ANALISIS RASIO DAN ERROR DARI PENGGUNAAN *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)* SEBAGAI PROTEKSI *OVER VOLTAGE* DAN *UNDER VOLTAGE* PADA TEGANGAN 1 *PHASE*

Gerard A Tambingon[1], Johanis P Tampemawa[2], Arnold R Rondonuwu[3] , Johan F Makal[4]
[1,2,3,4]Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado
[1]timotytambingon@gmail.com, [2]johanisputratampemawa11@gmail.com, [3]arnoldrrondonuwu@gmail.com, [4]johanferny52@gmail.com

ABSTRACT

Overvoltage and undervoltage protection systems are essential to maintain the reliability and safety of electrical equipment, considering that the acceptable voltage tolerance is typically limited to ±5% of the nominal value. This study aims to analyze the performance of a PLC-based voltage protection system through experimental testing under various operating conditions. The testing was conducted by varying the input voltage to simulate overvoltage and undervoltage conditions, with observed parameters including pickup voltage, dropout voltage, Vd/Vp ratio, error value, and time delay. The results show that the Over Voltage Relay (OVR) achieved a Vd/Vp ratio of 98%, with error values decreasing from 0.43% to 0%. Meanwhile, the UnderVoltage Relay (UVR) exhibited Vd/Vp ratios of 98%, with error values decreasing from 1.4% to 0%. Both systems maintained a constant time delay of 0.1 seconds, indicating f ast and stable response. The small difference between pickup and dropout voltages indicates good hysteresis characteristics, preventing chattering. Therefore, the proposed PLC-based protection system demonstrates accurate, stable, and reliable performance in protecting electrical systems.

Keywords: Protection System, Over Voltage, Under Voltage, PLC

ABSTRAK

Sistem proteksi over voltage dan under voltage sangat penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan peralatan pada sistem tenaga listrik, mengingat batas toleransi tegangan umumnya hanya sebesar ±5% dari nilai nominal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem proteksi tegangan berbasis Programmable Logic Controller (PLC) melalui pengujian eksperimental pada berbagai kondisi operasi. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan tegangan input untuk mensimulasikan kondisi over voltage dan under voltage, dengan parameter yang diamati meliputi tegangan pickup, tegangan dropout, rasio Vd/Vp, nilai error, dan time delay. Hasil menunjukkan bahwa Over Voltage Relay (OVR)

memiliki rasio Vd/Vp sebesar 98% dengan nilai error menurun dari 0,43% hingga 0%. Sementara itu, Under Voltage Relay (UVR) menunjukkan rasio Vd/Vp sebesar 98% dengan error menurun dari 1,4% hingga 0%. Kedua sistem memiliki time delay konstan sebesar 0,1 detik, yang menunjukkan respons cepat dan stabil.

Kata Kunci: Sistem Proteksi, Tegangan Lebih, Tegangan Kurang, PLC

A. Pendahuluan

Sistem proteksi over voltage dan under voltage sangat di perlukan untuk menjaga keandalan dan keselamatan peralatan listrik pada sistem tenaga yang mana pada umumnya standar izin variasi tegangan h anya sekitar ±5%, karena penyimpangan lebih lanjut dapat menurunkan efisiensi perangkat dan menyebabkan keruskan. Penyimpangan tegangan dari batas normal dapat menyebabkan kerusakan peralatan, gangguan operasional, serta menurunnya umur pakai sistem [1][4]

Seiring perkembangan teknologi di era Revolusi Industri 4.0, sistem proteksi tenaga listrik tidak lagi bersifat konvensional, melainkan berkembang menjadi sistem berbasis otomasi dan digitalisasi yang terintegrasi dengan Programmable Logic Controller (PLC). Integrasi teknologi tersebut memungkinkan sistem bekerja secara presisi, serta responsif, sebagaimana yang telah banyak diterapkan di lingkungan industri modern [2].

Dalam sistem tenaga listrik, terdapat dua kondisi utama penyimpangan tegangan yaitu over voltage dan under voltage yang menjadi fokus dalam sistem proteksi. Over voltage terjadi ketika tegangan melebihi batas maksimum dari nilai nominal akibat gangguan sistem atau pelepasan beban, yang dapat merusak isolasi dan mempercepat kerusakan peralatan. Sementara itu, under voltage merupakan kondisi ketika tegangan berada di bawah batas yang ditetapkan, di mana relay akan bekerja saat mendeteksi penurunan tegangan tersebut; penurunan lebih dari 5% dalam waktu relatif lama dapat menurunkan efisiensi peralatan, bahkan pada kondisi di bawah 10% dapat menyebabkan gangguan operasi [3][4].

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik analisis proteksi over voltage dan under voltage:

- Penelitian oleh T. M. T. Thentral et al. (2021) [7] menunjukkan bahwa sistem proteksi tegangan berbasis relay konvensional bekerja dengan mendeteksi penyimpangan tegangan dari nilai nominal, dimana kinerja relay sangat dipengaruhi oleh ketepatan setting tegangan dan keandalan dalam memutus beban saat terjadi gangguan.
- Penelitian oleh Naomi Lembang (2021) [6] menekankan pentingnya kombinasi relay

proteksi dan relay bantu dalam sistem 220 V, dengan fokus pada karakteristik waktu tunda (time delay) serta kemampuan sistem dalam merespons kondisi over voltage dan under voltage secara otomatis.

Penelitian inovatif ini bertujuan untuk menganalisis sistem kerja proteksi over dan under voltage berbasis Programmable Logic Controller (PLC) melalui serangkaian pengujian empiris (empirical testing) pada berbagai skenario operasional, sistem ini di harapkan mampu: (1) Mampu mendeteksi tegangan lebih (over voltage) dan tegangan kurang (under voltage) secara akurat, (2) Memberikan perlindungan optimal terhadap komponen - komponen yang di proteksi, serta (3) Meningkatkan efisiensi operasional dalam lingkungan pendidikan maupun industri.

B. Metode Penelitian (Huruf 12 dan Ditebalkan)

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data hasil pengujian sistem proteksi tegangan dengan *Programmable Logic Controller* (PLC) pada skala laboratorium. Parameter utama yang dianalisis meliputi nilai setting tegangan (setpoint), tegangan saat relay aktif (pickup voltage), tegangan saat relay kembali normal (dropout voltage), serta waktu tunda (time delay). Nilai setting tegangan ditentukan terlebih dahulu sebagai batas kerja relay dalam mendeteksi kondisi over voltage dan under voltage, sehingga relay akan aktif apabila tegangan melewati batas atas atau bawah yang telah ditetapkan.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan input untuk mensimulasikan kondisi over voltage dan under voltage, kemudian diamati respon relay terhadap perubahan tersebut. Evaluasi kinerja relay dilakukan dengan membandingkan nilai setting dengan hasil pengukuran aktual untuk mengetahui tingkat akurasi sistem.

Untuk menganalisis karakteristik kerja relay, digunakan perhitungan rasio tegangan terhadap tegangan nominal sebagai berikut:

$$Rasio = \frac{Vd}{Vp}\ x\ 100 \qquad (1)$$

dengan:

- Vp =pickup voltage, yaitu tegangan ambang minimum pada sisi input saat relay mulai bekerja atau kontak berubah dari kondisi normal ke aktif.
- Vd = dropout voltage, yaitu tegangan ambang pada sisi input saat relay kembali ke kondisi awal atau kontak kembali ke posisi semula setelah tegangan diturunkan.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan input untuk mensimulasikan kondisi over voltage dan under voltage, kemudian diamati respon relay terhadap perubahan tersebut. Evaluasi kinerja relay dilakukan dengan membandingkan nilai setting dengan hasil pengukuran aktual untuk mengetahui tingkat akurasi sistem.

$$Error = \frac{V_{pengujian} - V_{perhitungan}}{V_{Perhitungan}} x\ 100\%\ (2)$$

Dengan keterangan bahwa V pengujian merupakan nilai yang diperoleh dari hasil pengujian, sedangkan V perhitungan merupakan nilai yang diperoleh dari hasil analisis atau perhitungan teoritis. Nilai error menunjukkan tingkat kesesuaian antara hasil perhitungan dan hasil pengujian. Semakin kecil nilai error, maka semakin tinggi tingkat akurasi hasil pengujian terhadap perhitungan.

Flowchart Sistem Proteksi Over – Under Voltage dengan PLC.

1. Persiapan Awal (Start-up)

Semuanya dimulai saat menekan tombol “Push Button ON”. Begitu ditekan, Sistem pun menyala (Sistem On)

2. Pengecekan Tegangan Listrik

Setelah menyala, sistem tidak langsung mengalirkan listrik ke perangkatmu. Dia akan “bertanya” dulu: “apakah tegangan listriknya 220V?“

- Kalau belum stabil (Tidak): Sistem akan balik lagi ke kondisi awal dan terus memantau sampai tegangannya pas.
- Kalau Sudah Stabil (Ya): Sistem akan lanjut ke tahap berikutnya.

3. Aktivasi Mode Profesi

Begitu tegangan aman, sistem akan mengatur waktu tunda (*set timer delay*). Ini biasanya buat mencegah lonjakan listrik mendadak saat lampu baru menyala. Setelah itu, Mode Proteksi Aktif.

Di sini, kamu (atau sistem secara otomatis) memilih untuk memantau apakah listriknya ketinggian (Over Voltage) atau kerendahan(Under Voltage).

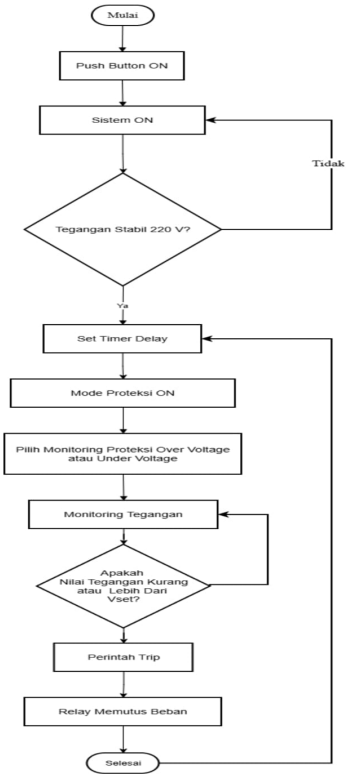
4. Pemantauan & Keadaan Darurat

Sistem bakal terus-terusan memantau tegangan (Monitoring Tegangan). Selama pemantauan, ada deteksi otomatis

- Kondisi Normal: Selama tegangan masih sesuai batas aman (Vset), sistem terus memantau tanpa melakukan apa-apa.
- Kondisi Bahaya: Jika tiba-tiba tegangan jadi lebihrendah atau lebih dari batas aman (Vset), sistem akan langsung mengeluarkan Perintah Trip (perintah untuk memutus arus).

5. Pemutus Arus & Selesai

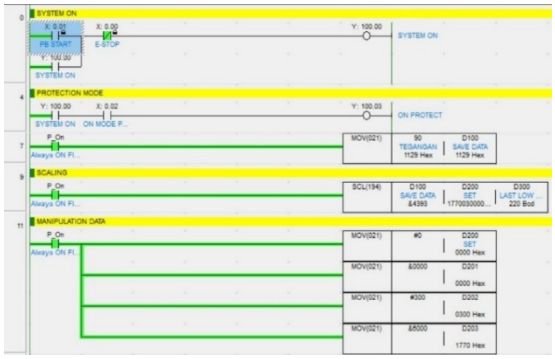
Setelah ada perintah trip, Relay akan memutus beban (mematikan aliran listrik ke perangkatmu agar tidak rusak). Setelah itu proses dianggap selesai,, dan biasanya sistem kembali ke tahap awal untuk menunggu tegangan stabil lagi.



C.Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada sistem ini, Programmable Logic Controller berfungsi sebagai pengendali utama yang mengatur proses start, stop, dan proteksi. Pemograman logika kontrol di lakukan melalui Cx Programmer dengan menggunakan ladder diagram.

Nilai tegangan hasil pembacaan 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 pada gambar 5 di bawah.

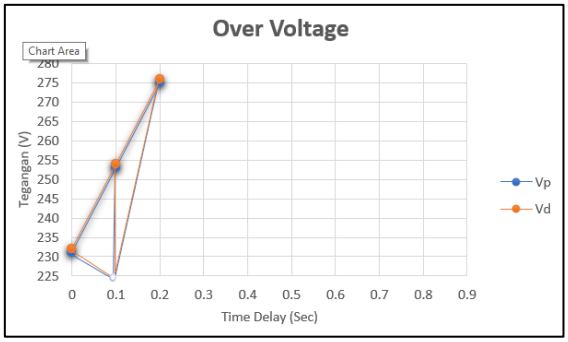


Gambar 1 Ladder Diagram Alur Kerja Sistem di Cx Programmer

Tabel 1. Data Over Voltage

Tegangan Kerja	Kapasitas (V)	Ve = Tegangan Nominal (V)	Time Delay
	Vpickup (Vp)	Vdropout (Vd)	
1.05	231	234	0.1
1.15	253	256	0.1
1.25	275	278	0.1

Berdasarkan Tabel 1 dan grafik hasil pengujian over voltage, terlihat bahwa peningkatan nilai setting tegangan kerja (1,05; 1,15; dan 1,25 pu) diikuti oleh kenaikan tegangan pickup (Vp) masing-masing sebesar 231 V, 253 V, dan 275 V. Tegangan dropout (Vd) yang diperoleh juga menunjukkan nilai yang mendekati Vp, yaitu 234 V, 256 V, dan 278 V, dengan time delay konstan sebesar 0,1 detik.



Gambar 2 Grafik OVR Tegangan Terhadap Time Delay

Gambar grafik 6 menunjukkan tren linier antara kenaikan tegangan setting terhadap nilai Vp dan Vd, yang menandakan bahwa relay merespon dengan baik terhadap kondisi over voltage. Selisih kecil antara Vp dan Vd mengindikasikan adanya karakteristik histeresis yang stabil, sehingga relay tidak mudah mengalami trip berulang akibat fluktuasi tegangan di sekitar nilai setting.

$$Rasio = \frac{Vd}{Vp}\ x\ 100\%$$

Ket, Vp = pickup voltage

Vd = dropout voltage

Maka, $\frac{234}{231}\ x\ 100\% = 98\%$

$\frac{256}{253}\ x\ 100\% = 98\%$

$\frac{278}{275}\ x\ 100\% = 98\%$

Berdasarkan hasil pengujian over voltage yang telah dilakukan, diperoleh nilai rasio sebagai berikut:

Pengujian pertama, kedua dan ketiga menghasilkan rasio sebesar 98%, yang menunjukkan bahwa tegangan dropout sedikit dari tegangan pickup

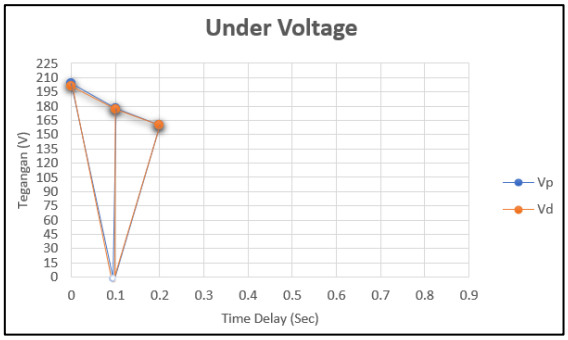
Secara keseluruhan, nilai rasio yang berada pada 98% menunjukkan bahwa kinerja Programmable Logic Controller sebagai relay proteksi over voltage memiliki tingkat akurasi yang baik. Tegangan dropout yang terjadi mendekati tegangan pickup menandakan bahwa Programmable Logic Controller mampu bekerja dan kembali normal dengan karakteristik yang stabil sesuai dengan setting yang telah ditentukan.

Tabel 2. Data Under Voltage

Tegangan Kerja	Kapasitas (V)	Ve = Tegangan Nominal (V)	Time Delay
	Vpickup (Vp)	Vdropout (Vd)	
0.95	204	201	0.1
0.85	178	176	0.1
0.75	160	158	0.1

Berdasarkan Tabel 2 dan grafik hasil pengujian under voltage, terlihat bahwa peningkatan nilai setting tegangan kerja (0,95; 0,85; dan 0,75 pu) diikuti oleh penurunan tegangan pickup (Vp) masing-masing sebesar 204V, 178 V, dan 160 V. Tegangan dropout (Vd) yang diperoleh juga menunjukkan nilai yang mendekati Vp, yaitu 201 V, 177 V, dan 160 V,

dengan time delay konstan sebesar 0,1 detik.



Gambar 3 Grafik UVR Tegangan Terhadap Time Delay

Gambar grafik 7 menunjukkan tren penurunan yang linier antara tegangan setting terhadap nilai Vp dan Vd, yang menandakan bahwa relay mampu merespon kondisi penurunan tegangan dengan baik. Selisih yang sangat kecil antara Vp dan Vd menunjukkan karakteristik histeresis yang stabil, sehingga relay tidak mudah mengalami operasi berulang akibat fluktuasi tegangan di sekitar nilai setting.

$$Rasio = \frac{Vd}{Vp}\ x\ 100\%$$

Ket, Vp = pickup voltage

Vd = dropout voltage

Maka, $\frac{201}{204}\ x\ 100\% = 98\%$

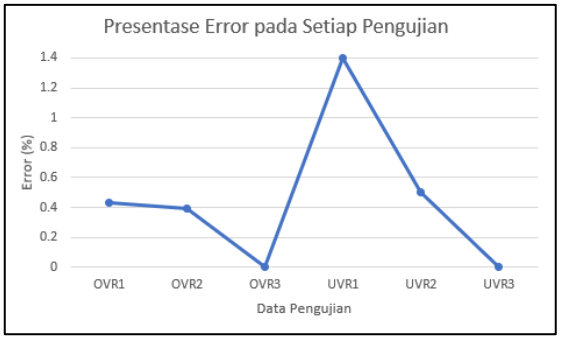
$\frac{176}{178}\ x\ 100\% = 98\%$

$\frac{158}{160}\ x\ 100\% = 98\%$

Berdasarkan hasil pengujian under voltage yang telah dilakukan, diperoleh nilai rasio sebagai berikut:

Pengujian pertama, kedua dan ketiga menunjukkan hasil rasio sebesar 98%, yang menunjukkan bahwa tegangan dropout sangat mendekati tegangan pickup.

Secara keseluruhan, nilai rasio yang berada pada 98% menunjukkan bahwa kinerja Programmable Logic Controller sebagai relay proteksi under voltage memiliki tingkat akurasi dan kestabilan yang baik. Tegangan dropout yang terjadi mendekati tegangan pickup menandakan bahwa Programmable Logic Controller mampu bekerja dan kembali normal dengan karakteristik yang stabil sesuai dengan setting yang telah ditentukan.



Gambar 4 Presentase Error OVR dan UVR

Gambar grafik 8 “Persentase Error pada Setiap Pengujian” menunjukkan variasi nilai error pada kondisi over voltage (OVR) dan under voltage (UVR). Secara umum, terlihat bahwa error pada kondisi OVR relatif rendah dan cenderung menurun, sedangkan

pada kondisi UVR terjadi fluktuasi yang lebih signifikan.

Pada kondisi OVR, nilai error berturut-turut sebesar 0,43%, 0,39%, dan 0% (OVR1 hingga OVR3). Tren ini menunjukkan adanya peningkatan akurasi pengukuran atau respons sistem seiring dengan pengujian, yang ditandai dengan penurunan error hingga mencapai nol pada pengujian ketiga. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki kinerja yang stabil dan presisi yang baik pada kondisi over voltage.

Sebaliknya, pada kondisi UVR, nilai error menunjukkan pola yang tidak linier, yaitu sebesar 1,4% pada UVR1, kemudian menurun menjadi 0,5% pada UVR2, dan mencapai 0% pada UVR3. Nilai error yang relatif tinggi pada UVR1 mengindikasikan bahwa sistem lebih sensitif atau kurang stabil pada kondisi awal under voltage. Namun, penurunan error pada pengujian berikutnya menunjukkan adanya peningkatan kestabilan atau adaptasi sistem terhadap kondisi tegangan rendah.

Secara keseluruhan, grafik ini mengindikasikan bahwa performa sistem lebih konsisten dan akurat pada kondisi over voltage dibandingkan under voltage, terutama pada tahap awal pengujian. Meskipun demikian, pada kedua kondisi, sistem menunjukkan kecenderungan menuju error yang sangat kecil hingga nol, yang menandakan tingkat akurasi dan keandalan yang baik dalam pengoperasian.

D. Kesimpulan

Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem proteksi tegangan berbasis Programmable Logic Controller sebagai relay over voltage dan under voltage bekerja dengan baik dan sesuai dengan karakteristik yang diharapkan. Sistem mampu mendeteksi kondisi tegangan lebih maupun tegangan kurang secara akurat serta memberikan respon trip yang stabil dengan waktu tunda yang telah ditentukan.

Penggunaan Programmable Logic Controller memberikan keunggulan dalam hal fleksibilitas pemrograman logika kontrol, sehingga sistem mudah dikembangkan dan diintegrasikan dengan proteksi tambahan.

- Analisis kinerja Over Voltage Relay (OVR) menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi tegangan lebih dengan akurat. Pada setting tegangan kerja 1,05 pu, 1,15 pu, dan 1,25 pu, tegangan pickup yang terukur masing-masing sebesar 231 V, 253 V, dan 275 V dengan rasio Vd/Vp sebesar 98% pada seluruh pengujian. Nilai error menurun secara konsisten dari 0,43% hingga 0%, mengindikasikan tingkat presisi yang tinggi.
- Analisis kinerja Under Voltage Relay (UVR) menunjukkan respons sistem yang baik terhadap kondisi tegangan kurang. Pada setting tegangan kerja 0,95 pu, 0,85 pu, dan 0,75

pu, tegangan pickup yang terukur masing-masing sebesar 204 V, 178 V, dan 160 V dengan rasio Vd/Vp berkisar antara 98%. Nilai error mengalami penurunan dari 1,4% menjadi 0%, menandakan peningkatan stabilitas sistem.

- Analisis karakteristik histeresis pada kedua kondisi proteksi menunjukkan selisih yang sangat kecil antara tegangan pickup dan dropout, sehingga relay tidak mengalami trip berulang akibat fluktuasi tegangan di sekitar nilai setting.
- Analisis perbandingan kinerja mengindikasikan bahwa sistem proteksi OVR memiliki performa lebih konsisten dibandingkan UVR pada tahap awal pengujian, namun keduanya menunjukkan kecenderungan menuju error mendekati nol, yang menandakan tingkat keandalan sistem yang baik untuk aplikasi di lingkungan pendidikan maupun industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini dan Pengelola Jurnal Pendas sebagai sarana berbagi dan bertukar pikiran demi perbaikan penelitian ini, seta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga karya tulis ini bisa terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Imanuddin, M. Y., & Achmad, F. (2023). Perencanaan Sistem Proteksi Pada Distribusi Tenaga Listrik Pada Proyek Kyo Apartement di PT. Alkonusa Teknik Interkon. Jurnal Pendidikan dan Konseling, 5, 1633-1629

[2] Schegner, P. (2021). Power system protection. In Springer Handbook of Power Systems (pp. 975-1014). Singapore: Springer Singapore.

[3] Sugesti, L., Afandi, A. N., & Putranto, H. (2018, October). Setting analysis of over current relay and ground fault relay on transformer protection system of high voltage substation system. In 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS) (pp. 27-31). IEEE.

[4] Suryono, S., Irianto, I., & Saifudin, M. (2022). Monitoring and Protection System for Overvoltage, Undervoltage and Unbalance Voltage. Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering), 9(2), 159–165. https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v9i2.3092

[5] Pongswatd, S., Smerpitak, K., Asadi, F., & Thepmanee, T. (2022). Design of PLC-based system for linearity output

voltage of AC–DC converter. Energy Reports, 8, 972-978.

[6] Lembang, N. (2021). Sistem Proteksi Tegangan 220 Volt Menggunakan Relay KLARSERN KS7311220V. Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi, 4(1), 32-37.

[7] Thentral, TM Thamizh, et al. "Implementation of protection circuit for over voltage and under voltage protection." Materials Today: Proceedings 45 (2021): 2460-2464.

[8] Utomo, Ronny Cahyadi. 2013. “Pemograman Ladder Diagram Pada Programmable Logic Controller (PLC) Terintegrasi Dengan Scada Vijeo Citect Untuk Simulator Sistem Parkir.”8-42.

[9] Zhang, Huaying, Qing Wang, and Yihong You. "Tolerance of electromagnetic relay to voltage sags and short interruptions." Frontiers in Energy Research 9 (2021): 766472.

[10] Chang, Choong-koo. "Adaptive undervoltage protection scheme for safety bus in nuclear power plants." Nuclear Engineering and Technology 54.6 (2022): 2055-2061.

[11] Alam, M., Hasan, M., & Rahman, F. (2019). Criteria for effective protection system design. Electrical Engineering Letters, 9(3), 122–128.

[12] A. Andang, R. Priyatna, and F. M. S. Nursuwars, “Multiplikasi input analog pada PLC menggunakan multiplekser IC74HC4067,” ELKOMIKA, vol. 9, no. 4, 2021

[13] Hasibuan, A., Isa, M., Yusoff, M. I., & Rahim, S. R. A. (2020). Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 3(1), 37-45.

[14] Juwono, C. P., Joko, J., Suprianto, B., & Endryansyah, E. (2022). Simulasi sistem proteksi motor induksi tiga fasa terhadap gangguan menggunakan programmable logic controller (PLC) Omron CP1H berbasis Cx-Programmer 9.6. Jurnal Teknik Elektro, 11(3), 409-415.

[15] MUHAMMAD RIEHAN, A. R. R. A. I. E. F. (2025). ANALISA DAN OPTIMASI KOORDINASI OVER CURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA TRAFO 4 DI GARDU INDUK TEGINENENG DENGAN MENGGUNAKAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO).

[16] Sawidin, S., Putung, Y. R., Kereh, T. M., & Waroh, A. (2025). Pengendalian Motor 3 Fasa dan Proteksi Phase

Failure Berbasis Smart Relay Zelio. Jambura J. Electr. Electron. Eng, 7(2), 202-210.