

# EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT PENAMBAHAN PEMBANGKIT DAN REKONFIGURASI JARINGAN DI *JOINT OPERATION BODY PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA (JOB P-PEJ)*, TUBAN

Achmad Marzuki Yahya, Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.<sup>1)</sup>, Ir. Sjamsjul Anam, MT.<sup>2)</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
Email: margo@ee.its.ac.id<sup>1)</sup>, anam@ee.its.ac.id<sup>2)</sup>

**Abstrak**—Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java adalah sebuah kerjasama dua perusahaan besar berskala internasional yang sedang melakukan eksplorasi di Indonesia Untuk meningkatkan produksi pada Central Processing Area (CPA) ditambahkan dua pembangkit dengan daya 4X600HP, 4.16kV. Dengan penambahan beban dan pembangkit muncul permasalahan pada sistem kelistrikkannya, yaitu sering terjadi padam total (*blackout*) pada saat terjadi gangguan, sehingga kontinuitas daya terganggu. Melalui tugas akhir ini dilaksanakan evaluasi koordinasi proteksi pada Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java yang tepat dalam mendeteksi dan mengisolir gangguan sehingga tidak mengganggu sistem yang berjalan dan mencegah kerusakan peralatan listrik.

Dari hasil plot koordinasi kurva arus waktu kondisi *existing* dapat diketahui bahwa terdapat *misscoordination* dan *overlapping*. Melalui hasil analisis dan perhitungan manual direkomendasikan penyetelan *pick up* rele arus lebih dan penyetelan *grading time* rele. Rele yang perlu disetel ulang adalah rele arus lebih gangguan fasa (*overcurrent relay*) dan rele arus lebih gangguan tanah (*ground fault relay*). *Setting* rele dengan penambahan pengaman pada rele 88. Dengan memakai konfigurasi stand alone harus ditambahkan trafo sebesar 4 MVA pada sisi *outgoing* generator centaur 2 sehingga dapat digunakan data Load Flow & Short Circuit.

**Kata Kunci**—Gangguan, koordinasi proteksi, rele arus lebih gangguan fasa

## I. PENDAHULUAN

Joint Operation Body Pertamina-Petrochina East Java (*JOB P-PEJ*) adalah sebuah kerjasama dua perusahaan besar berskala internasional yang sedang melakukan eksplorasi di Indonesia. Melakukan rencana penambahan pembangkit pada daerah eksplorasi Tuban. Untuk meningkatkan produksi pada Central Processing Area (CPA) ditambahkan dua pembangkit dengan daya 4X600HP, 4.16kV. Kontinuitas aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik sangat diperlukan agar suplai daya ke beban tidak terganggu, pada saat kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Dalam mengamankan sistem kelistrikan saat terjadi

gangguan, diperlukan peralatan pengaman sistem tenaga listrik untuk menjaga kontinuitas dan kestabilan suatu sistem tenaga listrik. Gangguan pada sistem tenaga listrik sangat bervariasi jenis dan besarnya. Rele pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena tindakan pengaman yang cepat dan tepat akan dapat mengisolir gangguan seminimal mungkin. Rele pengaman beroperasi saat muncul arus gangguan dan menggerakkan pemutus tenaga (PMT) sehingga aliran daya pada saluran tersebut terputus. Setelan dari rele pengaman yang tidak tepat dapat mengakibatkan PMT memutus rangkaian tidak tepat, sehingga kontinuitas dan keandalan sistem kelistrikan terganggu salah satunya terjadi padam listrik total.

## II. TEORI PENUNJANG

Dalam sistem kelistrikan harus didesain agar rele proteksi dapat beroperasi untuk merasakan dan mengisolasi gangguan secepatnya. Rele proteksi penting dalam industri sistem tenaga karena dapat mencegah kerugian produksi yang besar akibat padamnya peralatan atau kerusakan peralatan yang tidak perlu yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat dan tegangan lebih atau overload. Arus gangguan yang mengalir pada sistem tenaga listrik menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan pemutus tenaga (Circuit Breaker) sehingga terputus aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut.

Koordinasi sistem pengaman sangat diperlukan dalam mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik, sehingga gangguan-gangguan yang terjadi dapat dilokalisir dari sistem yang sedang berjalan. Dengan mengaplikasikan prinsip koordinasi, maka urutan kerja peralatan pengaman sepanjang saluran dari sumber sampai pada beban harus diperhatikan. Apabila ada gangguan secara tiba-tiba peralatan pengaman tersebut dapat mengisolir daerah gangguan secepat mungkin.

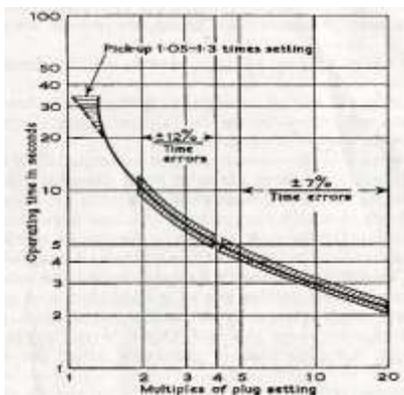
Selain itu juga peralatan proteksi berfungsi untuk melindungi peralatan yang berada disekitarnya terhadap gangguan atau keadaan tidak normal secara tepat dan tepat juga untuk membatasi daerah yang terkena gangguan sehingga keandalan suatu sistem tenaga listrik tetap terjamin.

**A. Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat [1] merupakan gangguan yang sangat berbahaya bagi peralatan karena arus yang mengalir menjadi sangat besar disekitar titik gangguan. Gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga dibagi menjadi dua macam yaitu: gangguan hubung singkat simetri dan asimetri. Gangguan hubung singkat simetri terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L) dan tiga fasa ke tanah (L-L-L-G). Gangguan hubung singkat tidak simetri terdiri dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (L-G), dua fasa ketanah (L-L-G) dan antar fase (L-L).

**B. Penyetelan Rele Arus Lebih Gangguan Fasa**

Penyetelan arus untuk arus lebih memiliki batasan besarnya arus. Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus setting yang ditentukan harus lebih besar dari arus beban maksimum.



Gambar 1. Batas ketelitian Setting arus berdasarkan BS 142-1983.

Berdasarkan pada gambar 2.3 batas penyetelan harus memperhatikan kesalahan pick up, menurut Standart British BS 142-1983 batas penyetelan antara nominal 1.05 – 1.3 I<sub>set</sub>. Mengacu pada standart tersebut, pada tugas akhir ini menggunakan konstanta 1.05 I<sub>set</sub>. Jadi untuk setingnya dapat dilihat sebagai berikut:

$$I_{set} \geq 1,05 \times I_{nominal} \tag{1}$$

$$I_s = \frac{I_{set}}{\text{rasio\_ct}} \tag{2}$$

dimana :

I<sub>s</sub> = arus setting

Pemilihan tap yang digunakan = I<sub>s</sub> / I<sub>n</sub>

Seting arus actual I<sub>set</sub> = tap x I<sub>n</sub> x CT

Dicari nilai dibawahnya yang terdekat.

Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum seting , untuk alasan keamanan dan back up hingga ke sisi muara (downstream) estimasi seting ditetapkan :

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc2,min} \tag{3}$$

I<sub>sc2,min</sub> adalah arus hubung singkat dua fasa dengan pembangkitan minimum yang terjadi diujung saluran seksi berikutnya. Besar arus ini diperoleh dari arus hubung singkat tiga fasa pada pembangkitan minimum dikalikan 0,866. Mengacu pada konsep diatas persyaratan setelan arus dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$1,05 I_{maks} < I_{set} \leq 0,8 I_{sc2,min} \tag{4}$$

**C. Rele Arus Lebih Waktu Inverse**

Waktu operasi rele ditentukan oleh setelan time dial. Untuk menentukan time dial dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [2,3,4]:

$$td = \frac{K \times t}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \tag{5}$$

Di mana :

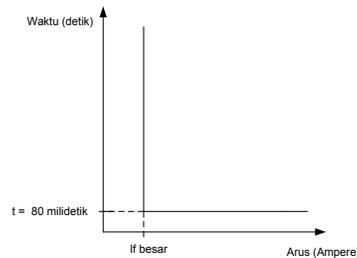
- t = waktu operasi (detik)
- Td = time dial
- I = nilai arus (Ampere)
- Iset = arus pickup (Ampere)
- k = koefisien invers 1 (lihat Tabel)
- α = koefisien invers 2 (lihat Tabel)
- β = koefisien invers 3 (lihat Tabel)

Tabel 1. Koefisien inverse time dial

Tipe Kurva	Koefisien	
	k	α
Standard / normal Inverse	0,14	0,02
Very Inverse	13,50	1,00
Extremely Inverse	80,00	2,00

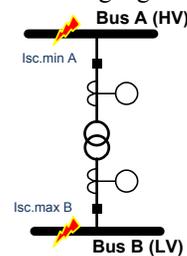
**D. Rele Arus Lebih Waktu Instan**

Prinsip kerja jenis rele ini adalah tanpa penundaan waktu, tetapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0.1detik, pada umumnya kurang dari 0.08 detik [4], dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Karakteristik rele arus lebih instan

Untuk pengaman feeder yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah yaitu sisi tegangan rendah (LV) dan sisi tegangan tinggi (HV)[1].



Gambar 3. Rele arus lebih pengaman trafo Syarat setelan pick up instan pada tipe koordinasi harus memenuhi syarat berikut [5]:

$$I_{sc \max \text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min \text{ bus, A}} \tag{7}$$

Dimana  $I_{sc \text{ max bus B}}$  merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum di titik B, sedangkan  $0.8 I_{sc \text{ min bus, A}}$  merupakan arus hubung singkat minimum pada titik A.

**E. Koordinasi Rele Arus Waktu**

Susunan rele pengaman dalam suatu sistem kelistrikan terdiri dari rele pengaman utama dan rele pengaman cadangan (*back up*). Antara rele pengaman utama dan rele pengaman *back up* harus dikoordinasikan agar rele tidak bekerja secara bersamaan maka diperlukan waktu tunda (*time delay*). Waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0.2 – 0.35 detik.

Waktu buka CB: 0.04 – 0.1s (*2-5 cycle*)

*Overtravel* dari rele : 0.1s

Faktor keamanan : 0.12-0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s [6].

**F. Rele Gangguan Tanah ( Ground Fault Relay)**

Rele gangguan tanah merupakan rele pengaman arus lebih yang dilengkapi *dengan zero sequence current filter*. Rele gangguan tanah bekerja untuk mengamankan gangguan satu fasa dan dua fasa ke tanah. Rele gangguan tanah digunakan pada pada sistem yang membatasi arus gangguan tanah. Misalnya sistem pentanahan netral dengan pentanahan resistansi dimana impedansi yang rendah mampu mengurangi arus gangguan ke tanah. Pada rele gangguan tanah *range setelan* yang digunakan 20% - 80% dari rating arusnya atau bahkan lebih rendah, 10% - 40% [e], referensi lain menggunakan 10% - 50%[3].

Prinsip kerja rele ini seperti pada gambar 2.10. Pengaman rele ini akan aktif jika arus sisa  $I_{res} = I_a + I_b + I_c$  yang mengalir naik melebihi setelan *threshold* [5,6].

Simetri

$$I_r = I_a + I_b + I_c = 0$$

Asimetri

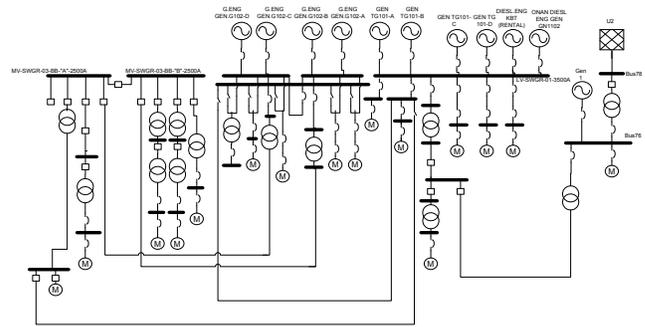
$$I_r = I_a + I_b + I_c = 3I_{a0}$$

**III. PEMODELAN SISTEM**

Sistem kelistrikan JOB P-PEJ dimodelkan dengan *software* ETAP 7.5 dalam bentuk *single line diagram*. Pada analisa *arc flash* ini *single line diagram* dibagi menjadi dua kondisi, yaitu kondisi eksisting dan juga saat sudah direkoordinasi (*resetting*). Selanjutnya pemodelan akan dibagi menjadi 5 tipikal.

Penggunaan *software* ETAP untuk mendapatkan nilai dari *rele* yang ada.

Pada kondisi eksisting, semua data sistem pengaman dimodelkan sesuai dengan kondisi di lapangan. Berikut pemodelan sistem pengaman JOB P-PEJ. :



Gambar 4 Single line diagram JOB P-PEJ

**IV. PENGUJIAN DAN ANALISA**

Setelah dilakukan pemodelan sistem kelistrikan pabrik dan didapatkan *Single Line Diagram* selanjutnya untuk mempermudah dalam *setting* koordinasi peralatan pengaman dan rele, maka dipilih tipikal yang mewakili koordinasi sistem eksisting yang ada. Berikut adalah tipikal yang diambil sebagai contoh:

- Tipikal JOB P-PEJ dan Generator baru adalah tipikal terpanjang untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa pada JOB P-PEJ. Tipikal ini terdiri dari beberapa level tegangan, yaitu 13.8kV, 4.16 kV, 0.48 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman, Dimulai dari MV-SWGR-03-BB-“B”-2500A sampai ke Mtr-20. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa rele R-F.1.1, R-F.1.2, CB-F.1.1, CB-F.1.2, CB-F.1.3, CB-M20. , rele Gen baru-1. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele Tipikal ini selanjutnya akan disebut dengan tipikal 1.

**A. Analisis Gangguan Arus Hubung Singkat**

Setelah penggambaran SLD maka dilakukan *running* simulasi dan analisis *load flow*, langkah selanjutnya adalah analisis hubung singkat (*short circuit*) menggunakan *software* ETAP 7.5. Analisis ini digunakan untuk menentukan *setting* peralatan pengaman dan rele arus lebih. Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan 2 parameter, yaitu hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada saat 1/2 *cycle* dan 4 *cycle*. Pada analisis ini dilakukan pada bus-bus tipikal yang dipilih.

Arus hubung singkat minimum yang dipakai adalah arus hubung singkat 30 *cycle* pada saat pembangkitan minimum, yaitu saat kondisi sebelum integrasi dan sesudah integrasi. Sedangkan arus hubung singkat maksimum yang dipakai dalam analisis adalah arus hubung singkat 3 fasa 4 *cycle* pada saat pembangkitan maksimum setelah dilakukan integrasi.

Tabel 2.  
Pengujian ISC maksimum 4 cycle

no	Bus	Tegangan (kV)	Isc.max 4cylce (kA)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	20.84
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	22.13
3	B-IN TR-02-C	4.16	28.30
4	B-IN TR-MD-A	4.16	28.30
5	B-IN TR-MD-B	4.16	7.83
6	B-IN TR-MD-C	4.16	7.98
7	B-IN TR-MD-C1	13.8	28.64
8	B-IN TR-MD-E	0.48	7.83
9	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	26.05
10	Bus-11.1	048	26.05
11	Bus-14-15	0.48	12.14
12	Bus-16-17	0.48	18.45
13	Bus-19-20	0.48	18.45
14	Bus-23-24	0.48	17.87

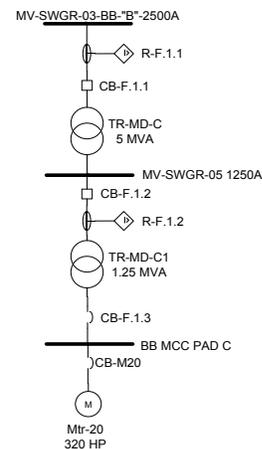
Tabel 3.  
Pengujian ISC minimum 30 cycle

no	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cylce (kA)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	12.07
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	12,77
3	B-IN TR-02-C	4.16	15.28
4	B-IN TR-MD-A	4.16	15.28
5	B-IN TR-MD-B	4.16	3.32
6	B-IN TR-MD-C	4.16	3.43
7	B-IN TR-MD-C1	13.8	16.72
8	B-IN TR-MD-E	0.48	3.32
9	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	13.53
10	Bus-11.1	048	13.53
11	Bus-14-15	0.48	10.42
12	Bus-16-17	0.48	14.96
13	Bus-19-20	6.3	14.96
14	Bus-23-24	6.3	14.46

tipikal ini berupa rele R-F.1.1, R-F.1.2, CB-F.1.1, CB-F.1.2, CB-F.1.3, CB-M20.

Tabel 4.  
Data Eksisting Pengaman Tipikal 1

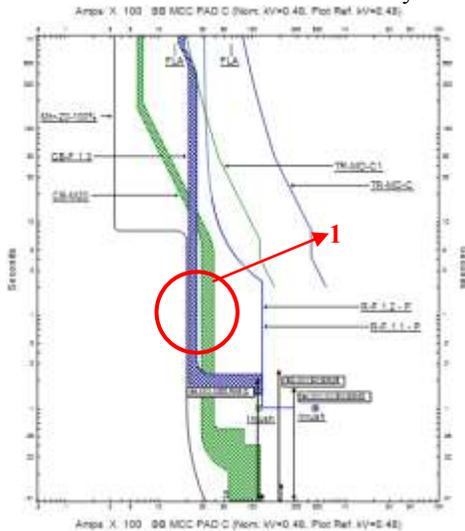
ID	Manufacturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Curve Type	Standard Inverse
R-F.1.1	Merlin Gerlin	Sepam 1000	500/5	Pickup	0.72
				Time Dial	1.4
				Instantaneous Pickup	3
				Delay	0.1 s
				Curve Type	Standard Inverse
R-F.1.2	Merlin Gerlin	Sepam 1000	150/5	Pickup	0.72
				Time Dial	1.4
				Instantaneous Pickup	3
				Delay	0.1 s
				Curve Type	Standard Inverse
CB-F.1.3	Merlin Gerlin	STR 68U		sensor	1600
				long time pickup	0.98
				long time band	480
				short time pickup	1.5
				short time band	0.2
				instantaneous pickup	none
				sensor	630
				long time pickup	1
				long time band	fixed
				short time pickup	6
short time band	fixed				
CB-M20	Merlin Gerlin	STR 23SE		instantaneous pickup	fixed



Gambar 5 Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 1

Pada paper ini digunakan tipikal 1 sebagai contoh. Gambar 2 dibawah adalah pemodelan sistem pengaman eksisting tipikal 1. Dimulai dari MV-SWGR-03-BB-“B”-2500A sampai ke Mtr-20. Pengaman yang digunakan pada

Berikut ini adalah bentuk kurva koordinasinya:

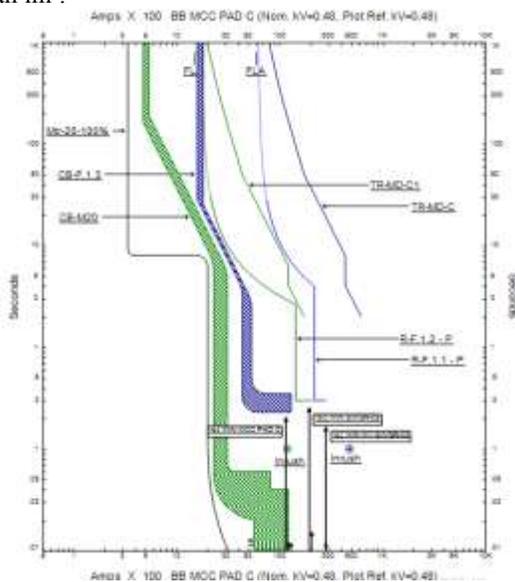


Gambar 6 Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1

Hasil plot eksisting terdapat tanda lingkaran merah yang menandakan bahwa koordinasi sistem pengaman kurang tepat, yaitu:

1. *Setting* rele R-F.1.1 dan R-F.1.2 adalah sama. Hal ini mengakibatkan saat terjadi gangguan, rele ini akan bekerja secara bersamaan. Seharusnya rele tersebut memiliki *setting* yang berbeda karena mengamankan tempat yang berbeda.

Setelah dilakukan *resetting*, maka kurva koordinasi pengaman pada tipikal 1 akan menjadi seperti gambar 4 dibawah ini :



Gambar 7 Kurva Koordinasi Resetting Tipikal 1

## V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa data sistem plant dan *resetting* yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan :

1. Hasil plot koordinasi kurva arus waktu *existing* Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java memperlihatkan bahwa banyak rele yang terjadi *miss-coordination* dan *overlapping* antara rele utama dan rele

backup. Hal ini mengakibatkan selektifitas rele kurang baik dalam melokalisir gangguan pada sistem.

2. Setelah dilakukan analisis dan *resetting* peralatan pengaman, maka didapatkan bahwa data eksisting peralatan pengaman yang digunakan tidak terkoordinasi dengan baik. Pengaturan *low set* belum sesuai dengan *British Standard BS-142-1983*. Setelan waktu juga dipilih *instant* dimana tidak sesuai dengan *Standard IEEE 242*, maka diperlukan analisa ulang (*resetting*).
3. Akibat integrasi dengan jaringan PLN (Sikronisasi) menyebabkan kenaikan arus hubung singkat, analisis yang dilakukan pada Tugas Akhir ini yaitu dengan pemilihan tipikal yang mewakili masing-masing *line* dengan kondisi yang telah ditentukan.
4. Grading time yang digunakan untuk koordinasi kerja dari rele pengaman adalah sebesar 0.2 detik. Hal ini dianggap sesuai karena dengan Grading time sebesar 0.2 – 0,4 detik dapat memberikan waktu yang cukup kepada rele pengaman utama untuk selesai memutuskan gangguan terlebih dahulu. Sehingga kejadian trip secara bersamaan antara rele pengaman utama dan rele backup pada saat terjadi gangguan hubung singkat dapat dihindari dan koordinasi kerja antar rele dapat berjalan dengan baik. Pemilihan Grading time sebesar 0.2 dan 0.3 detik dianggap paling sesuai mengingat rele yang digunakan adalah rele digital. Pemilihan Grading time sebesar 0.2 detik sesuai dengan standar IEEE 242

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IEEE Std. 1584-2002. “*Guide for Performing Arc flash Hazard Calculations*”.
- [2]. ETAP FAQ arc flash calculations
- [3]. ELECTROTECHNIK, “*What is a Bolted Short Circuit,*” A Magazine of Electrical Engineering
- [4]. Daniel Doan, Jennifer Slivka, and Chris Bohrer, “*A Summary of Arc flash Assessment and Safety Improvements,*” IEEE Paper No. PCIC-2007-40
- [5]. NSW Government, “*PERALATAN PELINDUNG PRIBADI,*” WorkCover NSW Government.
- [6]. Chet Davis PE, Conrat St. Pierre, “*Practical Solution Guide to Arc flash Hazards,*” ESA Inc, 2003
- [7]. Daniel Doan, George DG, Herman O.Kemp, “*How to Hamper Hazards,*” *IEEE Industry Application Magazine., May-June 2005*