan normal dan tiba-tiba diberi gangguan berupa pembangkitan *arc generator*. Besar nilai *average sum of frequency* arus akan terlihat pada data *logger* sehingga banyak data *logger* saat ANN = 1 dapat diketahui jumlahnya. Tabel 3 menjelaskan lama waktu identifikasi proteksi tercepat 960 ms, terlambat 1350 ms dan rata-rata 1087 ms dengan rata-rata akurasi ANN 99.98%.

3.4. Perbandingan Akurasi ANN-BP Dalam Pengambilan Keputusan

Metode ANN-BP merupakan metode kecerdasan buatan seolah-olah seperti jaringan saraf manusia. Dalam penggunaannya ANN-BP dalam penelitian ini digunakan sebagai penentuan keputusan dalam memproteksi jaringan DC Bus *microgrid*. Cara kerjanya yakni dengan melalui *training* data. Dalam proses *training* data diperlukan dataset yang harus dimiliki terlebih dahulu. Dataset pada penelitian ini menggunakan hasil *output* FFT yakni nilai *average sum of frequency* dalam kondisi normal dan kondisi gangguan *arc fault*. Sehingga perbedaan nilai *average sum of frequency* akan di *training* menggunakan ANN-BP dengan bantuan *software* MATLAB.

Pada penelitian serupa mengenai “*Identification of Series DC Arc Fault Location in MPPT Photovoltaic System Based on Fast Fourier Transform and Artificial Neural Network*” menggunakan metode yang serupa yakni ANN-BP dalam penentuan identifikasi gangguan *arc fault* dengan akurasi sebesar 98.2% dalam mengidentifikasi gangguan *arc fault*. Sedangkan dalam penelitian ini “*Implementasi Fast Fourier Transform dan Artificial Neural Network Pada Sistem Identifikasi dan Proteksi Series Arc Fault Pada DC Bus Microgrid*” mendapatkan akurasi ANN-BP dalam penentuan keputusan dalam memproteksi gangguan *arc fault* sebesar 99.98%.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian 2 kondisi yaitu kondisi normal dan kondisi gangguan. Dari 2 kondisi yang telah diuji, sistem dapat bekerja dengan baik berdasarkan kondisi dari *relay* proteksi dan indikator gangguan berupa LED. Pada kondisi normal-gangguan sistem dapat mengidentifikasi adanya perubahan nilai *average sum of frequency* arus pada jaringan DC bus *microgrid*. Sehingga dari kontroler memproses informasi dan melakukan aksi berupa nilai keputusan yang akan membuat *relay* proteksi menjadi trip atau terputus pada jaringan DC bus *microgrid*. Dalam identifikasi gangguan dengan menggunakan metode *fast fourier transform* didapatkan nilai *magnitude* pada setiap frekuensi orde. Dalam kondisi normal besar nilai *average sum of frequency* arus yang terbaca 0.35437-36906 A. Sedangkan pada kondisi gangguan besar nilai *average sum of frequency* arus yang terbaca 0.21450-0.22793 A. Lama waktu identifikasi proteksi pada sistem didapatkan rata-rata 1087 ms dengan akurasi *output* ANN sebesar 99.98% dalam menentukan keputusan dalam memproteksi gangguan *arc fault*.

5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperlukan adanya penelitian lebih lanjut dengan melakukan pengujian skala yang lebih besar dan lebih kompleks dengan kondisi beban yang berbeda-beda. Sehingga didapatkan validasi yang akurat dan aktual sesuai kondisi sebenarnya.

6. Daftar Pustaka

- [1] C. Y. Wu and M. C. Hu, "The development trajectory and technological innovation capabilities in the global renewable energy industry," *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, pp. 2574-2580, 2015.
- [2] R. Kumar and H. K. Singh, "Hybrid MPPT Charge Controller & Remote Monitoring for a Hybrid Solar and Micro Wind Power Generator," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and*

- Communication*, vol. 4, no. 2, p. 103–109, 2016.
- [3] S. Kamalasan and K. S. Al-Olimat, "Modeling and control of a micro-grid set up using *photovoltaic* arrays," *45th Southeastern Symposium on System Theory*, pp. 80-87, 2013.
- [4] M. B. A. Zahran and A. M. Yousef, "Monitoring of *Photovoltaic* Wind-Turbine Battery Hybrid System," *WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS*, vol. 9, 2014.
- [5] N. A. Sasongko, "Model Tree Wind Turbine Sebagai Energi Alternatif Di Daerah Perkotaan," *Seminar Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, vol. 29, p. 132, 2020.
- [6] M. K. Khafidli, E. Prasetyono, D. O. Anggriawan, A. Tjahjono and M. H. R. A. Syafii, "Implementation AC Series Arc Fault Recognition," *International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*, pp. 31-36, 2018.
- [7] J. C. Kim, D. O. Neacșu, B. Lehman and R. Ball, "Series AC Arc Fault Detection Using Only Voltage Waveforms," *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, pp. 2385-2389, 2019.
- [8] S. McCalmont, "Low Cost Arc Fault Detection and Protection for PV Systems," *Tigo Energy, Inc.*, 2013.
- [9] M. H. R. A. Syafi'i, E. Prasetyono, M. K. Khafidli, D. O. Anggriawan and A. Tjahjono, "Real Time Series DC Arc Fault Detection Based on Fast Fourier Transform," *International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*, pp. 25-30, 2018.
- [10] Z.-Q. bo, G. Wei and Z. Ying-cong, "The Development of Electric Arc Fault Simulation Test Device," *Procedia Engineering*, vol. 52, pp. 297-301, 2013.
- [11] M. Murtadho, E. Prasetyono and D. O. Anggriawan, "Detection of Parallel Arc Fault on *Photovoltaic* System Based on Fast Fourier Transform," *International Electronics Symposium (IES)*, pp. 21-25, 2020.
- [12] W. Liu, X. Zhang, R. Ji, Y. Dong and W. Li, "Arc fault detection for AC SSPC in MEA with HHT and ANN," *IEEE International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS)*, pp. 7-12, 2016.
- [13] X. Han, D. Li, L. Huang and H. Huang, "Series Arc Fault Detection Method Based on Category Recognition and Artificial Neural Network," *MDPI Journal of Electronic*, vol. 9, pp. 1367-1388, 2020.
- [14] M. A. Abdulrachman, E. Prasetyono, D. O. Anggriawan and A. Tjahjono, "Smart Detection Of AC Series Arc Fault On Home Voltage Line Based On Fast Fourier Transform And Artificial Neural Network," *International Electronics Symposium (IES)*, pp. 439-445, 2019.
- [15] D. R. Akbar, E. Prasetyono and D. O. Anggriawan, "Identification of Series DC Arc Fault Location in MPPT *Photovoltaic* System Based on Fast Fourier Transform and Artificial Neural Network," *International Electronics Symposium (IES)*, 2022.