

Simulasi Pencegahan Blackout Akibat Gangguan Hubung Singkat Di Luar Zona Proteksi Diferensial Pada Jaringan Distribusi Closed Loop Penyulang Kompetensi dan Potensial

Eko Nio Rizki

PT PLN (Persero) UPDL Pandaan
niorizki@gmail.com

ABSTRACT

One way to improve the reliability of the power distribution system is to design a good protection system, which is selective, sensitive, reliable, fast, and easy. Through the simulation in this study, the protection system that has been installed will be compared, namely a closed-loop system with differential relay protection with a protection system with additional logic at the relay output, focusing on busbar disturbances belonging to customers substations. The result is that the protection system that has been installed has a drawback, namely when there is a disturbance in the busbar of the customer's substation, the two feeder circuit breakers in the loop system will trip with the required clearance time of 765 milliseconds, while after adding logic to the relay output, when it occurs there is only one feeder circuit breaker that trips while another tripped circuit breaker is at the substation with the required clearance time of 524 milliseconds, so there is only one customer who experiences a blackout.

Keywords: *simulations, differential, loop, trip*

ABSTRAK

Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik adalah dengan merancang suatu sistem proteksi yang baik, yaitu yang selektif, sensitif, andal, cepat dan mudah. Untuk mendesain suatu sistem proteksi kita bisa menggunakan bantuan perangkat lunak sebelum diterapkan di sistem sebenarnya. Melalui simulasi pada penelitian ini, akan dibandingkan sistem proteksi yang sudah terpasang yaitu sistem loop tertutup dengan proteksi relay diferensial dengan sistem proteksi dengan tambahan logika pada output relay, yang berfokus pada gangguan busbar gardu milik pelanggan. Hasilnya adalah sistem proteksi yang sudah terpasang terdapat kekurangan yaitu ketika terjadi gangguan pada busbar gardu milik pelanggan maka dua circuit breaker penyulang yang ada di sistem loop akan mengalami trip dengan waktu clearance yang dibutuhkan adalah 765 milisecond, sedangkan sesudah ditambahkan logika pada output relay, ketika terjadi gangguan hanya ada satu circuit breaker penyulang yang trip sedangkan satu circuit breaker yang trip lainnya ada di gardu hubung dengan waktu clearance yang dibutuhkan yaitu 524 milisecond, sehingga hanya ada satu pelanggan saja yang mengalami padam.

Kata kunci: *simulasi, diferensial, loop, trip*

1. PENDAHULUAN

Konfigurasi Jaringan *Loop* tertutup pada sistem distribusi di buat untuk meningkatkan keandalan penyaluran energi listrik ke pelanggan [1]. Konfigurasi *Loop* Tertutup adalah pengembangan dari Konfigurasi Spindel yang mempunyai level keandalan yang tinggi [2], Konfigurasi Jaringan Spindel terdiri dari beberapa penyulang biasa dan setidaknya ada satu buah penyulang ekspres yang tersambung ke suatu titik yaitu gardu hubung, pada saat kondisi normal semua koneksi ke gardu hubung (GH) terbuka (*normally open*) sehingga jaringan beroperasi secara radial, dan penyulang ekspres tidak dibebani, bila ada gangguan di salah satu penyulang, maka *Load Break Switch* (LBS) di titik sebelum dan sesudah gangguan dibuka dan *Load Break Switch* (LBS) pada gardu hubung pada penyulang ditutup, sehingga bisa disuplai oleh penyulang ekspres [3]. Untuk melakukan *manuver* tersebut tentunya membutuhkan waktu, dan hasil yang didapat adalah meskipun ada gangguan, tidak ada gardu pelanggan yang padam [4]. Untuk mempersingkat waktu *manuver* gangguan pada jaringan spindel, dibuatlah suatu sistem bilamana terjadi gangguan di kabel jaringan tersebut, tidak ada pelanggan yang padam, yaitu dengan membuat sistem *zero downtime* konfigurasi loop tertutup [5]. Dalam konfigurasi loop tertutup jika ada gangguan di salah satu kabel dari kedua penyulang maka akan diamankan oleh proteksi differensial, prinsip kerja dari relai differensial adalah mengamankan gangguan yang teletak diantara dua *current transformer*, deteksi gangguan di sistem proteksi diferensial ini dengan menjumlahkan nilai dari pembacaan arus pada 2 CT, jika jumlahnya = 0 maka relai tidak memerintahkan CB untuk *trip*, tetapi jika jumlahnya $\neq 0$ maka *relay* akan memerintahkan CB untuk trip dan 2 CB akan trip di waktu yang bersamaan dan secara instan. Dengan sistem ini, jika ada gangguan hubung singkat di kabel, maka relai differensial akan bekerja dan tidak ada pelanggan yang padam, yang kita kenal dengan istilah *zero downtime* [6].

Permasalahan muncul jika gangguan hubung singkat terjadi pada *busbar* kubikel pelanggan yang merupakan daerah yang tidak dalam lingkup (zona proteksi diferensial), sehingga akan menyebabkan *Relay* arus lebih (*Overcurrent Relay (OCR)*) atau *relay* gangguan fasa tanah (*ground fault relay (GFR)*) pada gardu induk trip dan karena konfigurasinya adalah *loop* tertutup, maka gangguan tidak hilang dan masih dirasakan oleh penyulang lainnya, yang menyebabkan OCR / GFR trip, sehingga 2 penyulang mengalami trip. Pada penelitian ini akan dibahas bagaimana cara mengurangi daerah padam pada sistem konfigurasi *loop* tertutup pada saat gangguan terjadi di *busbar* kubikel pelanggan karena pada penelitian sebelumnya hanya membahas terkait aliran daya dan juga besarnya arus hubung singkat saja. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja dari sistem proteksi pada *Loop* penyulang Kompetensi dan Potensial menggunakan aplikasi ETAP 12.6. Adapun alasan dipilihnya penyulang Kompetensi dan Potensial adalah karena penyulang tersebut sudah mengadaptasi sistem *zero downtime* dan menggunakan sistem proteksi relai diferensial.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini yang pertama adalah tinjauan pustaka, deskripsi mengenai konfigurasi jaringan spindel, mempelajari data jaringan, dan analisis hasil simulasi. Dalam prosesnya penelitian dibagi dalam tiga tahap yaitu:

- a. Tahap pertama adalah mempelajari konfigurasi jaringan spindel dan mempelajari data spesifikasi jaringan.
- b. Tahap kedua adalah melakukan simulasi *Star Protective Device Coordination* menggunakan Aplikasi Etap 12.6.
- c. Tahap ketiga yaitu menganalisis hasil simulasi koordinasi proteksi.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Jaringan Spindel

Jaringan Spindel adalah salah konfigurasi jaringan distribusi yang mempunyai keandalan tinggi, jaringan spindel menggunakan media Kabel Tanah untuk menyalurkan arus listriknya, jaringan spindel terdiri dari sejumlah penyulang yang bertemu di suatu titik yaitu di gardu hubung diujung jaringannya pada gardu hubung tersebut masing masing penyulang terdapat *Load Break Switch* yang berfungsi pada saat *manuver* dan pada jaringan spindel setidaknya ada satu penyulang ekspres yang dalam kondisi normal (tidak ada gangguan atau pemeliharaan jaringan) *express feeder* diperasikan bertegangan namun tidak berbeban [7].

2.2.2. Relay Differensial

Relay differential adalah *relay* yang bekerja berdasarkan perbandingan besarnya arus sekunder CT (*current transformer*) yang mengalir pada titik peralatan yang diproteksi. *Relay differential* dapat difungsikan sebagai pengaman gangguan *short circuit phase to phase* (overcurrent) dan *phase to ground* (*ground fault*). *Relay differential* mempunyai tingkat selektifitas yang tinggi dan cara kerjanya sangat cepat tetapi juga bisa diberikan *delay* atau waktu tunda trip, jika arus dalam CT 1 dan CT 2 sama besar maka *relay differential* tidak bekerja. Dan apabila terjadi perbedaan arus di kedua CT maka *relay differential* akan bekerja. Hal ini memungkinkan *relay differential* hanya akan bekerja jika ada gangguan di dalam zona proteksinya sebaliknya, *relay differential* tidak akan bekerja jika gangguan berada di luar zona proteksinya, zona proteksi yang dimaksud adalah zona yang berada di antara 2 CT [8].

2.2.3. Current Transformer

Transformator arus atau *current transformer* adalah alat yang berguna untuk menaksir besaran arus pada Tegangan Menengah atau Tegangan Tinggi yang mentransformasikan arus yang besar ke arus yang lebih kecil, dengan level keakuratan tinggi untuk keperluan proteksi dan pengukuran [8]. Untuk *rating* sisi primer CT dipilih berdasarkan nilai dari daya terpasang, umumnya *rating* arus sekunder CT yang ada di PLN yaitu 1 Ampere dan 5 Ampere. Transformator Arus mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$I_1 * N_1 = I_2 N_2$$

(1)

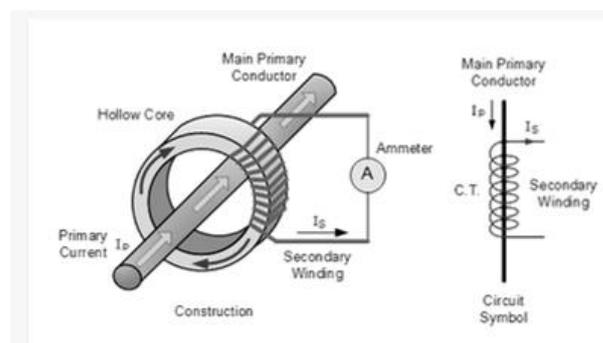
Dimana:

I_1 = Arus Sisi Primer

I_2 = Arus Sisi Sekunder

N_1 = Jumlah belitan sisi primer

N_2 = Jumlah belitan sisi sekunder



Gambar 1. Transformator arus atau Current Transformer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Teknis Jaringan Penyulang Kompetensi dan Potensial

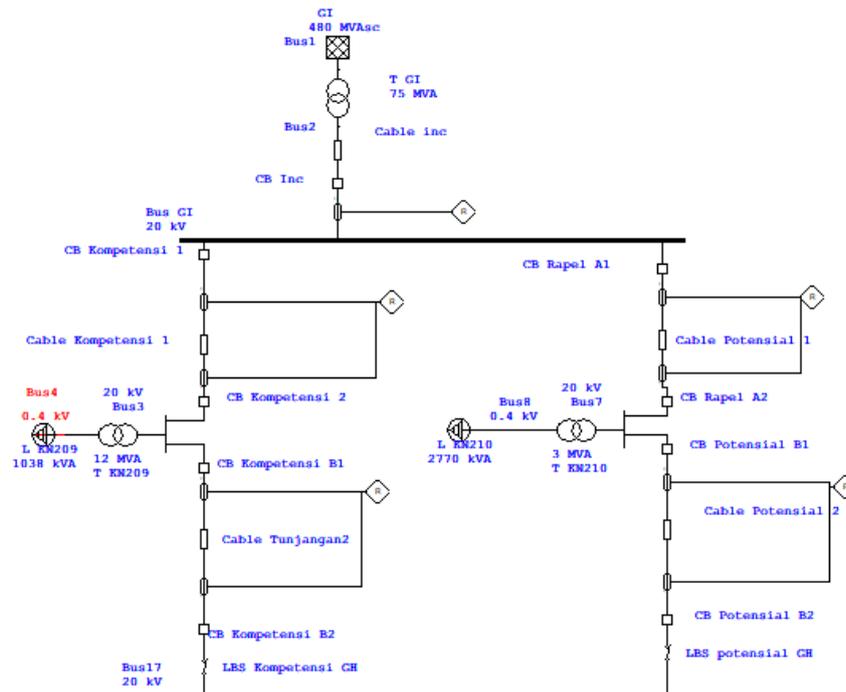
Penyulang yang akan digunakan untuk simulasi adalah penyulang Kompetensi dan penyulang Potensial. Penyulang Kompetensi dan Potensial adalah dua penyulang yang ada di UP3 Menteng UID Jakarta. disuplai dari Gardu Induk AGP. Masing masing penyulang tersebut hanya memiliki satu gardu pelanggan. Yang pertama ada gardu KN209 yang terletak di penyulang Kompetensi dan gardu KN210 yang terletak pada penyulang Potensial. Gardu KN209 mempunyai daya terpasang sebesar 10380 kVA sedangkan Gardu KN210 mempunyai daya terpasang sebesar 3000 kVA, data selengkapnya dapat kita lihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. Spesifikasi Penyulang Kompetensi dan Potensial

Nama Penyulang	Nama Gardu	Daya Terpasang	Tegangan
Kompetensi	KN209	10380 kVA	20 kV
Potential	KN210	3000 kVA	20 kV

3.2. Pembuatan Single Line dan Simulasi Pada ETAP

Pada simulasi kali ini akan membuat dua penyulang, yaitu penyulang Kompetensi dan Potensial, setiap penyulang mempunyai dua seksi, yang pertama adalah seksi dari gardu induk menuju gardu pelanggan, dan yang kedua dari gardu pelanggan menuju gardu hubung dan menggunakan sistem proteksi differensial, sistem proteksi differensial di rancang di setiap seksi yang terdiri dari sepasang CT dan CB yang diletakkan di pangkal dan ujung seksi, untuk seksi pertama CT dan CB pertama diletakkan pada kubikel *outgoing* di gardu induk sedangkan CT dan CB kedua diletakkan pada kubikel *incoming* pelanggan, sedangkan CT dan CB seksi kedua yang pertama ada di kubikel *outgoing* pelanggan dan yang kedua ada di *incoming* gardu hubung. Berikut adalah gambar *single line* simulasi menggunakan software ETAP 12.6 [9]:



Gambar 2. Single Line Penyulang Kompetensi dan Potensial

Simulasi dalam pengujian yang dilakukan yaitu simulasi gangguan hubung singkat fasa - fasa, dan fasa - tanah di setiap seksi dan juga pada busbar kubikel pelanggan, kemudian akan di catat hasilnya yaitu berupa data trip *relay*, apakah *relay overcurrent*, *relay ground fault* atau *relay differensial* beserta data kecepatan clearing gangguannya atau waktu yang dibutuhkan oleh *relay* pada saat merasakan gangguan hingga CB trip dan gangguan benar - benar hilang, sehingga didapatkan waktu yang dibutuhkan untuk clearance gangguan [10]. Simulasi hubung singkat juga akan dilakukan di dua kondisi, yang pertama pada kondisi sebelum menambahkan logika pada output *relay* dan juga setelah menambahkan logika pada output *relay*. Berikut adalah hasil simulasi hubung singkat sebelum ditambahkan logika pada output *relay*:

Tabel 2. Hasil simulasi hubung singkat fasa - fasa

Penyulang	Gardu	Seksi	Relay yang bekerja	Arus Gangguan Fasa -Fasa (Ampere)	Clearing Gangguan (ms)	Keterangan
Kompetensi	-	1	R Diferensial Kompetensi 1	7222	85	Ok
	KN209	Busabar Pelanggan	R OCR Instant Kompetensi 1 dan R Incoming	5103	765	Incoming trip
	-	2	R Diferensial Kompetensi 2	3295	85	Ok
Potensial	-	1	R Diferensial Potensial 1	7152	85	Ok
	KN210	Busabar Pelanggan		5041	365	2 penyulang trip
	-	2	R Diferensial Potensial 2	3228	85	Ok

Tabel 3. Hasil simulasi hubung singkat fasa - tanah

Penyulang	Gardu	Seksi	Relay yang bekerja	Arus Gangguan Fasa -Netral (Ampere)	Clearing Gangguan (ms)	Keterangan
Kompetensi	-	1	R Diferensial Kompetensi 1	1046	85	Ok
	KN209	Busabar Pelanggan	Relay Ground fault Kompetensi 1 dan Relay Potensial 1	772	738	2 penyulang trip
	-	2	R Diferensial Kompetensi 2	512	85	Ok
Potensial	-	1	R Diferensial Potensial 1	1046	85	Ok
	KN210	Busabar Pelanggan	Relay Ground fault Kompetensi 1 dan Relay Potensial 1	772		2 penyulang trip

	-	2	R Diferensial Potensial 2	512		Ok
--	---	---	------------------------------	-----	--	----

Dari hasil simulasi pada Tabel 2 dan Tabel 3, jika gangguan terjadi pada busbar kubikel pelanggan sistem konfigurasi loop tidak mampu untuk mengamankan gangguan dengan menggunakan *relay* diferensial, dikarenakan letak gangguan berada di luar zona proteksi diferensial, pada sistem konfigurasi *loop* jika terdapat gangguan minimal harus ada dua CB yang trip, sehingga saat gangguan terjadi di *busbar* kubikel pelanggan CB yang trip adalah dua CB yang berada di pangkal penyulang yang terdapat di gardu induk, akibatnya semua pelanggan di sistem ini mengalami padam atau istilah yang sering kita dengar adalah *blackout*.

Kemudian untuk mengatasi permasalahan *blackout* pada saat gangguan di busbar gardu milik pelanggan dengan menambahkan *logic* untuk *output relay* tipe Areva P343 [11] yang ditempatkan pada outgoing gardu induk atau pangkal penyulang, masing masing pada *relay* Kompetensi 1 dan potensial 1, berikut adalah rincian output *relay* kompetensi 1 dan potensial 1:

Tabel 4. Output *relay* sebelum dan sesudah ditambahkan *logic*

No	Relai	Output CB			
		Sebelum penambahan <i>logic</i>		Sesudah penambahan <i>logic</i>	
		Relay Element	CB ID	Relay Element	CB ID
1	R Kompetensi 1	Differential	CB Kompetensi 1	Differential	CB Kompetensi 1
		Phase	CB Kompetensi 1	Phase	CB Kompetensi 1
		Ground	CB Kompetensi 1	Ground	CB Kompetensi 1
		Differential	CB Kompetensi 2	Differential	CB Kompetensi 2
				Phase	CB Kompetensi B2
		Ground	Potensial B2		
2	R Potensial 1	Differential	CB Potensial 1	Differential	CB Potensial 1
		Phase	CB Potensial 1	Phase	CB Potensial 1
		Ground	CB Potensial 1	Ground	CB Potensial 1
		Differential	CB Potensial 2	Differential	CB Potensial 2
				Phase	CB Kompetensi B2
		Ground	CB Potensial B2		

Dari Tabel 4, perbedaan *output relay* sebelum dan sesudah ditambahkan *logic* adalah , adanya penambahan output pada *relay element phase* (*Overcurrent relay*) dan *Ground* (*Ground fault Relay*) masing masing ditambahkan *element phase* dengan output CB Kompetensi B2 dan *ground* dengan *output* Potensial B2 di masing masing *relay* R Kompetensi 1 dan R Potensial 1.

Dan berikut adalah hasil simulasi gangguan pada gardu pelanggan setelah ditambahkan *logic* pada *relay*:

Tabel 5. Hasil simulasi sesudah ditambahkan *logic*

Penyulang	Gardu	Relay yang bekerja	Arus Gangguan fasa -fasa (Ampere)	Arus Gangguan fasa -tanah (Ampere)	Clearing Gangguan (ms)	Keterangan
Kompetensi	KN209	Instant	5103		365	1 penyulang trip

		Ground fault		772	524	1 penyulang trip
Potensial	KN210	Instant	5041		365	1 penyulang trip
		Ground fault		772	524	1 penyulang trip

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil simulasi hubung singkat fasa fasa dan fasa tanah [12], ketika titik gangguan terjadi pada kabel antar seksi penyulang, proteksi yang bekerja adalah *relay* diferensial dengan rata rata kecepatan *clearing* gangguannya yaitu 85 ms, sesuai dengan setting *relay* dengan kecepatan 20 ms dan kecepatan CB open 65 ms (library file CB Merlin Gerin SF-1 63), sedangkan pada saat gangguan terjadi pada *busbar* kubikel pelanggan *relay* diferensial tidak dapat bekerja karena di luar zona proteksinya [13], sehingga *relay* yang mengamankan gangguan adalah *relay* GFR/OCR yang ada di gardu induk dan karena pada sistem konfigurasi *loop* tertutup memerlukan dua CB trip untuk mengamankan gangguan maka diperlukan logika *output* tambahan pada *relay* agar tidak terjadi blackout[14], setelah ditambahkan logika pada *relay*, *clearing* terhadap gangguan membutuhkan waktu sebesar 365 ms pada gangguan fasa - fasa sesuai dengan *setting relay* instan 300 ms dan kecepatan open CB 65 ms (Library file Merlin Gerin SF-1 63) dan gangguan fasa tanah 524 ms dengan demikian setelah ditambahkan *logic* pada *output relay* hanya satu penyulang saja yang tidak terlaiki daya[15]. Harapan kami hasil dari penelitian ini dapat diterapkan pada kondisi sebenarnya yaitu pada penyulang kompetensi dan potensial yang ada di Kawasan Mega Kuningan Jakarta.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) dan Institut Teknologi PLN yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan jurnal ini, semoga jurnal ini bisa bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fatoni, A. (2017). Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). Jurnal Teknik ITS, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16150>
- [2] Perdana, W. P., Nur Hasanah, R., & S. Dachlan, H. (2009). Evaluasi Keandalan Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Gardu Induk Blimbing. Jurnal EECCIS.
- [3] Hardiantono, D., & Mangera, P. (2019). Comparison using express feeder and capacitor bank allocation to corrective voltage level on primary distribution feeder. European Journal of Electrical Engineering, 21(4), 355–359. <https://doi.org/10.18280/ejee.210402>
- [4] Ode, A. K., & Faridha, M. (2020). Pengaruh Manuver Jaringan Distribusi 20 Kv Terhadap Indeks Keandalan Penyulang BT07 Batulicin. Jurnal EEICT (Electric, Electronic, Instrumentation, Control, Telecommunication), 3(2). <https://doi.org/10.31602/eeict.v3i2.4275>
- [5] Samsinar, Riza, and Witji Wiyono. 2019. “Studi Keandalan Rekonfigurasi Jaringan Program Zero Down Time (Zdt) Di Kawasan Sudirman Central Business Distric (Scbd) Menggunakan Software ETAP 12.6.” RESISTOR (ElektRONika KEndali TelekomunikaSI Tenaga LiSTRik KOmputeR) 2 (1). Universitas Muhammadiyah Jakarta: 65. doi:10.24853/resistor.2.1.65-72.
- [6] Dharmawan, N. B., Ariastina, W. G., & Amrita, A. A. N. (2020). Studi Sistem Proteksi Line Current Differential Relay Pada Saluran Transmisi 150 KV. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 7(1), 152–161.
- [7] Samsinar, R., & Wiyono, W. (2019). Studi Keandalan Rekonfigurasi Jaringan Program Zero Down Time (Zdt) di Kawasan Sudirman Central Business Distric (Scbd) Menggunakan

- Software ETAP 12.6. RESISTOR (ElektRONika KEndali TelekomunikaSI Tenaga LiSTrik KOMputeR), 2(1), 65. <https://doi.org/10.24853/resistor.2.1.65-72>
- [8] Nova, R. C. (2018). Simulasi Dan Monitoring Relai Diferensial Sebagai Proteksi Busbar Di Gardu Induk Tegangan Tinggi Dengan Konfigurasi Double Busbar Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Menggunakan Scada. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- [9] Thangalakshmi, S. (2016). Planning and coordination of relays in the distribution system. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(31). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i31/91734>
- [10] Darabi, A., Bagheri, M., & Gharehpetian, G. B. (2020). Highly sensitive microgrid protection using overcurrent relays with a novel relay characteristic. *IET Renewable Power Generation*, 14(7), 1201–1209. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2019.0793>
- [11] Das, J. C. (2017). Short-circuits in AC and DC systems: ANSI, IEEE, and IEC standards. *Short-Circuits in AC and DC Systems: ANSI, IEEE, and IEC Standards (Vol. 1, pp. 1–725)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351228282>
- [12] Qais, M., Khaled, U., & Alghuwainem, S. (2018). Improved differential relay for bus bar protection scheme with saturated current transformers based on second-order harmonics. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 30(4), 320–329. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2016.10.003>
- [13] Masood, N. A., Yan, R., & Kumar Saha, T. (2018). Cascading Contingencies in a Renewable Dominated Power System: Risk of Blackouts and Its Mitigation. In *IEEE Power and Energy Society General Meeting (Vol. 2018-August)*. IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2018.8586316>
- Le, K. H., & Vu, P. H. (2019). Performance Evaluation of a Generator Differential Protection Function for a Numerical Relay. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(4), 4342–4348. <https://doi.org/10.48084/etasr.2754>
- [14] Medeiros, R. P., & Costa, F. B. (2018). A Wavelet-Based Transformer Differential Protection with Differential Current Transformer Saturation and Cross-Country Fault Detection. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(2), 789–799. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2017.276406>
- [15] Hemmati, R., & Mehrjerdi, H. (2019). Non-standard characteristic of overcurrent relay for minimum operating time and maximum protection level. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.101953>.