

Pengujian Saturasi Trafo Arus terhadap Pengaruh Kerja Rele Proteksi

Muhammad Ikhwan Fahmi¹, Mhd Fahmi Syawali Rizki², Muhammad Fadlan Siregar³, Sri Indah Rezkika⁴, Arif Milando⁵, Ahmad Arif⁶, Zahrul Ulum⁷

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Prima Indonesia

^{2,4,5,6} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Al Azhar Medan

³ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

⁷ Program Studi Teknik Listrik Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Medan

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10 Juni 2025

Revised: 28 Juni 2025

Accepted: 18 Juli 2025

Keywords:

Saturasi,
Trafo Arus,
Rele Roteksi,
Tegangan,

Published by

Impression : Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2023 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Fenomena saturasi pada trafo arus memiliki dampak krusial terhadap kinerja rele proteksi dalam sistem tenaga listrik. Pengujian eksperimental dilakukan untuk menganalisis karakteristik trafo arus, dengan fokus pada hubungan antara arus masukan primer (I_1), arus keluaran sekunder (I_2), dan tegangan keluaran (V). Hasil menunjukkan korelasi positif antara I_1 dengan I_2 dan V . nilai V tetap konstan pada 5,5 Volt meskipun I_1 meningkat dari 600 mA ke 800 mA, dan nilai I yang kembali ke 1,3 A pada tegangan tertentu dalam pengujian terpisah. potensi saturasi inti trafo atau perilaku non-linear komponen yang diuji, yang berpotensi memengaruhi akurasi pengukuran arus oleh rele proteksi. khususnya saat mendekati atau memasuki kondisi saturasi. Perilaku non-linear, seperti yang ditunjukkan oleh nilai V yang stabil pada dua titik I_1 yang berbeda, dan penurunan I pada tegangan yang meningkat, pengujian karakteristik trafo arus secara menyeluruh untuk memastikan rele proteksi dapat beroperasi secara akurat dan tepat waktu, terutama dalam menghadapi kondisi gangguan yang mungkin menyebabkan saturasi trafo.

The saturation phenomenon in current transformers has a crucial impact on the performance of protective relays in power systems. Experimental testing was conducted to analyze the characteristics of current transformers, focusing on the relationship between primary input current (I_1), secondary output current (I_2), and output voltage (V). The results showed a positive correlation between I_1 and I_2 and V . The V value remained constant at 5.5 Volts even though I_1 increased from 600 mA to 800 mA, and the I value returned to 1.3 A at a certain voltage in a separate test. potential saturation of the transformer core or non-linear behavior of the components under test, which could potentially affect the accuracy of current measurement by the protective relay. especially when approaching or entering saturation conditions. Non-linear behavior, as indicated by stable V values at two different I_1 points, and a decrease in I at increasing voltage, requires thorough testing of the current transformer characteristics to ensure that the protective relay can operate accurately and timely, especially in the face of fault conditions that might cause transformer saturation.

Corresponding Author:

Author

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Al Azhar Medan

Email: mfahmi.syawali@gmail.com

PENDAHULUAN

Sistem proteksi dalam jaringan tenaga listrik memiliki peran penting sebagai penjaga utama integritas dan keamanan operasional. proteksi mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara cepat dan akurat. Ini berarti, begitu terjadi kondisi abnormal seperti hubungan singkat atau beban berlebih, sistem proteksi harus segera mengidentifikasi lokasi gangguan dan memerintahkan pemutusan bagian yang

bermasalah agar mencegah kerusakan fatal pada peralatan mahal seperti transformator atau generator, sekaligus melindungi personel dari bahaya listrik

Trafo arus bukanlah perangkat yang sempurna dan memiliki batasan fisik dalam operasinya. Salah satu fenomena kritis yang dapat sangat memengaruhi akurasi CT adalah saturasi. Saturasi terjadi ketika inti magnetik CT mencapai titik jenuh, tidak lagi mampu menghasilkan fluks magnetik secara proporsional dengan peningkatan arus primer. Akibatnya, bentuk gelombang arus sekunder menjadi terdistorsi dan besarnya menjadi tidak akurat, seringkali lebih rendah dari seharusnya. Kejadian ini, terutama saat arus gangguan mencapai nilai yang sangat tinggi, dapat secara fundamental mengubah informasi yang diterima oleh rele proteksi. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem Jaringan Tegangan Menengah adalah gangguan yang dikenal sebagai gangguan Symphathetic Tripping, dimana suatu proteksi atau pengaman dapat merespon secara salah atau tidak diharapkan pada suatu kondisi atau keadaan sistem tenaga listrik yang sedang mengalami gangguan.

Rele arus memberikan perintah kepada pemutus beban (PMT) pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguannya melampaui arus penyetelannya dan jangka waktu kerja rele dari pick up, waktunya berbanding terbalik dengan besar arusnya. dapat dikatakan bahwa rele arus lebih waktu terbalik mempunyai waktu operasi yang semakin singkat untuk arus gangguan yang semakin besar dan waktu operasi yang semakin lama untuk arus gangguan yang semakin kecil.

Ketika arus yang besar untuk kondisi hubung singkat yang diinginkan terjadi dalam waktu yang relatif singkat, dengan kegagalan sistem dapat berakibat pada durasi gangguan yang lebih lama. Energi yang terdisipasi pada kumparan sekunder ct dan kabel biasanya tidak diperhitungkan karena kemampuan hantar termal yang relatif tinggi. Pada aplikasi dengan arus yang sangat besar, harus diverifikasi apakah kemampuan termal jangka pendek rele tidak terlampaui. Rating rele jangka pendek disebutkan oleh pabrik dan harus berdasarkan pada rating jangka pendek ct pada IEEE Std.C57.13-1993. Hal ini biasanya mengikuti rumusan $I2t = \text{konstanta}$, dimana I adalah arus dalam ampere dan t adalah waktu dalam satuan detik. Akan tetapi, arus gangguan maksimum tidak boleh melewati 20 kali rating ct untuk mempertahankan akurasi.

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk menilai dampak ketidakakuratan arus sekunder akibat saturasi CT terhadap kinerja rele proteksi. Rele proteksi, seperti rele arus lebih, bergantung pada informasi arus yang akurat dari CT untuk membuat keputusan trip yang tepat. Jika CT mengalami saturasi, rele dapat menerima nilai arus yang jauh lebih rendah atau terdistorsi dari arus gangguan sebenarnya, yang berpotensi menyebabkan kegagalan trip, keterlambatan operasi.

URAIAN TEORI

Jika terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus IS. Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet N2IS pada kumparan sekunder. Bila trafo tidak mempunyai rugi-rugi (trafo ideal) maka berlaku persamaan:

$$N1IP = N2IS \quad (1)$$

$$IP/IS = N2/N1 \quad (2)$$

Di mana: N1 adalah jumlah belitan kumparan primer
N2 adalah jumlah belitan kumparan sekunder
IP adalah arus pada kumparan primer
IS adalah arus pada kumparan sekunder

Tegangan pada terminal sekunder (VB) tergantung kepada impedansi peralatan (ZB) yang terhubung pada terminal sekunder, dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$VB = IS ZB \quad (3)$$

Jika tahanan dan reaktansi bocor kumparan trafo dinyatakan dalam impedansi internal ZL, maka gaya gerak listrik pada kumparan sekunder harus lebih besar dari tegangan sekunder agar rugi-rugi tegangan pada impedansi ZL dapat dikompensasi. Oleh karena itu, persamaan dibawah ini harus dipenuhi:

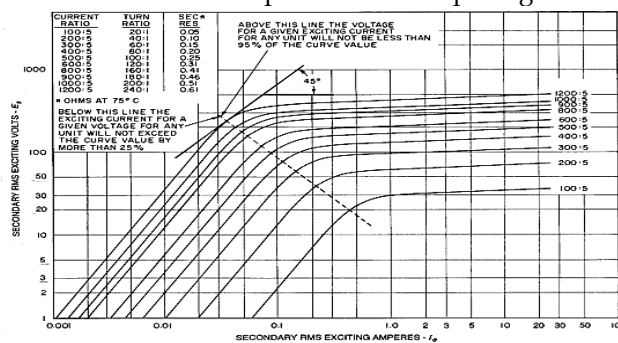
$$VS - VB = VS - IS ZB = IS ZL \quad (4)$$

$$VS = IS (ZB + ZL) \quad (5)$$

Karakteristik eksitasi sekunder trafo arus, ketika tegangan pada burden trafo arus (ct) rendah, arus eksitasinya rendah. Bentuk gelombang dari arus sekunder akan mengalami cacat yang tidak begitu kelihatan. Ketika tegangan pada kumparan sekunder ct bertambah dikarenakan arus primer atau burden

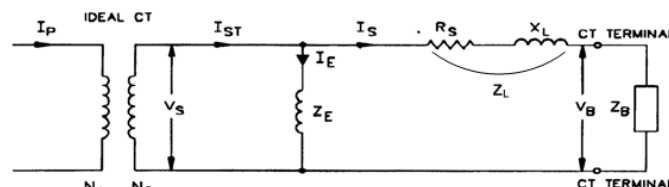
bertambah, fluks di inti ct juga akan bertambah. Ct akan bekerja pada daerah dimana terjadi kenaikan arus eksitasi yang tidak proporsional. Inti ct memasuki daerah saturasi, pengoperasian lewat titik ini akan menghasilkan peningkatan kesalahan rasio dan bentuk gelombang sekunder yang cacat.

Ketika tegangan pada burden trafo arus (ct) rendah, arus eksitasinya rendah. Bentuk gelombang dari arus sekunder akan mengalami cacat yang tidak begitu kelihatan. Ketika tegangan pada kumparan sekunder ct bertambah dikarenakan arus primer atau burden bertambah, fluks di inti ct juga akan bertambah. Ct akan bekerja pada daerah dimana terjadi kenaikan arus eksitasi yang tidak proporsional. Inti ct memasuki daerah saturasi, pengoperasian lewat titik ini akan menghasilkan peningkatan kesalahan rasio dan bentuk gelombang sekunder yang cacat. Pengoperasian ct diilustrasikan dengan kurva eksitasi. Kurva ini memperlihatkan hubungan antara tegangan eksitasi sekunder (V_s) terhadap arus eksitasi (I_e). Kurva eksitasi untuk ct kelas C. Kurva tersebut digambarkan pada kertas log-log dan dibuat berdasarkan data percobaan. Kumparan primernya harus terhubung buka untuk pengujian ini. Informasi lebih spesifik mengenai konstruksi kurva eksitasi ditemukan pada IEEE serti pada gambar 1.



Gambar 1. Kurva eksitasi untuk CT kelas C banyak rasio

Sebuah rangkaian ekivalen sederhana dari sebuah trafo arus dan hubungan bebannya. Impedansi bocor primer dan bagian reaktif dari sekunder tidak begitu mempengaruhi perhitungan, sehingga diabaikan seperti gambar 2



Gambar 2. Rangkaian Ekivalen Trafo Arus

Ketika tegangan pada burden trafo arus (ct) rendah, arus eksitasinya rendah. Bentuk gelombang dari arus sekunder akan mengalami cacat yang tidak begitu kelihatan. Ketika tegangan pada kumparan sekunder ct bertambah dikarenakan arus primer atau burden bertambah, fluks di inti ct juga akan bertambah. Ct akan bekerja pada daerah dimana terjadi kenaikan arus eksitasi yang tidak proporsional. Inti ct memasuki daerah saturasi, pengoperasian lewat titik ini akan menghasilkan peningkatan kesalahan rasio dan bentuk gelombang sekunder yang cacat.

METODE PENELITIAN

Desain Pengujian dan pengukuran didasarkan pada rangkaian yang terilustrasi menggunakan sumber utama dari PLN, selanjutnya sebuah kumparan induktor sebagai primer dan sekunder, sakelar untuk mengontrol aliran arus, serta sebuah voltmeter untuk mengukur tegangan dan arus. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu perubahan arus pada kumparan primer, yang akan dikontrol dengan membuka dan menutup sakelar 'S' secara manual atau otomatis dengan durasi tertentu. Variabel terikat adalah besar tegangan dan arus yang terbaca pada voltmeter, dan variabel kontrol meliputi jumlah lilitan

kumparan, resistansi kawat kumparan, serta kekuatan dan stabilitas sumber dari daya yang dilekukan



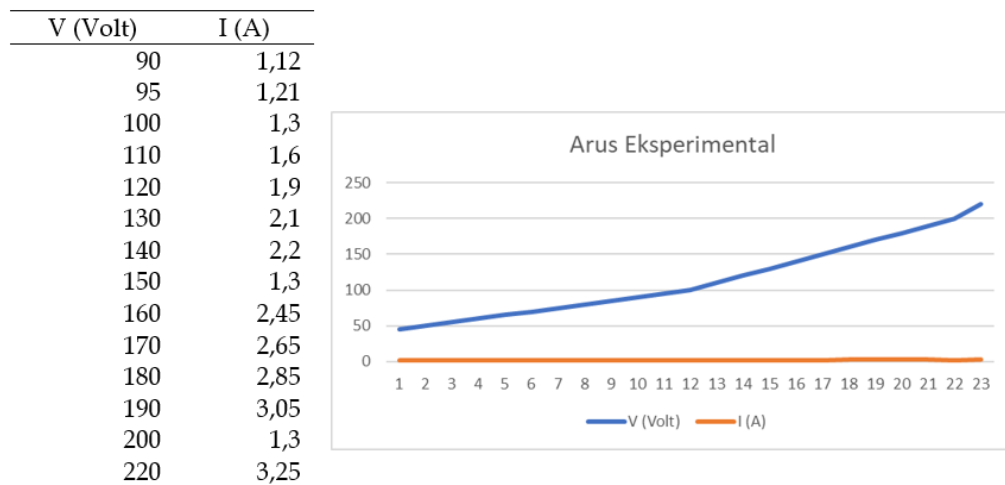
Gambar 3. Pengukuran tegangan dan arus

HASIL PENELITIAN

Hasil pengukuran dari sebuah eksperimen yang kemungkinan besar berkaitan dengan fenomena induksi elektromagnetik atau karakteristik suatu komponen elektronik. Tiga kolom utama merepresentasikan parameter yang diukur: arus masukan I_1 dalam miliampere (mA), arus keluaran I_2 juga dalam miliampere (mA), dan tegangan keluaran V dalam Volt. Dari data ini, terlihat adanya korelasi positif antara peningkatan arus masukan I_1 dengan peningkatan arus keluaran I_2 dan tegangan keluaran V . Saat I_1 berada pada 0 mA, baik I_2 maupun V juga menunjukkan nilai nol, mengindikasikan bahwa tanpa masukan, tidak ada keluaran yang terukur.

Saat arus masukan I_1 mulai dialirkan dan ditingkatkan secara bertahap dari 200 mA hingga 1800 mA, arus keluaran I_2 dan tegangan V juga secara konsisten menunjukkan peningkatan. Namun, hubungan ini tampaknya tidak sepenuhnya linear pada semua rentang. Sebagai contoh, dari $I_1=600$ mA ke 800 mA, tegangan V tetap pada 5,5 Volt, meskipun I_2 mengalami peningkatan yang signifikan dari 62,7 mA menjadi 80,2 mA. Hal ini mungkin menunjukkan adanya saturasi pada respons tegangan pada rentang tertentu, atau bisa juga ada faktor lain yang membatasi kenaikan tegangan atau variasi karakteristik komponen yang sedang diuji.

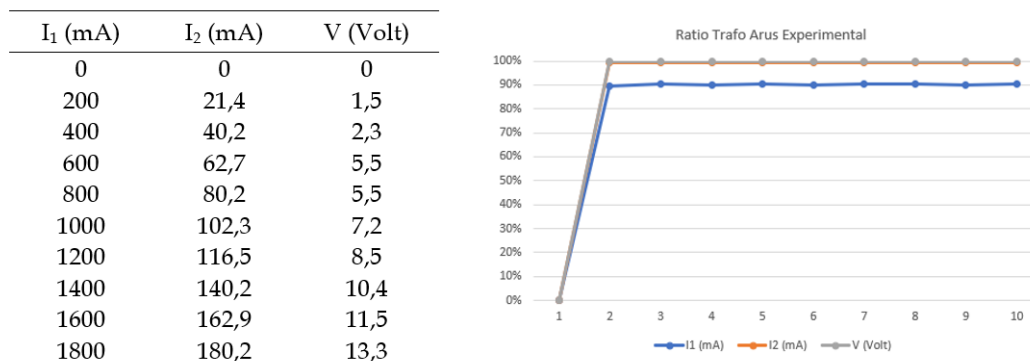
Keseluruhan data mengindikasikan bahwa komponen atau sistem yang diuji memiliki karakteristik transfer daya atau sinyal. Variasi dalam hubungan antara I_1 dan V dibandingkan dengan I_1 dan I_2 pada rentang tertentu memerlukan analisis lebih lanjut untuk memahami fenomena fisik di baliknya. Kemungkinan besar, data ini berasal dari percobaan transformator, induktor dengan inti yang mengalami saturasi, atau mungkin rangkaian penguat yang menunjukkan perilaku non-linear pada titik operasi tertentu. Analisis grafis lebih lanjut (misalnya, membuat plot V terhadap I_1 dan I_2 terhadap I_1) akan sangat membantu dalam mengidentifikasi pola dan karakteristik operasional seperti gambar 4.



Gambar 4. Arus ekperimental pada pengukuran

Hasil pengukuan pada gambar hubungan antara tegangan (V) dan arus (I), menunjukkan pasangan nilai tegangan dalam Volt dan arus dalam Ampere. Secara umum, terlihat bahwa seiring dengan peningkatan tegangan dari 90 V menjadi 220 V, nilai arus juga cenderung meningkat, dimulai dari 1,12 A dan berakhir pada 3,25 A. Namun, terdapat beberapa anomali di mana nilai arus kembali ke 1,3 A pada tegangan 100 V, 150 V, dan 200 V, meskipun tegangan terus meningkat. Hal ini mungkin menunjukkan adanya ketidakstabilan dalam pengukuran atau perubahan kondisi eksperimen pada titik-titik tersebut.

Pada pengukuran DC I_1 (mA) yang kemungkinan adalah arus primer, I_2 (mA) yang kemungkinan adalah arus sekunder, dan V (Volt) yang mungkin merupakan tegangan keluaran atau tegangan pada salah satu sisi. Dari data, terlihat bahwa saat arus primer (I_1) meningkat dari 0 mA hingga 1800 mA, arus sekunder (I_2) juga meningkat secara proporsional, dimulai dari 0 mA dan mencapai 180,2 mA. Sementara itu, tegangan (V) juga menunjukkan peningkatan seiring dengan kenaikan arus, dari 0 Volt hingga 13,3 Volt. Menariknya, terdapat nilai tegangan yang sama (5,5 Volt) untuk dua nilai arus primer yang berbeda (600 mA dan 800 mA), yang bisa menjadi titik data yang perlu diperhatikan, seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Rasio Trafo Arus Ekperimental

PENUTUP

Dampak saturasi CT terhadap rele proteksi sangatlah serius. Ketika CT mengalami saturasi, arus sekunder yang seharusnya merepresentasikan arus primer dengan akurat menjadi terdistorsi. Hal ini dapat menyebabkan ketidakakuratan pengukuran arus oleh rele, yang pada gilirannya dapat memicu operasi rele yang salah (misalnya, rele trip saat tidak seharusnya, atau gagal trip saat ada gangguan).

Untuk mengatasi masalah ini, penting untuk melakukan pengujian saturasi CT secara rutin dan menganalisis karakteristiknya pada berbagai tingkat beban. Pemahaman mendalam tentang titik saturasi dan perilaku CT setelah saturasi sangat vital untuk penyesuaian setting rele proteksi yang tepat dan untuk memastikan keandalan sistem secara keseluruhan.

Fenomena saturasi, adalah langkah fundamental dalam desain dan pemeliharaan sistem proteksi. Data eksperimen yang dihasilkan, meskipun menunjukkan beberapa perbedaan, memberikan wawasan berharga tentang respons CT terhadap variasi beban dan potensi terjadinya saturasi. Mengidentifikasi dan memahami perilaku non-linear ini memungkinkan untuk menerapkan strategi mitigasi yang sesuai, seperti pemilihan CT dengan kapasitas yang memadai, atau penggunaan algoritma proteksi yang dapat mengkompensasi efek saturasi, demi menjamin keamanan dan stabilitas sistem tenaga listrik.

REFERENSI

- [1] A. Van Anugrah, H. Eteruddin, and A. Arlenny, "Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT. PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci," *SainETIn*, vol. 4, no. 2, pp. 65–71, 2020. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v4i2.6338>
- [2] H. Hardiyanto, A. Arlenny, and Z. Zulfahri, "Studi Penempatan Recloser Pada Jaring Distribusi 20 kV di Penyulang 21 Tarai PT. PLN (Persero) Rayon Panam," *Jurnal Teknik*, vol. 11, no. 1, pp. 11–19, 2017.
- [3] A. R. Iklas, A. Arlenny, and U. Situmeang, "Studi Penempatan Recloser pada Jaring Distribusi 20 kV Di Penyulang 12 Kualu PT. PLN (Persero) Rayon Panam," *Jurnal Teknik*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2017. <https://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/1703>
- [4] H. Asman, H. Eteruddin, and A. Arlenny, "Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV Garuda Sakti – Pasir Putih Menggunakan PSCAD," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2018. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v2i1.1672>
- [5] M. J. T. Manurung, "Studi Pengaman Busbar 150 kV Pada Gardu Induk Siantan," *Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, 2013. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/j3eituntan/article/viewFile/2725/2702>
- [6] B. L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*, 2nd ed. Jakarta: Erlangga, 2012.
- [7] A. Tanjung and M. Monice, "Reconstruction of Power Supply System 20 kV Distribution to Compare Power Rate and Fall Voltage PT. PLN (Persero) Area Dumai," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 97, no. 1, p. 012048. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/97/1/012048/meta#references> DOI 10.1088/1755-1315/97/1/012048
- [8] Tukiman, K. Handono, and A. Satmoko, "Analisis Arus Hubung Singkat Pada Sistem Catu Daya Listrik Iradiator Gamma," *Batan : Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir*, 2017. <https://doi.org/10.47313/jig.v25i2.1915>
- [9] R. Abdulllah, D. Meliala, and Z. Zulfahri, "Studi PLTG Unit 2 Pusat Listrik Balai Pungut Sebagai Black Start Saat Kehilangan Tegangan Pada Sistem 150 kV
- [10] G. Multilin, "B90 Low Impedance Bus Differential System." G E Grid Solutions, Ontario, 2017.
- [11] H. Eteruddin, A. A. Mohd Zin, and B. Belyamin, "Line Differential Protection Modeling with Composite Current and Voltage Signal Comparison Method," *Telkomnika*, vol. 12, no. 1, Mar. 2014.
- [12] P. Bonar, *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: CV. Andi Offset, 2012.
- [13] T. Aryanto, *Proteksi Tegangan Tinggi*. Jakarta Pusat: PT PLN (Persero) Pusdiklat, 2009.
- [14] E. Diniardi, Syawaluddin, A. I. Ramadhan, W. Isnain, E. Dermawan, and D. Almada, "Analisis Desain Pickup Piezoelektrik Elemen dari Model Hybrid Solar Cell- Piezoelectric untuk Daya Rendah," *Jurnal Teknologi*, vol. 9, no. 2, 2017.
- [15] A. Fauzi, I. G. D. Arjana, and C. G. I. Partha, "Menggunakan Rele Diferensial Di Gardu Induk Sanur," *Jurnal Spektrum*, vol. 7, no. 2, pp. 101–108, 2020.
- [16] W. Octary, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "Susut Tegangan pada Penghantar ACCC di Saluran Transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru," *SainETIn*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [17] DIgSILENT, "DIgSILENT PowerFactory 15 Tutorial." DIgSILENT GmbH, Gomaringen, p. 100, 2014.
- [18] H. Eteruddin, D. Setiawan, and P. P. P. Hutagalung, "Evaluasi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Pada Feeder 7 Peranap PT. PLN Persero Rayon Taluk Kuantan," in *Seminar Nasional Pakar*, 2020, pp. 1.4.1-1.4.6. <https://doi.org/10.26623/elektrika.v12i2.2828>