

Analisis *Error* Pembacaan Tegangan DC pada Kondisi *Overvoltage* dan *Undervoltage* Menggunakan Input Analog PLC

Adhityo Samola¹, Arnold Kalalo², Fanny Doringin³, Sukandar Sawidin⁴, Muchdar Patabo⁵, Maruto Loegimin⁶
^{1,2,3,4,5,6}Politeknik Negeri Manado, Manado, 95258
e-mail: vallentadhityo@gmail.com

Abstrak— Monitoring tegangan merupakan aspek penting dalam sistem kelistrikan untuk menjaga kestabilan operasi serta mencegah kerusakan pada peralatan listrik. Pada sistem berbasis Programmable Logic Controller (PLC), pembacaan tegangan dilakukan melalui modul input analog yang mengubah sinyal analog menjadi data digital, yang selanjutnya diproses menggunakan metode *scaling* untuk memperoleh nilai tegangan aktual. Proses konversi ini berpotensi menimbulkan error akibat keterbatasan resolusi input analog, noise, serta toleransi perangkat pengukuran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat error pembacaan tegangan DC menggunakan input analog PLC pada kondisi *overvoltage* dan *undervoltage*. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan membandingkan tegangan referensi dari *adjustable power supply* terhadap hasil pembacaan PLC pada beberapa variasi tegangan. Tegangan referensi dikonversi ke dalam skala tegangan aktual menggunakan pendekatan linear, kemudian dianalisis menggunakan metode persentase error. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai error berada pada rentang 0% hingga 1,38%, dengan nilai rata-rata sebesar sekitar 0,96%, dan nilai tertinggi terjadi pada kondisi *overvoltage*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi yang baik, dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil dan stabil. Dengan demikian, sistem monitoring berbasis PLC layak digunakan untuk aplikasi monitoring tegangan dengan tingkat kesalahan yang masih dalam batas toleransi pengukuran.

Kata kunci: *PLC, input analog, monitoring tegangan, error pembacaan, overvoltage*

Abstract— Voltage monitoring is an important aspect in electrical systems to maintain operational stability and prevent damage to electrical equipment. In systems based on Programmable Logic Controller (PLC), voltage measurement is carried out through an analog input module that converts analog signals into digital data, which is then processed using a scaling method to obtain the actual voltage value. This conversion process has the potential to produce errors due to the limitations of analog input resolution, noise, and measurement device tolerances. This study aims to analyze the error level of DC voltage readings using PLC analog input under *overvoltage* and *undervoltage* conditions. The method used is an experimental approach by comparing the reference voltage from an adjustable power supply with the PLC reading results at several voltage variations. The reference voltage is converted into an actual voltage scale using a linear approach, then analyzed using the percentage error method. The results show that the error value ranges from 0% to 1.38%, with an average value of approximately 0.96%, and the highest error occurs under *overvoltage* conditions. This indicates that the system has good accuracy with relatively small and stable error levels. Therefore, the PLC-based voltage monitoring system is feasible for voltage monitoring applications with an acceptable level of measurement error.

Keywords: *PLC, analog input, voltage monitoring, measurement error, overvoltage*

I. PENDAHULUAN

Monitoring tegangan merupakan aspek penting dalam sistem kelistrikan untuk menjaga kestabilan operasi serta mencegah kerusakan pada peralatan listrik. Ketidakesesuaian tegangan, baik dalam bentuk *overvoltage* maupun *undervoltage*, dapat menyebabkan penurunan kinerja, memperpendek umur peralatan, hingga menimbulkan kerusakan permanen, sehingga diperlukan sistem monitoring yang akurat dan andal [1].

Seiring perkembangan otomasi industri, penggunaan Programmable Logic Controller (PLC) tidak hanya berfungsi sebagai sistem kontrol, tetapi juga sebagai sistem monitoring parameter listrik secara real-time [2]. PLC mampu membaca sinyal analog melalui modul input analog yang kemudian dikonversi menjadi data digital untuk diproses sesuai kebutuhan sistem [3]. Dalam implementasinya, sinyal tegangan yang masuk ke PLC akan melalui proses konversi dan *scaling* agar dapat

direpresentasikan dalam satuan tegangan aktual yang mudah dianalisis [4].

Meskipun demikian, proses konversi dari sinyal analog ke digital berpotensi menimbulkan kesalahan pengukuran (error). Error tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan resolusi input analog, adanya gangguan (noise) pada sinyal, serta toleransi dari perangkat pengukuran yang digunakan [5]. Selain itu, karakteristik pembacaan sistem juga dapat berubah pada kondisi tegangan tertentu, khususnya pada kondisi overvoltage dan undervoltage, yang berpotensi mempengaruhi tingkat akurasi sistem monitoring [6].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis PLC memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam membaca parameter listrik, namun masih terdapat perbedaan antara nilai referensi dan nilai hasil pembacaan sistem yang perlu dianalisis lebih lanjut [7]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang secara khusus mengkaji tingkat error pembacaan tegangan pada berbagai kondisi operasi untuk mengetahui performa sistem secara menyeluruh.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat error pembacaan tegangan DC menggunakan input analog PLC pada kondisi overvoltage dan undervoltage. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat akurasi sistem monitoring berbasis PLC serta menjadi referensi dalam pengembangan sistem monitoring tegangan yang lebih andal pada aplikasi laboratorium maupun industri.

Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis error pembacaan tegangan DC secara spesifik pada kondisi overvoltage dan undervoltage menggunakan input analog PLC. Penelitian ini tidak hanya melakukan monitoring tegangan, tetapi juga menganalisis tingkat akurasi sistem berdasarkan perbandingan antara tegangan referensi dan hasil pembacaan PLC pada berbagai kondisi operasi.

II. STUDI PUSTAKA

A. Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan perangkat kontrol berbasis mikroprosesor yang digunakan secara luas dalam sistem otomatisasi industri untuk menggantikan sistem kontrol konvensional berbasis relay. PLC memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas pemrograman, keandalan, serta kemampuan dalam memproses data secara real-time [3]. Dalam sistem kelistrikan, PLC tidak hanya berfungsi sebagai pengendali, tetapi juga dapat digunakan sebagai sistem monitoring untuk membaca parameter listrik seperti tegangan dan arus.

PLC bekerja dengan membaca sinyal input, memproses data sesuai dengan program yang telah dibuat, dan menghasilkan output yang sesuai dengan logika yang ditentukan. Kemampuan ini menjadikan PLC sangat efektif dalam aplikasi monitoring dan kontrol pada sistem industri. Pada penelitian ini PLC yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. PLC Omron CP1E NA20DR-A

B. Input analog pada PLC

Input analog pada PLC digunakan untuk membaca sinyal analog yang berasal dari sensor atau sumber tegangan, seperti tegangan DC maupun arus listrik. Sinyal analog tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi data digital melalui proses analog-to-digital conversion (ADC) agar dapat diproses oleh sistem PLC [4], [5].

Hasil dari proses ADC berupa data digital yang masih dalam bentuk nilai mentah (raw data). Nilai ini bergantung pada resolusi modul input analog yang digunakan. Semakin tinggi resolusi, maka semakin kecil perubahan sinyal yang dapat dideteksi, sehingga meningkatkan ketelitian pembacaan. Konfigurasi untuk input analog pada PLC ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Input Analog pada PLC Omron CP1E NA20DR-A

C. Scaling pada Input Analog PLC

Scaling merupakan proses konversi nilai digital hasil pembacaan input analog menjadi nilai yang sesuai dengan satuan teknik, seperti volt. Proses ini diperlukan karena nilai digital hasil ADC tidak langsung merepresentasikan nilai tegangan sebenarnya. Secara umum, scaling dilakukan menggunakan hubungan linear antara nilai input dan output, yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$V = \frac{X}{X_{max}} \times V_{max} \quad (1)$$

Di mana X adalah nilai digital hasil pembacaan, X_{max} adalah nilai maksimum resolusi input, dan V_{max} adalah nilai tegangan maksimum yang diukur. Persamaan tersebut menunjukkan hubungan linear antara nilai digital hasil pembacaan dengan nilai tegangan dalam satuan teknik. Proses *scaling* ini digunakan untuk mengubah data digital hasil konversi ADC menjadi nilai tegangan yang dapat diinterpretasikan. Ketepatan proses *scaling* sangat mempengaruhi hasil pembacaan tegangan, sehingga kesalahan dalam penentuan parameter dapat menyebabkan error pada sistem monitoring [6]. Proses Scaling pada ladder diagram menggunakan CX-Programmer ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ladder Scaling pada Software CX-Programmer

D. Konsep Error Pengukuran

Error pengukuran merupakan selisih antara nilai hasil pengukuran dengan nilai referensi atau nilai sebenarnya. Dalam sistem pengukuran berbasis digital, error tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, tetapi dapat diminimalkan melalui pemilihan perangkat yang tepat serta metode pengolahan data yang baik.

Faktor-faktor yang mempengaruhi error antara lain resolusi alat ukur, gangguan noise pada sinyal, serta ketidakstabilan sumber tegangan. Pada sistem berbasis PLC, error juga dapat terjadi akibat proses konversi ADC dan proses scaling [6].

Persentase error dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Error (\%)} = \frac{|V_{\text{referensi}} - V_{\text{pengukuran}}|}{V_{\text{referensi}}} \times 100\% \quad (2)$$

Di mana $V_{\text{referensi}}$ merupakan nilai tegangan acuan yang diperoleh dari adjustable power supply sebagai nilai pembanding, sedangkan $V_{\text{pengukuran}}$ merupakan nilai tegangan hasil pembacaan yang ditampilkan oleh sistem PLC setelah melalui proses konversi dan scaling.

E. Monitoring Tegangan dan Kondisi Overvoltage–Undervoltage

Monitoring tegangan merupakan proses pengawasan nilai tegangan dalam suatu sistem listrik untuk memastikan bahwa sistem beroperasi dalam batas yang aman. Kondisi overvoltage terjadi ketika tegangan melebihi batas normal, sedangkan undervoltage terjadi ketika tegangan berada di bawah batas yang ditentukan [1], [2], [3].

Kedua kondisi tersebut dapat mempengaruhi kinerja sistem dan menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik, sehingga diperlukan sistem proteksi dan monitoring yang andal pada jaringan distribusi tenaga listrik [12].

F. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem monitoring tegangan berbasis mikrokontroler maupun *Programmable Logic Controller* (PLC). Penelitian mengenai sistem monitoring berbasis mikrokontroler menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pembacaan dan pengolahan data tegangan secara efektif, namun masih memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan stabilitas pembacaan [5].

Penelitian lain mengembangkan sistem monitoring tegangan berbasis PLC yang menunjukkan bahwa PLC mampu membaca sinyal analog dan mengolahnya menjadi data digital untuk keperluan pemantauan sistem [8]. Selain itu, akurasi sistem pengukuran sangat dipengaruhi oleh resolusi alat ukur, kualitas sinyal yang diterima, serta metode konversi dan *scaling* yang digunakan [6].

Perkembangan penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa integrasi PLC dengan sistem berbasis Human

Machine Interface (HMI) maupun sistem tenaga listrik mampu meningkatkan efektivitas monitoring secara real-time serta mempermudah proses visualisasi data dan pengambilan keputusan [11]. Selain itu, penerapan sistem proteksi berbasis PLC juga menunjukkan peningkatan keandalan sistem dalam menghadapi gangguan seperti overvoltage dan undervoltage [10].

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa implementasi PLC dalam sistem kelistrikan, seperti pada sistem proteksi motor dan sistem tenaga listrik, mampu meningkatkan efisiensi serta keandalan sistem dalam berbagai kondisi operasi [9], [12].

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring tegangan berbasis PLC masih memiliki potensi terjadinya error akibat proses konversi dan pengolahan data. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis error pembacaan tegangan menggunakan input analog PLC pada kondisi *overvoltage* dan *undervoltage* untuk mengetahui tingkat akurasi sistem secara lebih mendalam.

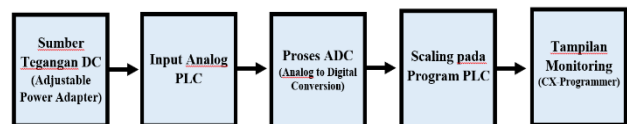
III. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengujian kinerja sistem dalam membaca tegangan DC menggunakan input analog pada Programmable Logic Controller (PLC), serta analisis tingkat error yang dihasilkan. Melalui pendekatan ini, dilakukan perbandingan antara tegangan referensi dan hasil pembacaan PLC untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem.

A. Desain Sistem

Sistem pengujian dirancang untuk membaca tegangan DC dari *adjustable power supply* menggunakan input analog PLC, kemudian mengolahnya melalui program ladder diagram untuk memperoleh nilai tegangan dalam skala sistem. Proses utama meliputi akuisisi sinyal analog, konversi analog-ke-digital (ADC), *scaling* nilai digital, serta monitoring hasil pembacaan.

Secara umum alur sistem adalah:



Gambar 4. Diagram Blok Sistem Pembacaan Tegangan Berbasis PLC

Gambar 4. menunjukkan diagram blok sistem yang digunakan dalam penelitian untuk proses pembacaan dan pengolahan tegangan DC menggunakan PLC. Sistem dimulai dari sumber tegangan DC yang berasal dari *adjustable power adapter* sebagai input utama. Tegangan ini kemudian masuk ke bagian input analog PLC untuk dibaca sebagai sinyal analog.

Selanjutnya, sinyal analog yang diterima akan diproses melalui tahap *Analog to Digital Conversion* (ADC), yaitu proses konversi dari sinyal analog menjadi data digital yang dapat diolah oleh PLC. Data digital hasil konversi tersebut kemudian diproses dalam program PLC menggunakan metode *scaling* untuk mengubah nilai digital menjadi nilai tegangan yang sesuai dengan skala sistem.

Hasil dari proses tersebut selanjutnya ditampilkan melalui tampilan monitoring menggunakan perangkat lunak CX-Programmer. Melalui tampilan ini, pengguna dapat mengamati nilai tegangan hasil pembacaan PLC secara real-time untuk keperluan analisis lebih lanjut.

B. Konfigurasi Perangkat

Konfigurasi perangkat pada penelitian ini dirancang untuk mendukung proses pengukuran tegangan DC serta pengolahan data menggunakan PLC. Sistem terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sumber tegangan sebagai input, PLC sebagai unit pemroses, dan perangkat lunak sebagai media monitoring. Ketiga komponen ini saling terintegrasi untuk menghasilkan sistem pengukuran yang mampu membaca, mengolah, dan menampilkan data tegangan secara real-time.

1. Sumber Tegangan

Sumber tegangan yang digunakan berupa *adjustable power adapter* dengan rentang tegangan DC 3–24 V. Perangkat ini berfungsi sebagai tegangan referensi (V_{DC}) yang nilainya dapat diatur sesuai kebutuhan pengujian. Variasi tegangan diberikan untuk mensimulasikan kondisi overvoltage, normal, dan undervoltage, sehingga sistem dapat diuji pada berbagai kondisi operasi.

2. Programmable Logic Controller (PLC)

PLC digunakan sebagai unit utama dalam proses akuisisi dan pengolahan data. Sinyal tegangan DC dari sumber akan masuk ke modul input analog PLC, kemudian dikonversi menjadi data digital melalui proses Analog to Digital Conversion (ADC). Data digital ini selanjutnya diproses menggunakan program ladder diagram yang telah dirancang, khususnya pada bagian scaling untuk mengubah nilai digital menjadi nilai tegangan dalam skala sistem. PLC juga berperan dalam menjaga kestabilan proses pembacaan data selama pengujian berlangsung.

3. Perangkat Lunak Monitoring

Perangkat lunak CX-Programmer digunakan untuk melakukan pemrograman PLC sekaligus monitoring data hasil pembacaan. Nilai tegangan yang telah diproses ditampilkan dalam bentuk numerik sehingga dapat diamati secara langsung. Selain itu, perangkat lunak ini juga memudahkan proses pencatatan data untuk keperluan analisis lebih lanjut.

C. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan menyiapkan seluruh komponen sistem yang terdiri dari *adjustable power supply*, PLC, serta perangkat lunak CX-Programmer sebagai media monitoring. Tegangan DC dari *adjustable power supply* digunakan sebagai input analog ke PLC, kemudian divariasikan untuk mensimulasikan kondisi overvoltage, normal, dan undervoltage. Tegangan acuan normal ditetapkan sebesar 7,40 VDC yang merepresentasikan 220 V pada skala sistem. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan pendekatan linear hasil scaling antara tegangan input DC dan tegangan sistem yang digunakan

pada proses monitoring. Pemilihan nilai ini bertujuan agar hasil pembacaan PLC dapat direpresentasikan ke dalam skala tegangan aktual 220 V pada sistem kelistrikan.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan secara bertahap sesuai dengan nilai yang telah ditentukan. Setiap perubahan tegangan akan dibaca oleh PLC melalui modul input analog, kemudian diproses menggunakan metode *scaling* pada program ladder diagram untuk menghasilkan nilai tegangan dalam satuan teknik. Respon sistem diamati melalui hasil pembacaan tegangan yang ditampilkan pada CX-Programmer.

Data yang diperoleh pada setiap kondisi pengujian meliputi tegangan referensi DC (V_{DC}) dan tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}). Tegangan referensi tersebut kemudian dikonversi ke dalam skala sistem menggunakan pendekatan linear agar dapat dibandingkan secara langsung dengan hasil pembacaan PLC.

Selanjutnya, dilakukan analisis dengan menghitung persentase error antara nilai tegangan referensi dan hasil pembacaan PLC untuk mengetahui tingkat akurasi sistem. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi tegangan untuk masing-masing kondisi guna memperoleh data yang representatif. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem dalam membaca tegangan pada kondisi overvoltage dan undervoltage.

D. Metode Konversi dan Scaling

Metode konversi dan *scaling* pada penelitian ini digunakan untuk mengubah nilai tegangan DC yang diberikan oleh *adjustable power supply* menjadi nilai tegangan dalam skala sistem, sehingga dapat dibandingkan secara langsung dengan hasil pembacaan PLC. Proses ini diperlukan karena tegangan input yang masuk ke PLC berada pada rentang tegangan rendah, sedangkan sistem monitoring direpresentasikan dalam skala tegangan yang lebih tinggi.

Secara umum, proses *scaling* pada input analog PLC dilakukan dengan mengubah nilai digital hasil konversi ADC menjadi nilai dalam satuan teknik menggunakan hubungan linear. Namun, pada penelitian ini digunakan pendekatan *scaling* berbasis tegangan referensi untuk menyesuaikan dengan karakteristik sistem yang digunakan.

Tegangan referensi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_{ref} = \frac{V_{DC}}{7,40} \times 220 \quad (3)$$

Di mana V_{DC} merupakan tegangan input dari *adjustable power supply*, sedangkan 7,40 VDC merupakan tegangan acuan yang diasumsikan setara dengan 220 V pada skala sistem. Persamaan ini digunakan untuk mengonversi nilai tegangan DC ke dalam skala tegangan yang sesuai dengan hasil pembacaan PLC.

Nilai tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}) diperoleh dari proses scaling yang dilakukan pada program ladder diagram. Proses ini memanfaatkan fungsi scaling pada PLC untuk mengubah nilai digital hasil pembacaan input analog menjadi nilai tegangan dalam satuan teknik yang dilakukan pada program Ladder diagram seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses scaling pada program PLC menggunakan CX-Programmer

Dengan menggunakan metode ini, nilai tegangan referensi dan hasil pembacaan PLC berada dalam skala yang sama, sehingga dapat dilakukan analisis perbandingan untuk menghitung tingkat error. Ketepatan proses scaling sangat mempengaruhi akurasi sistem, karena kesalahan dalam penentuan parameter dapat menyebabkan penyimpangan hasil pembacaan.

E. Perhitungan Error

Perhitungan error pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sistem dalam membaca tegangan menggunakan input analog pada PLC. Error didefinisikan sebagai selisih antara nilai tegangan referensi hasil konversi dan nilai tegangan hasil pembacaan PLC yang telah melalui proses *scaling*.

Nilai tegangan referensi (V_{ref}) diperoleh dari hasil konversi tegangan DC menggunakan pendekatan linear, sedangkan nilai tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}) merupakan hasil pengolahan data analog oleh PLC. Untuk mengevaluasi tingkat kesalahan pembacaan, digunakan metode persentase error yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\text{Error (\%)} = \frac{|V_{ref} - V_{PLC}|}{V_{ref}} \times 100\% \quad (4)$$

Di mana V_{ref} adalah tegangan referensi hasil konversi dan V_{PLC} adalah tegangan hasil pembacaan PLC.

Persamaan yang digunakan pada penelitian ini merupakan implementasi dari konsep perhitungan error yang telah dijelaskan pada studi pustaka, dengan penyesuaian notasi sesuai variabel yang digunakan pada sistem.

Perhitungan error dilakukan pada setiap data hasil pengujian yang mencakup kondisi overvoltage, normal, dan undervoltage. Nilai error yang diperoleh kemudian digunakan sebagai parameter untuk menilai tingkat akurasi sistem dalam berbagai kondisi tegangan.

Untuk memperoleh gambaran kinerja sistem secara menyeluruh, data error dianalisis dengan menentukan nilai error minimum, maksimum, dan rata-rata. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan serta keandalan sistem dalam melakukan pembacaan tegangan.

F. Teknik Analisa Data

Teknik analisis data pada penelitian ini dilakukan secara kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam membaca tegangan menggunakan input analog PLC. Data yang dianalisis berupa tegangan referensi (V_{ref}) dan tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}) yang telah diperoleh melalui proses konversi dan *scaling*.

Analisis dilakukan dengan menghitung persentase error pada setiap data pengujian. Nilai error yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan nilai minimum, maksimum, dan rata-rata sebagai indikator tingkat akurasi sistem pada kondisi overvoltage, normal, dan undervoltage.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini disajikan hasil pengujian dan pembahasan terkait kinerja sistem dalam membaca tegangan menggunakan input analog PLC. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan DC untuk mensimulasikan kondisi overvoltage, normal, dan undervoltage. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode persentase error untuk mengevaluasi tingkat akurasi serta keandalan sistem dalam berbagai kondisi operasi.

A. Hasil Pengujian Sistem

Pada bagian ini disajikan hasil pengujian sistem monitoring tegangan berbasis PLC yang dilakukan dengan memberikan variasi tegangan DC menggunakan *adjustable power supply*. Variasi tegangan diberikan untuk merepresentasikan kondisi overvoltage, normal, dan undervoltage.

Data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa:

1. Tegangan input DC (V_{DC}) dari power supply
2. Tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC})
3. Nilai digital hasil pembacaan ADC (data register PLC)

Untuk dapat dibandingkan dengan skala tegangan sistem, nilai tegangan DC dikonversi menjadi tegangan referensi (V_{ref}) menggunakan pendekatan linear yang telah dijelaskan pada metode penelitian.

Variasi tegangan yang diberikan pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 6, yang terdiri dari kondisi overvoltage dan undervoltage menggunakan *adjustable power supply*.



Gambar 6. Variasi Tegangan Input Menggunakan Adjustable Power Supply (a) Overvoltage 1, (b) Overvoltage 2, (c) Overvoltage 3, (d) Undervoltage 1, (e) Undervoltage 2, (f) Undervoltage 3

Sebagai contoh perhitungan pada kondisi Overvoltage 1:

$$V_{ref} = \frac{7.71}{7.40} \times 220 = 229,19 \text{ V}$$

$$\text{Error (\%)} = \frac{|229,19 - 231|}{229,19} \times 100\% = 0,79\%$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada seluruh data pengujian.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Nilai Tegangan Referensi (V_{ref})

No	Kondisi	V_{DC} (V)	V_{PLC} (V)	V_{ref} (V)
1	OVR 1	7,71	231	229,19
2	OVR 2	8,43	254	250,54
3	OVR 3	9,13	275	271,46
4	NORMAL	7,40	220	220
5	UVR 1	6,78	204	201,62
6	UVR 2	5,98	178	177,84
7	UVR 3	5,38	160	160

Berdasarkan Tabel 1, nilai tegangan referensi (V_{ref}) diperoleh dari hasil konversi tegangan DC menggunakan pendekatan linear. Nilai V_{ref} menunjukkan peningkatan seiring dengan kenaikan tegangan input pada kondisi overvoltage, serta penurunan pada kondisi undervoltage. Pada kondisi normal, nilai V_{ref} berada pada nilai acuan sebesar 220 V.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem

No	Kondisi	V_{DC} (V)	V_{PLC} (V)	V_{ref} (V)	Error (%)
1	OVR 1	7,71	231	229,19	0,79
2	OVR 2	8,43	254	250,54	1,38
3	OVR 3	9,13	275	271,46	1,30
4	NORMAL	7,40	220	220	0
5	UVR 1	6,78	204	201,62	1,18
6	UVR 2	5,98	178	177,84	0,09
7	UVR 3	5,38	160	160	0

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh data hasil pengujian sistem berupa tegangan input DC (V_{DC}), tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}), tegangan referensi (V_{ref}), serta nilai persentase error pada setiap kondisi pengujian.

Pada kondisi overvoltage (OVR), nilai tegangan referensi berada pada rentang 229,19 V hingga 271,46 V dengan nilai error berkisar antara 0,79% hingga 1,38%. Pada kondisi normal, diperoleh nilai tegangan referensi sebesar 220 V dengan nilai error sebesar 0%.

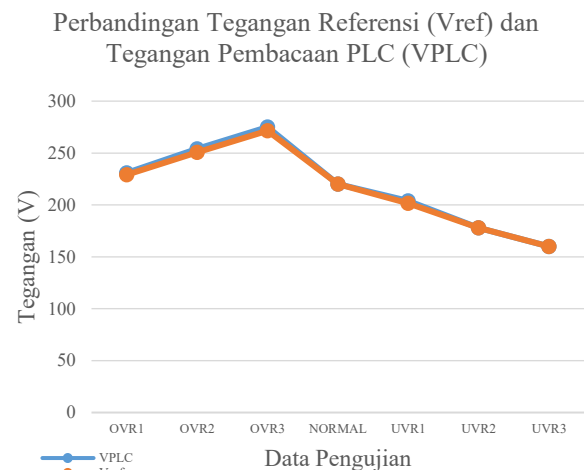
Sementara itu, pada kondisi undervoltage (UVR), nilai tegangan referensi berada pada rentang 160 V hingga 201,62 V dengan nilai error berkisar antara 0% hingga 1,18%.

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan hasil pembacaan PLC memiliki kedekatan dengan nilai tegangan referensi pada seluruh kondisi pengujian.

B. Analisis Hasil Pengujian

Untuk menganalisis kinerja sistem monitoring tegangan berbasis PLC secara lebih mendalam, data hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara tegangan referensi (V_{ref}) dan tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}), serta grafik persentase error pada setiap kondisi pengujian. Penyajian data dalam bentuk grafik bertujuan untuk mempermudah proses analisis terhadap hubungan antara nilai tegangan referensi dan hasil pembacaan sistem, sehingga pola perubahan tegangan pada kondisi overvoltage, normal, dan undervoltage dapat diamati dengan lebih jelas. Selain itu, grafik persentase error digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan

kestabilan sistem monitoring dalam membaca perubahan tegangan pada berbagai kondisi operasi.

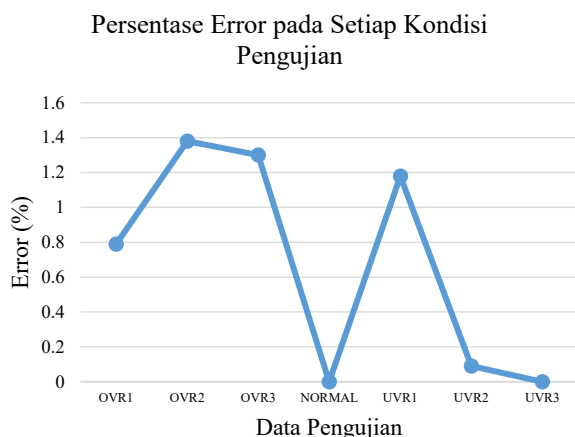
Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan Referensi (V_{ref}) dan Tegangan Pembacaan PLC (V_{PLC})

Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa nilai tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}) memiliki kecenderungan yang sangat mendekati nilai tegangan referensi (V_{ref}) pada seluruh kondisi pengujian. Pola grafik menunjukkan hubungan yang linear, di mana peningkatan dan penurunan tegangan input diikuti secara konsisten oleh hasil pembacaan PLC. Hal ini menunjukkan bahwa proses konversi Analog to Digital Conversion (ADC) dan metode scaling pada sistem telah bekerja dengan baik dalam merepresentasikan nilai tegangan aktual ke dalam bentuk data digital yang dapat diproses oleh PLC.

Pada kondisi overvoltage (OVR), nilai tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}) cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan tegangan referensi (V_{ref}). Meskipun demikian, selisih antara kedua nilai tersebut masih relatif kecil sehingga menunjukkan bahwa sistem monitoring masih mampu melakukan pembacaan tegangan dengan baik pada kondisi tegangan tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa metode scaling yang digunakan mampu menjaga hubungan pembacaan tetap linear meskipun terjadi kenaikan tegangan input.

Pada kondisi normal, nilai tegangan hasil pembacaan PLC menunjukkan hasil yang sama dengan tegangan referensi, yaitu sebesar 220 V. Hasil tersebut menunjukkan bahwa parameter scaling yang digunakan telah sesuai dengan karakteristik input analog PLC, sehingga sistem mampu menghasilkan pembacaan yang sangat akurat pada titik acuan pengujian.

Sementara itu, pada kondisi undervoltage (UVR), nilai V_{PLC} tetap mengikuti pola V_{ref} dengan selisih yang kecil, bahkan pada beberapa titik menunjukkan hasil yang identik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring memiliki performa yang cukup baik dalam membaca tegangan pada rentang tegangan rendah. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa hubungan antara V_{ref} dan V_{PLC} bersifat linear dan stabil pada seluruh kondisi pengujian.



Gambar 8. Grafik Persentase Error pada Setiap Kondisi Pengujian

Berdasarkan Gambar 8, nilai error berada pada rentang 0% hingga 1,38%, dengan nilai tertinggi terjadi pada kondisi OVR 2 dan nilai terendah sebesar 0% terjadi pada kondisi normal dan UVR 3. Secara umum, nilai error pada seluruh kondisi pengujian tergolong kecil dan masih berada dalam batas toleransi pengukuran.

Peningkatan nilai error pada kondisi overvoltage menunjukkan bahwa pada tegangan yang lebih tinggi sistem mengalami sedikit peningkatan deviasi pembacaan. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh keterbatasan resolusi ADC pada input analog PLC, sehingga perubahan tegangan yang lebih besar menghasilkan penyimpangan pembacaan yang lebih tinggi. Selain itu, adanya noise pada sinyal analog, toleransi komponen, dan kestabilan sumber tegangan juga dapat mempengaruhi hasil pembacaan sistem.

Sementara itu, pada kondisi undervoltage nilai error cenderung lebih kecil dan stabil dibandingkan kondisi overvoltage. Hal ini menunjukkan bahwa proses konversi ADC dan metode scaling masih mampu merepresentasikan nilai tegangan secara linear pada rentang tegangan rendah tanpa mengalami penyimpangan yang signifikan. Meskipun demikian, metode scaling berbasis pendekatan linear yang digunakan masih memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan nilai secara absolut pada seluruh rentang tegangan.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa sistem monitoring tegangan berbasis PLC memiliki kinerja yang baik dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hal ini dibuktikan dengan nilai error yang kecil, pola pembacaan yang linear, serta kesesuaian antara tegangan referensi dan hasil pembacaan sistem pada berbagai kondisi pengujian. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat dikatakan andal untuk digunakan dalam aplikasi monitoring tegangan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, sistem monitoring tegangan berbasis Programmable Logic Controller (PLC) mampu membaca

tegangan dengan tingkat akurasi yang baik pada berbagai kondisi pengujian, yaitu overvoltage, normal, dan undervoltage. Hasil perbandingan antara tegangan referensi (V_{ref}) dan tegangan hasil pembacaan PLC (V_{PLC}) menunjukkan adanya hubungan yang linear, di mana perubahan tegangan input diikuti secara konsisten oleh hasil pembacaan sistem.

Nilai error yang diperoleh berada pada rentang 0% hingga 1,38%, dengan nilai rata-rata sekitar 0,96%, yang menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kesalahan yang relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi pengukuran. Nilai error tertinggi terjadi pada kondisi overvoltage, sedangkan pada kondisi normal dan beberapa titik undervoltage menunjukkan nilai error mendekati 0%, yang menandakan tingkat akurasi yang sangat baik.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan memiliki kinerja yang stabil dan andal dalam melakukan monitoring tegangan. Dengan demikian, sistem monitoring berbasis PLC ini layak digunakan sebagai solusi dalam aplikasi pengukuran dan pemantauan tegangan pada sistem kelistrikan.

REFERENSI

- [1] Suryono, Irianto, and M. Saifudin, "Monitoring and protection system for overvoltage, undervoltage and unbalance voltage," *Jurnal Ecotipe*, vol. 9, no. 2, 2022.
- [2] A. Gunawan and M. Sahar, "Rancang bangun sistem proteksi overcurrent dan over/under voltage terhadap motor 3 fasa berbasis Arduino," *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin*, vol. 4, no. 1, 2024.
- [3] D. S. Pongoh *et al.*, "Pengenalan PLC sebagai pusat kontrol dalam sistem otomasi industri," *Jurnal Central Publisher*, vol. 1, no. 4, 2024.
- [4] A. Andang, R. Priyatna, and F. M. S. Nursuwars, "Multiplikasi input analog pada PLC menggunakan multiplexer IC74HC4067," *ELKOMIKA*, vol. 9, no. 4, 2021.
- [5] M. F. Yusuf, "Rancangan monitoring tegangan dan arus berbasis sensor analog," Skripsi, Universitas Panca Budi, 2021.
- [6] A. S. M. Ayyad, M. S. A. Manaf, N. A. Norzain, N. Philip, and S. Sahlan, "Enhancing Multiple Analogue Inputs Programmable Logic Controller (PLC) Module for Industrial Controlling Process and SCADA Monitoring," *ELEKTRIKA*, vol. 16, no. 3, pp. 42–47, 2017.
- [7] R. Rimbawati, "Perancangan sistem kontrol penstabil tegangan menggunakan PLC," *Jurnal RELE*, 2021.
- [8] A. Kurniawan and S. I. Haryudo, "Rancang bangun sistem automatic transfer switch (ATS) 1 phase berbasis Outseal PLC Mega V.3," *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering*, vol. 6, no. 2, 2024.
- [9] Y. Prasetyo *et al.*, "Implementation of a three phase motor protection system using PLC and HMI," *International Journal of Multidisciplinary Approach Research and Science*, vol. 2, no. 3, 2024.
- [10] J. R. Mahmood, R. S. Ali, and R. A. Abd-Alhameed, "PLC/HMI-based implementation of a real-time educational power system protective relays platform," *Electronics*, vol. 9, no. 1, 2020.
- [11] L. S. Mahendra *et al.*, "Design and construction of IoT-based overvoltage and undervoltage detection devices," *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, vol. 7, no. 1, 2025.
- [12] Wenno, L. A., Ngala, G., & Pongoh, D. S. (2025). Analysis Study of Overcurrent Relay in the Underground Distribution Network System in the Business Area of Manado City. *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, 7(2).