

Pengaruh *Setting* OCR Terhadap *Arc Flash* Saat *Short Circuit* Penyulang AK19 Substation Diesel PT KDL

Muhammad Maulana^{1*}, Sulistyono¹, Fadhli Farsa²

¹Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

²PT Krakatau Daya Listrik, Cilegon

*Muhammadmaulana016@gmail.com

Abstrak— *Arc Flash* adalah pelepasan energi yang disebabkan oleh arus gangguan atau *arching fault* ataupun *bolted fault* yang dapat dipicu oleh kelembaban, kegagalan isolasi, *human error*, serta kegagalan mekanik. PT. Krakatau Daya Listrik (PT KDL) bergerak di bidang pembangkitan dan pendistribusian listrik di Kawasan Industri Krakatau. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi di PT KDL adalah gangguan yang diakibatkan oleh busur api (*arc flash*). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh *Setting* OCR terhadap *arc flash* saat terjadi *short circuit* di Panel AK19 Substation Diesel PT KDL pada tegangan 20kV. Analisis data penelitian ini mengacu pada standard IEEE 1584 - 2002 dan Metode Ralph Lee kemudian disimulasikan dengan software ETAP Power Station menggunakan data aktual lapangan. Hasil analisis menunjukkan *Fault Clearing Time* (FCT) memberikan perubahan yang cukup signifikan terhadap besarnya *arc flash* yang ditimbulkan ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Insiden energi (E) *arc flash* pada penelitian ini yaitu 58,35 Cal/cm² dengan FCT sebesar 0,3 s pada panel 20 kV, dan insiden energi yang dihasilkan analisa paling kecil yaitu 5,8 Cal/cm² dengan FCT sebesar 0,03 s. Hal ini membuktikan bahwa semakin cepat FCT maka besar insiden energi *arc flash* yang terjadi semakin kecil, sebaliknya semakin besar atau semakin lama FCT maka semakin besar insiden *arc flash* yang terjadi. Gangguan hubung singkat ini sangat dipengaruhi oleh perhitungan besar energi *arc flash* dan jarak batas perlindungan. Berdasarkan tabel *Hazard Risk Category* (HRC) diketahui bahwa semakin cepat FCT maka semakin kecil kategori *Personal Protective Equipment* (PPE) sesuai standard NFPA 70E 2018.

Kata Kunci: *Arc Flash*, FCT, HRC, *Personal Protective Equipment* (PPE), *Setting* OCR

DOI: 10.22441/jte.2023.v14i2.004

I. PENDAHULUAN

Tenaga listrik adalah suatu bentuk energi sekunder yang dibangkitkan, ditransmisikan, dan didistribusikan untuk segala macam keperluan tetapi tidak meliputi listrik yang dipakai untuk komunikasi, elektronika, atau isyarat. Distribusi tenaga listrik adalah penyaluran tenaga listrik dari system transmisi atau dari pembangkitan ke konsumen. (UU No 30 Tahun 2009)

PT. Krakatau Daya Listrik merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pembangkitan dan pendistribusian energi listrik yang men-supply wilayah Kawasan Industri Krakatau. Untuk mempertahankan keandalan dalam pendistribusian energi

listrik, beberapa hal yang penting untuk menjadi perhatian salah satunya adalah evaluasi terhadap gangguan-gangguan yang tidak diinginkan. Dari berbagai macam gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi tersebut salah satunya adalah gangguan yang diakibatkan oleh busur api (*arc flash*). *Arc Flash* adalah kondisi yang berbahaya akibat adanya pelepasan energi yang disebabkan oleh arus gangguan atau *arching fault* ataupun *bolted fault* (NFPA 70E). Atau dapat didefinisikan sebagai pelepasan energi panas yang sangat tinggi sehingga mengakibatkan *arc fault* maupun *bolted fault*. *Arching fault* adalah aliran listrik yang mengalir pada pembatas atau bagian yang bukan merupakan penghantar (bahan isolator). Sedangkan *bolted fault* merupakan arus gangguan yang menggunakan perantara konduktor sebagai jembatannya. Hal ini dipicu oleh berbagai macam hal mulai dari kelembaban, kegagalan isolasi, *human error*, kegagalan mekanik, dan lain sebagainya. Oleh karena itu untuk mencegah dan meminimalisir terjadinya gangguan tersebut penulis mengangkat topik ini menggunakan metode yang digunakan untuk menganalisa gangguan *arc flash* yang mengacu pada standar IEEE 1584-2002 dan Metode Ralph Lee.

Pada penelitian ini, akan dibahas mengenai Analisa Pengaruh *Setting* OCR Terhadap *Arc Flash* Pada Saat Terjadi *Short Circuit* di Panel AK19 Substation Diesel PT. Krakatau Daya Listrik. Akan dilakukan analisa terhadap besar energi *arc flash* pada feeder tersebut, kemudian ditentukan jarak aman bagi pekerja dan pakaian apa yang aman untuk bekerja di area tersebut lalu disimulasikan pada software ETAP power station.

II. PENELITIAN TERKAIT

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Rona FH (2018) dengan judul Analisa Bahaya *Arc Flash* Menggunakan Kurva Batasan Energi Pada PT. Pupuk Sriwidjaja” menyimpulkan bahwa masih terdapat beberapa bus *switchgear* yang memiliki kategori PPE lebih dari 4 dimana jarak aman tidak dapat ditentukan. [5]

Kemudian dalam penelitian Achmad AL (2018) yang berjudul “Desain Sistem Proteksi Sistem Tenaga Listrik Terhadap Bahaya *Arc Flash*” menyimpulkan bahwa besar insiden energi *arc flash* berbanding lurus dengan nilai *fault clearing time*. Berikutnya desain ulang *relay* dengan menambahkan *relay differential* pada *switchgear* dapat menurunkan besar insiden energi *arc flash*. [10]

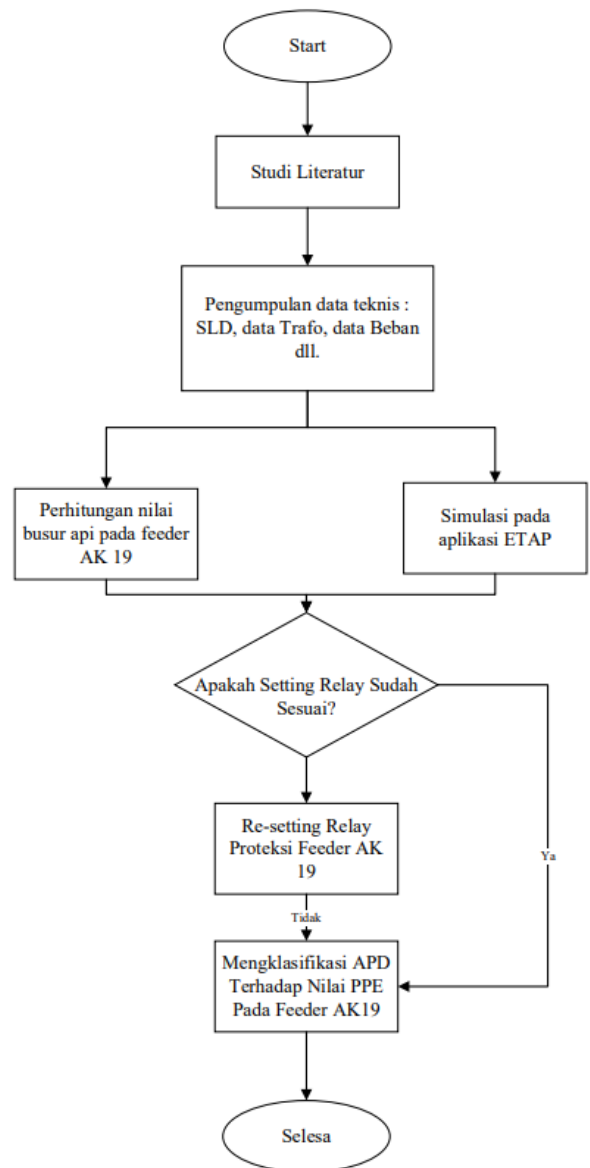
Dan penelitian oleh Wiwik K (2018) Dalam penelitiannya dengan judul “Analisis *Shock Hazard*, *Arc Flash* dan *Arc Blast* pada MDP dan Transformator” Menjelaskan bahwa berdasarkan NFPA 70E 2015 terhadap insiden besar energi yang diuji pada pada MDP 2 masuk kedalam kategori 2 dengan nilai energi sebesar 5,0145 cal/cm² dengan nilai *arc flash boundary* sebesar 1,092 m. Kemudian nilai *Arc Blast* terbesar terjadi pada MDP 1 dengan nilai 0,731 psi pada jarak 0,228m, hal ini dapat menyebabkan kerusakan kecil pada bangunan. [20]

Dalam penelitian Anton, dkk (2022) yang berjudul “Unjuk Kerja *Over Current Relay* Pada Incoming dan Outgoing Transformer Daya #1 60 MVA Gardu Induk Kenten menggunakan ETAP 19.0.1” menjelaskan bahwa nilai setting relay proteksi sisi outgoing disimpulkan lebih rendah dari sisi incoming dan nilai setting waktunya lebih cepat, hal tersebut bertujuan memberi kesempatan pada relay sisi outgoing untuk bekerja lebih dahulu daripada *relay incoming* sehingga tidak terjadi padam total pada busbar. [4]

III. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis Permasalahan
Metode ini dilakukan untuk menentukan topik dan perumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian.
2. Study Literatur
Melakukan pengkajian terhadap data-data dan informasi yang relevan dengan topik penelitian dari berbagai sumber untuk keperluan dasar teori, spesifikasi objek, dan analisis pembahasan dalam penulisan penelitian.
3. Diskusi dan Konsultasi
Melakukan diskusi dan konsultasi dengan dosen pembimbing dan rekan kerja di ruang lingkup PT. Krakatau Daya Listrik untuk memperoleh penjelasan tentang materi yang dibahas dalam penelitian.
4. Observasi
Mengamati secara langsung peralatan yang terdapat di lapangan untuk keperluan data yang dikumpulkan seperti : spesifikasi circuit breaker, nilai setting relay, jarak antar busbar, nilai beban, dan lain sebagainya.
5. Simulasi
Simulasi yang dilakukan menggunakan software ETAP power station untuk mengetahui Analisa dan kinerja system.
6. Analisis Data
Analisis data diolah untuk kemudian digunakan menjadi informasi dan acuan dalam perbaikan system, dan pengambilan kesimpulan akhir dalam penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN ANALISA

Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik, tabel, atau deskriptif. Analisis dan interpretasi hasil ini diperlukan sebelum dibahas.

A. Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa dan Arus Arching

Untuk menentukan arus hubung singkat 3 fasa, ada beberapa hal yang harus dipenuhi untuk menentukan arus hubung singkat adalah sebagai berikut :

1. Impedansi urutan positif sisi primer trafo, hal ini dapat dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \quad (1)$$

$$X_s = \frac{150^2}{2156,6} = 10,43 \Omega$$

2. Setelah mendapatkan impedansi urutan positif kemudian menghitung impedansi urutan positif sekunder trafo yang didapat dengan menggunakan persamaan 2 berikut :

$$X_s (\text{sekunder}) = \frac{kV(\text{sekunder})}{kV(\text{primer})} \times X_s (\text{primer})$$

$$X_s (\text{sekunder}) = \frac{202}{1502} \times 10,43 = 0,18$$

Jadi $Z_{s1} = j0,1$

$$X_s (\text{Sekunder}) = \frac{kV^2(\text{Sekunder})}{kV^2(\text{Primer})} \times X_s (\text{Sekunder}) \quad (2)$$

$$X_s (\text{Sekunder}) = \frac{20^2}{150^2} \times 10,43 = 0,18$$

Jadi $Z_{s1} = j0,1$

3. Kemudian Impedansi urutan positif trafo adalah sebagai berikut :

$$X_t(100\%) = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{20^2}{80} = 5 \Omega \quad (3)$$

Sehingga impedansi urutan positif dengan menggunakan impedansi pada trafo 10,433% adalah sebagai berikut :

$$X_t = X_t\% \times X_t (100\%) \quad (4)$$

$$X_t = 10,433 \times 5 = 0,521 \Omega$$

Maka, nilai $Z_{t1} = j0,521 \Omega$

4. Dikarenakan pada perhitungan ini penulis akan menghitung arc flash yang terjadi tepat pada circuit breaker, maka impedansi penyulang Z_1 yang digunakan adalah 0. Kemudian impedansi urutan positif Ekuivalen Feeder adalah sebagai berikut :

$$Z_{1eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \quad (5)$$

$$Z_{1eq} = j0,18 + j0,521 + 0 = j0,7$$

Maka, nilai $Z_{1eq} = j0,7$

5. Arus hubung singkat yang terjadi pada Feeder adalah sebagai berikut :

$$I_{3\text{Phase}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{20000\sqrt{3}}{j0,7} = \frac{11547,01}{\sqrt{0,7^2}} = 16,5 \text{ kA}$$

6. Lalu kemudian Arching current atau I_a dihitung melalui persamaan berikut :

$$I_a = 1,00929 \times I_{bf}^{0,953}$$

$$I_a = 1,00929 \times 16,5^{0,953} = 15,87 \text{ kA}$$

Maka, nilai $I_a = 15,87 \text{ kA}$

B. Energi Arc Flash

Untuk mencari besar energi arc flash panel, pada tahap ini penulis menggunakan 2 metode yaitu metode perhitungan dan analisa software ETAP 19. Parameter yang digunakan sesuai dengan data lapangan, berikut perhitungan dan analisa aplikasi ETAP 19.0.

1. Energi Arc Flash Berdasarkan Perhitungan

Untuk menghitung energi arc flash dalam hal ini penulis menggunakan metode Lee dikarenakan tegangan nominal

switchgear 20 kV (>15 kV). Oleh karena itu, perhitungan energi arc flash adalah sebagai berikut :

$$E = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \left(\frac{t}{D^2}\right) \quad (6)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 15,87 \left(\frac{0,3}{914^2}\right)$$

$$E = 244,14 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 58,35 \text{ cal/cm}^2$$

2. Perhitungan Jarak Batas Perlindungan

Berdasarkan tegangan nominal perhitungan jarak batas perlindungan menggunakan metode Lee sesuai persamaan 2.22, perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

$$D_B = \sqrt{2,412 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{E_B}\right)} \quad (7)$$

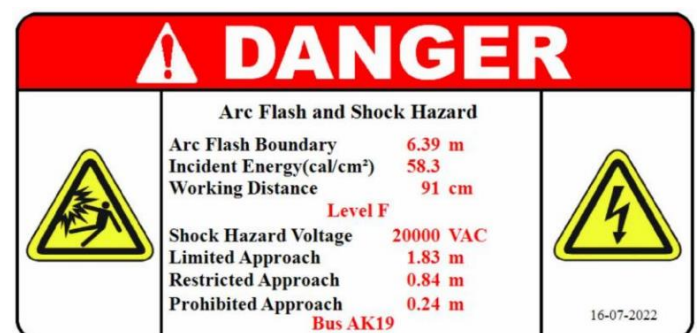
$$D_B = \sqrt{2,412 \times 10^6 \times 20 \times 15,87 \left(\frac{0,3}{5}\right)}$$

$$D_B = 6386,8 \text{ mm} = 6,3868 \text{ m}$$

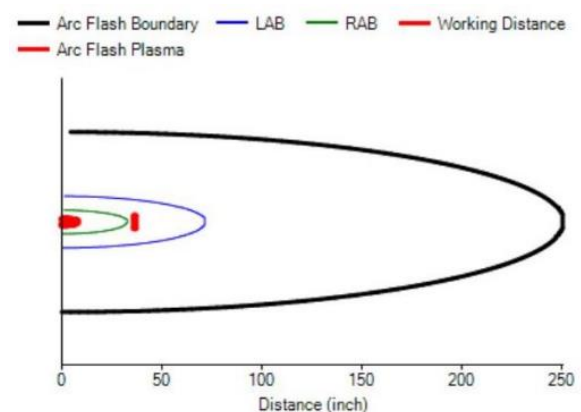
3. Hasil Analisa Berdasarkan Aplikasi ETAP 19

Tabel 1. Hasil Analisa dari ETAP 19

Bus Feeder	IE (kA)	FCT (s)	E (Cal/cm ²)	D _B (Inc)	Level Category
AK19	15,87	0,3	58,32	250,94	F



Gambar 2. Logo Tanda Bahaya Arc Flash AK19 by ETAP 19.0



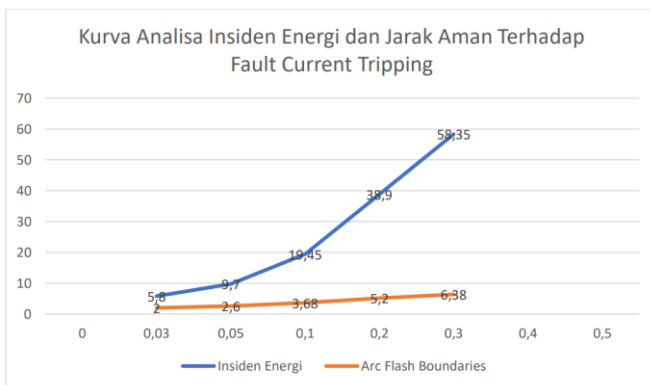
Gambar 3. Diagram Arc Flash Boundary by ETAP 19.0

C. Analisa Energi Arc Flash Berdasarkan FCT Set Relay

Berdasarkan perhitungan besar energi arc flash dan jarak batas perlindungan diatas, setting waktu terhadap gangguan hubung singkat sangat mempengaruhi energi dan jarak batas perlindungan yang terjadi dalam gangguan hubung singkat(short circuit) 3 fasa. Berikut tabel analisa seting waktu Fault Clearing Time (FCT) relay terhadap gangguan arc flash :

Tabel 2. Analisa Setting Waktu (Time Set Relay) Terhadap Gangguan Arc Flash


No	Ia (kA)	FCT (s)	E (Cal/cm ²)	D _B (m)
1	15,87	0,3	58,35	6,38
2		0,2	38,9	5,2
3		0,1	19,45	3,68
4		0,05	9,7	2,6
5		0,03	5,8	2






Gambar 4. Kurva Analisa Setting Waktu Terhadap Gangguan Arc Flash

D. Hazard Risk Category (HRC) dan Personal Protective Equipment (PPE) Yang digunakan berdasarkan standar NFPA 70E 2018

Tabel 3. Kelompok Pakaian Safety Berdasarkan HRC dan PPE

No	E (Cal/cm ²)	Kategori	APD	Ilustrasi
1	58,35	4	Up to 40 Cal/cm ² Flash Suit Hood Pelindung Kepala dan Wajah Pakaian Tahan Api Pelindung Mata Pelindung Telinga Celana Panjang	

2	38,9	3	Flash Suit Hood Pelindung Wajah dan Kepala Pelindung Mata Pakaian Anti Api Celana Panjang	
3	19,45	2	Flash Suit Hood Pelindung Wajah dan Kepala Pakaian Tahan Api Pelindung Mata dan Telinga	
4	9,7	2	Pelindung Mata Pelindung Telinga Kemeja Lengan Panjang Celana Panjang	

V. KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan dan pembahasan pada penelitian ini, beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut :

1. Dalam menghitung besar insiden energi arc flash yang terjadi pada sebuah kubikel/switchgear terdapat beberapa parameter yang menjadi acuan untuk menentukan besar insiden energi arc flash mulai dari level tegangan, I_{bf}, jarak kerja, dan waktu tripping (FCT). Hasil perhitungan maupun hasil simulasi menunjukkan bahwa besar insiden energi arc flash sebesar 58,35 Cal/cm², dan arc flash boundary yang diakibatkan seluas 6,384 m.
2. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, Fault Clearing Time (FCT) memberikan perubahan cukup yang signifikan terhadap besarnya arc flash yang ditimbulkan ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 phase, semakin kecil atau semakin cepat FCT maka besar insiden energi arc flash yang terjadi semakin kecil, begitu pula sebaliknya semakin besar atau semakin lama FCT maka semakin besar insiden arc flash yang terjadi.
3. Berdasarkan tabel Hazard Risk Category (HRC), dapat disimpulkan bahwa besar insiden arc flash yang terjadi pada panel AK 19 masuk kedalam kategori 4 dimana pakaian safety yang harus digunakan mampu menahan energi diatas 40 cal/cm². Namun hal ini dapat diatur dengan mengatur Fault clearing Time (FCT). Semakin cepat FCT maka

semakin kecil kategori PPE yang di kelompokkan terhadap energi arc flash yang terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini dengan kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang membantu dalam terselesaikannya penelitian ini, dan terimakasih kepada editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasinya jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ABB, 2008. Relay Coordination Study Methodology
- [2] J. C. Das, "Short-Circuits in AC and DC Systems: ANSI, IEEE, and IEC Standards". CRC Press. Boca Raton, 2017. ISBN: 9781351228282.
- [3] J. C. Das, "Arc Flash Hazard Analysis and Mitigation", *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.* 2012. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118402498>.
- [4] A. Firmansyah, Andri Suyadi, and M Bintang Satriaoktarian, "Unjuk Kerja Over Current Relay Pada Incoming dan Outgoing Transformer Daya #1 60 MVA Gardu Induk Kenten menggunakan ETAP 19.0.1," vol. 19, no. 1, pp. 01-10, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.33557/jtekn.v19i1.1613>.
- [5] R. A. Haqi, "Analisa Bahaya Arc Flash Menggunakan Kurva Batasan Energi Pada PT. Pupuk Sriwidjaja". Fakultas Teknik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] IEC 60909, "Short-Circuit Currents in Three-Phase AC Systems", Geneva: IEC, 2016.
- [7] IEEE Std 242, "Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book)", New York : IEEE, 2001.
- [8] IEEE Std 1584 TM, "IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2002.
- [9] IEEE Std. 18, IEEE Standard for Shunt Power Capacitors, 1992
- [10] Achmad Ersalutfianazar, Fachrudin Hunaini, and M. Mukhsim, "Desain Proteksi Sistem Tenaga Listrik Terhadap Bahaya Arc Flash," *Widya Teknika*, vol. 26, no. 1, 2013, Accessed: Jun. 24, 2023. [Online]. Available: <http://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/widyateknika/article/view/843>
- [11] R. H. Lee, "The Other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. IA-18, no. 3, pp. 246-251, May 1982, doi: 10.1109/TIA.1982.4504068.
- [12] NFPA 70E, "Standard for Electrical Safety in the Workplace 2015 Edition. Occupational Safety and Health Administration", OSHA Data and Statistic, 2015.
- [13] NFPA 70E-2018, "Standard for Electrical Safety in the Workplace, National Fire Protection Association," 2018.
- [14] Nursalim Nursalim, A. S. Sampeallo, and Ahieser P.L Willi, "Analisis Koordinasi Dan Setting Over Current Relay (Ocr) Pada Pemakaian Daya Sendiri Ptu Sms Energy Menggunakan Software Etap 12.6.0," *Jurnal Media Elektro*, pp. 100-109, Oct. 2019, doi: <https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.1884>.
- [15] T. E. Saputra, "Analisis Pengaruh Integrasi PLTS Terhadap Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi PT. Krakatau Daya Listrik. In Universitas Mercu Buana, 2022.
- [16] M. Schütt, "Short-Circuit Withstand Current Rating for Low Voltage Switchgear : Short-Circuit Current Rating (SCCR)," 2016.
- [17] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, "Power system analysis," *New York : McGraw Hill*, 1994
- [18] Sugiarto, "Pengenalan Proteksi Sistem Tenaga Listrik," 1st ed. Semarang: PT. PLN (Persero), 2007.
- [19] Undang-Undang No. 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan, *LN RI*, 2009.
- [20] W. Kurniati, R> Riantini and H. A. Widodo, "Analisis Shock Hazard, Arc Flash dan Arc Blast pada MDP dan Transformator," *Seminar K3* (Vol. 2, No. 1, pp. 195-200, 2018.