

Peningkatan Keandalan Trafo Gardu Induk 150/20 kV terhadap Gangguan Through Fault Current dari Sisi Penyulang 20 kV di Wilayah PT PLN (Persero) UIT JBB

Nowo Wicaksono¹, Priyan Gagini Chamdareno², Budiyanto³, Erwin Dermawan⁴

^{1) 2) 3) 4)} Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jl. Cempaka Putih Tengah 27 No 47

Email: prian.gagini@umj.ac.id

ABSTRAK

Dalam penyaluran energi listrik, gangguan adalah sesuatu hal yang tidak dapat dihindari. Dalam berbagai macam sumber dan jenis gangguan, terdapat gangguan yang berpotensi merusak peralatan secara permanen. Salah satu gangguan tersebut adalah gangguan through fault current di sistem jaringan 20 kV yang berdampak terhadap trafo yang terpasang di Gardu Induk. Over Current Relay (OCR) sebagai proteksi eksisting di penyulang 20 kV, bertugas untuk memberikan perintah trip PMT Penyulang 20 kV ketika terjadi gangguan, namun ada potensi mala kerja PMT 20 kV yang berakibat menambah durasi gangguan yang dirasakan oleh Trafo. Di dalam penelitian ini akan membahas tentang perubahan skema proteksi antara penyulang dan incoming 20 kV terhadap gangguan Through Fault Current yang akan berdampak terhadap penurunan laju ketahanan trafo terhadap gangguan Through Fault Current.

Kata Kunci: Over Current Relay, Through Fault Current, Penyulang, Incoming

ABSTRACT

In the distribution of electrical energy, disturbances are something that cannot be avoided. In various sources and types of disturbances, there are disturbances that have the potential to permanently damage equipment. One of these disturbances is through fault current disturbances in the 20 kV network system which has an impact on the transformer installed in the Substation. Over Current Relay (OCR) as existing protection in the 20 kV feeder, is tasked with providing a trip command to the 20 kV Feeder PMT when a disturbance occurs, but there is a potential for the 20 kV PMT to malfunction which results in increasing the duration of the disturbance felt by the Transformer. This study will discuss changes in the protection scheme between the feeder and incoming 20 kV against Through Fault Current disturbances which will have an impact on reducing the rate of transformer resistance to Through Fault Current disturbances.

Keywords: Over Current Relay, Through Fault Current, Feeder, Incoming

1 PENDAHULUAN

Dalam menjaga keandalan dan keberlangsungan penyaluran energi listrik ke konsumen, salah satu upaya yang harus dilakukan dengan menjaga kesiapan operasi peralatan yang langsung berkaitan dengan kebutuhan operasi sistem tenaga listrik. Salah satu peralatan yang mempunyai pengaruh besar dalam sistem penyaluran adalah PMT dan Trafo. PMT adalah peralatan kelistrikan yang berfungsi sebagai pemutus energi listrik ketika terjadi gangguan dan Trafo adalah peralatan kelistrikan yang berfungsi sebagai perubah tegangan sehingga sampai ke konsumen dengan tegangan yang dapat digunakan oleh konsumen sesuai dengan kebutuhannya.

Sistem tenaga listrik disini adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi

sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi [1].

Transformator harus dirancang untuk menyediakan level isolasi frekuensi rendah dan impuls yang terkoordinasi pada terminal saluran dan level isolasi frekuensi rendah pada terminal netral. Identitas utama dari serangkaian level yang terkoordinasi harus berupa tegangan sistem maksimum dan level isolasi impuls petir dasar [2].

Transformator daya adalah suatu peralatan statis dengan dua atau lebih lilitan yang, melalui induksi elektromagnetik, mengubah suatu sistem tegangan dan arus bolak-balik menjadi sistem tegangan dan arus lain yang biasanya memiliki nilai berbeda dan pada frekuensi yang sama untuk tujuan mentransmisikan daya listrik [3]. Kegagalan pada instalasi sistem tenaga listrik tidak mungkin dapat dihindari, untuk mengurangi kerusakan dan memperkecil daerah gangguan maka dibutuhkan

sistem proteksi [4]. Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya arus lebih yang besar dan dapat menyebabkan gangguan pada kinerja peralatan seperti trafo distribusi dan menyebabkan gangguan yang terjadi semakin meluas [5]. Ketika terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui transformator melebihi arus kelebihan beban transformator [6]. Kegagalan adalah perbedaan yang tidak dapat diterima antara kinerja yang diharapkan dan yang diamati. Kegagalan dapat terjadi karena dua alasan umum: (a) cacat teknis atau fisik, dan (b) kesalahan operasional atau prosedural. Aspek teknis dan fisik dari analisis kegagalan meliputi desain, material, manufaktur, konstruksi, perakitan, dan pemeliharaan. Aspek operasional dan prosedural dari analisis kegagalan meliputi topik-topik seperti manajemen dan pengendalian mutu, yang terkait dengan faktor manusia [7]. Sistem distribusi sangat rentan terhadap gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan interkoneksi tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen [8]. Konstruksi trafo tiga fasa pada dasarnya merupakan trafo satu fasa yang tersusun menjadi tiga bagian pada inti besi. Trafo terdiri dari kumparan dan inti besi. Biasanya terdapat dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kedua kumparan tersebut tidak berhubungan secara fisik melainkan dihubungkan oleh medan magnet [9]. Trafo merupakan salah satu komponen dalam sistem kelistrikan. Sebagai salah satu elemen penting dalam sistem, kegagalan trafo dapat mengakibatkan pemadaman listrik besar-besaran pada system [10]. Pada sistem koordinasi proteksi di Gardu Induk pada sistem tegangan 20 kV. Jaringan 20 kV akan diamankan oleh OCR/GFR penyulang 20 kV yang akan memberikan perintah trip ke PMT penyulang 20 kV terjadi gangguan di jaringan 20 kV. Selanjutnya jika terjadi mala kerja PMT penyulang 20 kV sehingga PMT penyulang 20 kV mengalami kegagalan trip terhadap gangguan, maka gangguan yang terjadi di jaringan 20 kV tersebut akan diamankan oleh PMT incoming 20 kV yang berada pada 1 level di atas PMT Penyulang 20 kV. Dengan setting eksisting yang terpasang di rele OCR Penyulang dan OCR Incoming, gangguan yang terjadi di jaringan 20 kV dan diamankan oleh PMT Incoming 20 kV tersebut akan membuat *fault clearing time* menjadi lebih lama. Salah satu akibat dari penambahan waktu fault clearing time akan berdampak terhadap ketahanan trafo. Meskipun gangguan yang terjadi diluar area batas pengamanan proteksi bay trafo, dikarenakan gangguan yang terjadi adalah gangguan dengan arus besar maka akan mempengaruhi umur operasi dari trafo tersebut [12].

Proteksi over current relay adalah relay yang bekerja dengan mendeteksi adanya arus lebih dalam kurun waktu tertentu sesuai dengan setting. Relay over current bekerja dengan tunda waktu yang berkorelasi terhadap setting kurva waktu over current relay, selain itu over current relay bisa dikoordinasikan dengan relay lain untuk meningkatkan kehandalan kinerja proteksi [8].

Untuk menjaga kehandalan penyaluran dan kehandalan peralatan terutama Trafo terhadap gangguan *Through Fault Current* dari sisi penyulang, maka diperlukan perubahan skema koordinasi dari rele penyulang 20 kV dan incoming 20 kV.

2 METODOLOGI

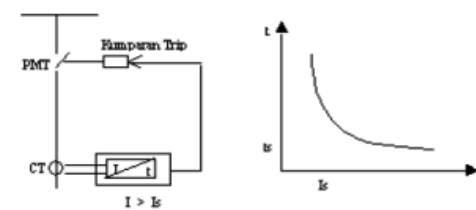
A. Over Current Relay Protection

Over Current Relay yang selanjutnya akan disebut dengan OCR adalah relay yang bekerja dengan prinsip arus lebih. Ketika terjadi lonjakan arus yang disebabkan oleh hubung singkat, maka relay OCR akan bekerja dengan memberikan perintah trip PMT jika waktunya telah terlampaui sesuai dengan setting karakteristiknya. Karakteristik relay OCR adalah berbanding terbalik antara arus dan waktu trip, semakin besar arus hubung singkat maka semakin cepat pula waktu tripnya. Karakteristik yang terpasang pada OCR di penyulang adalah Standard Inverse.

$$T = TMS \times \frac{k}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^a - 1}$$

Dimana dengan setting Standard inverse maka aplikasi OCR incoming 20 kV adalah sebagai berikut :

$$T = 0,25 \times \frac{k0,14}{\left(\frac{I_{sc}}{2078}\right)^{0,02} - 1}$$



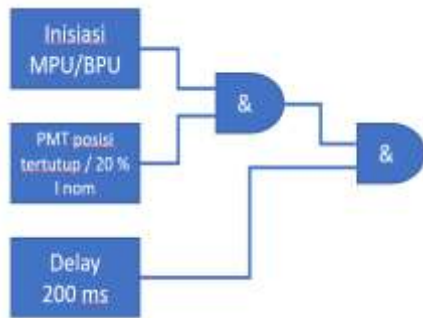
Gambar 1. Kumparan trip.

B. Circuit Breaker Failure

Circuit Breaker Failure (CBF) adalah jenis relay cadangan yang berfungsi ketika terjadi kegagalan PMT trip untuk meminimalisir dampak gangguan terhadap peralatan. Relay CBF mempunyai syarat ketika bekerja, yaitu :

- Adanya inisiasi dari Proteksi utama atau cadangan

- PMT masih dalam kondisi tertutup
- Relay CBF merasakan adanya arus sebesar 20% I Nominal



Gambar 2. Posisi PMT.

C. Through Fault Current

Through Fault Current adalah jenis gangguan yang berdampak terhadap trafo namun sumber gangguan berasal dari luar daerah proteksi bay trafo. Besaran arus yang termasuk dalam Through Fault Current sesuai IEEE Std C37.91-2000 adalah 50% dari arus hubung singkat maksimal. Dengan data trafo terpasang di wilayah UIT JBB maka didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$I_{SC} = \frac{kVA \times 100}{kV \times \sqrt{3} \times X_t} = \frac{60000 \times 100}{20 \times \sqrt{3} \times 12} = 14433 \text{ Amp}$$

Dengan demikian maka Through Fault Current dari trafo tersebut adalah arus gangguan di atas 7216 ampere.

D. Withstand Capabilities

Withstand Capabilities adalah nilai ketahanan trafo terhadap gangguan selama trafo tersebut beroperasi. Sesuai dengan standard IEEE C37.91-2000 bahwa ketahanan trafo dirumuskan sebagai berikut:

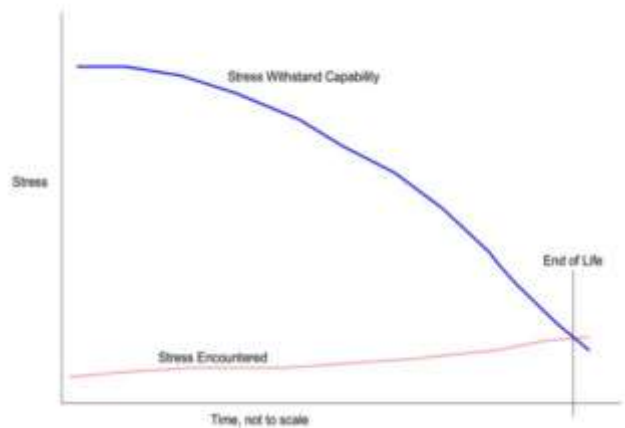
$$k = i^2 \times t \quad \begin{array}{l} i = \text{arus hubung singkat} \\ t = \text{maksimum durasi gangguan} \\ \quad 2 \text{ detik} \end{array}$$

Dengan persamaan di atas maka nilai ketahanan trafo adalah sebagai berikut :

$$k = i^2 \times t = 14,433^2 \times 2 = 384 \text{ kA}^2$$

Dalam kondisi bahwa gangguan bersifat berulang selama trafo beroperasi, maka untuk persamaan gangguan bersifat akumulasi adalah sebagai berikut :

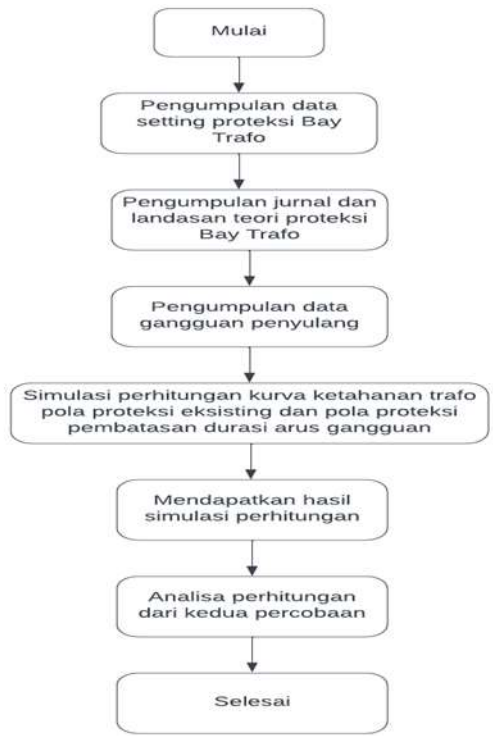
$$k = i^2 \times t \times \sum \text{fault}$$



Gambar 3. Nilai ketahanan trafo terhadap gangguan.

Diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data setting proteksi Bay Trafo sisi Incoming 20 kV dan data setting proteksi sisi Penyulang 20 kV
2. Mengumpulkan jurnal dan landasan teori lainnya yang berkaitan dengan penelitian.
3. Mengumpulkan data gangguan di penyulang 20 kV
4. Mensimulasikan data gangguan yang terjadi terhadap kurva ketahanan trafo dengan pola proteksi eksisiting
5. Mensimulasikan data gangguan yang terjadi terhadap kurva ketahanan trafo dengan pola proteksi pembatasan durasi arus gangguan
6. Mengumpulkan hasil perhitungan simulasi
7. Menentukan tingkat efektifitas dari implementasi pola proteksi pembatasan durasi arus gangguan
8. Dari hasil penelitian akan ditarik kesimpulan dan saran terkait implementasi pembatasan durasi arus gangguan Through Fault Current dari sisi penyulang 20 kV
9. Penelitian telah selesai



Gambar 4. Diagram alir dari penelitian.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Pembatas Arus Gangguan

Perubahan skema koordinasi yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah dengan mengimplementasikan relay CBF di Penyulang 20 kV ketika terjadi gangguan *Through Fault Current* dan dikirimkan sinyal CBF tersebut ke incoming agar gangguan diamankan PMT incoming dengan waktu instant untuk mengurangi durasi gangguan yang dirasakan trafo.

Dengan adanya perubahan skema tersebut maka setting relay proteksi di penyulang dan incoming dilakukan penyesuaian sebagai berikut :

Tabel 1. Setting relay proteksi di penyulang.

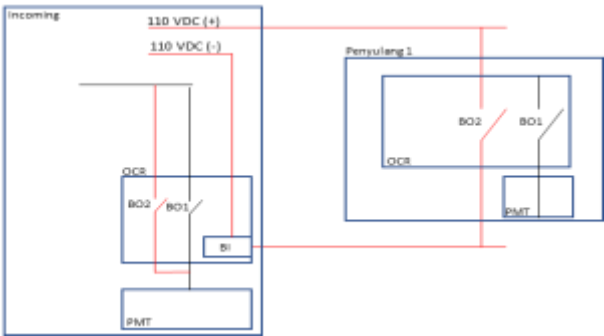
OCR/GFR	Incoming
Ratio CT Primer	2000 Ampere
Ratio CT Sekunder	1/5 Ampere
I set	2078 Ampere
TMS	0,25
Kurva	Standard Inverse
I set moment 1	7216 ampere
TMS moment 1	instant
Kurva moment 1	Definite

OCR/GFR	Penyulang
---------	-----------

Ratio CT Primer	800 Ampere
Ratio CT Sekunder	1/5 Ampere
I set	320 Ampere
TMS	0,15
Kurva	Standard Inverse
I set moment 1	7216 ampere
TMS moment 1	instant
Kurva moment 1	Definite

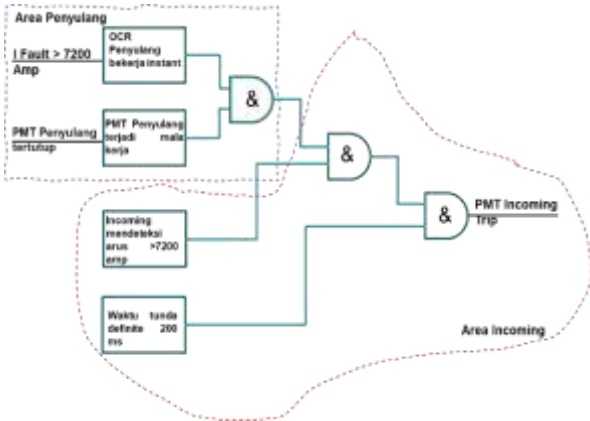
CBF	Penyulang
Ratio CT Primer	800 Ampere
Ratio CT Sekunder	1/5 Ampere
I set	160 Ampere
TMS	0,2
Kurva	Definite

Untuk mengakomodir adanya kebutuhan koordinasi antara relay di semua penyulang dan relay incoming maka dilakukan rewiring sebagai berikut :



Gambar 5. Perubahan setting dan rewiring.

Dengan dilakukan perubahan setting dan rewiring antara semua penyulang dan incoming maka logic trip *Through Fault Current* adalah sebagai berikut :



Gambar 6. Logic trip through fault current.

Dengan adanya semua perubahan rangkaian dan setting relay tersebut, maka jika terjadi kegagalan trip PMT Penyulang 20 kV ketika terjadi gangguan *Through Fault Current* maka fault clearing time yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Fault clearing time.

Item	Nilai
Setting OCR penyulang	Instant
PMT Penyulang trip	38 ms
Delay CBF	200 ms
PMT Incoming trip	38 ms
Total	± 277 ms

Waktu trip PMT 20 kV sebesar 38 ms berdasarkan SKDIR PLN no 520 tahun 2014. Dikarenakan arus pengenalan *Through Fault Current* minimal 7216 ampere dan setting waktu instant definite, maka jika terjadi gangguan diatas arus setting maka waktu yang diperlukan untuk PMT incoming trip adalah sama yakni sebesar ± 277 ms. Terkait dengan nilai ketahanan trafo yang telah ditulis dalam IEEE C37.91-2000 maka didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$k = i^2 t \times \sum \text{fault}$$

Dengan menggunakan data yang sudah dilakukan maka :

$$384 = 7216^2 \times 0,277 \times \sum \text{fault}$$

$$\sum \text{fault} = \frac{384}{7216^2 \times 0,277}$$

$$\sum \text{fault} = 25,82$$

Dari perhitungan di atas didapatkan hasil bahwa untuk gangguan dengan arus di atas 7216 ampere dengan kegagalan PMT penyulang 20 kV, maka PMT incoming kan trip dengan waktu ± 277 ms. Dari *fault clearing time* PMT incoming 20 kV tersebut, ketahanan trafo terhadap gangguan *through fault current* adalah sebesar 25,82 kali.

B. Perhitungan dengan pola OCR Eksisting

Pada pola koordinasi antara OCR penyulang dan incoming 20 kV eksisting, tidak ada pengiriman sinyal antara penyulang 20 kV dan incoming 20 kV ketika terjadi gangguan dan terjadi mala kerja PMT penyulang 20 kV. OCR incoming dan OCR penyulang akan bekerja sesuai dengan setting waktu yang telah diterapkan.

Setting OCR di incoming 20 kV adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Setting OCR di incoming 20 kV.

Item	Nilai
Ratio CT	2000/5
I set	2078
Kurva	Standard Inverse
TMS	0,25

Dengan menggunakan persamaan OCR standard inverse terhadap 50% dan 100% dari arus gangguan maksimum adalah sebagai berikut :

50% Isc maksimal $T = TMS \times \frac{k}{\left(\frac{Isc}{Iset}\right)^a - 1}$ $= 0,25 \times \frac{k0,14}{\left(\frac{7216}{2078}\right)^{0,02} - 1}$ $T = 1,318 \text{ detik}$	100% Isc maksimal $T = TMS \times \frac{k}{\left(\frac{Isc}{Iset}\right)^a - 1}$ $= 0,25 \times \frac{k0,14}{\left(\frac{14433}{2078}\right)^{0,02} - 1}$ $T = 0,885 \text{ detik}$
--	--

Dengan menggunakan persamaan ketahanan trafo maka didapatkan nilai sebagai berikut :

50 % Isc maksimal $\sum \text{fault} = \frac{k}{i^2 \times t}$ $\sum \text{fault} = \frac{384}{7216^2 \times 1318}$ $\sum \text{fault} = 5,31$	100 % Isc maksimal $\sum \text{fault} = \frac{k}{i^2 \times t}$ $\sum \text{fault} = \frac{384}{14433^2 \times 1318}$ $\sum \text{fault} = 2,08$
---	---

4 KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa ketahanan trafo terhadap arus gangguan *Through Fault Current* berdasarkan 3 variabel, yaitu nilai arus, durasi gangguan dan frekuensi gangguan.

Perubahan pola koordinasi antara penyulang dan incoming dilakukan untuk meningkatkan kehandalan dalam penyaluran energi listrik dari sisi ketahanan trafo terhadap gangguan. Dari perhitungan yang telah dilakukan, dengan membandingkan antara pola koordinasi proteksi OCR eksisting dengan pola koordinasi pembatas arus gangguan didapatkan bahwa nilai ketahanan trafo terjadi kenaikan yang signifikan. Dengan pola koordinasi OCR eksisting jika trafo mengalami gangguan *Through Fault Current* maka ketahanan trafo adalah sebesar 5,3 kali terhadap 50% arus gangguan maksimal dan 2,08 kali terhadap 100% arus gangguan maksimum. Dengan menggunakan pola pembatas arus gangguan dan perubahan koordinasi maka didapatkan bahwa

nilai ketahanan trafo adalah sebesar 25,82 kali terhadap 50-100% arus gangguan maksimum.

Engineering and Power Systems (ICHVEPS), IEEE, 2017, pp. 247–251.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Marsudi, “Operasi sistem tenaga listrik,” *Yogyak. Graha Ilmu*, vol. 8, 2006.
- [2] R. Transformers, “C57. 12.00,” 2010.
- [3] I. E. C. Standard, “60076-1: 2011, Power transformers-Part 1: General,” *Int. Electrotech. Comm. Geneva Switz.*, 2011.
- [4] E. Dermawan and D. Nugroho, “Analisa koordinasi over current relay dan ground fault relay di sistem proteksi feeder gardu induk 20 kV Jababeka,” *eLEKTUM*, vol. 14, no. 2, pp. 43–48, 2017.
- [5] I. A. B. Udiana, I. D. Arjana, and T. I. Partha, “Studi Analisis Koordinasi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada Recloser di Saluran Penyulang Penebel,” *Maj Ilm Teknol Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 37, 2017.
- [6] H. Maryono, H. I. Septiyani, M. Muhlis, and M. N. Nugraha, “Through fault current monitoring system to predict the degradation of transformer withstand capability,” in *Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, IEEE, 2011, pp. 1–4.
- [7] Y.-L. Tan, “Damage of a distribution transformer due to through-fault currents: an electrical forensics viewpoint,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 38, no. 1, pp. 29–34, 2002.
- [8] S. Soewono and E. Noprianti, “Analysis of Over Current Relay and Ground Fault Relay Protection System in Sub-Station SP-2 Tanah Miring using Relay Coordination with ETAP based,” *Int. J. Inf. Syst. Comput. Sci.*, 2020.
- [9] E. Dermawan, D. Almanda, L. Zahro, A. I. Ramadhan, and E. Diniardi, “Analysis Magnetization Current of Harmonic Phenomena and Power Factor as Indicators of Core Saturation at Transformer 3-Phase,” *J. Power Energy Eng.*, vol. 4, no. 5, pp. 1–6, 2016.
- [10] I. M. Sari, A. Tryollinna, A. D. P. Sudin, and D. D. Permata, “Through fault current effects on distribution transformer and prevention actions using backup protection: Case study of Kelapa Gading transformer,” in *2017 International Conference on High Voltage*