



ANALISIS SPAR DAN TPAR TERHADAP KEGAGALAN RELAI *AUTO RECLOSER* PADA SUTT DEPOK-CAWANG 2

Milad Diansyah Ertama ¹, Dian Rusdiyanto ²

^{1,2} Universitas Mercu Buana, Jl. Meruya Selatan, 11650, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Received: June 07, 2024 Revised: September 11, 2024 Available online: Nopember 07, 2024</p>	<p>Relai <i>Auto Recloser</i> atau relai penutup balik bekerja menutup kembali pemutus tenaga/<i>circuit breaker</i> (PMT) ketika terjadi gangguan temporer. Alat ini terpasang pada <i>bay</i> penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Apabila terjadi gangguan temporer, PMT melakukan <i>trip</i> sesaat kemudian dimasukkan balik oleh relai <i>Auto Recloser</i>, sehingga penyaluran energi listrik tetap berjalan. Penelitian ini menganalisis kinerja SUTT Depok-Cawang 2 dalam menghadapi gangguan fasa yang bersifat temporer, karena gangguan yang terjadi dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran energi listrik. Analisis yang digunakan berupa <i>single phase auto reclosing</i> (SPAR) dan <i>three phase auto reclosing</i> (TPAR). Setting pola SPAR dan TPAR dilakukan untuk menguji terjadinya gangguan dan mencari tahu penyebab terjadinya kegagalan kerja <i>Auto Recloser</i>. Pengujian dilakukan terhadap setting pola SPAR berdasarkan metode waktu minimum pemadaman busur api. Hasil pengujian menunjukan besar perhitungan <i>setting</i> 0,3 s merupakan waktu minimum sedangkan waktu de-ionisasi yang sesuai bernilai 0,8 s. <i>Setting</i> waktu TPAR untuk <i>dead time</i> 3 s menunjukkan perbedaan hasil perhitungan dalam waktu minimum pemadaman busur api dan de-ionisasi. Walaupun demikian, dapat disimpulkan bahwa kontak pada relai <i>auto recloser</i> di SUTT Depok-Cawang 2 masih baik sehingga siap untuk dilakukan penerapan <i>setting</i> pada pola SPAR dan TPAR.</p> <p>Kata kunci— Relai <i>Auto Recloser</i>, SPAR, TPAR, SUTT</p>
CORRESPONDENCE	ABSTRACT
<p>E-mail: dian.rusdiyanto@mercubuana.ac.id</p>	<p>The <i>Auto Recloser</i> relay or reverse closing relay works to close the power breaker (PMT) again when a temporary disturbance occurs. This tool is installed in the High Voltage Direct Current (SUTT) or Ultra High Voltage Direct Current (SUTET) conductor <i>bay</i>. If a temporary disturbance occurs, the PMT <i>trips</i> for a moment and then is reinserted by the <i>Auto Recloser</i> relay, so that the distribution of electrical energy continues. This research analyzes the performance of SUTT Depok-Cawang 2 in dealing with temporary phase disturbances, because the disturbances that occur can result in disruption of the distribution of electrical energy. The analysis used is <i>single phase auto reclosing</i> (SPAR) and <i>three phase auto reclosing</i> (TPAR). Setting the SPAR and TPAR patterns is carried out to test the occurrence of interference in addition to finding out the cause of the failure of the <i>Auto Reclose</i> to work. Tests were carried out on the SPAR pattern settings based on the minimum arc extinguishing time method. The test results show that the calculation results for the setting of 0.3 s are the minimum time, while the calculation results for the appropriate de-ionization time are 0.8 s. Setting the TPAR time for a dead time of 3 s shows the difference in calculation results in the minimum time for arc extinguishing and deionization. However, it can be concluded that the contact on the <i>auto reclose</i> relay at SUTT Depok-Cawang 2 is still good so that it is ready to apply settings for both SPAR and TPAR patterns.</p> <p>Keywords— <i>Auto Recloser</i> relay, SPAR, TPAR, SUTT</p>

I. PENDAHULUAN

Gardu Induk (GI) merupakan komponen penting dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju distribusi. Gardu Induk saling terhubung antara satu dan

lainnya guna menyalurkan energi listrik sebelum di transformasikan ke bagian distribusi [1]. Dalam proses penyaluran energi listrik, antar gardu induk dihubungkan melalui penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)/Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), yang mana di dalam proses penyaluran banyak ditemukan

suatu gangguan baik yang bersifat temporer maupun permanen.

Untuk menghindari kerusakan lebih yang diakibatkan oleh gangguan tersebut maka tiap-tiap gardu induk pada *bay* penghantar dipasangkan alat proteksi. Pada *bay* penghantar sekitar 80 %-90 % gangguan bersifat temporer [2], 70% diantaranya disebabkan oleh gangguan *phase-ground* [3] untuk itu dipasang relai *auto recloser* yang bekerja untuk memberi perintah *close* setelah proteksi utama penghantar memberi perintah *trip* [4], maka PMT akan *close* sesuai dengan *setting* waktu *dead time* [5]. Jadi posisi terakhir dari PMT akan *close* bila terjadi gangguan temporer dan *auto recloser* bekerja [6]. Gangguan yang terjadi baik pola SPAR dan TPAR untuk PMT yang mengalami *reclose* hanya fasa yang terganggu hal ini dimaksudkan untuk mencegah hilangnya sinkronisasi antara dua area yang terhubung busbar [7].

Relai proteksi utama adalah relai jarak atau *distance*, dimana impedansi pada saluran besarnya sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu, relai jarak tidak bergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan atau impedansi yang terjadi terhadap relai proteksi [8].

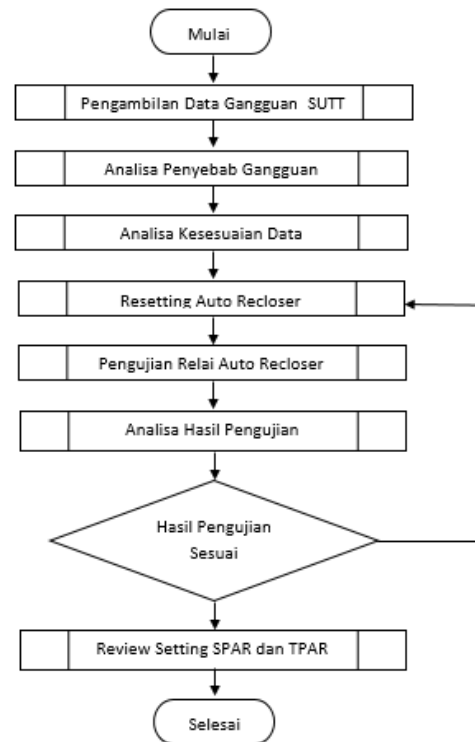
Studi kasus yang diambil berupa kegagalan kerja relai *Auto Recloser* pada *bay* penghantar Cawang 2 di GI Depok 150 kV. *Bay* tersebut telah terjadi gangguan *phase-phase*, yang mana pada saat terjadinya gangguan di SUTT Depok-Cawang 2 seharusnya relai *Auto Recloser* bekerja dan menutup kembali PMT karena gangguan yang bersifat temporer [9]. Akan tetapi, PMT di GI Depok 150 kV *bay* Cawang 2 mengalami kondisi *open* namun karena gangguan *trip* sehingga mengakibatkan penyaluran energi listrik terganggu.

Untuk itu dilakukan analisis gangguan yang terjadi pada *bay* tersebut guna mengantisipasi gangguan yang sama terjadi kembali dan mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan. Penelitian ini fokus pada SPAR dan TPAR dengan menganalisis variabel *dead time* dan *reclaim time*. SPAR adalah pola proteksi *auto recloser* yang bekerja berdasarkan gangguan *phase-ground* bila TPAR yang merupakan pola proteksi yang bekerja berdasarkan gangguan *phase-phase* [10].

Penerapan pola SPAR dan TPAR pada gangguan yang bersifat temporer sangat penting, karena jika *phase* yang tidak mengalami gangguan energi listrik tetap tersalurkan, memungkinkan aliran sekitar 54% dari total energi listrik untuk sirkuit tunggal dan sekitar 75% untuk sirkuit ganda [11].

II. Metode

Penelitian ini fokus terhadap analisis gangguan yang terjadi pada relai *auto recloser* sistem tegangan 150 kV pada *bay* Cawang 2 di Gardu Induk (GI) Depok. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 yang dimulai dari pengambilan data gangguan SUTT sampai pada tahap hasil pengujian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

A. Pengambilan Data

Data gangguan SUTT Depok-Cawang 2 yang dijadikan acuan dalam tahapan analisis berupa file *disturbance fault record* (DFR) dan *event* relai, kedua file tersebut diunduh dari relai *distance* sebagai relai utama, pada file DFR menampilkan gelombang sinusoida arus dan tegangan pada saat terjadinya gangguan yang dijadikan acuan untuk menentukan jenis gangguan yang terjadi. Untuk *event* relai berisi tahapan-tahapan relai *distance*, serta terdapat *binary input/output* yang bekerja pada saat gangguan. *Binary input* merupakan masukan agar relai *distance* bekerja, *binary output* merupakan keluaran perintah dari relai *distance*.

B. Pengolahan Data

Dari file DFR dan *event* relai *distance* dapat menentukan penyebab gangguan pada SUTT Depok-Cawang 2. Secara teknis dapat melihat gelombang sinusoida yang ada pada file DFR dimana gelombang sinusoida berisikan arus dan tegangan pada saat terjadinya gangguan.

Setelah penyebab gangguan pada SUTT Depok-Cawang 2 ditemukan, hal yang dilakukan adalah menentukan kerja dari relai *distance* apakah sudah sesuai dengan *binary input* dan *output* pada *event* relai. Jika relai *distance* yang merupakan relai utama menginisiasi relai *auto reclose* tidak dapat bekerja maka ada kesalahan kerja relai *auto recloser*. Untuk itu perlu dilakukan *resetting*.

C. Resetting Auto Recloser

Pada tahap ini, dilakukan penyesuaian karakteristik pola *setting* relai *auto recloser* berdasarkan *manual book*. Pola *setting auto recloser* ada 2 yaitu SPAR bila terjadi gangguan *phase-ground* dan TPAR bila terjadi gangguan *phase-phase*. Kemudian untuk *setting dead time* dan *reclaim time* pada

auto recloser dilakukan penyesuaian standar PLN untuk sistem tegangan 150 kV pada penerapan *setting dead time* dan *reclaim time* baik SPAR dan TPAR.

D. Teknis Pengujian

Pengujian dilakukan sesuai buku pedoman pemeliharaan relai *auto recloser* yang sudah ditetapkan. Untuk pengujian menggunakan alat uji injeksi sekunder merk Omicron CMC 356. Alat uji ini mengeluarkan arus dan tegangan yang digunakan sebagai *input* relai *distance* untuk melakukan pengukuran impedansi. Pengujian dilakukan melalui relai *distance* karena sebagai relai utama memberikan *initiate* kepada *auto recloser* untuk bekerja dan relai *auto recloser* tidak terdapat *input* arus dan tegangan.

Dari hasil pengujian yang didapat, kemudian dilakukan analisis apakah hasil yang didapatkan sesuai *setting* yang diterapkan pada *auto recloser*, dari waktu *dead time* dan *reclaim time*. Selain itu simulasi gangguan baik *phase-ground* atau *phase-phase* sesuai pola *setting* SPAR dan TPAR apakah kerja *auto recloser* sesuai yaitu dapat memberikan *initiate* PMT untuk *open close* bila gangguan temporer.

E. Review Setting SPAR dan TPAR

Langkah selanjutnya, bila kondisi relai berdasarkan pengujian kondisinya baik, maka dilanjutkan *review setting* apakah untuk *setting* SPAR dan TPAR relai *auto recloser* yang terpasang telah sesuai dengan perhitungan. Pada penelitian ini terdapat 2 macam perhitungan, yaitu dengan metode perhitungan pemadaman busur api dan waktu de-ionisasi.

Sebagai referensi waktu pemadaman busur api minimum ditunjukkan pada [12], dimana pada sistem yang terpasang memiliki frekuensi 50 Hz. Untuk itu penerapan *cycle* berdasarkan [13] bernilai 34,5 yang dapat ditentukan dengan persamaan (1) dan nilai dapat dilihat pada Tabel 1.

$$T_{min} = 10,5 + V/34,5 \text{ cycles} \tag{1}$$

Tabel 1. Referensi waktu pemadaman busur api PMT

Tegangan Sistem (kV)	Waktu (detik)
66	0,25
150	0,30
275	0,37
500	0,5

Metode de-ionisasi menentukan *setting dead time* berdasarkan de-ionisasi data PMT dan karakteristik sistem yang digunakan, dimana:

- Waktu buka PMT (*Trip coil energised* → *Arc interruption*)
- Buka PMT + *Reset time* (*Trip coil energised* → *Trip mechanism reset*)
- Waktu *reset* proteksi
- Waktu tutup PMT (*Close command* → *Contacts make*)

Setting dead time minimum = (Waktu buka PMT) + (Waktu *Reset* Proteksi)

Setting dead time dengan De-Ionisasi Udara = (Waktu Buka PMT) + (Waktu De-ionisasi udara) - (Waktu tutup PMT).

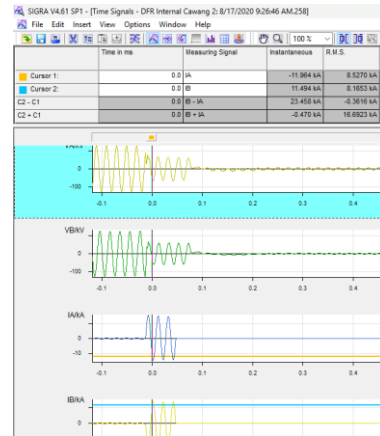
Sedangkan penentuan waktu *reclaim time* berdasarkan standarisasi PLN [14]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Relai *auto recloser* yang bekerja berulang kali memiliki kemungkinan terjadi kegagalan kerja yang disebabkan oleh *internal* relai. Untuk memastikan kerja relai *auto recloser* berfungsi dengan baik, perlu dilakukan pengujian fungsi relai. Pada penelitian ini dilakukan analisis *setting dead time* dan *reclaim time* pada pola SPAR dan TPAR khususnya gangguan yang terjadi pada SUTT Depok-Cawang 2.

A. Analisis Disturbance Record dan Event Relai Distance

Dalam tahapan analisis relai terkait gangguan yang terjadi diperlukan file *Disturbance record* (rekaman gangguan) dan *event* relai yang terdapat pada internal relai maupun DFR *eksternal* pada bay Cawang 2.



Gambar 2. Disturbance record relay distance

Dari file *disturbance record* Gambar 2 dapat dilihat terjadi kenaikan arus yang signifikan. Arus dengan fasa R memiliki gangguan sebesar 9.88 kA sedangkan pada fasa S bernilai 9.36 kA dari arus beban normal 250 A. Selain itu terjadi penurunan tegangan di fasa R sebesar 42,80 kV dan fasa S sebesar 42,23 kV dari tegangan normal *phase-ground* 86 kV. Berdasarkan karakteristik dari pembacaan *disturbance record* terjadi *drop* tegangan dan diikuti kenaikan arus gangguan.

A Output R1	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.477005	002
A Output R2	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.477005	002
A Output R3	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.477005	002
A Output R4	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.438155	002
N kontak ui	N	N	09:26:46.460742	09:26:46.510782	004
A Output R6	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.478256	002
A Output R7	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.438155	002
A Output R9	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.477005	002
A Output R10	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.477005	002
A Output R11	N	N	09:26:46.376428	09:26:46.477005	002
N Input L3	N	N	09:26:46.459491	09:26:46.509531	004
N Input L6	N	A	09:26:46.438155		001
N Input L7	N	A	09:26:46.435229		001
N Input L8	N	A	09:26:46.435229		001

Gambar 3. Event Relai Auto Recloser Bay Cawang 2

Pada event relai Gambar 3 ditampilkan *Binary Input* (BI) dan *Binary Output* (BO) yang muncul pada saat relai bekerja. Hal ini terjadi karena adanya gangguan event relai *distance bay* Cawang 2 menampilkan BO R1, R2, R3, R4, R6, R7, R9, R10, dan R11. Kemudian untuk BI yang muncul L3, L6, L7, dan L8. BI dan BO memiliki fungsi yang berbeda, dimana BI merupakan *input* untuk memerintahkan relai untuk bekerja, sedangkan BO merupakan keluaran perintah dari relai pada saat bekerja [15].

Dalam event relai menampilkan L3, L6, L7, dan L8, masing-masing BI memiliki fungsi yang berbeda. Seperti L3 merupakan BI yang ditujukan untuk menampilkan LED pada relai dan mengerjakan BO untuk fasilitas pengujian. Sedangkan L6, L7, dan L8 berfungsi memberikan perintah *trip* fasa R, S, dan T ke relai dan menampilkan LED pada relai ketika relai yang bekerja memiliki gangguan.

Event relai *distance* muncul jika BO memiliki nomor R1, R2, R3, R4, R6, R7, R9, R10, dan R11. Untuk R1, R2, dan R3 memiliki fungsi memberikan perintah *trip* ke PMT karena gangguan *distance zone* 1 fasa R, S, dan T atau menerima sinyal *trip* dari GI lawan. Sedangkan R4 dan R7 masing-masing memberikan perintah *trip* PMT gangguan *distance zone* 1 dan *initiate* relai *auto recloser*. Kemudian R6 memberi perintah *trip* berdasarkan gangguan yang terjadi pada *internal* relai. Bila melihat BO dari relai *distance*, bahwa relai *distance* sebagai pengaman utama telah memberi inisiate terhadap relai *auto recloser*, dan bila gangguan temporer maka *auto recloser* seharusnya dapat bekerja. Akan tetapi pada *bay* Cawang 2 terjadi gangguan fasa R dan S yang bersifat temporer untuk relai *auto recloser* gagal bekerja sehingga menyebabkan proses penyaluran tenaga listrik tidak tersalurkan.

B. Resetting Relay Auto Recloser

Jika terjadi kegagalan relai *auto recloser* pada *bay* Cawang 2, maka perlu melakukan *resetting* melalui pencocokan terhadap *manual book* relai, agar memastikan fungsi dari pola SPAR dan TPAR pada relai *Auto Recloser* bekerja sesuai dengan *setting*.

Berdasarkan Gambar 4, *manual book* dengan *setting* relai *auto recloser* yang terpasang memiliki perbedaan. Pada *manual book*, pola *single/three phase auto recloser* untuk *set function link* nomor 1, 2, dan 3 posisi 1 yang menandakan fungsi ON. Jika pada relai untuk pola yang sama hanya nomor 1 dan 2 yang berposisi 1 atau ON. Bila mengacu pada *manual book*, hanya nomor 1 dan 2 yang berposisi 1. Hal ini menandakan hanya fungsi pola *single phase Auto Recloser* yang aktif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pola proteksi yang terpasang pada relai *auto recloser* hanya pola *single phase auto recloser* yang berarti bila terjadi gangguan *phase-phase* relai *auto recloser* tidak dapat bekerja walau telah mendapat perintah dari relai utama. Hal ini disebabkan karena *setting pola three phase auto recloser* tidak digunakan. Kemudian dilakukan *setting set function link* sesuai buku panduan.

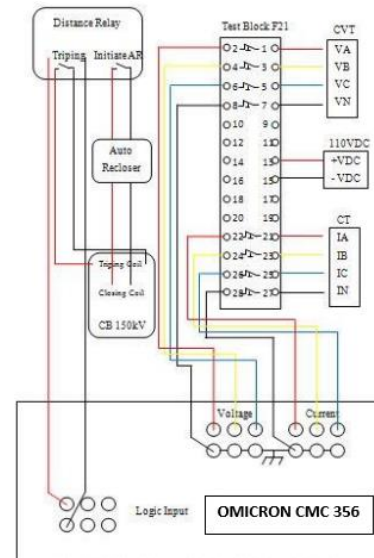
Tabel 2. *Setting Auto Reclose* pola SPAR dan TPAR (sumber: *manual book* relai AR LFAA101)

AR Program	Fault type,	Fault type for	Fault type for 3Ph	Set Function Link (1=ON 0=OFF)

	for 1 ph AR	3Ph High speed AR	Delayed AR	1	2	3	4	5	6
Single phase Auto Reclose	Single phase only	-	-	1	1	0	0	0	0
Three phase Auto Reclose type A	-	Single phase only	-	1	0	0	1	0	0
Three phase Auto Reclose type B	-	Any Fault	-	1	0	1	1	0	0
Three phase Auto Reclose type C	-	Single phase only	Multi-phase	1	0	0	1	0	1
Single/Three phase Auto Reclose	Single phase only	Multi-phase	-	1	1	1	0	0	0

C. Pengujian Relai Auto Recloser

Proses *resetting* dilakukan sesuai fungsi yang telah ditentukan dengan pola 1/3 AR (*Single/Three Phase Auto Recloser*), Pengujian individu relai *auto recloser* dilakukan untuk mengetahui kinerja dan karakteristik pada relai *auto recloser*. Pengujian ini diantaranya adalah SPAR (*Single Phase Auto Recloser*) dan TPAR (*Three Phase Auto Recloser*).



Gambar 4. Wiring Diagram Alat Uji dan Relai Distance

Pengujian SPAR (*Single Phase Auto Recloser*) dilakukan dengan mensimulasikan arus gangguan *phase-ground* terhadap *auto recloser*. Sehingga hanya satu pole PMT phase terganggu yang *reclose* bila terjadi gangguan temporer. Sedangkan Pengujian TPAR dilakukan dengan mensimulasikan arus gangguan *phase-phase* terhadap relai *auto recloser* sehingga PMT *reclose* bila terjadi gangguan temporer. Kemudian bila terjadi gangguan di ketiga fasa maka relai *auto recloser* berposisi posisi *block* sehingga tidak bekerja dan PMT posisi akhir akan *trip/open*. Pengujian dilakukan dengan menginjeksi relai pengaman utama yaitu relai *distance*. Berikut pada Gambar 5

menampilkan *wiring diagram* alat uji terhadap relai *distance* dan relai *auto recloser*.

Tahapan-Tahapan Pengujian relai *auto recloser*:

1. Mempersiapkan alat uji dan kabel injeksi.
2. Hubungkan kabel *grounding* dari alat uji ke *grounding*.
3. Lalu hubungkan supply AC 220 ke alat uji dan nyalakan alat uji.
4. Pasang *test plug* ke test blok lalu hubungkan probe bagian tegangan fasa RSTN alat uji ke *test plug* F21 no berurutan no 2, 4, 6, 8.
5. Kemudian probe bagian arus fasa RSTN alat uji ke *test plug* F21 no 22, 24, 26, 28
6. Untuk *probe logic input* pada alat uji di hubungkan ke *test plug* no 10 dan 12. Bila semua telah terpasang maka wiring diagramnya akan seperti pada Gambar 5
7. Setelah semua terpasang hubungkan alat uji dengan laptop, karena pengoperasian alat uji menggunakan laptop
8. Kemudian buka aplikasi omicron CMC 356
9. Bila tahapan-tahapan persiapan telah dilakukan maka selanjutnya dilakukan pengujian. Macam-macam pengujian untuk pola SPAR dan TPAR relai *auto recloser* dilakukan sesuai dengan yang ditampilkan pada Tabel 3 untuk pola SPAR dan Tabel 4 untuk pola TPAR.

Tabel 3.Simulasi pengujian SPAR relai *Auto Recloser*

Proteksi	Simulasi	AR
Zone 1 phase – <i>netral</i>	Injeksi sekunder phase R/S/T	ON
Zone 2 phase - <i>netral + receive</i>	Injeksi sekunder phase R/S/T	ON
Zone 1 phase – <i>phase</i>	Injeksi sekunder phase R/S/T	OFF

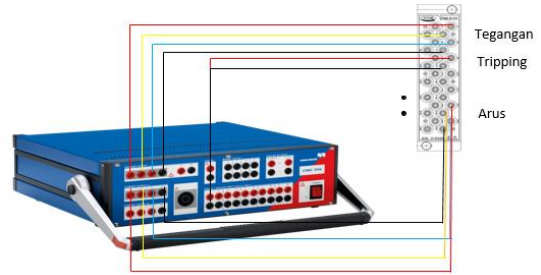
Tabel 4.Simulasi pengujian TPAR relai *Auto Recloser*

Proteksi	Simulasi	AR
Zone 1 phase – <i>phase</i>	Injeksi sekunder phase R-S	ON
Zone 1 phase – <i>phase</i>	Injeksi sekunder phase R-T	ON
Zone 1 phase – <i>phase</i>	Injeksi sekunder phase S-T	ON
Zone 2 phase – <i>phase + receive</i>	Injeksi sekunder phase R-S	ON
Zone 1 phase – <i>phase</i>	Injeksi sekunder phase R-S-T	OFF

10. Setelah pengujian telah dilakukan maka di dapatkan hasil pengujian relai *auto recloser* baik nilai waktu *dead time* dan fungsi relai *auto recloser*. Pada Tabel 5 menampilkan perbandingan antara *setting* nilai *dead time* dengan nilai *dead time* berdasarkan pengujian yang dilakukan.

Tabel 5. Perbandingan hasil antara *setting* dan pengujian

Pola proteksi <i>Auto Recloser</i>	Setting	Pengujian
SPAR	0,8 s	0,81 s
TPAR	3 s	3,1 s



Gambar 5. Rangkaian alat uji ke *test plug*

D. Perhitungan *Dead Time* SPAR dan TPAR Berdasarkan Waktu Minimum Pemadaman Busur Api

Setelah dilakukan *resetting* dan pengujian pada relai *auto recloser* dilanjut *review setting* untuk menentukan *dead time* dan *reclaim time* untuk pola SPAR dan TPAR. *Dead time* adalah waktu tunda untuk memberikan perintah penutupan kembali (*recloser*) pada PMT sejak relai proteksi memberikan perintah pemutusan dan *reclaim time* merupakan waktu untuk memberikan kesiapan PMT untuk melakukan *open-close-open* (o-c-o) berikutnya. perhitungan dilakukan berdasarkan waktu minimum pemadaman busur api.

Berikut merupakan perhitungan *setting dead time* SPAR menggunakan persamaan (1).

$$T_{min} = 10.5 + 150 / 34.5 \text{ cycle}$$

$$T_{min} = 10.5 + 4.35 \text{ cycle } T_{min} = 14.85 \text{ cycle}$$

$$T_{min} = 14.85 / 50 \text{ detik}$$

$$T_{min} = 0.29 \text{ detik } \approx 0.3 \text{ detik}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *setting dead time* untuk pola TPAR

$$T_{min} = 10.5 + V/34.5 + T_{sync} + T_{sl} + T_{min3ph} \quad (2)$$

$$T_{min} = 10.5 + V/34.5 + T_{sync} + T_{sl} + T_{min3ph}$$

$$T_{min} = 10.5 + V / 34.5 \text{ cycle} + 0.5 + 1 + 2$$

$$T_{min} = 10.5 + 150 / 34.5 \text{ cycle} + 3.5$$

$$T_{min} = 10.5 + 4.35 \text{ cycle} + 3.5$$

$$T_{min} = 14.85 \text{ cycle} + 3.5$$

$$T_{min} = 14.85 / 50 \text{ detik} + 3.5$$

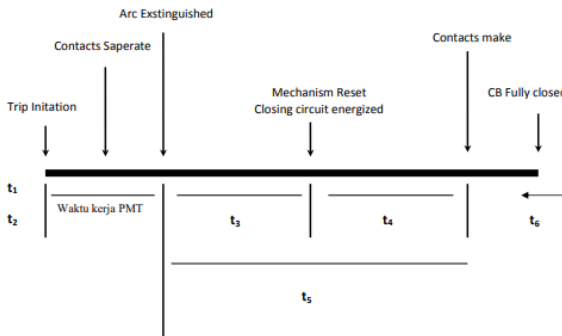
$$T_{min} = 3.79 \text{ detik } \approx 4 \text{ detik}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus perhitungan waktu minimum pemadaman busur api PMT 150 kV didapatkan hasil untuk *setting dead time* pola SPAR minimum 0,3 detik dan untuk *setting dead time* pola TPAR minimum 4 detik. Selanjutnya untuk *setting reclaim time* bernilai sama yaitu 40 detik untuk pola SPAR dan TPAR.

E. Perhitungan *Dead time* SPAR dan TPAR Berdasarkan Waktu De-ionisasi Udara

Tabel 6. Data waktu *trip* PMT (Sumber: Areva)

Waktu (t)	Oil 11kV	Vacuum 15 kV	Oil 132 kV	Air 380 kV	SF6 132 kV	SF6 380 kV
t1	0,06	0,038	0,03	0,035	0,04	0,02
t2	0,1	0,53	0,06	0,045	0,07	0,05
t3	0,08	0,023	0,2	0,235	0,03	0,01
t4	0,16	0,048	0,35	0,065	0,08	0,06
t5	0,34	0,28	0,55	0,3	0,11	0,07
t6	0,02	0,07	0,01	0,02	0,12	0,04



Gambar 6. Diagram waktu operasi *trip close* PMT (Supri, Ilham, 2017)

Gambar 6 menampilkan waktu operasi *trip close* PMT berdasarkan jenis pemadam busur api dan *rating* tegangan, pada PMT yang terpasang pada GI Depok 150 kV adalah PMT yang menggunakan SF6 sebagai pemadam busur api dan memiliki *rating* tegangan 150 kV, untuk itu kita mengambil data waktu pada kolom SF6 380 kV.

Perhitungan *dead time* pada pola SPAR metode de-ionisasi berdasarkan data-data mekanik PMT:

- Waktu *open* PMT

Waktu *operating open* PMT = *Trip initiation* → *Contacts saperate* → *Arc Extinguished* → *Mechanism reset*.

$$\text{Waktu } operating \text{ open PMT} = t_1 + t_2 + t_3 \quad (3)$$

$$\text{Waktu } operating \text{ open PMT} = 0,02 + 0,05 + 0,01$$

$$\text{Waktu } operating \text{ open PMT} = 0,08 \text{ s}$$

$$\text{Waktu } operating \text{ open PMT} = \mathbf{80 \text{ ms}}$$

Data di atas merupakan perhitungan waktu buka PMT berdasarkan data PMT sebagai perbandingan untuk hasil pengujian untuk waktu *open* PMT bay Cawang 2 di GI Depok adalah 52,99

- Waktu *setting reset* relai proteksi sebesar 100 ms

- Waktu *close* PMT

Waktu *operating close* PMT = *close command* + *contact full close*

$$\text{Waktu } operating \text{ close PMT} = t_4 + t_6$$

$$\text{Waktu } operating \text{ close PMT} = 0,06 \text{ s} + 0,04 \text{ s}$$

$$\text{Waktu } operating \text{ close PMT} = \mathbf{0,1 \text{ s (100 ms)}}$$

Sebagai perbandingan untuk hasil pengujian PMT dalam rangka pemeliharaan rutin 2 tahunan bay cawang 2 didapatkan hasil pengujian *closing* PMT sebesar 98,30

- Waktu minimum pemadaman busur api PMT

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan untuk waktu minimum pemadaman busur api PMT 150 kV adalah **0,3 s (300ms)**.

- Menentukan *setting dead time* minimum

Perhitungan dilakukan berdasarkan waktu kontak PMT *open* dan waktu reset relai proteksi utama, maka didapatkan: *Setting dead time* min = (Waktu *open* PMT) + (Waktu *setting reset* relai proteksi)

$$\text{Setting } dead \text{ time min} = 80 \text{ ms} + 100 \text{ ms}$$

$$\text{Setting } dead \text{ time min} = \mathbf{180 \text{ ms}}$$

- *Setting dead time* berdasarkan metode de-ionisasi

Setting dead time = (Waktu *open* PMT) + (Waktu minimum pemadaman busur api) - (Waktu *close* PMT)

$$\text{Setting } dead \text{ time} = 80 \text{ ms} + 300 \text{ ms} - 100 \text{ ms}$$

$$\text{Setting } dead \text{ time} = \mathbf{280 \text{ ms (0,28 s)}}$$

Hasil perhitungan *setting dead time* berdasarkan metode de-ionisasi didapatkan hasil 0,28 s untuk waktu *dead time* **0,28 s**, sesuai standar untuk margin *setting dead time* pola SPAR antara 0,5s - 1 s, maka:

$$0,5 \text{ s} + 0,28 \text{ s} = 0,78 \text{ s}$$

$$0,28 \text{ s} + 1 \text{ s} = 1,28 \text{ s}$$

Jadi disimpulkan bahwa *setting dead time* pola SPAR yang akan diterapkan berkisar antara **0,78 s – 1,28 s**.

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk *setting dead time* pola TPAR berdasarkan metode de-ionisasi berdasarkan data teknik PMT.

Setting dead time = (Waktu *open* PMT) + (Waktu minimum pemadaman busur api) - (Waktu *close* PMT)

$$\text{Setting } dead \text{ time} = 80 \text{ ms} + 4000 \text{ ms} - 100 \text{ ms}$$

$$\text{Setting } dead \text{ time} = 3,8 \text{ s}$$

Jadi, untuk *setting dead time* untuk pola TPAR berdasarkan hasil perhitungan metode de-ionisasi didapatkan hasil 3,8 s.

F. Analisis Setting terhadap Hasil Pengujian dan Review Perhitungan Setting

Berdasarkan tabel 5m hasil *setting* dan hasil pengujian hampir mendekati dengan selisih 0,01 sehingga mengindikasikan bahwa kontak relai *auto recloser* masih bekerja dengan baik. Jadi kesiapan relai *auto recloser* terpenuhi bila nantinya terdapat gangguan maka relai *auto recloser* akan bekerja sesuai *setting* yang di tetapkan.

Kemudian, perbandingan *setting* terhadap waktu minimum pemadaman busur api, dapat dilihat bahwa waktu *setting* relai *auto recloser* berada jauh diatas terhadap perhitungan *setting*. Hasil perhitungan *setting* 0,3 merupakan waktu minimum sehingga waktu untuk *setting* SPAR dapat di *setting* diatas waktu 0,3 s. Kemudian untuk waktu *setting* SPAR mendekati dengan hasil perhitungan waktu de-ionisasi dan masih ke dalam *range setting* yang menjadi standar antara 0,5 s – 1 s sehingga *setting* yang ditetapkan sudah sesuai 0,8.

Selanjutnya mengenai *setting* waktu TPAR untuk *dead time* 3 s, perbandingan dengan *review* perhitungan waktu minimum pemadaman busur api dan de ionisasi cukuplah jauh. Lebih lagi terhadap waktu minimum pemadaman busur api. Pada saat dilakukan investigasi tidak ada perubahan *setting* karena mengingat waktu yang terbatas karena memerlukan pemadaman pada saat investigasi.

Dalam penerapan pola *setting* SPAR dan TPAR (1/3 AR) harus memenuhi beberapa karakteristik. Untuk kasus pada bay Cawang 2 di GI Depok sudah memenuhi beberapa karakteristik dalam penerapannya, antara lain :

1. Untuk PMT *Bay Cawang 2* memiliki penggerak mekanik di masing-masing *phase* atau *single pole*, sehingga bila terjadi gangguan *phase-phase* dapat *reclose* di kedua *phase* yang terganggu
2. Untuk posisi GI Depok berada di dekat IBT (interbus trafo) yang merupakan sumber tenaga listrik.
3. Untuk pola SPAR sudah sesuai karena sudah lebih besar dari *operating time* PMT, waktu *reset* mekanik PMT, dan waktu pemadaman busur api dan waktu deionisasi udara.
4. *Setting* waktu *dead time* SPAR sudah berada diatas nilai *setting* GFR

Tabel 7. Perbandingan hasil *setting* dan pengujian

Pola proteksi	<i>Setting</i>	Pengujian	Waktu pemadaman busur api	min	De-ionisasi
SPAR	0,8 s	0,81 s	0,3 s		0,78 s
TPAR	3 s	3,1 s	4 s		3,8 s

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis *setting dead time* pola SPAR dan TPAR yang dilakukan berdasarkan kegagalan kerja relai *Auto Recloser bay Cawang 2* GI Depok 150 kV, didapatkan beberapa kesimpulan. Berdasarkan hasil pengujian disimpulkan bahwa kontak pada relai *auto reclose* masih baik sehingga siap untuk dilakukan penerapan *setting* baik pola SPAR dan TPAR. Berdasarkan *setting* yang telah diterapkan sebelumnya, pada pola TPAR untuk waktu *dead timenya* dibawah hasil perhitungan baik waktu minimum pemadaman busur api maupun waktu de ionisasi. Pada *bay Cawang 2* perlu diterapkan pola TPAR karena pada rekaman relai *auto recloser* banyak terdapat gangguan *phase-phase* yang bersifat temporer.

REFERENSI

- [1] Erhaneli, Afriliani. *Analisis Pengaruh Perilaku Petir Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 Kv Menggunakan Metode Burgsdorf*. Jurnal Teknik Elektro Itp, Vol. 7, No. 1, Januari 2018.
- [2] P.Basu, Kartik. Moleykutty George. *Maintaining balanced three-phase load voltage during single-phase auto-reclosing in medium voltage distribution lines*. IET Generation, Transmission & Distribution. Vol. 8, Issue 5, 2014.
- [3] Prasetyo, Eko et all. *Impact of Auto-Reclosing on Transmission to Dynamic Response of PSS Equipped Generator in Cirebon all*. IEEE Xplore. 2020.
- [4] Akmal Ali. Ketut Abimanyu. *Studi Pengaturan Relay Arus Lebih dan Relay Hubung Tanah Penyulang Timor 4 pada Gardu Induk*. Jurnal Infotronik Volume 2, No. 1, Juni 2017. H. M. Deitel, P. J. Deitel, "Strings and characters," in *Java How To Program*, 4th Ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002, ch. 10, sec. 5, pp. 542 – 547.
- [5] Tarid, Yenni et all. *Effect of Three Pole Auto-Reclose to Power System Transient Stability (Case Study: Jawa Timur and Bali System)*. IEEE. 2018.
- [6] Goeritno Arief. Syofyan Rasiman., dan Zaky Komara. *Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF6 Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri*. Jurnal EECCIS Vol. 12, No. 2, Oktober 2018.
- [7] Dias, Ozenir. Maria Cristina Tavares. *Comparison between traditional single-phase auto reclosing and adaptive technique based on harmonic content measurement*. IET Generation. Vol. 11, Issue 4, 2016.
- [8] Wahyuningsih, Risca Arie. Supriyatna., dan Agung Budi Muljono. *Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt) 150 Kv Sistem Kelistrikan Lombok*. Dielektrika, Vol. 7, No.1: 15-24, Februari 2020.
- [9] M.Jannati et all. *A Novel Approach To Adaptive Single Phase Auto-Reclosing Scheme For EHV*. Transmission Lines International Journal of Electrical Power & Energy Systems. Vol. 33, Issue 3, 2011.
- [10] Panasetsky, Daniil A. Alexey B. Osak. *On the Problem of Shunt Reactor Tripping during Single- and Three-Phase Auto-Reclosing*. IEEE Eindhoven Powertech. 2015.
- [11] Dias, Ozenir. Maria Cristina Tavares. *Single-Phase Auto-Reclosing Mitigation Procedure For Half-Wavelength Transmission Line*. IET Generation. Vol. 11, Issue 17, 2017.
- [12] Lazim, Mohammed T et all. *Harmonics generation Due to Multi-Cycle Auto Reclosing on HV Transmission Lines*. IEEE Journal. 2019.
- [13] Ahn, Sang-Pil et all. *An Alternative Approach to Adaptive Single Pole Auto-Reclosing in High Voltage Transmission Systems Based on Variabledead time Control*. IEEE Transactions On Power Delivery. Vol. 16, No. 4, October 2001.
- [14] Saputra, Muh. Ilham. (2017) *Analisis Auto Reclose Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt) Di Pt.Pln (Persero) Unit Transmisi Dan Gardu Induk Panakkukang*. Universitas Muhammadiyah Makassar. Makassar.
- [15] Paul, Devaprasad et all. *Modelling of Logic Circuit for Enabling High Speed Auto Reclosure of High Voltage System*. IEEE. 2018