

# Penerapan Sensor PZEM-004T Untuk Monitoring Tegangan Fluktuasi 1 Fasa dengan Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (FFT)

Imam Suri Tauladan<sup>1\*</sup>, Hendri Novia Syamsir<sup>2</sup> dan Arif Gunawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293, Indonesia

<sup>2,3</sup> Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru, 28265, Indonesia

Corresponding Author: imam.suri@lecturer.unri.ac.id

## Riwayat Artikel

Diserahkan: 1 Desember 2023

Direvisi: 29 November 2024

Diterima: 29 November 2024

Dipublikasi: 30 November 2024

## Abstrak

Berdasarkan standar PLN yang diatur dalam Peraturan Menteri ESDM No. 20 Tahun 2020, perubahan tegangan pada jaringan harus dipertahankan dalam batas rentang variasi tegangan  $\pm 5\%$  (Tegangan Normal). Tegangan fluktuasi merupakan perubahan variasi tegangan dalam waktu yang disingkat. Dimana perubahan tegangan melebihi atau dibawah standar rentang variasi tegangan yaitu  $\pm 5\%$  dari tegangan normal. Berdasarkan IEEE Standard 1159-1995, voltage sag berada pada rentang 10%-90% dari tegangan nominal yang berlangsung selama 0,5 cycle. Voltage swell berada pada rentang 120% dari tegangan nominal. Perubahan variasi tegangan ini disebabkan oleh banyak faktor seperti adanya arus motor starting yang besar, perubahan beban yang tidak terkendali dan gangguan arus hubung singkat pada sistem tenaga listrik. Pentingnya menjaga fluktuasi tegangan merupakan suatu keharusan dikarenakan berhubungan dengan kehandalan dari suatu sistem tenaga listrik. Untuk itu, dalam Penelitian ini mengusulkan "Penerapan Fast Fourier Transform Method Untuk Monitoring Tegangan Fluktuasi" sebagai solusi permasalahan kualitas daya. Untuk memudahkan dalam proses pengolahan tegangan (sinusoidal), diperlukan metode Fast Fourier Transform (FFT). Algoritma metode FFT diperlukan untuk mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi, sehingga dapat mempermudah dalam proses sistem monitoring. Pada penelitian ini telah mengimplementasikan metode FFT untuk monitoring tegangan fluktuasi dalam keadaan saat tanpa beban dan berbeban. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa beban bersifat induktif dapat mempengaruhi kualitas tegangan. Hal ini dibuktikan saat melakukan pengujian saat berbeban, dari hasil analisa terjadi penurunan tegangan (voltage SAG) sebesar 10% ( $V_{rms} = 209,5$  V; durasi waktu 0,1436 s) dan kenaikan tegangan (voltage swell) sebesar 20,6% ( $V_{rms} = 278,75$  V; durasi waktu 0,228 – 0,428 s).

**Kata kunci:** Tegangan Fluktuasi, Voltogae SAG, Fast Fourier Transform

## Abstract

Based on PLN standards regulated in Minister of Energy and Mineral Resources Regulation No. 20 of 2020, changes in voltage on the network must be maintained within the voltage variation range of  $\pm 5\%$  (Normal Voltage). Voltage is the change in voltage variations in a short time. Where the voltage change exceeds or below the standard voltage variation range, namely  $\pm 5\%$  of the normal voltage. Based on IEEE Standard 1159-1995, the sag voltage is in the range of 10% -90% of the

*nominal voltage which lasts for 0.5 cycles. The voltage wave is in the range of 120% of the nominal voltage. Changes in voltage variations are caused by many factors such as large motor starting currents, uncontrolled load changes and short circuit current disturbances in the electric power system. The importance of maintaining voltage is a necessity because it is related to the reliability of an electric power system. For this reason, this research proposes "Application of the Fast Fourier Transform Method to Monitor Voltage Fluctuations" as a solution to power quality problems. To make it easier to process voltage (sinusoidal), the Fast Fourier Transform (FFT) method is needed. The FFT method algorithm is needed to convert the time domain into the frequency domain, so that it can simplify the monitoring system process. This research was implemented the FFT method for monitoring voltage fluctuations in no-load and load conditions. From the results, it can be concluded that inductive loads can affect voltage quality. This was proven when carrying out tests under load, from the results of the analysis there was a decrease in voltage (voltage SAG) of 10% ( $V_{rms} = 209.5$  V; time duration 0.1436 s) and an increase in voltage (voltage swell) of 20.6% ( $V_{rms} = 278.75$  V; time duration 0.228 – 0.428 s).*

**Keywords:** *Voltage Fluctuations, Voltage SAG, Fast Fourier Transform .*

## 1. Pendahuluan

Besarnya pertumbuhan beban listrik yang semakin tinggi tiap tahunnya, menuntut perusahaan penyediaan energy listrik untuk memberikan pelayanan terbaik bagi konsumennya. Pelayanan terbaik tidak hanya dari tingkat kehandalan yang baik, namun segi kualitas daya pun menjadi tanggung jawab perusahaan penyediaan energy listrik. Banyak faktor yang memperngaruhi kualitas daya, salah satunya maraknya penggunaan energy baru terbarukan yang tidak tepat.

Saat ini kualitas daya merupakan permasalahan yang sangat kompleks pada sistem tenaga listrik. Salah satunya adalah tegangan fluktuasi. Berdasarkan standar PLN, variasi tegangan  $\pm 5\%$ , yang artinya jika berbicara di tegangan rendah maka range level tegangan rendah berkisar pada tegangan 380-420 Volt [1]. Untuk menjaga level tegangan dari perubahan naik turun (fluktuasi) secara terus menerus yang diakibat beban induktif, sehingga diperlukan suatu sistem monitoring yang dapat merekam kondisi *voltage swells*, *voltage sag* dan *normal voltage*. Selain itu, kontribusi pada penelitian ini dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk memudahkan proses pengolahan

sinyal (sinusoidal tegangan) yang mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi[2]. Untuk menjadikan penelitian ini memiliki gap kontribusi terhadap penelitian yang terdahulu, pada penelitian ini menerapkan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk menganalisis tegangan fluktuasi pada sistem tegangan rendah. Sehingga urgensi untuk adanya penelitian ini semakin tinggi. Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh informasi mengenai pengaruh metode yang digunakan sebagai proses pengolahan sinyal sinusoidal (tegangan) yang mempermudah monitoring tegangan fluktuasi. Beberapa penelitian terkait dan teori yang mendukung penelitian akan dibahas pada Bab kajian pustaka.

## 2. Kajian Pustaka

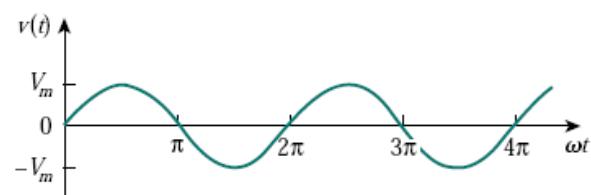
Tegangan fluktuasi merupakan gangguan internal pada permasalahan kualitas daya[3]. Peneliti [4] melakukan penelitian deteksi dan perhitungan untuk tegangan fluktuasi berdasarkan teori daya reaktif *instantaneous*. Penelitian ini melakukan simulasi untuk mendeteksi adanya tegangan fluktuasi dengan membandingkan 2 metode yaitu *square demodulation* dan *instantaneous reactive power*

*theory*. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan dengan menggunakan metode *instantaneous reactive power theory* perhitungan *voltage fluctuation* lebih mendekati dari nilai aktualnya. Namun dalam penelitian ini hanya melakukan simulasi. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [5] mengevaluasi pengukuran tegangan fluktuasi berdasarkan standar IEC 61000-4-15, namun pada penelitian ini hanya melakukan simulasi.

Penelitian yang dilakukan oleh [6] melakukan sistem monitoring tegangan fluktuasi dengan menggunakan *wavelet transform*. Dari hasil penelitian antara nilai secara teori dan nilai terukur memiliki persen error yang kecil. Namun dalam penelitian ini tidak dijelaskan bagaimana dalam perencanaan pengujian sistem monitoring. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [7] implementasi *Fast Fourier Transform* (FFT) pada sistem monitoring *voltage fluctuation*. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode FFT dapat mempermudah dalam proses monitoring tegangan fluktuasi. Namun, dari hasil pengujian tidak adanya perbedaan tegangan fluktuasi secara signifikan. Untuk itu pada penelitian ini mengusulkan “Penerapan Sensor PZEM-004T Untuk Monitoring Tegangan Fluktuasi 1 Fasa dengan Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (FFT)” yang pengujian menggunakan beban induktif yang dapat menyebabkan tegangan fluktuasi. Sehingga penelitian ini diharapkan hasilnya optimal. Selain itu kontribusi pada penelitian ini dengan menambahkan proteksi dari tegangan fluktuasi.

## 2.1 Listrik Alternating Current (AC )

Sistem yang telah dirancang akan dijelaskan melalui gambar dalam suatu diagram blok. Pada diagram blok meliputi cara kerja keseluruhan sistem yang digunakan sebagai acuan dari pembuatan sistem dengan fungsi hasil yang sesuai perencangan. Diagram blok desain alat dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Sinyal Sinusoidal

Adapun matematis dari sinyal sinusoidal direpresentasikan pada Persamaan (1).

$$\begin{aligned} v(t) &= V_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \text{ atau } v(t) \\ &= V_{max} \cdot \sin(2\pi f t + \varphi) \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana:

$v(t)$  = Tegangan pada waktu  $t$ .

$V_{max}$  = Amplitudo tegangan maksimum.

$\omega$  = Frekuensi angular.

$\varphi$  = Beda fasa.

## 2.2 Kualitas Daya

Kualitas daya merupakan suatu kualitas sistem kelistrikan dari operasi sistem kelistrikan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Terjaganya kualitas daya dipengaruhi oleh stabilitas tegangan dan frekuensi, harmonisa yang kecil dan keseimbangan fasa pada sistem kelistrikan. Level tegangan dan frekuensi dari kualitas daya harus terjaga dalam kondisi *steady state*. Stabilitas tegangan yang baik beroperasi pada range tegangan nominal sistem yang digunakan. Berdasarkan standar PLN, stabilitas tegangan sistem kelistrikan di Indonesia harus terjaga dari beberapa parameter berikut: Tegangan diluar batas rentang standar, Tegangan tidak seimbang, Tegangan fluktuasi (*flicker*). Pada sub bab berikut akan dijelaskan gangguan yang mempengaruhi kualitas daya pada level tegangan sistem kelistrikan.

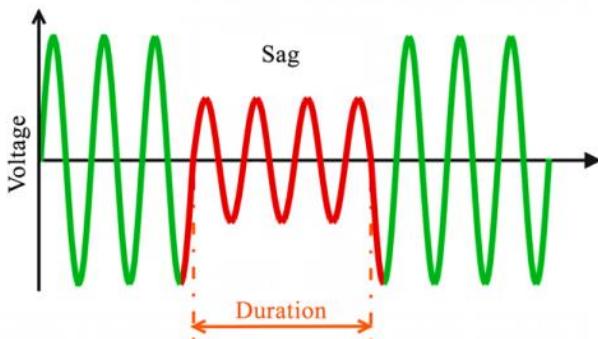
### 2.2.1 Voltage Flicker

Salah satu jenis yang dapat mempengaruhi kualitas daya tegangan adalah *voltage flicker*. *Voltage flicker* atau kedip tegangan adalah variasi tegangan yang berubah secara periodik yang disebabkan adanya perubahan beban. Variasi tegangan berubah dalam waktu yang

sangat singkat yaitu dalam periode *steady state* dengan rentang waktu 0.02 detik hingga 3 detik pada frekuensi 50 Hz. Perubahan variasi tegangan secara singkat ini dibagi dalam 2 tipe perubahan yaitu:

### 1. *SAG Voltage* atau Dip Tegangan

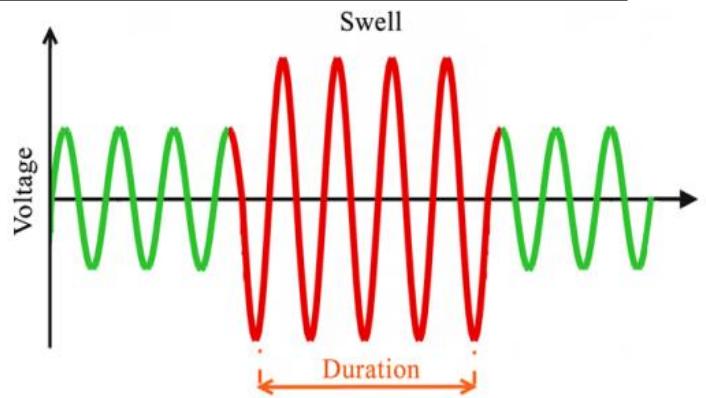
Tegangan *SAG* terjadi ketika tegangan rms mengalami fenomena penurunan tegangan dari nilai tegangan nominal sistem. Penurunan tegangan ini terjadi dengan waktu yang singkat 0.02 detik pada frekuensi 50 Hz. Berdasarkan standar IEEE 1159-1995, dip tegangan mengalami penurunan tegangan berkisar 10%-90% dari nilai tegangan nominal. Hal dasar yang membedakan dengan *undervoltage* adalah waktu terjadinya penurunan tegangan. Adapun untuk lebih jelas dip tegangan dapat direpresentasikan pada Gambar 2



Gambar 2. Bentuk *SAG Voltage* [8]

### 2. *Swell Voltage*

Tegangan *swell* terjadi ketika tegangan rms mengalami fenomena kenaikan tegangan dari nilai tegangan nominal sistem. Kenaikan tegangan ini terjadi dengan waktu yang singkat 0.02 detik hingga 60 detik pada frekuensi 50 Hz. Berdasarkan standar IEEE 1159-1995, tegangan *swell* berkisar 110%-180% dari nilai tegangan nominal. Terjadinya tegangan *swell* dikarenakan adanya perubahan beban yang singkat secara terus menerus, *energize* kapasitor bank, *faut clearing*. Pada Gambar 3. Merupakan bentuk *Swell Voltage*.



Gambar 3. Bentuk *Swell Voltage* [8].

### 2.3 Metode *Fast Fourier Transform* (FFT)

Analisis *Fourier* digunakan untuk memecahkan permasalahan bentuk gelombang sinusoidal yang kompleks. Proses yang dilakukan dengan mengubah domain waktu dari gelombang sinusoidal menjadi domain frekuensi. Pada analisis *fourier* terdiri dari 2 jenis yaitu *Discrete Fourier* (deret *fourier*) dan *Fourier Transform* (transformasi *fourier*). Pada penelitian ini dengan menggunakan analisis transformasi *fourier*. Transformasi *fourier* sebagai analisa fungsi non periodik pada gelombang sinyal sinusoidal. Fungsi non periodik adalah sinyal sinusoidal dengan periode yang tak terhingga. Maksud dari periode yang tak terhingga adalah sinyal sinusoidal yang dibangkitkan secara terus menerus tergantung dari durasi waktu sinyal. Sehingga analisis ini sangat baik digunakan untuk menganalisa tegangan fluktuasi, dimana sinyal yang terbangkitkan adalah sinyal sinusoidal periode yang tak terhingga.

Dalam analisis transformasi *fourier* terdapat 2 metode yang umum digunakan yaitu *Discrete Fourier Transform* (DFT) dan *Fast Fourier Transform* (FFT). Metode FFT merupakan implementasi pengoptimal dari metode DFT [9]. Untuk lebih jelas persamaan DFT terdapat pada persamaan 2.

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x_0(k) e^{-j2\pi nk/N} \quad (2)$$

Untuk mempermudah proses komputasi dalam persamaan DFT diganti dengan koefisien  $W$  terdapat pada persamaan 3.

$$W = e^{-j2\pi/N} \quad (3)$$

Sehingga persamaan FFT dapat dilihat pada persamaan 4.

$$X(n) = W^{nk} x_0(k) \quad (4)$$

Dimana:

$X(n)$  = Urutan ke- $n$  komponen *output* DFT ( $F(0), F(1), F(2), \dots, F(N-1)$ ).

$k$  = Indeks *output* DFT dalam domain frekuensi ( $0, 1, 2, \dots, N-1$ ).

$x_0(k)$  = Urutan ke- $k$  sampel *input* ( $f(0), f(1), f(2), \dots, f(N-1)$ ).

$n$  = Indeks sampel *input* dalam domain waktu ( $0, 1, 2, \dots, N-1$ ).

$j$  = Bilangan imajiner.

$\pi = 180^\circ$  (derajat).

$e$  = Eksponensial.

Persamaan 5 merupakan sintaks metode FFT pada Matlab [10].

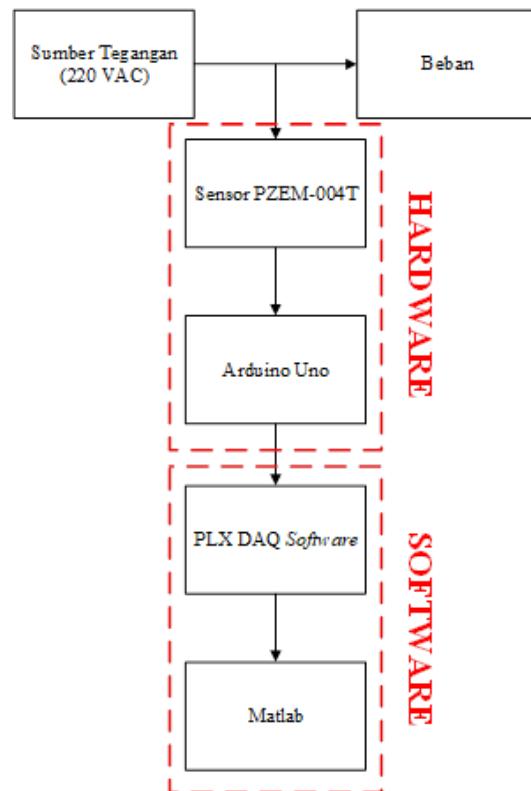
$$Y = fft(x) \quad (5)$$

### 3. Metodologi Penelitian

Awal dari penggeraan penelitian ini dimulai dengan mencari beberapa refensi dan penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Hal tersebut menjadi dasar untuk dapat dijadikan penelitian dasar terkait sistem monitoring tegangan fluktuasi dengan menggunakan metode FFT. Selanjutnya yaitu adalah merancang *hardware* dan *software*. Untuk lebih jelas skema kerja dari sistem monitoring dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada perancangan *hardware* untuk monitoring *voltage fluctuation* yakni diawali dengan melakukan pembacaan sensor tegangan PZEM 004-T, kemudian tegangan *output* dari sensor akan dibaca oleh ADC Arduino dan akan diolah menjadi nilai tegangan, lalu hasil nilai tegangan akan dikirim ke PLX-DAQ Software dengan komunikasi serial. Pada PC akan dilakukan pengolahan data tegangan menggunakan *software*

Matlab sehingga mendapatkan grafik sinus serta grafik frekuensi yang menjadi indikasi ada atau tidaknya *voltage fluctuation*.



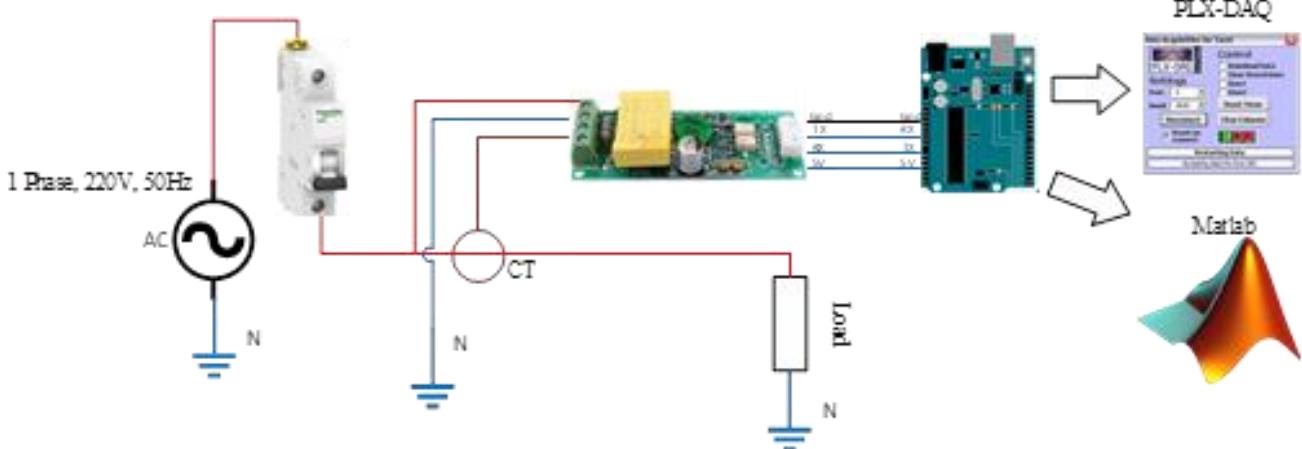
Gambar 4. Skema Sistem Monitoring Tegangan Fluktuasi.

#### 3.1 Perancangan *Hardware* dan *Software*

Untuk menjelaskan cara kerja dari peralatan sistem monitoring tegangan fluktuasi dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** Skema sistem perancangan *hardware* dan *software*. Peralatan ini bertujuan untuk mengukur dampak dari perubahan beban yang dapat mengakibatkan adanya tegangan fluktuasi. Untuk mengukur tegangan pada beban diperlukan sensor PZEM 004-T, dimana sensor ini dapat mengukur arus dengan batas maksimal 100 A. Sensor PZEM akan dikoneksikan melalui pin TX RX sensor ke pin RX TX Arduino Uno, sehingga data tegangan dapat dikirim ke arduino. Alat sistem monitoring tegangan fluktuasi ini bekerja secara *real time*, sehingga dibutuhkan PLX-DAQ untuk membaca waktu pengukuran dan tegangan terukur. Waktu pengukuran dan tegangan terukur akan disimpan dengan

menggunakan format .xls. Langkah selanjutnya yaotu pengambilan data tegangan sebanyak 2500 sampel. Setelah sampel tegangan tersimpan secara *real time*, maka langkah selanjutnya yaitu pengolahan data dengan menggunakan Matlab.

Data dari .xls dibaca oleh matlab dan diproses dengan menggunakan metode FFT. Untuk merubah domain waktu ke domain frekuensi, pada matlab dikomputasi dengan sintaks pada persamaan 5.



Gambar 5. Skema dari Rangkaian Sistem Monitoring Tegangan Fluktuasi.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

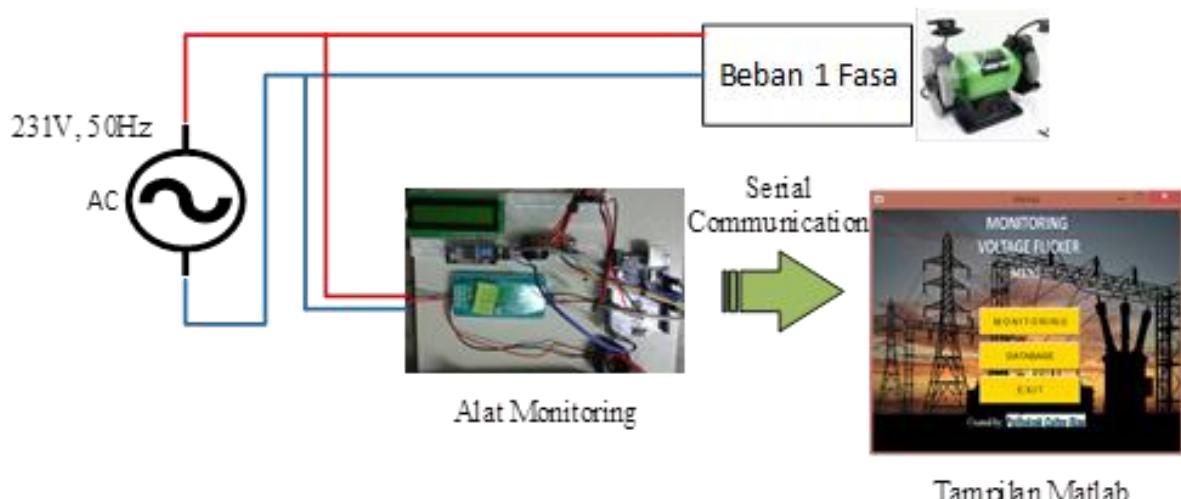
Untuk memastikan alat sistem monitoring tegangan fluktuasi dapat berjalan dengan baik, diperlukan adanya tahap pengujian. Pengujian peralatan dilakukan dengan keadaan tanpa beban dan saat berbeban. Pengujian dengan keadaan berbeban dilakukan dengan berbagai variasi beban yang bersifat induktif. Data ( $V_{rms}$ ,  $\Delta V$ ) dari hasil pengujian peralatan akan ditampilkan pada *software* matlab dengan bentuk satuan domain

waktu dan domain frekuensi (proses transformasi *fourier*).

##### 4.1 Skema Pengujian 1: Gerinda Duduk 5" Ryu RBG 5

Pengujian skema 1 dilakukan dengan keadaan berbeban gerinda duduk RYU RBG 5, Adapun untuk spesifikasi sebagai berikut:

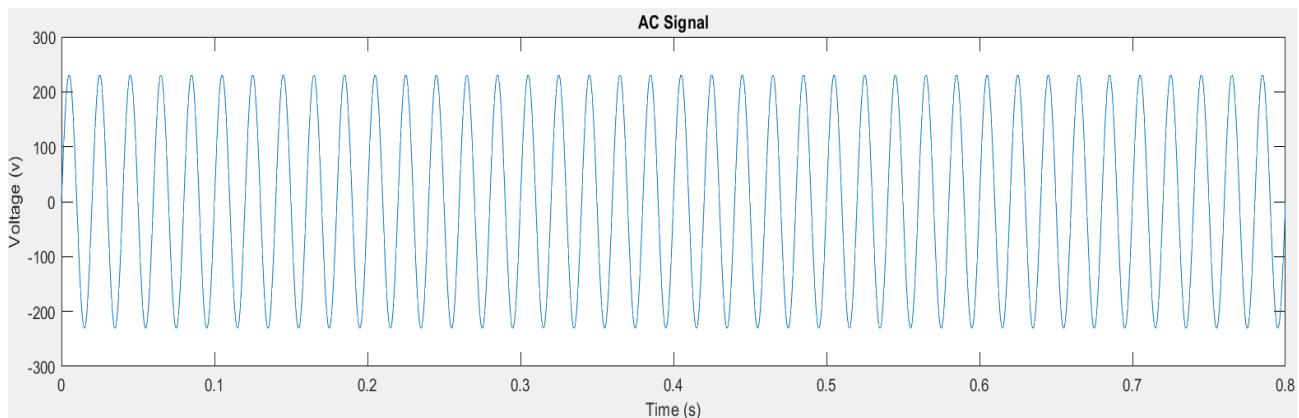
Voltage	:	220 – 250 VAC
Daya Listrik	:	1/4 HP atau 180 Watt
Arus	:	3,8 – 6 A
Diameter	:	12,7 mm



Gambar 6. Skema Pengujian Beban Gerinda Duduk.

Skema pengujian saat berbeban gerinda duduk dapat dilihat pada Gambar 6. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui pengaruh dari beban gerinda duduk saat aktif terhadap kualitas tegangan. Untuk mengetahui pengaruh dari beban gerinda duduk terhadap kualitas tegangan, maka hal yang pertama dilakukan adalah dengan mengukur kualitas tegangan saat tanpa beban

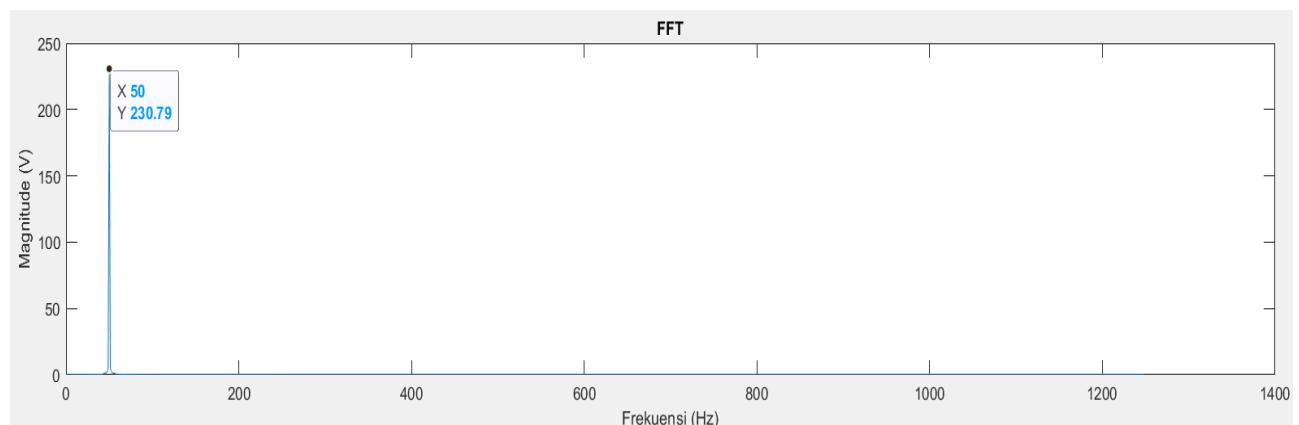
atau mengukur kualitas tegangan sumber. Untuk hasil pengukuran kualitas tegangan sumber dapat dilihat pada Gambar 7. Dari hasil pengukuran dapat disimpulkan bahwa tegangan rms dalam kondisi *steady state* dengan 231 Vrms. Pengukuran dilakukan dengan durasi waktu 0,8 s dengan frekuensi sistem 50 Hz.



**Gambar 7. Plot Hasil Pengujian Tegangan Tanpa Beban.**

Untuk memudahkan mengetahui terjadinya tegangan fluktuasi dengan durasi waktu yang singkat maka diperlukan analisis FFT. FFT dengan cara merubah domain waktu menjadi domain frekuensi sehingga dihasilkan perbedaan tegangan dari tegangan nominal. Dari hasil

pengujian kualitas tegangan tanpa beban dapat disimpulkan bahwa tegangan tidak terjadi tegangan fluktuasi. Hasil pengujian menunjukkan pada frekuensi fundamental (50 Hz) tegangan rms sebesar 230,79 V yang dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 7. Plot Hasil FFT Pengujian Tegangan Tanpa Beban.**

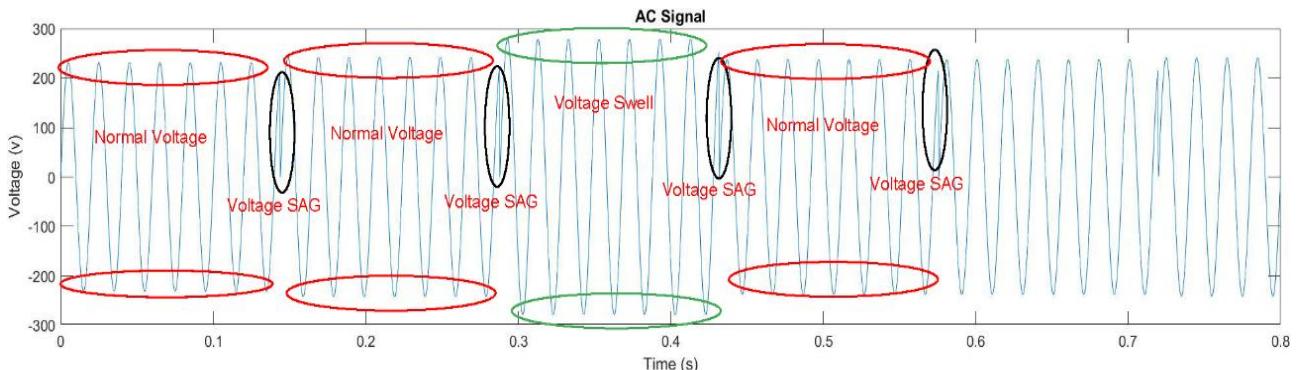
Selanjutnya yaitu melakukan pengujian dengan keadaan berbeban, dimana hasil dapat dilihat pada Gambar 8. Dari hasil pengujian, rentang durasi waktu 0 - 0,14 s gerinda belum aktif sehingga tegangan dalam keadaan kondisi normal ( $V_{rms} = 231,08$  V). Setelah gerinda diaktifkan (gerinda berputar) terjadi *voltage*

SAG ( $V_{rms} = 209,5$  V) dengan penurunan tegangan sebesar 10 % dari tegangan nominal pada waktu 0,1436 s. Pada rentang durasi waktu 0,228 – 0,428 s gerinda tidak diaktifkan (gerinda tidak berputar), keadaan ini adalah transformasi dari gerinda berputar ke gerinda tidak berputar. Efek dari keadaan tersebut terjadinya *voltage*

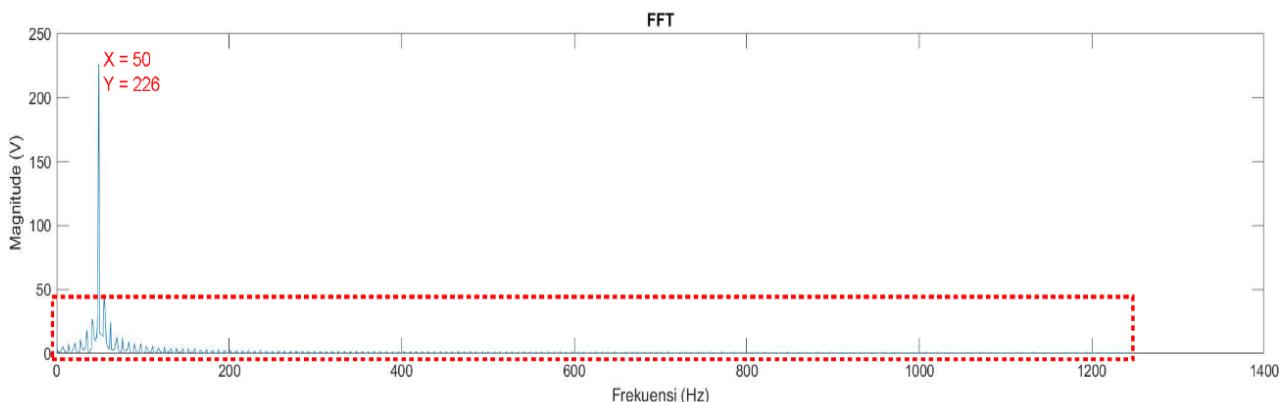
*swell* ( $V_{rms} = 278,75$  V) dengan kenaikan tegangan sebesar 20,6 % dari tegangan nominal. Sehingga dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa pengaruh gerinda dapat membuat terjadinya *voltage SAG* dan *voltage swell*. Kesimpulan kondisi tersebut berdasarkan standar IEEE 1159-1995, dimana *voltage SAG* (penurunan tegangan 10-90% dari tegangan

nominal) dan *voltage swell* (kenaikan tegangan 110-180% dari tegangan nominal).

Dari hasil analisis FFT, dapat dilihat pada Gambar 9. bahwa saat frekuensi fundamental (50 Hz) tegangan rms sebesar 226 V. Berdasarkan standar IEEE 1159-1995 keadaan tersebut dalam kategori tegangan normal. Namun, dapat dianalisa bahwa dari frekuensi sampling 0 – 1250 Hz terdapat  $\Delta v$  (perbedaan magnitude tegangan).



Gambar 8. Plot Hasil Pengujian Tegangan dalam Keadaan Berbeban.



Gambar 9. Plot Hasil FFT Pengujian Tegangan dalam Keadaan Berbeban.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dimana metode FFT telah diimplementasikan untuk monitoring tegangan fluktuasi pada sistem tegangan 1 fasa. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa beban yang bersifat induktif dapat mempengaruhi kualitas tegangan dengan waktu yang singkat. Penelitian ini dapat sebagai monitoring tegangan fluktuasi, dimana pada penelitian ini telah diuji saat dalam keadaan tata beban dan berbeban. Dalam keadaan berbeban dari hasil analisa terjadi

*voltage SAG* sebesar 10% ( $V_{rms} = 209,5$  V; durasi waktu 0,1436 s) dan *voltage swell* sebesar 20,6% ( $V_{rms} = 278,75$  V; durasi waktu 0,228 – 0,428 s). Untuk mendapat gap kontribusi penelitian, penelitian selanjutnya membandingkan metode FFT dengan DFT pada beban 3 fasa.

## Daftar Pustaka

- [1] PLN, “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik,” Jakarta: PLN, 2015.
- [2] R. Naidoo and P. Pillay, “A new method of voltage sag and swell detection,” *IEEE*

- Trans. Power Deliv.*, vol. 22, no. 2, pp. 1056–1063, 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.893185.
- [3] D. Geiger, M. Arechavaleta, M. Halpin, and M. Tremblay, “Evaluating alternatives to voltage fluctuation and flicker measurements based on IEC standard 61000-4-15,” *Proc. - 2016 10th Int. Conf. Compat. Power Electron. Power Eng. CPE-POWERENG 2016*, pp. 53–57, 2016, doi: 10.1109/CPE.2016.7544158.
- [4] J. D. Wang, K. Liu, and Y. J. Gao, “Detection for voltage fluctuation and flicker calculation based on the instantaneous reactive power theory,” *Dianli Xitong Baohu yu Kongzhi/Power Syst. Prot. Control*, vol. 40, no. 2, pp. 145–150, 2012.
- [5] G. S. Maharani, D. Pravitasari, S. Nisworo, T. Elektro, and U. Tidar, “Analisis kualitas daya listrik pada alat bengkel,” 2021.
- [6] Z. Li, J. Shen, P. Wei, and T. Li, “A voltage fluctuation and flicker monitoring system based on wavelet transform,” *Proc. - 2008 Work. Power Electron. Intell. Transp. Syst. PEITS 2008*, pp. 310–314, 2008, doi: 10.1109/PEITS.2008.34.
- [7] R. Kurnia and R. Mukhaiyar, “Implementasi Metode Fast Fourier Transform Pada Sistem Monitoring Voltage Flicker,” *Ranah Res. J.* ..., pp. 16–26, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/view/385> <https://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/downlad/385/350>
- [8] A. I. Standars, *Ieee Standard 1159 - 1995*. 1995. [Online]. Available: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=5154067](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5154067)
- [9] E. O. Brigham, *The Fast Fourier Transform and Its Applications* by E. Oran Brigham, vol. 12. 1988.
- [10] D. T. Kusuma, “Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik,” *Petir*, vol. 14, no. 1, pp. 28–35, 2020, doi: 10.33322/petir.v14i1.1022.