

IDENTIFIKASI ARC FAULT PADA BERBAGAI JENIS KABEL PV DENGAN FAST FOURIER TRANSFORM

Roicha Dwi Hastuti¹⁾, Dimas Okky Anggriawan¹⁾, Mochammad Machmud Rifadil¹⁾

¹⁾Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,
Jl. Raya ITS Keputih Kec. Sukolilo, Surabaya, 60111
E-mail: roichadw23@gmail.com

Abstract

Photovoltaic (PV) systems are currently widely used. One of the disturbances of PV is arc-fault. Arc-fault is a spark jump due to the release of energy from conductor cable, due to effects of aging and tendency of high DC voltage, resulting in heat can damage the insulation of wire and cause a fire hazard. Arc-faults are quite difficult to detect by safety devices such as Circuit Breakers (MCB). Thus, an arc-fault identification device is designed, which can prevent fires. This tool uses a microcontroller to detect real system status. Condition of the system is processed by the Fast Fourier Transform method and then values of high-frequency components that are owned are added up and used as an algorithm to determine whether there is interference or not. If a disturbance is detected, the microcontroller identifies the type of test cable according to its characteristics. This research was built on a DC 160 – 185Volt / 1.6 – 1.8 A system, resistive load, and 3 brands of cables with a cross-sectional area of 4mm and 6mm. Test data shows that AFCI with the FFT method is able to detect DC series arc faults and large cross-sectional area of cable used.

Keywords: *Photovoltaic system (PV), Fast Fourier Transform, arc fault, PV cable.*

Abstrak

Sistem *Photovoltaic* (PV) saat ini banyak digunakan. Salah satu gangguan sistem photovoltaic adalah *Arc fault*. *Arc fault* merupakan loncatan bunga api karena pelepasan energi dari kabel penghantar, akibat efek penuaan serta kecenderungan tegangan DC yang tinggi, sehingga menghasilkan panas yang dapat merusak isolasi kawat dan menyebabkan bahaya kebakaran. *Arc fault* cukup sulit dideteksi oleh pengaman seperti Circuit Breaker (MCB). Sehingga, dirancang sebuah peralatan identifikasi *arc fault*, yang dapat mencegah kebakaran. Alat ini menggunakan mikrokontroler untuk mendeteksi secara real status sistem. Kondisi dari sistem diolah dengan metode Fast Fourier Transform kemudian dijumlahkan nilai komponen frekuensi tinggi yang dimiliki dan digunakan sebagai algoritma penentu adanya gangguan atau tidak. Apabila terdeteksi gangguan, maka mikrokontroler mengidentifikasi jenis kabel uji sesuai karakteristiknya. Penelitian ini dibangun pada sistem DC 160 – 185Volt / 1.6 – 1.8 A, beban resistif, serta 3 merk kabel dengan luas penampang 4mm dan 6mm. Data pengujian menunjukkan bahwa AFCI dengan metode FFT mampu mendeteksi DC series arc fault serta besar luas penampang kabel yang digunakan.

Kata Kunci: *Panel Surya, Fast Fourier Transform, arc fault, kabel PV.*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi matahari mulai menggantikan bahan bakar fosil tradisional. Instalasi tenaga surya pun mulai meningkat di Indonesia, dilansir dari siaran pers Jenderal EBT (2019), bahwasanya terdapat peningkatan penggunaan PLTS atap sebesar 181% sejak tahun 2018 hingga 2019. Namun, penggunaan *photovoltaic* sebagai sumber energi

listrik memiliki berbagai resiko bahaya, seperti kejutan listrik, kerusakan pada perangkat elektronik yang terhubung, atau bahkan kebakaran (Othman Mohamed, 2015). Berbagai resiko ini dapat ditimbulkan oleh gangguan yang berasal dari dalam sistem ataupun karena faktor luar seperti suhu, sinar UV, atau *partial shading*. Salah satu gangguan tersebut adalah gangguan busur api (*DC arc fault*).

DC arc fault dapat terjadi karena adanya degradasi material atau kerusakan mekanis, pengkabelan yang kendor, atau konduktor yang mengalami kerusakan (Othman Mohamed, 2015). *DC arc fault* terjadi dengan menghasilkan nilai impedansi yang tinggi pada *range* frekuensi kerja, sedangkan pada *range* frekuensi tinggi nilai arus masih dapat bekerja, akibatnya peralatan proteksi konvensional seperti *circuit breaker* (MCB) atau *fuse* tidak dapat mendeteksi gangguan ini (Li, 2014). Sehingga sistem DC dengan tegangan diatas 80V haruslah dilengkapi dengan sistem deteksi *arc fault* (NEC, 2011).

Penelitian sebelumnya mengenai *DC series arc fault* juga menggunakan beberapa pendekatan (Giovanni A., 2020). Beberapa diantaranya menggunakan pendekatan Transformasi Fourier dan Transformasi Waveforms (S. N. Ananthan, 2020). Karakteristik dari *arc* sendiri dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, jenis bahan elektroda, dimensi fisik dan perbedaan tegangan antar celah busur (Mohamed, 2015).

DC series arc fault dapat dideteksi dengan melihat *domain* frekuensi (Giovanni A., 2020). Akibatnya gangguan *arc* dapat dideteksi jika digunakan algoritma yang dapat merubah sinyal DC dari *domain* waktu menjadi *domain* frekuensi. Salah satu analisis yang dapat digunakan dengan waktu komputasi singkat adalah Fast Fourier Transform.

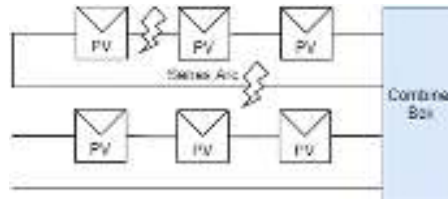
Dalam penelitian ini penulis merancang sebuah *prototype* untuk dapat mengidentifikasi adanya gangguan *DC arc fault* pada berbagai jenis kabel yang digunakan pada sistem *photovoltaic* dengan mengaplikasikan Fast Fourier Transform (FFT) dan menerapkannya pada sistem *rectifier* bertegangan 160 – 185 Volt serta terhubung dengan beban resistif dan kemudian dapat mendeteksi gangguan secara *real time*. *Prototype* ini menggunakan mikrokontroler STM32F7 yang diintegrasikan dengan sensor arus VAC Vacuumschmelze X760-N763.

METODE PENELITIAN

Karakteristik Arc Fault Pada Sistem *Photovoltaic* dan Sistem Rectifier

Pada dasarnya, terdapat dua jenis *arc fault*, yakni *series arc fault* dan *parallel arc fault*. *parallel arc fault* sangat mirip dengan korsleting, sedangkan *series arc fault*

memiliki nilai impedansi busur yang besar mengakibatkan penurunan nilai arus pada sistem, sehingga pendeteksian arc fault tidak bisa dilakukan oleh proteksi konvensional.



Gambar 1. Letak terjadinya *arc fault* pada sistem *photovoltaic*

Gambar 1 merupakan letak terjadinya DC *series arc fault* pada sistem panel surya. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa karakteristik dari gangguan busur seri, diantaranya :

- Penurunan amplitude arus saat gangguan *series arc fault* sebesar 80%.
- Garis gelombang saat terjadi gangguan busur seri memiliki komponen frekuensi tinggi yang signifikan pada frekuensi fundamental. Dengan demikian, karakteristik frekuensi tinggi cocok untuk mendeteksi gangguan *series arc*.

Sistem *rectifier* yang digunakan memiliki nilai *ripple* sebesar 5%. Dalam keadaan normal sistem telah memiliki suatu nilai distorsi, namun saat terjadi arc fault pada sistem nilai distorsi pada sistem turut naik (seperti yang terjadi pada sistem *photovoltaic*), dengan nilai rata-rata perbandingan kenaikan distorsi antara sistem *photovoltaic* dengan sistem *rectifier* sebesar 16.62 : 31 atau hampir 1:2.

Dikarenakan pendeteksian gangguan *series arc fault* cukup sulit dilakukan, maka dengan analisis domain frekuensi diharapkan pada penelitian ini dapat menganalisa kejadian gangguan *series arc fault* pada jenis kabel yang berbeda dan mengidentifikasi secara tepat.

Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan salah satu Transformasi Fourier yang dapat menganalisis sinyal diskrit pada mikrokontroler dari *domain* waktu menuju *domain* frekuensi dengan jumlah perhitungan dan operasi yang lebih sedikit dari DFT (Moch. Zulfikar Trysnawan N, 2020). Pemilihan metode FFT dikarenakan waktu komputasi yang lebih cepat, hal ini disesuaikan dengan kebutuhan yakni sebagai sistem proteksi.

Jenis FFT yang digunakan adalah *decimation in time (DIT)*. Dimana berdasarkan dekomposisi metode matriks, W_N akan diperhitungkan menjadi matriks L, dimana :

$$L = \log_2 N, \text{ atau } N = 2^L \quad (1)$$

Contoh terdapat 8 DFT data, maka nilai L adalah 3. Selanjutnya yakni pembagian fungsi DFT, fungsi genap dan fungsi ganjil. Adapun persamaan fungsi genap sebagai berikut :

$$F[m] \text{ genap} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] W_N^{2nm} \quad (2)$$

Sedangkan fungsi ganjil memiliki persamaan sebagai berikut :

$$F[m] \text{ ganjil} = W_N^m \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1] W_N^{2nm} \quad (3)$$

Dimana :

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

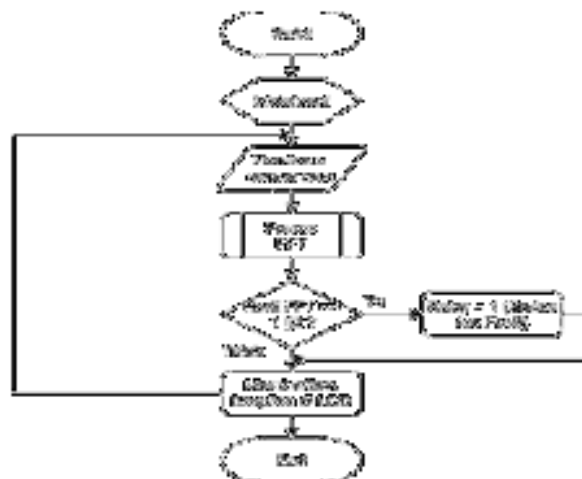
$$n = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1.$$

Sehingga untuk $F[m]$, dapat dituliskan sebagai

$$F[m] = F[m] \text{ genap} + F[m] \text{ ganjil} \quad (4)$$

Flowchart Identifikasi Jenis Kabel

Gambar 2 merupakan diagram alir proses identifikasi besar penampang kabel ketika terjadi gangguan *series arc fault*. Algoritma yang digunakan berdasarkan perbandingan jumlah spektrum dalam keadaan normal dengan keadaan gangguan, dimana hal ini dimulai dari pencuplikan data yang kemudian diolah dengan metode FFT.



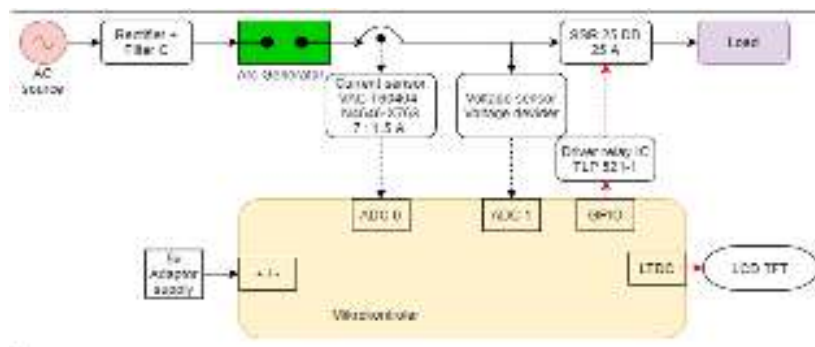
Gambar 2. Flowchart identifikasi besar penampang kabel

Pengolahan data hasil pembacaan sensor arus menggunakan metode FFT, sehingga didapatkan jumlah spektrum frekuensi. Berdasarkan data, ketika terjadi gangguan *series arc fault* maka terdapat perbedaan jumlah spektrum frekuensi dibandingkan dengan keadaan normal. Identifikasi diperlukan untuk membedakan jenis kabel berdasarkan

ukuran besar penampang kabel yang tengah mengalami gangguan. Selain itu sistem ini juga dapat memutuskan aliran listrik sistem saat terjadi gangguan *series arc fault* sesuai dengan standar IEC 62606, mengenai waktu proteksi yang diperbolehkan ketika terjadi gangguan *series arc fault*, maksimal adalah 1 detik (IEC 62606:2013, 2013).

Hardware Sistem

Blok diagram sistem yang dibangun ditunjukkan pada Gambar 3. Dimana dalam simulasi pembangkitan gangguan digunakan *arc generator* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Beban uji yang digunakan adalah 5 buah lampu pijar 100 W dengan sumber berupa tegangan AC sebesar 180 Volt yang kemudian di *rectifier* dan melalui filter C, sehingga didapatkan arus gangguan sebesar 1.8A. Nilai arus hasil pembacaan VAC akan masuk ke ADC0 mikrokontroler untuk kemudian diolah menggunakan metode FFT sehingga dapat mendeteksi jenis kabel berdasarkan besar luas penampang serta memutuskan aliran sistem secara cepat sebelum gangguan dapat mengakibatkan kebakaran pada sistem. *Arc generator* berperan penting dalam melakukan pengujian kondisi gangguan.



Gambar 3. Blok diagram perancangan sistem



Gambar 4. Arc Generator dalam kondisi membangkitkan gangguan pada sistem

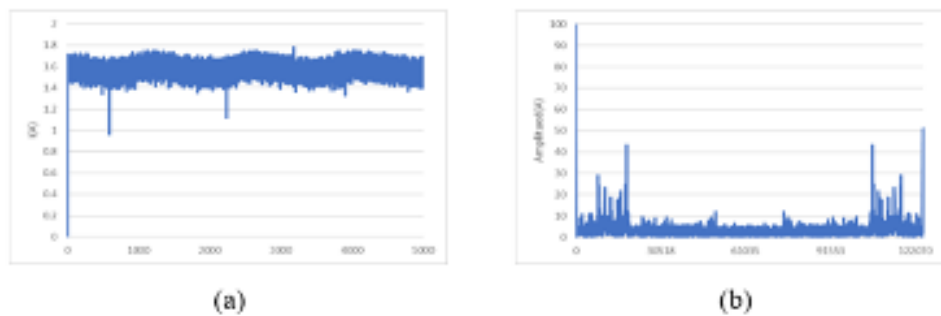
Pengondisian Test

Pengujian dilakukan dengan berbagai merk kabel yang digunakan pada sistem PV :

- Kabel serabut XLPE 2pfG 1169 PV1-F merk Slocable, A = 4mm dan 6mm
- Kabel serabut XLPE 2pfG 1169 PV1-F merk Suntree, A = 4mm dan 6mm
- Kabel serabut XLPE 2pfG 1169 PV1-F merk Leoni, A = 4mm dan 6mm

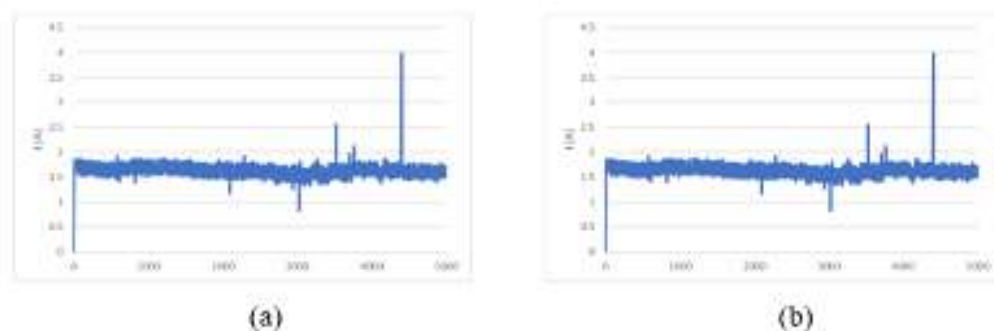
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem diuji sesuai dengan *blok diagram* perancangan sistem dan dalam keadaan normal tanpa gangguan kecuali gangguan *series arc fault*. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan sebesar 160 – 180 Volt, sehingga didapatkan nilai arus gangguan sebesar 1.8A. Gambar 5(a) merupakan gambar arus sistem dan Gambar 5(b) merupakan gambar spektrum frekuensi sistem dalam kondisi normal yang diolah menggunakan metode FFT dengan kabel uji merk Leoni berukuran 4mm.



Gambar 5 (a). Gelombang arus sistem dalam keadaan normal, (b) Gelombang spektrum frekuensi arus sistem saat dalam keadaan normal

Sedangkan ketika sistem mengalami gangguan maka arus mengalami penurunan dan spektrum frekuensi mengalami peningkatan seperti yang terlihat pada Gambar 6(a) dan Gambar 6(b), dengan parameter pengujian sama seperti pada Gambar 5.



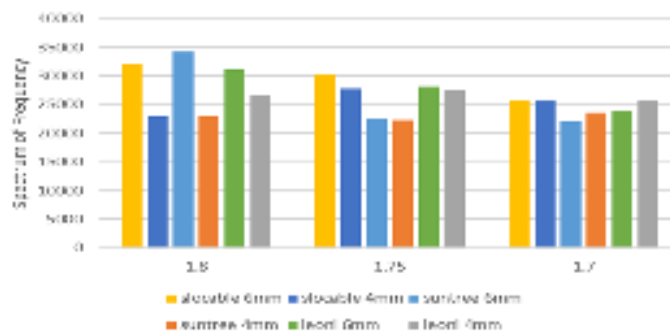
Gambar 6(a). Gelombang arus sistem dalam kondisi gangguan Arc Fault, (b) Gelombang spektrum arus sistem dalam kondisi gangguan Arc Fault

Dari Gambar 5 dan 6 didapatkan karakteristik spektrum frekuensi dalam keadaan normal dan gangguan, dimana terdapat kenaikan spektrum arus pada seluruh frekuensi. Sedangkan hasil pengujian untuk berbagai jenis kabel uji disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1
Nilai Penjumlahan Spektrum Frekuensi untuk Setiap Kabel Uji di Arus 1.8 A

Kabel Uji	A = 4mm		A = 6mm	
	Normal	Fault	Normal	Fault
Kabel Serabut Merk Slocable	20 913	22 949	19 865	32 012
Kabel Serabut Merk Suntree	21 794	22 949	21 899	34 195
Kabel Serabut Merk Leoni	21 174	26 785	20 812	31 202

Data pada Tabel 1 merupakan data yang didapat dari hasil transformasi FFT pada mikrokontroler yang telah didesain, dimana saat terjadi gangguan dengan besar arus yang sama nilai penjumlahan spektrum frekuensi untuk besar luas penampang kabel 6mm bernilai lebih besar dibanding dengan kabel berukuran 4mm. Hal ini berlaku untuk ketiga merk kabel uji. Gambar 7 menunjukkan perbedaan dari besarnya penjumlahan frekuensi pada masing-masing kabel uji, dengan diberikan nilai arus 1.7A, 1.75A, dan 1.8A.



Gambar 6. Karakteristik gangguan *series arc fault* pada berbagai jenis kabel

Adapun proses identifikasi yang dilakukan oleh sistem dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2
Hasil Pengujian Identifikasi Jenis Kabel

Kabel Uji	Identifikasi Jenis Kabel	Gangguan <i>Series arc fault</i>	Kondisi Relai
Slocable 4mm	Sesuai	Terdeteksi	Mati
Slocable 6mm	Sesuai	Terdeteksi	Mati
Suntree 4mm	Sesuai	Terdeteksi	Mati
Suntree 6mm	Sesuai	Terdeteksi	Mati
Leoni 4mm	Sesuai	Terdeteksi	Mati
Leoni 6mm	Sesuai	Terdeteksi	Mati

Dengan menggunakan FFT gangguan *series arc fault* dapat terdeteksi beserta besar penampang kabel yang digunakan seperti pada Tabel 2. Sehingga didapatkan sistem mampu mendeteksi gangguan serta mengamankan dari potensi kebakaran.

SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, pendeteksian gangguan *series arc fault* pada berbagai jenis kabel sistem *photovoltaic* menggunakan mikrokontroler STM32F7 serta beban resistif, dapat dilakukan dengan menggunakan metode FFT sekalipun arus DC yang digunakan berasal dari sumber jala-jala PLN yang di-*rectifier* dan filter. Nilai penjumlahan spektrum frekuensi arus pada saat gangguan untuk penampang kabel 6mm lebih besar dibandingkan pada penampang kabel 4mm dengan keadaan yang sama, untuk seluruh merk kabel uji yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa FFT dapat digunakan untuk menganalisa gangguan *series arc fault* pada arus gangguan 1.7 – 1.8A, serta dapat mengidentifikasi jenis kabel PV berdasarkan besar penampang kabelnya, dimana hal ini dilakukan dengan cara melihat karakteristik tiap jenis kabel uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Giovanni A., G. C. (2020, September 14-16). DC *Series arc faults* in PV Systems. Detection Methods and Experimental Characterization. *24th IMEKO TC4 International Symposium*, pp. 135-140.
- HUMAS EBTKE. (2019, November 29). *Pengguna PLTS Atap Meningkat 181%*. Retrieved from Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/12/14/2425/pengguna.plts.atap.meningkat.181>
- IEC 62606:2013, 62606:2013 (IEC 2013).
- Li, J., Thomas, D. W., Sumner, M., Christopher, E., & Cao, Y. (2014). DC series arc generation, characteristic and modelling with arc demonstrator and shaking table. *12th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2014)* (pp. 1-5). Copenhagen: IET. doi:10.1049/cp.2014.0129
- Moch. Zulfikar Trysnawan N, H. E. (2020). Penggunaan Fast Fourier Transform pada Identifikasi Arc Fault. *Inovtek Seri Elektro*, 2(3), 146-158.
- NEC, 690.11 (Arc-Fault Circuit 2011).
- Othman Mohamed, A. M. (2015). *Intelligent Low Voltage Series Arc Detection System*. University of Waterloo, Electrical and Computer Engineering. Waterloo: University of Waterloo. Retrieved December 23, 2020, from <http://hdl.handle.net/10012/10050>
- S. N. Ananthan, X. F. (2020, December 31). Voltage Differential Protection for *Series arc fault* Detection in. *Inventions*, 6(1), 1-12. doi:10.3390/inventions6010005