

**DESAIN JARINGAN DISTRIBUSI SEKUNDER MENGGUNAKAN METODE  
RULE-BASED SYSTEM UNTUK MENENTUKAN JENIS GANGGUAN VARIASI  
TEGANGAN JANGKA PENDEK****Dimas Chasanudin Silmi<sup>1</sup>, Unit Three Kartini<sup>2</sup>, Subuh Isnur Haryudo<sup>3</sup>, I Gusti Putu  
Asto Buditjahjanto<sup>4</sup>**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: [dimas.21026@mhs.unesa.ac.id](mailto:dimas.21026@mhs.unesa.ac.id), [unitthree@unesa.ac.id](mailto:unitthree@unesa.ac.id), [subuhisnur@unesa.ac.id](mailto:subuhisnur@unesa.ac.id),  
[asto@unesa.ac.id](mailto:asto@unesa.ac.id)**Abstract (English)**

In its operation, the distribution network is often faced with various disturbances that can affect the power quality received by consumers. Along with the projected increase in the number of consumers on the distribution network, it is necessary to adopt responsive technologies to detect and identify disturbances promptly. This study aims to produce a secondary distribution network design using a rule-based system to identify types of short-duration voltage variation disturbances. There are six input types of short-duration voltage variation disturbances considered in this research: momentary voltage sag, temporary voltage sag, momentary voltage swell, temporary voltage swell, momentary interruption, and temporary interruption. The system generates two outputs: the first is the lamp brightness level, controlled using an AC light dimmer and relay; the second is the disturbance type data displayed in Microsoft Excel via PLX-DAQ. The test results show that the AC light dimmer and relay can adjust the lamp brightness according to the rules applied for each disturbance type. For voltage sag disturbances, the brightness is reduced to 50% of the original 75%; for voltage swell, the brightness increases to 100% of the original 75%; and for interruption disturbances, the lamp is completely turned off. The PLX-DAQ test results show accurate and specific data corresponding to each disturbance input. Data analysis using the MAPE method indicates a very high level of accuracy between the PLX-DAQ test results and manual calculations.

**Abstrak (Indonesia)**

Dalam pengoperasiannya, jaringan distribusi kerap dihadapkan dengan berbagai gangguan yang dapat mempengaruhi kualitas daya yang diterima oleh konsumen. seiring meningkatnya proyeksi jumlah konsumen pada jaringan distribusi maka harus diikuti dengan teknologi yang cepat tanggap dalam mendeteksi dan mengidentifikasi gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain jaringan distribusi sekunder menggunakan metode *rule-based system* untuk mengidentifikasi jenis gangguan variasi tegangan jangka pendek. Terdapat enam input jenis gangguan variasi tegangan jangka pendek dalam pada penelitian ini, yaitu *voltage sag* sesaat, *voltage sag* temporer, *voltage swell* sesaat, *voltage swell* temporer, interupsi sesaat, dan interupsi temporer. Terdapat dua *output* yang dihasilkan, yaitu berupa tingkat pencahayaan lampu yang diatur menggunakan AC *light dimmer* serta relai dan data jenis gangguan yang ditampilkan di *Microsoft Excel* menggunakan PLX-DAQ. Hasil pengujian menunjukkan bahwa AC *light dimmer* dan relai mampu mengatur tingkat pencahayaan lampu sesuai aturan yang diterapkan pada masing-masing input jenis gangguan. Pada jenis gangguan *voltage sag*, tingkat pencahayaan lampu menjadi 50% dari 75%, pada jenis gangguan *voltage swell*, tingkat pencahayaan lampu menjadi 100% dari 75%, dan pada jenis gangguan interupsi lampu padam total. Pengujian PLX-DAQ menunjukkan data yang akurat dan spesifik sesuai input jenis gangguan. Analisis data yang menggunakan metode MAPE menunjukkan tingkat akurasi yang sangat akurat antara data hasil pengujian PLX-DAQ dan perhitungan manual.

**Article History**

Submitted: 22 Juni 2025

Accepted: 25 Juni 2025

Published: 26 Juni 2025

**Key Words**

Secondary Distribution Network, Rule-based System, Power Quality Disturbance, Short-Duration Voltage Variation, Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

**Sejarah Artikel**

Submitted: 22 Juni 2025

Accepted: 25 Juni 2025

Published: 26 Juni 2025

**Kata Kunci**

Jaringan Distribusi Sekunder, Rule-based System, Gangguan Kualitas Daya, Variasi Tegangan Jangka Pendek, Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

## PENDAHULUAN

Jaringan distribusi merupakan bagian penting dari sistem tenaga listrik karena menyediakan energi dari gardu distribusi ke konsumen akhir. Komponen utama jaringan distribusi adalah gardu distribusi dan cabang penyulang[1]. Jaringan ini memiliki pengaruh penting karena berdampak langsung terhadap keandalan dan kualitas layanan, biaya, serta estetika terhadap masyarakat[2]. Dalam pengoperasiannya, jaringan distribusi kerap dihadapkan dengan berbagai gangguan yang dapat mempengaruhi kualitas daya yang diterima oleh konsumen.

Kualitas daya (*power quality*) merupakan salah satu aspek yang sangat diperhatikan dalam sistem tenaga listrik, khususnya pada jaringan distribusi. Kualitas daya mengacu pada karakteristik tegangan, arus, dan frekuensi yang sesuai dengan standar operasi internasional sehingga seluruh peralatan listrik dapat beroperasi dengan optimal[3]. Di antara ketiga variasi tersebut, variasi tegangan adalah yang paling umum terjadi. Gangguan dalam kualitas daya dapat menyebabkan berbagai permasalahan, seperti kerusakan peralatan listrik, penurunan keandalan dan efisiensi energi, hingga biaya perawatan yang berdampak pada sisi ekonomi. Kerugian finansial yang dialami sektor industri eropa akibat rendahnya kualitas daya diperkirakan mencapai 105.000 Euro/tahun dengan solusi penanganan paling mahal mencapai 950.000 Euro untuk variasi tegangan jangka pendek[4].

Variasi tegangan jangka pendek merupakan salah satu fenomena gangguan kualitas daya yang dapat terjadi pada jaringan distribusi. Variasi tegangan jangka pendek berarti nilai RMS (*Root Mean Square*) dari tegangan nominal berubah dengan durasi 0,5 siklus frekuensi daya hingga kurang dari atau sama dengan 1 menit[5]. Jenis gangguan variasi tegangan jangka pendek, meliputi *voltage sag*, *voltage swell*, dan interupsi. Ketiga jenis gangguan ini dapat menyebabkan ketidakstabilan operasional sistem, mengurangi umur peralatan listrik, bahkan merusak perangkat elektronik yang sensitif jika dibiarkan berkelanjutan[6].

Penelitian sebelumnya terkait klasifikasi gangguan variasi tegangan jangka pendek telah menunjukkan hasil yang cukup signifikan. Salah satunya dilakukan oleh Fatma dan kawan-kawan dalam penelitian berjudul *Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using LSTM*, yang menggunakan metode Long Short-Term Memory (LSTM), pengembangan dari Recurrent Neural Network (RNN), untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan gangguan kualitas daya. Penelitian ini menggunakan lima parameter input amplitudo, waktu mulai, waktu berakhir, durasi, dan persentase Total Harmonic Distortion (%THD) dengan dua output berupa bentuk gelombang dan indikator konten harmonik, serta mencapai akurasi sebesar 96,3674% [7]. Sementara itu, Ahmad dan kawan-kawan menerapkan metode Fuzzy Logic pada mikrokontroler untuk mengidentifikasi enam jenis gangguan tegangan secara real-time menggunakan dua input, yaitu magnitude tegangan dan timer, serta satu output berupa jenis gangguan, dengan tingkat akurasi sebesar 99,8% [8]. Walaupun kedua metode ini terbukti akurat, implementasinya memiliki kompleksitas tinggi dan membutuhkan komponen yang relatif mahal, sehingga kurang cocok diterapkan pada desain jaringan distribusi sekunder. Sebagai alternatif, metode *rule-based system* telah diteliti oleh Alex Wenda dalam penelitian berjudul *Identifikasi Gangguan Kualitas Daya Menggunakan S-Transform dan Rule Base Expert System*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode ini dapat secara efektif mengklasifikasikan jenis gangguan dengan akurasi tinggi melalui pendekatan logika berbasis aturan yang mampu merespons variasi input secara efisien [9].

Seiring meningkatnya proyeksi jumlah konsumen pada jaringan distribusi maka harus diikuti dengan teknologi yang cepat tanggap dalam mendeteksi dan mengidentifikasi gangguan[10]. Oleh karena itu, artikel penelitian ini dibuat untuk menghasilkan desain jaringan distribusi sekunder menggunakan metode *rule-based system* untuk mengklasifikasikan *output* jenis gangguan variasi tegangan jangka pendek. Dengan adanya desain jaringan distribusi sekunder ini, diharapkan dapat membantu dalam pengklasifikasian jenis gangguan variasi

tegangan jangka pendek sebagai upaya untuk meningkatkan keandalan dan kualitas daya pada jaringan distribusi sekunder.

### Tinjauan Pustaka

#### Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Jaringan ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan[12]. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV.

#### Jaringan Distribusi Sekunder

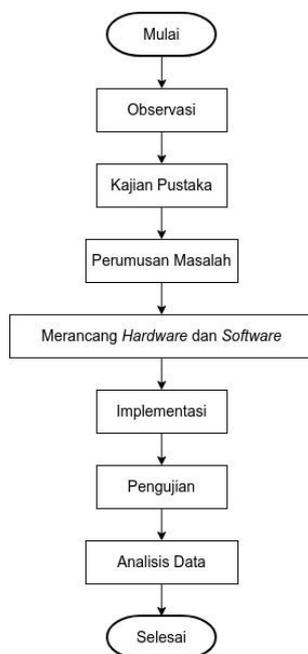
Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah merupakan jaringan yang langsung berhubungan dengan konsumen. Di Indonesia, dalam hal ini PT PLN (Persero) menggunakan sistem tegangan 220/380 Volt. Jaringan ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi[12].

#### Kualitas Daya

Kualitas daya dapat didefinisikan sebagai kondisi kelistrikan yang menunjukkan seberapa dekat tegangan, arus, dan frekuensi sistem tenaga listrik terhadap nilai nominal atau standar yang telah ditetapkan. Masalah pada kualitas daya terjadi ketika terdapat gangguan atau penyimpangan pada tegangan, arus, atau frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan atau kesalahan operasi pada peralatan listrik[13].

#### Gangguan Variasi Tegangan Jangka Pendek

Gangguan variasi tegangan dapat diartikan sebagai penyimpangan dari nilai RMS tegangan dari nilai tegangan nominalnya[14]. Variasi tegangan jangka pendek mencakup *voltage sag*, *voltage swell*, dan interupsi. Setiap jenis gangguan tersebut dapat diklasifikasikan sebagai instan, sesaat, atau temporer. Tabel 1 menjelaskan karakteristik jenis gangguan variasi tegangan jangka pendek yang dapat dikategorikan sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Kategori dan Karakteristik Jenis Gangguan Variasi Tegangan Jangka Pendek

Kategori	Karakteristik Durasi	Karakteristik Magnitudo Tegangan
Variasi Tegangan Jangka Pendek:		
a. Instan		
- <i>Sag</i>	0,5-30 siklus	0,1-0,9 pu
- <i>Swell</i>	0,5-30 siklus	1,1-1,8 pu
b. Sesaat		
- Interupsi	30 siklus-3 s	<0,1 pu
- <i>Sag</i>	30 siklus-3 s	0,1-0,9 pu
- <i>Swell</i>	30 siklus-3 s	1,1-1,4 pu
c. Temporer		
- Interupsi	>3 s-1 menit	<0,1 pu
- <i>Sag</i>	>3 s-1 menit	0,1-0,9 pu
- <i>Swell</i>	>3 s-1 menit	1,1-1,2 pu

### Rule-based System

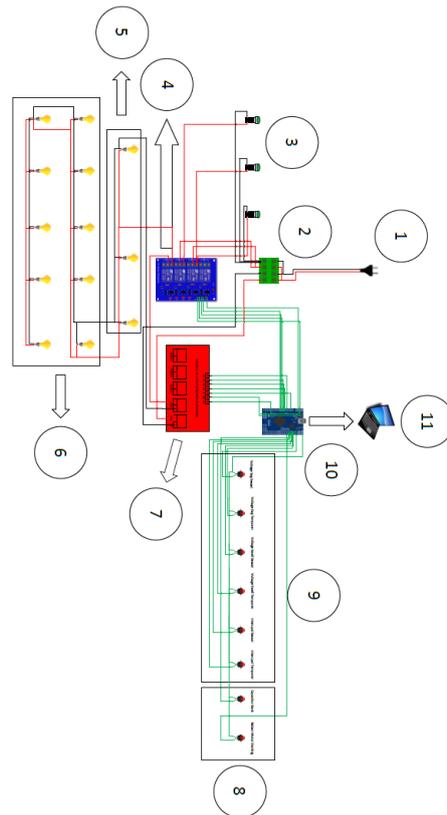
*Rule-based system* merupakan sistem berbasis aturan yang dirancang untuk memecahkan masalah atau menyimpulkan suatu kondisi berdasarkan fakta-fakta yang tersedia atau pengetahuan yang diperoleh dari pakar manusia. Salah satu bentuk aturan yang umum digunakan adalah *If-Then*. Misalnya, *If* suatu kondisi tertentu terpenuhi, *Then* sistem akan mengambil tindakan tertentu[15].

### METODE

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1. Diagram alir penelitian adalah proses berpikir atau tahapan yang dijalankan oleh peneliti untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam penelitian. Penelitian diawali dengan melakukan observasi untuk menentukan lingkup permasalahan. Kemudian, kajian pustaka dilakukan untuk memperoleh informasi lebih dalam terkait penelitian dan menemukan rumusan masalah.

### Perancangan Hardware

Rangkaian skematik *hardware* desain jaringan distribusi sekunder dapat dilihat pada gambar 2. Desain jaringan distribusi sekunder ini dirancang untuk beroperasi dengan sumber tegangan AC 220 V. Terdapat enam tombol input yang masing-masing mewakili jenis gangguan tertentu. Selain itu, tersedia dua tombol tambahan yang mensimulasikan penyebab gangguan pada *voltage sag* dan *swell*, yaitu *starting motor* dengan beban besar dan pemutusan beban besar, serta pengoperasian *capacitor bank* yang menyebabkan *voltage swell*. Seluruh input akan diproses oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pro Mini. *Output* sistem berupa pengaturan intensitas pencahayaan lampu melalui AC *light dimmer* dan relai, serta pengiriman data jenis gangguan ke laptop menggunakan *Microsoft Excel* melalui koneksi kabel micro USB dan bantuan PLX-DAQ. Sebagai tambahan, indikator pilot lamp disertakan untuk menunjukkan aktivasi tombol beban *motor starting* dan *capacitor bank*.



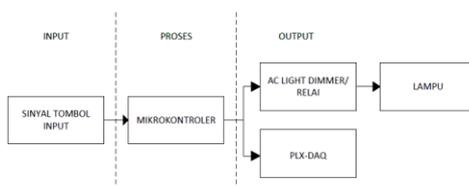
Gambar 2. Rangkaian Skematik *Hardware* Desain Jaringan Distribusi Sekunder

Keterangan gambar:

1. *Power plug* 220 V
2. Terminal blok 4 pin
3. *Pilot lamp*
4. Relai 4 *channel*
5. Satu buah lampu pijar untuk konsumen golongan sosial (masjid) dan dua buah lampu pijar untuk konsumen golongan industri
6. Sepuluh buah lampu pijar untuk konsumen golongan rumah tangga
7. Modul AC *light dimmer* 4 *channel*
8. Dua tombol untuk penyebab gangguan *switching capacitor bank* dan *motor starting* dengan indikator *pilot lamp*
9. Enam tombol input jenis gangguan, yaitu yaitu *voltage sag* sesaat, *voltage sag* temporer, *voltage swell* sesaat, *voltage swell* temporer, interupsi sesaat, dan interupsi temporer
10. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pro Mini
11. Laptop.

## Perancangan *Software*

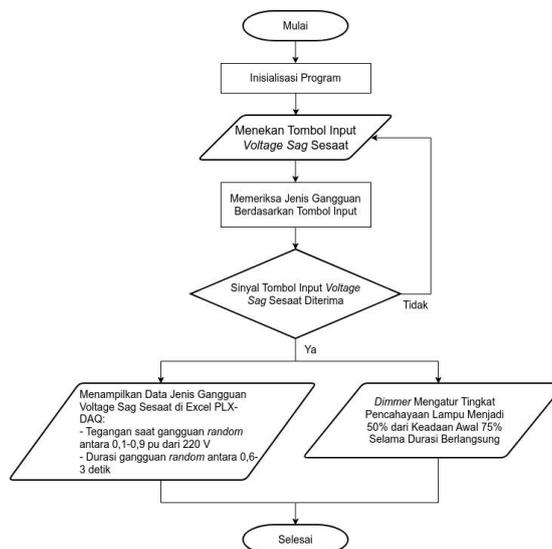
Perancangan software desain jaringan distribusi sekunder ditunjukkan pada gambar 3. Pemrograman mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Tahap awal pemrograman melibatkan pembuatan kode untuk enam tombol input yang merepresentasikan masing-masing jenis gangguan variasi tegangan jangka pendek. Selanjutnya, program dikembangkan dengan menerapkan aturan-aturan dalam metode rule-based system. Tujuan dari program ini adalah untuk menentukan output yang akan ditampilkan berdasarkan sinyal yang diterima dari tombol input yang ditekan.



Gambar 3. Perancangan *Software* Desain Jaringan Distribusi Sekunder

## Implementasi

Setelah melakukan perancangan *hardware* dan *software*, tahap selanjutnya adalah melakukan implementasi sistem. Bentuk implementasi yang dilakukan adalah masih dalam bentuk prototipe. Diagram alir sistem pada kondisi pertama dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Sistem pada Kondisi Pertama

Penjelasan mengenai diagram alir sistem pada gambar 4. Adalah sebagai berikut:

### 1. Inisialisasi program

Pada tahap ini, power plug disambungkan ke sumber tegangan 220 V dan mikrokontroler ke laptop untuk koneksi PLX-DAQ, lalu program menginisialisasi pin tombol input, AC light dimmer, dan relai, serta menyalakan lampu dengan pencahayaan awal 75%.

### 2. Menekan tombol input *voltage sag* sesaat

Terdapat enam tombol input untuk setiap jenis gangguan, dan saat tombol *voltage sag* sesaat ditekan, sirkuit tertutup dan mengirim sinyal ke mikrokontroler untuk memicu

sistem menjalankan aturan sesuai kondisi *voltage sag* sesaat pada metode *rule-based system*.

### 3. Memeriksa jenis gangguan berdasarkan tombol input

Sistem membaca tombol input *voltage sag* sesaat yang ditekan. Kemudian, sistem akan menggunakan metode *rule-based* untuk mengidentifikasi jenis gangguan. Dalam hal ini, sistem mengidentifikasi bahwa tombol yang ditekan adalah *voltage sag* sesaat.

### 4. Sinyal tombol input *voltage sag* sesaat diterima

Dalam langkah ini, terdapat dua kondisi yang akan menentukan langkah selanjutnya, yaitu sinyal diterima atau tidak diterima. Jika sinyal tidak diterima maka pengguna harus mengulang menekan tombol input *voltage sag* sesaat. Hal ini dapat disebabkan oleh terputusnya koneksi atau tombol belum tertekan dengan benar sehingga sirkuit belum terhubung. Sedangkan, jika sinyal diterima maka sistem akan mengeksekusi tindakan sesuai dengan aturan yang telah diterapkan pada kondisi *voltage sag* sesaat.

### 5. Pengolahan *output*

Sinyal dari tombol input *voltage sag* sesaat telah diterima dan diproses oleh mikrokontroler untuk mengklasifikasikan *output* jenis gangguan *voltage sag* sesaat pada PLX-DAQ dan tingkat pencahayaan lampu menggunakan metode *rule-based system*. Pemodelan program *rule-based system* yang digunakan pada mikrokontroler ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Program *Rule-based System* yang Digunakan pada Mikrokontroler

No.	Logika <i>Rule-based System</i>
	IF Sinyal tombol <i>voltage sag</i> sesaat diterima
1	THEN tingkat pencahayaan lampu 50% selama 0,6-3 detik dan menampilkan data jenis gangguan <i>voltage sag</i> sesaat
	IF Sinyal tombol <i>voltage sag</i> temporer diterima
2	THEN tingkat pencahayaan lampu 50% selama 3 detik-1 menit dan menampilkan data jenis gangguan <i>voltage sag</i> temporer
	IF Sinyal tombol <i>voltage swell</i> sesaat diterima
3	THEN tingkat pencahayaan lampu 100% selama 0,6-3 detik dan menampilkan data jenis gangguan <i>voltage swell</i> sesaat
	IF Sinyal tombol <i>voltage swell</i> temporer diterima
4	THEN tingkat pencahayaan lampu 100% 3 detik-1 menit dan menampilkan data jenis gangguan <i>voltage swell</i> temporer
	IF Sinyal tombol interupsi sesaat diterima
5	THEN lampu padam selama 0,6-3 detik dan menampilkan data jenis gangguan interupsi sesaat
	IF Sinyal tombol interupsi temporer diterima
6	THEN lampu padam selama 3 detik-1 menit dan menampilkan data jenis gangguan interupsi temporer

## Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan kinerja sistem telah berjalan dengan baik sesuai dengan rancangan yang dibuat. Pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

### 1. Pengujian AC *light dimmer* dan relai

Pengujian AC *light dimmer* dilakukan untuk memastikan tingkat pencahayaan yang diberikan sesuai. Lampu yang dikendalikan tingkat pencahayaannya oleh *dimmer* harus dapat menaikkan atau menurunkan tingkat pencahayaan selama durasi berlangsung. Adapun tingkat pencahayaan yang diinginkan adalah 50% dari kondisi awal 75% ketika

terjadi *voltage sag* dan 100% dari kondisi awal 75% ketika terjadi *voltage swell*. Sedangkan, pada relai akan diuji ketepatannya saat terjadi interupsi. Relai harus dapat mematikan lampu selama durasi berlangsung ketika tombol input interupsi sesaat atau interupsi temporer ditekan.

## 2. Pengujian klasifikasi PLX-DAQ

Pada pengujian klasifikasi PLX-DAQ, variabel yang akan diamati adalah besaran tegangan dan durasi gangguan. Tegangan dalam per unit (p.u.) dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_{pu} = \frac{V_{gangguan}}{V_{nominal}} \quad (1)$$

Kemudian, durasi gangguan akan diamati kesesuaiannya dengan kategori atau klasifikasi jenis gangguan variasi tegangan jangka pendek yang dapat dilihat pada tabel 2. PLX-DAQ juga akan diuji ketepatannya untuk memunculkan data jenis gangguan setelah durasi gangguan selesai.

### Analisis Data

Pada tahap akhir, dilakukan analisis data untuk menilai akurasi dari output masing-masing jenis gangguan. Nilai tegangan per unit yang diperoleh melalui pengujian menggunakan PLX-DAQ akan dibandingkan dengan hasil perhitungan manual. Penelitian ini menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebagai alat analisis. MAPE berfungsi untuk menghitung rata-rata persentase kesalahan absolut, yang menggambarkan seberapa besar penyimpangan antara nilai prediksi dan data sebenarnya dalam bentuk persentase. Dalam konteks ini, data hasil perhitungan manual dianggap sebagai nilai aktual, sedangkan data dari PLX-DAQ merupakan nilai prediksi. Nilai MAPE yang lebih kecil menunjukkan bahwa prediksi memiliki tingkat kesalahan yang rendah dan akurasi yang tinggi. Pendekatan ini digunakan untuk memverifikasi bahwa data tegangan per unit yang dihasilkan oleh PLX-DAQ telah sesuai dengan logika yang diterapkan dalam metode sistem berbasis aturan (*rule-based system*). Dengan demikian, keakuratan sistem dapat dievaluasi dalam merepresentasikan nilai tegangan per unit sesuai hasil perhitungan manual. Bentuk rumus untuk menghitung MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (2)$$

Di mana:

- $y_i$  = Data dari perhitungan manual ke-i
- $\hat{y}_i$  = Data dari pengujian PLX-DAQ ke-i
- $n$  = Jumlah data

Tingkat akurasi pada penelitian ini dianalisis menggunakan satu metrik utama, yaitu MAPE. Setelah itu, masing-masing hasil pengujian akan dikategorikan berdasarkan tingkat akurasi. Kategori tingkat akurasi MAPE diperlihatkan pada tabel 3 berikut:

Nilai MAPE	Tingkat Akurasi
<10%	Sangat Akurat
10% - 20%	Akurat
20% - 50%	Cukup Akurat
>50%	Tidak Akurat

**HASIL DAN PEMBAHASAN****Hasil Desain Jaringan Distribusi Sekunder**

Hasil desain jaringan distribusi sekunder dapat dilihat pada gambar 5. Desain jaringan distribusi sekunder yang dimaksud adalah rancangan *hardware* dan *software* yang telah diimplementasikan.



Gambar 5. Hasil Desain Jaringan Distribusi Sekunder

**Hasil Pengujian AC Light Dimmer dan Relai**

Setiap kondisi tingkat pencahayaan lampu yang dikendalikan melalui AC *light dimmer* dan relai merepresentasikan kondisi umum yang terjadi saat terjadi gangguan tegangan jangka pendek pada jaringan distribusi sekunder. Dalam desain jaringan distribusi sekunder ini, juga disertakan miniatur yang disesuaikan dengan kategori konsumen, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Tampilan output berupa intensitas pencahayaan lampu dirancang untuk memberikan pemahaman visual yang lebih jelas terhadap masing-masing jenis gangguan yang diinputkan. Tabel 4 menyajikan respon tingkat pencahayaan lampu berdasarkan jenis gangguan yang dimasukkan.

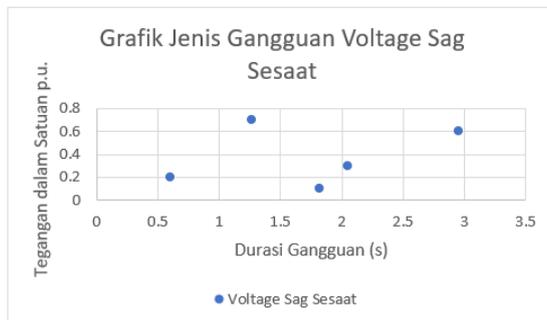
Tabel 4. Respon Kondisi Tingkat Pencahayaan Lampu Berdasarkan Input Jenis Gangguan

No.	Jenis Gangguan	Komponen yang Bekerja	Tingkat Pencahayaan Lampu	Durasi
1	<i>Voltage Sag</i> Sesaat	AC Light Dimmer	50% dari kondisi awal 75%	Random antara 0,6-3 detik
2	<i>Voltage Sag</i> Temporer	AC Light Dimmer	50% dari kondisi awal 75%	Random antara 3 detik-1 menit
3	<i>Voltage Swell</i> Sesaat	AC Light Dimmer	100% dari kondisi awal 75%	Random antara 0,6-3 detik
4	<i>Voltage Swell</i> Temporer	AC Light Dimmer	100% dari kondisi awal 75%	Random antara 3 detik-1 menit
5	Interupsi Sesaat	Relai	Padam total	Random antara 0,6-3 detik
6	Interupsi Temporer	Relai	Padam total	Random antara 3 detik-1 menit

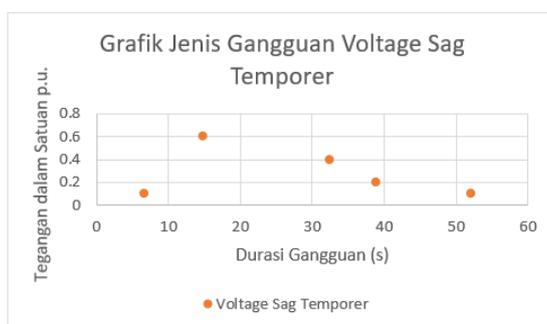
**Hasil Pengujian Klasifikasi PLX-DAQ**

Untuk memastikan keakuratan data yang ditampilkan oleh PLX-DAQ, sistem akan diuji berdasarkan masing-masing input dari jenis gangguan. Setiap jenis gangguan, yaitu *voltage sag* sesaat, *voltage sag* temporer, *voltage swell* sesaat, *voltage swell* temporer, interupsi sesaat, dan interupsi temporer akan diuji dengan pengambilan sebanyak 5 data. Selanjutnya, dilakukan perhitungan manual nilai tegangan per unit menggunakan persamaan (1) dan hasilnya dibandingkan dengan data yang diperoleh melalui metode *rule-based system* dalam proses

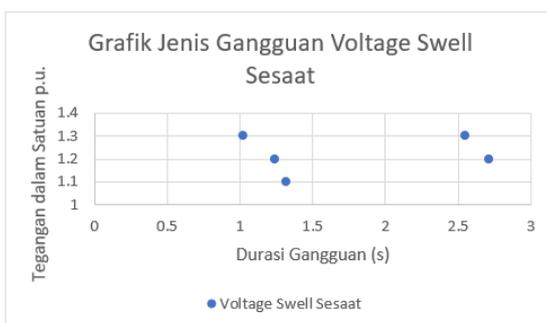
analisis data. Seluruh proses pengambilan data dilakukan pada hari yang sama, dengan interval waktu pengambilan data setiap dua menit. Hasil pengujian tiap input tombol jenis gangguan dapat dilihat pada gambar 6-11.



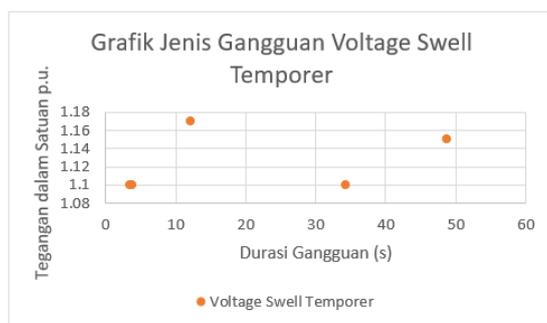
Gambar 6. Data Jenis Gangguan *Voltage Sag Sesaat*



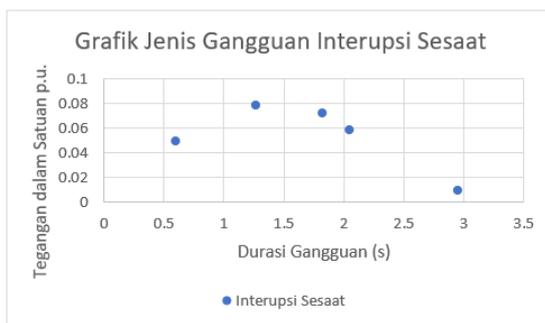
Gambar 7. Data Jenis Gangguan *Voltage Sag Temporer*



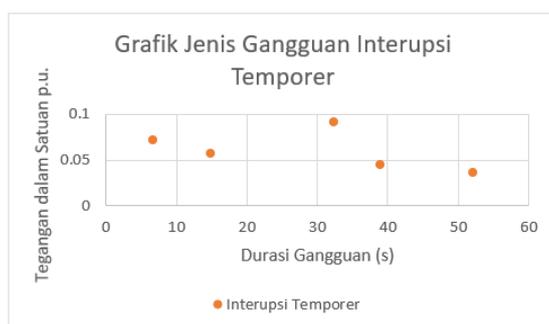
Gambar 8. Data jenis Gangguan *Voltage Swell Sesaat*



Gambar 9. Data Jenis Gangguan *Voltage Swell Temporer*



Gambar 10. Data Jenis Gangguan Interupsi Sesaat



Gambar 11. Data Jenis Gangguan Interupsi Temporer

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 6-11 menunjukkan hubungan antara durasi gangguan dengan tegangan dalam satuan per unit. Semakin lama durasi tidak mempengaruhi tegangan per unit semakin naik atau turun sehingga fluktuasi tetap dapat terjadi.

Untuk memastikan kebenaran data *output* besaran tegangan per unit maka akan dihitung menggunakan persamaan (1) pada 5 data untuk masing-masing jenis gangguan. Hasil perhitungan tiap jenis gangguan dapat dilihat pada tabel 5-10. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mengetahui tegangan per unit menggunakan persamaan (1):

$$V_{pu} = \frac{44}{220} = 0,2 \text{ p.u.}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan  $V_{pu}$  Jenis Gangguan *Voltage Sag* Sesaat

No.	Perhitungan	Hasil
1	$V_{pu} = \frac{44}{220}$	0.2 p.u.
2	$V_{pu} = \frac{66}{220}$	0.3 p.u.
3	$V_{pu} = \frac{22}{220}$	0.1 p.u.
4	$V_{pu} = \frac{154}{220}$	0.7 p.u.
5	$V_{pu} = \frac{132}{220}$	0.6 p.u.

Tabel 6. Hasil Perhitungan  $V_{pu}$  Jenis Gangguan *Voltage Sag* Temporer

No.	Perhitungan	Hasil
1	$V_{pu} = \frac{22}{220}$	0.1 p.u.
2	$V_{pu} = \frac{22}{220}$	0.1 p.u.
3	$V_{pu} = \frac{44}{220}$	0.2 p.u.
4	$V_{pu} = \frac{88}{220}$	0.4 p.u.
5	$V_{pu} = \frac{132}{220}$	0.6 p.u.

Tabel 7. Hasil Perhitungan  $V_{pu}$  Jenis Gangguan *Voltage Swell* Sesaat

No.	Perhitungan	Hasil
1	$V_{pu} = \frac{264}{220}$	1.2 p.u.
2	$V_{pu} = \frac{264}{220}$	1.2 p.u.
3	$V_{pu} = \frac{286}{220}$	1.3 p.u.
4	$V_{pu} = \frac{286}{220}$	1.3 p.u.
5	$V_{pu} = \frac{242}{220}$	1.1 p.u.

Tabel 8. Hasil Perhitungan  $V_{pu}$  Jenis Gangguan *Voltage Swell* Temporer

No.	Perhitungan	Hasil
1	$V_{pu} = \frac{242}{220}$	1.1 p.u.
2	$V_{pu} = \frac{242}{220}$	1.1 p.u.
3	$V_{pu} = \frac{242}{220}$	1.1 p.u.
4	$V_{pu} = \frac{253}{220}$	1.15 p.u.
5	$V_{pu} = \frac{257.4}{220}$	1.17 p.u.

Tabel 9. Hasil Perhitungan  $V_{pu}$  Jenis Gangguan Interupsi Sesaat

No.	Perhitungan	Hasil
1	$V_{pu} = \frac{10.78}{220}$	0.049 p.u.
2	$V_{pu} = \frac{12.76}{220}$	0.058 p.u.
3	$V_{pu} = \frac{15.84}{220}$	0.072 p.u.
4	$V_{pu} = \frac{17.16}{220}$	0.078 p.u.
5	$V_{pu} = \frac{1.98}{220}$	0.009 p.u.

Tabel 10. Hasil Perhitungan  $V_{pu}$  Jenis Gangguan Interupsi Temporer

No.	Perhitungan	Hasil
1.	$V_{pu} = \frac{15.84}{220}$	0.072 p.u.
2.	$V_{pu} = \frac{7.92}{220}$	0.036 p.u.
3.	$V_{pu} = \frac{9.9}{220}$	0.045 p.u.

4.	$V_{pu} = \frac{20.02}{220}$	0.091 p.u.
5.	$V_{pu} = \frac{12.54}{220}$	0.057 p.u.

### Analisis Data Hasil Pengujian

Evaluasi akurasi metode *rule-based system* dilakukan melalui analisis data dari pengujian. Desain jaringan distribusi sekunder menggunakan enam tombol input gangguan variasi tegangan jangka pendek yang mengikuti aturan dalam *rule-based system*. Setiap tombol berhasil menghasilkan output berupa tingkat pencahayaan lampu dan data tegangan per unit pada PLX-DAQ. Data ini kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan manual menggunakan metode MAPE (Mean Absolute Percentage Error) untuk mengetahui rata-rata persentase kesalahan absolut. Semakin kecil nilai MAPE, semakin akurat sistem merepresentasikan data manual. Nilai MAPE yang diperoleh diklasifikasikan sesuai tingkat akurasi pada Tabel 3. Hasil perbandingan data ditampilkan pada Tabel 11-16. Berikut adalah contoh perhitungan MAPE menggunakan persamaan (2):

Diketahui data aktual dan prediksi:

- Data  $V_{pu}$  dari perhitungan manual (aktual) =  $y_i = [0.2, 0.3, 0.1, 0.7, 0.6]$
- Data  $V_{pu}$  dari pengujian PLX-DAQ (prediksi) =  $\hat{y}_i = [0.2, 0.3, 0.1, 0.7, 0.6]$

Sehingga diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{100\%}{5} \times (0+0+0+0+0) = 0\%$$

Tabel 11. Perhitungan MAPE Jenis Gangguan *Voltage Sag* Sesaat

No.	Data $V_{pu}$ Perhitungan Manual ( $y_i$ )	Data $V_{pu}$ Pengujian PLX-DAQ ( $\hat{y}_i$ )	Selisih Absolut	Persentase Error (%)
1	0.2 p.u.	0.2 p.u.	0	0%
2	0.3 p.u.	0.3 p.u.	0	0%
3	0.1 p.u.	0.1 p.u.	0	0%
4	0.7 p.u.	0.7 p.u.	0	0%
5	0.6 p.u.	0.6 p.u.	0	0%

Tabel 12. Perhitungan MAPE Jenis Gangguan *Voltage Sag* Temporer

No.	Data $V_{pu}$ Perhitungan Manual ( $y_i$ )	Data $V_{pu}$ Pengujian PLX-DAQ ( $\hat{y}_i$ )	Selisih Absolut	Persentase Error (%)
1	0.1 p.u.	0.1 p.u.	0	0%
2	0.1 p.u.	0.1 p.u.	0	0%
3	0.2 p.u.	0.2 p.u.	0	0%

4	0.4 p.u.	0.4 p.u.	0	0%
5	0.6 p.u.	0.6 p.u.	0	0%

Tabel 13. Perhitungan MAPE Jenis Gangguan *Voltage Swell* Sesaat

No.	Data $V_{pu}$ Perhitungan Manual ( $y_i$ )	Data $V_{pu}$ Pengujian PLX-DAQ ( $\hat{y}_i$ )	Selisih Absolut	Persentase Error (%)
1	1.2 p.u.	1.2 p.u.	0	0%
2	1.2 p.u.	1.2 p.u.	0	0%
3	1.3 p.u.	1.3 p.u.	0	0%
4	1.3 p.u.	1.3 p.u.	0	0%
5	1.1 p.u.	1.1 p.u.	0	0%

Tabel 14. Perhitungan MAPE Jenis Gangguan *Voltage Swell* Temporer

No.	Data $V_{pu}$ Perhitungan Manual ( $y_i$ )	Data $V_{pu}$ Pengujian PLX-DAQ ( $\hat{y}_i$ )	Selisih Absolut	Persentase Error (%)
1	1.1 p.u.	1.1 p.u.	0	0%
2	1.1 p.u.	1.1 p.u.	0	0%
3	1.1 p.u.	1.1 p.u.	0	0%
4	1.15 p.u.	1.15 p.u.	0	0%
5	1.17 p.u.	1.17 p.u.	0	0%

Tabel 15. Perhitungan MAPE Jenis Gangguan Interupsi Sesaat

No.	Data $V_{pu}$ Perhitungan Manual ( $y_i$ )	Data $V_{pu}$ Pengujian PLX-DAQ ( $\hat{y}_i$ )	Selisih Absolut	Persentase Error (%)
1	0.049 p.u.	0.049 p.u.	0	0%
2	0.058 p.u.	0.058 p.u.	0	0%
3	0.072 p.u.	0.072 p.u.	0	0%
4	0.078 p.u.	0.078 p.u.	0	0%
5	0.009 p.u.	0.009 p.u.	0	0%

Tabel 16. Perhitungan MAPE Jenis Gangguan Interupsi Temporer

No.	Data $V_{pu}$ Perhitungan Manual ( $y_i$ )	Data $V_{pu}$ Pengujian PLX-DAQ ( $\hat{y}_i$ )	Selisih Absolut	Persentase Error (%)
1	0.072 p.u.	0.072 p.u.	0	0%
2	0.036 p.u.	0.036 p.u.	0	0%
3	0.045 p.u.	0.045 p.u.	0	0%
4	0.091 p.u.	0.091 p.u.	0	0%
5	0.057 p.u.	0.057 p.u.	0	0%

Data *output* dari desain jaringan distribusi sekunder yang dihasilkan menggunakan metode *rule-based system* telah memberikan hasil yang memuaskan. Berdasarkan lima perbandingan data hasil perhitungan manual dan pengujian PLX-DAQ pada masing-masing input jenis gangguan memiliki nilai MAPE yang rendah hingga mencapai 0%. Hal ini menunjukkan bahwa data tegangan per unit yang dihasilkan pada masing-masing input jenis gangguan berada pada kategori tingkat akurasi yang sangat akurat. Dengan demikian, sistem dapat dikatakan

mampu membuktikan keakuratannya dalam merepresentasikan data hasil perhitungan sesungguhnya.

## **PENUTUP** **Kesimpulan**

Desain jaringan distribusi sekunder yang menggunakan metode *rule-based system* untuk menentukan jenis gangguan variasi tegangan jangka pendek telah berhasil dikembangkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *AC light dimmer* dan relai dapat mengatur tingkat pencahayaan lampu sesuai aturan yang diberikan. Kemudian pada pengujian PLX-DAQ, data yang diberikan telah sesuai dan spesifik untuk masing-masing jenis gangguan. Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan menggunakan metode MAPE menunjukkan data output tegangan per unit dari hasil perhitungan manual dengan pengujian PLX-DAQ yang dibandingkan memiliki tingkat akurasi yang sangat akurat.

## **Saran**

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, terdapat beberapa saran dari penulis untuk mengembangkan penelitian serupa, antara lain:

1. Untuk penelitian di masa depan, jenis gangguan kualitas daya yang lain dapat dikembangkan. Misalnya, variasi tegangan jangka panjang, ketidakseimbangan tegangan dan arus, transien, dll.
2. Lingkup penelitian dapat diperluas atau difokuskan pada komponen sistem tenaga listrik yang lain, seperti pada jaringan distribusi primer, sistem transmisi, dan sistem pembangkitan.
3. Seiring berkembangnya teknologi dan kecerdasan buatan maka penelitian selanjutnya dapat menerapkan metode lain yang lebih kompleks dan mengikuti perkembangan kondisi lapangan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Shahniah, F., Arefi, A., Ledwich, G. (2018). *Electric Distribution Network Planning. Power Systems*. Springer, Singapore. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7056-3>.
- [2] Short, T. A. (2004). *Electric Power Distribution Handbook*. 1st Edition. CRC Press.
- [3] Bollen, M. H. J. (2000). *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. Wiley-IEEE Press.
- [4] Beleiu, H. G., Beleiu, I. N., Pavel, S. G., Darab, C. P. (2018). Management of Power Quality Issues from an Economic Point of View. *Sustainability* 10(7), 2326. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10072326>.
- [5] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2009). 1159-2009 – IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2009.5154067>.
- [6] Zaro, F. R., Abido, M. A., Ameenuddin, S., Elamin, I. M. (2012). Characterization of Short-duration Voltage Events. *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, Kota Kinabalu, Malaysia, pp. 650-654. DOI: <https://doi.org/10.1109/PECon.2012.6450294>.
- [7] Dekhandji, F. Z., Recioui, A., Ladada, A., Brahim, T. S. M. (2023). Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using LSTM. *Engineering Proceedings*, 29(1), 2. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2023029002>.
- [8] Syahrin, A. A., Anggriawan, D. O., Prasetyono, E. (2020). Implementasi Fuzzy Logic untuk Identifikasi Jenis Gangguan Tegangan Secara Real Time. *Jurnal Rekayasa ElektriKa* Vol. 16, No. 3, hal. 176-184. DOI: 10.17529/jre.v16i3.17692.
- [9] Wenda, A. (2014). Identifikasi Gangguan Kualitas Daya Menggunakan S-Transform dan Rule Base Expert System. *Alaf Riau – Pekanbaru*.

- [10] PT PLN (Persero). (2021). Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030. [Daring]. Tersedia pada: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2021/10/ruptl-2021-2030.pdf>.
- [11] Suswanto, D. (2009). Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Edisi Pertama. Padang: Universitas Negeri padang.
- [12] Suhadi, dkk. (2008). Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [13] Subrahmanyam, KBVSR., Vedik, B., Kumar, M. P., Dhanraj, K. (2018). A Study on the Issues of Power Quality in Power Systems. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.24): 525-528. DOI: <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.24.22806>.
- [14] Dugan, dkk. (2004). *Electrical Power Systems Quality*. Second Edition. McGraw-Hill.
- [15] Mammadova, M., Bayramov, N., Jabrayilova, Z. (2021). Development of the Principles of Fuzzy Rule-based System for Hepatocellular Carcinoma Staging. *Eureka: Physics and Engineering*, No. 3, pp. 3-13. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001829>.