

Simulasi Pengaman Pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi Berupa *Line Current Differential (LCD)* Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Tampilan *Human Machine Interface* dan Notifikasi Blynk

Zacky Zein Alvania¹, Eko Ariyanto¹, Fakhruddin Mangkusasmito², Muchamad Syafruddin³

¹Program Studi D-III Teknik Elektro, ²Program Studi STr. Teknologi Rekayasa Otomasi,

³Program Studi S1 Akuntansi

Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email fakhm17@lecturer.undip.ac.id

Abstract

Power transmission protection is a system that serves as a safety in the electrical equipment of a transmission network so that the process of channeling electrical energy to the consumer can run well. The power transmission system of the generating system can be through Extra High Voltage Overhead Line, High Voltage Overhead Line, and High Voltage Underground Cable. In each transmission line is required protection system that can protect the electricity distribution process to the consumer. High voltage underground cable is a transmission system that delivers electrical energy through a cable that is buried in the ground. Although it is in the ground and protected by an excellent insulation system, but does not escape also from the occurrence of interference. In the land cable channel protection system is known as the Line Current Differential (LCD) which is a protection system that works under Kirchoff Law 1 by comparing incoming flows and exiting flows, with uptime instantaneously. This research made a simulation of such system, using Arduino Mega 2560 and be equped with Internet of Things (IoT) monitoring using Blynk. The test result indicated that the system can work properly.

Keywords : *Transmission, high voltage underground cable , Line Current Differential (LCD), Arduino Mega 2560, IoT*

Abstrak

Proteksi transmisi tenaga listrik adalah suatu sistem yang berfungsi sebagai pengaman pada peralatan listrik suatu jaringan transmisi sehingga proses penyaluran energi listrik kepada konsumen dapat berjalan dengan baik. Sistem transmisi listrik dari sistem pembangkit dapat melalui Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), dan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT). Dalam setiap jalur transmisi tersebut diperlukan sistem proteksi yang dapat melindungi proses penyaluran listrik kepada konsumen. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKKT) merupakan sistem transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam dalam tanah. Meskipun berada didalam tanah dan dilindungi oleh sistem isolasi yang sangat baik, tetapi tidak luput juga dari terjadinya gangguan. Dalam sistem proteksi saluran kabel tanah dikenal dengan sebutan *Line Current Differential (LCD)* yaitu sistem proteksi yang bekerja berdasarkan Hukum Kirchoff 1 dengan membandingkan arus yang masuk dan arus yang keluar, dengan waktu kerja secara instan. Penelitian ini membuat simulasi dari sistem LCD menggunakan Arduino Mega 2560 yang dilengkapi dengan sistem *Internet of thnigs* (IoT) dengan aplikasi Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik.

Kata kunci : Transmisi, SKKT, *Line Current Differential (LCD)*, Arduino Mega 2560, IoT.

I. PENDAHULUAN

Setiap sistem tenaga listrik dilengkapi dengan sistem proteksi untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan sistem dan mempertahankan kestabilan sistem ketika terjadi gangguan, sehingga kontinuitas pelayanan dapat dipertahankan[1]. Begitu pula pada sistem transmisi tenaga listrik. Tetapi karena menggunakan tegangan tinggi, maka sistem proteksi pada transmisi pun menjadi lebih kompleks dan membutuhkan keandalan yang

tinggi. Oleh karena itu, sistem proteksi pada transmisi tenaga listrik dibuat berlapis sesuai dengan daerah dan waktu kerjanya[2]. Proteksi utama (*main protection*) yang bekerja dalam waktu instan dan proteksi cadangan (*back up protection*) yang bekerja dengan waktu tunda. Proteksi cadangan masih dibagi lagi menjadi proteksi cadangan lokal (*local back up protection*) dan proteksi cadangan jarak jauh (*remote back up protection*) yang bekerja dengan waktu tunda.

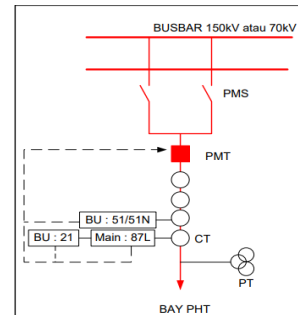
Sistem kerja dari pengaman utama pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi berupa relai *Line Current Differential* adalah dengan mengolah inputan arus yang mengalir pada saluran kabel tanah yang didapat dari peralatan *Current Transformer* (CT)[3], [4]. Inputan tersebut didapat dari dua *Current Transformer* yang saling berhadapan antar Gardu Induk, karena prinsip kerja dari relai *differential* sendiri yaitu bekerja berdasarkan hukum *kirchoff* 1 yaitu dengan membandingkan besaran arus yang terbaca dari CT Gardu Induk A dengan CT Gardu Induk B. Dalam keadaan normal maka nilai besarnya arus yang terbaca di Gardu Induk A dengan di Gardu Induk B hasilnya akan saling mengurangkan dan hasilnya adalah 0. Apabila terjadi gangguan di wilayah kerja relai maka besarnya arus yang terbaca akan saling menjumlahkan sehingga hasilnya lebih besar dari 0[5], [6]. Untuk membangun sebuah sistem simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan Arduino Mega 2560, keunggulan dari tipe *board* ini adalah jumlah pin I/O yang relatif banyak sehingga dapat digunakan untuk membuat aplikasi dengan kebutuhan periperal yang banyak[7]. Penelitian ini menghasilkan simulasi dari sistem *Line Current Differential* tersebut dengan menggunakan sumber tegangan DC, dan mensubstitusi komponen *current transformer* dengan sensor arus untuk mendeteksi perubahan arus yang terjadi saat terjadi kondisi *fault*.

II. METODE

A. Line Current Differential (LCD)

Line Current Differential (LCD) merupakan suatu sistem proteksi utama yang berada pada Saluran Kabel tegangan Tinggi (SKTT). Relai ini bekerja apabila mendeteksi gangguan di wilayah kerjanya, yaitu antara Current Transformer (CT) GI A dengan Current Transformer (CT) GI B dengan waktu kerja instan. Sistem kerja dari line current differential sendiri adalah bekerja berdasarkan hukum *kirchoff* 1, yaitu dengan membandingkan besar arus yang masuk dengan arus yang keluar dari saluran transmisi. Yaitu dengan membaca dari CT dari GI A dan CT dari GI B yang nanti nya akan digunakan oleh relai untuk membandingkan jumlah arus yang mengalir. Nilai arus settingnya adalah 0,3, Arus setting dibuat 0,3 A karena sebagai antisipasi apabila terdapat eror pada peralatan. Apabila terdapat gangguan diluar area kerja relai, yaitu diluar antara CT GI A dengan CT GI B maka relai tidak akan bekerja, karena besarnya arus dan sudut

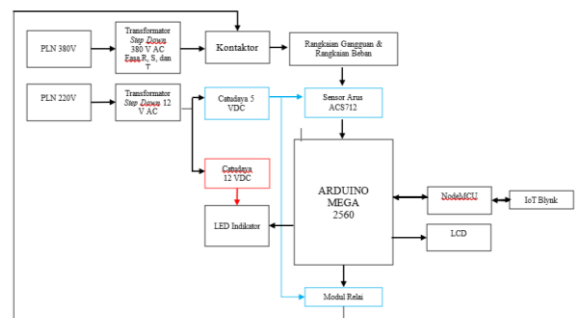
arus tersebut sama. Untuk situasi ini maka pengaman yang akan bekerja adalah relai backup. Sedangkan apabila terjadi gangguan di area kerja relai maka relai akan bekerja, karena arah sirkulasi arus akan berbalik dan arus pada relai akan saling menambahkan, sehingga perbandingan arus menjadi tidak seimbang, sehingga relai akan mengirimkan perintah untuk PMT trip instant/tanpa tunda waktu. Konfigurasi proteksi LCD secara umum diperlihatkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi Proteksi LCD.

B. Diagram Blok Sistem

Blok diagram dari sistem Simulasi Pengaman Pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi Berupa *Line Current Differensial* (LCD) Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Tampilan Human Machine Interface Dan Notifikasi Blynk diperlihatkan oleh Gambar 2 berikut



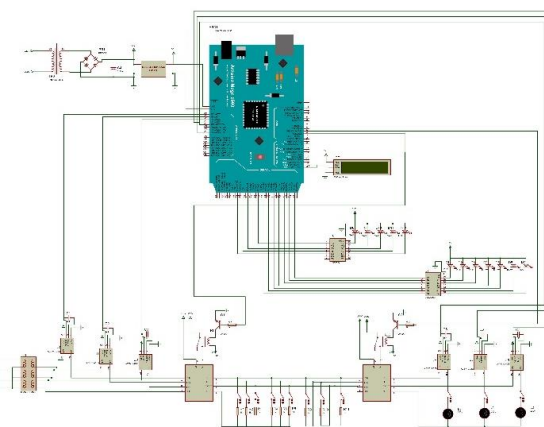
Gambar 2. Diagram Blok Simulasi

Bagian-bagian dari blok diagram tersebut yaitu:

- Sumber tegangan pada alat simulasi ini berasal dari PLN sebesar 380 VAC dan 220VAC. Sumber tegangan ini kemudian diturunkan tegangannya menggunakan transformator Step Down menjadi 200VAC dan 12VAC.
- Alat simulasi ini menggunakan 2 transformator Step Down, yaitu transformator Step Down 380 VAC ke 200VAC dan Transformator Step Down

12VAC. transformator Step Down 380VAC ke 200VAC digunakan untuk mengalirkan tegangan ke rangkaian arus dan rangkaian beban. Transformator Step Down 12VAC digunakan untuk sumber rangkaian Catu Daya.

- Rangkaian Catu Daya pada alat simulasi ini digunakan untuk mengubah tegangan 12 VAC menjadi 5 VDC dan 12 VDC. Tegangan dari rangkaian catu daya digunakan sebagai sumber tegangan untuk Arduino Mega 2560 dan Ethernet Shield 5100 dan Modul Relay 5 VDC dan sensor arus ACS712.
- Arduino Mega 2560 mendapatkan input dari sensor arus ACS712. Arus yang terbaca oleh sensor arus ACS712 pada rangkaian gangguan dan beban kemudian dikirim sebagai masukan untuk Arduino Mega 2560. switch yang tersambung pada rangkaian gangguan dan beban berfungsi memberikan masukan ke Arduino Mega 2560 untuk memerintahkan modul relay bekerja membuka atau menutup rangkaian.
- Setelah mendapatkan masukan dari Arduino Mega 2560, maka modul relay memberikan perintah kepada kontaktor untuk bekerja membuka atau menutup.
- Resistor yang digunakan pada rangkaian gangguan menggunakan resistor 1K Ω . Beban yang digunakan pada rangkaian beban berupa lampu 220 VAC 100 Watt sebanyak 3 buah.



Gambar 3. Rangkaian Keseluruhan Alat Simulasi

Rangkaian yang digunakan pada alat simulasi ini adalah rangkaian catu daya 12 VDC dan 5 VDC yang berperan sebagai sumber DC sistem proteksi yang sebenarnya, sensor arus ACS712 berperan sebagai pengganti CT, Arduino Mega

2560 berperan sebagai pengolah data OCR apabila terjadi gangguan, modul relay yang berperan sebagai trigger pada kontaktor, dan LED Indikator. Lampu Halogen 100 Watt sebagai beban dan beberapa resistor dengan nilai tahanan 1K Ω untuk menghubungkan singkatkan antar fasa sebagai simulasi gangguan. Kontaktor yang digunakan pada alat simulasi penelitian ini menggunakan 2 kontaktor yang akan disimulasikan sebagai PMT Gardu Induk A dan PMT Gardu Induk B.

Cara kerja dari alat simulasi ini adalah dengan menghubungkan sumber tegangan PLN sebesar 380 VAC ke rangkaian maka tegangan akan melalui transformator step down sehingga tegangannya turun menjadi 200VAC. Transformator yang digunakan ada 2 jenis yaitu trafo 3 fasa dan trafo 1 fasa. Trafo 3 fasa digunakan untuk mensimulasikan penghantar 3 fasa pada jaringan dan transformator 1 fasa digunakan untuk catu daya. Transformator 1 fasa dengan out 12VAC akan digunakan sebagai power untuk sensor arus, arduino, dan relay. Output dari transformator berupa tegangan 12VAC yang selanjutnya disearahkan dari gelombang AC menjadi gelombang DC melalui rectifier. Rectifier berupa 4 buah dioda yang dirangkai menjadi seperti jembatan/ Dioda Bridge. Dioda yang digunakan memiliki kapasitas arus maksimal sebesar 6A. Output dari diode bridge masih berupa gelombang DC denyut yang memiliki banyak ripple sehingga memiliki nilai tidak stabil. Kemudian tegangan masuk ke filter berupa kapasitor yang berfungsi untuk mengurangi ripple, sehingga tegangan DC menjadi low ripple dan mendekati DC murni. Output dari kapasitor tersebut sudah berupa tegangan DC murni. Selanjutnya output dari kapasitor dialirkan ke kaki input regulator tegangan untuk mengatur kestabilan tegangan. Regulator yang digunakan pada catu daya 5 VDC menggunakan IC Regulator LM2956. Rangkaian catu daya 5 VDC digunakan sebagai sumber tegangan pada sensor arus ACS712 dan Arduino yang berfungsi sebagai control utama. Rangkaian catu daya 12 VDC digunakan sebagai sumber tegangan dari pilot lamp.

Pada alat simulasi penelitian ini, sensor arus ACS712 yang berperan sebagai CT mendapatkan input sebesar 5V dari output rangkaian catu daya 5 VDC. Rangkaian sensor arus ACS712 dihubungkan ke output transformator 200 VAC dan ke rangkaian beban. Hasil pembacaan arus pada sensor arus ACS712 dihubungkan ke Arduino Mega 2560 melalui pin output sensor arus ACS712 ke pin analog Arduino Mega 2560 untuk dilakukan

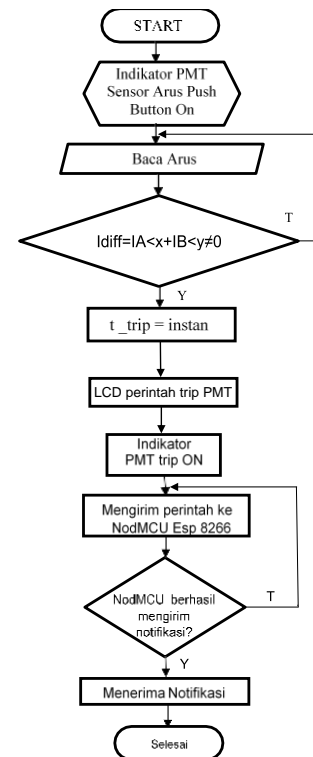
perhitungan Analog to Digital Converter (ADC). Pada kondisi normal sensor arus ACS712 akan membaca besarnya arus pada rangkaian tersebut dan besarnya arus ditampilkan pada LCD dan HMI. Apabila sensor arus ACS712 membaca arus yang melebihi nilai setting yang telah ditentukan, maka sensor arus ACS712 akan mengirimkan hasil pembacaan nilai tersebut ke Arduino Mega 2560 untuk diproses dan kemudian Arduino akan memberikan perintah kepada relay untuk melakukan trip pada kontaktor.

Arduino Mega 2560 mendapat sumber tegangan input dari rangkaian catu daya 5 VDC. Arduino Mega 2560 mendapat input dari sensor arus ACS712. Masukan dari sensor arus ACS712 ini berupa hasil pembacaan arus yang mengalir pada output transformator 200VAC, rangkaian gangguan, dan rangkaian beban. Kemudian Arduino Mega 2560 membandingkan nilai arus yang dibaca dari sensor arus ACS712 dengan nilai arus yang telah disetting. Apabila arus yang mengalir melebihi nilai setting maka Arduino Mega 2560 akan mengirim sinyal kepada relay untuk memerintahkan kontaktor trip, dan mengubah lampu indikator. Pin yang digunakan pada output sensor arus ACS712 adalah pin analog A0 sampai pin analog A5. Pada alat simulasi penelitian ini, Arduino Mega 2560 memiliki beberapa program, yaitu program sensor arus ACS712, program relay.

III. HASIL DAN DISKUSI

Alat simulasi ini menggunakan dua buah transformator *step down*, yaitu trafo 1 fasa dan trafo 3 fasa. Pada saat pengujian trafo 1 fasa menurunkan tegangan 207,1 V menjadi 11,92 V yang kemudian menuju ke rangkain penyearah sebagai catu daya dan trafo 3 fasa menurunkan tegangan dari 387 V menjadi 203,2 V sebagai simulasi pada penghantar 150 KV. Dalam alat simulasi penelitian ini gangguan disimulasikan pada penghantar transmisi Saluran Kabel Tanah Tegangan Tinggi (SKTT). Rangkaian gangguan terdiri dari 9 resistor dengan nilai tahanan $1K\Omega$ yang dihubungkan singkatkan antar fasa dan fasa-tanah. Hal ini bertujuan untuk menunjukkan prinsip kerja dari LCD dengan karakteristik trip instan berdasarkan arus differensial, yaitu apabila arus differensial yang terbaca telah melebihi arus setting maka PMT akan trip secara Instant. Rangkaian gangguan ini terhubung dengan saklar dengan tujuan untuk memilih arus yang diinginkan pada alat akan bekerja sebagai gangguan.





Simulasi beban pada alat simulasi penelitian ini menggunakan lampu 220 VAC 100 Watt yang tersambung pada rangkaian gangguan dan mendapatkan *supply* dari output transformator 3 Fasa 200V. Apabila sensor arus membaca arus differensial yang melebihi nilai *setting* maka *Arduino Mega 2560* akan memerintahkan relay bekerja *mentrigger* kontaktor untuk *trip* dan menyebabkan beban mati. Gambar 4 berikut memperlihatkan *flowchart* dari alat simulasi





Gambar 4. Flowchart Alat Simulasi

Hasil pengujian saat kondisi normal diperlihatkan pada Tabel 1.

TABEL 1. HASIL PENGUKURAN ALAT SIMULASI DALAM KEADAAN NORMAL

No.	Beban	Besar Arus		I diff (A)
		Arus GI A	Arus GI B	
1.	Fasa R	0,28 A	0,28 A	0
				
2.	Fasa S	0,28 A	0,29 A	0,1
				

Simulasi Pengaman Pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi
(Zacky Zein Alvanie, Eko Ariyanto, dkk : 79 - 84)

3.	Fasa T	0,30 A	0,30 A	0
				

Setting arus differensial yang digunakan sebesar 0,3 Ampere.

Cara menghitung arus diferensial dengan asumsi ratio CT 2000/1 dan error $\pm 5\%$ adalah sebagai berikut:

$$\text{Error CT} = -5\% = 1 - 0,05$$

$$= \frac{2000}{2000/1} - 5\% \times \frac{2000}{2000/1}$$

$$= 0,95$$

$$= 1 - 0,05 \times 1$$

$$\text{Matching} = \frac{2000}{2000} = 1$$

$$\text{Error CT} = 5\%$$

$$= 1 + 0,05$$

$$= \frac{2000}{2000/1} + 5\% \times \frac{2000}{2000/1} = 1,05$$

$$= 1 - 0,05 \times 1$$

$$\text{I diff} = 0,95 < 0^\circ + 1,05 < 180^\circ$$

$$= 0,1 \text{ P.U.} \longrightarrow (1A=1$$

P.U)

$$= 0,3 \text{ (dibulatkan 0,3 karena}$$

untuk mengantisipasi nilai error pembacaan)

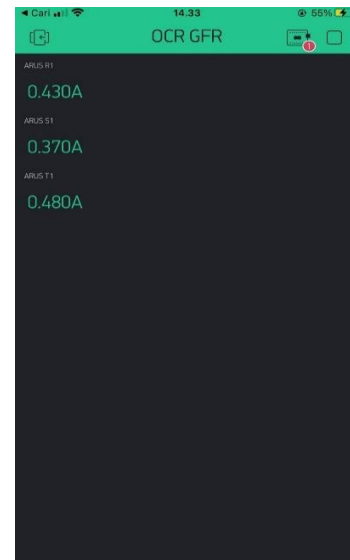
Selanjutnya dilakukan pengujian dengan beberapa kondisi arus pada masing-masing gardu, hasil pengujian ditunjukkan oleh Tabel 2.

TABEL 2. HASIL PENGUKURAN ALAT SIMULASI DALAM KEADAAN GANGGUAN

No	Fasa	Gangguan Fasa	Arus CT GI A	Arus CT GI B	Proteksi
1.	R	R-T	0,54 A	0,28 A	Tidak Bekerja
	S		0,28 A	0,28 A	Tidak Bekerja
	T		0,66 A	0,28 A	Bekerja
2.	R	R-S	0,56 A	0,28 A	Tidak Bekerja
	S		0,52 A	0,28 A	Tidak Bekerja
	T		0,64 A	0,28 A	Bekerja
3.	R	S-T	0,29 A	0,29 A	Tidak Bekerja

S		0,52 A	0,28 A	Tidak Bekerja
		0,66 A	0,29 A	Bekerja

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik sesuai dengan *setting differential* yang ditentukan. Sedangkan untuk memonitor hasil pembacaan arus tiap fasa ditampilkan secara sederhana melalui aplikasi Blynk. Hasil pembacaan arus tiap fasa pada simulasi ini ditunjukkan oleh Gambar 5. berikut



Gambar 5. Tampilan pengukuran pada aplikasi Blynk

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pembuatan dan pengujian alat ini dapat diambil beberapa kesimpulan. Alat simulasi ini menggunakan prinsip kerja *Line Current Differential* yaitu alat akan bekerja apabila arus differensial yang terbaca melebihi nilai *setting* dengan karakteristik *Instant Trip*.. Dengan simulasi arus gangguan sebesar 0,01 A 0,17 A 0,28 A 0,38 A sistem memerintahkan relai untuk bekerja membuka kontaktor (PMT) hanya pada arus gangguan 0,38A. Hal ini sesuai dengan nilai *setting* arus differensial yaitu 0,3 A. Rata-rata *Error* pembacaan sensor arus terhadap pembacaan alat ukur multimeter saat keadaan normal fasa R, S, dan T sebesar 5%.

Terdapat pula beberapa hal yang dapat dibahas dalam penelitian berikutnya. Ketika mendapatkan arus gangguan pada output trafo 3 fasa dengan tegangan 200VAC sebaiknya

menggunakan resistor yang nilai tahananya lebih besar supaya mampu menahan panas dari arus gangguan yang dihasilkan. Penggunaan resistor sebagai gangguan hanya terdapat pada wilayah kerja relai, alangkah baiknya diletakkan juga pada luar daerah kerja agar kita mengetahui reaksi apa yang diberikan relai *differential* terhadap gangguan apabila gangguannya terjadi diluar wilayah kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Rosa, “Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik,” *Pembangkitan Energi List.*, 2016.
- [2] H. Haskarya, M. Pujiantara, and A. Musthofa, “Koordinasi Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi pada Gardu Induk Mliwang – Tuban Akibat Penambahan Penghantar Pltu Tanjung Awar-Awar,” *J. Tek. ITS*, 2017.
- [3] A. Ameli, A. Hooshyar, E. F. El-Saadany, and A. M. Youssef, “An Intrusion Detection Method for Line Current Differential Relays,” *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, 2020.
- [4] A. Aichhorn, B. Etzlinger, A. Unterweger, R. Mayrhofer, and A. Springer, “Design, implementation, and evaluation of secure communication for line current differential protection systems over packet switched networks,” *Int. J. Crit. Infrastruct. Prot.*, 2018.
- [5] G. Sivanagaraju, S. Chakrabarti, and S. C. Srivastava, “Uncertainty in transmission line parameters: Estimation and impact on line current differential protection,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2014.
- [6] O. Avendano, B. Kasztenny, H. J. Altuve, B. Le, and N. Fischer, “Tutorial on Fault Locating Embedded in Line Current Differential Relays – Methods , Implementation , and Application Considerations,” *Annu. West. Prot. Relay Conf.*, 2014.
- [7] R. Berlianti and F. Fibriyanti, “Perancangan Alat Pengontrolan Beban Listrik Satu Fasa Jarak Jauh Menggunakan Aplikasi Blynk Berbasis Arduino Mega,” *SainETIn*, 2020.