

Rancang Bangun Pengembangan Modul Praktikum Pengujian Relai Arus Lebih Menggunakan Relai Spaj 140c

Aulia Ramandani^{1,*}, Yudi Prana Hikmat², Sunarto³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559
E-mail : ^{1,*}aulia.ramandani.tlis20@polban.ac.id; ²yudipranahikmat@yahoo.com; ³soen @polban.ac.id

ABSTRAK

Dalam jaringan saluran udara tegangan menengah (SUTM) sering terjadi gangguan hubung singkat dan arus lebih. Pada jaringan SUTM dipasang relai arus lebih untuk memproteksi terjadinya gangguan tersebut. Relai ini dipasang pada sisi sekunder trafo gardu induk. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat praktikum proteksi sistem tenaga terhadap gangguan arus lebih dan hubung singkat menggunakan OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault relay*). Tahapan pada penelitian ini terdiri dari perancangan, pembuatan, hasil dan pelaporan. Penelitian ini menggunakan relai arus lebih tipe SPAJ 140 C, yang disimulasikan melalui simulator *current injection* dan sistem distribusi SUTM dengan cara membandingkan hasil pengujian dan perhitungan. Ketika adanya arus gangguan relai SPAJ 140 C akan bekerja dengan mensinyalir arus yang melebihi batas dari nilai settingannya. Pengujian arus lebih dilakukan dengan mengatur arus gangguan pada simulator dari arus 1,32 A - 10,1 A. Pengujian hubung singkat dilakukan dengan mengatur tahanan pentanahan yaitu 0, 12, 40, dan 500 ohm. Kedua pengujian tersebut menggunakan *standard inverse*. Hasil dari pengujian menunjukkan relai dapat bekerja secepat mungkin dalam menangani gangguan, karena hasil dari pengujian sudah mendekati nilai perhitungan, dengan *error* rata-rata $\pm 1\%$.

Kata Kunci

Arus Lebih, Hubung Singkat, Proteksi, OCR, GFR

1. PENDAHULUAN

Jaringan saluran udara tegangan menengah (SUTM) merupakan jaringan distribusi tenaga listrik 3 fasa 20 kV. Ada beberapa gangguan yang terjadi dalam penyaluran tenaga listrik di jaringan SUTM, namun sebagian besar gangguan yang terjadi merupakan gangguan hubung singkat. Saat terjadi arus gangguan yang besar dan tidak segera ditangani maka dapat merusak peralatan, dengan demikian dibutuhkan peralatan proteksi untuk mengatasi gangguan tersebut. Peralatan proteksi yang digunakan yaitu OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*) yang biasanya dipasang pada sisi sekunder trafo gardu induk dengan tujuan untuk memproteksi jaringan distribusi akibat gangguan arus lebih dan hubung singkat.

M Maulana Zulfarhain, Supriyanto, dan Yudi Prana Hikmat “Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa dan Gangguan Tanah Untuk Simulator Koordinasi Proteksi Pada Transformator Tenaga”. Penelitian ini membahas relai arus lebih sebagai suatu peralatan pengaman cadangan yang dipasang pada trafo dan akan dikoordinasikan dengan relai pengaman lainnya [1].

Abdul Azis, dan Irine Kartika Febrianti “Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang”. Penelitian ini membahas pengoperasian arus lebih sebagai sistem proteksi cadangan lokal yang digunakan untuk perlindungan dari gangguan, maka dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai *setting* terbaik pada relai arus lebih [2].

Endan Budi Permana, Yudi Prana Hikmat, dan Supriyanto “Studi Proteksi *Setting* Arus Lebih Pada PLTM Mikrogird Girimukti 20 kV Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0”. Penelitian ini membahas pengoperasian relai arus lebih menggunakan *software* ETAP 12.6.0 yang difungsikan untuk simulasi gangguan pada sistem proteksi suatu jaringan dengan tujuan untuk mencari besarnya nilai *setting* agar koordinasi proteksi arus lebih menjadi optimal [3].

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Jaringan tegangan primer atau yang dikenal sebagai jaringan distribusi tegangan menengah adalah sebuah jaringan penghubung dari sisi sekunder transformator daya gardu induk sampai

gardu distribusi. Tegangan yang disalurkan, yaitu 20 kV, 12 kV atau 6 kV. Konstruksi jaringan terbagi menjadi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM). Saluran tegangan menengah (SUTM) adalah konstruksi jaringan yang paling banyak digunakan di Indonesia untuk tegangan menengah. Ciri dari jaringan ini adalah penggunaan konduktor tanpa isolasi yang ditahan pada tiang besi berupa isolator, jarak efektif untuk keamanan konduktor bertegangan 20 kV dari lingkungan dan makhluk hidup harus dipertimbangkan karena untuk faktor keamanan [4]. Jaringan ini memiliki berbagai macam konfigurasi, antara lain *radial*, *loop*, dan *spindle*. Pada tugas akhir ini menggunakan konstruksi SUTM jaringan *radial*.

2.2 Konfigurasi Radial

Sistem jaringan ini adalah yang paling sederhana dari sistem lainnya. Jaringan ini mendistribusikan listrik dari satu atau lebih titik pengisian (*feeder*) yang tersambung ke titik beban (peralatan) secara langsung. Jaringan ini adalah bentuk sistem paling umum, jika dilihat dari penggunaannya, akan tetapi salah satu resiko pemadaman listrik sangat tinggi, berupa gangguan pada trafo distribusi [5]. Sebagai sebuah sistem, jaringan ini memiliki kelebihan, yaitu kemudahan dalam penggunaan, mudah mendeteksi gangguan, bentuk jaringan yang lebih sederhana dan biaya yang terjangkau. Selain kelebihan, jaringan ini tentunya memiliki kelemahan, yaitu rendahnya kelangsungan operasional sistem dan penurunan tegangan yang tinggi, terkhusus di saluran yang jaraknya jauh dari penyulang.

2.3 Gangguan Pada Jaringan SUTM

Gangguan yang paling utama dan sering terjadi di jaringan SUTM adalah gangguan hubung singkat. Gangguan ini terjadi di saluran distribusi 20 KV yang disebabkan oleh gangguan internal maupun eksternal. Gangguan eksternal diakibatkan karena adanya sentuhan benda pada penghantar berupa daun, surja petir, dan lain sebagainya. Sedangkan gangguan internal biasanya disebabkan oleh ketidaknormalan fungsi peralatan yang menyebabkan kerusakan peralatan jaringan dan pemutus beban [6]. Gangguan hubung singkat terjadi karena hubungan tidak normal pada impedansi yang relatif rendah dengan secara sengaja atau tidak antara dua titik atau lebih yang berbeda potensial. Dilihat dari jenis gangguannya, maka gangguan pada sistem distribusi bisa dikelompokkan menjadi empat jenis gangguan, yaitu:

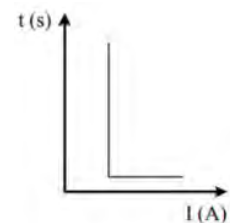
- Gangguan hubung singkat 3 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah
- Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

2.4 Relai Arus Lebih

Relai arus lebih adalah seperangkat pengamanan dengan peranan penting pada kelayakan suatu jaringan dalam memproteksi jaringan yang akan bekerja jika adanya kenaikan arus akibat gangguan hubung singkat yang melebihi nilai *setting* yang ditetapkan, maka relai akan mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah pemutusan pada PMT [7]. Relai arus lebih bekerja pada dua kondisi, yaitu saat arus kembali (I_d) dan arus kerja (I_p). Arus kembali adalah arus maksimum yang mengakibatkan relai gagal berfungsi secara normal, sedangkan arus kerja adalah arus minimum yang mengakibatkan relai membuka dan menutup kontakannya [8].

2.4.1 Relai Arus Lebih Waktu Kerja Seketika

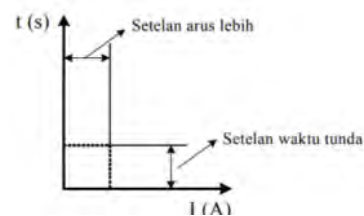
Relai arus lebih dengan karakteristik ini memiliki waktu kerja yang cepat mulai dari *pick up* hingga selesai. Relai ini bekerja saat adanya arus gangguan yang besar hingga melebihi nilai arus *setting*nya.



Gambar 1. Kurva Karakteristik Waktu Seketika

2.4.2 Relai Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu

Relai arus lebih dengan karakteristik ini bekerja dengan bergantung pada besarnya *setting* waktu. besarnya arus gangguan tidak mempengaruhi waktu kerja dari relai.



Gambar 2. Kurva Karakteristik Waktu Tertentu

2.4.3 Relai Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik

Relai arus lebih dengan karakteristik ini waktu kerja dari relai bergantung pada besarnya arus gangguan. Ketika terjadi arus gangguan yang besar maka waktu kerjanya akan semakin cepat.

Berdasarkan *standard* IEC 60255 terdapat empat macam persamaan, yaitu:

a) *Standard Inverse*

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02}-1} \times tms \quad (1)$$

b) *Very Inverse*

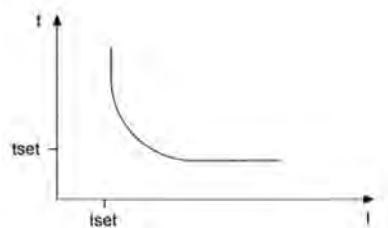
$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)-1} \times tms \quad (2)$$

c) *Extremely Inverse*

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^2-1} \times tms \quad (3)$$

d) *Long Time Inverse*

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)-1} \times tms \quad (4)$$



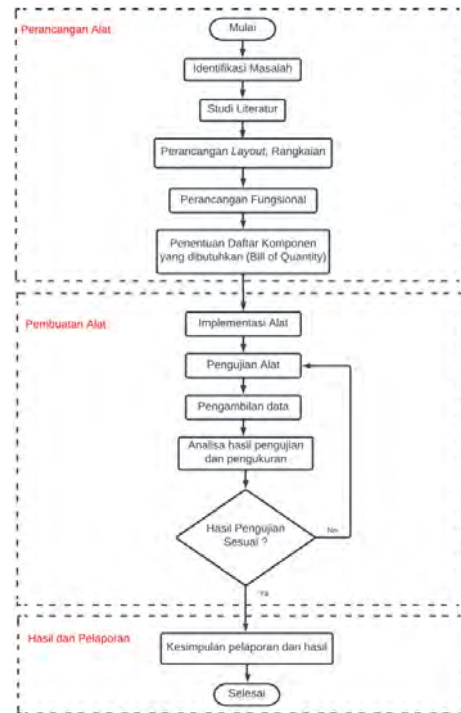
Gambar 3. Kurva Karakteristik Waktu Terbalik

2.5 Relai Gangguan Tanah

Relai gangguan tanah atau yang dikenal dengan GFR (*Ground fault Relay*) memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan OCR, yang membedakannya, yaitu OCR berkerja dengan mensinyalir ketika adanya hubung singkat antar fasa, sedangkan GFR mensinyalir adanya hubung singkat ke tanah [9]. Besarnya nilai arus setting GFR harus lebih kecil dibandingkan nilai arus setting OCR.

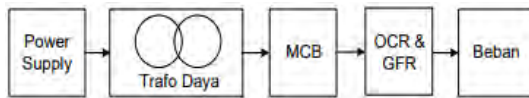
3. METODOLOGI PELAKSANAAN

Metode yang digunakan pada rancang bangun ini meliputi studi literatur, perancangan dan implementasi, pengujian dan pelaporan.



Gambar 4. Diagram Alir

Gambar 4 merupakan diagram alir mengenai proses rancang bangun modul praktikum dengan melakukan identifikasi masalah yang dikaji terlebih dahulu untuk memperdalam pengetahuan mengenai penelitian tentang relai arus lebih menggunakan sumber referensi berupa jurnal, prosiding dan buku. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan *layout* yang bertujuan untuk mempermudah pelaksanaan praktikum. Sedangkan perancangan rangkaian bertujuan untuk mempermudah dalam merangkai komponen. Tahap pembuatan alat dilakukan dengan pembuatan rangka alat sebagai tempat pemasangan *layout* dan pemasangan komponen yang dilanjutkan dengan merangkai alat sesuai dengan *layout*. Tahap pengujian modul dilakukan dengan pengujian terhadap arus lebih menggunakan simulator *current injection* dan pengujian hubung singkat dengan menggunakan simulator sistem distribusi SUTM untuk mengetahui kinerja dari relai sebagai sistem proteksi yang akan mendeteksi ketika terjadi gangguan dan secepat mungkin harus memberikan perintah *trip* ke pemutus tenaga. Pengambilan data dilakukan dengan pengujian dan perhitungan, Tahap terakhir yaitu menarik kesimpulan serta pembuatan laporan dari data yang sudah didapatkan.



Gambar 5. Diagram Blok

Gambar 5 merupakan diagram blok deskripsi kerja alat yang dibuat, dihubungkan dengan sumber tegangan 380 V AC. Relai dipasang pada sisi sekunder trafo yang bertujuan untuk memproteksi jaringan distribusi dari gangguan arus lebih. Pengujian terhadap relai SPAJ 140 C yang bekerja dengan mendeteksi arus beban lebih dan hubung singkat. Pengujian yang akan dilakukan pada alat ini yaitu kinerja dari relai SPAJ 140 C. Relai akan dialiri arus yang melebihi dari batas arus *setting*, hal ini bertujuan untuk membangkitkan medan magnet dan *rod* pada *coil* yang terdapat pada *tripping coil* sehingga arus yang mengalir akan memberikan sinyal kepada pemutus tenaga dan membuat relai *trip*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian

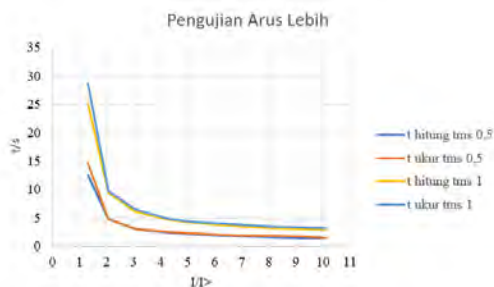
Pada penelitian ini terdapat beberapa pengujian yang akan dilakukan, yaitu pengujian arus lebih menggunakan alat uji karakteristik proteksi arus lebih dan pengujian hubung singkat dengan menggunakan karakteristik *standard inverse* pada simulator sistem distribusi SUTM.

4.2 Hasil Pengujian Arus Lebih

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui arus lebih dan waktu kerja relai ketika pengujian dengan hasil perhitungan dengan cara dibandingkan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Arus Lebih

No	Iset (A)	Iuji (A)	I (Iuji/Iset)	Tms 0,5			Tms 1		
				t hitung (s)	t ukur (s)	Error (%)	t hitung (s)	t ukur (s)	Error (%)
1.	1	1,32	1,32	12,57	14,59	1,16	25,14	28,8	1,15
2.	1	2,07	2,07	4,78	4,78	1,00	9,55	9,74	1,02
3.	1	3,05	3,05	3,10	3,11	1,00	6,21	6,55	1,06
4.	1	4,3	4,3	2,36	2,5	1,06	4,73	4,85	1,03
5.	1	5,25	5,25	2,08	2,26	1,09	4,15	4,27	1,03
6.	1	6,35	6,35	1,86	2,07	1,11	3,72	4,02	1,08
7.	1	7,15	7,15	1,74	1,9	1,09	3,49	3,81	1,09
8.	1	8,15	8,15	1,63	1,81	1,11	3,27	3,43	1,05
9.	1	9,3	9,3	1,53	1,74	1,13	3,07	3,28	1,07
10.	1	10,1	10,1	1,48	1,52	1,02	2,96	3,23	1,09



Gambar 6. Kurva Pengujian Arus Lebih

4.2.1 Analisa Pengujian Arus Lebih

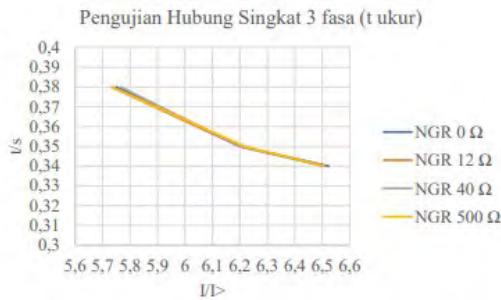
Pengujian arus lebih dengan relai SPAJ 140 C sebagai sistem proteksi dan alat uji proteksi sebagai simulator arus lebih. Pengujian dilakukan dengan menyetting relai proteksi pada tms 0,5 dan 1 menggunakan alat uji karakteristik proteksi yang besaran arus gangguannya dapat diatur sehingga didapatkan arus yang bervariasi, yaitu 1,4-10 A. Pengujian ini menggunakan settingan *standard inverse* ketika arus gangguan semakin besar mengakibatkan waktu kerja relai yang semakin cepat, sebaliknya jika arus gangguan yang terjadi semakin kecil maka waktu kerja relai akan lambat karena arus gangguan yang terlalu kecil sulit untuk dideteksi. Perbedaan waktu kerja relai berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan didapatkan selisih sebesar $\pm 1\%$. Berdasarkan gambar 6 pengujian arus lebih dengan tms 0,5-1 diperoleh hasil semakin besar nilai tms maka akan semakin lambat waktu kerja relai dengan menggunakan arus gangguan yang sama. Perbedaan waktu kerja relai saat pengujian dan perhitungan disebabkan oleh pengukuran waktu menggunakan *stopwatch* (tidak langsung) bukan pengukuran langsung dengan *timer* yang dipasang pada modul.

4.3 Hasil Pengujian Gangguan Hubung Singkat

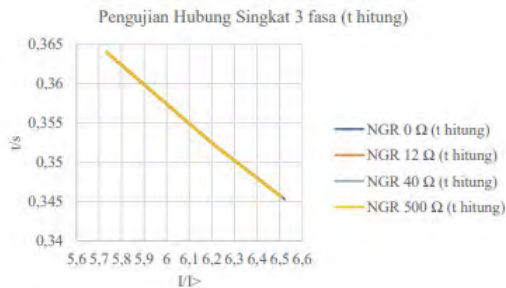
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja relai SPAJ 140 C terhadap gangguan hubung singkat yang disimulasikan. Simulasi gangguan hubung singkat yang dilakukan, yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah. Arus *setting* pada OCR, yaitu 0,5 A dengan tms 0,13 (SI), sedangkan arus *setting* pad GFR, yaitu 0,15 A dengan tms 0,08 (SI).

Tabel 2. Hasil Pengujian Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Tahanan Pentanahan (Ω)	Tegangan (V)	Arus Gangguan (A)			Waktu Trip (s)			Setting yang bekerja	
		R	S	T	Tms (SI)	t ukur	t hitung	I>	I>>
0	380	6,35	6,7	6,52	0,13	0,34	0,3452	-	I>>
	360	5,9	6,45	6,25	0,13	0,35	0,3524	-	I>>
	340	5,5	5,95	5,8	0,13	0,38	0,3635	-	I>>
12	380	6,36	6,7	6,47	0,13	0,34	0,3455	-	I>>
	360	5,9	6,45	6,25	0,13	0,35	0,3524	-	I>>
	340	5,5	5,95	5,75	0,13	0,38	0,3640	-	I>>
40	380	6,35	6,7	6,47	0,13	0,34	0,3456	-	I>>
	360	5,9	6,45	6,25	0,13	0,35	0,3524	-	I>>
	340	5,5	5,95	5,85	0,13	0,38	0,3631	-	I>>
500	380	6,35	6,7	6,47	0,13	0,34	0,3456	-	I>>
	360	5,95	6,45	6,25	0,13	0,35	0,3520	-	I>>
	340	5,5	5,9	5,8	0,13	0,38	0,3640	-	I>>



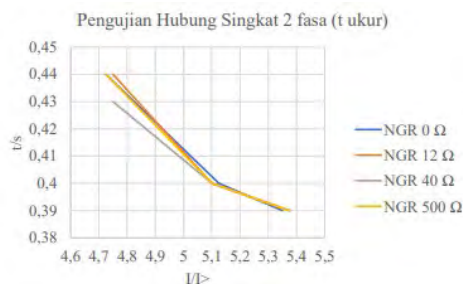
Gambar 7. Kurva Pengujian Hubung Singkat 3 Fasa (t ukur)



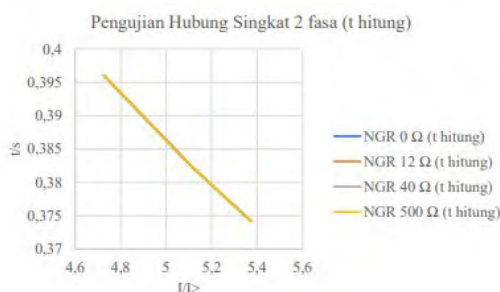
Gambar 8. Kurva Pengujian Hubung Singkat 3 Fasa (t hitung)

Tabel 3. Hasil Pengujian Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Tahanan Pentanahan (Ω)	Tegangan (V)	Arus Gangguan (A)			Waktu Trip (s)			Setting yang bekerja	
		R	S	T	Tms (SI)	t ukur	t hitung	I>	I>>
0	380	5,2	0,23	5,5	0,13	0,37	0,3749	I>	-
	360	4,95	0,23	5,3	0,13	0,4	0,382	I>	-
	340	4,6	0,23	4,85	0,13	0,44	0,3961	I>	-
12	380	5,25	0,23	5,5	0,13	0,39	0,3741	I>	-
	360	4,95	0,23	5,25	0,13	0,4	0,3828	I>	-
	340	4,65	0,23	4,85	0,13	0,44	0,3951	I>	-
40	380	5,25	0,23	5,5	0,13	0,39	0,3741	I>	-
	360	4,95	0,23	5,25	0,13	0,4	0,3828	I>	-
	340	4,65	0,23	4,85	0,13	0,43	0,3951	I>	-
500	380	5,25	0,23	5,5	0,13	0,39	0,3741	I>	-
	360	4,95	0,23	5,25	0,13	0,4	0,3828	I>	-
	340	4,6	0,23	4,85	0,13	0,44	0,3961	I>	-



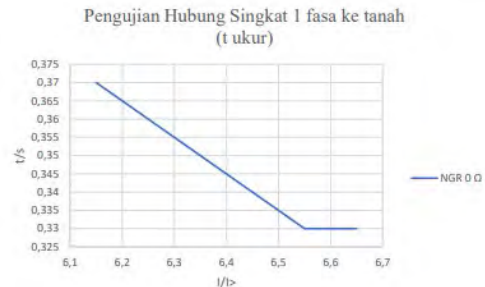
Gambar 9. Kurva Pengujian Hubung Singkat 2 Fasa (t ukur)



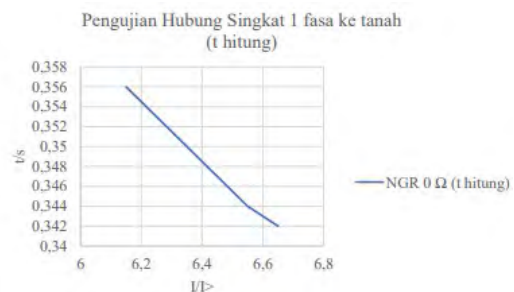
Gambar 10. Kurva Pengujian Hubung Singkat 2 Fasa (t hitung)

Tabel 4. Hasil Pengujian Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Tahanan Pentanahan (Ω)	Tegangan (V)	Arus Gangguan (A)			Waktu Trip (s)			Setting yang bekerja	
		R	S	T	Tms (SI)	t ukur	t hitung	I>	I>>
0	380	0,23	0,23	6,55	0,13	0,33	0,3447	-	I>
	360	0,23	0,23	6,15	0,13	0,37	0,3535	-	I>
	340	0,23	0,23	6,65	0,13	0,33	0,3426	-	I>
12	380	0,23	0,23	3,8	0,13	0,45	0,4396	-	I>
	360	0,23	0,23	3,65	0,13	0,46	0,4487	-	I>
	340	0,23	0,23	3,4	0,13	0,49	0,4656	-	I>
40	380	0,23	0,23	2,05	0,13	0,67	0,6358	-	I>
	360	0,23	0,23	1,97	0,13	0,68	0,6546	-	I>
	340	0,23	0,23	1,85	0,13	0,71	0,6864	-	I>
500	380	0,23	0,23	0,69	0,13	2,93	2,8162	I>	-
	360	0,23	0,23	0,67	0,13	3,15	3,1002	I>	-
	340	0,23	0,23	0,65	0,13	3,53	3,4593	I>	-



Gambar 11. Kurva Pengujian Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah (t ukur)



Gambar 12. Kurva Pengujian Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah (t hitung)

4.3.1 Analisa Pengujian Gangguan Hubung Singkat

Pengujian gangguan hubung singkat relai SPAJ 140 C dengan *setting* arus pada OCR 0,5 A dan tms 0,13 (SI) sebagai proteksi hubung singkat antar fasa dan *setting* arus pada GFR 0,15 A dan tms 0,08 (SI) sebagai proteksi hubung singkat ke tanah. Berdasarkan tabel 2 pengujian hubung singkat 3 fasa diperoleh hasil arus yang terukur di tiap fasanya berbeda yang seharusnya besaran arus pada setiap fasanya sama karena hubung singkat 3 fasa adalah hubung singkat yang simetris. Namun, pada hasil pengujian didapatkan perbedaan arus di tiap fasanya yang disebabkan oleh impedansi dan tegangan pada tiap salurannya berbeda. Karena arus di setiap fasanya berbeda, maka untuk perhitungan waktu kerja relai digunakan arus rata-rata dari setiap fasanya. Perbedaan waktu kerja relai saat pengujian dan perhitungan tidak berbeda jauh. *Setting* yang bekerja pada pengujian ini adalah *setting*

instantaneous dari OCR. Berdasarkan tabel 3 pengujian hubung singkat 2 fasa didapatkan hasil, arus yang terukur pada tiap fasanya tidak seimbang karena terhubungnya salah satu fasa dengan fasa yang lainnya. Arus gangguan yang digunakan pada perhitungan waktu pemutusan adalah arus hubung singkat terendah antara fasa satu dengan fasa lainnya. Perbedaan waktu kerja relai antara pengujian dan perhitungan tidak berbeda jauh. *Setting* yang bekerja pada hubung singkat 2 fasa adalah *setting inverse* dari OCR. Berdasarkan tabel 4 pengujian hubung singkat 1 fasa ke tanah didapatkan hasil, hubung singkat ini merupakan hubung singkat tidak simetris, gangguan ini berupa hubung singkat antara satu fasa dengan tanah. biasanya gangguan hubung singkat terjadi karena adanya gangguan eksternal. Perbedaan waktu kerja relai antara pengujian dan perhitungan pada hubung singkat ini tidak terlalu jauh. *Setting* yang bekerja pada hubung singkat 2 fasa adalah *setting GFR* dari OCR. Namun pada saat pengujian dengan tahanan pentanahan 500 Ω yang bekerja adalah *setting inverse* dari OCR, hal ini disebabkan oleh arus yang terlalu kecil sehingga *setting GFR* pada OCR tidak dapat mendeteksi arus dan waktu pemutusan menjadi lebih lama.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Rancang bangun pengembangan modul praktikum OCR SPAJ 140 C sebagai proteksi terhadap gangguan hubung singkat dan arus lebih yang dapat disetting pada *switchgroup* untuk kinerja dari relai, kemudian *setting* nilai arus dan tms.
2. Berdasarkan hasil analisis dan simulasi koordinasi relai gangguan arus lebih (*Over Current Relay*) dan gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) sudah berjalan dengan baik karena ketika ada arus gangguan, relai akan bekerja secepat mungkin untuk menangani gangguan yang terjadi.
3. Kinerja relai SPAJ 140 C baik untuk OCR maupun GFR dapat disimpulkan bekerja dengan baik dari sisi pengukuran maupun perhitungan ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dua fasa, dan tiga fasa. Karena pada saat pengukuran waktu pemutusan relai sudah mendekati nilai dari perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Z. Supriyanto and Y. P. Hikmat, "Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa dan Gangguan Tanah Untuk Simulator Koordinasi Proteksi Pada Transformator Tenaga," Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar, pp. 275- 281, 2022.
- [2] A. Azis and I. K. Febrianti, "ANALISIS SISTEM PROTEKSI ARUS LEBIH PADA PENYULANG CENDANA GARDU INDUK BUNGERAN PALEMBANG," JURNAL AMPERE Volume 4 No 2, pp. 332-344, 2019.
- [3] E. B. Permana, Y. P. Hikmat and Supriyanto, "Studi Proteksi Setting Arus Lebih pada PLTM Mikrogird Girimukti 20 kV Menggunakan Software ETAP 12.6.0," Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar, pp. 440-446, 2021.
- [4] SPLN BUKU 5 STANDAR KONSTRUKSI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH TENAGA LISTRIK, Jakarta Selatan: PT PLN (Persero), 2010.
- [5] N. Malik, Zulhajji and N. Wahidah, "PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP RUGI-RUGI DAYA LISTRIK PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DI PT. PLN (PERSERO) UP3 MAKASSAR UTARA," Jurnal MEDIA ELEKTRIK, vol. Vol. 18, no. 1, pp. 149-59, 2021.
- [6] M. A. Pradana, SIMULASI KOORDINASI PMT OUTGOING DAN RECLOSER PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) AREA SEMARANG PENYULANG KALISARI 07 BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN MONITORING VT SCADA 11.2, 2019.
- [7] M. L. Romadhoni, M. F. Nasution and R. M. Utami, "Penerapan Pola Koordinasi Proteksi Non-Cascade Pada Ocr Incoming Dan Ocr Penyulang Trafo," Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah, vol. 14, no. 1, pp. 119-128, 2022.
- [8] W. H. Prasetya, M. Munir, N. P. U. Putra, N. H. Rohiem and I. Masfufiah, "Analisa Koordinasi Proteksi Over Current Relay pada Gardu Induk Bangil," Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan, pp. 1-8, 2022.
- [9] I. P. C. Adinata, A. G. M. Pamayun and A. I. Weking, "STUDI KOORDINASI SISTEM PENGAMAN PADA TRANSFORMATOR DAYA PT. PLN (PERSERO) P3B SUB REGION BALI DI GARDU INDUK PADANG SAMBIAN," Jurnal SPEKTRUM, vol. 7, no. 1, pp. 161-168, 2020.