

Penggunaan *Fast Fourier Transform* pada Identifikasi *Arc Fault* Pada Berbagai Jenis Kabel

Moch. Zulfikar Trysnawan N¹, Hendik Eko H.S², Dimas Okky Anggriawan³

^{1,2,3}Teknik Elektro Industri, Departemen Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia

email:zulfikartrysnawan@gmail.com¹, hendik@pens.ac.id², dimas@pens.ac.id³

Abstrak - Arc merupakan loncatan bunga api yang disebabkan karena adanya pelepasan energi dari kabel penghantar. *Arc fault* menghasilkan panas yang dapat merusak isolasi kawat sehingga dapat menyebabkan terjadinya bahaya kebakaran. Namun keterbatasan akan hal memonitoring seluruh jalur pengawatan menjadi kendala dalam pendeteksian secara dini adanya gangguan *arcing*. Dirancang sebuah alat identifikasi *arc fault* pada kabel berjenis serabut dan pejal, yang mana dapat mencegah kebakaran dikarenakan keterlambatan untuk mengamankan bahaya *arcing*. Pada alat ini memanfaatkan AMC1301 sebagai sensor tegangan dan sensor arus. Sistem ini bekerja mengamankan instalasi saat terjadi gangguan serta dapat mengirim kondisi secara real status dari jalur pengawatan (ada gangguan arc atau tidak). Kondisi dari sistem instalasi yang terbaca oleh sensor diolah oleh mikrokontroler dan metode yang digunakan adalah mendeteksi munculnya komponen frekuensi tinggi pada arus sistem menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Apabila mendeteksi adanya gangguan busur seri AC, maka mikrokontroler akan mengolah data dengan FFT dan diidentifikasi jenis kabel uji sesuai karakteristiknya ketika terjadi gangguan. Penelitian ini dibangun pada sistem tegangan rendah 220V/50Hz dengan arus gangguan sebesar 0,83A dengan beban resistif. Data pengujian menunjukkan bahwa AFCI dengan metode FFT mampu mendeteksi gangguan busur seri AC dan memberikan proteksi pada sistem dengan rata-rata waktu pemutusan 872 ms.

Kata Kunci - *Arc fault, fast fourier transform, mikrokontroler, busur seri.*

Abstract - Arc is a flame of sparks caused by the release of energy from the delivery cable. Arc fault generates heat that can damage wire insulation, causing fire hazards. However, the limitations of monitoring all treatment lines are an obstacle in the early detection of arcing disorders. Designed an arc fault identification tool on fiber and pejal cables, which can prevent fires due to delays to secure arcing hazards. It utilizes the AMC1301 as a voltage sensor and current sensor. The system works to secure installation in the event of interference and can send conditions in real status from the nurse's path (there is arc interference or not). The condition of the sensor-readable installation system is processed by the microcontroller and the method used is to detect the appearance of high frequency components in the system current using *Fast Fourier Transform* (FFT). If it detects an AC series arc interference, the microcontroller will process the data with FFT and identify the type of test cable according to its characteristics in the event of interference. The study was built on a 220V/50Hz low voltage system with a interference current of 0.83A with a resistive load. Experimental data shows that AFCI with FFT method is able to detect ac series arc interference and provide protection to the system with an average disconnection time of 872 ms.

Keywords - *arc fault, fast fourier transform, monitoring arc fault, microcontroller, series arc.*

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan laporan yang dibuat oleh *National Fire Protection Association*, salah satu penyebab terjadinya kebakaran rumah tinggal diakibatkan karena kerusakan perangkat listrik [1]. Menurut identifikasi dari *Consumer Product Safety Commission* (CPSC) pada akhir 1980-

an dan awal 1990-an sejumlah kebakaran rumah disebabkan oleh sistem sirkuit pada kabel, dan pada tahun 1993 *National Electrical Code* (NEC) menemukan bahwa gangguan busur (*arc fault*) merupakan salah satu faktor terjadinya kebakaran [2]. Gangguan arc dapat terjadi antara kombinasi kabel dalam sirkuit listrik, terhubung secara paralel atau seri dengan beban [3].

Penelitian sebelumnya mengenai AC series *arc fault* menggunakan beberapa pendekatan [2-6]. Beberapa di antaranya dengan penggunaan pendekatan FFT [4-6], serta penambahan dengan *Artificial Neural Network* [6] dan juga terdapat pula yang hanya menggunakan *Voltage Waveforms* [7]. Karakteristik dari arc dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah jenis dari bahan elektroda, dimensi fisik dan perbedaan tegangan antar celah busur [3].

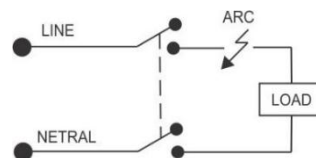
Kejadian gangguan busur (*arc fault*) dapat dideteksi dengan melihat domain frekuensi [8]. Sehingga untuk merubah pembacaan sinyal AC ketika terjadi gangguan arc diperlukan algoritma untuk merubah dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Analisis frekuensi yang mudah untuk dilakukan adalah dengan menggunakan *Discrete Fourier Transforms* (DFT), namun membutuhkan waktu yang panjang untuk proses komputasi data dalam jumlah besar. Sehingga untuk mempersingkat waktu komputasi, digunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) [9] sehingga dapat diidentifikasi secara cepat.

Dalam penelitian ini, penulis merancang sebuah prototipe untuk mengidentifikasi adanya gangguan busur pada berbagai jenis kabel dengan mengaplikasikan *Fast Fourier Transform* (FFT) berdasarkan radix-2 algoritma DIT dan menerapkan pada rumah tinggal dengan tegangan rendah 220 V dan juga terhubung dengan beban resistif yang mana dapat diidentifikasi secara *real time*. Dengan menggunakan mikrokontroler ARM STM32F7 yang diintegrasikan dengan sensor arus. Perangkat sensor pada penelitian kali ini diharuskan mempunyai kinerja yang baik serta keakuratan yang tinggi, dikarenakan pembacaan sensor akan dijadikan *input* data untuk diolah oleh FFT, sehingga digunakanlah sensor AMC1301 untuk mengukur besarnya arus yang mengalir pada sistem.

II. METODE

A. Karakteristik Arc Fault Pada Tegangan Rendah

Pada dasarnya, terdapat dua jenis mengenai gangguan busur pada sirkuit listrik, yakni gangguan seri dan paralel. Gangguan busur paralel sangat mirip dengan korsleting listrik, sedangkan gangguan busur seri lebih sering terjadi daripada gangguan busur paralel. Karena tingkat energi arus busur terlalu rendah, disebabkan nilai impedansi busur dan beban impedansi, sehingga pendeteksian gangguan busur tidak dapat diketahui oleh pemutus sirkuit atau fuse tradisional. Gambar 1 merupakan letak kejadian gangguan busur seri pada rangkaian listrik.



Gambar 1. Gangguan Busur Seri

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan [4]-[6], [8] dapat mengidentifikasi karakteristik dari gangguan busur seri, yakni:

1. Ketika terjadi gangguan busur seri timbul distorsi atau fenomena busur bahu merupakan gelombang *flute* yang dihasilkan ketika arus sedang melintasi nol ampere, yang mana terjadi di setiap setengah gelombang siklus AC.

2. Penurunan amplitudo saat dari normal hingga 80%.
3. Gangguan busur seri menyebabkan distorsi yang tidak simetris. Ini berarti bahwa komponen harmonik akan diproduksi selama gangguan busur.
4. Karakteristik spektrum harmonisa ketika keadaan normal dengan beban lampu pijar, terdapat nilai harmonisa ganjil. Namun ketika keadaan gangguan busur seri, maka nilai pada harmonisa fundamental menurun dan meningkatnya nilai harmonisa ganjil dan genap.
5. Garis gelombang saat terjadi gangguan busur seri memiliki komponen frekuensi tinggi yang signifikan. Dengan demikian, karakteristik frekuensi tinggi yang cocok untuk mendeteksi gangguan *serial arc*.

Dikarenakan pendeteksian gangguan busur seri yang sulit dilakukan, maka dengan analisis dari domain frekuensi diharapkan pada penelitian ini dapat menganalisa kejadian gangguan busur pada jenis kabel yang berbeda dan dapat mengidentifikasi secara tepat.

B. Algoritma Fast Fourier Transforms

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. Metode FFT dipilih dikarenakan dapat mempersingkat waktu perhitungan sehingga gangguan busur dapat dideteksi lebih cepat. Tabel 1 merupakan perbandingan perhitungan antara FFT dan DFT.

TABEL 1 PERBANDINGAN PERHITUNGAN FFT DAN DFT

	DFT	FFT	FFT/DFT
N	N ²	N log ₂ N	%
8	64	24	37,5
16	256	64	25
32	1024	160	15,625
64	4096	384	9,375
128	16384	896	5,46875
256	65536	2024	3,088379
512	262144	4608	1,757813
1024	1048576	10240	0,976563
2048	4194304	22528	0,537109

Digunakan FFT jenis *decimation in time* (DIT). Berdasarkan dekomposisi metode matriks, di mana WN diperhitungkan menjadi matriks L yang lebih singkat.

$$[W_N]=[W_0], [W_1], \dots, [W_L] \tag{1}$$

Di mana L adalah $L=\log_2 N$ atau $N=2^L$

Misalkan ada 8 DFT data, nilai L adalah 3. Dengan membagi fungsi DFT menjadi 2 fungsi, fungsi genap dan fungsi ganjil. Di mana fungsi genap adalah

$$F[m] \text{ genap} = \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n] W_N^{2nm} \tag{2}$$

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

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

Sementara untuk fungsi ganjil adalah

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

$$F[m] \text{ ganjil} = W_N^m \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n + 1] W_N^{2nm} \tag{4}$$

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

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

Dari persamaan di atas, kemudian dapat ditulis sebagai berikut:

$$F[m] = F[m]_{\text{genap}} + F[m]_{\text{ganjil}} \tag{5}$$

$$F[m] = F[m]_{\text{genap}} + W_N^m F[m]_{\text{ganjil}} \tag{6}$$

Untuk $m=0,1,2,3,\dots,7$

Sehingga proses FFT untuk 8 data adalah

$$F[m] = \sum_{n=0}^3 x[2n] W_N^{2nm} + W_N^m \sum_{n=0}^3 x[2n+1] W_N^{2nm} \tag{7}$$

$$F[m] = [x[0]+x[2]W_8^{2m}+x[4]W_8^{4m}+x[6]W_8^{6m}] + W_8^m [x[1]+x[3]W_8^{2m}+x[5]W_8^{4m}+x[7]W_8^{6m}] \tag{8}$$

$$F[m] = \{ [x[0]+x[4]W_2^m]+W_4^m [x[2]+x[6]W_2^m] \} + W_8^m \{ [x[1]+x[5]W_2^m]+W_4^m [x[3]+x[7]W_2^m] \} \tag{9}$$

C. Karakteristik Harmonisa

Pada saluran gelombang tegangan atau arus listrik dengan sistem bolak-balik (AC), terdapat sinyal periodik baik tegangan maupun arus yang timbul akibat penggunaan beban non-linier. Besaran harmonisa untuk tiap frekuensi diturunkan dari gelombang periodiknya dengan menggunakan deret fourier. Parameter besarnya harmonisa sering disebut dengan *total harmonic distortion* (THD).

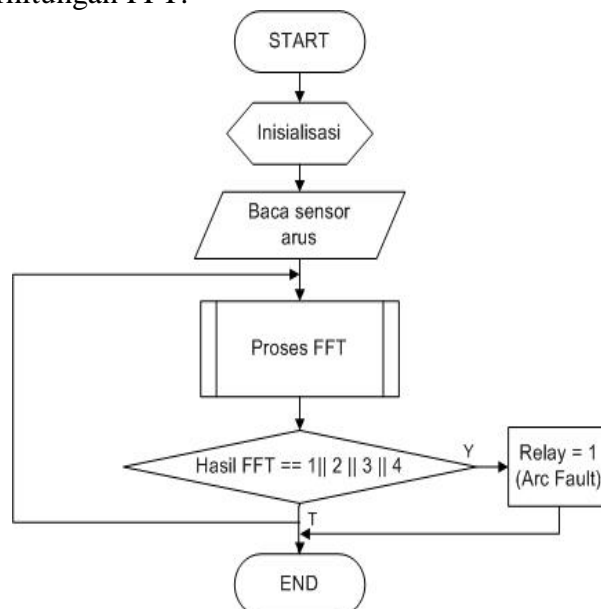
THD digambarkan sebagai nilai RMS komponen harmonik terhadap komponen dasar atau fundamental dan biasa dinyatakan dalam bentuk persen. Persamaan 10 merupakan persamaan untuk mendapatkan THD arus atau THDi.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1} \times 100\% \tag{10}$$

Dengan I_n dan I adalah nilai arus dalam komponen harmonisa frekuensi pada kelipatan frekuensi fundamental.

D. Flowchart Identifikasi Jenis Kabel

Gambar 2 merupakan diagram alir proses identifikasi jenis kabel ketika terjadi gangguan busur seri. Algoritma identifikasi diusulkan dengan perbandingan nilai spektrum harmonisa ketika keadaan normal dan ketika terjadi gangguan busur seri, dimulai dari pencuplikan data yang diolah dengan perhitungan FFT.



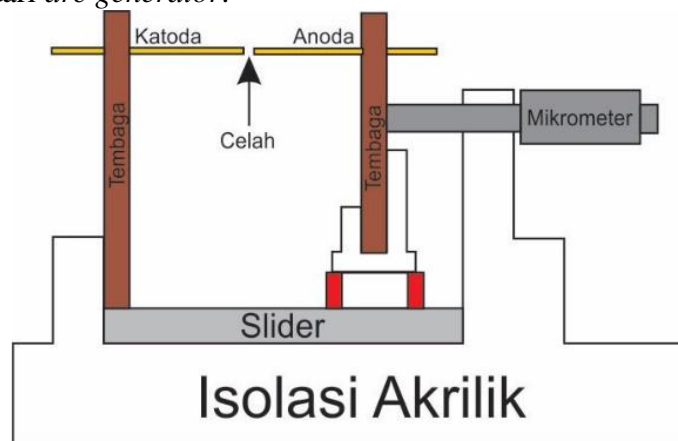
Gambar 2. Flowchart Identifikasi

Pengolahan data pembacaan sensor arus oleh FFT, sehingga didapatkan nilai spektrum frekuensi fundamental, frekuensi genap dan frekuensi ganjil. Berdasarkan data yang ada, ketika terjadi gangguan busur api maka terdapat perbedaan harmonisa dengan ketika kondisi normal sehingga dilanjutkan proses identifikasi. Identifikasi diperlukan untuk membedakan jenis kabel yang digunakan ketika terjadi gangguan, apabila dari perhitungan FFT tidak ditemukan harmonisa, maka dilakukan pengambilan data kembali hingga terdeteksi adanya harmonisa.

Selain mengidentifikasi jenis kabel, pada sistem ini juga bekerja untuk memutuskan aliran listrik apabila terjadi gangguan busur seri, sesuai dengan standar IEC 62606-2013 mengenai standar waktu proteksi yang diperbolehkan ketika terjadi gangguan busur api, dengan waktu maksimal yakni selama 1 detik [10].

E. Perangkat Keras Arc Generator

Dalam penelitian ini, dibutuhkan rekayasa gangguan busur api seri, sehingga digunakan *arc generator* sebagai pembangkit gangguan. *Arc generator* ini terdiri dari dua buah elektroda yang saling berhadapan. Terdapat dua buah elektroda yaitu elektroda statis (diam) dan elektroda aktif (bergerak). Bahan elektroda menggunakan tembaga kuningan dengan ketebalan 1cm. Pada *arc generator* yang dibuat untuk pengujian ini adalah *arc generator* dengan tipe *active electrode*, sehingga dapat diatur jarak antar elektrodanya. Gambar 3 merupakan desain dari *arc generator*.



Gambar 3. Desain Arc Generator

Alat ini tersusun dari beberapa komponen, yakni akrilik sebagai bahan isolasi dengan ketebalan 1cm, slider sebagai tempat berjalan elektroda yang dapat diatur dengan mikrometer sekrup sehingga dapat memperoleh celah udara sesuai dengan yang diinginkan.

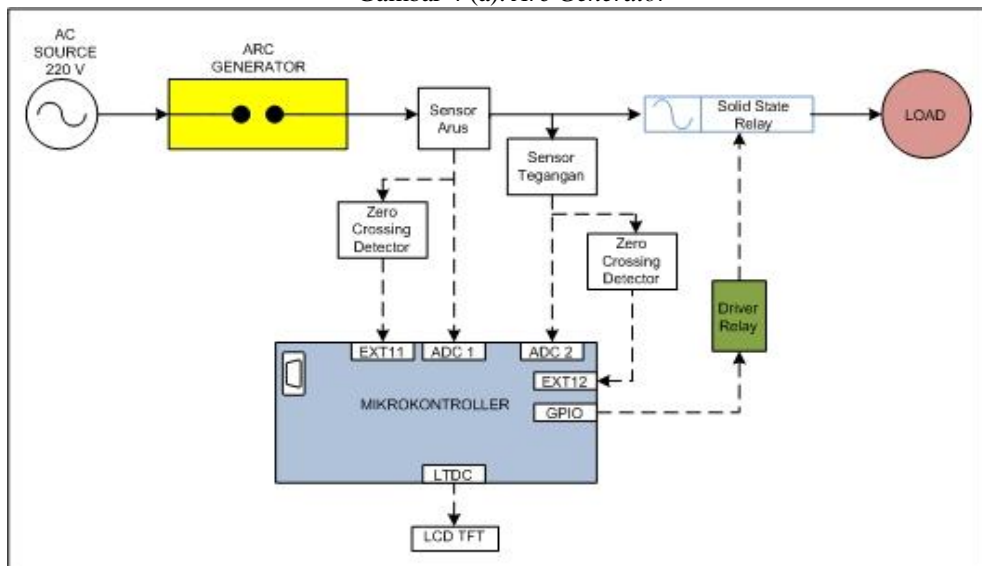
F. Hardware System

Gambar 4 (a) dan (b) adalah *arc generator* dan blok diagram identifikasi dan proteksi gangguan busur seri. *Arc generator* digunakan sebagai pembangkit gangguan busur yang dipasang secara seri dengan rangkaian pengujian, dengan menggunakan dua buah lampu pijar 100W sebagai beban uji dengan pasokan jaringan listrik (220V, 50Hz) sehingga didapatkan arus gangguan sebesar 0,83A. Dengan menggunakan *Arc Generator* maka dapat melakukan pengujian ketika kondisi normal maupun gangguan. Kemudian blok diagram gangguan busur seri, dengan menggunakan sensor AMC1301DWVR yang memiliki tahanan isolasi cukup baik untuk mencegah kebocoran tegangan dan sinyal bolak balik ke sinyal searah sehingga nilai ADC dapat diproses oleh mikrokontroler ARM STM32F7NGH. Data *input* dari sensor arus kemudian diolah mikrokontroler dengan menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk dapat mendeteksi jenis kabel yang digunakan ketika terjadi gangguan

busur dan sistem dapat secara cepat memutus rangkaian gangguan tersebut, sehingga mengamankan dari kemungkinan terjadinya bahaya kebakaran.



Gambar 4 (a). Arc Generator



Gambar 4 (b). Blok Diagram Gangguan Busur Seri

G. Pengondisian Test

Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi konduktor dengan kondisi normal dan dengan gangguan busur seri:

- Uji 1 : Konduktor Kabel pejal CU/PVC NYA 1x1,5mm² 450/750V kondisi normal dan gangguan busur.
- Uji 2 : Konduktor Kabel pejal CU/PVC NYA 1x2,5mm² 450/750V kondisi normal dan gangguan busur.
- Uji 3 : Konduktor Kabel serabut CU/PVC-f NYAF 1x1,5mm² 450/750V kondisi normal dan gangguan busur.
- Uji 4 : Konduktor Kabel serabut CU/PVC-f NYAF 1x2,5mm² 450/750V kondisi normal dan gangguan busur.

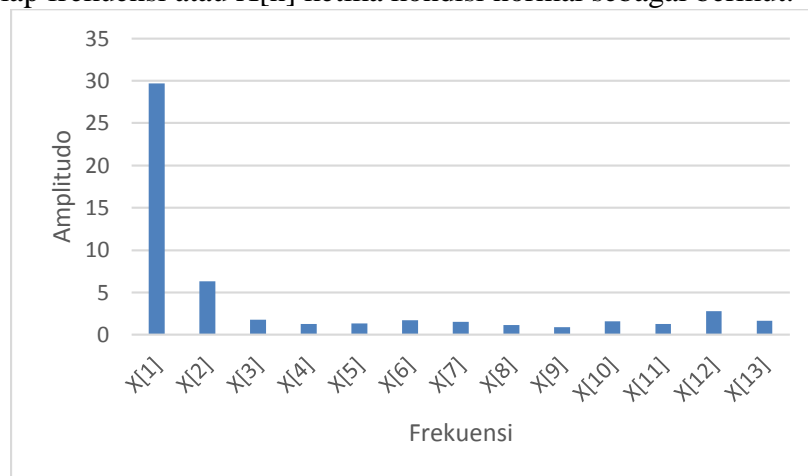
Semua bahan uji di atas telah mempunyai standar SNI 04 – 6629.3 – 2006.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

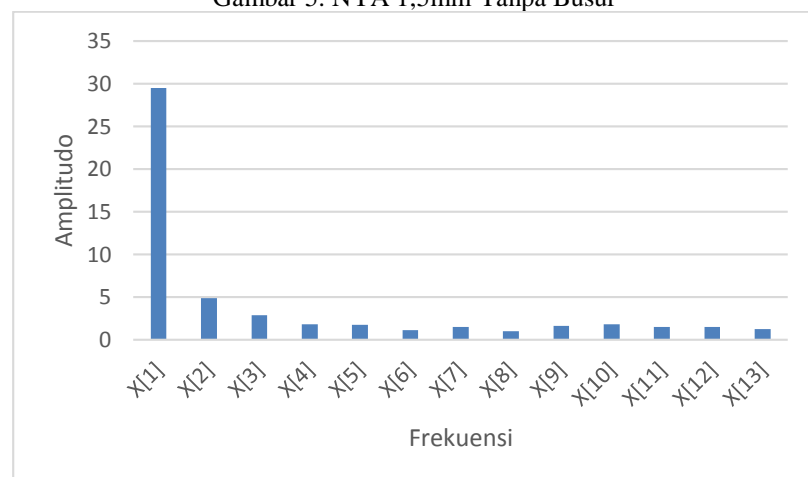
Pada pengujian kali ini, sistem diujikan dengan semua rangkaian yang telah diintegrasikan dan dikondisikan baik tanpa gangguan maupun dalam kondisi dengan gangguan, busur seri. Pada pengujian ini dilakukan dengan memberi tegangan sebesar 220V/50Hz dengan beban berupa dua buah lampu pijar 100W disusun secara paralel sehingga dapat menghasilkan arus gangguan sebesar 0,83A. Karakteristik dalam domain frekuensi saat kondisi normal dan terjadi gangguan busur seri dipelajari di bagian ini melalui FFT. FFT digunakan untuk merubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi, berdasarkan nilai spektrum inilah sehingga didapatkan karakteristik dari tiap jenis kabel yang digunakan ketika terjadi gangguan busur seri.

A. Kondisi Normal

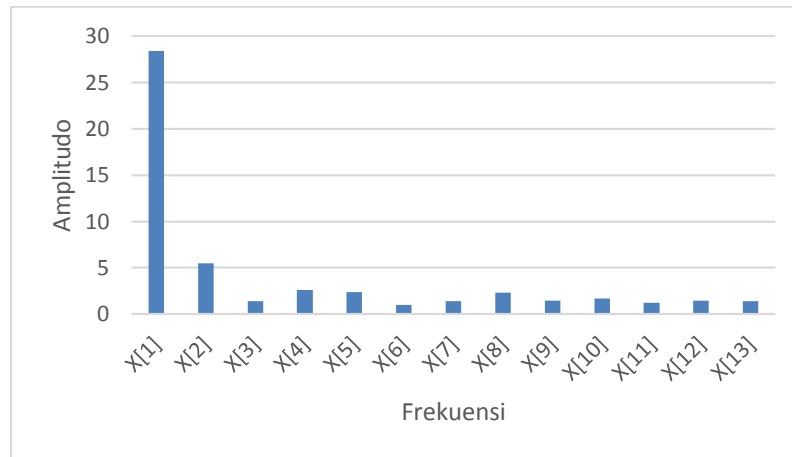
Kondisi normal merupakan kondisi ketika sistem bekerja tanpa ada gangguan busur seri. Gambar 5 adalah grafik spektrum ketika pengujian menggunakan kabel NYA 1,5mm² kondisi beban resistif tanpa busur. Gambar 6 adalah grafik spektrum ketika pengujian menggunakan kabel NYA 2,5mm² kondisi beban resistif tanpa busur. Gambar 7 adalah grafik spektrum ketika pengujian menggunakan kabel NYAF 1,5mm² kondisi beban resistif tanpa busur. Gambar 8 adalah grafik spektrum ketika pengujian menggunakan kabel NYAF 2,5mm² kondisi beban resistif tanpa busur. Data pembacaan yang diperoleh berupa nilai magnitudo harmonisa pada tiap frekuensi atau X[n] ketika kondisi normal sebagai berikut.



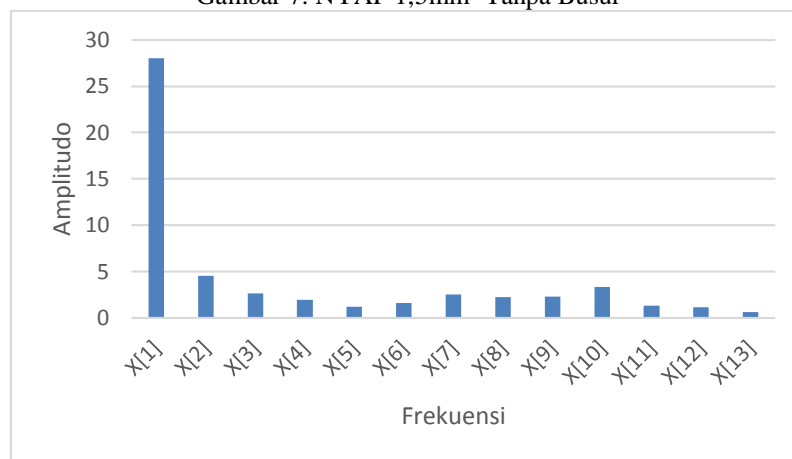
Gambar 5. NYA 1,5mm²Tanpa Busur



Gambar 6. NYA 2,5mm² Tanpa Busur



Gambar 7. NYAF 1,5mm² Tanpa Busur

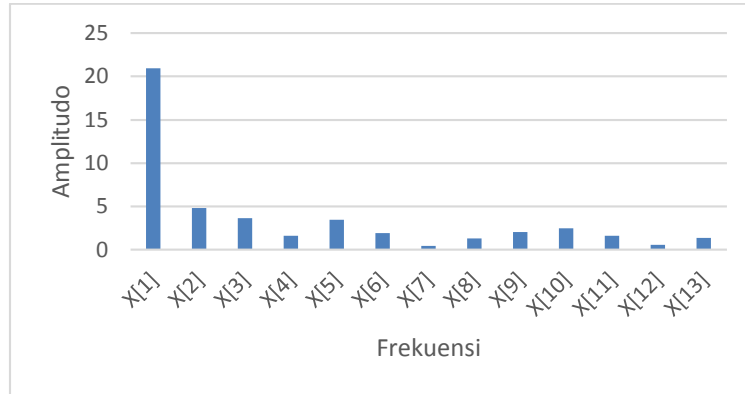


Gambar 8. NYAF 2,5mm² Tanpa Busur

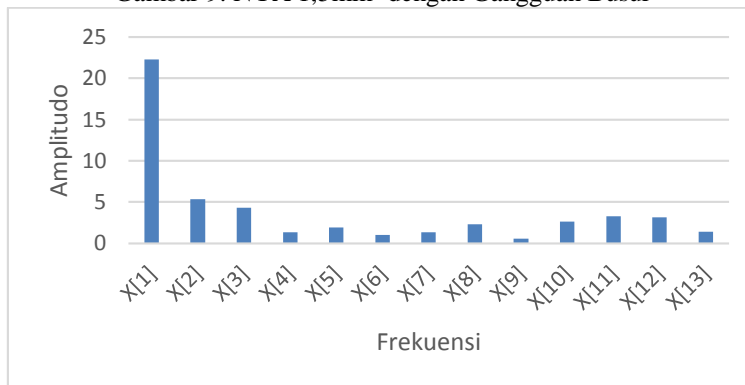
Data berikut diambil dengan nilai frekuensi fundamental, yakni frekuensi ke-1 sebesar 50Hz dan kelipatan 50Hz, sehingga untuk frekuensi ke-2 sebesar 100Hz, frekuensi ke-3 sebesar 150Hz dan seterusnya hingga frekuensi ke-13. Ketika kondisi normal, karakteristik yang didapatkan dengan melihat Gambar 5-8, dapat dikatakan bahwa pada magnitudo harmonisa frekuensi ke-3 dan seterusnya besar nilainya relatif stabil.

B. Kondisi Gangguan Busur Seri

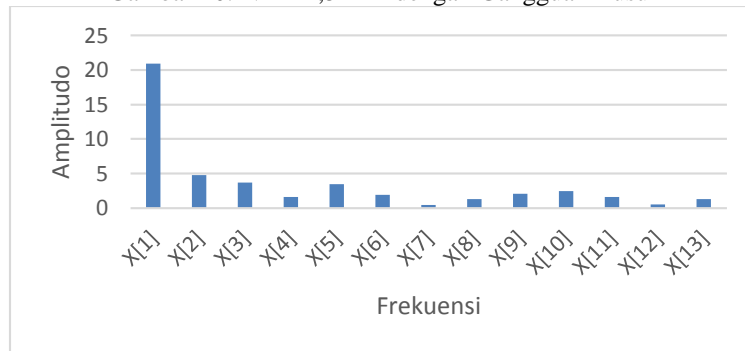
Kondisi gangguan busur seri merupakan kondisi ketika sistem bekerja ketika terdapat gangguan busur seri, gangguan ini didapatkan dari *arc generator* yang telah dibuat sebelumnya dengan mengkombinasikan jarak antar konduktor sehingga timbul celah antar konduktor dan muncul percikan. Percikan inilah yang kemudian disebut dengan gangguan busur seri. Gambar 9 adalah grafik spektrum ketika pengujian menggunakan kabel NYA 1,5mm² kondisi beban resistif dengan busur. Gambar 10 adalah grafik spektrum ketika pengujian menggunakan kabel NYA 2,5mm² kondisi beban resistif dengan busur. Gambar 11 adalah grafik spektrum ketika pengujian menggunakan kabel NYAF 1.5mm² kondisi beban resistif dengan busur. Gambar 12 adalah grafik spektrum ketika pengujian menggunakan kabel NYAF 2,5mm² kondisi beban resistif dengan busur.



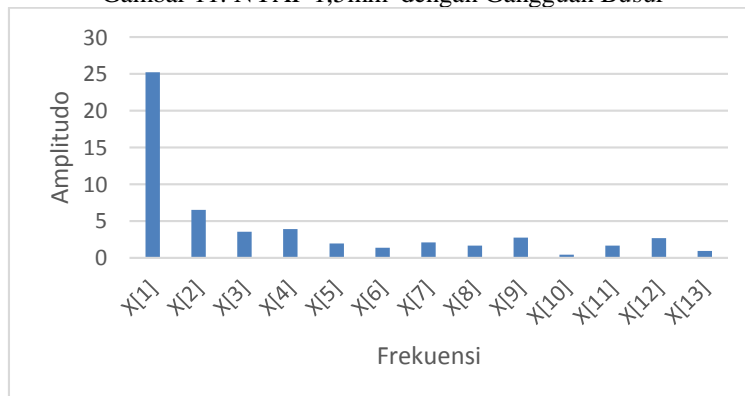
Gambar 9. NYA 1,5mm² dengan Gangguan Busur



Gambar 10. NYA 2,5mm² dengan Gangguan Busur



Gambar 11. NYAF 1,5mm² dengan Gangguan Busur



Gambar 12. NYAF 2,5mm² dengan Gangguan Busur

Dari data yang didapatkan, dapat dilihat bahwa ketika gangguan busur seri, terjadi perbedaan hasil pada nilai magnitudo harmonisa pada tiap frekuensi dengan kondisi ketika normal, di mana terjadi penurunan pada frekuensi fundamental atau X[1] sedangkan terjadi

kenaikan pada frekuensi ganjil atau X[3,5,7,9,11,13]. Perbedaan atau adanya harmonisa ini lah yang kemudian dijadikan sebagai acuan untuk menentukan karakteristik dari tiap jenis kabel uji ketika terjadi gangguan busur seri AC.

C. Analisa Spektrum Kabel

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai karakteristik gangguan busur seri[4]-[6],[8] yakni ditandai dengan Penurunan amplitudo serta adanya harmonisa. Hasil pengujian telah mengidentifikasi karakteristik dari tiap jenis kabel ketika terjadi gangguan busur. Tabel 2 menunjukkan nilai magnitudo harmonisa pada tiap frekuensi pada tiap kabel uji ketika terjadi gangguan busur.

TABEL 2. MAGNITUDO HARMONISA TIAP FREKUENSI

ARCING	NYA 1,5	NYA 2,5	NYAF 1,5	NYAF 2,5
X[1]	20,96	22,28	22,94	25,26
X[2]	4,795	5,325	4,6	6,525
X[3]	3,655	4,33	2,913333	3,505
X[4]	1,5905	1,335	2,803333	3,935
X[5]	3,475	1,91	1,65	1,965
X[6]	1,94	1,025	2,113333	1,365
X[7]	0,405	1,35	0,96	2,06
X[8]	1,285	2,315	2,64	1,645
X[9]	2,05	0,575	0,496667	2,705
X[10]	2,445	2,605	0,49	0,405
X[11]	1,59	3,27	1,553333	1,625
X[12]	0,54	3,12	2,596667	2,645
X[13]	1,325	1,41	1,243333	0,945

Data pada Tabel 2 ini merupakan data yang didapat dari hasil transformasi FFT pada mikrokontroler yang telah didesain dengan program perhitunga, kemudian dilakukan analisa nilai THDi pada tiap jenis kabel. Perhitungan untuk mencari besarnya nilai THDi dilakukan dengan menggunakan Persamaan 4.

Berdasarkan pada Tabel 2, nilai tiap frekuensi dimasukkan ke dalam rumus sehingga:

- a) THDi Kabel NYA 1,5mm sebesar:

$$THD_i = \frac{\sqrt{71,291}}{20,96} \times 100\% = 40,28\%$$

- b) THDi Kabel NYA 2,5mm sebesar:

$$THD_i = \frac{\sqrt{90,30}}{22,28} \times 100\% = 42,65\%$$

- c) THDi Kabel NYAF 1,5mm sebesar:

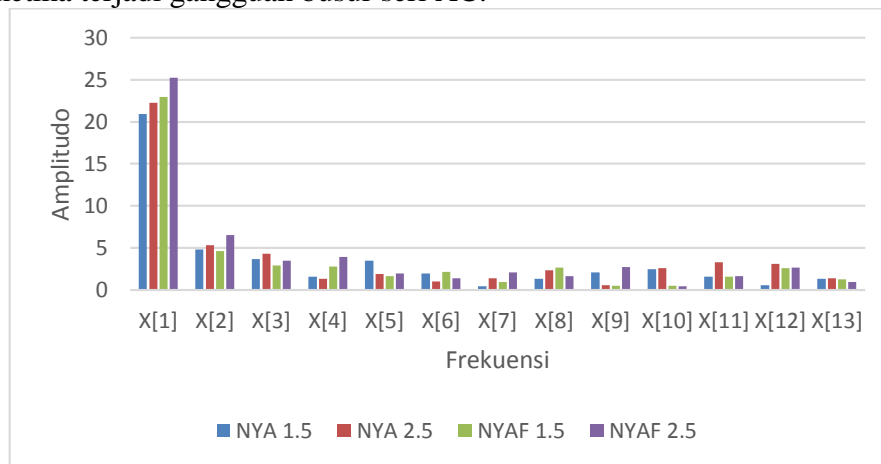
$$THD_i = \frac{\sqrt{63,774}}{22,94} \times 100\% = 34,81\%$$

- d) THDi Kabel NYAF 2,5mm sebesar:

$$THD_i = \frac{\sqrt{101,03}}{25,26} \times 100\% = 39,79\%$$

Didapatkan hasil perhitungan besarnya nilai THD pada masing-masing kabel uji pada perhitungan di atas, dengan besar nilai THD yang berbeda-beda ini kemudian dijadikan acuan sebagai karakteristik dari tiap kabel ketika terjadi gangguan busur seri AC.

Kabel NYA 1,5mm memiliki nilai THDi sebesar 40,28%, Kabel NYA 2,5mm memiliki nilai THDi sebesar 42,65%, Kabel NYAF 1,5mm memiliki nilai THDi sebesar 34,81%, dan untuk kabel NYAF 2,5mm memiliki nilai THDi sebesar 39,79%. Dapat diketahui bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik konduktor ketika terjadi gangguan busur seri. Berdasarkan hasil pengujian, kabel dengan luas penampang lebih besar menghasilkan nilai THDi yang lebih besar pula ketika terjadi gangguan. Begitupun dengan kabel yang menggunakan bahan konduktor Pejal, akan lebih besar nilai THDi yang dihasilkan. Gambar 13 menunjukkan perbedaan dari besarnya nilai magnitudo harmonisa pada tiap kabel uji ketika terjadi gangguan busur seri AC.



Gambar 13. Karakteristik jenis kabel ketika gangguan busur

Gambar 13 menunjukkan perbedaan karakteristik pada tiap jenis kabel ketika terjadi gangguan busur seri, di mana memiliki nilai spektrum yang berbeda beda. Dapat dilihat bahwa ketika terjadi gangguan busur seri, nilai pada frekuensi fundamental pada kabel NYAF 2,5mm² merupakan yang terbesar, dan nilai pada kabel NYA 1,5mm² merupakan yang terkecil. Untuk frekuensi ganjil pada tiap jenis kabel memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

TABEL 3. HASIL PENGUJIAN IDENTIFIKASI JENIS KABEL

Jenis Kabel	Identifikasi Jenis Kabel	Gangguan Busur Seri	Kondisi Relai
NYA 1,5mm ²	Tepat	Terdeteksi	Mati
NYA 2,5mm ²	Tepat	Terdeteksi	Mati
NYAF 1,5mm ²	Tepat	Terdeteksi	Mati
NYAF 2,5mm ²	Tepat	Terdeteksi	Mati

Berdasarkan Tabel 3, dengan algoritma FFT gangguan busur seri dapat dideteksi dan juga mengidentifikasi jenis kabel yang digunakan secara tepat. Berdasarkan kondisi tersebut, sistem proteksi juga dapat bekerja untuk mengamankan jaringan listrik ketika terjadi gangguan busur seri. Pada Tabel 4 menunjukkan waktu pemutusan relai ketika terjadi gangguan busur seri.

TABEL 4. HASIL PENGUJIAN WAKTU PEMUTUSAN RELAI

No	Jenis Kabel	Ukuran (mm ²)	Waktu (ms)	Average Clearing Time (ms)
1	NYAF	1,5	986	872
2		2,5	894	
3	NYA	1,5	710	805
4		2,5	900	

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4, diperoleh bahwa pada arus gangguan sebesar 0,83A alat bekerja dengan waktu pemutusan rata-rata selama 872ms, sehingga alat tersebut memenuhi standar yang telah ditetapkan (IEC 62602-2013). Karena dengan arus gangguan di bawah 2,5A alat tersebut dapat memutus arus gangguan sistem dengan waktu di bawah 1 detik, sehingga menandakan bahwa dengan menggunakan algoritma FFT, AFCI cukup responsif terhadap arus gangguan yang kecil dan mampu mengamankan atau melokalisir area gangguan serta berfungsi dengan baik.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan pelaksanaan pendeteksian gangguan busur seri menggunakan mikrokontroler ARM STM32F7. Algoritma FFT digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan busur serta mengidentifikasi karakteristik dari jenis kabel ketika terjadi gangguan dengan beban resistif. Nilai THDi kabel pejal lebih besar daripada nilai THDi kabel serabut, serta semakin besar luas penampang kabel maka semakin besar pula nilai THDi-nya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa FFT dapat digunakan untuk menganalisa gangguan busur seri pada arus gangguan yang kecil yakni 0,83A sekalipun dengan proses yang cepat serta identifikasi jenis kabel yang digunakan ketika terjadi gangguan dengan cara melihat karakteristik tiap jenis kabel uji dan didapatkan identifikasi yang tepat. Selain itu, AFCI juga dapat bekerja untuk memutus arus gangguan dengan kecepatan pemutusan rata-rata selama 872ms. Berdasarkan pada IEC 62602-2013 mengenai waktu pemutusan gangguan, dengan arus gangguan di bawah 2,5A harus dapat diamankan dengan waktu maksimal selama 1 detik.

REFERENSI

- [1] National Fire Protection Association (NFPA). FAQ: An overview of the U.S. fire problem. 2020. (View July. 2020).
- [2] National Electrical Manufacturers Association (NEMA). *Arc fault Circuit Interrupters Using Advanced Technology to Reduce Electrical Fires*. Virginia, 2018. vol. SE-1512.
- [3] Mohamed, A.M.O. *Intelligent Low Voltage Series Arc Detection System*, Tesis. Canada, University of Waterloo. 2015.
- [4] Khafidli, M.K. Prasetyono, E. Anggriawan, D.O. Tjahjono, A. & Syafi'i, M.H.R.A. "Implementation AC Series *Arc fault* Recognition using Mikrokontroler Based on Fast Fourier Transform," 2018 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA), Bali, Indonesia, 2018, pp. 31-36.
- [5] Syafi'i, M.H.R.A. Prasetyono, E. Khafidli, M.K. Anggriawan, D.O. & Tjahjono, A. "Real Time Series DC *Arc fault* Detection Based on Fast Fourier Transform," 2018 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA), Bali, Indonesia, 2018, pp. 25-30.
- [6] Abdurachman, M.A., Prasetyono, E., Anggriawan, D.O., & Tjahjono, A. "Smart Detection Of AC Series *Arc fault* On Home Voltage Line Based On Fast Fourier Transform And Artificial Neural Network," 2019 International Electronics Symposium (IES), Surabaya, Indonesia, 2019, pp. 439-445
- [7] Kim, J.C. Neacșu, D.O. Lehman, B. and Ball, R. "Series AC *Arc fault* Detection Using Only Voltage Waveforms," 2019 *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Anaheim, CA, USA, 2019, pp. 2385-2389.

- [8] Wu, C.J., Liu, Y.W. Smart Detection Technology of Serial *Arc fault* on Low-Voltage Indoor Power Lines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 69, 2015, pp 391-398.
- [9] Xie, G. and Li, Y. "Parallel Computing for the Radix-2 Fast Fourier Transform," 2014 13th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science, Xi'an, China, 2014, pp. 133-137.
- [10] IEC 62606 Standard. General Requirements for *Arc fault* Detection Devices. Edition 1.0., 2013.