

KOORDINASI OVER CURRENT RELAY (OCR) BERBASIS ALGORITMA FIREFLY DI PT DAYASA ARIA PRIMA GRESIK

Mohamad Khoirul Huda^{1*}, Deny Irawan², Rini Puji Astutik³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik

¹Jln. Sumatera, Randuagung, Kec.Kebomas, Kab.Gresik, Jawa Timur 61121, Indonesia

email: ¹khoirulh858@gmail.com, ²den2mas@gmail.com, ³astutik_rpa@umg.ac.id

Abstract — PT. Dayasa Aria Priama is a paper mill subsidiary of PT. Fajar Surya Wisesa Tbk. which is located in Driyorejo District, Gresik Regency. In the production activities of PT. Dayasa Aria Prima has a source of electricity that comes from PLN and Gas Turbine. In the distribution of electric power, a safety system is needed in the event of a disturbance, one of the disturbances that occurs is overcurrent. Overcurrent protection uses overcurrent protection relays, at PT Dayasa Aria Prima in coordinating overcurrent protection relays using conventional methods. This research will show the results of coordination using conventional methods with coordination using the Firefly method.

Abstrak — PT. Dayasa Aria Priama merupakan pabrik kertas anak cabang perusahaan PT. Fajar Surya Wisesa Tbk. yang berada di Kecamatan Driyorejo Kabupaten Gresik. Dalam kegiatan produksi PT. Dayasa Aria Prima memiliki sumber tenaga listrik yang berasal dari PLN dan Gas Turbin. Dalam pendistribusian tenaga listrik diperlukan sistem pengamanan apabila terjadi gangguan, salah satu gangguan yang terjadi adalah arus lebih. Pengaman arus lebih menggunakan relai protection arus lebih, di PT Dayasa Aria Prima dalam koordinasi relay protection arus lebih menggunakan metode konvensional. Dalam penelitian ini akan menampilkan hasil koordinasi menggunakan metode konvensional dengan koordinasi menggunakan metode Firefly.

Kata Kunci – Koordinasi Relay Protection, Algoritma Firefly, Over Current Relay, ETAP 12.6

I.PENDAHULUAN

Sumber tenaga listrik merupakan bagian penting dalam dunia industri, tidak lain PT. Dayasa Aria Prima merupakan pabrik kertas. Saat ini PT Dayasa Aria Prima mempunyai 2 sumber tenaga listrik yang berasal dari PLN dan Gas turbin. Sumber tenaga listrik di PT Dayasa Aria Prima tersebut terbagi dalam dua type yaitu 11,5 kV dan 6 kV yang masuk kategori tegangan menengah kemudian diturunkan menggunakan travo step-down menjadi 380 V sebagai sumber tenaga listrik pada unit-unit produksi.

Selain kehandalan dari dua sumber listrik tersebut, Sistem proteksi dalam pengoperasian tenaga listrik berfungsi secara kolektif baik untuk melakukan pengamanan pada peralatan tertentu maupun untuk menghindari sistem dari kemungkinan terjadinya pemadaman listrik akibat gangguan[1].

Jenis gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik sangat bervariasi, salah satu gangguan yang biasanya terjadi adalah gangguan arus berlebih, maka diperlukan sistem koordinasi proteksi yang tepat dengan menampilkan kurva karakteristik

rele arus lebih yang didapat dari perbandingan hasil koordinasi secara konvensional dengan metode firefly. Dari analisis koordinasi proteksi dapat diketahui settingan koordinasi rele yang tepat untuk mengamankan system kelistrikan di PT. Dayasa Aria Prima sehingga keandalan dan keamanan dalam suplai daya tetap terjaga secara optimal.

*) **penulis korespondensi:** Mohamad Khoirul Huda

Email: khoirulh858@gmail.com

II.PENELITIAN YANG TERKAIT

A. Gangguan Pada Sistem Tenaga

Pada Sistem Tenaga Listrik merupakan kondisi tidak normal yang terjadi pada sistem kelistrikan. Pada kondisi tidak normal, suplai listrik berasal dari sumber dan menuju ke beban jika terjadi sebuah gangguan maka akan terdapat arus yang mengalir ke titik gangguan yang menyebabkan arus total pada titik tersebut sangat besar sehingga kontinuitas suplai ke beban terganggu.[2]. Gangguan arus lebih dapat dibedakan menjadi dua[3], yaitu akibat beban lebih yang diproteksi oleh Arus Lebih Waktu (ANSI:51) dan Arus Lebih Sesaat (ANSI:50). Untuk perhitungan pengaturan aliran pickup rele terbalik (ANSI:51) dapat menggunakan Standar IEC:

$$1,05xFLA < Iset < 1,4xFLA \quad (1)$$

FLA merupakan arus beban nominal dan merupakan nilai arus untuk pickup[4]. Dalam menentukan pemilihan dan kemiringan kurva untuk menemukan apa yang kita butuhkan dari koordinasi proteksi dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$t_{op} = TDS \times \frac{k}{\left(\left(\frac{I_{sc \max}}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)^{\frac{1}{\beta}}} \quad (2)$$

Top merupakan waktu operasi relay, TDS adalah Pengaturan Time Dial, $I_{sc \max}$ adalah arus maksimum 3 fasa pada keadaan hubung singkat. Persamaan (2) juga menggunakan beberapa koefisien[5].

Tabel 1

Kurva Koefisien Invers Relay Standar IEC

Tipe Kurva	k	α	β
Invers waktu yang lama	120	1	13,33
Standar Invers	0,14	0,02	2,97
Sangat terbalik	13,5	1	1,5
Sangat Terbalik	80	2	0,808

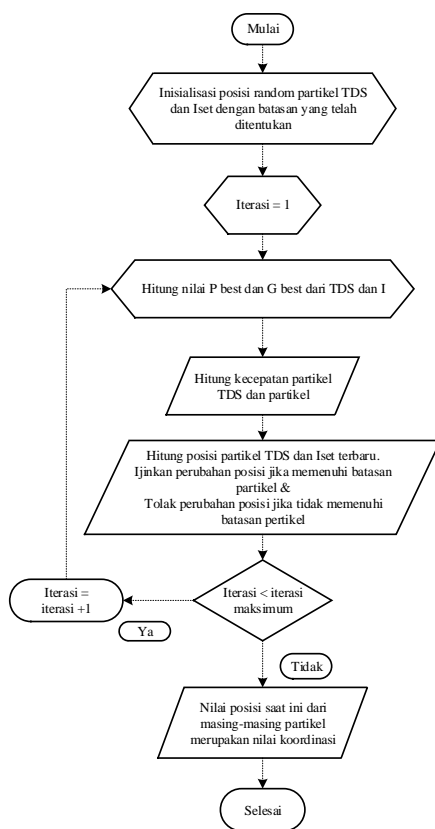
Untuk manfaat proteksi peralatan terhadap arus hubung singkat, perhitungan pengaturan aliran pickup rele sesaat (ANSI: 50) dapat menggunakan Standar IEC:

$$1.6xFLA < Iset < 0.8xIsc \text{ min} \quad (3)$$

$Isc \text{ min}$ = adalah arus hubung singkat 2 fasa yang dirasakan oleh relai[6].

B. Algoritma Firefly

Algoritma Firefly adalah metode perhitungan yang terinspirasi dari serangga kunang-kunang dimana pola prilakunya di implementasikan ke dalam metode firefly. Algoritma Firefly ini dikembangkan seseorang bernama Xin-She Yang di Universitas Cambridge sekitar tahun 2007. Pada tahap ini akan dijelaskan koordinasi rele pengaman arus lebih menggunakan metode Firefly (FA)[7].



Gambar. 1 Flow chart koordinasi rele dengan metode FA

- Langkah pertama yaitu mengambil nilai IFLA, $isc \text{ max}$ rele primare dan relle backup, dan CT rasio.
- Langkah kedua Tujuan pada fungsi (f) adalah meminimalkan waktu total operasi dari semua relay proteksi arus lebih dalam sistem sehubungan dengan batasan waktu koordinasi antara rele utama dan rele backup[8]. Fungsi objektif yang digunakan adalah

$$\text{Min}(J) = \sum n \ 1 \ witi \quad (4)$$

Dimana n adalah total rele, t_i adalah waktu operasi rele utama pada saat gangguan, dan w_i merupakan koefisien probabilitas gangguan yang terjadi pada setiap zona proteksi. Dalam penelitian ini nilai w_i yang diberikan adalah 1[9].

- Langkah ketiga yaitu pengambilan batasan dalam kondisi *lowset*. *Constraint* untuk menginisiasi nilai posisi TDS dan arus pickup dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\text{TDSi min} \leq \text{TDS} \leq \text{TDSi max} \quad (5)$$

$$1,05 \times \text{IFLA} \leq \text{Ip} \leq 1,4 \times \text{IFLA} \quad (6)$$

- Pada tahap ini menghitung intensitas cahaya (i) dan koefisien penyerapan (γ) seperti kabut dll.
- Langkah kelima adalah mengatur koefisien ketertarikan (β). Formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma \cdot r^{npq}} \quad n \geq 1 \quad (7)$$

- Langkah keenam adalah keadaan dimana firefly yang memiliki itensitas cahaya lebih redup (i) bergerak menuju firefly yang memiliki itensitas cahaya yang lebih terang (j)[10].
- Langkah ketujuh adalah variasi pendekatan firefly terhadap jarak (r). Beberapa parameter yang terpengaruhi adalah posisi(x), rumus yang digunakan dalam penentuan parameter tersebut adalah:

$$X_i = X_i + \beta(r) * (X_i - X_j) \alpha(\text{rand} - \frac{1}{2}) \quad (8)$$

Koefisien α , β , dan γ bernilai 0 sampai 1.

- Langkah kedelapan parameter firefly yang berkaitan dengan fitness function akan screening berdasarkan batasan yang telah ditetapkan. Adapun batasan yang harus diperhatikan:

a. Selisih waktu (CTI) antara rele primare dan rele backup dengan acuan 0,2 – 0,4 detik[11].

$$t_{\text{backup}} - t_{\text{utama}} \geq \text{CTI} \quad (9)$$

b. $t \text{ max}$ rele utama sebesar 1 detik

- Langkah kesembilan proses constraint parameter posisi Pbest TDS dan Pnotbest TDS

$$\text{Pbest TDS} = x\text{TDS} \quad (10)$$

$$\text{Pnotbest TDS} = \text{Pnotbest TDSawal} \quad (11)$$

- Langkah terakhir proses iterasi akan berhenti pada posisi max iterasi yang ditentukan. Dan mendapatkan nilai TDS dan Ipickup secara optimal.

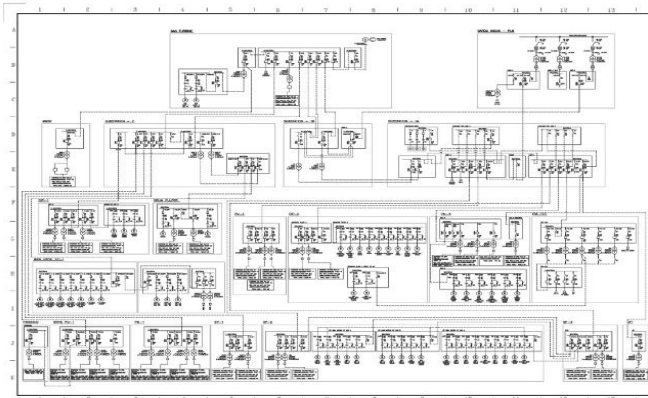
C Clearing Time Interval (CTI)

Untuk koordinasi beberapa rele perlu mempertimbangkan clearing time interval (CTI). Tanpa adanya interval antar rele, peralatan pengaman mungkin bekerja secara tidak tepat dan dapat memutus aliran daya ke lokasi yang tidak mengalami gangguan. Berdasarkan standar IEEE 242 [12] telah dijelaskan bahwa terdapat rekomendasi CTI minimum untuk jenis rele elektromekanik dan rele static seperti pada table berikut:

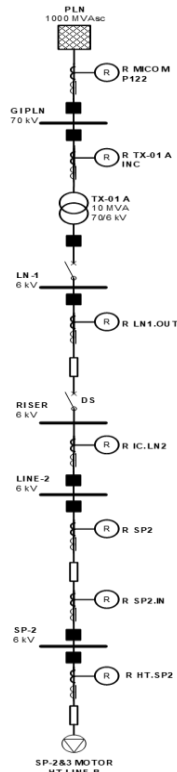
Tabel 2
CTI Minimum Relai

Uraian Respond	Waktu	
	Elektromekanik	Satatic
Waktu pembukaan circuit breaker	0,08	0,08
Overtravel pada rele	0,1	0
Toleransi dan error pada rele	1,2	0,2
Total CTI	0,3	0,2

D *Sistem Kelistrikan PT Dayasa Aria Prima*
Sistem kelistrikan merupakan hal yang sangat penting untuk menganalisa suatu keadaan agar lebih mudah dipahami.

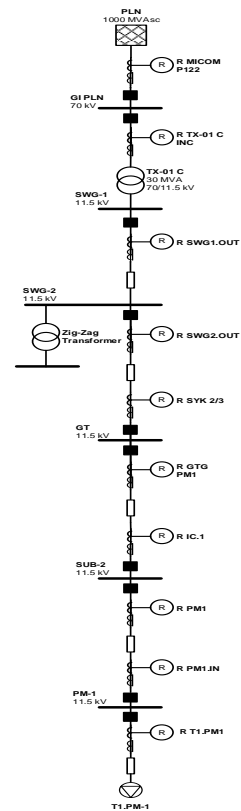


Gambar. 2 Single Line Diagram PT. Dayasa Aria Prima



Gambar. 3 Koordinasi Umum 1 (6 kV) Sistem proteksi OCR PT. Dayasa Aria Prima

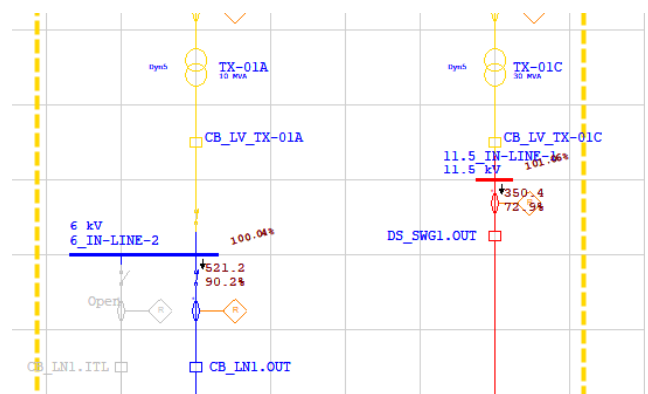
Koordinasi 1 arus rele gangguan fasa lebih (50/51) mulai dari motor sp-2&3 HT Line B ke PLN masuk. Relai yang termasuk dalam tipikal ini termasuk R HT. SP2, RSP2. IN, R SP2, R IC.LN2, R LN1. OUT, R TX-01A, dan R MICOM P122 .



Gambar. 4 Koordinasi Umum 2 (11,5 kV) Sistem proteksi OCR PT. Dayasa Aria Prima

Koordinasi 2 arus rele gangguan fasa (50/51) dimulai dari sisi trafo masuk T1. PM-1 ke PLN Masuk . Relai yang termasuk dalam tipikal ini termasuk R T1. PM-1, RPM1. IN, R PM1, R IC.1, R GTG PM1, R SYK 2/3, R SWG2. KELUAR, R SWG1. KELUAR, dan R TX-01 C.

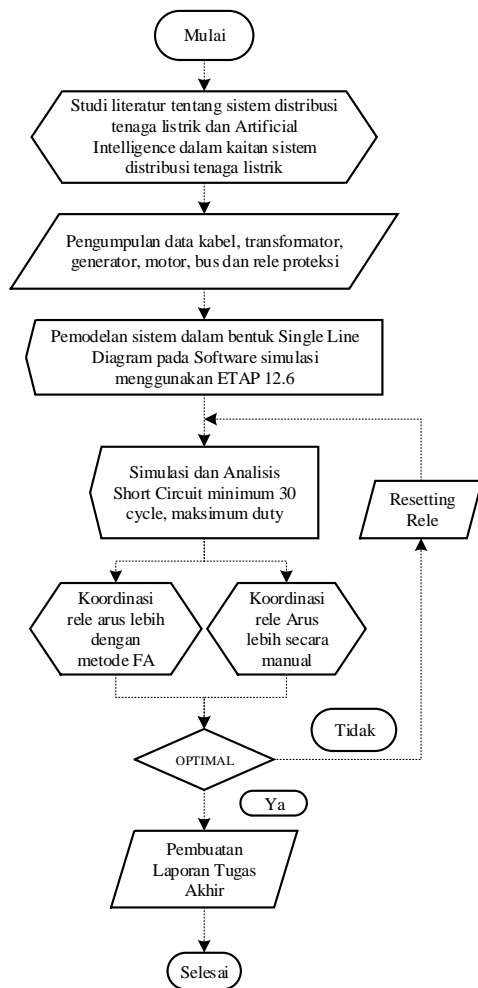
Beban PT Dayasa Aria Prima dibagi menjadi 2 area yaitu area trafo 1A dan trafo 1C. dimana beban transformator 1A membebani beberapa sub area Gardu 1. Sedangkan beban transformator 1C membebani sisa sub-area di Gardu Induk 1, Pembangkit Listrik, dan Gardu Induk 2.



Gambar. 5 Pemodelan Distribusi Area Beban ETAP

.III.METODE PENELITIAN

Alur metodologi penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar. 6 Flow Chart Penelitian

3.1 Studi Literatur

Dalam perancangan dan perhitungan dalam rangka penelitian ini, dibutuhkan sumber-sumber referensi sebagai bahan acuan dan pertimbangan. Referensi yang dibutuhkan adalah tentang sistem pengamanan distribusi tenaga listrik, aplikasi algoritma FA untuk perhitungan sistem tenaga listrik serta sistem program ETAP dan MATLAB. Sumber referensi didapatkan dari sumber langsung maupun tidak langsung, Sumber langsung bisa didapatkan dari orang yang mempunyai kompetensi di bidangnya sedangkan sumber tidak langsung didapatkan dari buku maupun laporan-laporan penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini[13].

3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data Tegangan Rele, KVBase, FLA, Isc max, CT prime[14].

3.3 Pemodelan Sistem Single Line Diagram

Pemodelan single line diagram sistem distribusi dibutuhkan untuk mensimulasikan kurva secara perhitungan konvensional maupun menggunakan algoritma firefly.

3.4 Simulasi dan Analisis Short Circuit

Simulasi ini dilakukan untuk mendapatkan hasil short circuit yang dirasakan relai yaitu isc max adalah short circuit 3 fasa

dan isc min adalah short circuit 2 fasa[15].

3.5 Koordinasi Setting Rele Secara Konvensional

Koordinasi ini dilakukan agar mendapatkan nilai Iset arus lebih waktu, time dial, Iset arus lebih sesaat, dan time delay.

3.6 Koordinasi Setting Rele Dengan Metode Firefly

Koordinasi ini dilakukan agar mendapatkan nilai kurva dari dari koordinasi relai proteccion menggunakan metode firefly.

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

Setting arus dan waktu pada setiap relai untuk mendapatkan nilai koordinasi proteksi sebagai kehandalan untuk mengatasi gangguan arus lebih pada sistem kelistrikan. Bab ini memuat hasil dan pembahasan dalam proteksi arus lebih dengan metode konvensional yang dibandingkan dengan metode algoritma firefly.

A. Perhitungan Koordinasi Biasa 1 (6kV)

Relai RHT. SP2 berperan sebagai proteksi cadangan ke SP-2&3 Motor HT Line B, jadi relay R HT. SP2 harus mampu mengakomodir distribusi daya nominal pada semua motor yang terdapat pada motor SP-2&3 HT Line B dengan arus nominal 201 A. Sehingga perhitungan akan seperti ini:

1. Pickup Arus Lebih Waktu

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 201 A &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 201 A \\ 211.05 A &\leq I_{set} \leq 281.4 A \\ &\text{Dipilih } I_{set} = 225 A \text{ (12)} \end{aligned}$$

2. Pengaturan Panggilan Waktu

Jenis kurva yang dipilih adalah IEC Very Inverse, dengan waktu pengoperasian 0,3 detik. Dengan nilai 7,5 kA dan jika relai diharapkan beroperasi pada 0,3 detik, maka diperoleh nilai TDS sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Time Dial} &= \frac{0.3 \times \left[\left(\frac{7500}{225} \right)^1 - 1 \right]}{13,5} \\ \text{Time Dial} &= 0.718 \text{ (13)} \end{aligned}$$

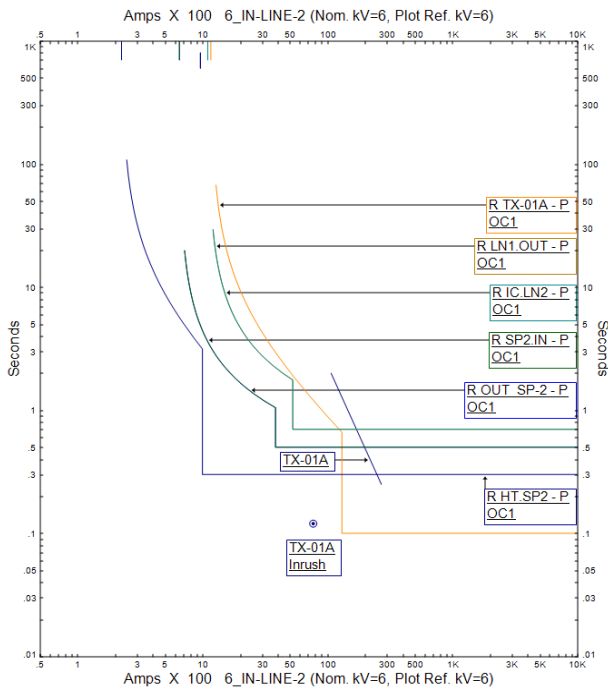
3. Pickup Arus Lebih Sesaat

$$\begin{aligned} 1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times \text{Isc Min} \\ 1,6 \times 201 A &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 7500 A \\ 211.05 A &\leq I_{set} \leq 6000 A \\ &\text{Dipilih } I_{set} = 1000 A \text{ (14)} \end{aligned}$$

4. Waktu tunda

Karena relai ini berfungsi sebagai proteksi cadangan pada HT Motor SP-2&3 Line B maka waktu tunda yang dipilih adalah 0,3 detik.

Untuk perhitungan relai berikutnya hingga relai RTX-01A sama dengan perhitungan pada relai RHT. SP2 dengan memperhatikan arus beban pada setiap relai.



Gambar. 7 Verifikasi Koordinasi 1 (6kV)

B. Perhitungan Koordinasi Biasa 2 (11,5kV)

Relai R T1. PM1 berperan sebagai proteksi utama transformator T1. PM1, jadi Relay R T1. PM1 harus mampu menampung distribusi daya nominal pada trafo dengan arus nominal 125,5 A. sehingga perhitungannya akan seperti ini:

1. Pickup Arus Lebih Waktu

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 125,5 A &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 125,5 A \\
 131,775 A &\leq I_{set} \leq 175,7 A \\
 &\text{Dipilih } I_{set} = 150 A \text{ (15)}
 \end{aligned}$$

2. Pengaturan Panggilan Waktu

Jenis kurva yang dipilih adalah IEC Normal Inverse, dengan waktu pengoperasian 0,1 detik. Dengan nilai 9,7 kA dan jika relai diharapkan beroperasi pada 0,1 detik maka diperoleh nilai TDS sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Time Dial &= \frac{0.1 \times \left[\left(\frac{9700}{150} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\
 Time Dial &= 0.06 \text{ (16)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan setting time dial minimum sebesar 0,06. Berdasarkan pertimbangan koordinasi, pengaturan panggilan waktu 0,16 dipilih

3. Pickup Arus Lebih Sesaat

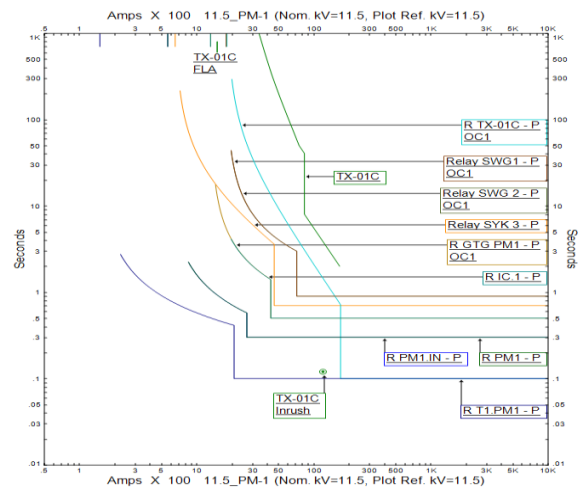
$$\begin{aligned}
 1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ Min}} \\
 1,6 \times 125,5 A &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 9700 A \\
 200,8 A &\leq I_{set} \leq 7760 A
 \end{aligned}$$

Dipilih $I_{set} = 2100 A$ (17)

4. Waktu tunda

Karena rele ini berfungsi sebagai proteksi utama pada trafo T1. PM1 kemudian memilih waktu tunda 0,1 detik.

Untuk perhitungan relai berikutnya hingga relai RTX-01C sama dengan perhitungan pada relai R T1.PM1 dengan memperhatikan arus beban pada setiap relai.



Gambar. 8 Verifikasi Koordinasi 2 (11,5kV)

C. Perhitungan dengan Metode FA 1 (6kV)

```

9
10 %% Tipikal Under Study EAS PSTLC
11
12 kv = [6 6 6 6 6 6];
13 kvbase = 6;
14 FLAmasuk = [201 587 587 962.5 962.5 82.48];
15 Isc_max_prim = [6000 3840 3840 5280 5280 1120];
16 Isc_max_back = [3840 3840 5280 5280 1120 0];
17 nct = [250 600 500 1200 1200 100];
18 CurveTypeall=[2 1 1 1 1 2];
19 tLVCB = 0.3;
20 CTI_plus = [0 0 2 0 0];
21
22 %%
    
```

Gambar. 9 Inputan data pada program FA (6 kV)

Inputan data pada program FA pada settingan koordinasi 6 kV terdiri dari nilai Isc Max Relay Primare dan Backup, Nilai CT, FLA.

SETTING RELAY					
Relay No.	PICKUP	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER	CURVE TYPE
LVCB			0.3000 s		
1	0.87	0.500	0.9154 s	0.0000 s	Very Inverse
2	0.05	0.125	0.2486 s	0.3202 s	Standard Inverse
3	0.85	0.300	0.5967 s	1.0130 s	Standard Inverse
4	0.02	0.175	0.3481 s	0.1561 s	Standard Inverse
5	1.69	0.250	0.4972 s	0.8555 s	Standard Inverse
6	0.03	0.300	0.1397 s	0.0028 s	Very Inverse

Gambar. 10 Hasil medode FA koordinasi perlindungan khusus 1 (6 kV)

Hasil yang didapatkan dari compailer program FA yaitu nilai TDS, Ipickup, Waktu operasi relai primare dan sekunder

D. Perhitungan dengan Metode FA 2 (11,5kV)

```

9
10 %% Tipikal Under Study EAS PSTLC
11
12 - kv = [11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5];
13 - kvbase = 11.5;
14 - FLAmasukn = [247,4 1500 1500 600 1200 1200 502 502 125,5];
15 - Isc_max_prim = [2100 10500 10500 5000 10000 10000 9700 9700 9700];
16 - Isc_max_back = [0 2100 10500 10500 5000 10000 10000 9700 9700];
17 - nct = [300 2000 2000 600 1250 1200 600 600 150];
18 - CurveTypeall = [1 1 1 1 1 2 2 1 3];
19 - tLVCB = 0.3; % 0/0.1/0.3
20 - CTI_plus = [0 0 2 0 0]; % 0.2+
21

```

Gambar. 10 Inputan data pada program FA (11,5 kV)

Untuk Inputan data pada program FA pada settingan koordinasi 11,5 kV terdiri dari nilai Isc Max Relay Primare dan Backup, Nilai CT, FLA.

SETTING RELAY					
Relay No.	PICKUP	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER	CURVE TYPE
LVCB			0.3000 s		
1	0.87	0.925	0.0000 s	0.0000 s	Standard Inverse
2	0.01	0.925	1.8397 s	0.9785 s	Standard Inverse
3	0.79	0.050	0.1810 s	0.1810 s	Standard Inverse
4	2.63	0.175	1.0482 s	0.6335 s	Standard Inverse
5	0.51	0.125	0.3078 s	0.4137 s	Standard Inverse
6	1.05	0.125	0.2433 s	0.2433 s	Very Inverse
7	2.10	0.725	1.4612 s	1.4110 s	Very Inverse
8	0.88	0.625	1.4588 s	1.4588 s	Standard Inverse
9	3.52	0.600	0.1422 s	0.1422 s	Extremely Inverse

Gambar. 11 Hasil medode FA koordinasi perlindungan khusus 2 (11,5 kV)

V.KESIMPULAN DAN SARAN

Pada kurva TTC 6 kV Tampak bahwa dalam proteksi koordinasi tipikal 1 terhadap interferensi fasa memiliki CTI 0,2

detik. Pada kurva terlihat kurva Relay SYK 3 memotong kurva rele proteksi dibawahnya, hal ini terjadi karena gardu induk dibawahnya disuplai oleh dua penyulang sehingga nominal aliran distribusi daya terbagi menjadi 2. Oleh karena itu pemilihan aliran pickup relay harus menyesuaikan kemampuan kanal masing-masing penyulang, namun jika terjadi hubung singkat maka relai akan tetap bekerja secara koordinatif sesuai dengan urutan kerja yang ditentukan.

Sedangkan pada kurva TCC 11.5 kV tampak bahwa dalam proteksi koordinasi tipikal 1 terhadap interferensi fasa memiliki CTI 0,2 detik. Pada kurva terlihat kurva Relay SYK 3 memotong kurva rele proteksi dibawahnya, hal ini terjadi karena gardu induk dibawahnya disuplai oleh dua penyulang sehingga nominal aliran distribusi daya terbagi menjadi 2. Oleh karena itu pemilihan aliran pickup relay harus menyesuaikan kemampuan kanal masing-masing penyulang, namun jika terjadi hubung singkat maka relai akan tetap bekerja secara koordinatif sesuai dengan urutan kerja yang ditentukan.

Saran kedepannya sebelum menerapkan pengaturan pada relai penahan tegangan lebih (ANSI 51V) pada generator turbin gas perlu dilakukann pengecekan terkait ranting VT dan rasio VT yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis kepada pihak yang membantu ataupun memberikan dukungan terkait dengan penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std 242, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, vol. 2001. 2001.
- [2] K. Area, S. Selatan, F. G. Savio, M. Pujiantara, and K. Aryani, "Optimasi Koordinasi Sistem Proteksi Inverse-time Over Current Relay pada Sistem Distribusi Radial dengan Pertimbangan Distributed Generator," vol. 10, no. 2, 2021.
- [3] Rosa dan Shalahuddin, "Politeknik Negeri Sriwijaya 4," Pembangkitan Energi List., vol. 7, no. 1, pp. 4–31, 2016.
- [4] M. R. Neparin, "Analisis Koordinasi Proteksi Overcurrent Relay pada Jaringan Distribusi 70 kV PT. Makmur Sejahter Wisesa," pp. 1–43, 2018.
- [5] F. T. Industri, "Perancangan Sistem Proteksi Pada Tambang Emas Banyuwangi Menggunakan Pltmh 10 Mw Protection System Design At Banyuwangi Gold Mine Using 10 Mw Micro Hydro Power Plant," 2017.
- [6] K. Proteksi, S. Upaya, D. I. K. Tursina, and P. T. P. Kaltim, "Terjadinya Sympathetic Trip Protection-Coordination To Prevent Sympathetic Trip At Tursina Region , Pt . Pupuk Kaltim," 2016.
- [7] X. S. Yang, "Firefly algorithms for multimodal optimization," in Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2009, vol. 5792 LNCS, pp. 169–178, doi: 10.1007/978-3-642-04944-6_14.
- [8] R. Atmanegara, I. Winarno, I. DPK, and D. Rahmatullah, "Optimalisasi Koordinasi Relay Arus Lebih Kapal Bulk Carrier 50.000 DWT(Dead Weight Ton) Menggunakan Metode Genetic Algorithm," *Cyclotron*, vol. 2, no. 2, 2019, doi: 10.30651/cl.v2i2.3258.
- [9] D. S. Lestari et al., "PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN METODE NEURAL NETWORK-FIREFLY," 2018.
- [10] J. Alfredo and R. Rismala, "Prediksi Harga Saham menggunakan Support Vector Regression dan Firefly Algorithm Stock Market Price Prediction using Support Vector Regression and ...," vol. 2, no. 2, pp. 6217–6231, 2014, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/299901716.pdf>.
- [11] E. D. Widodo, D. Irawan, and R. P. Astutik, "Analisis Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih Pada Sistem Kelistrikan Pt. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 Berbasis Algoritma Genetika," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 16, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.30587/e-link.v16i1.2693.
- [12] V. R. Mahindhara, M. Pujiantara, and A. Priyadi, "Algorithm Pada Sistem Kelistrikan PT . Pupuk," vol. 5, no. 2, 2015.
- [13] M. Machmud, "Tuntunan Penulisan TUGAS AKHIR Berdasarkan

Prinsip Dasar Penelitian Ilmiah,” *Nucleic Acids Res.*, pp. 1–266, 2016.

[14] H. C. Mohammadi, “Short Circuit Current Calculations and Relay Coordination for Industrial and Commercial Power Systems,” *Power*, p. 43, 1986.

[15] R. Ariyanta and S. T. A. Budiman, “Perancangan Koordinasi Proteksi Di Pt Pertamina Ep-Central Processing Plant Area Gundih,” 2017, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/50290>.