

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Sistem Kelistrikan PT Dian Swastatika Sentosa *Plant 1* Tbk Karawang

Sistem kelistrikan pada PT Dian Swastatika Sentosa *Plant 1* Tbk Karawang memiliki 2 zona tegangan yakni 11/20 KV dan 20/3,3 KV. Untuk proteksinya terdapat 2 jenis CB (*Circuit Braker*) yang dipakai yakni GCB (*Gas Circuit Braker*) pada zona tegangan 11/20 KV dan VCB (*Vacuum Circuit Braker*) pada zona tegangan 20/3,3 KV. Gas pada GCB berfungsi untuk meredam loncatan bunga api listrik sekaligus mengisolasi antara bagian-bagian yang bertegangan. GCB ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 KA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 KV. Sedangkan VCB umumnya bekerja pada *range* tegangan 3-38 KV. Ketika VCB open, maka pada katoda kontak terjadi emisi *thermis* dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi elektron-elektron bebas. Elektron hasil emisi ini bergerak menuju anoda, elektron-elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi proses ionisasi. Akibatnya, tidak ada penambahan elektron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan. VCB dapat memutus arus sampai 15 KA.

Dalam hal pembebanan, PT DSS memiliki 10 beban motor yakni *feed water pump* 1600 KW (motor 1 & motor 2), *ID fan* 560 KW (motor 3 & motor 4), *primary fan* 450 KW (motor 5 & motor 6), *secondary fan* 250 KW (motor 7 & motor 8) dan *circulating* 355 KW (motor 9 & motor 10).

## 4.2 Data yang Diperoleh

Dalam penelitian ini menggunakan data PT Dian Swastatika Sentosa *Plant 1* Tbk Karawang yang telah dikumpulkan untuk menunjang dilakukannya perbaikan koordinasi pengaman rele OCR, Berikut adalah beberapa data yang diperoleh :

### 4.2.1 Data Beban

Data beban ini diambil dari data *sheet* dokumen pembukuan tahunan beban yang digunakan oleh PT Dian Swastatika Sentosa *Plant 1* Tbk Karawang. Berikut adalah data beban pada zona tegangan 20/3,3 kV.

Tabel 4.1 Data *Sheet* Beban *Plant 1*

No	Nama Beban	Daya	Satuan	Efisiensi (%)	Power Faktor (%)
1	Motor 1 ( <i>Feed Water Pump</i> )	1600	KW	92	94
2	Motor 2 ( <i>Feed Water Pump</i> )	1600	KW	92	94
3	Motor 3 ( <i>ID Fan</i> )	560	KW	74.6	94
4	Motor 4 ( <i>ID Fan</i> )	560	KW	68.04	94
5	Motor 5 ( <i>Primary Fan</i> )	450	KW	65.6	94
6	Motor 6 ( <i>Primary Fan</i> )	450	KW	65.6	94
7	Motor 7 ( <i>Secondary Fan</i> )	250	KW	51.24	94
8	Motor 8 ( <i>Secondary Fan</i> )	250	KW	56.2	94
9	Motor 9 ( <i>Circulating</i> )	355	KW	92	94
10	Motor 10 ( <i>Circulating</i> )	355	KW	92	94

#### 4.2.2 Data Transformator

Data transformator diambil dari data *sheet* dokumen pembukuan tahunan PT Dian Swastatika Sentosa *Plant* 1 Tbk Karawang. Berikut adalah data transformatornya :

1. Tranformator 11/20 KV

Produsen	: Fuzhou Tianyu Electric Co., Ltd.
Kapasitas	: 50 MVA
KV Primer	: 11 KV
KV Sekunder	: 20 KV
Impedansi	: 20, 283%
Vektor Grup	: YNd11

2. Transformator 20/3,3 KV

Produsen	: Fuzhou Tianyu Electric Co., Ltd.
Kapasitas	: 6,3 MVA
KV Primer	: 20 KV
KV Sekunder	: 3,3 KV
Impedansi	: 11, 812%
Vektor Grup	: YNd11

#### 4.2.3 Data Sumber Listrik

Data generator diambil dari *nameplate* yang tertera pada generator PT Dian Swastatika Sentosa *Plant* 1 Tbk Karawang. Berikut adalah data generatornya :

Produsen	: Shandong Jinan Power
Output Tegangan	: 11 KV
Kapasitas	: 30 MW

Power Faktor : 0,8  
 Arus Hubung Singkat (Isc) : 1968 A  
 Kecepatan Putaran : 3000 rpm  
 Frekuensi : 50 Hz  
 X''d : 19%

#### 4.2.4 Data Kabel

Data kabel ini diperoleh dari data *sheet* dokumen pembukuan tahunan PT Dian Swastatika Sentosa *Plant 1* Tbk Karawang. Berikut adalah data kabel yang terpasang pada zona tegangan 11/20 KV dan 20/3,3 KV.

Tabel 4.2 Data *Sheet* Kabel XLPE

Penampang Nominal	Ketebalan Isolator	Ketebalan Isolator Terluar	Diameter keseluruhan	Karakteristik Konduktor	
				Resistansi	Reaktansi
Mm	mm	Mm	Mm	$\Omega$ /km	$\Omega$ /km
16	3,4	2,2	38,7	1,47	0,140
25	3,4	2,2	41,3	0,927	0,124
35	3,4	2,3	43,7	0,668	0,116
50	3,4	2,4	46,4	0,493	0,111
70	3,4	2,5	50,1	0,342	0,106
95	3,4	2,7	54,2	0,247	0,100
120	3,4	2,8	57,6	0,196	0,097
150	3,4	2,9	60,9	0,159	0,094
185	3,4	3,0	64,7	0,128	0,092
240	3,4	3,1	70	0,0984	0,089
300	3,4	3,3	75,6	0,0797	0,086
400	3,4	3,5	81,8	0,0639	0,083

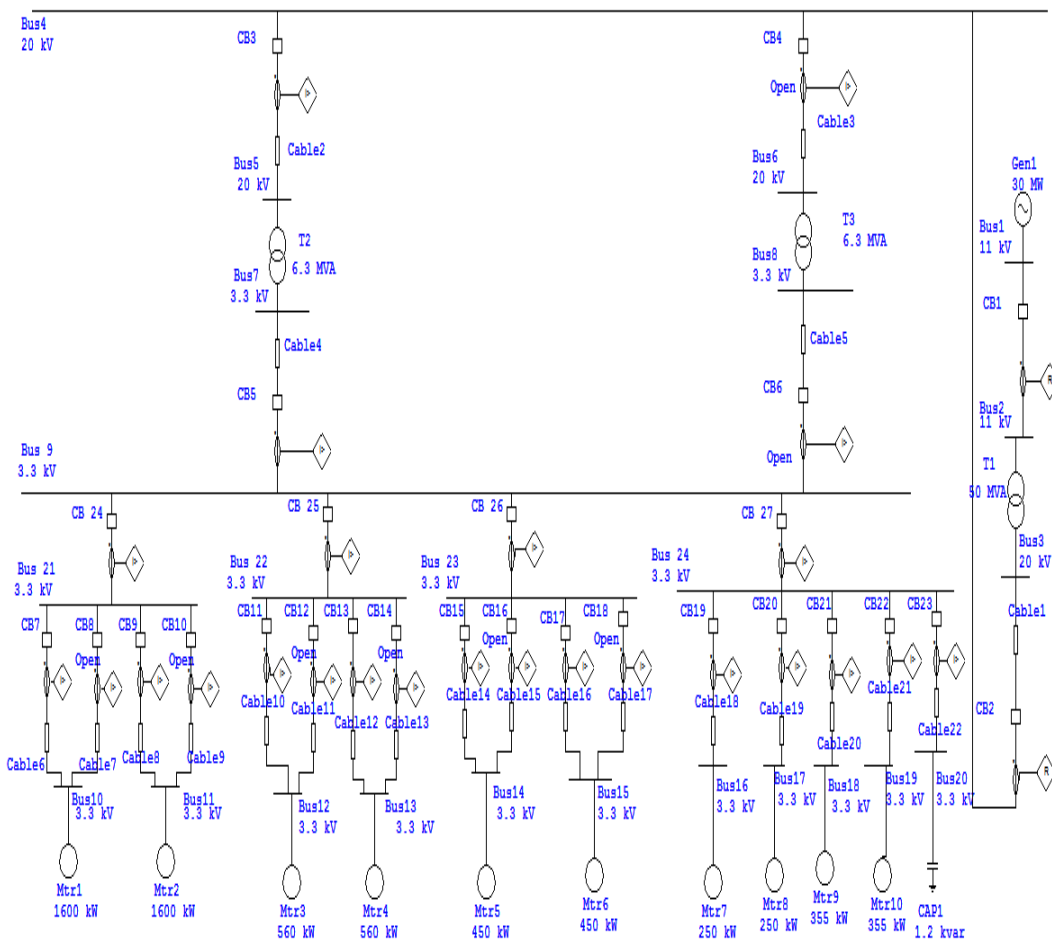
Berikut adalah data kabel yang digunakan pada *plant 1* PT Dian Swastatika Sentosa

Tabel 4.3 Data Kabel XLPE yang digunakan *Plant 1*

No	Nama Kabel	Penampang Nominal (mm)	Panjang Kabel (m)
1	Kabel 1	400	108
2	Kabel 2	95	16
3	Kabel 3	95	14
4	Kabel 4	240	552
5	Kabel 5	240	606
6	Kabel 6	185	18
7	Kabel 7	185	40
8	Kabel 8	185	40
9	Kabel 9	95	128
10	Kabel 10	95	23
11	Kabel 11	70	70
12	Kabel 12	95	65
13	Kabel 13	95	128
14	Kabel 14	70	70
15	Kabel 15	95	50
16	Kabel 16	95	23
17	Kabel 17	70	60
18	Kabel 18	95	65
19	Kabel 19	95	102
20	Kabel 20	70	98
21	Kabel 21	95	115
22	Kabel 22	95	50

### 1.2.5 Single Line Diagram

Berikut adalah *single line diagram* yang menggambarkan sistem jaringan kelistrikan yang ada pada *Plant 1 PT Dian Swastatika Sentosa Tbk. Single line diagram* dibuat berdasarkan data-data yang diperoleh di lapangan dan telah di gambarkan dengan aplikasi *software ETAP 12.6*.



**Gambar 4.1** Single Line Diagram Zona Tegangan 11/20 KV & 20/3,3 KV

Pada *single line diagram* diatas dapat dijelaskan bahwa dari hasil pembangkitan generator yakni sebesar 11 KV lalu dinaikkan tegangannya oleh transformator menjadi 20 KV. Lalu disalurkan dan diturunkan oleh transformator

menjadi 3,3 KV. Terdapat 2 trafo pada jaringan 3,3 KV yakni transformator 2 dan transformator 3, hal ini difungsikan untuk *back up* pada transformator 3 jika transformator 2 (*main* trafo pada jaringan 3,3 KV) terjadi gangguan.

Pada tiap beban motor 1 - motor 6 terdapat 2 pengaman tiap masing-masing beban motor. Hal ini dikarenakan motor tersebut mempunyai kapasitas daya yang besar sehingga terdapat *reaktor* untuk membangkitkan arus awal *start* motor pada terdapat pada jaringan sisi sebelah kanan *single line diagram* (CB8, CB10, CB12, CB14, CB16, CB18). Ketika motor sudah mencapai arus kerjanya, maka *Circuit Breaker* diatas akan trip dan akan dialih fungsikan ke CB utama sebagaimana normalnya yakni pada CB7, CB9, CB11, CB13, CB15, CB17.

#### 4.2.6 Data Setting Rele OCR

Sistem proteksi yang dilakukan untuk mengamankan sistem kelistrikan *plant* 1 salah satunya adalah dengan menggunakan *Over Current Relay* (OCR) yang dipasang pada setiap beban dan *feeder*. Semua model rele di PT Dian Swastatika Sentosa *plant* 1 Tbk Karawang menggunakan satu jenis pabrikan yakni AREVA dari *Schneider Electric*. Berikut ini adalah data *setting* rele OCR yang ada pada *Plant* 1 :

Tabel 4.4 Data Setting Rele OCR

No	Nama CB	rCT	Setting Rele Invers		Model Rele
			I <sub>&gt;</sub>	TMS	
1	CB1	3000/5	3.25	0.4	Micom P127
2	CB2	1600/5	3.25	0.4	Micom P127
3	CB3	300/5	3	0.4	Micom P120
4	CB4	300/5	3	0.4	Micom P120
5	CB5	300/5	3	0.4	Micom P120
6	CB6	300/5	3	0.4	Micom P120
7	CB7	500/5	3.31	1	Micom P120

Lanjutan Tabel 4.4 Data *Setting* Rele OCR

8	CB8	500/5	3.31	1	Micom P120
9	CB9	500/5	3.31	1	Micom P120
10	CB10	500/5	3.31	1	Micom P120
11	CB11	200/5	2.76	1	Micom P120
12	CB12	200/5	2.66	1	Micom P120
13	CB13	200/5	2.26	1	Micom P120
14	CB14	200/5	2.66	1	Micom P120
15	CB15	150/5	3.1	1	Micom P120
16	CB16	150/5	3.09	1	Micom P120
17	CB17	150/5	3.1	1	Micom P120
18	CB18	150/5	3.09	1	Micom P120
19	CB19	100/5	3.29	1	Micom P120
20	CB20	100/5	3.29	1	Micom P120
21	CB21	150/5	2.3	0.5	Micom P120
22	CB22	150/5	2.3	0.5	Micom P120
23	CB23	500/5	2.2	1	Micom P120
24	CB24	800/5	3	0.4	Micom P120
25	CB25	400/5	3	0.4	Micom P120
26	CB26	350/5	3	0.4	Micom P120
27	CB27	500/5	3	0.4	Micom P120

### 4.3 Unjuk Kerja Sistem Pengaman OCR Sebelum *Resetting*

Sistem pengamanan jaringan kelistrikan *Plant* 1 adalah dengan mengkombinasikan pengaman rele OCR, Transformator Arus, dan *Circuit Breaker* (CB). *Current* Transformator (CT) akan mengukur arus yang mengalir pada jaringan sehingga rele OCR dapat memberikan perintah pada CB untuk trip. Rele arus lebih

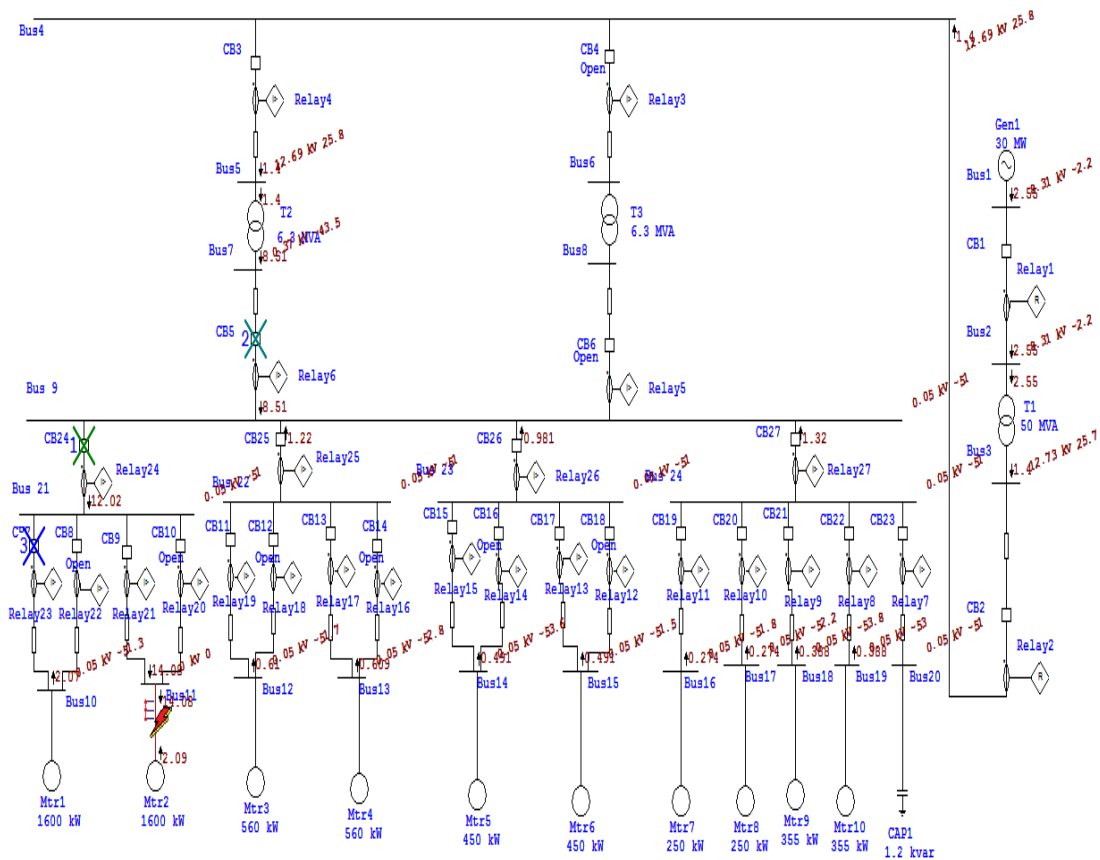


akan bekerja jika adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Setiap sub *feeder* memiliki wilayah pengamanan masing masing sehingga bila terjadi gangguan dapat segera diketahui posisi jaringan yang mengalami gangguan dan dapat segera diperbaiki sehingga tidak mengganggu sistem lainnya.

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pengaman *Plant 1* maka akan dilakukan simulasi gangguan pada jaringan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6. Berikut ini adalah unjuk kerja sistem pengaman OCR *Plant 1* sebelum *resetting* :

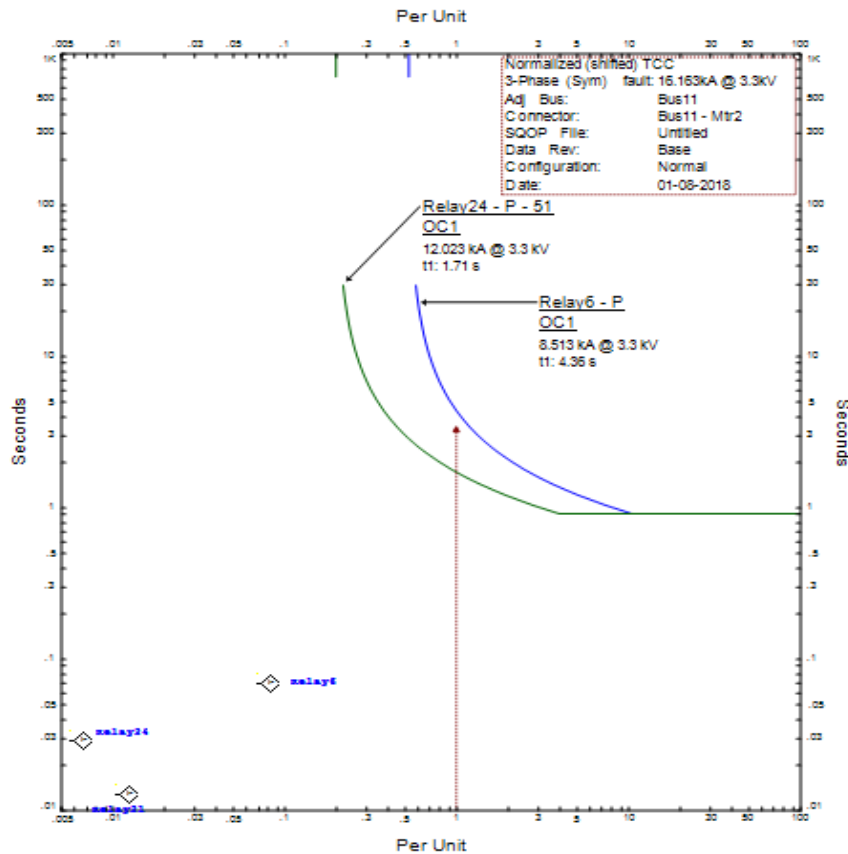
#### 4.3.1 Gangguan pada Beban Motor 2 (*Feed Water Pump*)

Berikut adalah simulasi gangguan pada beban motor 2.



**Gambar 4.2** Kondisi Abnormal pada Motor 2

Dilihat dari gambar 4.2, ketika pada *single line diagram* diberikan gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 2 (*feed water pump*), maka kondisi rele yang bekerja secara berurutan adalah rele 24, 6 dan 23. Dapat dianalisa bahwa masih kurangnya koordinasi pada sistem pengamanan rele OCR

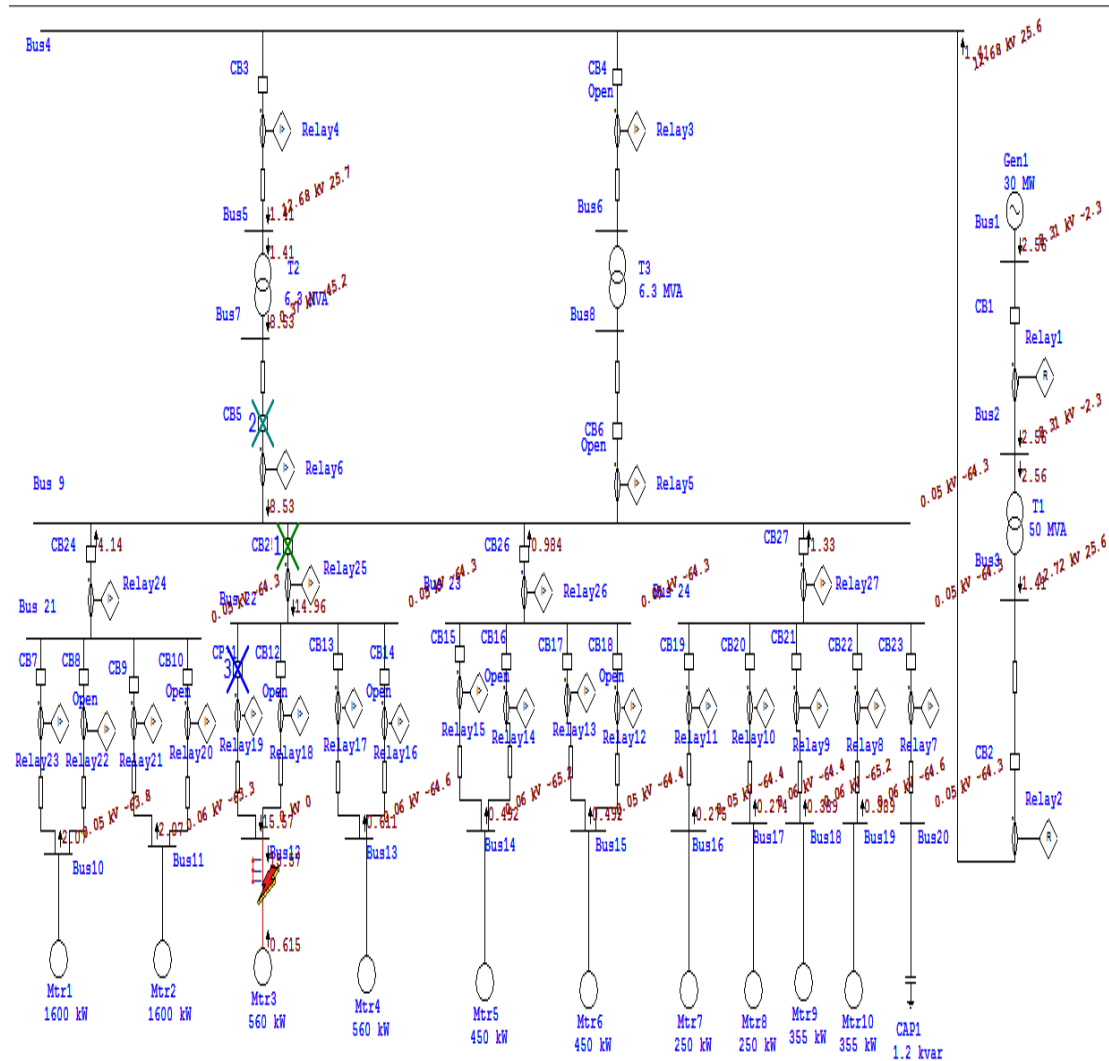


**Gambar 4.3** Kurva Koordinasi Kondisi Abnormal pada Motor 2

. Pada kurva hasil pengamatan gambar 4.4 menunjukkan bahwa rele 24 bekerja pertama kali yang mengakibatkan pengamanan pada beban motor 1 (*feed water pump*) juga terpengaruh. Jika rele 24 bekerja pertama kali, maka secara otomatis beban motor 1 dan motor 2 akan berhenti bekerja. Urutan kerja rele yang seharusnya secara berurutan apabila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 2 (*feed water pump*) adalah 21, 24 dan 6.

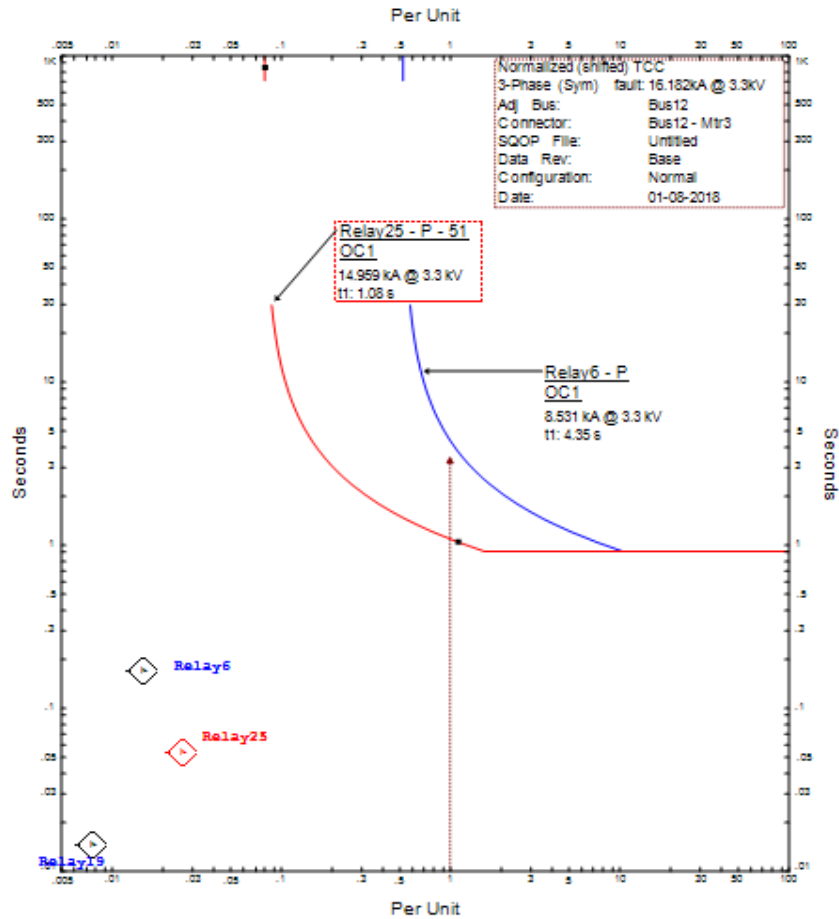
### 4.3.2 Gangguan pada Beban Motor 3 (ID Fan)

Berikut adalah simulasi gangguan pada beban motor 3.



Gambar 4.4 Kondisi Abnormal pada Motor 3

Dapat dilihat dari gambar 4.4, ketika pada *single line diagram* diberi gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 3 (*ID Fan*), maka kondisi rele yang bekerja secara berurutan adalah 25, 6 dan 19. Terlihat kondisi abnormal pada jaringan kelistrikan *plant 1* dan kurangnya koordinasi pada sistem pengamanan rele OCR.

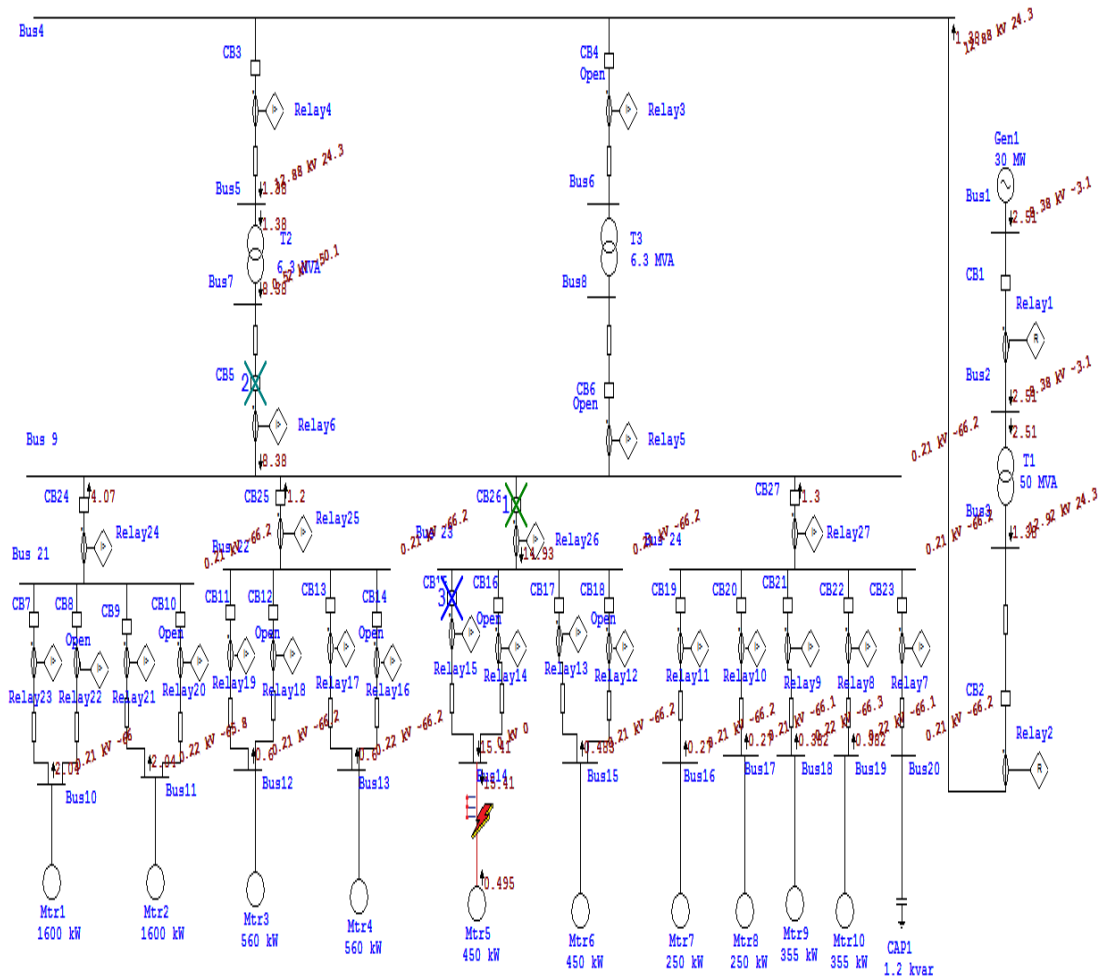


**Gambar 4.5** Kurva Koordinasi Kondisi Abnormal pada Motor 3

Pada kurva hasil pengamatan gambar 4.5, dapat dianalisa bahwa rele 25 bekerja pertama kali yang mengakibatkan pengaman pada beban motor 4 (*ID Fan*) juga terpengaruh. Jika rele 25 bekerja pertama kali, maka secara otomatis beban motor 3 dan motor 4 akan berhenti bekerja. Urutan kerja rele yang seharusnya secara berurutan apabila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 3 (*ID Fan*) adalah rele 19, 25 dan 6.

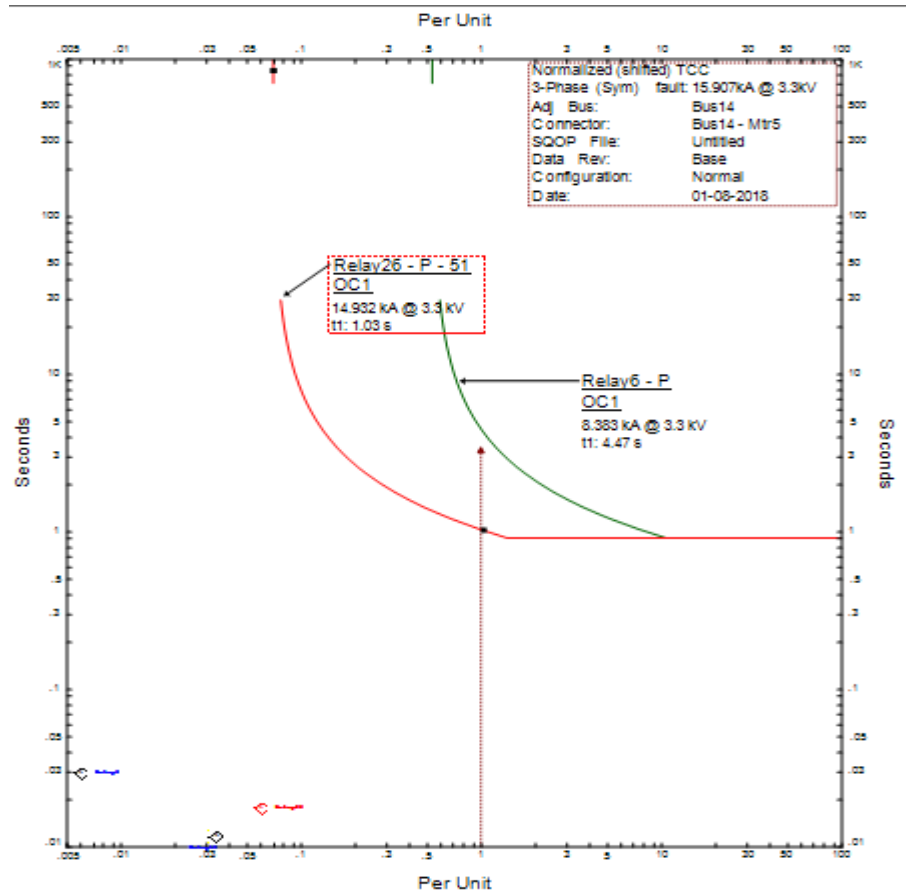
### 4.3.3 Gangguan pada Beban Motor 5 (*Primary Fan*)

Berikut adalah simulasi gangguan pada beban Motor 5.



**Gambar 4.6** Kondisi Abnormal pada Beban Motor 5

Dapat dilihat dari gambar 4.6, ketika pada *single line diagram* diberi gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 5 (*Primary Fan*), maka kondisi rele yang bekerja secara berurutan adalah 26, 6 dan 15. Terlihat kondisi abnormal pada jaringan kelistrikan *plant* 1 dan kurangnya koordinasi pada sistem pengamanan rele OCR.

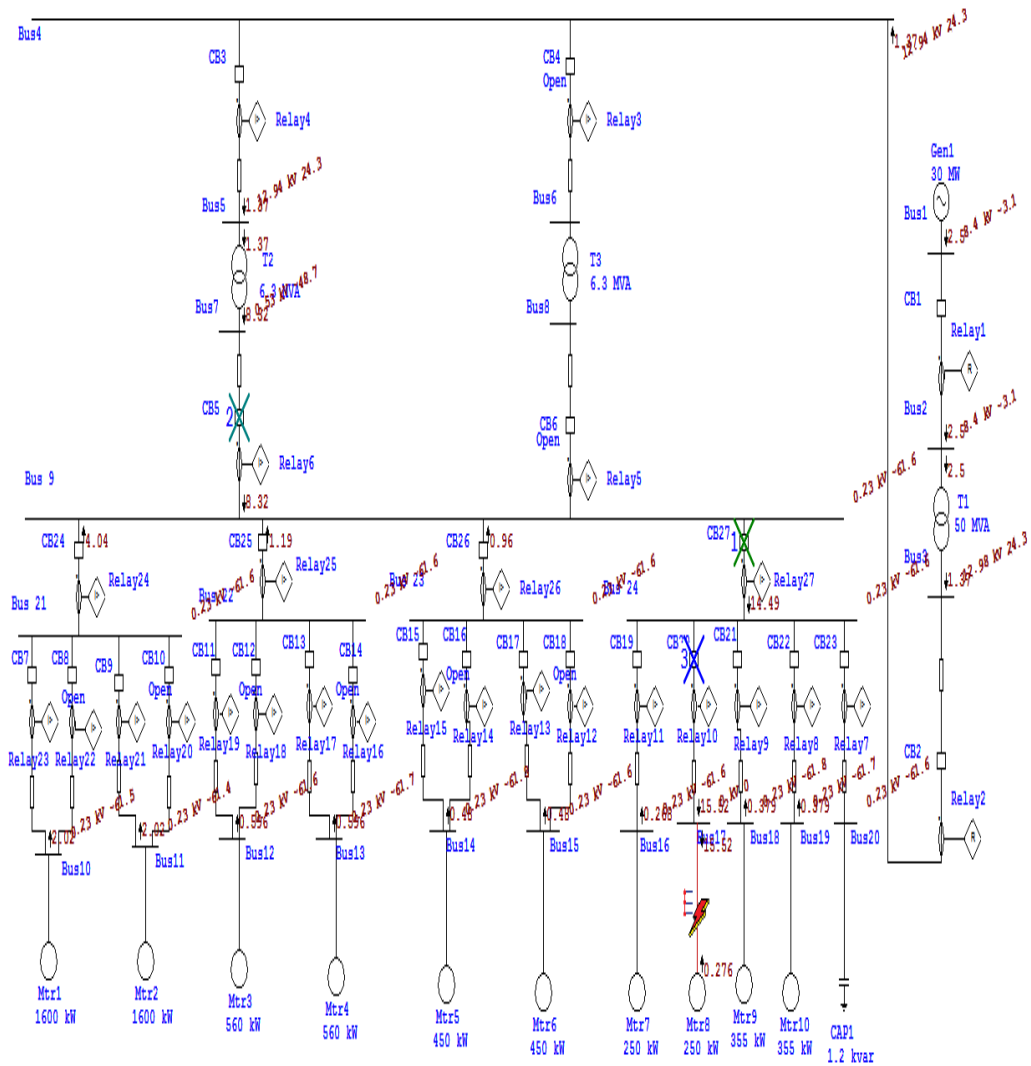


**Gambar 4.7** Kurva Koordinasi Kondisi Abnormal pada Motor 5

Pada kurva hasil pengamatan gambar 4.7, dapat dianalisa bahwa rele 26 bekerja pertama kali yang mengakibatkan pengaman pada beban motor 6 (*Primary Fan*) juga terpengaruh. Jika rele 26 bekerja pertama kali, maka secara otomatis beban motor 5 dan motor 6 akan berhenti bekerja. Urutan kerja rele yang seharusnya secara berurutan apabila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 5 (*Primary Fan*) adalah rele 15, 26 dan 6.

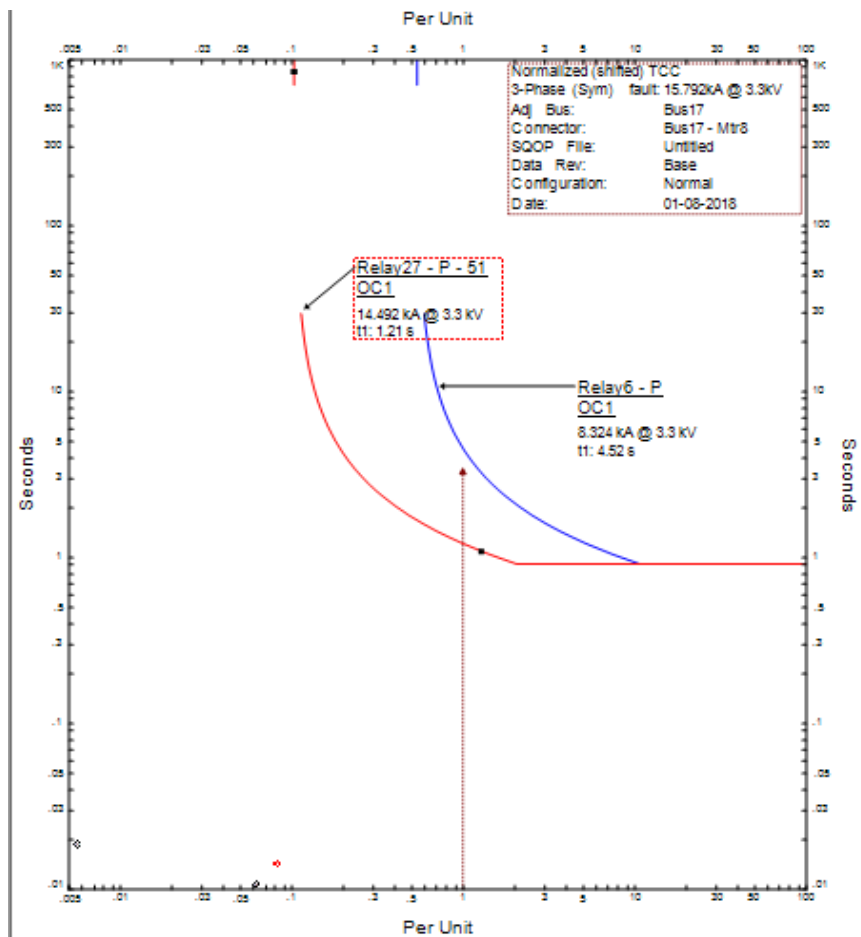
### 4.3.4 Gangguan pada Beban Motor 8 (*Secondary Fan*)

Berikut adalah simulasi gangguan pada beban motor 8.



**Gambar 4.8** Kondisi Abnormal pada Beban Motor 8

Dapat dilihat dari gambar 4.8, ketika pada *single line diagram* diberi gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 8 (*Secondary Fan*), maka kondisi rele yang bekerja secara berurutan adalah 27, 6 dan 10. Terlihat kondisi abnormal pada jaringan kelistrikan *plant* 1 dan kurangnya koordinasi pada sistem pengamanan rele OCR.



**Gambar 4.9** Kurva Kondisi Abnormal pada Motor 8

Pada kurva hasil pengamatan gambar 4.9, dapat dianalisa bahwa rele 27 bekerja pertama kali yang mengakibatkan pengaman pada beban motor 7 (*Secondary Fan*) serta beban motor 9 dan 10 (*Circulating*) juga terpengaruh. Jika rele 27 bekerja pertama kali, maka secara otomatis beban motor 7, 8, 9 dan 10 akan berhenti bekerja. Urutan kerja rele yang seharusnya secara berurutan apabila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 8 (*Secondary Fan*) adalah rele 10, 27 dan 6.



#### 4.4 Perhitungan Manual Setting Rele OCR

Perhitungan manual ini diperlukan untuk mensetting ulang (*resetting*) rele OCR yang terdapat pada jaringan, sehingga diharapkan luaran yakni koordinasi proteksi yang baik dan handal antar pengaman. Berikut ini adalah tahapan perhitungan untuk mendapatkan nilai setting rele yang terkoordinasi.

##### 4.4.1 Perhitungan Impedansi

1. Kabel

*Variable* yang dibutuhkan untuk menghitung impedansi kabel sudah disediakan pada tabel 4.2 dan 4.3. Berikut ini adalah contoh perhitungannya:

$$Z_{kabel1} = \sqrt{R^2 + jX^2}$$

$$Z_{kabel1} = \sqrt{(0,0639)^2 + (0,083)^2}$$

$$Z_{kabel1} = 0,104 \Omega/\text{km} \dots\dots\dots (4.1)$$

Impedansi diatas masih berupa nilai hambatan per kilometer. Untuk mendapatkan nilai impedansi kabel yang digunakan maka didapat :

$$Z_{kabel1} = 0,104 \Omega/\text{km} \times \text{Panjang kabel}$$

$$Z_{kabel1} = 0,104 \Omega/\text{km} \times \frac{108}{1000} \text{ km}$$

$$Z_{kabel1} = 0,011 \Omega \dots\dots\dots (4.2)$$

0,011  $\Omega$  adalah nilai impedansi yang ada pada kabel 1. Dengan cara perhitungan yang sama maka nilai impedansi setiap kabel dipresentasikan dengan tabel dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Impedansi Kabel

Nama Kabel	Penampang Nominal (mm)	Impedansi ( $\Omega/\text{km}$ )	Panjang Kabel (m)	Impedansi Kabel ( $\Omega$ )
Kabel 1	400	0,104	108	0,011
Kabel 2	95	0,266	61	0,0042
Kabel 3	95	0,266	14	0,0037
Kabel 4	240	0,132	552	0,072
Kabel 5	240	0,132	606	0,07
Kabel 6	185	0,157	18	0,0028
Kabel 7	185	0,157	40	0,0062
Kabel 8	185	0,157	40	0,0062
Kabel 9	95	0,266	128	0,034
Kabel 10	95	0,266	23	0,0061
Kabel 11	70	0,358	70	0,025
Kabel 12	95	0,266	65	0,017
Kabel 13	95	0,266	128	0,034
Kabel 14	70	0,358	70	0,025
Kabel 15	95	0,266	50	0,0399
Kabel 16	95	0,266	23	0,0061
Kabel 17	70	0,358	60	0,021
Kabel 18	95	0,266	65	0,017
Kabel 19	95	0,266	102	0,027
Kabel 20	70	0,358	98	0,035
Kabel 21	95	0,266	115	0,03
Kabel 22	95	0,266	50	0,0133

2. Transformator

Impedansi tranformator dapat diperoleh dari perhitungan *variable* yang telah disediakan pada data transformator bagian 4.2.2. Berikut adalah cara perhitungannya :

- Transformator 11/20 KV

$$Z_{trafo\ 11/20\ KV} = Z\% \times \frac{V_p^2}{P}$$

$$Z_{trafo\ 11/20\ KV} = 20,283\% \times \frac{11^2}{50}$$

$$Z_{trafo\ 11/20\ KV} = 0,49\ \Omega \dots\dots\dots (4.3)$$

- Transformator 20/3,3 KV

$$Z_{trafo\ 20/3,3\ KV} = 11,812\% \times \frac{20^2}{6,3}$$

$$Z_{trafo\ 20/3,3\ KV} = 7,49\ \Omega \dots\dots\dots (4.4)$$

3. Sumber

Pada sisi sumber juga terdapat nilai impedansi. Untuk *variable* yang dibutuhkan dapat dilihat pada data sumber listrik bagian 4.2.3. Berikut adalah rumus yang dapat menentukan besaran nilainya :

$$X_g = \% X''_d \times \frac{V^2}{MVA}$$

$$X_g = 0,19 \times \frac{11000^2}{37,5 \times 10^6}$$

$$X_g = j\ 0,613 \dots\dots\dots (4.5)$$

$$R = \frac{Xg}{X/R}$$

$$R = \frac{0,613}{14,29}$$

$$R = 0,0428 \Omega \dots\dots\dots (4.6)$$

$$Z = \sqrt{jX^2 + R^2}$$

$$Z = \sqrt{(0,613)^2 + (0,0428)^2}$$

$$Z_{generator} = 0, 6145 \Omega \dots\dots\dots (4.7)$$

#### 4.4.2 Perhitungan Arus Nominal

Arus nominal adalah banyaknya jumlah maksimum arus normal yang dapat diterima oleh sebuah motor. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mendapatkan arus nominal:

$$Inom \text{ Motor 2 (Feed Water Pump)} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{eff} \cdot \text{pf}}$$

$$Inom \text{ Motor 2 (Feed Water Pump)} = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 3,3 \cdot 10^3 \times 92\% \times 94\%}$$

$$Inom \text{ Motor 2 (Feed Water Pump)} = 323,23 \text{ A} \dots\dots\dots (4.8)$$

Jadi nilai arus beban penuh pada motor *feed water pump* adalah 323,23 A. Untuk perhitungan beban lainnya menggunakan cara yang sama seperti diatas. Berikut adalah hasil rekap perhitungan keseluruhan arus nominal untuk setiap beban per jalur CB.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Arus Nominal

No	Nomor CB	Tegangan Kerja	Arus Nominal (FLA)
		KV	A
1	CB 1	11	2624,39
2	CB 2	20	1443,42
3	CB 3	20	181,87
4	CB 4	20	181,88
5	CB 5	3,3	1102,36
6	CB 6	3,3	1102,37
7	CB 7	3,3	323,23
8	CB 8	3,3	-
9	CB 9	3,3	323,63
10	CB 10	3,3	-
11	CB 11	3,3	137,25
12	CB 12	3,3	-
13	CB 13	3,3	153,42
14	CB 14	3,3	-
15	CB 15	3,3	127,84
16	CB 16	3,3	-
17	CB 17	3,3	127,84
18	CB 18	3,3	-
19	CB 19	3,3	90,9
20	CB 20	3,3	82,78
21	CB 21	3,3	71,86
22	CB 22	3,3	71,86
23	CB 23	3,3	-
24	CB 24	3,3	646,46

Lanjutan Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Arus Nominal

25	CB 25	3,3	290,67
26	CB 26	3,3	255,68
27	CB 27	3,3	317,4

#### 4.4.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Untuk menghitung nilai arus hubung singkat pada setiap bus jaringan, perlu diketahui nilai impedansi kabel, impedansi trafo dan impedansi sumber yang sebelumnya sudah dihitung pada bagian 4.4.1, jika semua *variable* yang diperlukan sudah terpenuhi, maka cara perhitungannya adalah :

$$I_{sc} \text{ Bus 4 Primer} = \frac{V_p}{\sqrt{3} \times (\Sigma Z_{kabel} + Z_{trafo} + Z_{sumber})}$$

$$I_{sc} \text{ Bus 4 Primer} = \frac{11000}{\sqrt{3} (0,49 + 0,11 + 0,6145)}$$

$$I_{sc} \text{ Bus 4 Primer} = 6013,083 \text{ A} \dots \dots \dots (4.9)$$

$$I_{sc} \text{ Bus 4 Sekunder} = I_{sc} (\text{primer}) \times \frac{V_p}{V_s}$$

$$I_{sc} \text{ Bus 4 Sekunder} = 6013,083 \times \frac{11}{20}$$

$$I_{sc} \text{ Bus 4 Sekunder} = 3307,195 \text{ A} \dots \dots \dots (4.10)$$

Untuk nilai arus hubung singkat bus lainnya, memiliki metode perhitungan yang sama. Berikut adalah hasil perhitungan manualnya :

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Bus

No	Bagian	Arus <i>Short Circuit</i>	
		Sisi Primer (A)	Sisi Sekunder (A)
1	Bus 1	10335,12	-
2	Bus 2	10335,12	-
3	Bus 3	5749,98	3162,48
4	Bus 4	5693,58	3131,47
5	Bus 5	5729,17	3151,04
6	Bus 7	1341,2	8128,48
7	Bus 9	1330,05	8060,9
8	Bus 21	1330,05	8060,9
9	Bus 22	1330,05	8060,9
10	Bus 23	1330,05	8060,9
11	Bus 24	1330,05	8060,9

#### 4.4.4 Perhitungan Arus *Pick Up Lowset Rele*

Untuk menghitung nilai *lowset* rele yaitu dengan cara nilai arus nominal yang melewati jalur di setiap CB. Untuk *variable* yang dibutuhkan tersedia pada tabel 4.4 dan tabel 4.6. Dibawah ini adalah contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai *lowset* pada rele OCR.

$$\begin{aligned}
 \text{Iset CB 9 (Primer)} &= 1,2 \times \text{Inominal} \\
 &= 1,2 \times 363,63 \text{ A} \\
 &= 436,356 \text{ A} \dots\dots\dots (4.11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Iset CB 9 (Sekunder)} &= \text{Iset CB 9 (primer)} \times \frac{1}{r_{CT}} \\
&= 436,356 \text{ A} \times \frac{5}{500} \\
&= 4,36 \text{ A} \approx 4,5 \text{ A} \dots \dots \dots (4.12)
\end{aligned}$$

Jadi nilai yang akan dimasukkan pada rele yang baru adalah nilai Iset sekunder, sehingga pada CB 9 memiliki nilai arus *pickup lowset* sebesar 4,5 A. Untuk mendapatkan nilai arus *pickup lowset* CB lainnya menggunakan cara perhitungan yang sama. Berikut adalah hasil perhitungan yang sudah direkap :

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Arus *Pickup* Rele

No	Nomor CB	Arus <i>Pick Up</i>		
		Primer (A)	Sekunder (A)	Terpakai (A)
1	CB 1	3149,27	5,24	5,3
2	CB 2	1732,1	2,88	3
3	CB 3	218,24	3,63	3,7
4	CB 4	218,24	3,63	3,7
5	CB 5	1332,83	4,41	5
6	CB 6	1332,83	4,41	5
7	CB 7	436,35	4,36	4,5
8	CB 8	-	-	-
9	CB 9	436,35	4,36	4,5
10	CB 10	-	-	-
11	CB 11	164,7	4,11	4,2
12	CB 12	-	-	-
13	CB 13	184,1	4,6	4,6
14	CB 14	-	-	-
15	CB 15	153,41	5,11	5,2



Lanjutan Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Arus *Pickup Lowset* Rele

16	CB 16	-	-	-
17	CB 17	153,41	5,11	5,2
18	CB 18	-	-	-
19	CB 19	109,08	3,63	3,7
20	CB 20	99,34	4,96	5
21	CB 21	86,23	2,87	5
22	CB 22	86,23	2,87	5
23	CB 23	-	-	-
24	CB 24	775,75	4,8	4,8
25	CB 25	348,804	4,4	4,5
26	CB 26	306,816	4,38	4,5
27	CB 27	380,88	3,8	3,8

#### 4.4.5 Perhitungan *Time Dial* (TMS) Rele

Dalam menentukan nilai TMS dapat diketahui dengan cara memasukkan nilai arus hubung singkat yang ada pada tabel 4.7 dan arus *setting* primer yang ada pada tabel 4.8. Selain itu, dalam menentukan nilai TMS juga harus diketahui karakteristik jenis rele yang digunakan, karena setiap rele memiliki karakteristik yang berbeda namun dengan metode yang sama. Untuk nilai konstanta  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dilihat pada tabel 2.1. Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai TMS rele *standar invers*.

$$\text{TMS CB 9} = \frac{t \times \left[ \left[ \frac{I_{sc} \text{ Bus 21}}{I_{set} (\text{CB 9 primer})} \right]^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

$$\text{TMS CB 9} = \frac{0,1 \times \left[ \left[ \frac{7219,28}{436,356} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TMS CB 9} = 0,043 \approx 0,05 \text{ (tanpa satuan) ..... (4.13)}$$

CB 9 merupakan sistem pengamanan utama pada beban motor 2 (*feed water pump*) sehingga diberikan waktu tunda sebesar 0,1 sebagai waktu awal *grading time*. *Grading time* antar rele pada *feeder* yang sama sesuai dengan standar IEEE Std 242-2001 adalah sebesar 0,2-0,4 detik , sehingga rele pengamanan *backup* nya menjadi 0,1 + 0,4 = 0,5, Nilai 0,5 ini akan menjadi nilai t pada CB 24, sehingga perhitungannya akan menjadi sebagai berikut :

$$\text{TMS CB 24} = \frac{t \times \left[ \left[ \frac{I_{sc} \text{ Bus 9}}{I_{set} (\text{CB 24 primer})} \right]^{\alpha} - 1 \right]}{\beta}$$

$$\text{TMS CB 24} = \frac{0,5 \times \left[ \left[ \frac{7219,28}{872,712} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TMS CB 24} = 0,178 \approx 0,2 \text{ (tanpa satuan) ..... (4.14)}$$

Dengan metode yang sama, nilai TMS setiap CB didapat. Selanjutnya nilai tersebut akan dimasukkan kedalam nilai simulasi pada ETAP 12.6. Berikut hasil perhitungan nilai TMS tiap CB yang telah direkap :

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan TMS Rele

No	Nomor CB	Grading Time	TMS	
			Terhitung	Terpakai
1	CB 1	1,55	0,28	0,3
2	CB 2	1,25	0,31	0,3
3	CB 3	0,9	0,34	0,3
4	CB 4	0,9	0,19	0,2
5	CB 5	0,7	0,17	0,2
6	CB 6	0,7	0,18	0,2

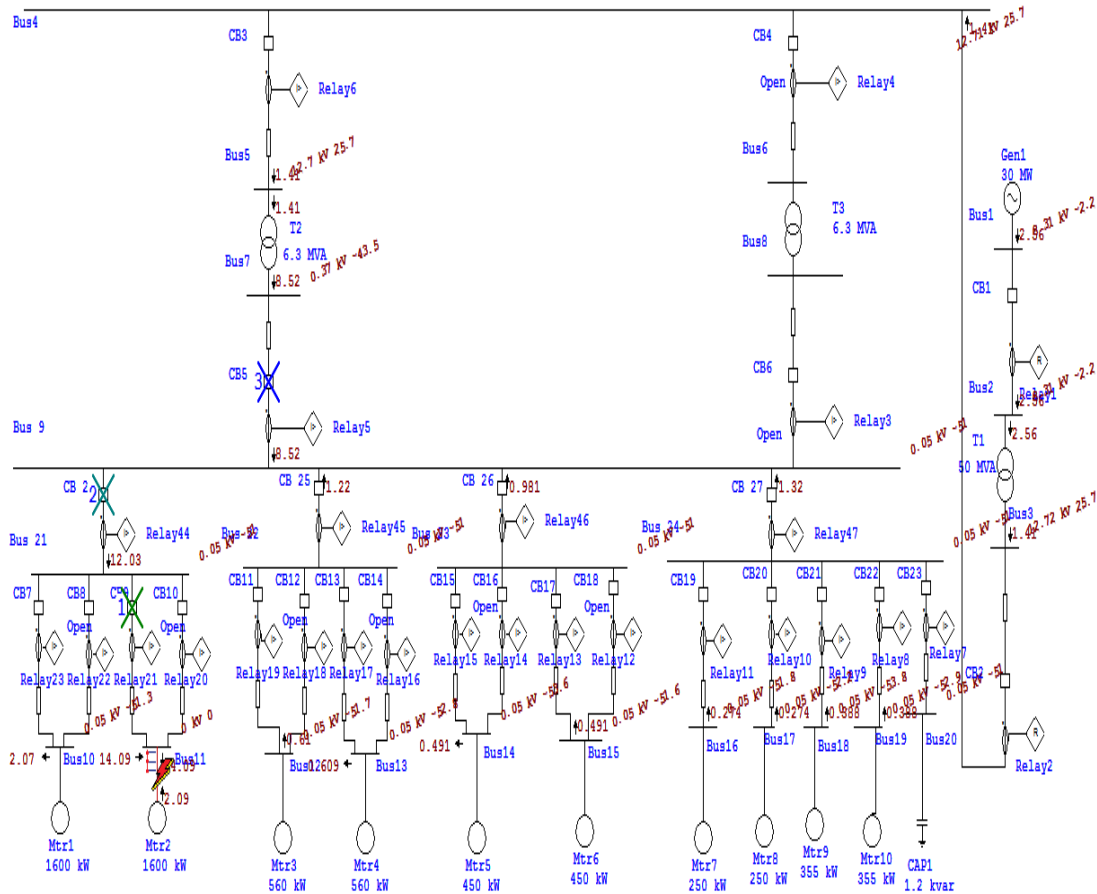
Lanjutan Tabel 4.9 Hasil Perhitungan TMS Rele

7	CB 7	0,1	0,043	0,05
8	CB 8	-	-	-
9	CB 9	0,1	0,043	0,05
10	CB 10	-	-	-
11	CB 11	0,1	0,064	0,07
12	CB 12	-	-	-
13	CB 13	0,1	0,064	0,07
14	CB 14	-	-	-
15	CB 15	0,1	0,064	0,07
16	CB 16	-	-	-
17	CB 17	0,1	0,064	0,07
18	CB 18	-	-	-
19	CB 19	0,1	0,07	0,07
20	CB 20	0,1	0,07	0,07
21	CB 21	0,1	0,07	0,07
22	CB 22	0,1	0,07	0,07
23	CB 23	-	-	-
24	CB 24	0,5	0,178	0,2
25	CB 25	0,5	0,25	0,3
26	CB 26	0,5	0,25	0,3
27	CB 27	0,5	0,25	0,3

#### 4.5 Unjuk Kerja Sistem Pengaman OCR Setelah *Resetting*

Setelah data yang didapat telah diolah sedemikian rupa, sehingga dihasilkan nilai-nilai *settingan* rele OCR yang baru dan siap disimulasikan. Berikut ini adalah contoh simulasi dari hasil *resetting*.

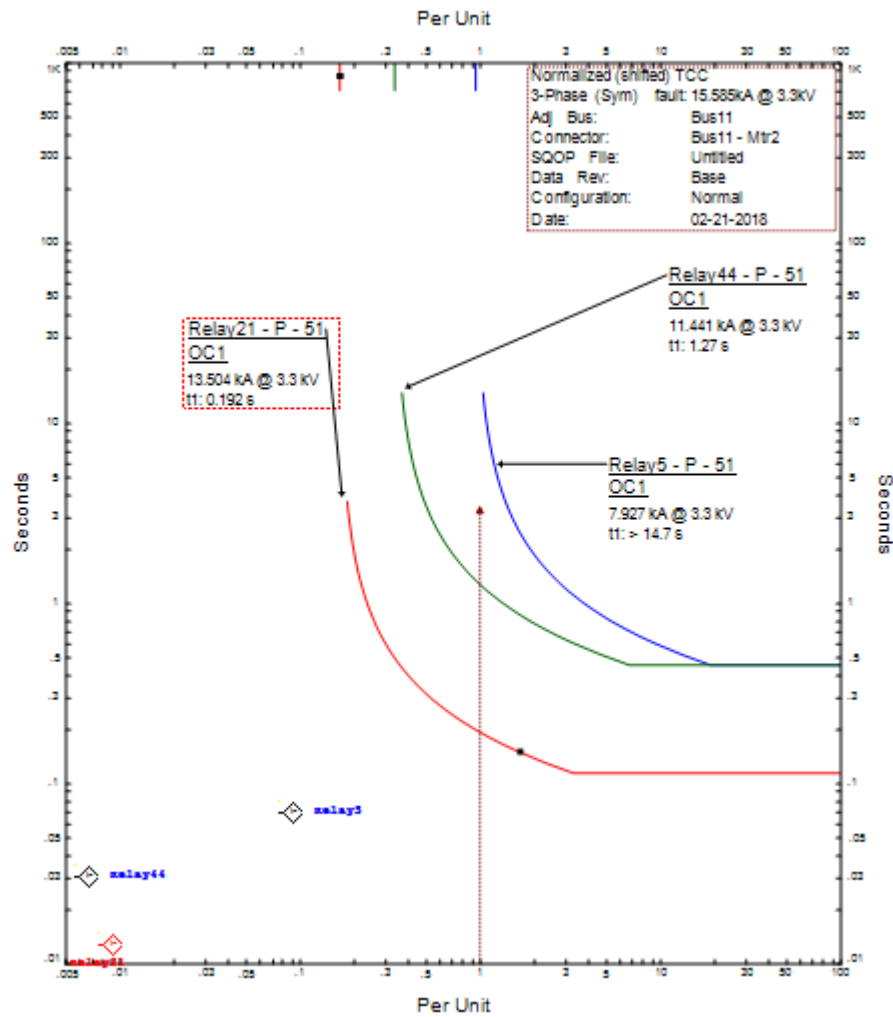
#### 4.5.1 Gangguan pada Beban Motor 2 Setelah *Resetting* (*Feed Water Pump*)



**Gambar 4.10** Kondisi abnormal pada motor 2 Setelah *Resetting* (*feed water pump*)

Dilihat dari gambar 4.10, ketika pada *single line diagram* diberikan gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 2 (*feed water pump*), maka urutan rele yang bekerja yakni rele 21, rele 44 dan rele 5. PMT yang akan memutus pertama kali sebagai pengaman utama adalah CB 9. Kemudian jika CB 9 tidak dapat bekerja, maka sebagai *back up* pengamannya adalah CB 24. Apabila CB 24 bekerja, maka beban motor 1 (*feed water pump*) tidak akan bekerja. Jika CB 24 ternyata juga mengalami gangguan, maka CB 5 akan bekerja. Dampak jika CB 5 yang bekerja, maka seluruh beban motor pada zona tegangan 20/3,3 KV akan terputus.

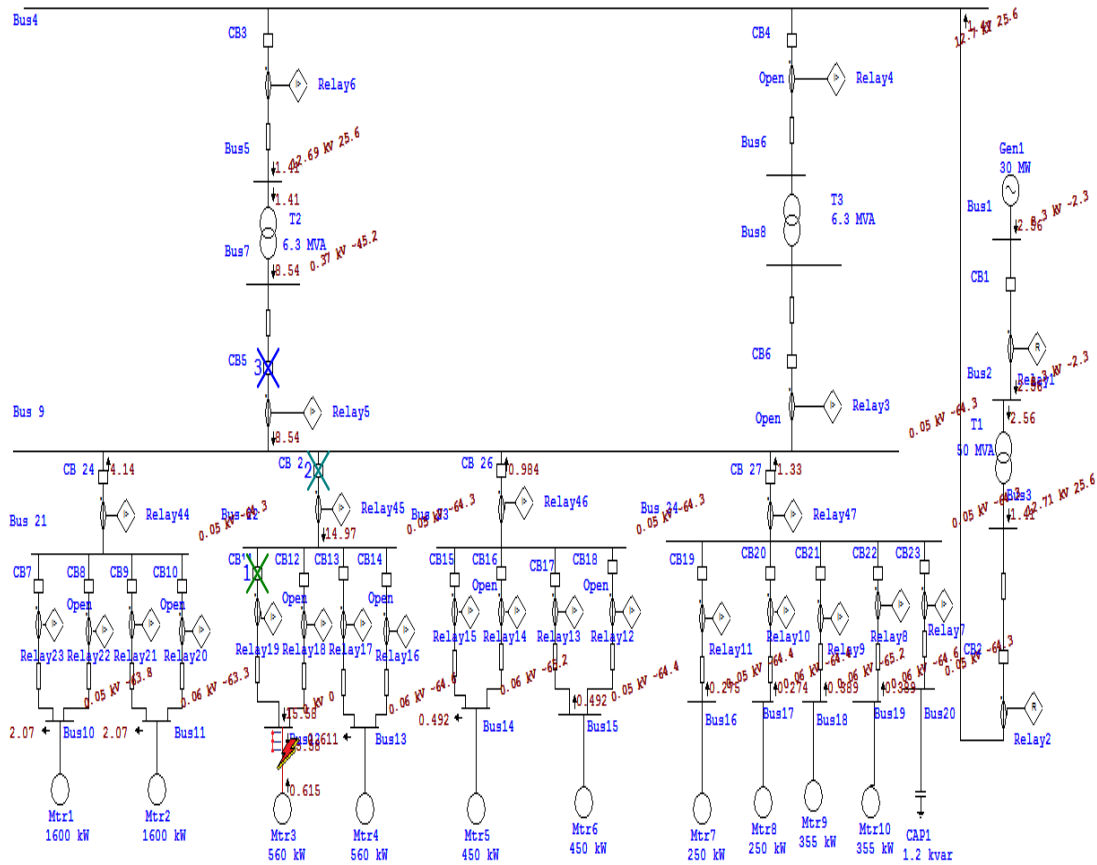
Sebagai *backup* apabila jaringan trafo 2 tidak bekerja, maka trafo 3 akan langsung bekerja agar sistem jaringan dapat bekerja kembali dengan normal.



**Gambar 4.11** Kurva koordinasi abnormal pada beban motor 2 Setelah *Resetting* (*feed water pump*)

Dapat dianalisa pada gambar kurva 4.11 bahwa tidak terjadi perpotongan atau bersinggungan diantara ketiga rele tersebut. Hal ini membuktikan bahwa hasil perhitungan *resetting* yang telah dilakukan mampu membuat sistem pengamanan antar rele terkoordinasi dengan baik dan gangguan dapat diperbaiki.

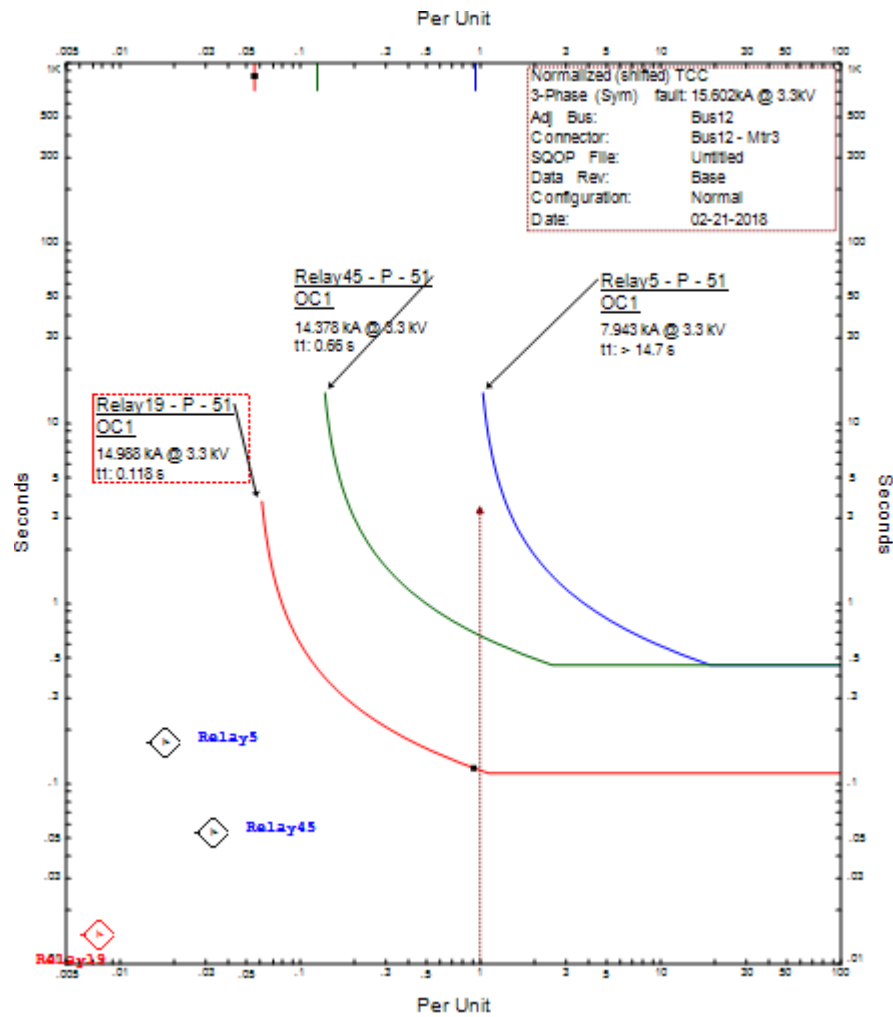
#### 4.5.2 Gangguan pada Beban Motor 3 Setelah *Resetting* (*ID Fan*)



**Gambar 4.12** Kondisi abnormal pada motor 3 Setelah *Resetting* (*ID Fan*)

Dilihat dari gambar 4.12, ketika pada *single line diagram* diberikan gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 3 (*ID Fan*), maka urutan rele yang bekerja yakni rele 19, rele 45 dan rele 5. PMT yang akan memutus pertama kali sebagai pengaman utama adalah CB 11. Kemudian jika CB 11 tidak dapat bekerja, maka sebagai *back up* pengamannya adalah CB 25. Apabila CB 25 bekerja, maka beban motor 4 (*ID Fan*) tidak akan bekerja. Jika CB 25 ternyata juga mengalami gangguan, maka CB 5 akan bekerja. Dampak jika CB 5 yang bekerja, maka seluruh beban motor pada zona tegangan 20/3,3 KV akan terputus.

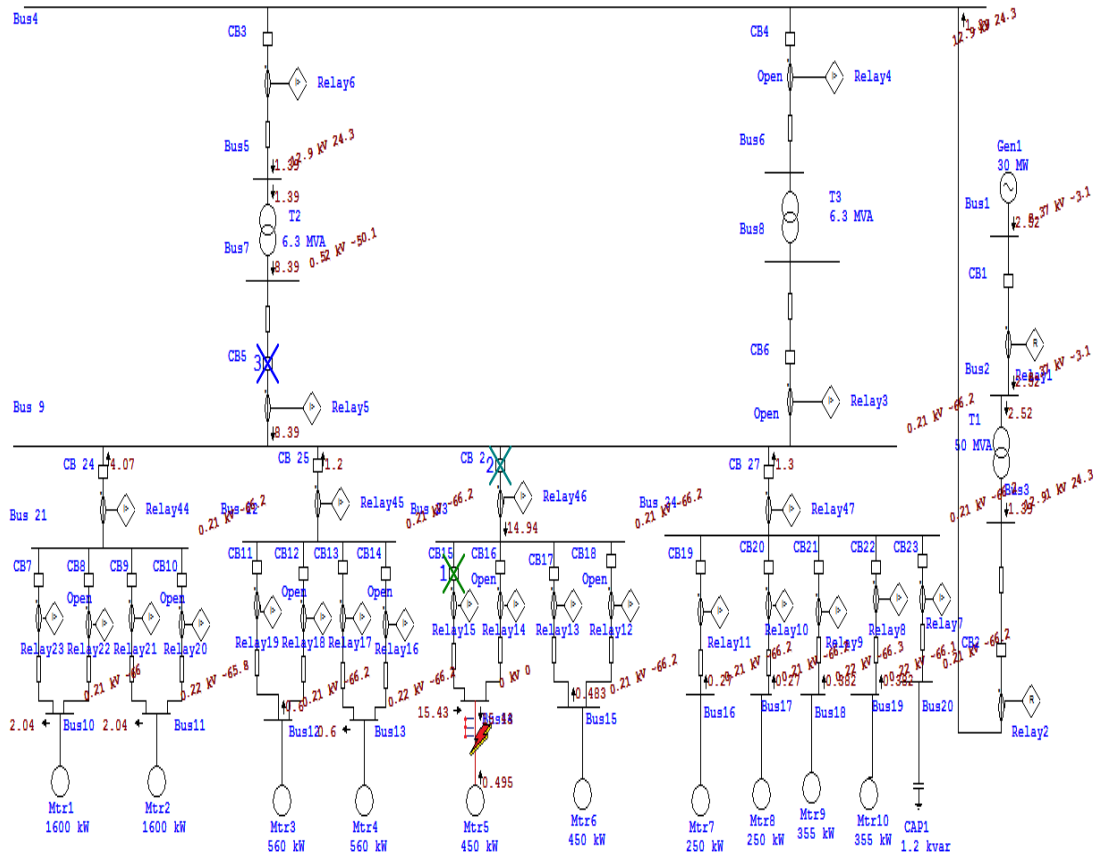
Sebagai *backup* apabila jaringan trafo 2 tidak bekerja, maka trafo 3 akan langsung bekerja agar sistem jaringan dapat bekerja kembali dengan normal.



**Gambar 4.13** Kurva koordinasi abnormal pada beban motor 3 Setelah *Resetting* (*IDFan*)

Dapat dianalisa pada gambar kurva 4.13 bahwa tidak terjadi perpotongan atau bersinggungan diantara ketiga rele tersebut. Hal ini membuktikan bahwa hasil perhitungan *resetting* yang telah dilakukan mampu membuat sistem pengamanan antar rele terkoordinasi dengan baik dan gangguan dapat diperbaiki.

### 4.5.3 Gangguan pada Beban Motor 5 Setelah *Resetting* (*Primary Fan*)



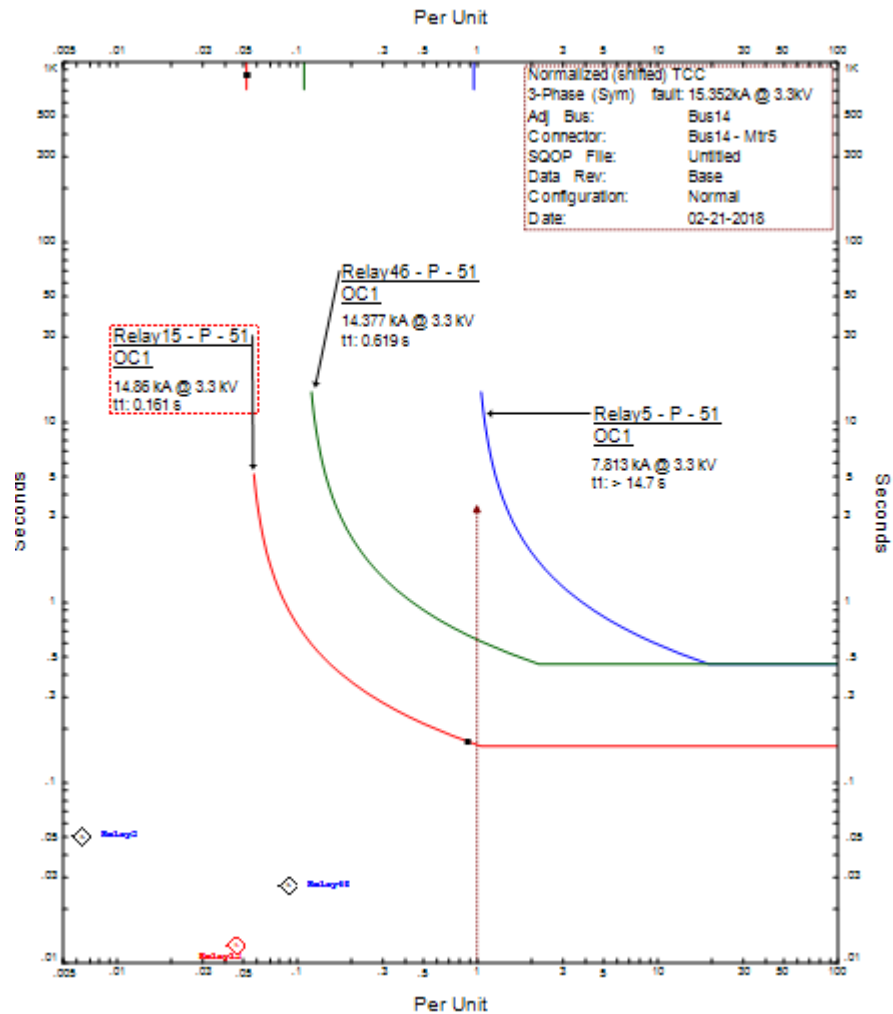
**Gambar 4.14** Kondisi abnormal pada beban motor 5 Setelah *Resetting* (*Primary Fan*)

Dilihat dari gambar 4.14, ketika pada *single line diagram* diberikan gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 5 (*Primary Fan*), maka urutan rele yang bekerja yakni rele 15, rele 46 dan rele 5. PMT yang akan memutus pertama kali sebagai pengaman utama adalah CB 15. Kemudian jika CB 15 tidak dapat bekerja, maka sebagai *back up* pengamannya adalah CB 26. Apabila CB 26 bekerja, maka beban motor 6 (*Primary Fan*) tidak akan bekerja. Jika CB 26 ternyata juga



mengalami gangguan, maka CB 5 akan bekerja. Dampak jika CB 5 yang bekerja, maka seluruh beban motor pada zona tegangan 20/3,3 KV akan terputus.

Sebagai *backup* apabila jaringan trafo 2 tidak bekerja, maka trafo 3 akan langsung bekerja agar sistem jaringan dapat bekerja kembali dengan normal.

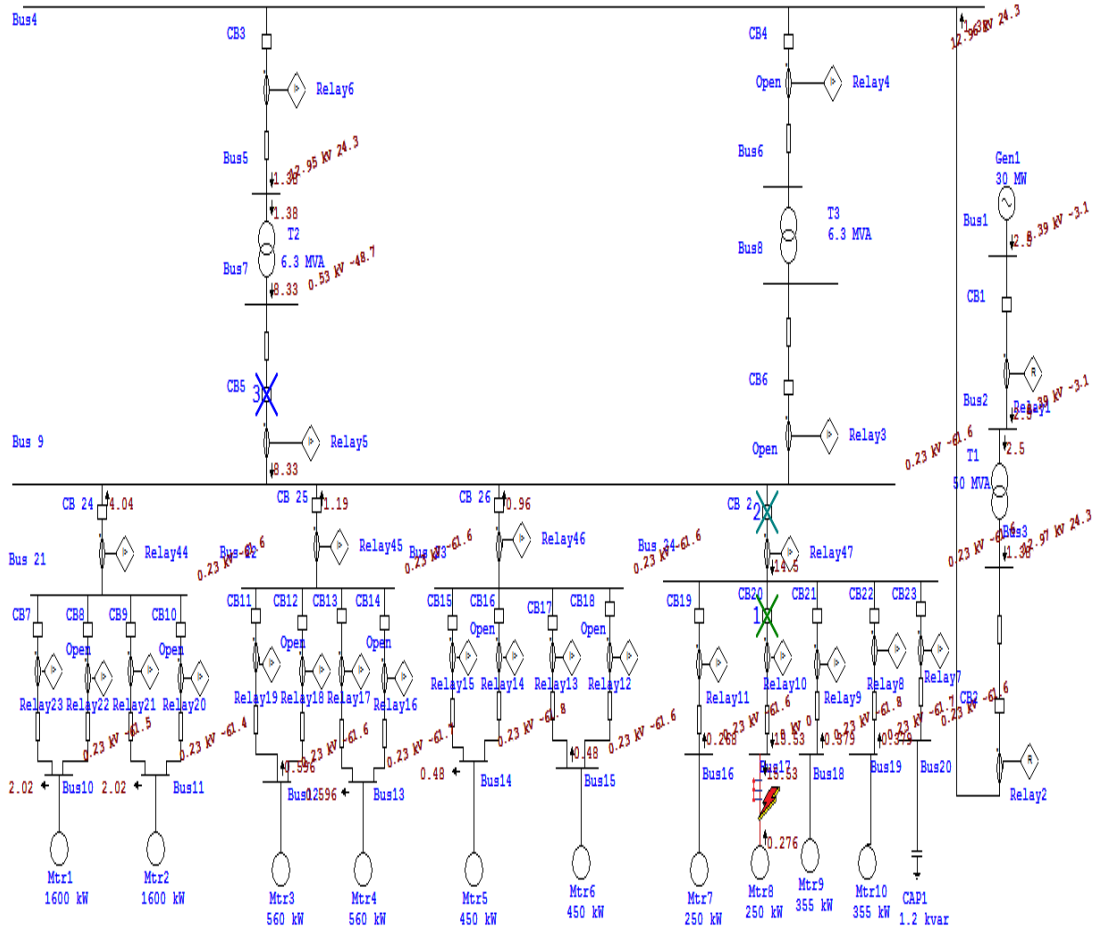


**Gambar 4.15** Kurva koordinasi abnormal pada beban motor 5 Setelah *Resetting* (*Primary Fan*)

Dapat dianalisa pada gambar kurva 4.15 bahwa tidak terjadi perpotongan atau bersinggungan diantara ketiga rele tersebut. Hal ini membuktikan bahwa hasil

perhitungan *resetting* yang telah dilakukan mampu membuat sistem pengamanan antar rele terkoordinasi dengan baik dan gangguan dapat diperbaiki.

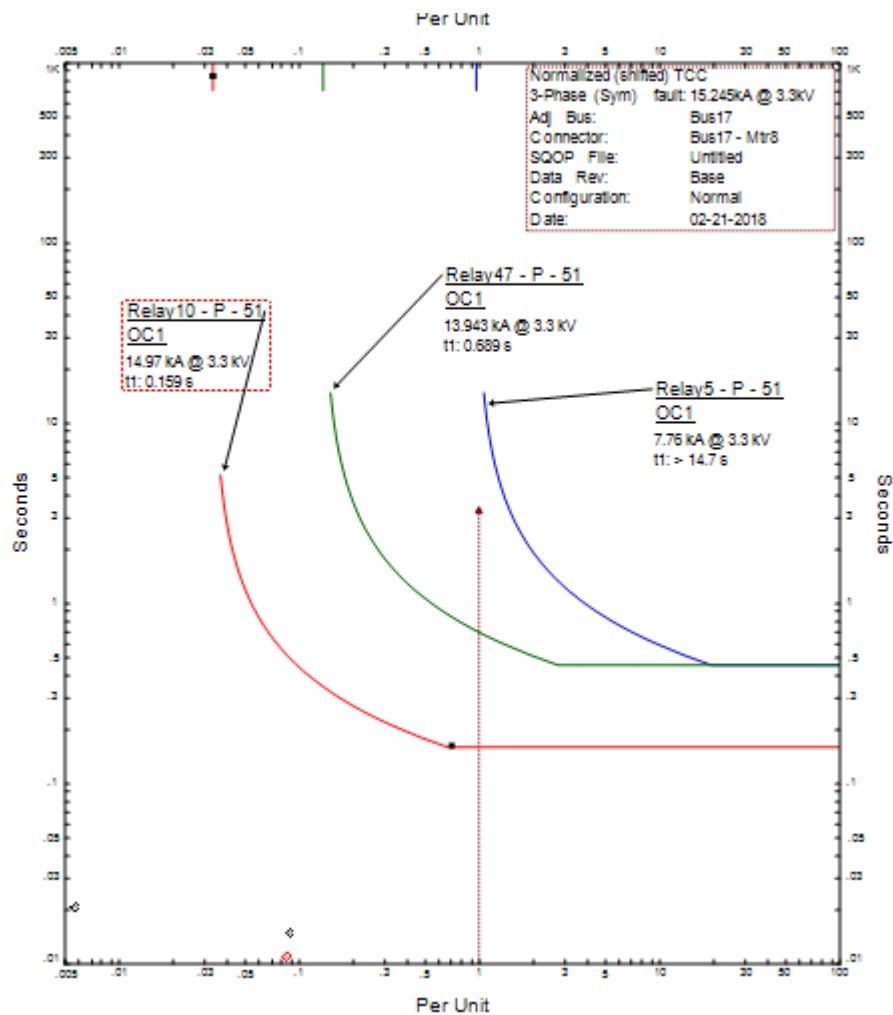
#### 4.5.4 `Gangguan pada Beban Motor 8 Setelah *Resetting* (*Secondary Fan*)



**Gambar 4.16** Kondisi abnormal pada beban motor 8 Setelah *Resetting* (*Secondary Fan*)

Dilihat dari gambar 4.16, ketika pada *single line diagram* diberikan gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban motor 5 (*Secondary Fan*), maka urutan rele yang bekerja yakni rele 10, rele 47 dan rele 5. PMT yang akan memutus pertama kali sebagai pengaman utama adalah CB 20. Kemudian jika CB 20 tidak dapat bekerja,

maka sebagai *back up* pengamannya adalah CB 27. Apabila CB 27 bekerja, maka beban motor 7 (*Secondary Fan*), motor 9 dan motor 10 (*Circulating*) tidak akan bekerja. Jika CB 27 ternyata juga mengalami gangguan, maka CB 5 akan bekerja. Dampak jika CB 5 yang bekerja, maka seluruh beban motor pada zona tegangan 20/3,3 KV akan terputus. Sebagai *backup* apabila jaringan trafo 2 tidak bekerja, maka trafo 3 akan langsung bekerja agar sistem jaringan dapat bekerja kembali dengan normal.



**Gambar 4.17** Kurva koordinasi abnormal pada beban motor 8 Setelah *Resetting* (*Secondary Fan*)

Dapat dianalisa pada gambar kurva 4.17 bahwa tidak terjadi perpotongan atau bersinggungan diantara ketiga rele tersebut. Hal ini membuktikan bahwa hasil perhitungan *resetting* yang telah dilakukan mampu membuat sistem pengamanan antar rele terkoordinasi dengan baik dan gangguan dapat diperbaiki.

#### 4.6 Perbandingan Perhitungan Manual Dengan *Software* ETAP

Untuk memudahkan dalam melakukan pengamatan, maka dapat dilakukan membandingkan hasil nilai perhitungan manual dengan nilai yang tertera pada *software* ETAP.

##### 4.6.1 Selisih Antara Arus Hubung Singkat Hasil Perhitungan Manual Dengan Arus Hubung Singkat Hasil Simulasi *Software* ETAP

Perbandingan dilakukan untuk memudahkan pengamatan. Nilai selisih ditunjukkan dalam bentuk persen. Perhitungan selisih dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$\% \text{Selisih} = \frac{\text{Hasil simulasi ETAP} - \text{Hasil perhitungan manual}}{\text{Hasil simulasi ETAP}} \times 100\%$$

$$\% \text{Selisih Bus 7} = \frac{8545}{8128,48} \times 100\%$$

$$\% \text{Selisih Bus 9} = 4,87\% \dots\dots\dots (4.14)$$

Dengan metode yang sama, nilai selisih antara arus hubung singkat perhitungan manual dengan arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP didapat. Berikut hasil nilai selisihnya:

Tabel 4.10 Selisih Antara Arus Hubung Singkat Perhitungan Manual Dengan Arus Hubung Singkat Hasil Simulasi *Software* ETAP

No	Letak Arus Hubung Singkat	Perhitungan Manual (A)	Simulasi <i>Software</i> ETAP (A)	Selisih (%)
1	BUS 1	10335	10345	0,09
2	BUS 2	10335	10345	0,09
3	BUS 3	3162,49	3165	0,08
4	BUS 4	3131,47	3165	1,06
5	BUS 5	3151,04	3165	0,44
6	BUS 7	8128,48	8545	4,87
7	BUS 9	8060,9	7995	0,82
8	BUS 21	8060,9	7995	0,82
9	BUS 22	8060,9	7995	0,82
10	BUS 23	8060,9	7995	0,82
11	BUS 24	8060,9	7995	0,82
Rata-Rata				0,97

Dari tabel 4.10 dapat diamati bahwa rata-rata arus hubung singkat 3 fasa adalah sebesar 0,97%. Perbedaan antara perhitungan manual dengan *software* ETAP, dikarenakan perhitungan menggunakan simulasi *software* ETAP lebih mendetail dan akurat dibanding dengan perhitungan manual karena *software* ETAP sudah diakui berstandar internasional.