

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Yang Diperoleh

Pada penelitian ini digunakan data dari Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik guna menunjang analisis dan *resetting* rele arus lebih yang terpasang untuk dilakukan perbaikan. Berikut merupakan beberapa data yang diperoleh

4.1.1 Data Kabel

Data kabel ini diperoleh dari data perusahaan PT Petrokimia Gresik unit INT IPP.

Tabel 4.1 Data Kabel

No	Nama	Isolasi	Luas Penampang (mm ²)	Impedansi (Ω)	Panjang (m)
1	CAT21	XLPE	70	0,343+j0,108	55
2	CAT2	XLPE	150	0,159+j0,0909	55
3	CLVT1	XLPE	50	0,494+j0,108	55
4	CLVT2	XLPE	50	0,494+j0,108	55
5	CMV1	XLPE	50	0,494+j0,108	320
6	CMV2	XLPE	50	0,494+j0,108	220
7	CMV3	XLPE	50	0,494+j0,108	220
8	CMV4	XLPE	50	0,494+j0,108	130

4.1.2 Data Beban

Berikut merupakan data beban yang digunakan pada unit INT IPP PT Petrokimia Gresik:

Tabel 4.2 Data Beban

No	Nama	Daya	Satuan	Tegangan	Effisiensi	Faktor Daya
1	Emmergency Load	701	kVA	400V	-	0,85
2	LV1	112	kVA	400V	-	0,85
3	LV2	680	kVA	400V	-	0,85
4	BFP HRSG	225	kW	6000V	92,96%	0,92
5	BFP PB	375	kW	6000V	93,22%	0,92
6	FD FAN	315	kW	6000V	93,13%	0,92
7	GT CRANKING	450	kW	6000V	90,00%	0,90

4.1.3 Data Transformator

Berikut merupakan data transformator yang digunakan pada PT. Petrokimia Gresik:

Tabel 4.3 Data Transformator

No	Nama	Kapasitas Daya (MVA)	Tegangan Primer (V)	Tegangan Sekunder (V)	Frekuensi (Hz)	Impedansi (%)
1	AUT	3,5	11000	6000	50	11
2	LV1	1,25	6000	400	50	5
3	LV2	1,25	6000	400	50	5

4.1.4 Data Generator

Unit INT IPP menggunakan gas turbine generator dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tegangan	= 11000V	X''d	= 17,5%
I _n	= 1655 A	Cosφ	= 0,85
Kapasitas daya	= 26,8 MW	Effisiensi	= 95%

4.1.5 Data Setting Rele

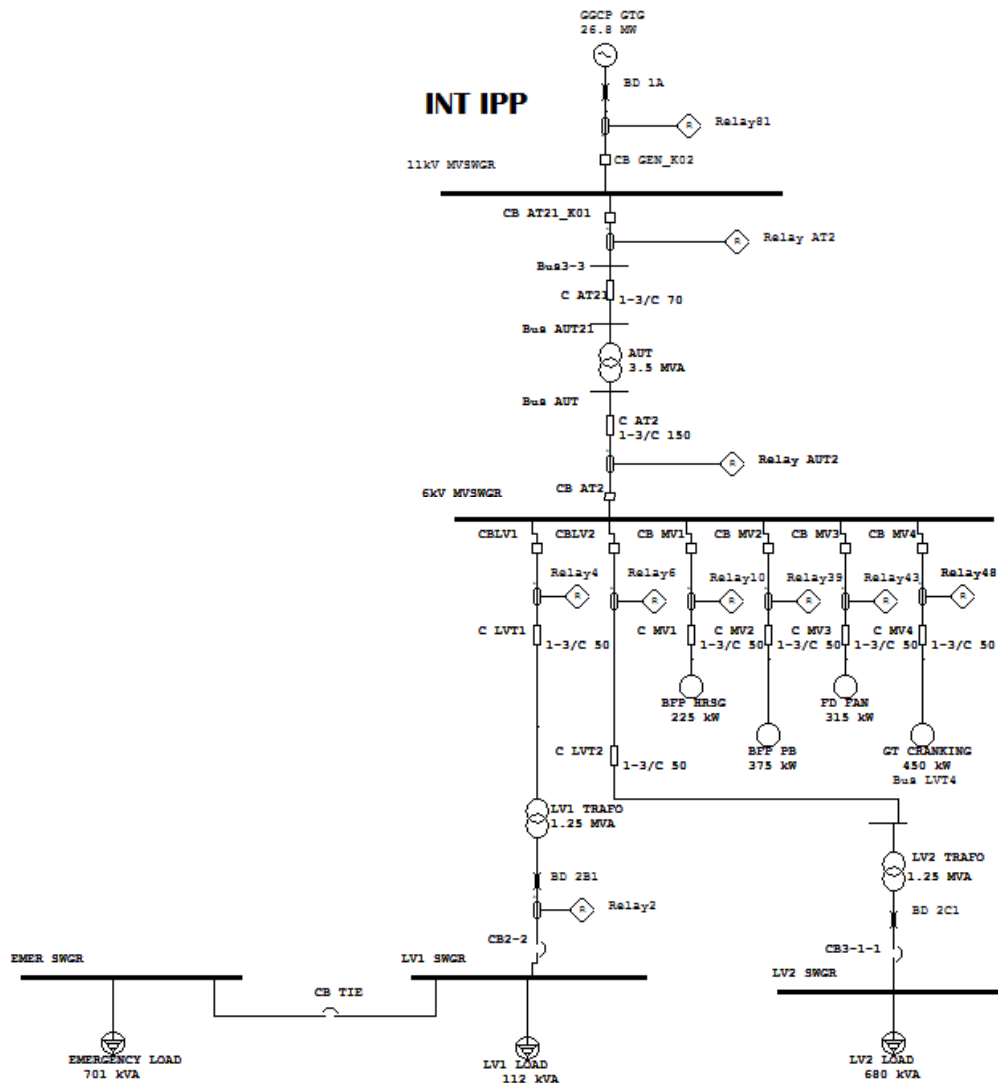
Setting rele arus lebih yang digunakan/ terpasang pada unit INT IPP PT Petrokimia Gresik adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data Setting Rele

No	CB	Rct	Setting Rele Inverse			Setting Rele Seketika	
			Jenis Kurva	I>	TMS	I>>	TMS
1	CB AT21K01	400/5	V1	2,5	0,4	18	0,3
2	CB AT2	600/5	VI	3	0,3	21	0,3
3	CB LV1	300/5	SI	2,5	0,45	50	0,1
4	CB LV2	300/5	VI	3	0,3	40	0,1
5	CB MV1	100/5	EI	1,5	3,5	17,5	0,05
6	CB MV2	100/5	EI	2,5	2,5	28,75	0,05
7	CB MV3	100/5	EI	2,22	4,8	25,5	0,05
8	CB MV4	2500/5	NI	3,75	0,15	20	0,3

4.1.6 Single Line Diagram Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik

Single line diagram unit INT IPP PT Petrokimia Gresik dibuat menggunakan software ETAP 12.6 berdasarkan data-data yang terpasang di lapangan.



Gambar 4.1 Single Line Diagram Sistem Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik

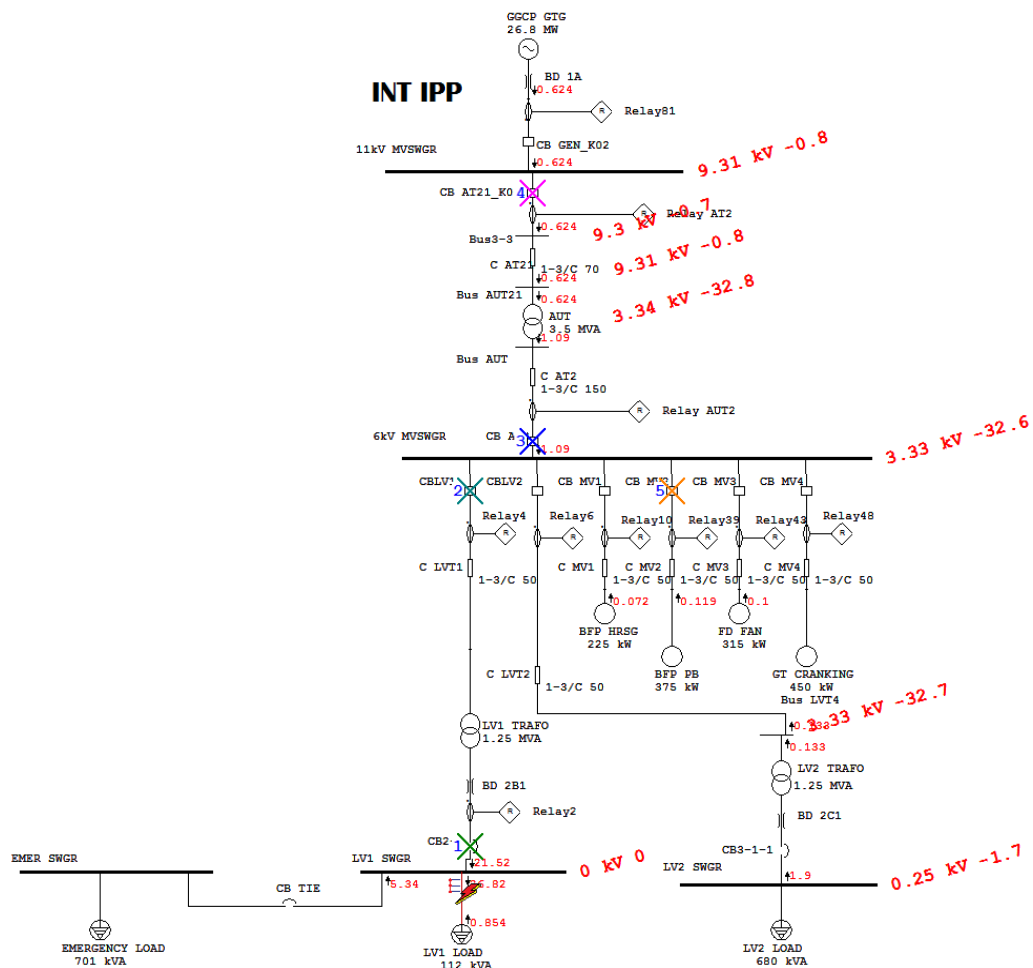
Sistem kelistrikan unit INT IPP PT Petrokimia Gresik merupakan bagian kecil dari sistem interkoneksi petroraya yang menghubungkan semua pembangkit yang ada pada PT Petrokimia Gresik. Sistem proteksi yang dianalisis merupakan sistem proteksi pada tegangan 11 kV, 6 kV dan 400 V yang menggunakan rele arus lebih.

4.2 Unjuk Kerja Koordinasi Rele Arus Lebih Sebelum Resetting

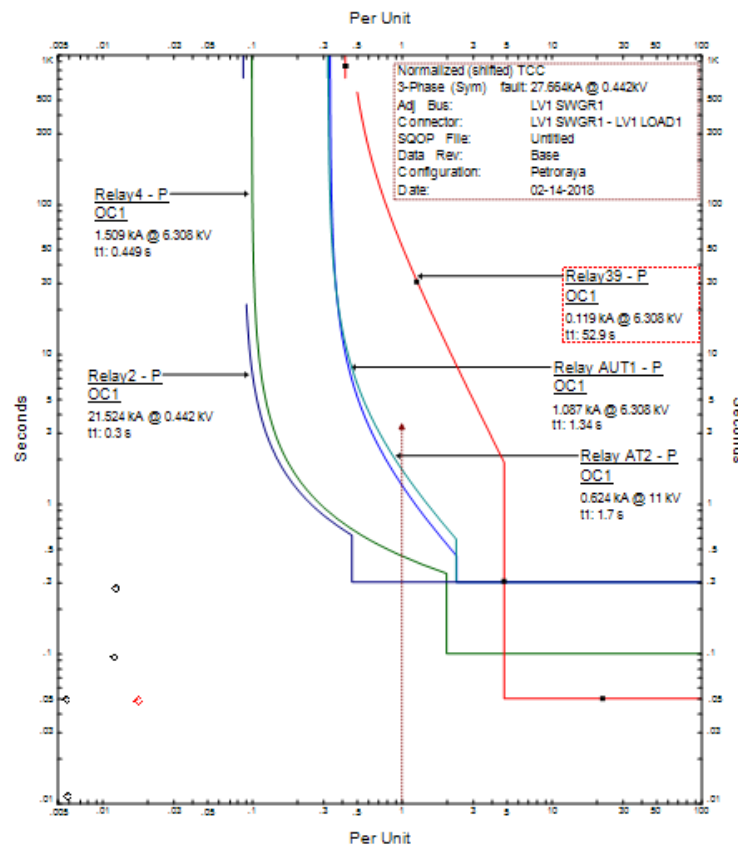
Unjuk kerja koordinasi proteksi rele arus lebih pada unit INT IPP ditunjukkan dengan memberikan arus gangguan pada tiap-tiap bus terdekat dengan beban. Pemberian arus gangguan pada beban akan menyebabkan rele arus lebih pada sistem bekerja dan nampak urutan rele yang akan trip.

4.2.1 Gangguan Pada Beban LV1 Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, beban LV1 diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 2 yang memberikan isyarat trip ke CB 2-2 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele 4 yang memberikan isyarat trip ke CB LV1.



Gambar 4.2 Kondisi ketidaknormalan pada beban LV1 Unit INT PT Petrokimia Gresik

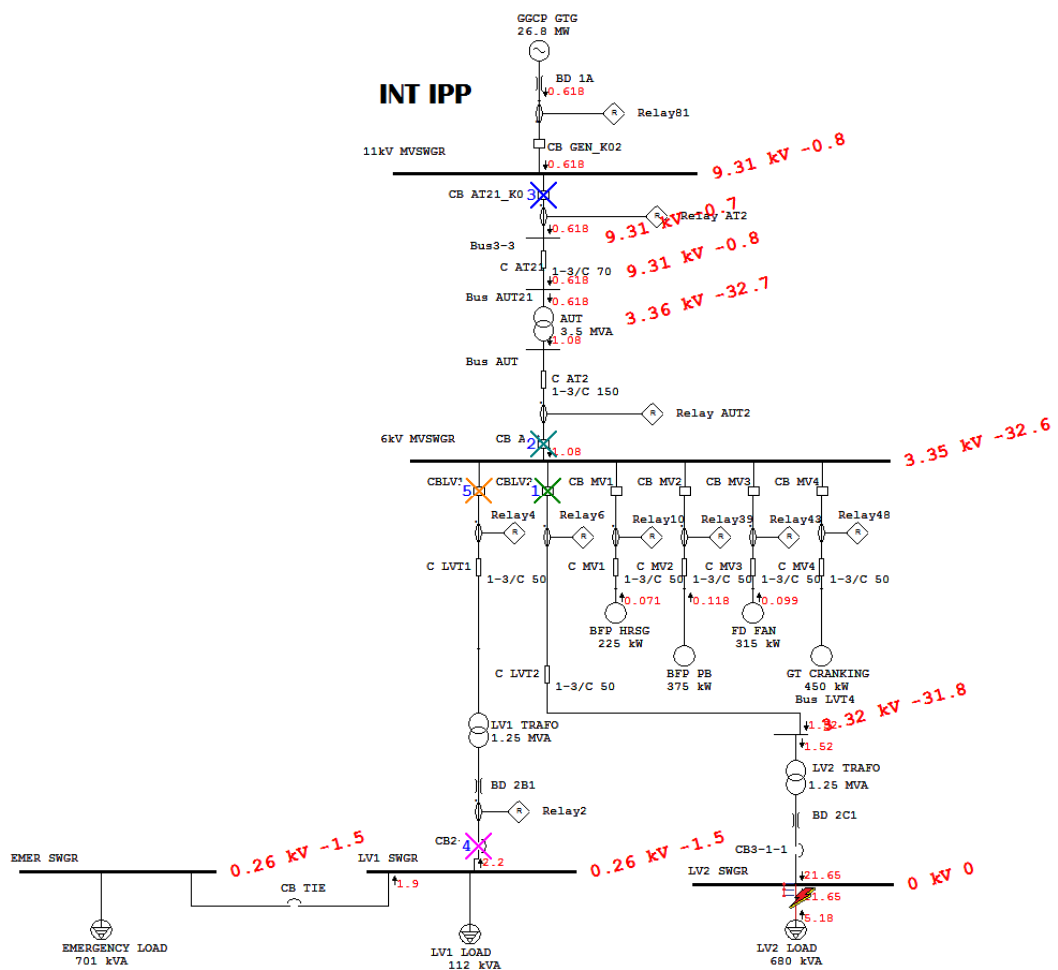


Gambar 4.3 Kurva Koordinasi Rele pada Gangguan Beban LV1 Unit INT PT Petrokimia Gresik

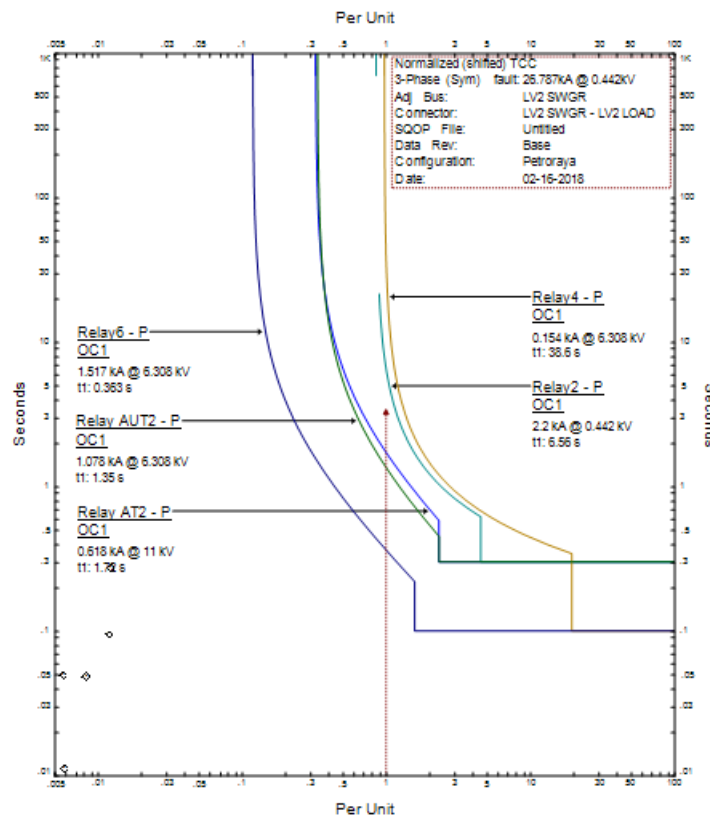
Pada simulasi pada gambar 4.2 bahwa ketika beban LV1 mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB 2-2, CB LV1, CB AT2, CB AT21K01 dan terakhir adalah CB MV2. Secara berurutan rele 2 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele 4 sebagai rele *backup*. Meskipun terlihat bahwa pada urutan trip rele ke 5 adalah CB MV2, yang seharusnya tidak perlu trip namun karena telah terproteksi oleh rele utama dan rele backup maka kecil kemungkinan terjadi trip pada CB MV2. Jadi Secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Namun demikian, terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.3 bahwa beberapa rele bekerja secara berhimpitan dan berisiko menimbulkan koordinasi yang buruk.

4.2.2 Gangguan pada Beban LV2 Unit INT IPP PT Petrokima Gresik

Pada percobaan ini, beban LV2 diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah CB 3-1-1 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele 6 yang memberikan isyarat trip ke CB LV2.



Gambar 4.4 Kondisi ketidaknormalan pada beban LV2 Unit INT PT Petrokimia Gresik



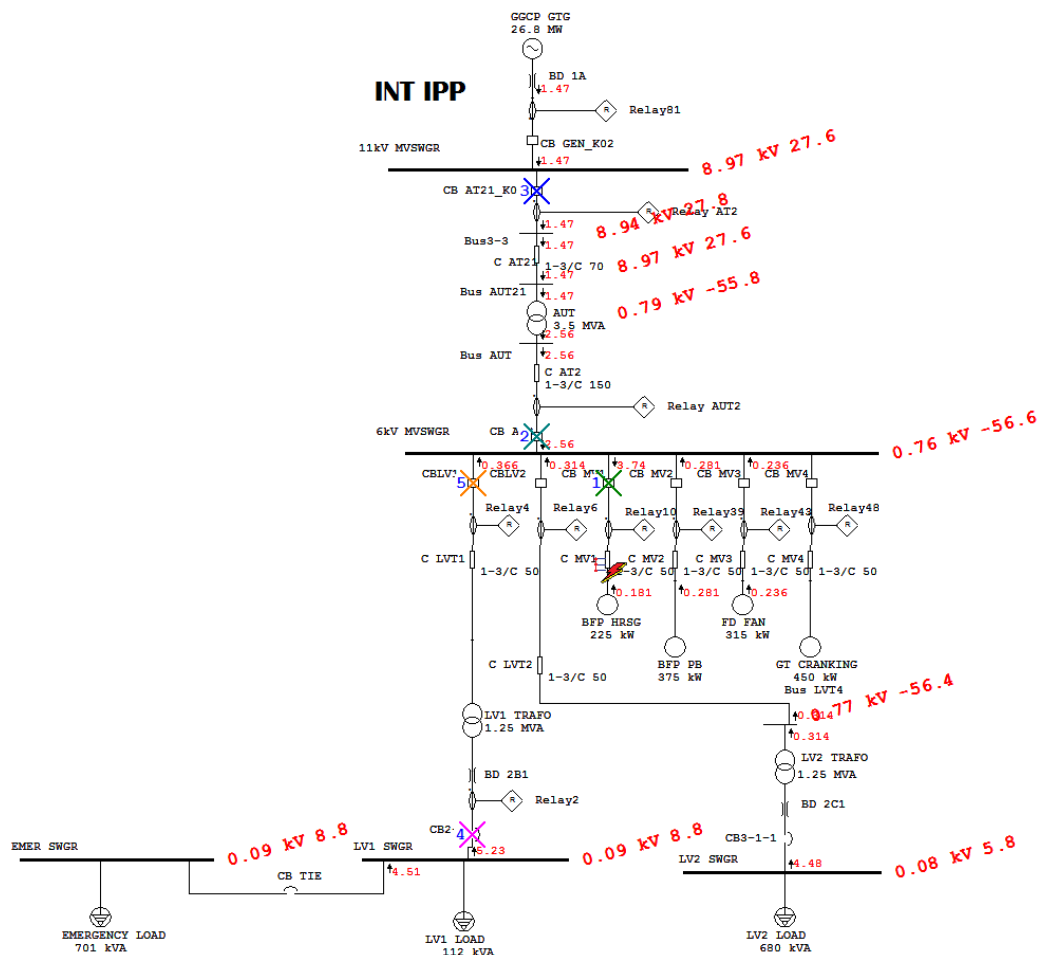
Gambar 4.5 Kurva Koordinasi Rele pada Gangguan Beban LV2 Unit INT PT Petrokimia Gresik

Pada simulasi pada gambar 4.4 bahwa ketika beban LV2 mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB LV2, CB AT1, CB AT21K01, CB 2-2 dan terakhir adalah CB LV1. Pada keadaan sebenarnya, CB yang pertama kali trip adalah CB 3-1-1 pada tegangan 400 V, namun karena pada CB tersebut tidak memiliki data set rele arus lebih, maka rele tersebut tidak dapat dianalisis. Pada umumnya, peralatan pada tegangan 400 V di PT Petrokimia Gresik menggunakan peralatan proteksi berupa thermis. Thermis merupakan peralatan proteksi yang bekerja berdasarkan kenaikan suhu pada peralatan proteksi dimana peralatan proteksi tidak dapat diset seperti layaknya rele arus lebih jenis mikroprosesor. Secara berurutan rele 6 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai rele *backup*. Meskipun terlihat bahwa pada urutan trip rele ke 4 dan ke 5 adalah CB 2-2 dan CB LV1, yang seharusnya tidak perlu trip namun karena telah terproteksi oleh rele utama dan rele *backup* maka kecil kemungkinan terjadi

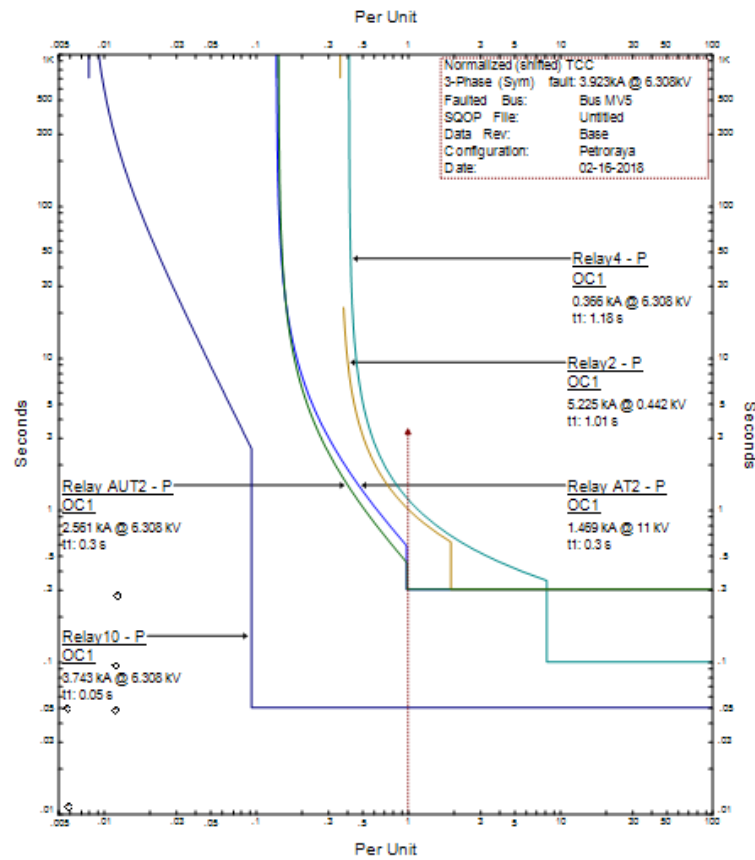
trip pada kedua CB tersebut. Jadi Secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Namun demikian, terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.5 bahwa beberapa rele bekerja secara berhimpitan dan berisiko menimbulkan koordinasi yang buruk.

4.2.3 Gangguan pada Beban BFP HRSG Unit INT IPP PT Petrokima Gresik

Pada percobaan ini, beban motor BFP HRSG diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 10 yang memberikan isyarat trip ke CB MV1 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.6 Kondisi ketidaknormalan pada beban motor BFP HRSG pada Unit INT PT Petrokimia Gresik

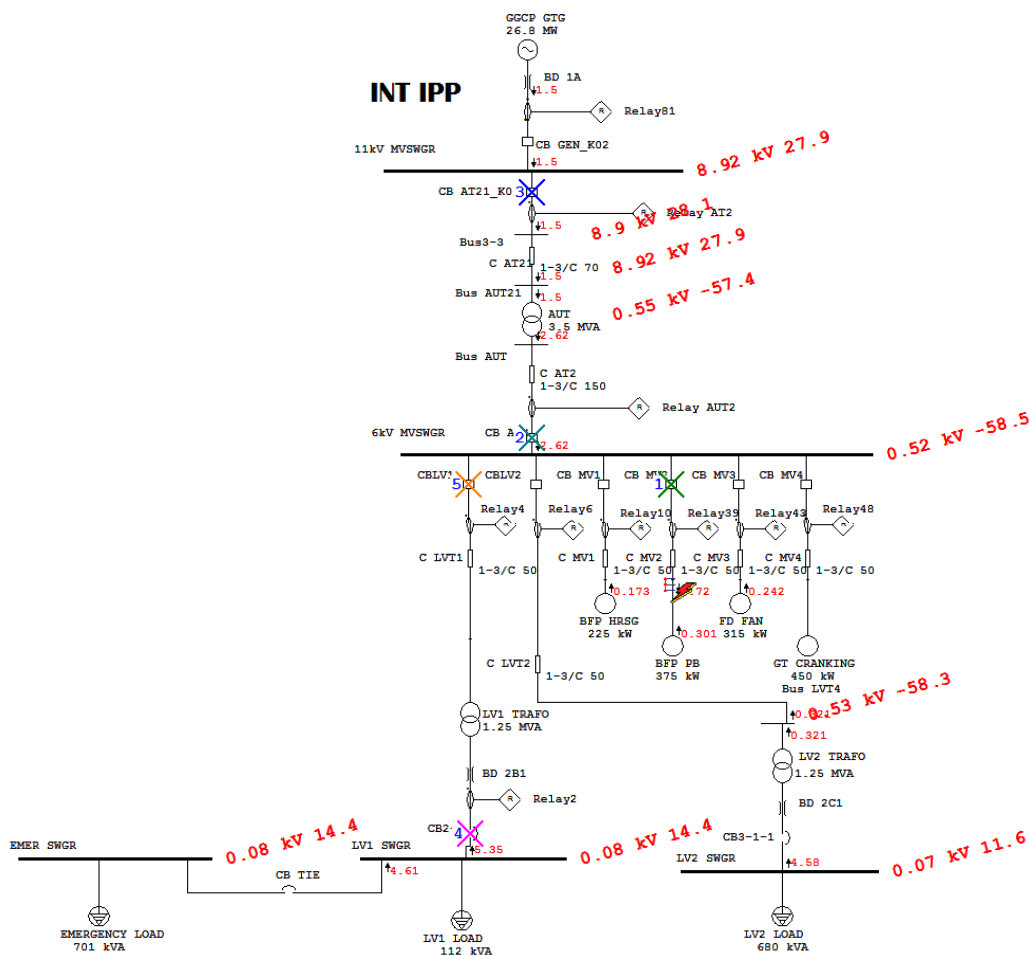


Gambar 4.7 Kurva Koordinasi Rele pada Gangguan Beban BFP HRSG Unit INT
IPP PT Petrokimia Gresik

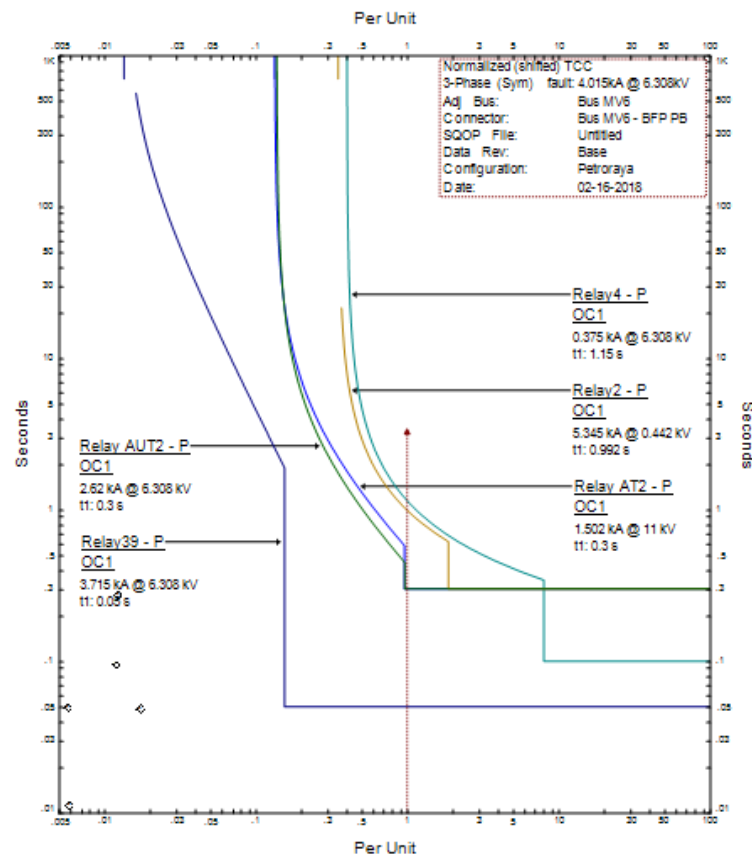
Pada simulasi pada gambar 4.6 bahwa ketika beban BFP HRSG mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB MV1, CB AT2, CB AT21K01, CB 2-2 dan terakhir adalah CB LV1. Secara berurutan rele 10 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai rele *backup*. Meskipun terlihat bahwa pada urutan trip CB ke 4 dan ke 5 adalah CB 2-2 dan CB LV1, yang seharusnya tidak perlu trip namun karena telah terproteksi oleh rele utama dan rele *backup* maka kecil kemungkinan terjadi trip pada kedua CB tersebut. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Namun demikian, terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.7 bahwa beberapa rele bekerja secara berhimpitan bahkan beberapa kondisi mendahului rele yang lebih dekat dengan gangguan dan berisiko menimbulkan koordinasi yang buruk.

4.2.4 Gangguan pada Beban BFP PB Unit INT IPP PT Petrokima Gresik

Pada percobaan ini, beban motor BFP PB diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 39 yang memberikan isyarat trip ke CB MV2 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.8 Kondisi ketidaknormalan pada beban BFP PB Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik



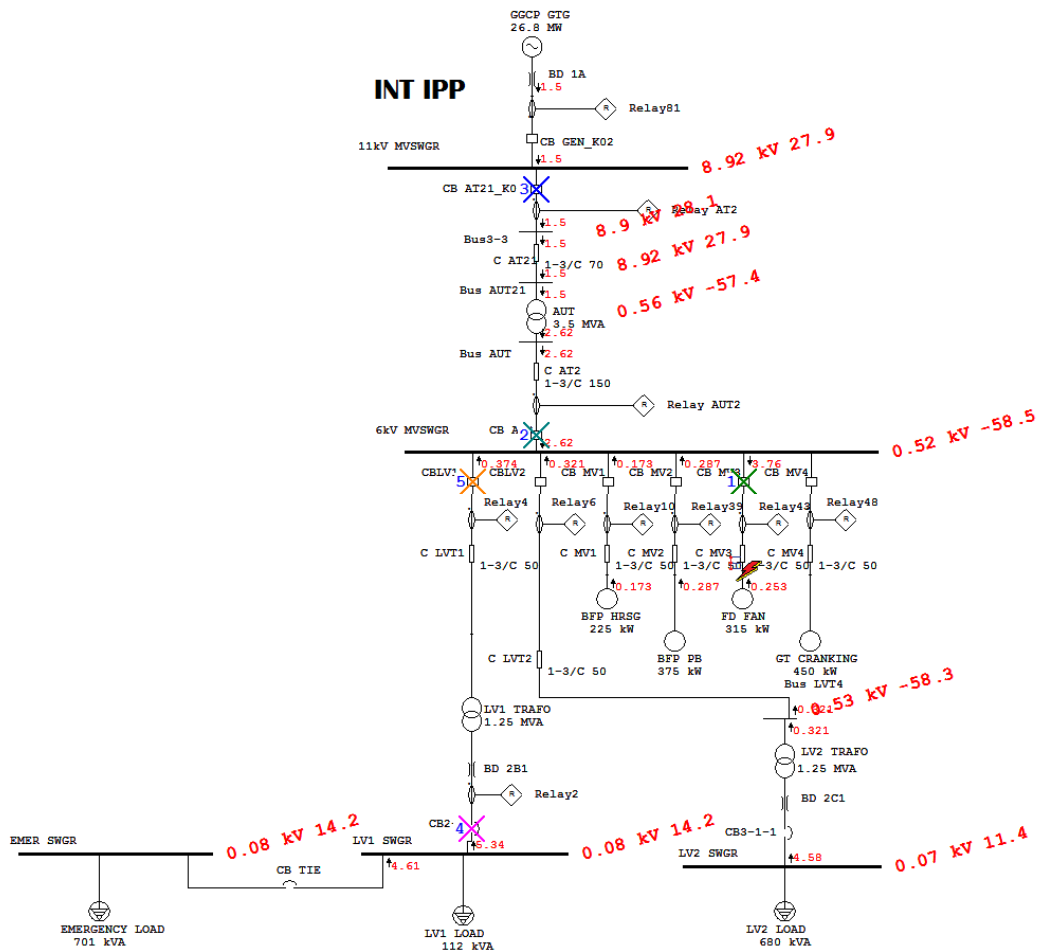
Gambar 4.9 Kurva Koordinasi Rele pada Gangguan Beban BFP PB Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik

Pada simulasi pada gambar 4.8 bahwa ketika beban BFP PB mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB MV2, CB AT2, CB AT21K01, CB 2-2 dan terakhir adalah CB LV1. Secara berurutan rele 39 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai rele *backup*. Meskipun terlihat bahwa pada urutan trip CB ke 4 dan ke 5 adalah CB 2-2 dan CB LV1, yang seharusnya tidak perlu trip namun karena telah terproteksi oleh rele utama dan rele *backup* maka kecil kemungkinan terjadi trip pada kedua CB tersebut. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Namun demikian, terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.9 bahwa beberapa rele bekerja secara berhimpitan bahkan rele yang lebih jauh pada beberapa kondisi mendahului rele

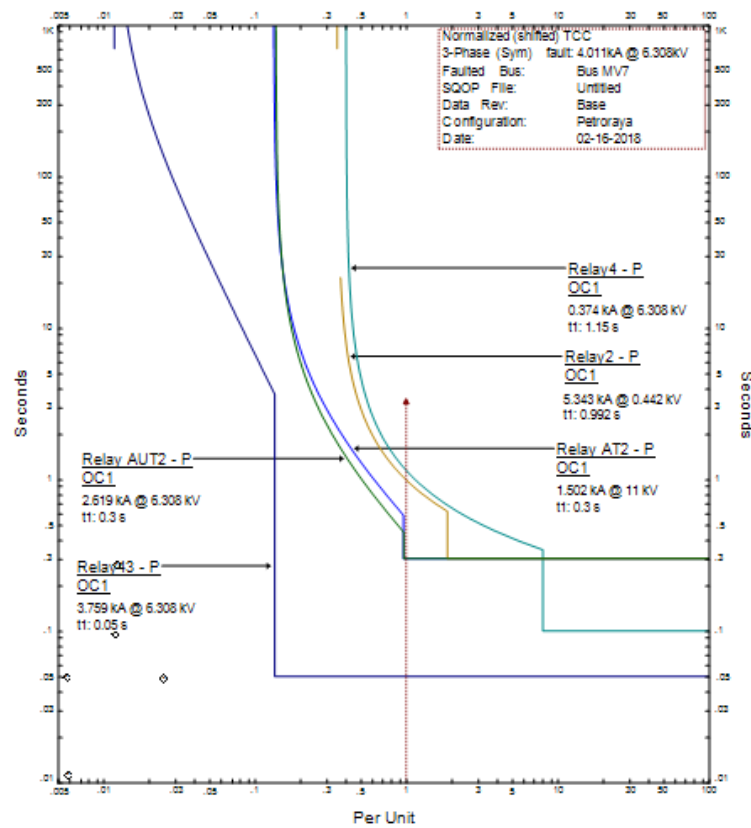
yang lebih dekat dengan gangguan dan berisiko menimbulkan koordinasi yang buruk.

4.2.5 Gangguan pada Beban FD FAN Unit INT IPP PT Petrokima Gresik

Pada percobaan ini, beban motor FD FAN diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 43 yang memberikan isyarat trip ke CB MV3 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.10 Kondisi ketidaknormalan pada beban FD FAN Unit INT IPP PT Petrokima Gresik

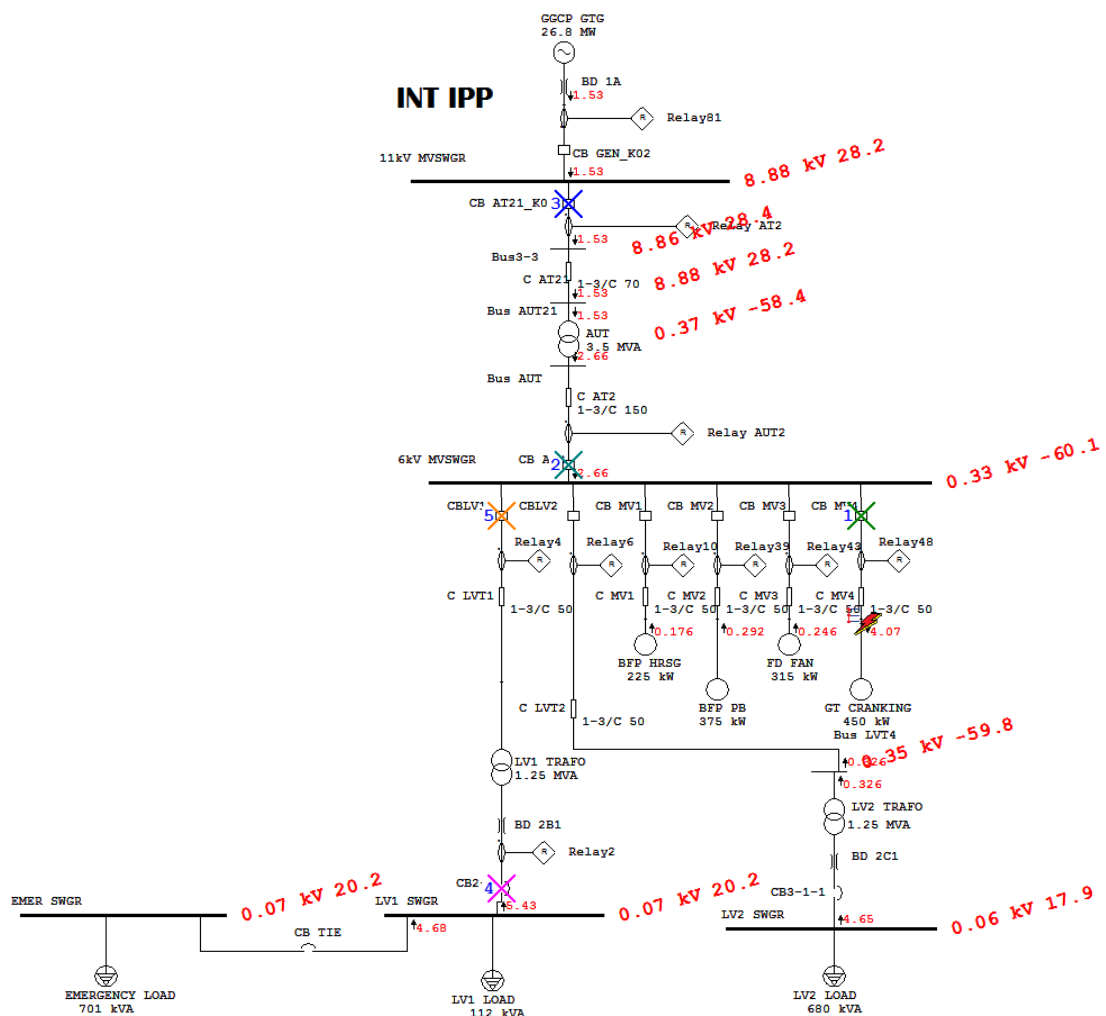


Gambar 4.11 Kurva Koordinasi Rele pada Gangguan Beban FD FAN Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik

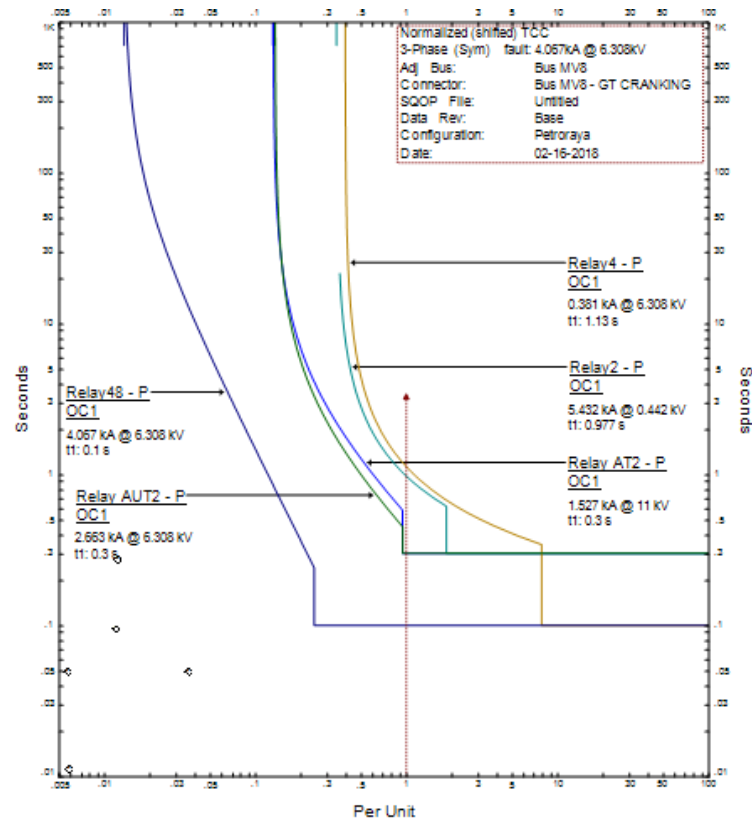
Pada simulasi pada gambar 4.10 bahwa ketika beban BFP HRSG mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB MV3, CB AT2, CB AT21K01, CB 2-2 dan terakhir adalah CB LV1. Secara berurutan rele 43 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai rele *backup*. Meskipun terlihat bahwa pada urutan trip CB ke 4 dan ke 5 adalah CB 2-2 dan CB LV1, yang seharusnya tidak perlu trip namun karena telah terproteksi oleh rele utama dan rele *backup* maka kecil kemungkinan terjadi trip pada kedua CB tersebut. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Namun demikian, terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.11 bahwa beberapa rele bekerja secara berhimpitan bahkan rele yang lebih jauh pada beberapa kondisi mendahului rele yang lebih dekat dengan gangguan dan berisiko menimbulkan koordinasi yang buruk.

4.2.6 Gangguan pada Beban GT CRANKING Unit INT IPP PT Petrokima Gresik

Pada percobaan ini, beban motor GT CRANKING diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 48 yang memberikan isyarat trip ke CB MV4 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.12 Kondisi ketidaknormalan pada beban GT CRANKING Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik



Gambar 4.13 Kurva Koordinasi Rele pada Gangguan Beban GT CRANKING Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik

Pada simulasi pada gambar 4.12 bahwa ketika beban BFP HRSG mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB MV3, CB AT2, CB AT21K01, CB 2-2 dan terakhir adalah CB LV1. Secara berurutan rele 43 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai rele *backup*. Meskipun terlihat bahwa pada urutan trip CB ke 4 dan ke 5 adalah CB 2-2 dan CB LV1, yang seharusnya tidak perlu trip namun karena telah terproteksi oleh rele utama dan rele *backup* maka kecil kemungkinan terjadi trip pada kedua CB tersebut. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Namun demikian, terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.13 bahwa beberapa rele bekerja secara berhimpitan bahkan rele yang lebih jauh pada beberapa kondisi mendahului rele yang lebih dekat dengan gangguan dan berisiko menimbulkan koordinasi yang buruk.

4.3 Perhitungan Manual Setting Rele Arus Lebih

4.3.1 Perhitungan Impedansi Peralatan

1. Generator

Dalam perhitungan impedansi generator, dibutuhkan data-data spesifikasi sebagai berikut:

$$\text{Tegangan} = 11000\text{V}$$

$$\text{Kapasitas daya} = 26,8 \text{ MW}$$

$$X''_d = 17,5\%$$

$$\text{Cos}\varphi = 0,85$$

Impedansi tegangan generator pada 11kV

a. Reaktansi *subtransient*

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

$$X_g = 17,5\% \times \frac{11000^2 \times 0,85}{26800000} = j0,6639\Omega$$

b. Resistansi

$$R_g = \frac{X_g}{X/R}$$

$$R_g = \frac{0,6639}{14,29} = 0,0465$$

c. Impedansi

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

$$Z_{11KV} = \sqrt{0,6639^2 + 0,0465^2} = 0,6655\Omega$$

d. Impedansi tegangan generator pada 6kV

$$Z'' = Z_{11KV} \left(\frac{V''}{V}\right)^2$$

$$Z'' = 0,6655 \left(\frac{6000}{11000}\right)^2 = 0,198\Omega$$

2. Transformator

a. Transformator AUT

- 1) Impedansi transformator pada tegangan 11kV

$$Z = Z\% \frac{V_P^2}{S}$$

$$Z_{11kV} = 11\% \times \frac{11000^2}{3500000} = 3,8029\Omega$$

- 2) Impedansi transformator pada tegangan 6kV

$$Z'' = Z_{11KV} \left(\frac{V''}{V}\right)^2$$

$$Z'' = 3,8029 \left(\frac{6000}{11000}\right)^2 = 1,1314\Omega$$

b. Transformator LV1 dan LV2

Transformator LV1 dan LV2 memiliki spesifikasi yang sama, sehingga nilai impedansi yang diperoleh juga sama.

- 1) Impedansi transformator pada tegangan 6 Kv

$$Z = Z\% \frac{V_P^2}{S}$$

$$Z_{11kV} = 5\% \times \frac{6000^2}{1250000} = 1,44\Omega$$

- 2) Impedansi transformator pada tegangan 11 Kv

$$Z'' = Z_{6KV} \left(\frac{V''}{V}\right)^2$$

$$Z'' = 1,44 \left(\frac{11000}{6000}\right)^2 = 4,84\Omega$$

3. Kabel

a. Kabel CAT21

$$\text{Impedansi/km} = 0,343 + j 0,108 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang} = 55 \quad \text{m}$$

$$\text{Impedansi total} = \left(\sqrt{0,343^2 + 0,108^2}\right) \times 0,055 = 0,019778\Omega$$

b. Kabel CAT2

$$\text{Impedansi/km} = 0,159 + j 0,0908 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang} = 55 \quad \text{m}$$

$$\text{Impedansi total} = \left(\sqrt{0,159^2 + 0,0908^2} \right) \times 0,055 = 0,010071 \Omega$$

c. Kabel CLVT1

$$\text{Impedansi/km} = 0,494 + j 0,108 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang} = 55 \quad \text{m}$$

$$\text{Impedansi total} = \left(\sqrt{0,494^2 + 0,108^2} \right) \times 0,055 = 0,027812 \Omega$$

d. Kabel CLVT2

$$\text{Impedansi/km} = 0,494 + j 0,108 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang} = 55 \quad \text{m}$$

$$\text{Impedansi total} = \left(\sqrt{0,494^2 + 0,108^2} \right) \times 0,055 = 0,027812 \Omega$$

e. Kabel CMV1

$$\text{Impedansi/km} = 0,494 + j 0,108 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang} = 320 \quad \text{m}$$

$$\text{Impedansi total} = \left(\sqrt{0,494^2 + 0,108^2} \right) \times 0,320 = 0,161814 \Omega$$

f. Kabel CMV2

$$\text{Impedansi/km} = 0,494 + j 0,108 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang} = 220 \quad \text{m}$$

$$\text{Impedansi total} = \left(\sqrt{0,494^2 + 0,108^2} \right) \times 0,220 = 0,111247 \Omega$$

g. Kabel CMV3

$$\text{Impedansi/km} = 0,494 + j 0,108 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang} = 220 \quad \text{m}$$

$$\text{Impedansi total} = \left(\sqrt{0,494^2 + 0,108^2} \right) \times 0,220 = 0,111247 \Omega$$

h. Kabel CMV4

$$\text{Impedansi/km} = 0,494 + j 0,108 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang} = 220 \quad \text{m}$$

$$\text{Impedansi total} = \left(\sqrt{0,494^2 + 0,108^2} \right) \times 0,130 = 0,065737 \Omega$$

4. Motor

a. Motor BFP HRSG

$$\begin{aligned} I_{FLC} &= 25,34 & \text{A} \\ I_{LRC} &= 164,8 & \text{A} \\ P &= 225 & \text{kW} \\ V_m &= 6 & \text{kV} \\ \text{Cos}\varphi &= 0,92 \end{aligned}$$

1) Impedansi motor pada 6 kV

$$Z_m = \frac{1}{\frac{I_{LRC}}{I_{FLC}}} \times \frac{V^2 \text{cos}\varphi_m}{P_m}$$

$$Z_m = \frac{1}{\frac{164,8}{25,34}} \times \frac{6000^2 \times 0,92}{225000} = 22,238\Omega$$

2) Impedansi motor pada 11 kV

$$Z'' = Z_{6KV} \left(\frac{V''}{V}\right)^2$$

$$Z'' = 22,238 \left(\frac{11000}{6000}\right)^2 = 74,744\Omega$$

b. Motor BFP PB

$$\begin{aligned} I_{FLC} &= 41,63 & \text{A} \\ I_{LRC} &= 273,2 & \text{A} \\ P &= 375 & \text{kW} \\ V_m &= 6 & \text{kV} \\ \text{Cos}\varphi &= 0,92 \end{aligned}$$

1) Impedansi motor pada 6 kV

$$Z_m = \frac{1}{\frac{I_{LRC}}{I_{FLC}}} \times \frac{V^2 \text{cos}\varphi_m}{P_m}$$

$$Z_m = \frac{1}{\frac{273,2}{41,63}} \times \frac{6000^2 \times 0,92}{375000} = 13,458\Omega$$

2) Impedansi motor pada 11 kV

$$Z'' = Z_{6KV} \left(\frac{V''}{V}\right)^2$$

$$Z'' = 13,458 \left(\frac{11000}{6000}\right)^2 = 45,234\Omega$$

c. Motor FD FAN

$$\begin{aligned}
 I_{FLC} &= 35,37 & \text{A} \\
 I_{LRC} &= 229,9 & \text{A} \\
 P &= 315 & \text{kW} \\
 V_m &= 6 & \text{kV} \\
 \text{Cos}\varphi &= 0,92
 \end{aligned}$$

1) Impedansi motor pada 6 kV

$$\begin{aligned}
 Z_m &= \frac{1}{\frac{I_{LRC}}{I_{FLC}}} \times \frac{V^2 \text{cos}\varphi_m}{P_m} \\
 Z_m &= \frac{1}{\frac{229,9}{35,37}} \times \frac{6000^2 \times 0,92}{315000} = 16,176\Omega
 \end{aligned}$$

2) Impedansi motor pada 11 kV

$$\begin{aligned}
 Z'' &= Z_{6KV} \left(\frac{V''}{V}\right)^2 \\
 Z'' &= 16,176 \left(\frac{11000}{6000}\right)^2 = 54,3693\Omega
 \end{aligned}$$

d. Motor GT CRANKING

$$\begin{aligned}
 I_{FLC} &= 53,46 & \text{A} \\
 I_{LRC} &= 320,8 & \text{A} \\
 P &= 450 & \text{kW} \\
 V_m &= 6 & \text{kV} \\
 \text{Cos}\varphi &= 0,9
 \end{aligned}$$

1) Impedansi motor pada 6 kV

$$\begin{aligned}
 Z_m &= \frac{1}{\frac{I_{LRC}}{I_{FLC}}} \times \frac{V^2 \text{cos}\varphi_m}{P_m} \\
 Z_m &= \frac{1}{\frac{320,8}{53,46}} \times \frac{6000^2 \times 0,9}{450000} = 11,9985\Omega
 \end{aligned}$$

2) Impedansi motor pada 11 kV

$$\begin{aligned}
 Z'' &= Z_{6KV} \left(\frac{V''}{V}\right)^2 \\
 Z'' &= 11,985 \left(\frac{11000}{6000}\right)^2 = 40,3283\Omega
 \end{aligned}$$

e. Kontribusi motor pada *Lumped Load Emergency Load*

$$\% \text{ motor} = 80\%$$

$$V = 400 \text{ V}$$

$$S = 701 \text{ kVA}$$

$$\% \text{ LRC} = 600\% = 6$$

$$\text{Cos}\varphi = 0,85$$

$$P = S \times \text{cos}\varphi = 701000 \times 0,85 = 595850 \text{ Watt}$$

$$P_m = \% \text{ motor} \times P = 80\% \times 595850 = 476680 \text{ watt}$$

$$Z_m = \frac{1}{\frac{I_{LRC}}{I_{FLC}}} \times \frac{V^2 \text{cos}\varphi_m}{P_m} = \frac{1}{6} \times \frac{400^2 \cdot 0,85}{476680} = 0,04755 \Omega$$

$$Z'' = Z_{400V} \left(\frac{V''}{V} \right)^2 = 0,04755 \left(\frac{6000}{400} \right)^2 = 10,685 \text{ A}$$

f. Kontribusi motor pada *Lumped Load LV1*

$$\% \text{ motor} = 80\%$$

$$V = 400 \text{ V}$$

$$S = 112 \text{ kVA}$$

$$\% \text{ LRC} = 600\% = 6$$

$$\text{Cos}\varphi = 0,85$$

$$P = S \times \text{cos}\varphi = 112000 \times 0,85 = 95200 \text{ Watt}$$

$$P_m = \% \text{ motor} \times P = 80\% \times 95200 = 76160 \text{ watt}$$

$$Z_m = \frac{1}{\frac{I_{LRC}}{I_{FLC}}} \times \frac{V^2 \text{cos}\varphi_m}{P_m} = \frac{1}{6} \times \frac{400^2 \cdot 0,85}{76160} = 0,2976 \Omega$$

$$Z'' = Z_{400V} \left(\frac{V''}{V} \right)^2 = 0,2976 \left(\frac{6000}{400} \right)^2 = 66,96 \Omega$$

g. Kontribusi motor pada *Lumped Load LV2*

$$\% \text{ motor} = 80\%$$

$$V = 400 \text{ V}$$

$$S = 680 \text{ kVA}$$

$$\% \text{ LRC} = 600\% = 6$$

$$\text{Cos}\varphi = 0,85$$

$$P = S \times \text{cos}\varphi = 680000 \times 0,85 = 578000 \text{ Watt}$$

$$P_m = \% \text{ motor} \times P = 80\% \times 578000 = 462400 \text{ watt}$$

$$Z_m = \frac{1}{\frac{I_{LRC}}{I_{FLC}}} \times \frac{V^2 \cos \phi_m}{P_m} = \frac{1}{6} \times \frac{400^2 \cdot 0,85}{462400} = 0,04902 \Omega$$

$$Z'' = Z_{400V} \left(\frac{V''}{V} \right)^2 = 0,04902 \left(\frac{6000}{400} \right)^2 = 11,0295 \Omega$$

4.3.2 Perhitungan Kuat Arus Nominal

1. Arus nominal beban diketahui daya semu

a. Emergency Load 701 kVA

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_n = \frac{701000}{\sqrt{3} \times 400} = 1011,81 \text{ A}$$

b. LV1 112 kVA

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_n = \frac{112000}{\sqrt{3} \times 400} = 161,66 \text{ A}$$

c. LV2 680 kVA

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_n = \frac{680000}{\sqrt{3} \times 400} = 981,5 \text{ A}$$

2. Arus nominal beban diketahui daya aktif beban

a. Motor BFP HRSG

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{eff} \times \text{pf}}$$

$$I_n = \frac{225000}{\sqrt{3} \times 6000 \times 0,92 \times 0,92} = 25,58 \text{ A}$$

b. Motor BFP PB

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{eff} \times \text{pf}}$$

$$I_n = \frac{375000}{\sqrt{3} \times 6000 \times 0,9322 \times 0,92} = 42,07 \text{ A}$$

c. Motor FD FAN

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{eff} \times \text{pf}}$$

$$I_n = \frac{315000}{\sqrt{3} \times 6000 \times 0,9313 \times 0,92} = 35,377 \text{ A}$$

d. Motor GT CRANKING

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{eff} \times \text{pf}}$$

$$I_n = \frac{450000}{\sqrt{3} \times 6000 \times 0,9 \times 0,9} = 53,46 \text{ A}$$

3. Arus nominal transformator

a. Transformator AUT sisi primer

$$I_n = \frac{S_{trafo}}{\sqrt{3} \times V_p}$$

$$I_n = \frac{3500000}{\sqrt{3} \times 11000} = 183,7 \text{ A}$$

b. Transformator AUT sisi sekunder

$$I_n = \frac{S_{trafo}}{\sqrt{3} \times V_s}$$

$$I_n = \frac{3500000}{\sqrt{3} \times 6000} = 336,79 \text{ A}$$

c. Transformator LV1=LV2 sisi primer

$$I_n = \frac{S_{trafo}}{\sqrt{3} \times V_p}$$

$$I_n = \frac{1250000}{\sqrt{3} \times 6000} = 120,28 \text{ A}$$

d. Transformator LV1=LV2 sisi sekunder

$$I_n = \frac{S_{trafo}}{\sqrt{3} \times V_s}$$

$$I_n = \frac{1250000}{\sqrt{3} \times 400} = 1804,22 \text{ A}$$

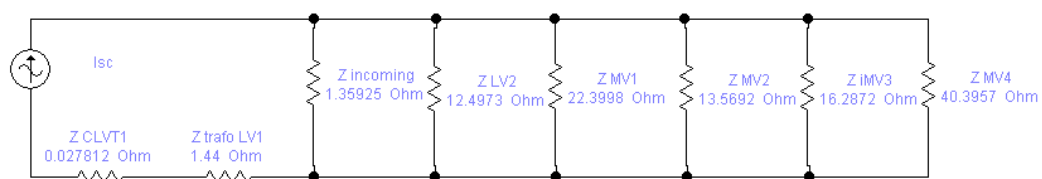
4.3.3 Perhitungan arus hubung singkat melewati rele

Perhitungan arus hubung singkat ini merupakan arus hubung singkat maksimum $\frac{1}{2}$ cycle, yaitu arus hubung singkat 3 fasa ini memperhitungkan arus kontribusi dari motor yang melewati rele. Untuk menyederhanakan perhitungan, dihitung terlebih dahulu nilai impedansi ekuivalen, serta tegangan referensi berada di level 6 kV dan 11 kV tergantung kebutuhan.

$$\begin{aligned}
Z_{\text{incoming}} &= Z_G + Z_{\text{CAT}21} + Z_{\text{TrafoAUT}} + Z_{\text{CAT}2} \\
Z_{\text{incoming}} &= 0,198 + 0,019778 + 1,1314 + 0,01007 = 1,359248\Omega \\
Z_{\text{outLV1}} &= (Z_{\text{emmer}}//Z_{\text{LV1}}) + Z_{\text{trafoLV1}} + Z_{\text{CLVT1}} \\
Z_{\text{outLV1}} &= (10,6875//66,96) + 1,44 + 0,027812 = 10,68427\Omega \\
Z_{\text{outLV2}} &= Z_{\text{LV2}} + Z_{\text{trafoLV2}} + Z_{\text{CLVT2}} \\
Z_{\text{outLV2}} &= 11,0295 + 1,44 + 0,027812 = 12,497312\Omega \\
Z_{\text{outMV1}} &= Z_{\text{BFP HRSG}} + Z_{\text{CMV1}} \\
Z_{\text{outMV1}} &= 22,238 + 0,161814 = 22,399814\Omega \\
Z_{\text{outMV2}} &= Z_{\text{BFP PB}} + Z_{\text{CMV2}} \\
Z_{\text{outMV2}} &= 13,458 + 0,111247 = 13,569247\Omega \\
Z_{\text{outMV3}} &= Z_{\text{FD FAN}} + Z_{\text{CMV3}} \\
Z_{\text{outMV3}} &= 16,176 + 0,111247 = 16,287247\Omega \\
Z_{\text{outMV4}} &= Z_{\text{GT CRANKING}} + Z_{\text{CMV4}} \\
Z_{\text{outMV4}} &= 40,33 + 0,065737 = 40,395737\Omega
\end{aligned}$$

1. Arus hubung singkat pada tegangan rendah trafo LV 1

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV. Hasil arus hubung singkat akan dikonversi ke level 400 V



Gambar 4.14 Rangkaian Ekuivalen 1 fasa tegangan rendah LV1

$$\begin{aligned}
Z_{\text{eki}} &= (Z_{\text{incoming}}//Z_{\text{outLV2}}//Z_{\text{outMV1}}//Z_{\text{outMV2}}//Z_{\text{outMV3}}//Z_{\text{outMV4}})+Z_{\text{trafoLV1}}+Z_{\text{CLVT1}} \\
Z_{\text{eki}} &= 0,98019+1,44+0,027812=2,448002\Omega
\end{aligned}$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{\text{eki}}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,05 \times 6000}{\sqrt{3} \times 2,448002} = 1485,83A$$

$$I_{sc(400V)} = \frac{V}{V^n} \times I_{sc(6kV)} = \frac{6000}{400} \times 1485,83 = 22287,45 A$$

2. Arus hubung singkat pada Emergency Load

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV. Hasil arus hubung singkat akan dikonversi ke level 400 V

$$Z_{eki} = (Z_{eki}(\text{sek trafo LV1}) // Z_{LV}) = 2,448002 // 66,96 = 2,361662 \Omega$$

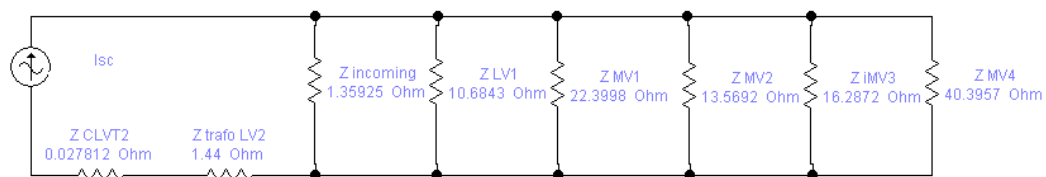
$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,05 \times 6000}{\sqrt{3} \times 2,361662} = 1540,15 A$$

$$I_{sc(400V)} = \frac{V}{V''} \times I_{sc(6kv)} = \frac{6000}{400} \times 1540,15 = 23102,21 A$$

3. Arus hubung singkat pada LV2 SWGR

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV. Hasil arus hubung singkat akan dikonversi ke level 400 V



Gambar 4.15 Rangkaian Ekuivalen 1 fasa tegangan rendah LV2

$$Z_{eki} = (Z_{incoming} // Z_{outLV1} // Z_{outMV1} // Z_{outMV2} // Z_{outMV3} // Z_{outMV4}) + Z_{trafoLV2} + Z_{CLVT2}$$

$$Z_{eki} = 0,96732 + 1,44 + 0,027812 = 2,435132 \Omega$$

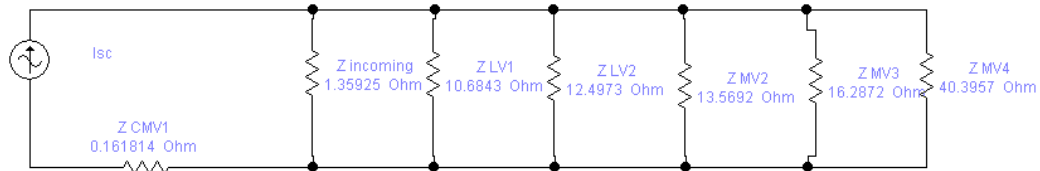
$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,05 \times 6000}{\sqrt{3} \times 2,435132} = 1493,68 A$$

$$I_{sc(400V)} = \frac{V}{V''} \times I_{sc(6kv)} = \frac{6000}{400} \times 1493,68 A = 22405,19 A$$

4. Arus hubung singkat pada beban BFP HRSG

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV karena gangguan terjadi pada level tegangan 6 kV.



Gambar 4.16 Rangkaian Ekivalen 1 fasa MV1

$$Z_{eki} = (Z_{incoming} // Z_{outLV1} // Z_{outLV2} // Z_{outMV2} // Z_{outMV3} // Z_{outMV4}) + Z_{CMV1}$$

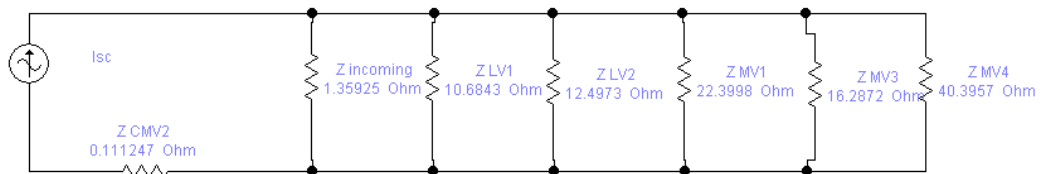
$$Z_{eki} = 0,93531 + 0,161814 = 1,097124 \Omega$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,1 \times 6000}{\sqrt{3} \times 1,097124} = 3473,18 A$$

5. Arus hubung singkat pada beban BFP PB

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV karena gangguan terjadi pada level tegangan 6 kV.



Gambar 4.17 Rangkaian Ekivalen 1 fasa MV2

$$Z_{eki} = (Z_{incoming} // Z_{outLV1} // Z_{outLV2} // Z_{outMV1} // Z_{outMV3} // Z_{outMV4}) + Z_{CMV2}$$

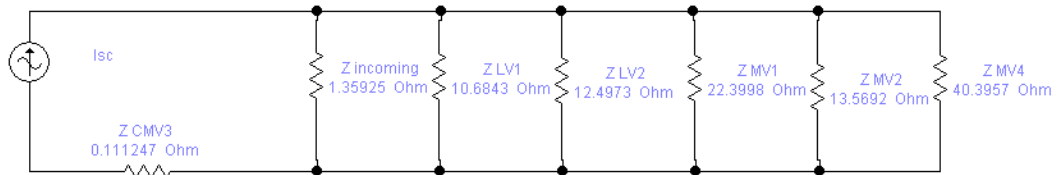
$$Z_{eki} = 0,96144 + 0,111247 = 1,072687 \Omega$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,1 \times 6000}{\sqrt{3} \times 1,072687} = 3552,31 A$$

6. Arus hubung singkat pada beban FD FAN

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV karena gangguan terjadi pada level tegangan 6 kV.



Gambar 4.18 Rangkaian Ekivalen 1 fasa MV3

$$Z_{eki} = (Z_{incoming} // Z_{outLV1} // Z_{outLV2} // Z_{outMV1} // Z_{outMV2} // Z_{outMV4}) + Z_{CMV3}$$

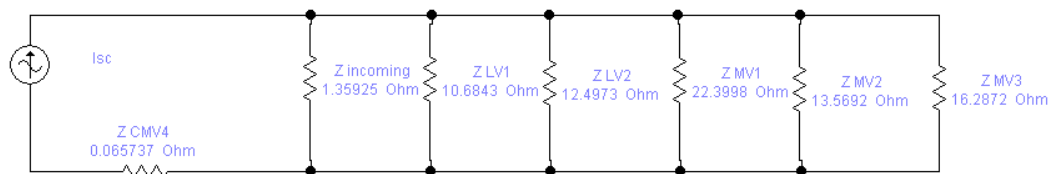
$$Z_{eki} = 0,9502 + 0,111247 = 1,061447 \Omega$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,1 \times 6000}{\sqrt{3} \times 1,061447} = 3589,92 \text{ A}$$

7. Arus hubung singkat pada GT CRANKING

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV karena gangguan terjadi pada level tegangan 6 kV.



Gambar 4.19 Rangkaian Ekivalen 1 fasa MV4

$$Z_{eki} = (Z_{incoming} // Z_{outLV1} // Z_{outLV2} // Z_{outMV1} // Z_{outMV2} // Z_{outMV3}) + Z_{CMV4}$$

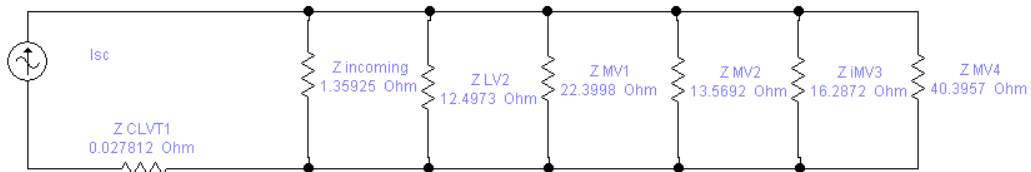
$$Z_{eki} = 0,91823 + 0,065737 = 0,983967 \Omega$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,1 \times 6000}{\sqrt{3} \times 0,983967} = 3872,6 \text{ A}$$

8. Arus hubung singkat pada transformator LV1

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV karena gangguan terjadi pada level tegangan 6 kV.



Gambar 4.20 Rangkaian Ekivalen 1 fasa primer transformator LV1

$$Z_{eki} = (Z_{incoming} // Z_{outLV2} // Z_{outMV1} // Z_{outMV2} // Z_{outMV3} // Z_{outMV4}) + Z_{CLVT1}$$

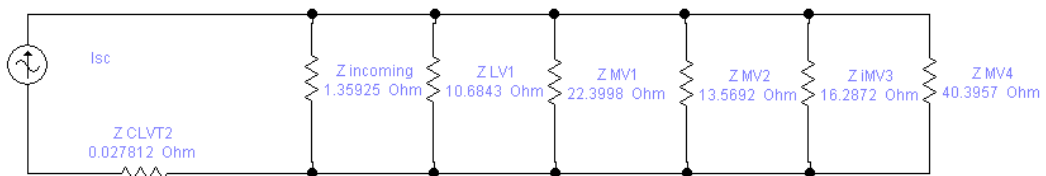
$$Z_{eki} = 0,98019 + 0,027812 = 1,008002 \Omega$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,1 \times 6000}{\sqrt{3} \times 1,008002} = 3780,26 A$$

9. Arus hubung singkat pada transformator LV2

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV. Hasil arus hubung singkat akan dikonversi ke level 400 V



Gambar 4.21 Rangkaian Ekivalen 1 fasa primer transformator LV2

$$Z_{eki} = (Z_{incoming} // Z_{outLV1} // Z_{outMV1} // Z_{outMV2} // Z_{outMV3} // Z_{outMV4}) + Z_{CLVT2}$$

$$Z_{eki} = 0,96732 + 0,027812 = 0,995132 \Omega$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,1 \times 6000}{\sqrt{3} \times 0,995132} = 3829,15 A$$

10. Arus hubung singkat pada bus 6 Kv MVSWGR

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 6 kV karena gangguan terjadi pada level tegangan 6 kV.

$$Z_{eki} = Z_{incoming} = 1,359248\Omega$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(6kV)} = \frac{1,1 \times 6000}{\sqrt{3} \times 1,359248} = 2803,4 \text{ A}$$

11. Arus hubung singkat pada transformator AUT

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 11 kV karena gangguan terjadi pada level tegangan 11 kV.

$$Z_{eki} = Z_g + Z_{CAT21}$$

$$Z_{eki} = 0,6655 + 0,019778 = 0,686278 \Omega$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(11kV)} = \frac{1,1 \times 11000}{\sqrt{3} \times 0,686278} = 10179,46 \text{ A}$$

12. Arus hubung singkat pada generator

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini, dilakukan dengan memperhitungkan hasil impedansi pada level 11 kV karena gangguan terjadi pada level tegangan 11 kV.

$$Z_{eki} = Z_g = 0,6655$$

$$I_{sc} = \frac{cV_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{eki}}$$

$$I_{sc(11kV)} = \frac{1,1 \times 11000}{\sqrt{3} \times 0,6655} = 10497,28 \text{ A}$$

4.3.4 Perhitungan *Resetting* Koordinasi Rele Arus Lebih

1. CB TIE

CB ini merupakan terpasang pada tegangan $400V_{LL}$ menggunakan peralatan proteksi Micrologic 5.0

a. Perhitungan nilai *Long Time*

$$1,05 \times I_n < I_{set} < 1,4 \times I_n$$

$$1,05 \times 1011,81 < I_{set} < 1,4 \times 1011,81$$

$$1062,39 < I_{set} < 1416,52$$

$$\text{Tap} = 0,74$$

$$I_{set} = 1850 \text{ A}$$

$$\text{ST Band} = 0,5$$

b. Perhitungan nilai *Short Time*

$$1,6 \times I_n < I_{set} < 0,5 \times I_{sc \max}$$

$$1,6 \times 1011,81 < I_{set} < 0,5 \times 23102,21$$

$$1619,2 < I_{set} < 11551,12$$

$$\text{Tap} = 4$$

$$I_{set} = 7400 \text{ A}$$

$$\text{ST Band} = 0$$

2. Rele 2

Rele 2 merupakan rele yang terpasang pada tegangan $400V_{LL}$ berada pada sisi sekunder transformator LV1.

Rasio CT : 2500/5

a. Perhitungan nilai *Low Set*

1) Arus *pick up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(OLF \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,05 \times 1804,22)}{\frac{2500}{5}} = 3,7888 \text{ A} \approx 3,79 \text{ A}$$

$$I_{\text{pick up}} = 3,79 \times \frac{2500}{5} = 1895 \text{ A}$$

2) Time Multiple Setting (TMS)

Rele 2 merupakan rele yang paling jauh dari sumber, sehingga perlu disetting dengan nilai yang terkecil untuk arus hubung singkat pada SWGR LV1, dipilih nilai $t_2 = 0,3$ detik. Karakteristik kurva yang digunakan adalah *very inverse*, maka nilai TMS adalah

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{22287,45}{1895}\right)^1 - 1\right) \times 0,3}{13,5} = 0,24$$

b. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

$$\text{Setting} = \frac{(0,5 \times I_{sc})}{r_{CT}}$$

$$\text{Setting} = \frac{(0,5 \times 22287,45)}{2500/5} = 22,287 \text{ A} \approx 22,29 \text{ A}$$

$$I_{inst} = 22,29 \times \frac{2500}{5} = 11145 \text{ A}$$

Delay 0,1 detik

3. CB 3-1-1

CB ini merupakan terpasang pada tegangan $400V_{LL}$ menggunakan peralatan proteksi Micrologic 5.0

1. Perhitungan nilai *Long Time*

$$1,05 \times I_n < I_{set} < 1,4 \times I_n$$

$$1,05 \times 1804,22 < I_{set} < 1,4 \times 1804,22$$

$$1894,43 < I_{set} < 2525,91$$

$$\text{Tap} = 0,76$$

$$I_{set} = 1900 \text{ A}$$

$$\text{ST Band} = 0,5$$

2. Perhitungan nilai *Short Time*

$$1,6 \times I_n < I_{set} < 0,5 \times I_{sc \max}$$

$$1,6 \times 1804,22 < I_{set} < 0,5 \times 21673$$

$$2886,75 < I_{set} < 10836,5$$

$$\text{Tap} = 5$$

$$I_{set} = 9500 \text{ A}$$

$$\text{ST Band} = 0$$

4. Rele 4

Rele 4 merupakan rele yang terpasang pada tegangan $6000V_{LL}$ berada pada sisi primer transformator LV1.

a. Perhitungan nilai *low set*

1) Arus *pick up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(\text{OLF} \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,25 \times 120,28)}{\frac{300}{5}} = 2,505 \text{ A} \approx 2,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{pick up}} = 2,5 \times \frac{300}{5} = 150 \text{ A}$$

2) *Time Multiple Setting (TMS)*

Pada perhitungan TMS pada rele kedua, harus dihitung *time grading* dari rele sebelumnya yaitu antara 0,2 – 04 detik. Jenis kurva yang digunakan adalah *very inverse*, maka

$$t_{4a} = t_2 + 0,3 = 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ detik}$$

Diketahui sebelumnya bahwa pada arus hubung singkat pada bus sekunder trafo LV1 adalah 22287,45 A 400 V, maka

$$I_{sc \text{ sek trafo lv1}(6kV)} = \frac{6000}{400} \times 22287,45 = 1485,83 \text{ A}$$

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{1485,83}{150}\right)^1 - 1\right) \times 0,6}{13,5} = 0,396 \approx 0,4$$

Dengan nilai *dial time* (k) 0,4 maka waktu yang diperlukan untuk memerintahkan *circuit breaker* untuk *trip* saat terjadi arus hubung singkat maksimum pada transformator adalah:

$$t_{4b} = \frac{k\beta}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,4 \times 13,5}{\left(\frac{3780,26}{150}\right)^1 - 1} = 0,22 \text{ detik}$$

b. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

Pada perhitungan nilai *instantaneous* rele yang terletak pada sisi primer transformator merupakan 125% dari nilai arus gangguan maksimum pada busbar sekunder yang dikonversi ke sisi primer.

$$\text{Setting} = \frac{(1,25 \times I_{sc \text{ sek trafo LV1(6kV)}})}{r_{CT}}$$

$$\text{Setting} = \frac{(1,25 \times 1485,83)}{\frac{300}{5}} = 30,954 \text{ A} \approx 30,95 \text{ A}$$

$$I_{inst} = 30,95 \times \frac{300}{5} = 1857 \text{ A}$$

Delay 0,1 detik

5. Rele 6

Rele 6 merupakan rele yang terpasang pada tegangan 6000V_{LL} berada pada sisi primer transformator LV2.

a. Perhitungan Nilai *Low Set*

1) Arus *Pick Up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(OLF \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,25 \times 120,28)}{\frac{300}{5}} = 2,505 \text{ A} \approx 2,5 \text{ A}$$

$$I_{pick \ up} = 2,5 \times \frac{300}{5} = 150 \text{ A}$$

2) *Time Multiple Setting (TMS)*

Rele 2 merupakan rele paling ujung yang diketahui nilai *setting*-nya, sehingga perlu *disetting* dengan nilai yang terkecil untuk arus hubung singkat pada transformator, dipilih nilai $t_2 = 0,18$ detik dengan mempertimbangkan nilai t_{4b} yang merupakan transformator yang memiliki spesifikasi yang sama. Karakteristik kurva yang digunakan adalah *very inverse*, maka nilai TMS adalah

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\frac{3829,15}{150} - 1\right) \times 0,18}{13,5} = 0,33$$

b. *Instantaneous (High Set)*

Pada perhitungan nilai *instantaneous* rele yang terletak pada sisi primer transformator merupakan 125% dari nilai arus gangguan maksimum pada busbar sekunder yang dikonversi ke sisi primer.

$$I_{sc \text{ sek trafo lv1(6kV)}} = 1493,68 \text{ A}$$

$$\text{Setting} = \frac{(1,25 \times I_{sc \text{ sek trafo lv1(6kV)}})}{r_{CT}}$$

$$\text{Setting} = \frac{(1,25 \times 1493,68)}{300/5} = 31,118 \text{ A} \approx 31 \text{ A}$$

$$I_{inst} = 31 \times \frac{300}{5} = 1860 \text{ A}$$

Delay 0,1 detik

6. Rele 10

Rele 10 merupakan rele yang terpasang pada tegangan 6000V_{LL} digunakan sebagai proteksi utama motor BFP HRSG.

a. Perhitungan Nilai *Low Set*

1) Arus *Pick Up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(OLF \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,05 \times 25,35)}{\frac{100}{5}} = 1,33 \text{ A} \approx 1,3 \text{ A}$$

$$I_{pick \ up} = 1,3 \times \frac{100}{5} = 26 \text{ A}$$

2) *Time Multiple Setting (TMS)*

Rele 10 merupakan rele yang terdekat dengan beban, sehingga perlu disetting dengan nilai yang terkecil untuk arus hubung singkat maksimum pada beban, dipilih nilai $t_{10} = 0,4$ detik. Karakteristik kurva yang digunakan adalah *very inverse*, maka nilai TMS adalah

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{3473,18}{26}\right)^\alpha - 1\right) \times 0,4}{13,5} = 3,93$$

b. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

$$\text{Setting} = \frac{10 \times I_n}{r_{CT}} = \frac{10 \times 26}{\frac{100}{5}} = 13$$

$$I_{\text{inst}} = 13 \times \frac{100}{5} = 260 \text{ A}$$

Delay 0,1 detik

7. Rele 39

Rele 39 merupakan rele yang terpasang pada tegangan 6000V_{LL} digunakan sebagai proteksi utama motor BFP PB.

a. Perhitungan *Low Set*

1) Arus Pick Up

$$\text{Pick up setting} = \frac{(\text{OLF} \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,05 \times 42,03)}{\frac{100}{5}} = 2,21 \text{ A} \approx 2,2 \text{ A}$$

$$I_{\text{pick up}} = 2,2 \times \frac{100}{5} = 44 \text{ A}$$

2) *Time Multiple Setting (TMS)*

Rele 39 merupakan rele yang terdekat dengan beban, sehingga perlu disetting dengan nilai yang terkecil untuk arus hubung singkat maksimum pada beban, dipilih nilai $t_{10} = 0,4$ detik. Karakteristik kurva yang digunakan adalah *very inverse*, maka nilai TMS adalah

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right) t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{3552,31}{44} - 1 \right) \times 0,4 \right)}{13,5} = 2,362 \approx 2,36$$

b. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

$$\text{Setting} = \frac{10 \times I_n}{r_{CT}} = \frac{10 \times 44}{\frac{100}{5}} = 22 \text{ A}$$

$$I_{\text{inst}} = 22 \times \frac{100}{5} = 440 \text{ A}$$

Delay 0,1 detik

8. Rele 43

Rele 43 merupakan rele yang terpasang pada tegangan $6000V_{LL}$ digunakan sebagai proteksi utama motor FD FAN.

a. Perhitungan *Low Set*1) Arus *Pick Up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(OLF \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,05 \times 35,37)}{\frac{100}{5}} = 1,85 \text{ A} \approx 1,9 \text{ A}$$

$$I_{\text{pick up}} = 1,9 \times \frac{100}{5} = 38 \text{ A}$$

2) *Time Multiple Setting (TMS)*

Rele 43 merupakan rele yang terdekat dengan beban, sehingga perlu disetting dengan nilai yang terkecil untuk arus hubung singkat maksimum pada beban, dipilih nilai $t_{10} = 0,4$ detik. Karakteristik kurva yang digunakan adalah *very inverse*, maka nilai TMS adalah

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{3589,92}{38}\right)^\alpha - 1\right) \times 0,4}{13,5} = 2,769 \approx 2,77$$

b. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

$$\text{Setting} = \frac{10 \times I_n}{r_{CT}} = \frac{10 \times 38}{\frac{100}{5}} = 19 \text{ A}$$

$$I_{\text{inst}} = 19 \times \frac{100}{5} = 380 \text{ A}$$

Delay 0,1 detik

9. Rele 48

Rele 48 merupakan rele yang terpasang pada tegangan $6000V_{LL}$ digunakan sebagai proteksi utama motor GT CRANKING.

a. Perhitungan *Low Set*1) Arus *Pick Up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(OLF \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,05 \times 53,46)}{\frac{50}{5}} = 5,61 \text{ A} \approx 5,6 \text{ A}$$

$$I_{\text{pick up}} = 5,6 \times \frac{50}{5} = 56 \text{ A}$$

2) *Time Multiple Setting (TMS)*

Rele 48 merupakan rele yang terdekat dengan beban, sehingga perlu disetting dengan nilai yang terkecil untuk arus hubung singkat maksimum pada beban, dipilih nilai $t_{10} = 0,4$ detik. Karakteristik kurva yang digunakan adalah *very inverse*, maka nilai TMS adalah

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{3872,6}{56}\right)^\alpha - 1\right) \times 0,4}{13,5} = 1,5145 \approx 1,51$$

b. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

$$\text{Setting} = \frac{10 \times I_n}{r_{CT}} = \frac{10 \times 56}{\frac{50}{5}} = 56 \text{ A}$$

$$I_{\text{inst}} = 56 \times \frac{50}{5} = 560 \text{ A}$$

Delay 0,1 detik

10. Rele AUT2

Rele AUT2 merupakan rele yang terpasang pada tegangan $6000V_{LL}$ berada pada sisi sekunder transformator AUT.

a. Perhitungan nilai *low set*

1) Arus *pick up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(OLF \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,05 \times 336,79)}{\frac{600}{5}} = 2,947 \text{ A} \approx 2,95 \text{ A}$$

$$I_{\text{pick up}} = 2,95 \times \frac{600}{5} = 354 \text{ A}$$

2) *Time Multiple Setting (TMS)*

Pada perhitungan TMS pada rele ini, harus dihitung time grading dari rele sebelumnya yaitu antara 0,2 – 04 detik. Jenis kurva yang digunakan adalah *very inverse*.

$$t_{\text{AUT2a}} = t_{4b} + 0,4 = 0,22 + 0,4 = 0,62 \text{ detik}$$

Diketahui sebelumnya bahwa pada arus hubung singkat pada transformator LV1 adalah 3780,26, melihat gambar 4.20 diatas maka

untuk mencari arus hubung singkat yang melewati $Z_{incoming}$ saat trafo LV1 terjadi hubung singkat adalah

$$I_{sc} \text{ pada incoming} = \frac{I_{sc} Z_p}{Z_{incoming}} = \frac{3780,26 \times 0,98019}{1,359248} = 22726,05 \text{ A}$$

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{22726,05}{354}\right)^1 - 1\right) \times 0,62}{13,5} = 0,3077 \approx 0,31$$

$$t_{AUT2b} = \frac{k\beta}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,31 \times 13,5}{\left(\frac{2803,4}{348}\right)^1 - 1} = 0,6 \text{ detik}$$

b. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

$$\text{Setting} = \frac{(0,5 \times I_{sc})}{r_{CT}}$$

$$\text{Setting} = \frac{(0,5 \times 2803,4)}{600/5} = 11,681 \text{ A} \approx 11,7 \text{ A}$$

$$I_{inst} = 11,7 \times \frac{300}{5} = 1404 \text{ A}$$

Delay 0,3 detik

11. Rele AT2

Rele AT2 merupakan rele yang terpasang pada tegangan $11000V_{LL}$ berada pada sisi primer transformator AUT.

a. Perhitungan nilai *low set*

1) Arus *pick up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(OLF \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,25 \times 183,7)}{\frac{400}{5}} = 2,9 \text{ A}$$

$$I_{pick\ up} = 2,9 \times \frac{400}{5} = 232 \text{ A}$$

2) *Time Multiple Setting*

Pada perhitungan TMS pada rele ini, harus dihitung *time grading* dari rele sebelumnya yaitu antara 0,2 – 04 detik. Jenis kurva yang digunakan adalah *very inverse*.

$$t_{AT2a} = t_{AUTb} + 0,4 = 0,62 + 0,4 = 1,02 \text{ detik}$$

Diketahui sebelumnya bahwa pada arus hubung singkat pada bus sekunder trafo LV1 adalah 2803,4 A 6000 V, maka

$$I_{sc \text{ sek trafo AUT}(11kV)} = \frac{6000}{11000} \times 2803,4 = 1529,13 \text{ A}$$

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{1529,13}{232}\right)^1 - 1\right) \times 1,05}{13,5} = 0,42$$

$$t_{4b} = \frac{k\beta}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,42 \times 0,13,5}{\left(\frac{10179,46}{150}\right)^1 - 1} = 0,13 \text{ detik}$$

b. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

Pada perhitungan nilai *instantaneous* rele yang terletak pada sisi primer transformator merupakan 125% dari nilai arus gangguan maksimum pada busbar sekunder yang dikonversi ke sisi primer.

$$\text{Setting} = \frac{(1,25 \times I_{sc \text{ sek trafo AUT}(11kV)})}{r_{CT}}$$

$$\text{Setting} = \frac{(1,25 \times 1529,13)}{400/5} = 23,89 \text{ A} \approx 23,9 \text{ A}$$

$$I_{inst} = 23,9 \times \frac{400}{5} = 1912 \text{ A}$$

Delay 0,25 detik

12. Rele 81

Rele 81 merupakan rele yang terpasang pada tegangan 11000V_{LL}, merupakan proteksi utama generator.

a. Perhitungan nilai *low set*

1) Arus *pick up*

$$\text{Pick up setting} = \frac{(OLF \times I_n)}{r_{CT}}$$

$$\text{Pick up setting} = \frac{(1,25 \times 1655)}{\frac{1600}{5}} = 6,464 \text{ A} \approx 6,46 \text{ A}$$

$$I_{pick \text{ up}} = 6,46 \times \frac{1600}{5} = 2067,2 \text{ A}$$

3) *Time Multiple Setting*

Pada perhitungan TMS pada rele ini, harus dihitung *time grading* dari rele sebelumnya yaitu antara 0,2 – 04 detik. Jenis kurva yang digunakan adalah very inverse.

$$t_{AT2a} = t_{ATb} + 0,4 = 0,13 + 0,4 = 0,53 \text{ detik}$$

Diketahui sebelumnya bahwa pada arus hubung singkat pada transformator AUT adalah 10179,46 A 11000 V, maka

$$k = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)t}{\beta} = \frac{\left(\left(\frac{10179,46}{2067,2}\right)^1 - 1\right) \times 0,53}{13,5} = 0,15$$

$$t_{4b} = \frac{k\beta}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,15 \times 0,13,5}{\left(\frac{10497,28}{2067,2}\right)^1 - 1} = 0,51 \text{ detik}$$

c. Perhitungan *Instantaneous (High Set)*

Pada perhitungan nilai *instantaneous* rele yang terletak pada sisi primer transformator merupakan 125% dari nilai arus gangguan maksimum pada busbar sekunder yang dikonversi ke sisi primer.

$$\text{Setting} = \frac{(0,5 \times I_{sc})}{r_{CT}}$$

$$\text{Setting} = \frac{(0,5 \times 10497,28)}{1600/5} = 16,402 \text{ A} \approx 16,4 \text{ A}$$

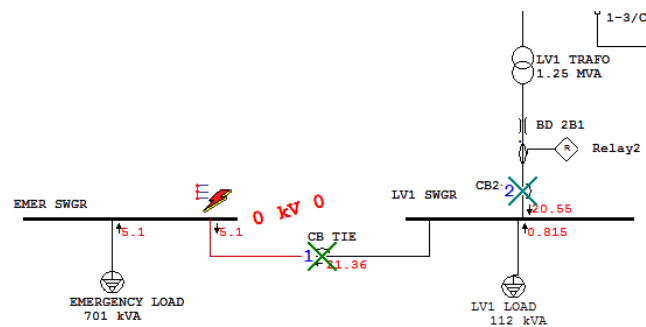
$$I_{inst} = 16,4 \times \frac{1600}{5} = 5248 \text{ A}$$

4.4 Unjuk Kerja Koordinasi Rele Arus Lebih Setelah *Resetting*

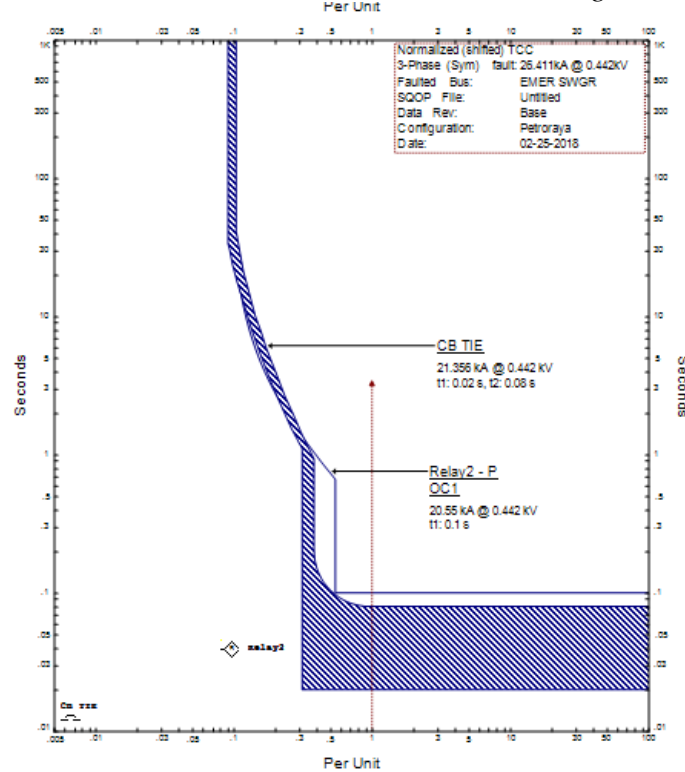
Hasil perhitungan manual yang telah dilakukan pada sub bab 4.3 kemudian diinputkan pada *software* ETAP 12.6 guna dilakukan pengujian simulasi kerja rele.

4.4.1 Gangguan pada *Emmergency SWGR* Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, *Emmergency SWGR* diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah CB TIE dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele 2 yang memberikan isyarat trip ke CB 2-2.



Gambar 4.22 Simulasi Koordinasi Proteksi *Emmergency SWGR* Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

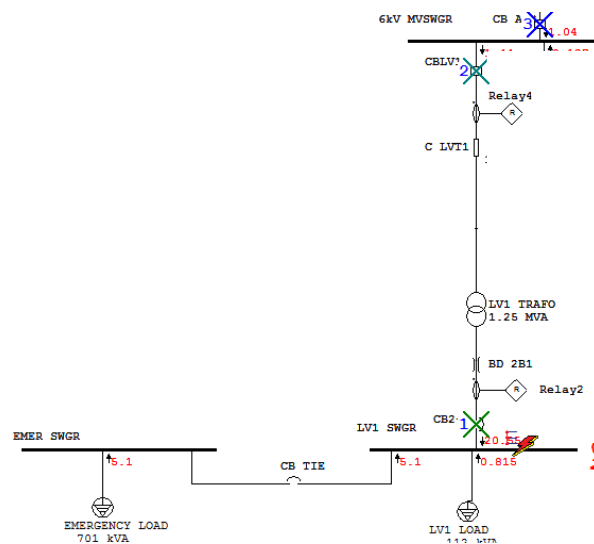


Gambar 4.23 Kurva Koordinasi Proteksi LV1 SWGR Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

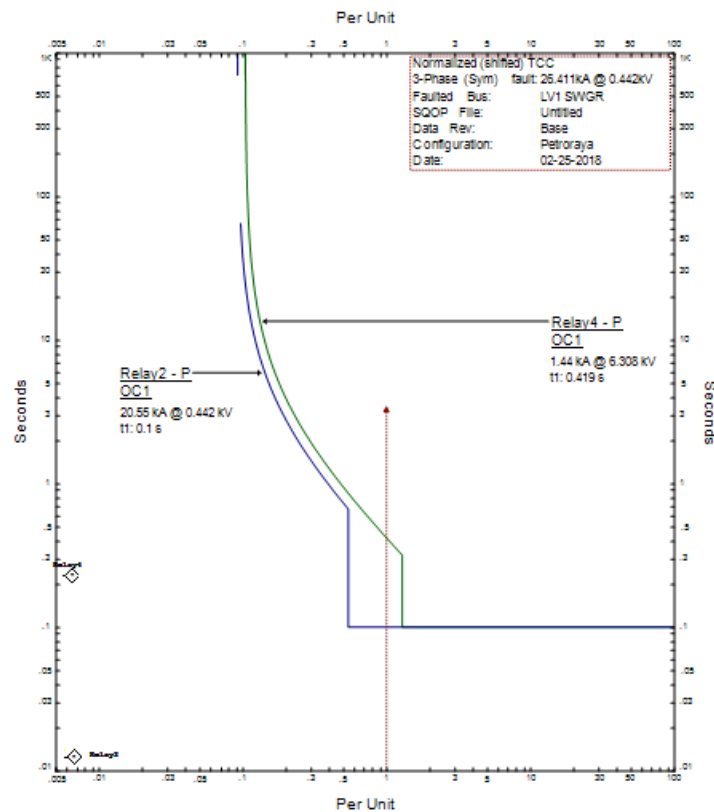
Pada simulasi pada gambar 4.22 bahwa ketika busbar EMMER SWGR mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB TIE, kemudian CB 22. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.23 bahwa kurva berhimpitan, hal itu diakibatkan jenis kurva yang ada pada proteksi Micrologic hanya 1 jenis, selain itu nilai toleransi saat perintah trip juga besar yaitu antara $\pm 10\%$, hal ini memungkinkan terjadinya mis-koordinasi pada arus gangguan yang lebih kecil.

4.4.2 Gangguan pada LV1 SWGR Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, LV1 SWGR diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 2 yang memberikan isyarat trip ke CB 2-2 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele 4 yang memberikan isyarat trip ke CB LV1.



Gambar 4.24 Simulasi Koordinasi Proteksi LV1 SWGR Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

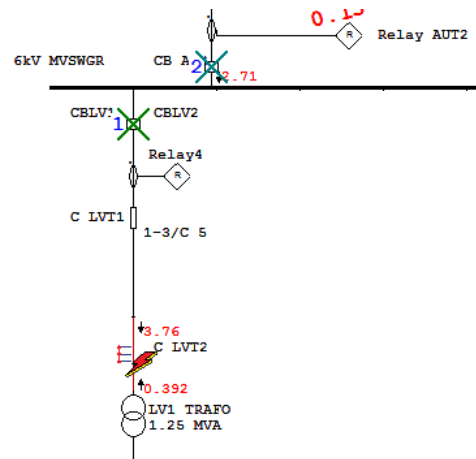


Gambar 4.25 Kurva Koordinasi Proteksi LV1 SWGR Unit INT IPP PT Petrokima Gresik Setelah *Resetting*

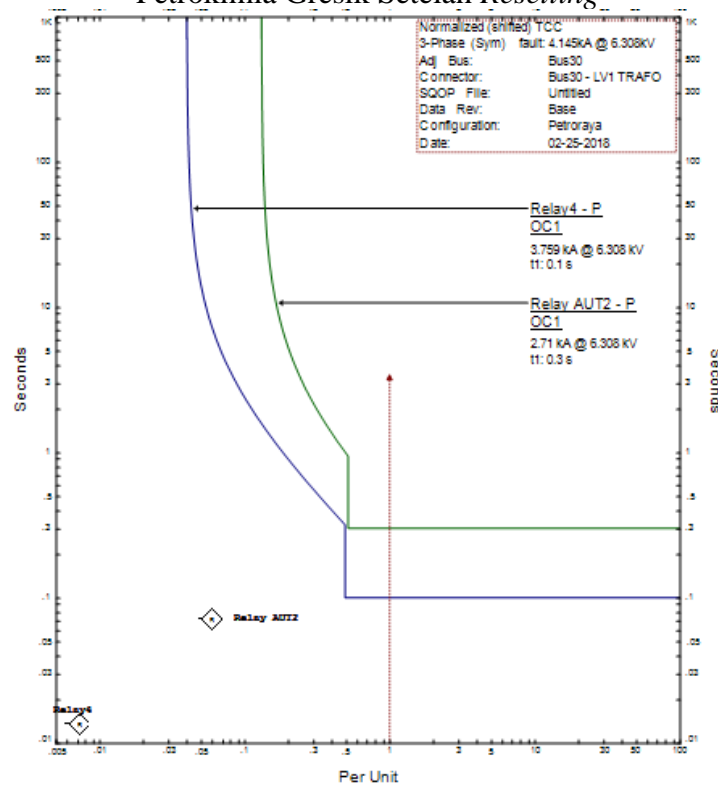
Pada simulasi pada gambar 4.24 bahwa ketika busbar LV1 SWGR mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB 2-2, kemudian CB LV1. Secara berurutan rele 2 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele 4 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.25 bahwa kurva tidak saling berhimpitan kecuali pada bagian *instantaneous*, ini menandakan bahwa rele tidak terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.4.3 Gangguan pada transformator LV1 Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, transformator LV1 diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 4 yang memberikan isyarat trip ke CB LV1 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.26 Simulasi Koordinasi Proteksi Transformator LV1 Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

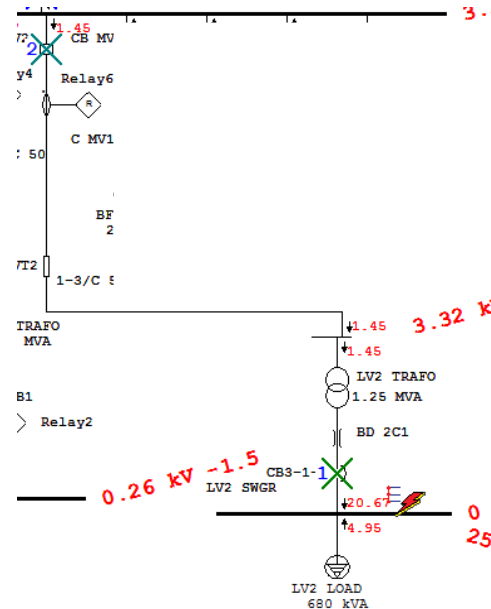


Gambar 4.27 Kurva Koordinasi Proteksi Transformator LV1 Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

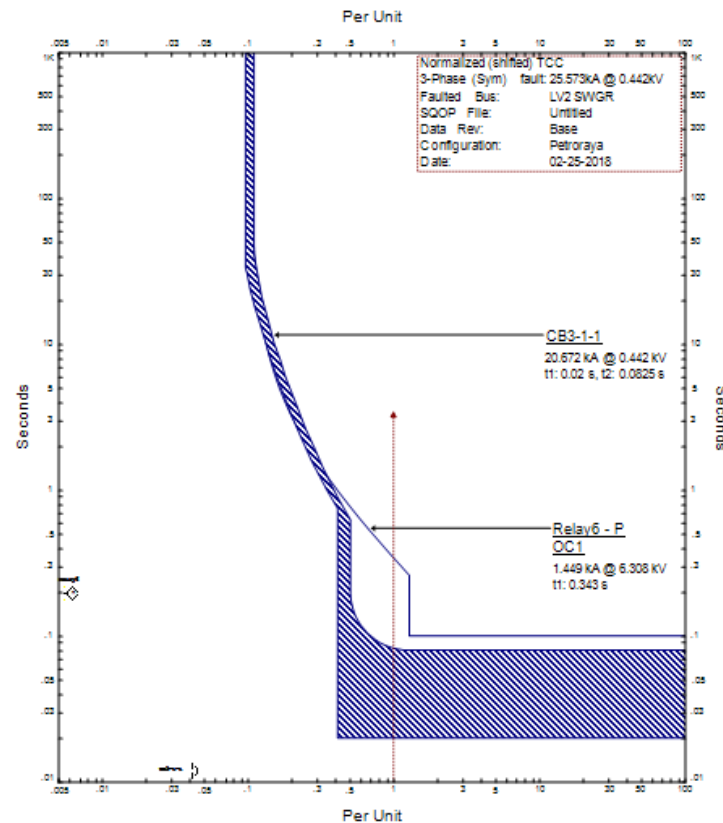
Pada simulasi pada gambar 4.26 didapatkan hasil bahwa ketika transformator LV1 mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB LV1, kemudian CB AT2. Secara berurutan rele 4 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.27 bahwa kurva tidak saling berhimpitan, ini menandakan bahwa rele tidak terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.4.4 Gangguan pada LV2 SWGR Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, LV2 SWGR diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah CB 3-1-1 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele 6 yang memberikan isyarat trip ke CB MV2.



Gambar 4.28 Simulasi Koordinasi Proteksi LV2 SWGR Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

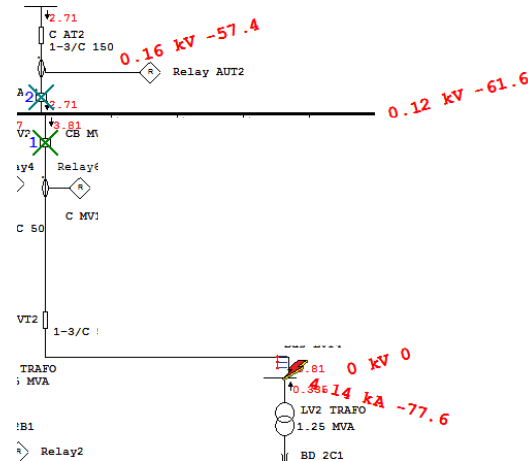


Gambar 4.29 Kurva Koordinasi Proteksi LV2 SWGR Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

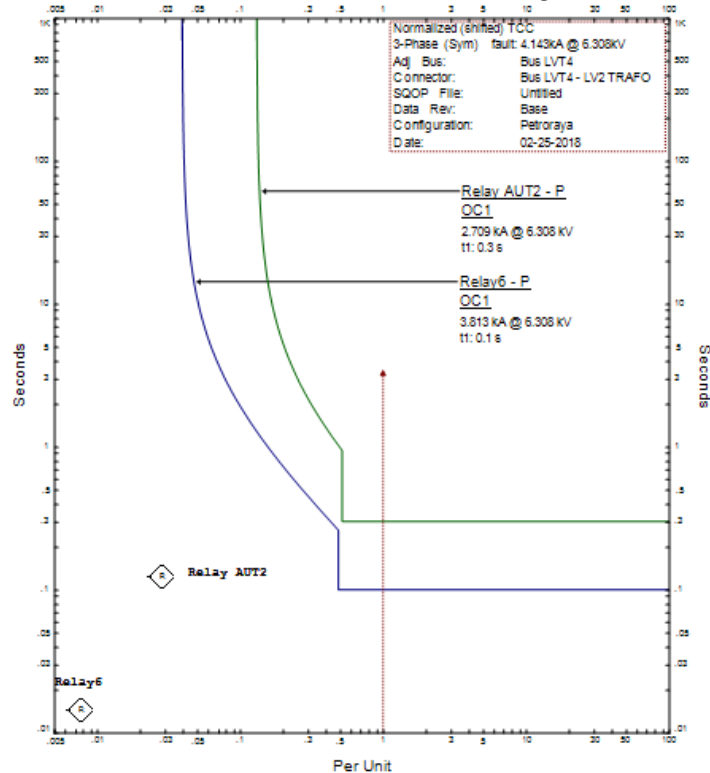
Pada simulasi pada gambar 4.28 bahwa ketika busbar EMMER SWGR mengalami gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB 3-1-1, kemudian CB 22. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.29 bahwa kurva berhimpitan, hal itu diakibatkan jenis kurva yang ada pada proteksi Micrologic hanya 1 jenis, selain itu nilai toleransi saat perintah trip juga besar yaitu antara $\pm 10\%$, hal ini memungkinkan terjadinya mis-koordinasi pada arus gangguan yang lebih kecil.

4.4.5 Gangguan pada transformator LV2 Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, transformator LV2 diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 6 yang memberikan isyarat trip ke CB LV2 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.30 Simulasi Koordinasi Proteksi Transformator LV2 Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

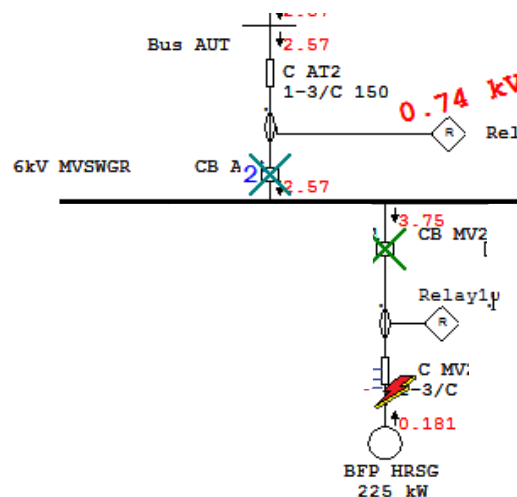


Gambar 4.31 Kurva Koordinasi Proteksi Transformator LV2 Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

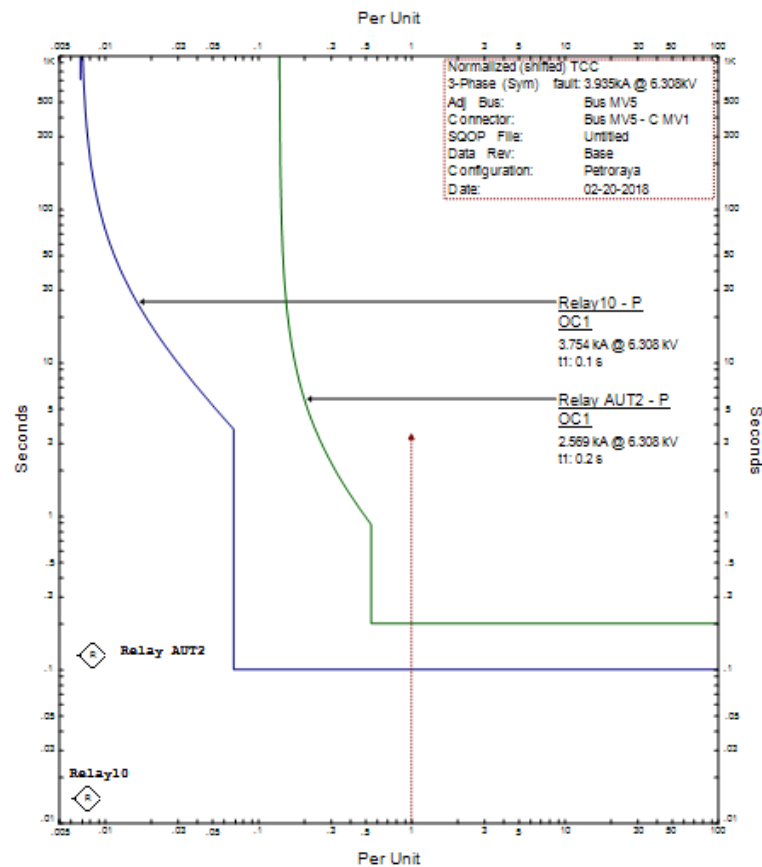
Pada simulasi pada gambar 4.30 didapatkan hasil bahwa ketika transformator LV2 mengalami arus gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB LV2, kemudian CB AUT2. Secara berurutan rele 6 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AT2 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.31 bahwa kurva tidak saling berhimpitan, ini menandakan bahwa rele tidak terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.4.6 Gangguan pada Beban BFP HRSG Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, beban motor BFP HRSG diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 10 yang memberikan isyarat trip ke CB MV1 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.32 Simulasi Koordinasi Proteksi Beban BFP HRSG Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

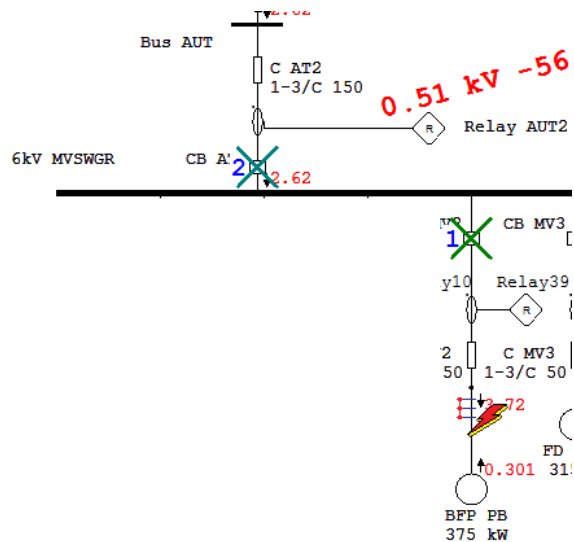


Gambar 4.33 Kurva Koordinasi Proteksi Beban BFP HRSG Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

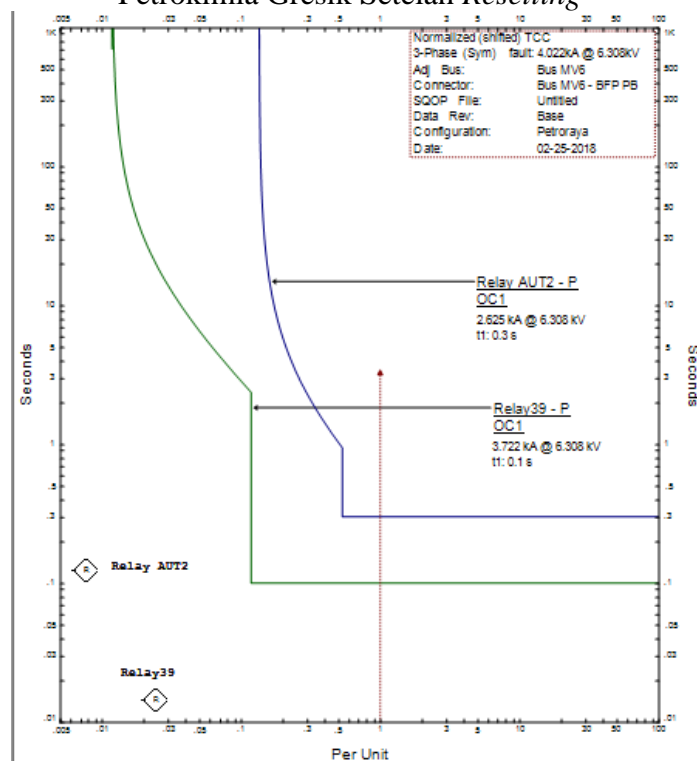
Pada simulasi pada gambar 4.32 didapatkan hasil bahwa ketika beban motor BFP HRSG mengalami arus gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB MV1, kemudian CB AT2. Secara berurutan rele 10 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.33 bahwa kurva tidak saling berhimpitan ataupun memotong satu sama lain, ini menandakan bahwa tidak akan terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.4.7 Gangguan pada Beban BFP PB Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, beban motor BFP PB diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 39 yang memberikan isyarat trip ke CB MV2 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.34 Simulasi Koordinasi Proteksi Beban BFP PB Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

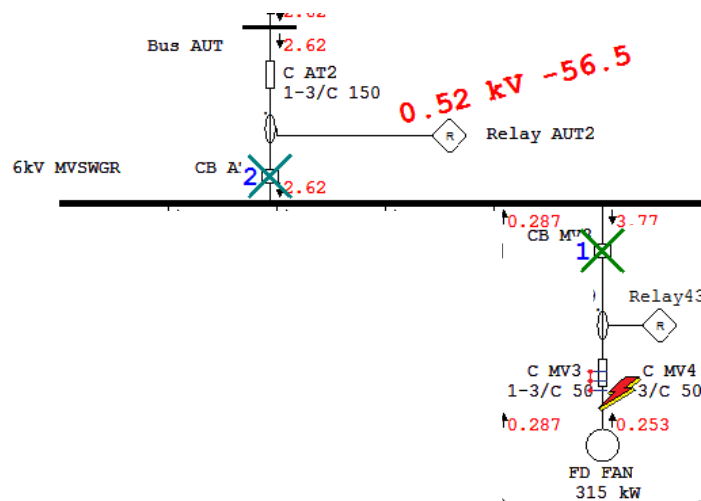


Gambar 4.35 Kurva Koordinasi Proteksi Beban BFP PB Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

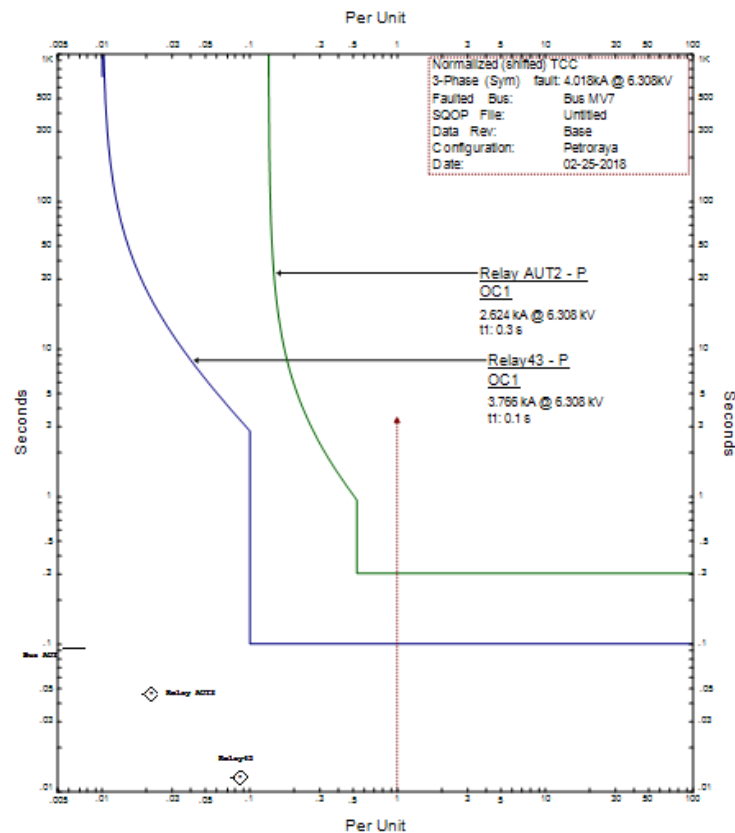
Pada simulasi pada gambar 4.34 didapatkan hasil bahwa ketika beban motor BFP PB mengalami arus gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB MV2, kemudian CB AT2. Secara berurutan rele 39 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.35 bahwa kurva tidak saling berhimpitan ataupun memotong satu sama lain, ini menandakan bahwa tidak akan terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.4.8 Gangguan pada Beban FD FAN Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, beban motor FD FAN diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 10 yang memberikan isyarat trip ke CB MV3 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.36 Simulasi Koordinasi Proteksi Beban FD FAN Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

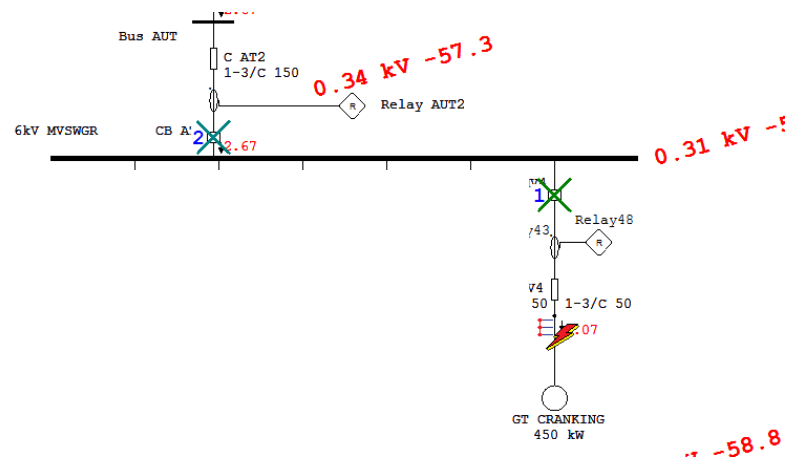


Gambar 4.37 Kurva Koordinasi Proteksi Beban FD FAN Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

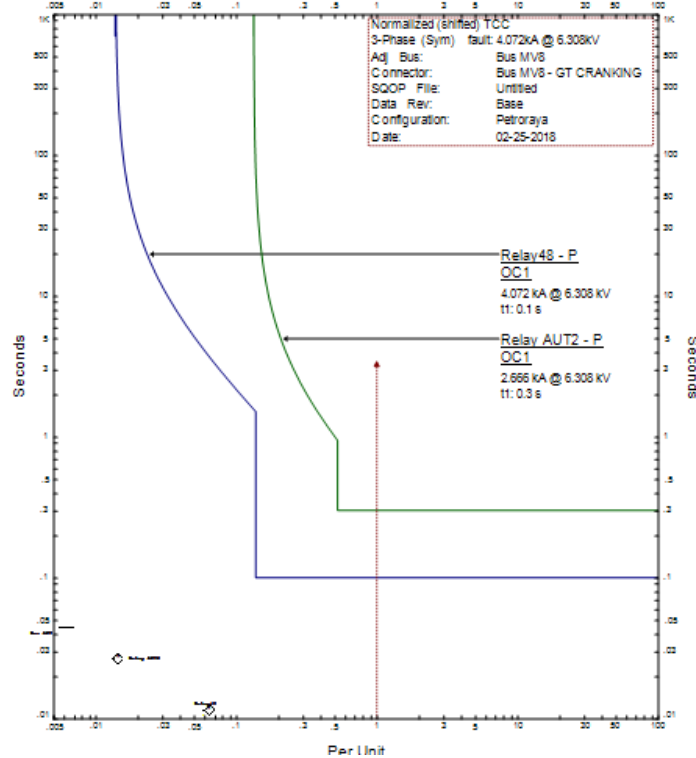
Pada simulasi pada gambar 4.36 didapatkan hasil bahwa ketika beban motor FD FAN mengalami arus gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB MV3, kemudian CB AT2. Secara berurutan rele 43 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.37 bahwa kurva tidak saling berhimpitan ataupun memotong satu sama lain, ini menandakan bahwa tidak akan terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.4.9 Gangguan pada Beban GT CRANKING Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, beban motor GT CRANKING diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele 48 yang memberikan isyarat trip ke CB MV4 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2.



Gambar 4.38 Simulasi Koordinasi Proteksi Beban GT CRANKING Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

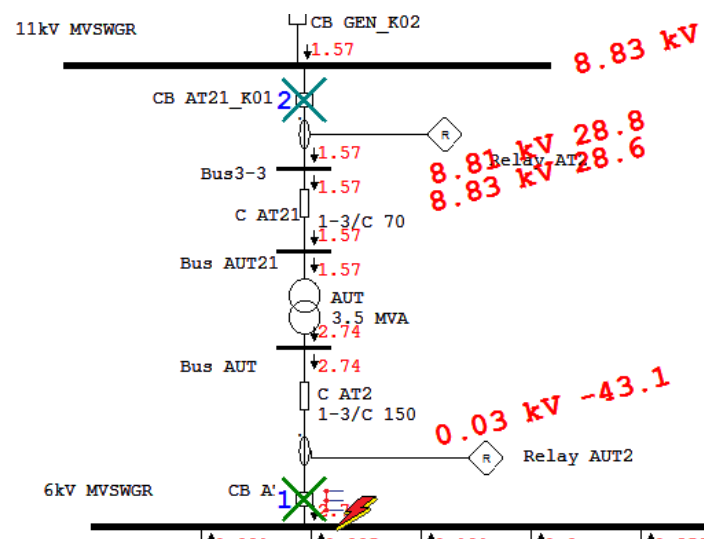


Gambar 4.39 Kurva Koordinasi Proteksi Beban GT CRANKING Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

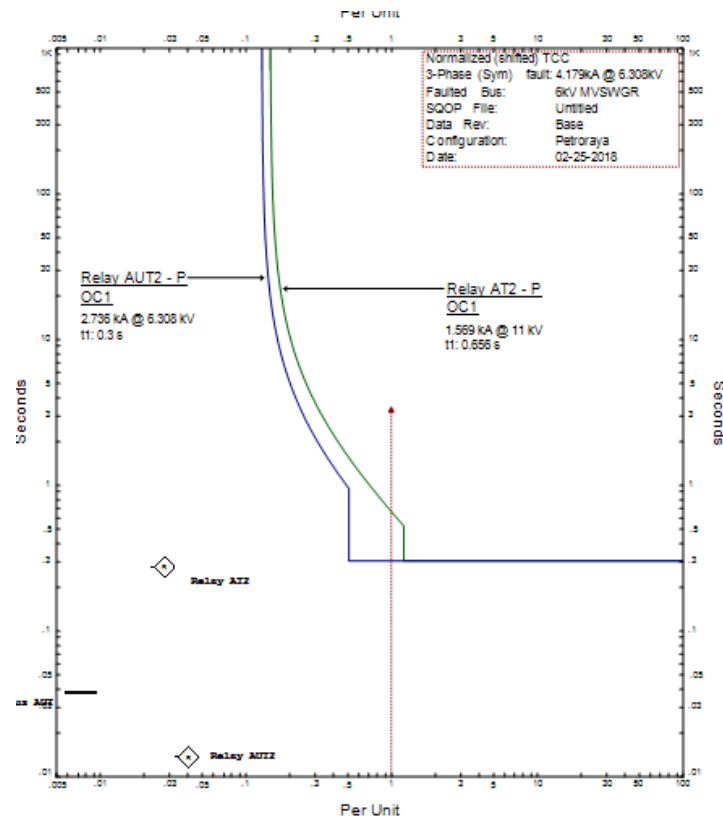
Pada simulasi pada gambar 4.38 didapatkan hasil bahwa ketika beban motor GT CRANKING mengalami arus gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB MV4, kemudian CB AT2. Secara berurutan rele 48 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AUT2 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.39 bahwa kurva tidak saling berhimpitan ataupun memotong satu sama lain, ini menandakan bahwa tidak akan terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.4.10 Gangguan pada busbar 6KV MVSWGR Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, busbar 6Kv MVSWGR diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele AUT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT2 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele AT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT21_K01.



Gambar 4.40 Simulasi Koordinasi Proteksi Busbar 6KV MVSWGR Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

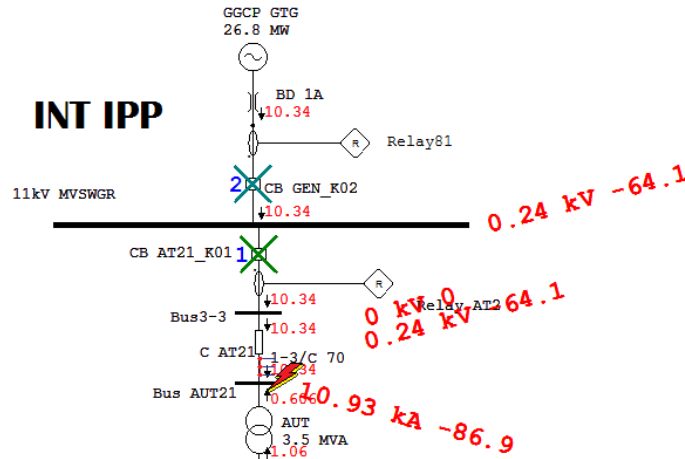


Gambar 4.41 Kurva Koordinasi Proteksi Busbar 6KV MVSWGR Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

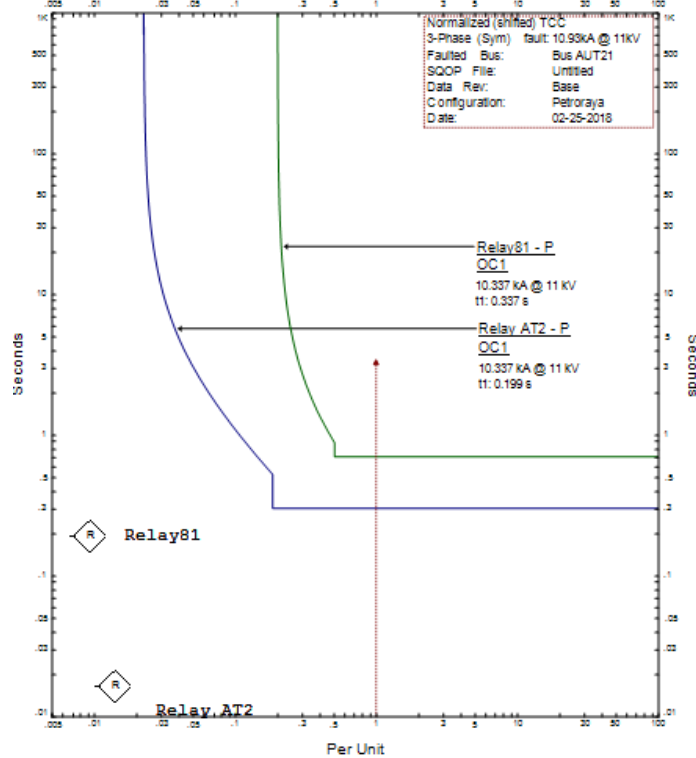
Pada simulasi pada gambar 4.40 didapatkan hasil bahwa ketika busbar 6KV MVSWGR mengalami arus gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB AT2, kemudian CB AT21_K01. Secara berurutan rele AUT2 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele AT2 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.41 bahwa kurva *inverse* tidak saling berhimpitan ataupun memotong satu sama lain, sedangkan kurva *instantaneous* berhimpitan pada sumbu y, hal ini tidak akan menjadikan mis-koordinasi karena nilai arus hubung singkat maksimum memperlihatkan hanya memotong kurva *instantaneous* rele AUT2, sedangkan pada rele AT2 memotong kurva *inverse*. Ini menandakan bahwa tidak akan terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.4.11 Gangguan pada Transformator AUT Unit INT IPP Petrokimia Gresik

Pada percobaan ini, transformator AUT diberikan arus gangguan. Sebagai peralatan proteksi utama adalah rele AT2 yang memberikan isyarat trip ke CB AT21_K01 dan sebagai peralatan proteksi cadangan (*backup*) adalah rele 81 yang memberikan isyarat trip ke CB GEN_K01.



Gambar 4.42 Simulasi Koordinasi Proteksi Transformator AUT Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*



Gambar 4.43 Kurva Koordinasi Proteksi Transformator AUT Unit INT IPP PT Petrokimia Gresik Setelah *Resetting*

Pada simulasi pada gambar 4.42 didapatkan hasil bahwa ketika transformator AUT mengalami arus gangguan maka *circuit breaker* yang bekerja secara berurutan adalah CB AT21_K01, kemudian CB GEN_K02. Secara berurutan rele AT2 bekerja terlebih dahulu untuk mengamankan gangguan karena sebagai peralatan proteksi utama, kemudian rele 81 sebagai peralatan proteksi *backup*. Jadi, secara garis besar sistem telah terproteksi dengan baik karena 2 rele yang paling dekat dengan sumber gangguan bekerja sebagaimana mestinya. Terlihat pada kurva koordinasi proteksi pada gambar 4.43 bahwa kurva tidak saling berhimpitan ataupun memotong satu sama lain, ini menandakan bahwa tidak akan terjadi kesalahan koordinasi pada arus gangguan berapapun.

4.5 Perbandingan *Setting* Lapangan dan Setelah *Resetting* Manual pada Unit INT IPP Petrokimia Gresik

4.5.1 Rangkuman perbandingan nilai *setting* lapangan dengan *resetting* manual

Perbandingan nilai *setting* rele arus lebih yang digunakan pada unit INT IPP PT Petrokimia Gresik dan hasil perhitungan manual dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Perbandingan *Setting* Lapangan dan *Resetting* Manual Rele Arus Lebih

No	Nama Rele	<i>Setting</i> Lapangan	<i>Resetting</i> Manual
1	CB TIE	-	<u>Long Time</u> <i>Tap</i> : 0,74 <i>I_{set}</i> : 1850 A <i>ST Band</i> : 0,5 <u>Short Time</u> <i>Tap</i> : 4 <i>I_{set}</i> : 7400 A <i>ST Band</i> : 0 <i>Instant</i> :-
2	Rele 2 CB 2-2	<i>Curve Type IEC-Standard Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,75 A <i>TMS</i> : 0,15 <i>Instant</i> : 20 A <i>Delay</i> : 0,3 <i>Ratio CT</i> : 2500/5	<i>Curve Type IEC- Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,79 A <i>TMS</i> : 0,24 <i>Instant</i> : 22,29 A <i>Delay</i> : 0,1 s <i>Ratio CT</i> : 2500/5
3	Rele 4 CB LV1	<i>Curve Type IEC-Standard Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,5 A <i>TMS</i> : 0,45 <i>Instant</i> : 50 A <i>Delay</i> : 0,1 <i>Ratio CT</i> : 300/5	<i>Curve Type IEC- Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,5 A <i>TMS</i> : 0,4 <i>Instant</i> : 30,95 A <i>Delay</i> : 0,1 s <i>Ratio CT</i> : 300/5

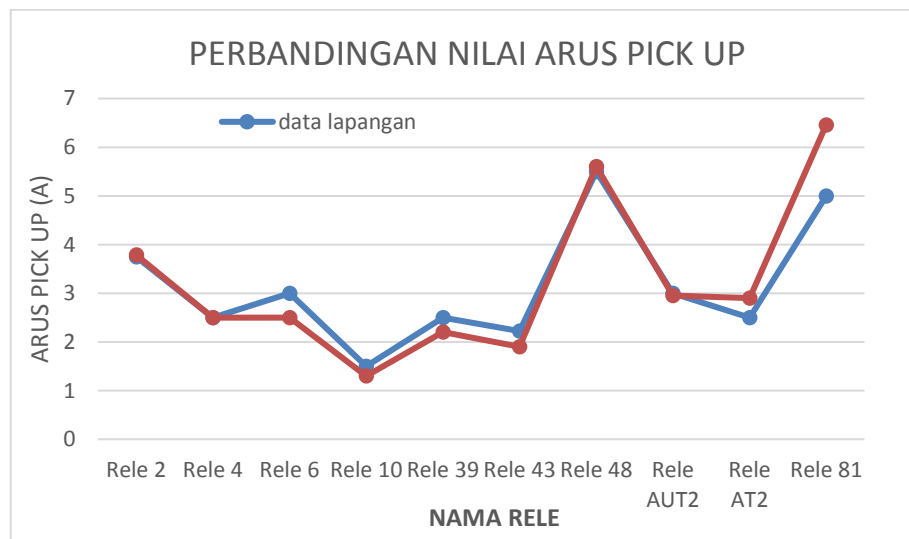
4	CB 3-1-1	-	<u>Long Time</u> Tap : 0,76 I _{set} : 1900 A ST Band : 0,5 <u>Short Time</u> Tap : 5 I _{set} : 9500 A ST Band : 0 Instant :-
5	Rele 6 CB LV2	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 3 A TMS : 0,3 Instant : 40 A Delay : 0,1 Ratio CT : 300/5	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 2,5 A TMS : 0,33 Instant : 31 A Delay : 0,1 s Ratio CT : 300/5
6	Rele 10 CB MV1	Curve Type IEC-Extremely Inverse Pick Up : 1,5 A TMS : 3,5 Instant : 17,5 A Delay : 0,05 Ratio CT : 100/5	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 1,3 A TMS : 3,93 Instant : 13 A Delay : 0,1 s Ratio CT : 100/5
7	Rele 39 CB MV2	Curve Type IEC-Extremely Inverse Pick Up : 2,5 A TMS : 2,5 Instant : 28,75 A Delay : 0,05 Ratio CT : 100/5	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 2,2 A TMS : 2,36 Instant : 22 A Delay : 0,1 Ratio CT : 100/5
8	Rele 43 CB MV3	Curve Type IEC- Extremely Inverse Pick Up : 2,22 A TMS : 4,8 Instant : 25,5 A Delay : 0,05 Ratio CT : 100/5	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 1,9 A TMS : 2,77 Instant : 19 A Delay : 0,1 Ratio CT : 100/5
9	Rele 48 CB MV4	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 5,5 A TMS : 0,8 Instant : 100 A Delay : 0,1 Ratio CT : 50/5	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 5,6 A TMS : 1,51 Instant : 56 A Delay : 0,1 Ratio CT : 50/5
10	Rele AUT2 CB AT2	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 3 A TMS : 0,3 Instant : 21 A Delay : 0,3 Ratio CT : 600/5	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 2,95 A TMS : 0,31 Instant : 11,7 A Delay : 0,3 Ratio CT : 600/5
11	Rele AT2 CB AT2_K01	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 2,5 A TMS : 0,4 Instant : 18 A Delay : 0,3 Ratio CT : 400/5	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 2,9 A TMS : 0,42 Instant : 23,9 A Delay : 0,3 Ratio CT : 400/5

12	Rele 81 CB GEN_K02	Curve Type IEC- Standard Inverse Pick Up : 5 A TMS : 0,6 Instant : 15 A Delay : 0,7 Ratio CT : 1600/5	Curve Type IEC- Very Inverse Pick Up : 6,46 A TMS : 0,15 Instant : 16,4 A Delay : 0,7 Ratio CT : 1600/5
----	--------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4.5.2 Kurva Perbandingan Tiap Parameter Rele Arus Lebih

1. Perbandingan nilai *pick up*

Perbandingan nilai arus *pick up* sebelum dan sesudah *resetting* dapat dilihat pada gambar 4.44 dibawah ini:

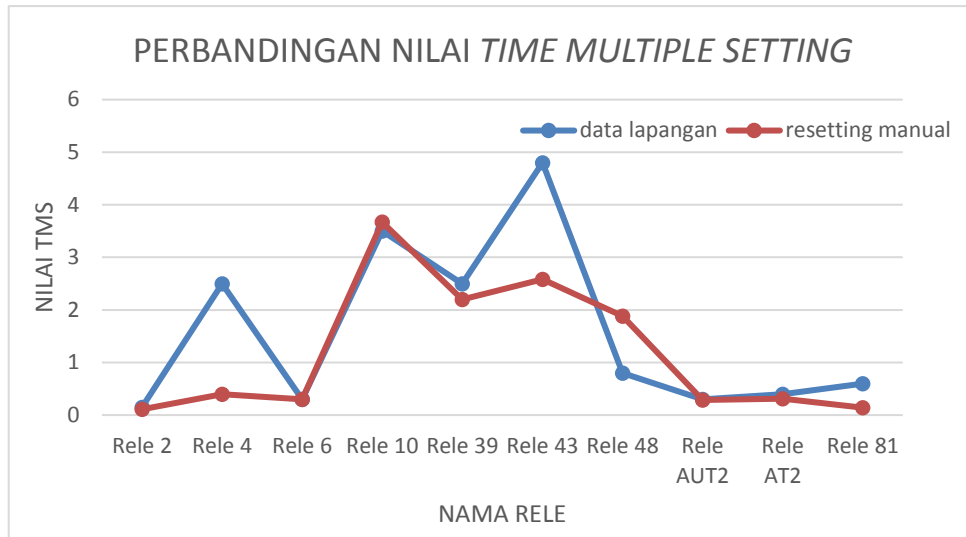


Gambar 4.44 Kurva Perbandingan Nilai Arus *Pick UP*

Dilihat dari gambar 4.44, beberapa rele memiliki selisih nilai arus *pick up*. Hal ini bisa diakibatkan oleh beberapa hal antara lain pemilihan nilai *Overload Factor* (OLF) yang memiliki range 1,05 hingga 1,5 kali kuat arus nominal. Perbedaan pemilihan nilai OLF tentunya akan berdampak pada nilai arus *pick up* rele arus lebih ini. Perbedaan nilai arus *pick up* ini tidak berpengaruh terhadap jenis kurva yang digunakan.

2. Perbandingan nilai *time multiple setting* (TMS)

Perbandingan nilai *time multiple setting* sebelum dan sesudah *resetting* dapat dilihat pada gambar 4.45 dibawah ini:

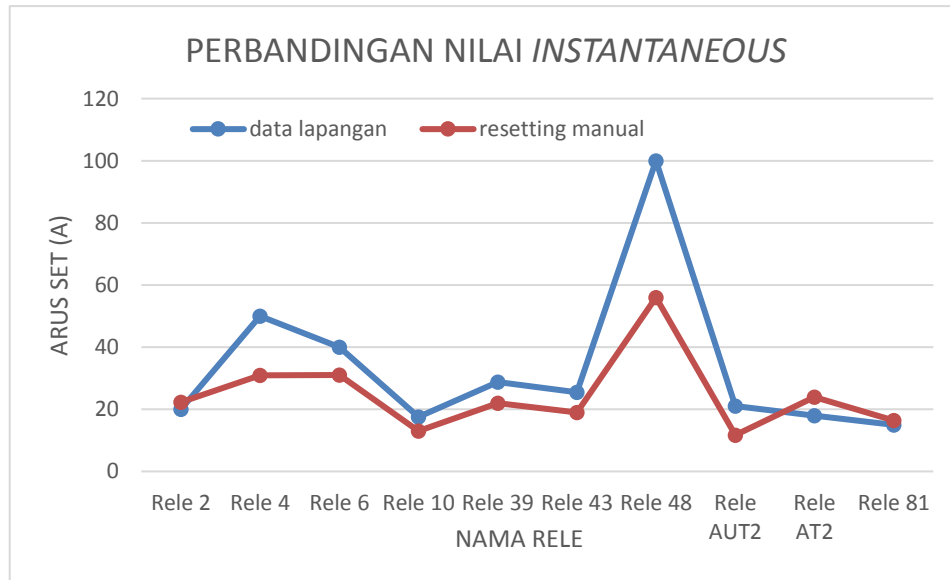


Gambar 4.45 Kurva Perbandingan Nilai *Time Multiple Setting* (TMS)

Dilihat pada gambar 4.45 bahwa beberapa rele memiliki nilai *Time Multiple Setting* (TMS) yang berbeda sangat mencolok. Perbedaan nilai ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, yang pertama adalah perbedaan nilai waktu trip (t) yang di-*setting*. Faktor kedua adalah diakibatkan oleh jenis kurva yang digunakan. Pada persamaan 2.20 memperlihatkan bahwa bentuk kurva mempengaruhi nilai k (*Time Multiple Setting*) karena terdapat besaran α dan β yang berbeda tiap kurva.

3. Perbandingan nilai *instantaneous*

Perbandingan nilai arus *set instantaneous* sebelum dan sesudah *resetting* dapat dilihat pada gambar 4.46 dibawah ini:

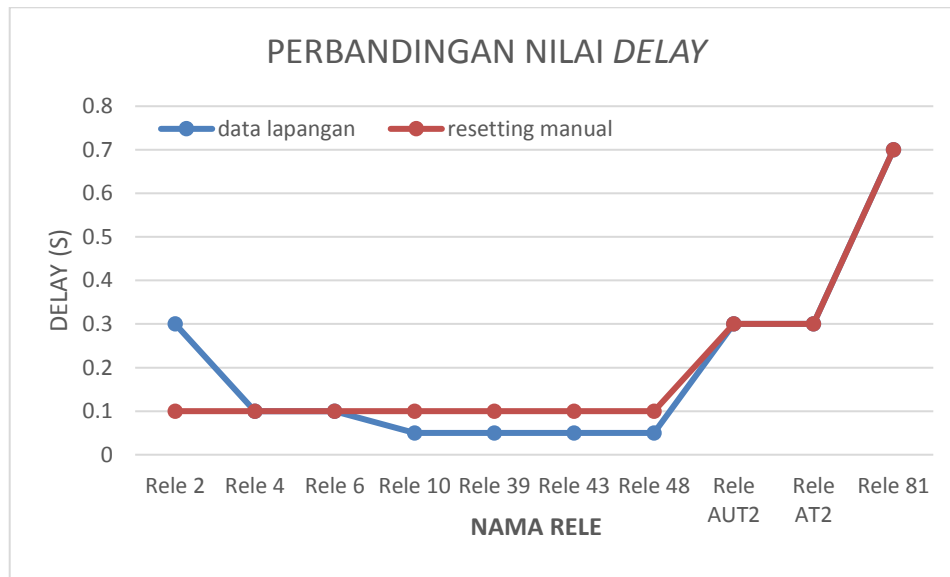


Gambar 4.46 Kurva Perbandingan Nilai *Instantaneous*

Dilihat pada gambar 4.46 diatas bahwa beberapa rele memiliki nilai *instantaneous* yang berbeda sangat mencolok. Perbedaan nilai ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, antara lain bagaimana tipe pengasutan motornya. Tiap pengasutan motor memiliki karakteristik tertentu terutama saat motor *starting*. Penyebab lainnya, karena terdapat sistem proteksi lainnya (selain rele arus lebih) yang terpasang dan membutuhkan parameter-parameter tertentu agar tetap bekerja dengan baik sehingga sensitivitas rele arus lebih dikurangi.

4. Perbandingan nilai *delay*

Perbandingan nilai arus *set delay* sebelum dan sesudah *resetting* dapat dilihat pada gambar 4.47 dibawah ini:



Gambar 4.47 Kurva Perbandingan Nilai *Delay*

Dilihat pada gambar 4.47 diatas bahwa nilai *delay* beberapa rele memiliki selisih. Perbedaan nilai ini disebabkan karena asumsi waktu yang digunakan berbeda. *Time grading* hanya digunakan pada rele AT 2 dan rele 81 karena melihat kurva dimana arus hubung singkat maksimal memotong keduaapat diakibatkan oleh beberapa faktor, yang pertama adalah perbedaan nilai waktu trip (t) yang di-*setting*. Faktor kedua adalah diakibatkan oleh jenis kurva yang digunakan. Bila suatu rele di-*setting* untuk dapat memerintahkan CB untuk trip dalam waktu tertentu, maka akan berubahlah nilai TMS-nya sesuai dengan persamaan 2.20.