

Evaluasi Selektivitas dan Keandalan Relai OCR dan GFR pada Sistem Proteksi Jaringan Distribusi

^{1*}Hendri Masdi, ¹Mutia Tsari, ³Rini Nur Hasanah

¹Departemen Teknik Elektro, Universitas Negeri Padang, Padang - Indonesia

²Departemen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang - Indonesia

¹hendri@ft.unp.ac.id, ²mutiatsari02@gmail.com, ³rini.hasanah@ub.ac.id

Article Info

Keyword:

Ground fault relay
Koordinasi relai
Overcurrent relay
Sistem proteksi
Waktu invers

Copyright © 2025 -SNTE
All rights reserved

ABSTRACT

Abstrak—Makalah ini menyajikan hasil evaluasi selektivitas dan keandalan *Overcurrent Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) dalam sistem proteksi distribusi tenaga listrik 66/11 kV menggunakan simulasi perangkat lunak ETAP dan pengujian lapangan dengan CMC 356. Sistem yang dimodelkan terdiri atas trafo 100 kVA dan beban 10 kVA dengan konfigurasi jaringan satu garis, dan disimulasikan untuk menangani gangguan antar-fasa dan satu-fasa ke tanah. Hasil menunjukkan bahwa OCR lebih cepat merespons gangguan antar-fasa karena arus gangguan yang lebih besar, sedangkan GFR lebih efektif mendeteksi gangguan satu-fasa ke tanah yang berarus lebih kecil. Kinerja dan waktu operasi keduanya dipengaruhi oleh besar arus dan lokasi gangguan. Koordinasi yang tepat antara OCR dan GFR terbukti penting untuk menjamin selektivitas dan keandalan sistem proteksi. Pengujian di lapangan mengonfirmasi bahwa pengaturan relai telah sesuai standar IEC 66255, mencakup sensitivitas dan waktu tunda yang optimal. Studi ini menekankan pentingnya desain proteksi yang cermat dan evaluasi berkala guna meningkatkan keandalan dan keamanan distribusi tenaga listrik pada level 66/11 kV.

Corresponding Author:

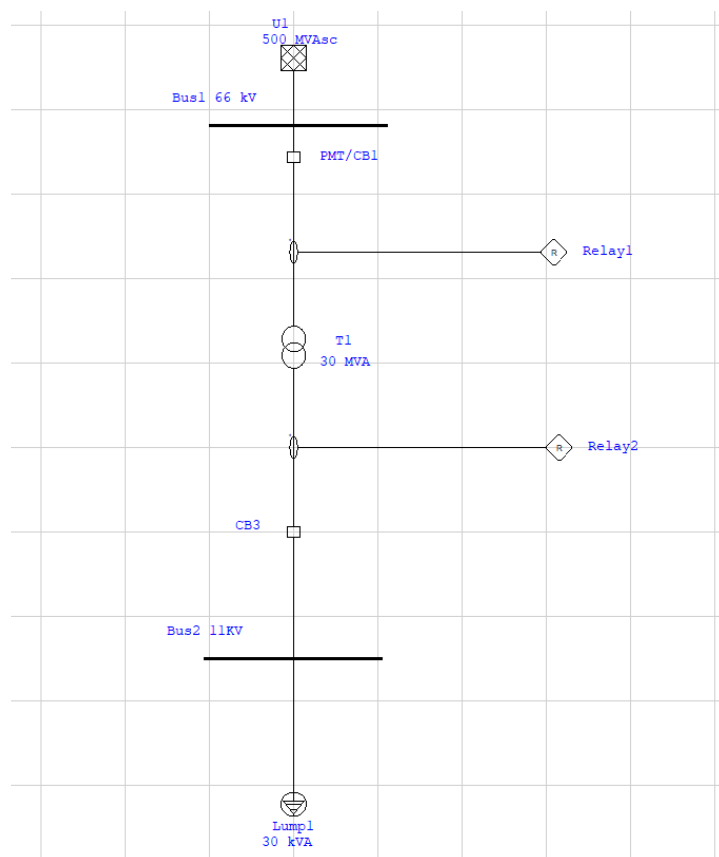
Hendri Masdi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Padang, Padang - Indonesia,
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Barat Padang, 25131 Sumatera Barat, Indonesia.
Email: hendri@ft.unp.ac.id

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik rentan terhadap berbagai jenis gangguan, seperti gangguan antar-fasa dan satu-fasa ke tanah, yang dapat mengganggu kontinuitas pasokan energi dan menyebabkan kerusakan peralatan penting. Oleh karena itu, sistem proteksi yang andal sangat diperlukan untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara cepat dan selektif [1],[2]. *Overcurrent Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) merupakan dua perangkat proteksi yang umum digunakan dalam jaringan distribusi tegangan menengah. OCR efektif dalam mendeteksi arus gangguan tinggi seperti pada gangguan antar-fasa, sedangkan GFR dirancang untuk menangkap gangguan arus rendah satu-fasa ke tanah [3],[4]. Keduanya beroperasi berdasarkan prinsip waktu invers, di mana semakin besar arus gangguan, semakin cepat waktu trip relai [5]. Namun, pengaturan koordinasi yang tidak tepat antara kedua jenis relai ini dapat mengakibatkan keterlambatan dalam pemutusan gangguan atau bahkan pemutusan yang tidak diperlukan, yang berdampak pada keandalan sistem distribusi [6]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada evaluasi selektivitas dan keandalan OCR dan GFR dalam jaringan distribusi 66/11 kV menggunakan simulasi berbasis perangkat lunak ETAP serta validasi pengujian lapangan, untuk memastikan kesesuaian dengan standar proteksi internasional seperti IEC 66255.

II. METODE

Pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode simulasi eksperimental berbasis perangkat lunak digunakan dalam kajian ini [7]. Evaluasi kinerja *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) dalam sistem proteksi jaringan distribusi tenaga listrik disimulasikan menggunakan data nyata trafo distribusi 66/11 kV berkapasitas 100 kVA dengan beban 10 kVA. Sistem distribusi dimodelkan menggunakan software ETAP, yang merepresentasikan kondisi aktual gardu distribusi skala kecil. Simulasi dilakukan pada konfigurasi jaringan satu garis (*single line diagram*) dengan komponen utama berupa trafo, bus, pemutus tenaga (CB), beban *lumped*, serta relai OCR dan GFR [8],[9]. Diagram satu garis relai OCR dan GFR ditunjukkan pada Gambar 1.



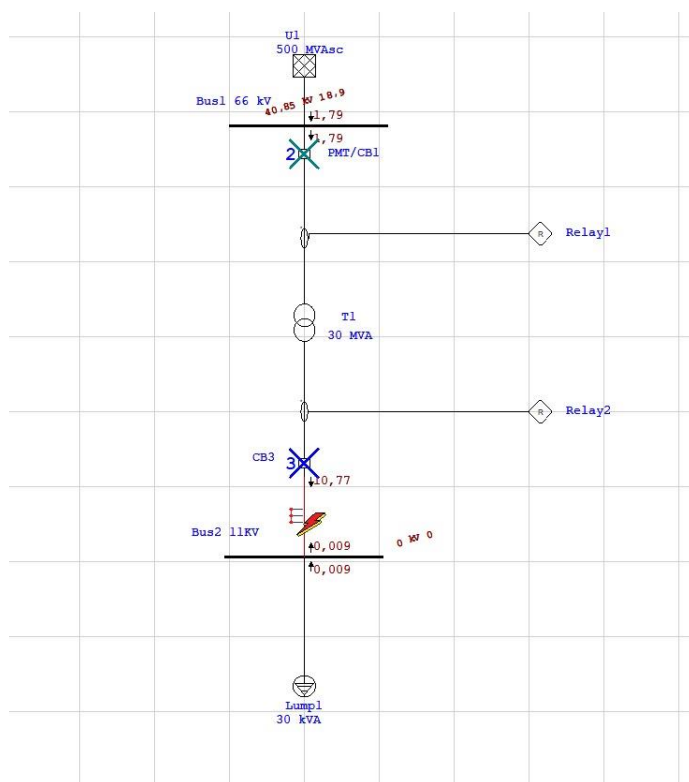
Gambar 1. Diagram satu garis relai OCR dan GFR

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan terhadap hasil simulasi arus gangguan, waktu kerja relai, serta nilai *setting* relai seperti *pickup current* dan *Time Multiplier Setting* (TMS). Data *setting* relai dimasukkan berdasarkan pendekatan tipikal sistem distribusi 66/11 kV PLN [10],[11], dengan penyesuaian pada tegangan dan arus nominal sesuai rating trafo dan beban. Analisis dilakukan dengan membandingkan performa OCR dan GFR dalam kondisi normal dan gangguan, baik pada sisi primer maupun sekunder transformator [12]. Hasil dari simulasi digunakan untuk menilai efektivitas dan keandalan sistem proteksi dalam mendeteksi dan merespon gangguan arus lebih serta gangguan hubung tanah secara tepat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Gangguan di Sisi Sekunder (11 kV)

Kondisi sistem tenaga listrik setelah dilakukan simulasi gangguan tiga fasa pada sisi sekunder, yaitu di Bus2 pada tegangan 11 kV, diperlihatkan pada Gambar 2 dan Tabel 1.



Gambar 2. Diagram satu garis sistem untuk simulasi gangguan pada Bus2 11 kV

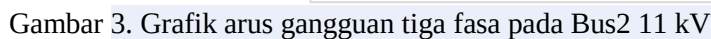
Seperti terlihat pada Gambar 2, lokasi gangguan ditandai dengan simbol petir merah pada Bus2. Terlihat arus hubung singkat pada Bus2 mencapai nilai sekitar 0,77 kA, dengan tegangan turun hingga 0 kV, menandakan kondisi hubung singkat total di titik tersebut. Hasil simulasi menunjukkan CB3 (pemutus pada sisi 11 kV) dalam keadaan trip (ditandai dengan silang biru), yang menandakan bahwa proteksi sekunder berhasil bekerja memutus jalur gangguan.

TABEL I
GANGGUAN PADA BUS2 (11 kV)

Gangguan	Bus1 (kA)	Bus2 (kA)
Gangguan Bus1	4,37	0,009
Gangguan Bus2	1,79	0,770

Gambar 2 dan Tabel 1 juga menunjukkan bahwa pada sisi primer (Bus1, 66 kV), tegangan tetap cukup tinggi pada nilai sekitar 40,85 kV, namun arus gangguan terdeteksi naik menjadi sekitar 1,79 kA akibat refleksi gangguan dari sisi sekunder melalui transformator. Kondisi trip PMT/CB1 di sisi primer juga menunjukkan fungsinya sebagai proteksi *back-up*. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan arus di sisi primer akibat refleksi gangguan dari sisi sekunder, sistem proteksi di sekunder (Relay2 dan CB3) berhasil memutus gangguan dengan cepat. PMT/CB1 pada sisi primer juga dapat berfungsi sebagai backup untuk gangguan di sekunder jika diperlukan. Koordinasi proteksi berjalan baik, yaitu bahwa gangguan di sisi sekunder terlebih dahulu diisolasi oleh CB3 melalui operasi Relay2, sementara PMT/CB1 di sisi primer juga memberikan *back-up* proteksi untuk mengamankan sisi hulu sistem.

Grafik arus hubung singkat hasil simulasi gangguan tiga fasa pada Bus2 11 kV ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar ini menunjukkan respons sistem proteksi yang efektif pada Bus1 tegangan 66 kV. Kurva biru menggambarkan arus hubung singkat Bus1 yang mencapai puncak pada 4,37 kA kemudian turun tajam hingga mendekati 0 kA, yang mengindikasikan kerja cepat PMT/CB1 dalam memutus gangguan. Kurva merah menunjukkan arus Bus2 pada tegangan 11 kV yang relatif rendah, dimulai dari 1,8 kA dan menurun bertahap hingga 0,9 kA tanpa lonjakan signifikan.



B. Simulasi Gangguan di Sisi Primer (66 kV)

Pada Gambar 4 lokasi gangguan ditandai dengan simbol petir merah di dekat transformator, pada jalur 66 kV. Arus hubung singkat yang muncul di Bus1 tercatat sangat tinggi, mencapai nilai sekitar 4,37 kA. Tegangan pada Bus1 turun drastis hingga 0 kV, menandakan kondisi hubung singkat total yang terjadi di sisi primer. Gambar 4 juga memperlihatkan bahwa PMT/CB1 pada sisi primer terlihat trip (disilang biru) sebagai respon terhadap arus gangguan besar serta menunjukkan fungsi proteksi primer yang cepat dan tepat.

Sementara itu di sisi sekunder (Bus2 11 kV), tegangan turun sangat rendah (sekitar 0.01 kV) akibat efek pemutusan di sisi primer, tetapi arus yang terdeteksi sangat kecil (sekitar 0.009 kA) sehingga CB3 tetap dalam kondisi tertutup.

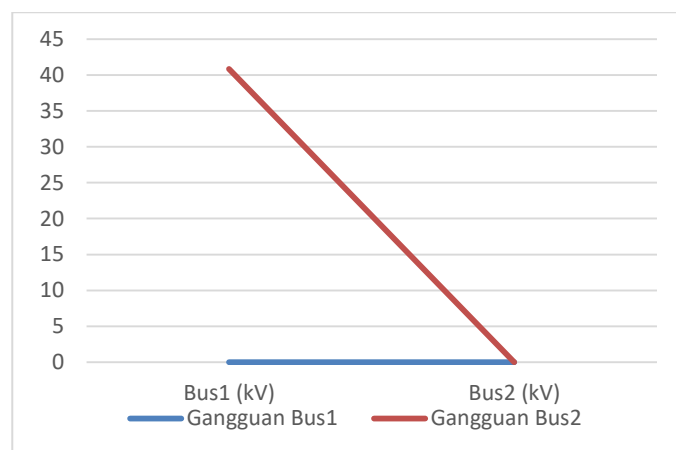
Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa proteksi di sisi primer (Relay1 dan PMT/CB1) berhasil mengamankan sistem dari gangguan di hulu tanpa memicu trip di sisi hilir (Relay2 dan CB3), serta mencerminkan koordinasi dan selektivitas proteksi yang baik pada sistem distribusi tenaga listrik.

TABEL II
GANGGUAN PADA BUS1 (66 kV)

Gangguan	Bus1 (kA)	Bus2 (kA)
Gangguan Bus1	0,00	0,01
Gangguan Bus2	40,85	0,00

Dari Tabel 2 juga terlihat bahwa hasil simulasi gangguan menggunakan perangkat lunak ETAP menunjukkan besar arus hubung singkat pada Bus1 yang mencapai nilai sekitar 4,37 kA. Nilai ini memicu kerja cepat proteksi di sisi primer sistem. Tegangan pada Bus1 turun drastis hingga 0 kV, menandakan pemutusan total pada titik gangguan oleh PMT/CB1. Sementara itu, pada sisi sekunder (Bus2 11 kV), tegangan terdeteksi sangat rendah (sekitar 0,01 kV), namun tetap tidak mengalami arus gangguan besar (sekitar 0,009 kA), menandakan bahwa proteksi primer berhasil memutus gangguan sebelum meluas ke sistem distribusi sekunder. Hal ini menunjukkan selektivitas yang baik pada sistem proteksi, di mana Relay dan PMT pada sisi 66 kV berhasil memutus suplai untuk mencegah propagasi arus gangguan ke sisi 11 kV.

Grafik profil tegangan pada Bus1 (66 kV) dan Bus2 (11 kV) hasil simulasi gangguan tiga fasa pada Bus1 66 kV ditunjukkan pada Gambar 5. Kurva biru menggambarkan tegangan Bus1 yang turun drastis hingga mendekati 0 kV, yang menandakan pemutusan total pada titik gangguan oleh sistem proteksi primer. Sementara itu, kurva merah menunjukkan tegangan Bus2 yang mengalami penurunan dari sekitar 40 kV hingga mendekati 0 kV secara bertahap.



Gambar 5. Grafik arus gangguan tiga fasa pada Bus1 66 kV

Pola penurunan tegangan yang berbeda pada kedua bus ini mengkonfirmasi bahwa gangguan terjadi pada sisi primer (Bus1), sehingga menyebabkan drop tegangan yang sangat signifikan. Meskipun tegangan Bus2 juga mengalami penurunan, hal ini merupakan konsekuensi dari hilangnya suplai dari sisi primer akibat kerja proteksi, bukan karena gangguan langsung pada Bus2. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem proteksi berhasil mengisolasi gangguan pada Bus1 dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem distribusi sekunder.

C. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pada gangguan di sisi primer dan sekunder menunjukkan bahwa koordinasi antara OCR dan GFR berjalan baik, di mana relai yang relevan merespon sesuai dengan lokasi dan jenis gangguan [13]. Ketika terjadi gangguan di sisi sekunder, GFR berhasil mendeteksi dan memutus gangguan dengan cepat,

sementara OCR di sisi primer tetap siaga sebagai proteksi cadangan. Sebaliknya, untuk gangguan di sisi primer, OCR berfungsi sebagai proteksi utama dan GFR tetap tertutup karena arus di sisi sekunder sangat kecil [14],[15]. Kinerja proteksi ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi prinsip selektivitas dan keandalan yang ditetapkan dalam standar IEC 60255. Grafik arus dan tegangan hasil simulasi juga memperkuat bahwa proteksi berhasil bekerja cepat tanpa mengganggu suplai di sisi lain sistem [16],[17]. Temuan ini sejalan dengan studi-studi terdahulu yang menekankan pentingnya desain dan koordinasi proteksi yang tepat dalam jaringan distribusi tegangan menengah [18].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa Overcurrent Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) menunjukkan karakteristik kinerja yang saling melengkapi dalam sistem proteksi jaringan distribusi. OCR menunjukkan respons yang lebih cepat terhadap gangguan antar-fasa karena besarnya arus gangguan yang terlibat, sedangkan GFR lebih efektif dalam mendeteksi gangguan satu-fasa ke tanah yang umumnya melibatkan arus dengan magnitudo lebih rendah. Waktu operasi kedua relai dipengaruhi oleh lokasi gangguan dan besarnya arus gangguan, sesuai dengan prinsip karakteristik waktu invers.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa konfigurasi dan pengaturan relai dalam sistem 66/11 kV telah sesuai dengan standar IEC 66255, dengan nilai waktu gradasi yang tepat. Studi ini menekankan pentingnya pengaturan dan koordinasi relai yang akurat, serta evaluasi berkala berdasarkan data simulasi dan pengukuran lapangan, guna memastikan keandalan dan selektivitas sistem proteksi tenaga listrik pada jaringan distribusi 66/11 kV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang telah memungkinkan diseminasi hasil penelitian ini dalam Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE) Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia (FORTEI) 2025.

REFERENSI

- [1] S. M. Saad, F. Alasali, N. E. Nailly, A. Elhaffar, T. Hussein and F. A. Mohamed, "Coordination of Mixed Overcurrent and voltage-Restrained Overcurrent Relays to Avoid Miscoordination Problems Considering IEC Time-Current Curve Limitations," *2021 12th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Hammamet, Tunisia, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/IREC52758.2021.9624932.
- [2] M. Rojnić, R. Prenc, M. Dubravac and Z. Šimić, "Analyzing Standardized Inverse Time-Current Curve Types of Overcurrent Relays for Efficient Overcurrent Protection in Distribution Networks," *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2024, pp. 1688-1693, doi: 10.1109/MIPRO60963.2024.10569926.
- [3] T. Foqha, S. Alsadi, O. Omari and S. S. Refaat, "Optimization Techniques for Directional Overcurrent Relay Coordination: A Comprehensive Review," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 1952-2006, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3347393.
- [4] L.S. Azuara Grande, R. Granizo and S. Arnaltes, "Wavelet Analysis to Detect Ground Faults in Electrical Power Systems with Full Penetration of Converter Interface Generation," in *Electronics*, vol. 12, no. 5, p.1085, 2023.
- [5] L. Ji, Z. Cao, Q. Hong, X. Chang, Y. Fu, J. Shi, Y. Mi nad Z. Li, "An improved inverse-time over-current protection method for a microgrid with optimized acceleration and coordination," in *Energies*, vol. 13, no. 21, p.5726, 2020.
- [6] S. Biswal, N. K. Sharma and S. R. Samantaray, "Optimal Overcurrent Relay Coordination Scheme for Microgrid," *2020 21st National Power Systems Conference (NPSC)*, Gandhinagar, India, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/NPSC49263.2020.9331890.
- [7] U. Rishu, A. K. Mandpura and R. Pillai, "Simulation-Based Evaluation of IDMT Characteristics for Overcurrent Relay Protection," *2024 4th International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*, Bangalore, India, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/CONIT61985.2024.10625963.

-
- [8] A. Arizaldi, S. Salahuddin, M. Muhammad, V. Jain, G.P. Pandey and M.J. Watane, "Short circuit analysis on distribution network 20 kV using ETAP software," in *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 1, no. 2, pp.49-57, 2021.
- [9] M. Sabli, Pawenary and R. Yasser, "Optimization of OCR/GFR Relay For 150 KV Transmission Protection Systems Line 2 Siantan-Seiraya," *2024 6th International Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*, Bandung, Indonesia, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPERE63447.2024.10845504.
- [10] Q. Zheng, Z. Xinyi and B. Matloob, "Fault Location Method Of Single-phase to Earth Fault in Distribution Network Based on the Variance of Three-phase Asymmetrical Current Fault Component," *2020 7th International Forum on Electrical Engineering and Automation (IFEEA)*, Hefei, China, 2020, pp. 305-311, doi: 10.1109/IFEEA51475.2020.00071.
- [11] A. Prastyo and T. Wati, "Analisa Koordinasi Relay Proteksi OCR dan Recloser Pada Sistem Distribusi 20kV, " *In Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika (SNESTIK)*, vol. 1, no. 1, pp. 16-24. 2024.
- [12] K.Z. Ali, S. Zaib, K.M. Nadeem and Y. Ismail, "Over Current Relay Protection in Microgrid using ETAP," in *Endless light in science*, vol. 7, no. май, pp.8-14, 2024.
- [13] J. Li, J. Feng, M. Huang, S. Liu and G. Wang, "Optimal protection coordination for directional overcurrent relays in radial distribution networks with inverter-based distributed energy resources," in *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 167, p.110622, 2025.
- [14] I. Srivastava, S. Bhat, B.S. Vardhan and N.D. Bokde, "Fault detection, isolation and service restoration in modern power distribution systems: A review," in *Energies*, 15(19), p.7264, 2022.
- [15] R. Prenc, M. Rojnić, D. Franković and S. Vlahinić, "On the development of overcurrent relay optimization problem for active distribution networks," in *Energies*, vol. 15, no. 18, p.6528, 2022.
- [16] T. Bardou, V. Leitloff, A. Bonetti and M. Yalla, "IEC 60255 1xx: Protection relay functional standards for all," in *Electrical Tester*, vol. 003, pp.63-69, 2021.
- [17] AH Ibrahim, SK Sadanandan, T Ghaoud, VS Rajkumar and M Sharma, "Incipient fault detection in power distribution networks: review, analysis, challenges and future directions," in *IEEE Access*, 2024 Aug 14.
- [18] M. Jamaludin, "Development of an Intelligent Protection Coordination System for Overcurrent and Ground Fault Relays Using Neural Network Methods," in *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology*, vol. 1, no. 2, pp.33-44, 2023.