

Rancang Bangun Modul Praktikum Sistem Proteksi Arus Lebih Menggunakan Relai NR PCS-9691E

Pauziah Azi Pangestu^{1,*}, Supriyanto², Heri Budi Utomo³

^{1,2,3}Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : ^{1,*}pauziah.azi.tlis20@polban.ac.id; ²supriyanto_suhono@polban.ac.id; ³hbu@polban.ac.id

ABSTRAK

Sistem relai proteksi arus lebih merupakan sebuah sistem pada jaringan tenaga listrik yang bertujuan untuk memproteksi dari suatu gangguan yang mengakibatkan terjadinya arus berlebih. Pembuatan modul alat pengujian relai proteksi ini dengan melakukan pengujian relai proteksi arus lebih antar fasa dan fasa – tanah dengan menggunakan relai merk NR PCS-9691E. Penelitian dimulai dengan melakukan perancangan kontruksi modul, bangun kontruksi dan wiring instalasi, dan proses pengujian. Objek pengujian sistem proteksi yaitu dengan alat uji karakteristik arus lebih dan simulator jaringan SUTM. Pada pengujian dengan alat uji karakteristik arus lebih dilakukan dengan variabel pengujian TD 1 dengan arus *setting* relai 1 Amper dan arus diberikan arus pengujian 1 – 10 Amper. Dari hasil pengujian didapat rata – rata nilai error antara waktu pemutusan antara hasil uji dengan hasil perhitungan yaitu *moderately invers* rata – rata error 0,797% dan *definite* rata rata error 0,17%. Pengujian pada simulasi proteksi jaringan yaitu pengujian hubung singkat 3phasa, 2phasa, 1phasa – tanah dan 1phasa open dengan daerah pengujian hubung singkat yaitu daerah 2 dan daerah 3 A dengan tahanan pentanahan untuk pengujian ground fault relay yaitu 0 ohm dan 40 ohm hasil dari pengujian simulator jaringan SUTM relay proteksi bekerja dengan baik dan sesuai dengan setting pengujian.

Kata Kunci

Arus lebih, karakteristik, pengujian, tahanan pentanahan

1. PENDAHULUAN

Dalam penelitian ini merupakan rancang bangun sistem proteksi arus lebih dimana terdapat perancangan simulasi relai proteksi dan dilengkapi perancangan *Circuit Breaker* (CB) sebagai alat sistem pengujian dengan simulator jaringan SUTM. Sehingga rancangan modul pengujian bisa melakukan proses pengujian dengan alat uji karakteristik arus lebih dan pengujian dengan simulator jaringan SUTM [1]-[2]. Pengertian sistem proteksi dalam sistem tenaga listrik adalah suatu sistem proteksi dan isolasi pada bagian-bagian yang memungkinkan terjadinya gangguan atau bahaya pada suatu jaringan listrik, untuk mencegah terjadinya gangguan [3]-[4]. Gangguan pada proses penyaluran energi listrik mulai dari titik sumber yaitu pembangkit listrik sampai ke titik beban yaitu pengguna tidak dapat dihindari gangguan akan selalu terjadi [5]. Gangguan tersebut bisa berupa gangguan hubung sigkat satu fasa ke tanah, hubung singkat antar fasa, dan hubung singkat tiga fasa. Jika hal tersebut itu terjadi akan mengakibatkan arus lebih yang sangat besar yang

dapat mengakibatkan penyebab kerusakan pada alat – alat sistem jaringan listrik [6]-[7]. Perlu adanya upaya pengamanan atau proteksi apabila terjadi gangguan tersebut guna untuk melindungi peralatan sistem jaringan listrik dari kerusakan akibat arus beban berlebih [8].

Berdasarkan factor tersebut perlu adanya sistem proteksi arus lebih untuk mengamankan sebelum arus masuk ke peralatan. Sistem Proteksi tersebut yaitu *Over Current Relai* (OCR) dan *Ground Fault Relai* (GFR) sebagai pengaman arus lebih yang diakibatkan gangguan antar fasa dan fasa ke tanah sehingga ketika terjadi gangguan *Over Current Relai* atau *Ground Fault Relai* akan terlebih dahulu memerintahkan PMT untuk Trip sehingga transformator dapat terlindungi dari akibat gangguan tersebut. Dengan adanya sistem proteksi tersebut berguna untuk menjaga keamanan dan keandalan sistem jaringan listrik [9]-[10].

Penelitian ini melanjutkan dan memodifikasi dari hasil penelitian sebelumnya yang dibuat oleh Lusiana Tri S pada tahun 2017. Penelitian pertama membahas pengujian relai NR PCS-9691E dengan menggunakan alat uji karakteristik arus lebih

dengan membandingkan hasil pengujian dengan perhitungan dengan desain alat berbentuk box kotak. Pada penelitian selanjutnya penulis melakukan modifikasi alat dan menambahkan CB sebagai penambahan pengujian dengan alat simulator jaringan SUTM yang tersedia di Lab SDTL POLBAN dan merekonstruksi rancangan alat baru sehingga menjadi modul pengujian sistem proteksi arus lebih karena modul relai proteksi arus lebih tersistem dengan CB sebagai pemutus jaringan ketika melakukan pengujian dengan simulator jaringan SUTM.

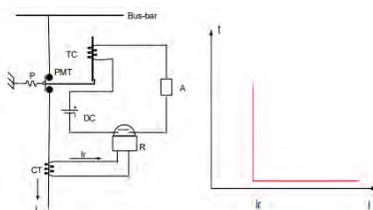
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Relai Poteksi

Salah satu alat pelindung dalam sistem keamanan jaringan listrik adalah relai proteksi atau dikenal juga dengan relai pengaman. Relai ini digunakan sebagai alat untuk mendeteksi dan mengukur adanya suatu gangguan. Alat ini bekerja dengan terlebih dahulu mendeteksi adanya kelainan pada jaringan atau bagian dari sistem tenaga listrik yang disebabkan oleh arus lebih, pada saat itu PMT/CB akan segera membuka untuk memutuskan atau memisahkan peralatan atau komponen listrik lainnya yang terpengaruh dari sistem jaringan dan mengamankan komponen peralatan lainnya.

2.2 Karakteristik Relai Arus Lebih Relai arus lebih waktu seketika (*instantaneous*)

Relai arus lebih waktu seketika atau *instantaneous relai* merupakan relai yang bekerja secara instan ataupun langsung tanpa adanya waktu tunda. Relai beroperasi pada gangguan yang paling dekat dengan instalasi relai.

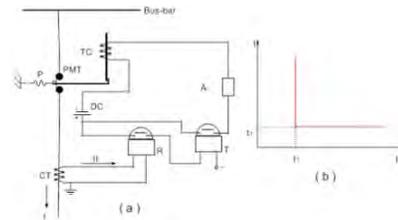


Gambar 1 Relai arus lebih dan kurva karakteristik *instantaneous*

Berdasarkan ilustrasi dan kurva karakteristik waktu di atas, Over Current Relay (OCR) akan trip CB/PMT secara langsung atau seketika tanpa mengatur waktu saat terdeteksi arus gangguan, berapapun besarnya arus gangguan.

2.3. Karakteristik Relai arus lebih waktu tertentu (*definite*)

Relai arus waktu tertentu adalah relai yang beroperasi jika arus melebihi nilai preset (I_s) dan trip PMT setelah jumlah waktu tertentu (T_s) yang telah ditentukan sebelumnya. Keistimewaan relai ini adalah waktu tunda tidak berubah tergantung seberapa besar arus gangguan. Sebesar apapun arus gangguan, relai akan beroperasi pada waktu yang telah ditentukan jika arus gangguan melebihi arus setting.

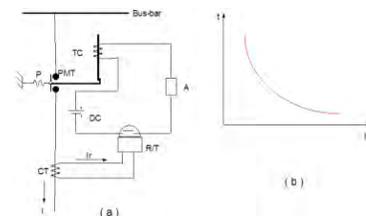


Gambar 2. Relai arus lebih dan kurva karakteristik *definite*

Berdasarkan ilustrasi dan kurva karakteristik waktu di atas, Relai Arus Lebih akan trip CB/PMT sesuai dengan pengaturan waktu yang telah ditetapkan ketika mendeteksi arus gangguan yang lebih besar dari arus yang telah ditetapkan.

2.4. Karakteristik Relai arus lebih waktu berbanding terbalik (*Invers*)

Relai arus lebih waktu terbalik atau "inverse relay" mengacu pada relai yang akan beroperasi jika arus yang terdeteksi melebihi arus pengaturannya (I_s), menyebabkan PMT trip dengan durasi trip variabel berdasarkan besaran arus gangguan. Nilai delay relai akan meningkat lebih cepat dengan semakin tingginya nilai arus gangguan pada suatu sistem.



Gambar 3. Relai arus lebih dan kurva karakteristik *invers*

Berdasarkan gambar 4 dan kurva karakteristik waktu di atas, ketika Over Current Relay mendeteksi arus gangguan yang lebih tinggi dari arus setting, CB/PMT akan trip sesuai dengan itu. Semakin cepat trip CB/PMT, semakin besar arus gangguan, dan sebaliknya. Pada Relai NR PCS-9691E menggunakan karakteristik invers dengan

standard ANSI, dengan karakteristik waktu invers yaitu *Moderately Invers*, *Invers*, *Very Invers*, *Extremely Invers*, dan *Short time Invers*. Pada Relai NR PCS-9691E menggunakan karakteristik invers dengan standard IEEE/ANSI, dengan karakteristik waktu invers dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

Karakteristik Moderately invers

$$tp = TD \times \left(0,0226 + \frac{0,0104}{M^{0,02} - 1} \right) \quad (1)$$

Karakteristik Invers

$$tp = TD \times \left(0,18 + \frac{5,95}{M^2 - 1} \right) \quad (2)$$

Karakteristik Very invers

$$tp = TD \times \left(0,0963 + \frac{3,88}{M^2 - 1} \right) \quad (3)$$

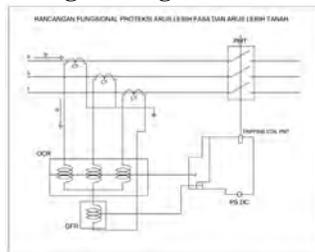
Karakteristik Extremely invers

$$tp = TD \times \left(0,0352 + \frac{5,67}{M^2 - 1} \right) \quad (4)$$

Rumus setting password relai NR PCS-9691E

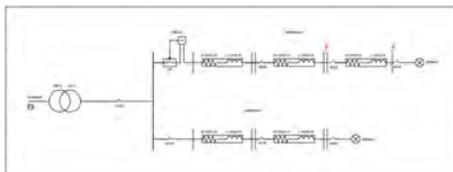
$$password = (n + 5)^2 \quad (5)$$

2.5. Perancangan Fungsional



Gambar 4. Wiring rancangan fungsional proteksi arus lebih

Dari gambar diatas dapat kita lihat prinsip kerja dari relai arus lebih pada kondisi normal arus beban akan mengalir sesuai dengan beban yang dipakai tanpa adanya arus yang sangat berlebih dan arus masih lebih kecil daripada *setting* yang ditetapkan pada relai sehingga relai tidak akan bekerja.



Gambar 5. Wiring rancangan fungsional pengujian simulasi jaringan SUTM

Pada gambar diatas merupakan rangkaian pengujian karakteristik relai dengan simulator jaringan antar fasa. Pengujian ini dilakukan

dengan diberikan dua daerah untuk hubung singkat yaitu daerah 2 dan daerah 3 pada simulator jaringan.

2.6. Perancangan layout modul relai proteksi

Berikut ini merupakan gambar desain modul perancangan relai proteksi dengan menggunakan relai NR PCS-9691E.



Gambar 6. Perancangan layout modul relai proteksi

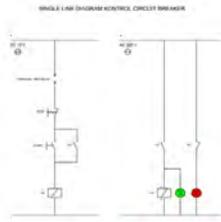
Pada perancangan gambar layout modul relai proteksi dirancang dengan sedemikian jelas dan mudah dipahami bertujuan untuk memudahkan dalam proses pengujian baik pengujian dengan *Current Injector* atau dengan modul simulator jaringan SUTM. Pada layout gambar modul relai proteksi ini dirancang dengan dibagian sebelah kiri relai diberikan alat untuk menyambungkan dengan arus inputan/primer relay pengujian dengan diberikan kode 601(input) – 603 (output) untuk Fasa R, 603(input) – 604 (output) untuk Fasa S, 605(input) – 606 (output) untuk Fasa T, 607(input) – 608 (output) untuk Ground/Tanah, dan untuk bagian sebelah kanan relai sebagai alat untuk tripping coil relai.

2.7. Perancangan layout pemutus CB simulator jaringan SUTM

Berikut ini gambar rancangan CB dalam pemutusan simulator ke jaringan.



Gambar 7. Perancangan layout pemutus CB simulator jaringan SUTM

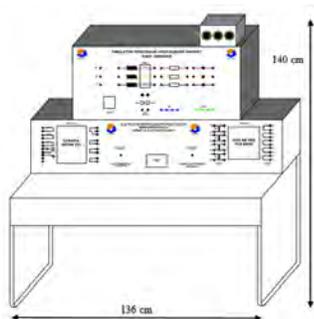


Gambar 8. Single line diagram kontrol *circuit breaker*

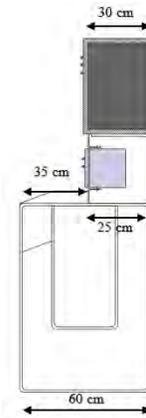
Pada perancangan Layout pemutus CB ini penulis merancang sebagai alat untuk CB/PMT pada saat pengujian dengan modul simulator jaringan SUTM. Dengan menggunakan alat CB pemutus ini memudahkan dalam pengamatan pada saat pengujian. Untuk rancangan CB ini penulis juga menambahkan meter digital sebagai alat untuk membaca tegangan kerja, arus kerja, dan frekuensi guna untuk memudahkan pembacaan pada saat pengujian. Pada perancangan Modul CB/PMT ini dirancang dengan ukuran Panjang 91 cm dan lebar 40 cm.

2.8. Perancangan Fisik atau Kontruksi

Perancangan fisik atau kontruksi ini merupakan gambar rancangan modul sebenarnya yang direalisasikan untuk dibuat menjadi modul pembelajaran. Untuk perncancangan ini ditampilkan sebuah desain 3D menyerupai asli sebagai gambaran dalam pembuatan modul sebenarnya. Berikut desain perancangan fisik atau kontruksi yang dibuat dalam pembuatan modul praktikum karakteristik arus lebih dan simulasi gangguan hubung singkat pada jaringan dilengkapi dengan modul simulasi CB/PMT.



Gambar 9. Perancangan fisik dan kontruksi tampak depan



Gambar 10. Perancangan fisik dan kontruksi tampak samping

Pada Gambar.9 merupakan perancangan fisik atau kontruksi tampak depan, pada kontruksi ini menggunakan bahan meja dari besi untuk kontruksi rangka dan untuk alas meja menggunakan bahan dari plat besi sehingga dipastikan untuk kontruksi meja dibuat akan kokoh. Untuk rancangan kontruksi tampak depan rancangan memiliki tinggi meja modul tinggi 140 cm dan lebar meja modul 136 cm. Sedangkan pada Gambar.10 merupakan perancangan kontruksi atau fisik dari tampak samping. Pada tampak samping memiliki ukuran lebar meja 60 cm meter dan lebar alas meja 35 cm yang cukup digunakan sebagai tempat alat untuk menuliskan hasil pengujian dan memasukan data dengan menggunakan laptop.

2.9. Realisasi Alat



Gambar 11. Realisasi alat modul praktikum

3. PEMBAHASAN DAN DISKUSI

3.1 Pengujian karakteristik relai arus lebih NR PCS-9691E dengan simulasi alat uji karakteristik arus lebih

Pengujian karakteristik arus lebih NR PCS-9691E ini dilakukan pengujian karakteristik relai arus

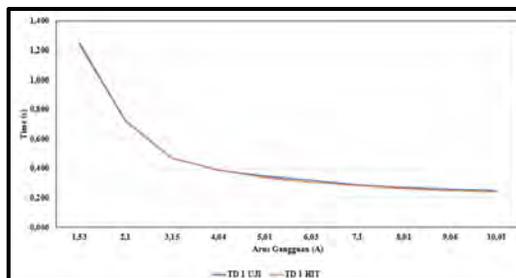
lebih dengan alat uji *current injector*. Dari hasil pengujian didapat data waktu pemutusan dengan setting karakteristik waktu berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kurva karakteristik waktu pemutusan relai Standard Invers Time (SIT). Pengujian dilakukan dengan TD 1 dan arus setting 1A. Dari hasil pengujian didapat data sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik *moderately invers*

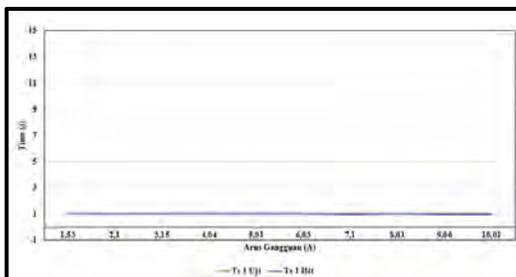
I (Iuji/Isett)	Perhitungan (s)	Pengujian (s)	Error (%)
1,53	1,240	1,250	0,793
2,1	0,718	0,723	0,657
3,15	0,471	0,474	0,719
4,04	0,390	0,390	0,738
5,01	0,340	0,346	1,728
6,03	0,307	0,320	4,288
7,1	0,283	0,290	2,572
8,01	0,267	0,270	0,990
9,06	0,253	0,260	2,610
10,01	0,243	0,250	2,807

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik definite

I (Iuji/Isett)	Ts setting	Ts Uji	Error (%)
1,53	1	1,02	2
2,1	1	1,01	1
3,15	1	1,02	2
4,04	1	1,02	2
5,01	1	1,02	2
6,03	1	1,03	3
7,1	1	1,01	1
8,01	1	1,01	1
9,06	1	1,01	1
10,01	1	1,01	1



Gambar 12. Kurva karakteristik *moderately invers*



Gambar 13. Kurva karakteristik *definite*

Dari hasil perhitungan dan pengujian secara langsung karakteristik *over current relay definite* dan *moderately invers* dilihat dari hasil kurva karakteristik pengujian Relay masih layak digunakan dan masih layak untuk dijadikan modul pengujian karakteristik relai sistem proteksi, tanpa perlu mengganti relai dengan yang baru. Berdasarkan pengujian Relay NR PCS-9691E pengujian menggunakan alat uji *current injector* dengan gangguan antar fasa didapat perbandingan data hasil perhitungan dan pengujian tidak terlihat perbedaan yang terlalu signifikan. Sebagai contoh tabel.2 pada Iuji/ Iset 1,53A dengan nilai time setting 1s pemutusan, berdasarkan pengujian CB mengalami pemutusan pada waktu 1,02 s dengan hasil error nya yaitu hasil dari perhitungan dan pengujian sebesar 2%.

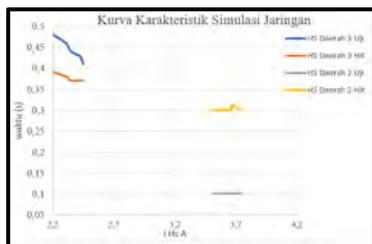
3.2 Pengujian karakteristik relai arus lebih NR PCS-9691E dengan simulasi jaringan SUTM

Pengujian karakteristik relai arus lebih NR PCS-9691E dengan alat uji modul simulator jaringan dilakukan untuk mengetahui apakah modul relai yang telah dibuat bisa digunakan dan bekerja sesuai dengan settingan kerja relai pada simulasi jaringan hubung singkat. Pada pengujian dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu arus hubung singkat pada alat uji simulator jaringan ini bertujuan untuk menentukan settingan pada relai sehingga relai dapat dioperasikan dengan baik dan terkontrol. Pengujian ini dilakukan untuk menguji simulasi proteksi jaringan apabila terjadi hubung singkat dan relay diharapkan untuk bisa memutuskan jaringan tersebut untuk mengamankan transformator dengan daya 380/127V.

Tabel 3. Hasil pengujian simulator jaringan SUTM

Arus Hubung Singkat		Uji Daerah 2	Uji Daerah 3	Hitung Daerah 2 (A)	Hitung Daerah 3 (A)
3 P	R-S-T	0,1 s instans	0,1 s instans	0,28	0,35
2 P	R-S	0,1 s instans	0,48 s invers	0,30	0,37
2 P	S-T	0,1 s instans	0,44 s invers	0,30	0,39
2 P	T-R	0,1 s instans	0,46 s invers	0,30	0,38
1 P - tanah	R	0,1 s instans	0,1 s instans	0,27	0,34
SOLID	S	0,1 s instans	0,1 s instans	0,30	0,36

1 P Open SOLID	T	0,1 instans	0,1 s instans	0,29	0,36
	R		0,21 s GFR Trip		
	S		0,23 s GFR Trip		
1 P tanah 40 Ohm	T		0,24 s GFR Trip		
	R	0,1 s instans	0,42 invers	0,30	0,37
	S	0,1 s instans	0,43 invers	0,30	0,37
1 P Open 40 Ohm	T	0,1 s instans	0,41 invers	0,30	0,37
	R		0,34 s GFR Trip		
	S		0,35 s GFR Trip		
	T		0,37 s GFR Trip		



Gambar 14. Kurva karakteristik pengujian simulasi jaringan SUTM

Dari Tabel.3 hasil yang ditampilkan ketika gangguan di daerah 3 dimana daerah 3 adalah daerah terjauh dari sumber, didapat data untuk gangguan hubung singkat 2 fasa waktu pemutusan secara time delay ($I>$) dan untuk gangguan hubung singkat 3 fasa secara instantaneuous. Dan untuk daerah 2 semua pemutusan karakteristik relay secara instananeuous. Dari hasil pengujian, relay bekerja dengan baik dan sesuai dengan setting yang diberikan. Dimana ketika arus gangguan sudah mencapai 2,5 A merupakan I setting instantaneuous relai bekerja langsung men-Tripkan CB/PMT tanpa waktu tunda dengan waktu pemutusan 0,1 sekon.

4. KESIMPULAN

Setelah menyelesaikan tahap perancangan alat, kemudian tahap realisasi alat dapat disimpulkan dari hasil pengujian dengan menggunakan alat uji *current injector* dilakukan pengujian karakteristik relay yaitu *moderately invers*, *very invers*, *extremly invers* dan *definite* dengan pengujian antar fasa dan fasa – tanah. Pada pengujian didapat rata rata error 0,17%. Dengan demikkian dari rata rata error yang didapat relai sangat baik dan layak untuk dioperasikan untuk dilakukan pengujian karakteristik arus lebih. Pada pengujian simulasi proteksi hubung singkat dengan simulator jaringan SUTM dilakukan pengujian proteksi hubung singkat pada daerah 2 dan daerah 3

simulator jaringan. Pengujian dilakukan dengan mengetahui arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa tanah pada jaringan untuk dilakukan proses setting relai. Setting relai pada pengujian diberikan untuk Isett 0,45 A, *time dial (TD)* 1,127 dan Isett instantaneuous 2,5 A. Pada pengujian *ground fault relay* waktu pemutusan dipengaruhi oleh tahanan pentanahan yaitu semakin besar waktu pemutusan relai akan semakin lama.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Lusiana Tri S (141321017) yang telah menyediakan dan mengkontruksi alat relai proteksi NR PCS-9691E pada tahun 2017 pada Lab Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada tahun 2017. Dan peneliti mengucapkan terimakasih kepada POLBAN atas bantuan dan dukungan dana yang telah diberikan dalam pelaksanaan Tugas Akhir berdasarkan surat nomor B/275/PLI/HK.02.00/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] NR Electric CO., LTD, "PCS-9691E Overcurrent Management Relay. China : 69 Suyuan Avenue", 2008.
- [2] Supriyanto, "Bahan Ajar Mata Kuliah Peralatan Tegangan Menengah - Analisi Hubung Singkat dan Komponen Simetri. Bandung: Politeknik Negeri Bandung", 2018.
- [3] I. N. Sunaya and I. G. S. Widharma, "Analisis Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Terhadap Keandalan Sistem," *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, vol. 3, no. 1, pp. 30-40, 2020.
- [4] Zulfarhain, Muhammad Maulana, and Yudi Prana Hikmat. "Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa dan Gangguan Tanah Untuk Simulator Koordinasi Proteksi Pada Transformator Tenaga.", 2022.
- [5] H. D. Paminto, and A. Kiswantono, "Rancang Simulasi Sistem Over Current Relay Pada Jaringan Distribusi 20KV," *Aisyah Journal Of Informatics and Electrical Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 45-49, 2021.
- [6] Supriyanto, Hari Purnama, and Rahmat Frasetio. "Rancang Bangun Simulator Proteksi Jaringan Distribusi Terhadap Gangguan Arus Lebih Pada Gardu Induk.", 2019.
- [7] I. Fauziah, K. Wijayanto, and S. Supriyanto, "Rancang Bangun Over Current Relay Pada Simulator Gardu Induk 70/20 kV Menggunakan PLC dan HMI," *In Prosiding*

Industrial Research Workshop and National Seminar, vol. 12, pp. 296-301, September, 2021.

- [8] D. Dasweptia, Y. Afrida, and D. A. Fauzi, "Analisis Setting Over Current Relay dan GroundFault Relay Pada Sisi Incoming Travo 60 MVA dan OutgoingFeeder". *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 15-22, 2021.
- [9] H. Prasetijo and D. T. Nugroho, "Overcurrent relays coordination: comparison characteristics standar inverse, very inverse and extremly inverse," *In Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1367, no. 1, November 2019.
- [10] L. Sugesti, A. N. Afandi and H. Putranto, "Setting Analysis of Over Current Relay and Ground Fault Relay on Transformer Protection System of High Voltage Substation System," 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS), pp. 27-31, doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692825, 2018.