

Analisis Gangguan Hubung Singkat dan Koordinasi Proteksi di Jaringan 20 KV PLTD Aneuk Laot ULP Sabang Dengan Simulasi ETAP 21.0.1

Firman Hakiki¹, Adi Sastra Pengalaman Tarigan², Hamdani³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

Corresponding Author: Adisastra Pengalaman Tarigan

ABSTRACT

Electricity is vital in human life. Therefore, seriousness is needed to keep the electricity distributed reliable. Short-circuit disruptions are one of the problems in the electrical system that can cause equipment damage and widespread interruption of electrical energy supply. Therefore, a reliable and adequate and well-coordinated protection system is needed to minimize the impact of these disturbances. Protection is said to be good if it meets several conditions, including having good selectivity, having a good interference response in minimizing equipment damage, having sensitivity that is sensitive enough to detect the smallest possible disturbance according to the current of the interference that has been regulated, having proper and efficient coordination and backup of the relay if the main relay fails, and having stability against external interference. Therefore, to be able to coordinate protection reliably and well, simulations are needed, one of which can be carried out using ETAP 21.0.1 software to model existing network systems, calculate short-circuit currents and evaluate the performance of coordination between primary and secondary protections. The results of the simulation that will come out later show that the value of the short-circuit current varies greatly at each busbar point depending on the impediment of the system and the network configuration. By simulating coordination using TAP, we can also adjust the value of the protection setting, especially the value of the Time Multiplier Setting (TMS) and the pick up flow. So that coordination between relays becomes more selective and reliable. This study provides an important overview of the reliability and safety of the electricity distribution operating system in the Sabang ULP area.

Keywords: Protection Systems, Current Interference, ETAP Software

ABSTRAK

Listrik merupakan hal vital dalam kehidupan manusia. Oleh karena itu diperlukan keseriusan untuk menjaga listrik tersalurkan tetap andal. Gangguan hubung singkat merupakan salah satu permasalahan dalam sistem kelistrikan yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan dan penghentian suplai energi listrik secara luas. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi yang andal dan memadai serta terkoordinasi dengan baik untuk meminimalisir dampak dari gangguan tersebut. Proteksi dikatakan baik jika memenuhi beberapa syarat diantaranya memiliki selektifitas yang baik, memiliki respons gangguan yang baik dalam meminimalkan kerusakan peralatan, memiliki sensitivitas yang cukup peka untuk mendeteksi gangguan sekecil mungkin sesuai dengan arus gangguan yang telah diatur, memiliki koordinasi yang tepat dan efisien serta backup relay jika relay utama gagal, serta memiliki stabilitas terhadap gangguan eksternal. Oleh karena itu Untuk dapat mengkoordinasi kan proteksi secara andal dan baik maka dibutuhkan simulasi yang salah satunya dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP 21.0.1 untuk memodelkan sistem jaringan eksisting, menghitung arus hubung singkat dan mengevaluasi performa koordinasi antara proteksi primer dan sekunder. Hasil simulasi yang nanti nya keluar menunjukkan bahwa nilai arus hubung singkat sangat bervariasi pada setiap titik busbar nya tergantung pada impedensi sistem dan konfigurasi jaringan. Dengan melakukan simulasi koordinasi menggunakan ETAP juga kita dapat melakukan penyesuaian nilai setting proteksi terutama pada nilai Time Multiplier Setting (TMS) dan dan arus pick up nya. Agar koordinasi antar relay menjadi lebih selektif dan andal. Penelitian ini memberikan gambaran penting dalam keandalan dan keamanan sistem operasi distribusi listrik di wilayah ULP Sabang

Kata kunci: Sistem Proteksi, Arus Gangguan, Software ETAP



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

1. Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga listrik memainkan peran penting dalam penyaluran daya yang andal dan aman dari pembangkit listrik ke pengguna akhir. Namun, gangguan seperti hubung singkat merupakan masalah umum dan, jika tidak diperbaiki dengan benar, dapat merusak peralatan dan mengurangi daya. Oleh karena itu, sistem keamanan yang efektif, selektif, dan andal diperlukan untuk mendeteksi dan memutus bagian jaringan yang terganggu dengan cepat [1], [2], [3].

PLTD Aneuk Laut bertanggung jawab untuk memastikan keandalan jaringan distribusi 20 kV di antara penyedia listrik di wilayah ULP Sabang. Mengingat pentingnya sistem ini, pemahaman tentang kemungkinan gangguan hubung singkat sangat penting, sekaligus memastikan bahwa gangguan tersebut tidak menyebar dan dikendalikan secara lokal. Menurut IEEE Std 242-2001 (Proteksi dan Koordinasi Sistem Tenaga Industri dan Komersial), koordinasi yang lebih baik antara relai primer dan sekunder dapat mengurangi jumlah area yang terganggu dan meningkatkan efisiensi sistem [4], [5], [6].

Di era modern, perangkat lunak simulasi seperti ETAP (Electrical Transient and Analysis Program) telah menjadi alat yang sangat berguna untuk analisis sistem kelistrikan. ETAP memungkinkan perhitungan arus hubung singkat sesuai dengan standar internasional seperti IEC 60909, sekaligus memungkinkan pemodelan sistem proteksi dan waktu operasi rele secara detail [7], [8].

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi 20 kV PLTD Aneuk Laot menggunakan perangkat lunak ETAP 21 dan menganalisis sistem pengamanannya. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang bermanfaat bagi keandalan distribusi tenaga listrik di wilayah ULP Sabang.

2. Tinjauan Pustaka

A. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah kondisi abnormal dalam sistem tenaga listrik yang terjadi akibat hubungan langsung antara dua titik berbeda potensial, seperti antar-fasa atau antara fasa dan tanah, yang menyebabkan arus tinggi mengalir dalam waktu singkat. Gangguan ini dapat terjadi karena isolasi yang rusak, sambaran petir, kegagalan peralatan, atau faktor eksternal lainnya [7], [9].

Menurut Saadat (2002), arus gangguan yang sangat besar dapat menyebabkan kerusakan peralatan, pemadaman luas, dan menurunkan kestabilan sistem tenaga, sehingga harus segera diputus oleh sistem proteksi. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa, dua fasa ke tanah, dan tiga fasa (*three-phase fault*), dengan gangguan tiga fasa biasanya menghasilkan arus terbesar [10].

B. Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah bagian penting dalam sistem tenaga listrik yang bertugas mendeteksi dan memutus gangguan untuk melindungi peralatan dan menjaga kontinuitas pelayanan listrik. Proteksi dikatakan baik apabila memiliki sifat selektif, cepat, andal, sensitif, dan terkoordinasi (Wildi, 2006).



Peralatan proteksi seperti rele arus lebih (Overcurrent Relay), pemutus daya (circuit breaker), dan trafo arus (Current Transformer/CT) bekerja secara terintegrasi untuk mendeteksi arus gangguan dan memberikan sinyal pemutusan ke pemutus sirkuit.

C. Koordinasi Proteksi

Koordinasi proteksi adalah proses pengaturan karakteristik waktu dan arus dari peralatan proteksi sehingga hanya peralatan terdekat dengan gangguan yang bekerja, sedangkan peralatan lain tetap aktif. IEEE Standard 242-2001 menjelaskan pentingnya koordinasi proteksi antara relay primer dan cadangan untuk menghindari pemutusan yang tidak perlu dan menjamin operasi sistem tetap selektif dan andal.

Koordinasi ini dilakukan dengan mengatur Time Current Characteristic (TCC) curve, pickup current, dan Time Multiplier Setting (TMS) pada relay, sehingga terdapat jeda waktu yang cukup antar relay.

D. Perangkat Lunak ETAP

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) adalah perangkat lunak simulasi sistem tenaga yang banyak digunakan dalam analisis kelistrikan, termasuk untuk studi arus hubung singkat, koordinasi proteksi, aliran daya, dan stabilitas sistem. Dalam simulasi arus gangguan, ETAP mampu menghitung arus hubung singkat berdasarkan standar IEC 60909 serta menampilkan kurva TCC untuk koordinasi relay.

Menurut Zimmerman dan Murty (2014), ETAP menyediakan antarmuka grafis yang mudah digunakan serta basis data peralatan yang luas, yang memungkinkan pengguna melakukan studi sistem tenaga secara komprehensif dan akurat

3. Metode

Pendekatan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif dan observatif dengan mengambil data dari beberapa penyulang yang ada PT PLN (Persero) dalam hal ini adalah Penyulang AL 07, AL 08, AL 09, AL 06, AL 05 di GH Aneuk Laot PLTD Aneuk Laot PT PLN (Persero) UP3 Banda Aceh, dimana nantinya akan dilakukan perhitungan mengenai analisis koordinasi sistem proteksi pada penyulang tersebut. Pada tahap ini akan dibahas mengenai bahan dan prosedur penelitian, peralatan yang digunakan, waktu dan tempat penelitian, pengumpulan data, dan waktu pengumpulan data dalam Analisis koordinasi sistem proteksi distribusi tegangan menengah 20 kV di GH Aneuk Laot PLTD Aneuk Laot PT PLN (Persero) UP3 Banda Aceh menggunakan ETAP 21.0.1.

4. Hasil dan Pembahasan

A. Penentuan Arus Hubung Singkat Masing-Masing Busbar

Untuk menentukan arus hubung singkat dengan simulasi short circuit pada ETAP maka data yang harus disiapkan antara lain :

1. Kapasitas Generator Masing masing mesin
2. Kapasitas dari Trafo Daya
3. Rating CT masing masing relay proteksi yang ada di penyulang
4. Data arus pickup dan Time dial masing masing relay proteksi yang bekerja
5. Jenis dan ukuran kabel yang digunakan

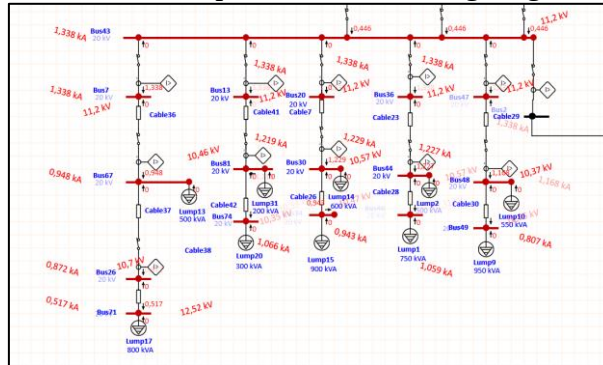


Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

6. Panjang Saluran Kabel yang eksisting di lapangan
7. Impedensi Kabel yang digunakan
8. Data Beban Puncak masing masing Section penyulang

Setelah melakukan simulasi maka di dapatkan hasil Hubung singkat sebagai berikut :



Gambar 1. Simulasi Short Circuit GH Aneuk Laot Sabang

Dari hasil simulasi tersebut arus hubung singkatnya sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Simulasi Short Cicuit menggunakan ETAP

No	Penyulang	Busbar	SC LG	SC LLG	SC LL	SC 3Phasa
1	Payaseunara	Busbar 7	1,338 kA	1,296 kA	0,899 kA	1,029 kA
		Busbar 67	0,948 kA	1,048 kA	0,777 kA	0,958 kA
		Busbar 26	0,872 kA	0,984 kA	0,746 kA	0,882 kA
		Busbar 71	0,517 kA	0,665 kA	0,555 kA	0,524 kA
2	Aneuk Laot	Busbar 13	1,338 kA	1,296 kA	0,899 kA	1,029 kA
		Busbar 81	0,948 kA	1,048 kA	0,777 kA	1,231 kA
		Busbar 74	0,872 kA	0,984 kA	0,746 kA	1,353 kA
3	RSU	Busbar 20	1,338 kA	1,296 kA	0,899 kA	1,296 kA
		Busbar 30	1,299 kA	1,255 kA	0,869 kA	1,255 kA
		Busbar 34	0,943 kA	1,040 kA	0,771 kA	1,040 kA
4	Taman Ria	Busbar 36	1,338 kA	1,296 kA	0,899 kA	1,029 kA
		Busbar 44	1,227 kA	1,252 kA	0,867 kA	0,993 kA
		Busbar 46	1,059 kA	1,132 kA	0,811 kA	0,930 kA
5	Lanud	Busbar 47	1,338 kA	1,296 kA	0,899 kA	1,029 kA
		Busbar 48	1,168 kA	1,217 kA	0,852 kA	0,976 kA
		Busbar 49	0,807 kA	0,930 kA	0,717 kA	0,824 kA

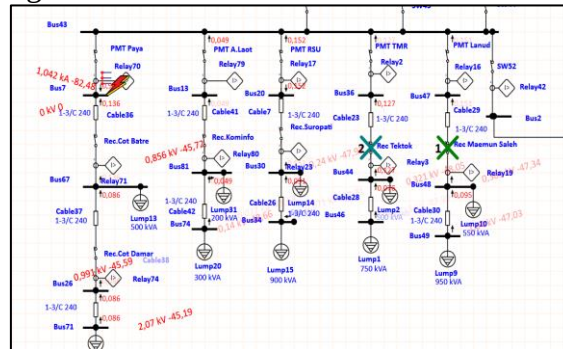
Berdasarkan hasil simulasi arus hubung singkat menggunakan ETAP, ditemukan bahwa nilai arus gangguan di setiap busbar menunjukkan variasi yang signifikan, meskipun seluruh sistem berada pada tegangan nominal 20 kV. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh variasi impedansi total dari sumber ke masing-masing titik gangguan. Busbar yang berada lebih dekat ke sumber (misalnya Bus13 dan Bus20) memiliki arus gangguan lebih tinggi (1.338 kA), sedangkan busbar yang berada jauh dari sumber seperti Bus71 hanya menghasilkan arus gangguan sebesar 0.517 kA. Sistem distribusi radial dan perbedaan panjang serta impedansi



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Setelah didapatkan nilai short circuit dari masing masing busbar selanjutnya adalah melakukan uji koordinasi proteksi melalui menu Star protection and coordination di aplikasi ETAP. Dengan Hasil sebagai Berikut :



Tabel 2. Hasil Simulasi Proteksi GH Aneuk Laot

No	Penyulang	Koordinasi Proteksi
1.	Aneuk Laot	Sesuai
2.	Taman Ria	Sesuai
3.	Lanud	Sesuai
4.	RSU	Sesuai
5.	Payaseunara	Belum Sesuai

1. Setelan TMS nya terlalu kecil atau arus pickup terlalu rendah dibanding relay yang seharusnya
2. TMS relay di bus 44 dan 48 terlalu kecil sehingga waktunya lebih cepat dibanding relay downstream di PMT Payaseunara
3. Kurva proteksi tidak sesuai (Curve mismatch), misal relay upstream pakai kurva very inverse tetapi relay downstream pakai kurva normal inverse
4. Adanya overlapping atau tumpang tindih pada kurva TCC Yang mengakibatkan Relay upstream lebih dulu trip.

Perhitungan Ulang Nilai TMS Relay Pavaseunara dengan data sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Perhitungan ulang nilai TMS

No.	Busbar	Arus hubung singkat	Arus Pickup
1.	Relay 7	1,353 kA	70
2.	Relay 44	1,178 kA	30
3.	Relay 48	1,174 kA	30

Perhitungan TMS Pada Relay 7

$$M = \frac{1353}{70} = 19,33 \Rightarrow M^{0,02} \approx 1.151$$

$$t = \frac{0.045 \times 0.14}{1.151 - 1} = \frac{0.0063}{0.151} \approx \boxed{0.041 \text{ detik}}$$

Perhitungan TMS Pada Relay 44

$$M = \frac{1178}{30} = 39.27 \Rightarrow M^{0,02} \approx 1.124$$

$$t = \frac{0.025 \times 0.14}{1.124 - 1} = \frac{0.0035}{0.124} \approx \boxed{0.0282 \text{ detik}}$$

Perhitungan TMS Pada Relay 48

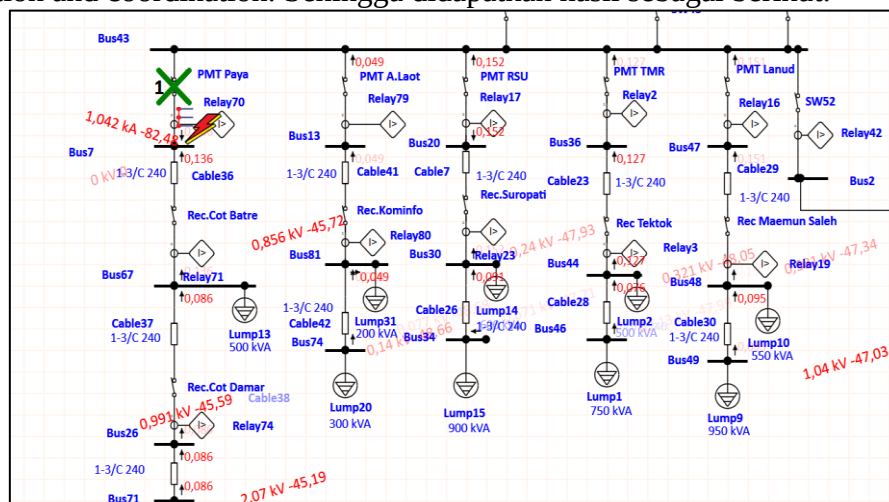
$$M = \frac{1174}{30} = 39.13 \Rightarrow M^{0,02} \approx 1.124$$

$$t = \frac{0.025 \times 0.14}{1.124 - 1} = \frac{0.0035}{0.124} \approx \boxed{0.0282 \text{ detik}}$$

Tabel 4. Perbandingan Nilai TMS Sebelum dan sesudah

Relay	TMS Sebelum	TMS Sesudah
Relay 7	0,052	0,041
Relay 44	0,285	0,282
Relay 48	0,282	0,282

Masukan Kembali Nilai TMS Yang telah dihitung ke ETAP Kemudian lakukan lagi simulasi Star protection and coordination. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 3. simulasi Star protection and coordination setelah dilakukan perhitungan ulang

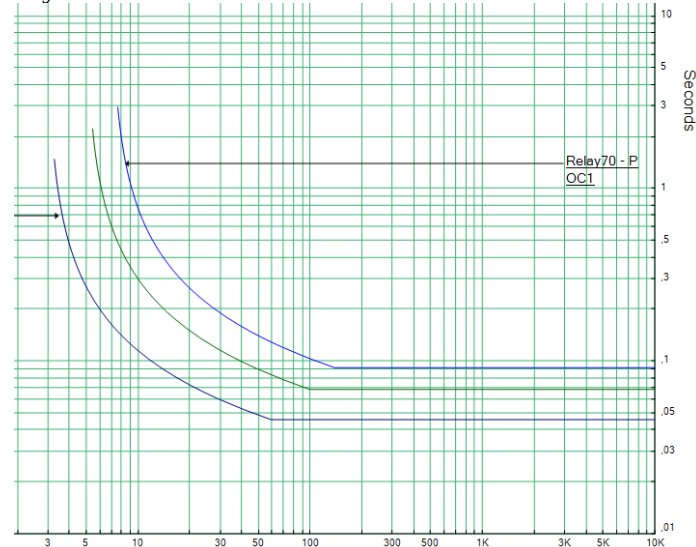
Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa mis-koordinasi yang terjadi pada percobaan sebelumnya telah berhasil diperbaiki, gangguan yang terjadi pada busbar 7. Pada awalnya membuat relay recloser maemun saleh melepas hal itu disebabkan karena arus gangguan yang disetting pada relay payaseunara terlalu besar sehingga apabila terjadi gangguan pada section



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

tersebut maka relay yang memiliki sensitivitas paling tinggi atau TMS nya yang paling rendah dalam hal ini akan mengalami trip. Setelah dilakukan perbaikan nilai TMS Maka system proteksi di GH Aneuk Laot bisa dikatakan telah selektif dan andal. Dapat dilihat juga pada kurva TCC dibawah ini bahwa arus gangguan sebesar 1029 A terlebih dahulu memutus relay terdekat nya yaitu relay 7.



Gambar 4. Kurva TCC Pk Payaseunara setelah dilakukan perhitungan ulang

5. Kesimpulan

1. Dalam penentuan arus hubung singkat dan koordinasi proteksi, data teknis seperti kapasitas generator, kapasitas trafo, jenis dan panjang kabel, serta rating CT dan arus pickup relay sangat penting untuk memastikan akurasi perhitungan dan simulasi.
2. Simulasi arus hubung singkat melalui ETAP menunjukkan variasi arus gangguan pada setiap busbar, yang dipengaruhi oleh jarak terhadap sumber dan impedansi kabel. Misalnya, Busbar yang dekat dengan sumber seperti Busbar 13 dan 20 menghasilkan arus gangguan tinggi ($\pm 1,338$ kA), sedangkan busbar yang lebih jauh seperti Busbar 71 hanya menghasilkan 0,517 kA.
3. Koordinasi Proteksi Awal Belum Selektif. Hasil awal simulasi koordinasi proteksi menunjukkan bahwa penyulang Payaseunara belum selektif. Hal ini ditandai dengan relay upstream (seperti Relay 44 dan 48) bekerja lebih cepat dari relay downstream (Relay 7) saat terjadi gangguan, yang menunjukkan terjadinya mal-trip atau false tripping.
4. Beberapa penyebab utama ketidakselektifan sistem proteksi adalah:
 - a. Nilai TMS relay terlalu kecil pada upstream.
 - b. Arus pickup terlalu rendah dibandingkan downstream.
 - c. Kurva karakteristik relay yang tidak sesuai antar tingkatan (misalnya mismatch antara inverse dan very inverse).
 - d. Overlapping kurva TCC, menyebabkan relay di luar zona gangguan merespons terlebih dahulu.
5. Dengan melakukan perhitungan ulang dan penyesuaian TMS berdasarkan arus gangguan (I_{sc}) dan arus pickup (I_p), maka diperoleh :
 - a. Relay 7: TMS disesuaikan dari 0.052 $\rightarrow$ 0.041
 - b. Relay 44 & 48: TMS disesuaikan ke 0.0282

Penyesuaian ini menghasilkan waktu kerja yang sesuai urutan selektivitas yang diinginkan, yaitu relay terdekat dengan titik gangguan bekerja lebih dahulu.

6. Simulasi Ulang Menunjukkan Selektivitas Terpenuhi. Setelah memasukkan nilai TMS yang baru ke ETAP, simulasi ulang menunjukkan bahwa sistem proteksi telah berfungsi secara selektif. Kurva TCC memperlihatkan bahwa gangguan 1029 A pada Busbar 7 terlebih dahulu mengenai kurva Relay 7 dibandingkan relay lain, menandakan koordinasi proteksi berhasil.
7. Keandalan Sistem Proteksi Meningkat. Perbaikan TMS menjadikan sistem proteksi pada GH Aneuk Laot lebih andal, respon cepat, dan terkoordinasi dengan baik, yang meminimalisir risiko padamnya penyulang lain akibat kesalahan proteksi.

REFERENSI

- [1] H. Hamdani, Z. Tharo, and S. Anisah, "Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Antara Daerah Pegunungan Dengan Daerah Pesisir," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)*, 2019, pp. 190–195.
- [2] A. D. Tarigan, P. Wibowo, and A. S. Tarigan, "Perancangan Otoped Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Media Transportasi," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 62–65, 2022.
- [3] A. Y. Panjaitan, A. S. P. Tarigan, and S. Aryza, "Design of One Phase Ats (Automatic Transfer Switch) Using Relay-Based Control and Time Delay Relay (Tdr)," *INFOKUM*, vol. 10, no. 03, pp. 519–525, 2022.
- [4] Z. Tharo and H. Hamdani, "Analisis biaya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap skala rumah tangga," *Journal of Electrical and System Control Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 65–71, 2020.
- [5] Z. Tharo, H. Hamdani, M. Andriana, and P. Andhika, "Wastafel Pintar Berbasis Energi Terbaru," *Intecom: Journal Of Information Technology And Computer Science*, vol. 6, no. 1, pp. 363–370, 2023.
- [6] Z. Tharo, H. Hamdani, M. Andriana, and P. Andhika, "Wastafel Pintar Berbasis Energi Terbaru," *Intecom: Journal Of Information Technology And Computer Science*, vol. 6, no. 1, pp. 363–370, 2023.
- [7] P. Wibowo, S. A. Lubis, and Z. T. Hamdani, "Smart home security system design sensor based on pir and microcontroller," *International Journal of Global Sustainability*, vol. 1, no. 1, pp. 67–73, 2017.
- [8] P. Wibowo, S. A. Lubis, and Z. T. Hamdani, "Smart home security system design sensor based on pir and microcontroller," *International Journal of Global Sustainability*, vol. 1, no. 1, pp. 67–73, 2017.
- [9] Z. Tharo, H. Hamdani, and M. Andriana, "Pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan angin sebagai sumber alternatif menghadapi krisis energi fosil di Sumatera," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)*, 2019, pp. 141–144.
- [10] M. Z. Zidane, S. Anisah, and A. P. Tarigan, "Monitoring Konsumsi Energi Kwh 3 Fasa Secara Real Time Dengan Aplikasi Amicon," *JOURNAL OF ELECTRICAL AND SYSTEM CONTROL ENGINEERING*, vol. 8, no. 2, pp. 195–200, 2025.
- [11] Saadat, H. (2002). *Power system analysis*. McGraw-Hill.
- [12] Wildi, T. (2006). *Electrical machines, drives, and power systems* (6th ed.). Pearson Education.
- [13] IEEE Power Engineering Society. (2001). *IEEE recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems (Buff Book)* (IEEE Std 242-2001). IEEE.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

- [14] Zimmerman, R. D., & Murty, P. S. R. (2014). *Power system modeling and scripting using ETAP*. CRC Press.
- [15] International Electrotechnical Commission. (2016). *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents* (IEC 60909-0:2016).
- [16] Brown, R. (2009). *Electric power distribution reliability*. CRC Press.
- [17] Gonen, T. (2014). *Electric power distribution engineering* (3rd ed.). CRC Press.
- [18] Elgerd, O. I. (1982). *Electric energy systems theory: An introduction*. McGraw-Hill.
- [19] Anderson, P. M. (1999). *Power system protection*. IEEE Press.
- [20] Kundur, P. (1994). *Power system stability and control*. McGraw-Hill Education.
- [21] Rizk, J., & Watson, N. (2011). *Electrical load forecasting: Modeling and model construction*. Wiley-IEEE Press.
- [22] Stagg, G. W., & El-Abiad, A. H. (1968). *Computer methods in power system analysis*. McGraw-Hill.

