

Pengaturan Ulang Rele Arus Lebih Sebagai Pengaman Utama *Compressor* Pada *Feeder 2F* PT. Ajinomoto Mojokerto

Bagus Ibnu Pratama, Moch.Dhofir, dan Hery Purnomo

Abstrak—Proses produksi PT. Ajinomoto terhenti selama dua setengah jam. Setelah dilakukan penyelidikan, kejadian tersebut disebabkan oleh gangguan hubung singkat pada motor induksi tiga fasa (1000 kW) yang berfungsi sebagai penggerak *compressor* pada *feeder 2F*. Rele arus lebih sebagai pengaman utama tidak bekerja, dan rele pada sisi *upstream* bekerja lebih dahulu. Hal ini menyebabkan terjadi kegagalan lokalisir gangguan. Akibatnya sistem yang harusnya beroperasi normal menjadi terganggu (*trip*). Tujuan penelitian ini adalah menghitung besar arus gangguan hubung singkat tersebut dan menyetel ulang rele arus lebih. Dengan setelan rele arus lebih yang baru yaitu $I_{set\ prim} = 262\text{ A}$, $I_{set\ sek} = 3.28\text{ A}$ dan untuk setelan OCR $M=0.75$, $t=0.25\text{ s}$, setelan GFR $M=1$, $t=0.25\text{ s}$ diharapkan dapat meningkatkan selektifitas sistem proteksi dan memperbaiki koordinasi rele pengaman utama dengan pengaman cadangan. Untuk menampilkan grafik kerja rele digunakan *software ETAP*.

Kata Kunci — Gangguan hubung singkat, Kesalahan lokalisir gangguan, penyetelan ulang rele arus lebih

I. PENDAHULUAN

MENGACU pada laporan kejadian tanggal 7 Agustus 2012 terjadi gangguan terhadap proses produksi di PT. Ajinomoto. Proses produksi berhenti total selama dua setengah jam. Setelah dilakukan penelusuran, ternyata awal gangguan terjadi akibat adanya hubung singkat pada motor yang berfungsi sebagai *compressor* dengan daya 1000kW. Motor tersebut terletak pada *feeder 2F* yang dicatut oleh tegangan jala-jala PLN sebesar 3.3 kV. Sistem pengaman motor tersebut meliputi rele, *circuit breaker*, dan *current transformer*.

Koordinasi dari peralatan pengaman tersebut bertujuan untuk melokalisir gangguan dengan cepat. Peralatan tersebut harus dikoordinasikan untuk memastikan bahwa peralatan yang berada di titik terdekat dengan gangguan harus dioperasikan terlebih dahulu (proteksi utama). Kegagalan pada proteksi utama harus dapat diatasi yaitu dengan proteksi cadangan.

Bagus Ibnu Pratama adalah dari Program Sarjana Strata-1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang (e-mail: bagusibnu04@gmail.com).

Moch.Dhofir, dan Hery Purnomo merupakan staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang (e-mail: heryp@ub.ac.id; dhofir@ub.ac.id)

Proteksi cadangan ini umumnya mempunyai perlambatan waktu (*time delay*), hal ini untuk memberikan kesempatan kepada proteksi utama beroperasi terlebih dahulu, dan jika proteksi utama gagal baru proteksi cadangan yang akan beroperasi. Dengan demikian hanya bagian yang mengalami gangguan saja yang diisolir dari sistem tersebut.

Tetapi yang terjadi adalah tidak bekerjanya proteksi utama terhadap gangguan pada motor. Sehingga proteksi cadangan bekerja lebih dahulu, dan menyebabkan sistem lain yang harusnya bekerja normal menjadi terganggu (*trip*). Kesalahan seperti itu disebut dengan kesalahan lokalisir gangguan. Oleh sebab itu untuk meningkatkan performa sistem proteksi perlu dilakukan analisis terhadap setelan rele arus lebih dan dilakukan penyetelan ulang rele arus lebih.

Hipotesis penelitian ini adalah penyetelan ulang rele arus lebih yang tepat dapat meningkatkan performa keandalan sistem proteksi (selektif) dan koordinasi yang benar antara proteksi utama dan proteksi cadangan pada *feeder 2F*. Sedangkan beberapa hal yang menjadi batasan masalah penelitian adalah :

- a. Tidak membahas sistem pada *feeder* lain yang bekerja normal.
- b. Perhitungan arus gangguan merupakan analisa gangguan hubung singkat, meliputi analisis gangguan hubung singkat tiga fasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah.
- c. Sistem pentanahan yang digunakan adalah pentanahan langsung (tanpa impedansi).
- d. Rele arus lebih yang dibahas adalah rele tipe COC4-A02D1 dari Mitsubishi Electric.

Simulasi untuk mendapatkan kurva kerja rele setelah hasil analisis dan perhitungan setelan menggunakan *software ETAP 7.0*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi adalah sistem pengaman peralatan listrik seperti generator, transformator, motor dll. terhadap kondisi-kondisi abnormal. Fungsi utama dari sistem proteksi adalah menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik, mempercepat melokalisir daerah yang terganggu, mengamankan manusia dari bahaya listrik. [1]

B. Gangguan Hubung Singkat

Untuk menghitung besar gangguan arus hubung singkat digunakan persamaan [2]:

Besar arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (1)$$

Besar arus hubung singkat antar fasa

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

Besar arus hubung singkat

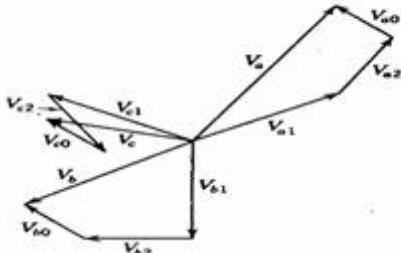
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (3)$$

Besar arus hubung singkat 2 fasa

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \quad (4)$$

C. Komponen Simetris

Menurut teorema Fortescue, tiga fasa tidak seimbang pada suatu sistem tiga fasa dapat diturunkan menjadi tiga fasor yang seimbang. Penguraian tegangan fasa menjadi tiga komponen urutan ditujukan seperti pada Gb. 1 [2] :



Gb. 1 Penulisan vector komponen urutan fasa tegangan

Hasil penyederhanaan persamaan tersebut adalah

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

Dan persamaan untuk arus :

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

D. Sistem Per Unit (pu)

Rumus perhitungannya adalah[2] :

$$\text{Arus dasar} = \frac{\text{dasarkVA}_1\theta}{\text{tegangandasar,kV}_{LN}} \quad (6)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{tegangandasar,kV}^2}{\text{dayadasar,MVA}} \quad (7)$$

$$\text{Impedansi (pu)} = \frac{\text{Impedansisebenarnya,}\Omega}{\text{impedansidasar,}\Omega} \quad (8)$$

- Perhitungan impedansi komponen ($Z_{\text{baru}}(\text{pu})$)

$$= Z_{\text{lama}}(\text{pu}) \left[\frac{kV \text{ lama dasar}^2}{kV \text{ baru dasar}^2} \right] \times \left[\frac{MVA \text{ baru dasar}}{MVA \text{ lama dasar}} \right] \quad (9)$$

E. Penyetelan Rele Arus Lebih

Besarnya arus beban adalah [4] :

$$I_{\text{beban}} = \frac{P}{\sqrt{3}V_{L-L}} \quad [\text{A}] \quad (10)$$

Arus setelan primer rele

$$I_s = \frac{K_{fk}}{K_d} \cdot I_{\text{beban}} \quad (11)$$

K_{fk} : untuk *define relay* = 1.1 ; *inverse relay*=1.2

K_d : untuk *define relay* = 0.7 -0.9 ; *inverse relay*=1.2

I_{beban} : arus nominal yang mengalir pada beban

sedangkan setting sekunder :

$$I_{\text{set sek}} = I_{\text{set pri}} \times (1 / \text{Ratio CT}) \quad (12)$$

F. Rele Arus Lebih Tipe COC4-A02D1

Rele ini merupakan kombinasi dari OCR dan GFR. Dalam pengoperasiannya rele ini memiliki karakteristik waktu sebagai berikut [5]:

- a. waktu tertentu (*definite time*)

b. waktuberbanding terbalik (*inverse time*). Yang terdiri dari :

- NI01:Normal Inverse time-delayed characteristic

$$t = \frac{0.14}{I^{0.02}-1} \times \frac{M}{10} \quad (\text{s}) \quad (13)$$

- VI01 :Very Inverse time-delayed characteristic

$$t = \frac{13.5}{I-1} \times \frac{M}{10} \quad (\text{s}) \quad (14)$$

- EI01 :Extremely Inverse time-delayed characteristic

$$t = \frac{80}{I^2-1} \times \frac{M}{10} \quad (\text{s}) \quad (15)$$

- LI01 :Long Inverse time-delayed characteristic

$$t = \frac{54}{I-1} \times \frac{M}{10} \quad (\text{s}) \quad (16)$$

- DI01 :Definite Inverse time-delayed characteristic

$$t = 2 \times \frac{M}{10} \quad (\text{s}) \quad (17)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian memberikan gambaran urutan langkah-langkah yang dilaksanakan untuk menyelesaikan rumusan masalah.

A. Studi Literatur

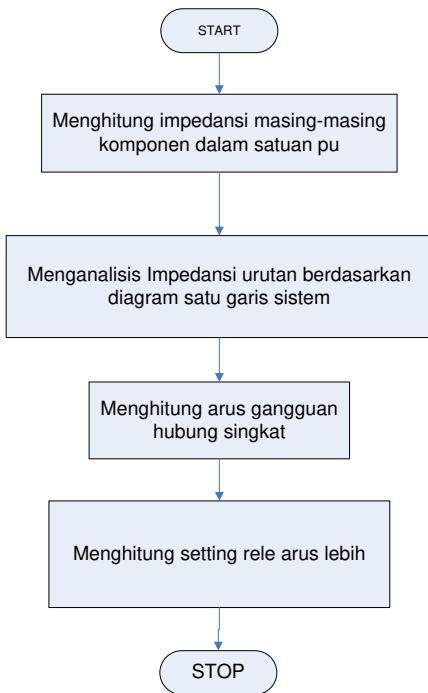
mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan masalah analisis impedansi urutan sistem,perhitungan arus hubung singkat, dan pengaturan rele arus lebih.

B. Pengambilan Data

Pengambilan data berupa diagram satu garis, data motor, data resepsi arus lebih, dan peralatan lain yang berhubungan dengan penyetelan ulang rele arus lebih.

C. Perhitungan dan Analisis

Urutan proses perhitungan dalam analisis dan pembahasan dapat dilihat pada Gb.2.



Gb. 2 Tahapan Perhitungan pada Analisis Pembahasan

D. Pemodelan dan Simulasi

Setelah mendapatkan setelan rele arus lebih sesuai dengan analisis dan perhitungan maka dilakukan pemodelan dalam bentuk simulasi menggunakan *software* ETAP 7.0. Tujuan dari simulasi ini adalah mengetahui grafik kerja rele arus lebih pada saat terjadi gangguan dan koordinasi antara rele pengaman utama dan pengaman cadangan (dari data aktual).

E. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Membuat kesimpulan dari hasil analisa data untuk memperoleh besar arus gangguan hubung singkat, dan pengaturan ulang rele arus lebih pada sistem kelistrikan *feeder II F* PT. Ajinomoto.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Impedansi Komponen- Komponen

Impedansi dari beberapa komponen seperti impedansi transformator *Step Down*, impedansi motor 1000 kW, dan impedansi kabel penghantar.

- Impedansi Transformator

Dengan $z_T = 9.16\%$, maka :

$$Z_{\text{baru}} (\text{pu}) = Z_{\text{lama}} (\text{pu}) \left[\frac{kV_{\text{lamadasar}}^2}{kV_{\text{barudasar}}^2} \right] \times \left[\frac{MVA_{\text{barudasar}}}{MVA_{\text{alamadasar}}} \right]$$

$$= j0.0916 \left[\frac{3.3}{3.3} \right]^2 \left[\frac{18}{18} \right]$$

$$= j0.0916 \text{ pu}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_0 = j0.0916 \text{ pu}$$

- Impedansi Motor

Data motor pada *feeder 2F* PT. Ajinomoto:

Tipe: Mitsubishi F5KT-H1W ; 1000 kW; 4 pole;
3.3 kV; 50 Hz; 210 A; $x''d$ (pu) = 0.17

Sehingga impedansi motor :

$$Z_{\text{baru}} (\text{pu}) = Z_{\text{lama}} (\text{pu}) \left[\frac{kV_{\text{lamadasar}}^2}{kV_{\text{barudasar}}^2} \right] \times \left[\frac{MVA_{\text{barudasar}}}{MVA_{\text{alamadasar}}} \right]$$

$$= j0.17 \times \left[\frac{3.3}{3.3} \right]^2 \left[\frac{18}{18} \right] = j2.448 \text{ pu}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_0 = j2.448 \text{ pu}$$

- Impedansi Kabel Penghantar, data kabel penghantar mulai dari pembangkitan hingga ke motor ditampilkan pada Tabel 1 :

TABEL 1
DATA KABEL PENGHANTAR

Lokasi	Tipe Kabel	Diameter (mm ²)	Jarak (m)
bus PLN - TR 01 (prim)	N2XSEY	400	50
TR 01(sek)- input feeder out feeder- incoming 2F	N2XSEY	400	60
incoming 2F- motor	N2XSEY	300	600
	N2XSEY	240	65

Data elektrikal kabel yang digunakan pada PT. Ajinomoto sebagai berikut:

TABEL 2
DATA KABEL PENGHANTAR

Tipe Kabel	Impedansi Urutan Positif / Negatif		Impedansi Urutan Nol	
	R (Ω/km)	X (Ω.km)	R (Ω/km)	X (Ω.km)
1 core				
500 mm ²	0.051	0.1	0.08	0.25
3 core				
400 mm ²	0.042	0.097	0.1	0.22
300 mm ²	0.08	0.105	0.13	0.22
240 mm ²	0.098	0.109	0.16	0.23

Dengan daya dasar baru yaitu 18 MVA dan tegangan dasar 3.3 kV maka didapat impedansi dasar sesuai Persamaan yaitu:

$$Z_{\text{dasar}} = \left[\frac{kV_{\text{dasar}}^2}{MVA_{\text{dasar}}} \right] = \frac{3.3^2}{18} = 0.605 \text{ pu}$$

Nilai dari Z_{dasar} digunakan untuk mendapatkan besar impedansi saluran dalam satuan per-unit dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Impedansi per-unit} = \frac{\text{impedansi sebenarnya } \Omega}{\text{impedansi dasar } \Omega}$$

Maka impedansi saluran dalam satuan per unit dapat dilihat pada Tabel berikut :

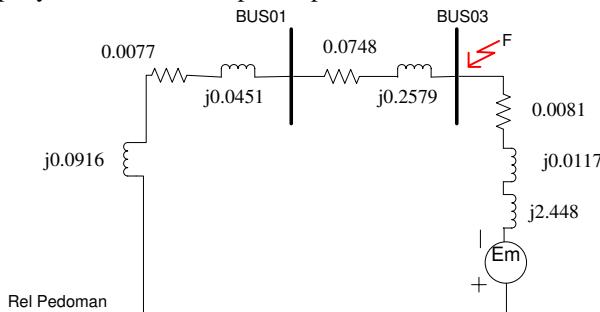
TABEL 3
IMPEDANSI SALURAN (PU)

Lokasi	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
bus PLN - TR 01 (prim)	0.0035 + j0.0205	0.0083 + j0.0182
TR 01(sek)- input feeder out feeder- incoming 2F	0.0042 + j0.0246	0.0099 + j0.0218
incoming 2F- motor	0.0748 + j0.2579	0.1289 + j0.2182
	0.0081 + j0.0117	0.0172 + j0.0247

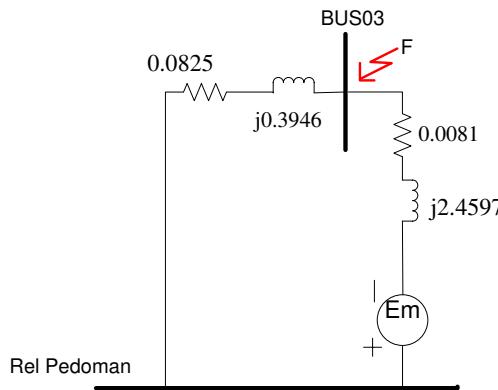
B. Perhitungan Nilai impedansi pada titik Gangguan

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan besar impedansi urutan positif, negatif, dan nol dari masing-masing komponen. Karena impedansi urutan positif dan negatif sama besar sehingga cukup diwakilkan satu gambar. Kemudian diagram satu garis diubah menjadi Gb. 3.

Gambar rangkaian ekivalen tersebut akan disederhanakan untuk mendapatkan impedansi pada titik gangguan. Gambar penyederhanaan ditampilkan pada Gb.4.



Gb. 3Gambar jaringan impedansi urutan positif



Gb. 4Jaringan Impedansi urutan positif dan penyederhanaanya

Kemudian dihitung besar impedansi urutan positif

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{(0.0825 + j0.3946) \times (0.0081 + j2.4597)}{(0.0825 + j0.3946) + (0.009787603 + j2.464352066)} \\ &= 0.0770864705648392 + j0.24560028296153 \\ &= 0.0771 + j0.2456 \text{ pu} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan nilai dari Z_1 , Z_2 , dan Z_0 seperti pada Tabel 4 berikut :

TABEL 4

IMPEDANSI URUTAN PADA TITIK GANGGUAN

Titik Gangguan	$Z_1(\text{pu})$	$Z_2(\text{pu})$	$Z_0(\text{pu})$
F	$0.0614 + j0.3418$	$0.0614 + j0.3418$	$0.1128 + j0.3121$

C. Analisis Gangguan Hubung Singkat

Untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat, tegangan sebelum gangguan (V_f) = 1,0 pu. Besar Z_1 , Z_2 , Z_0 sesuai dengan Tabel 3.Dan besar arus dasar saluran:

$$\frac{18\text{MVA}}{\sqrt{3} \times 3.3 \text{kV}} = 3149.18 \text{ A}$$

1. Analisis Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Pada gangguan hubung singkat tiga fasa, perhitungan arus ganggunya digunakan

$$I_{hs} = \frac{V_f}{Z_1} = 4.037080351 \angle -72.42915653^\circ \text{pu}$$

Arus hubung singkat dalam Ampere adalah:

$$\begin{aligned} I_{hs} &= 4.037080351 \angle -72.429 \times 3012.262 \\ &= 12160.74373 \angle -72.429^\circ \text{A} \end{aligned}$$

2. Analisis Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat antar fasa pada titik F digunakan Persamaan:

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \\ &= \frac{1 \angle 0}{0.0614 + j0.3418 + 0.0614 + j0.3418} \\ &= 1.440 \angle -79.82^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

$$I_{a2} = -I_{a1} = -1.440 \angle -79.82^\circ \text{ pu}$$

$$I_{a0} = 0 \text{ pu}$$

Sedangkan arus tiap fasa nya adalah :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1.44 \angle -79.82 \\ -1.44 \angle -79.82 \end{bmatrix} \times 3012.262$$

$$I_a = 0 \text{ A}$$

$$I_b = 8926.651 \angle 150.007^\circ \text{ A}$$

$$I_c = 4534.074 \angle 100.202^\circ \text{ A}$$

3. Analisis Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah digunakan Persamaan:

$$I_{hs} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

Untuk gangguan hubung singkat di titik F :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}; Z_0 = 0.1128 + j0.3121$$

$$Z_1 = Z_2 = 0.0614 + j0.3418$$

$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{0.2356 + j0.9956} = 0.9774 \angle -76.88^\circ \text{ pu}$$

$$I_{a2} = I_{a1} = I_{a0} = 0.9774 \angle -76.88^\circ \text{ pu}$$

Dan untuk besar arus tiap fasa adalah :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.9774 \angle -76.88^\circ \\ 0.9774 \angle -76.88^\circ \\ 0.9774 \angle -76.88^\circ \end{bmatrix} \times 3149.18 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_a &= 3(0.9774 \angle -76.88^\circ) \times 3149.18 \\ &= 9233.97 \angle -89.68974132^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$I_b = I_c = 0 \text{ A}$, karena diasumsikan bahwa fasa yang mengalami gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah fasa a.

4. Analisis Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah digunakan Persamaan:

$$I_{hs} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

Untuk gangguan hubung singkat di titik F, digunakan persamaan 2.33 untuk menghitung arus urutan positif

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\ &= \frac{1 \angle 0}{0.0614 + j0.3418 + \frac{(0.0614 + j0.3418)(0.1128 + j0.3121)}{(0.0614 + j0.3418) + (0.1128 + j0.3121)}} \\ &= 1.935 \angle -78.19^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

untuk menghitung arus urutan negatif :

$$\begin{aligned} I_{a2} &= -I_{a1} \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} \\ &= -1.935 \angle -78.19 \frac{0.1128 + j0.3121}{0.0614 + j0.3418 + 0.1128 + j0.3121} \\ &= -0.949 \angle -83.15^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

untuk menghitung arus urutan nol :

$$\begin{aligned} I_{a0} &= -I_{a1} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} \\ &= 1.935 \angle -78.19^\circ \angle -78.19 \\ &\quad \left[\frac{0.0614 + j0.3418}{0.0614 + j0.3418 + 0.1128 + j0.3121} \right] \\ &= -0.993 \angle -73.3^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Sedangkan besar arus tiap fasa adalah dengan $I_a = 0$ (diasumsikan bahwa fasa yang mengalami gangguan dua fasa ke tanah adalah fasa b dan c) :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.993 \angle -73.3^\circ \\ 1.935 \angle -78.19^\circ \\ -0.949 \angle 83.15^\circ \end{bmatrix} \times 3149.18$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.888 \angle 175.608^\circ \\ 0.7657 \angle 68.011^\circ \end{bmatrix} \times 3149.18$$

$$I_a = 0 \text{ A}$$

$$I_b = 9097.615853 \angle 175.61^\circ \text{ A}$$

$$I_c = 2411.330465 \angle 68.011^\circ \text{ A}$$

D. Setelan Rele sebagai Pengaman Utama

Untuk menentukan nilai setelan rele arus lebih pada F, dihitung terlebih dahulu arus nominal beban yaitu :

$$\text{Daya beban} = 1250 \text{ kVA}$$

$$\text{Tegangan} = 3.3 \text{ kV}$$

$$\text{CT rasio} = 400/5$$

Arus nominal beban pada titik F adalah :

$$I_{\text{beban}} = I_n = \frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{1250}{\sqrt{3} \times 3.3} = 218.693 \text{ A}$$

1. Setelan Arus

Untuk mendapatkan setelan arus digunakan Persamaan

$$I_s = \frac{k_{fk}}{k_d} \times I_{\text{beban}}; k_{fk} = 1,2; k_d = 1 \text{ (rele inverse)}$$

$$I_s = \frac{1.2}{1.0} \times 218.693 = 262.432 \text{ A}$$

Nilai setelan tersebut merupakan setelan nilai primer. Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder harus dihitung dengan menggunakan data CT yang terpasang :

$$\begin{aligned} I_{\text{set(sek)}} &= I_{\text{set(pri)}} \times (1/\text{rasio CT}) \\ &= 262.432 \times (5/400) \\ &= 3.28 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Setelan Waktu

Untuk OCR digunakan tipe *long inverse*, yang dihitung dengan menggunakan rumus kurva waktu dan arus sesuai dengan karakteristik rele COC4-A02D1 yaitu :

$$t(s) = \frac{54}{I-1} \times \frac{M}{10}$$

Sedangkan tipe GFR digunakan tipe *very inverse* dengan persamaan :

$$t(s) = \frac{13.5}{I-1} \times \frac{M}{10}$$

• Setelan OCR

Untuk menentukan nilai M (pengali waktu) / TMS (*Time Multiple Setting*) yang akan disetel pada rele arus lebih diambil nilai arus gangguan antar fasa yang terjadi pada titik F yaitu sebesar 4534.07 A. Dan waktu kerja rele arus lebih

dipilih waktu paling singkat selama 0.25 detik. Maka Nilai M yang akan disetel pada rele arus lebih adalah :

$$\begin{aligned} M &= \frac{t(s) \left[\frac{I_{hs}}{I_{\text{set.pri}}} - 1 \right]}{5.4} \\ &= \frac{0.25 \left[\frac{4534.07}{262.432} - 1 \right]}{5.4} = 0.75 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan $M = 0.75$, sesuai dengan karakteristik kerja rele, maka waktu kerja rele pada titik gangguan F adalah :

$$\begin{aligned} t(s) &= \frac{54}{I-1} \times \frac{M}{10} \\ &= \frac{54}{(4534.07) - 1} \times \frac{0.75}{10} = 0.248 \text{ detik} \end{aligned}$$

• Setelan GFR

Untuk menentukan nilai M (pengali waktu) / TMS (*Time Multiple Setting*) yang akan disetel pada rele arus lebih diambil nilai arus gangguan dua fasa ke tanah yang terjadi pada titik F sebesar 2411.33 A. Dan waktu kerja rele arus lebih dipilih waktu paling singkat yaitu selama 0.25 detik. Maka Nilai M yang akan disetel pada rele arus lebih adalah :

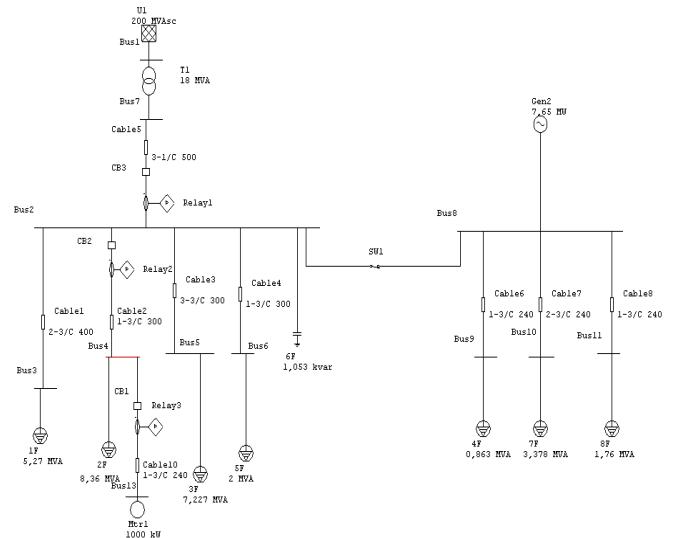
$$\begin{aligned} M &= \frac{t(s) \left[\frac{I_{hs}}{I_{\text{set.pri}}} - 1 \right]}{1.35} \\ &= \frac{0.25 \left[\frac{2411.33}{262.432} - 1 \right]}{1.35} = 0.962017 \approx 1 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan $M = 1$, sesuai dengan karakteristik kerja rele, maka waktu kerja rele pada titik gangguan F adalah :

$$\begin{aligned} t(s) &= \frac{13.5}{I-1} \times \frac{M}{10} \\ &= \frac{54}{(2411.33) - 1} \times \frac{1}{10} = 0.259871 \text{ detik} \end{aligned}$$

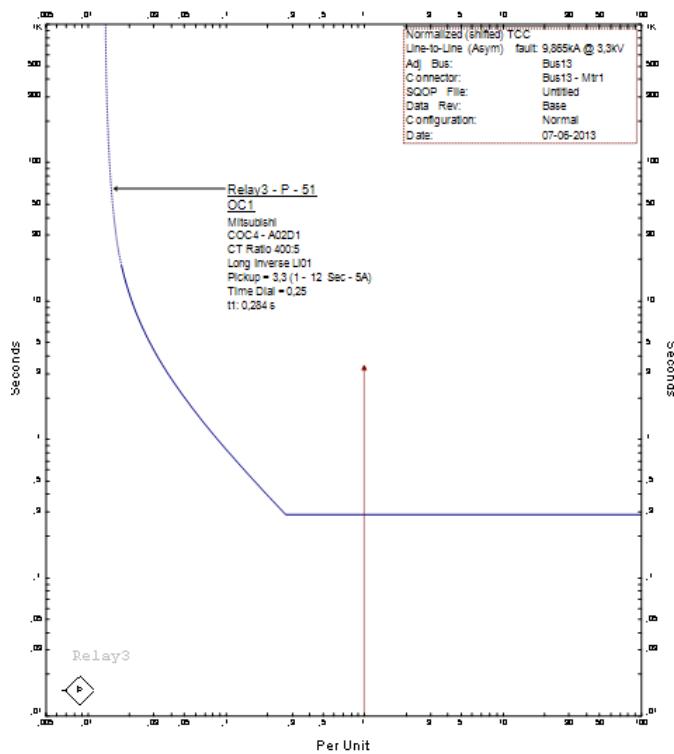
E. Simulasi Kerja Rele

Single line diagram feeder 2F digambarkan pada Gb. 5. Gangguan hubung singkat terjadi di *Motor01* 1000 kW. *Relay3* terletak pada sisi *downstream* dan berperan sebagai pengaman utama motor tsb. Sedangkan *Relay2* dan *Relay1* terletak pada sisi *upstream* dan berperan sebagai pengaman cadangan. Pengaman cadangan akan bekerja apabila pengaman utama tidak mendekksi gangguan.



Gb. 5 Single Line Diagram feeder 2F

Simulasi kerja OCR saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa ditampilkan pada Gb. 6.



Gb. 6 Grafik Kerja OCR saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat antar Fasa

Koordinasi antara *Relay1*, *Relay2*, dan *Relay3* ditunjukkan pada Gb.7. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa koordinasi antar rele sudah tepat, tidak ada kurva yang saling mendahului dan tidak saling bersinggungan. *Delay Time* antar rele adalah sebagai berikut :

$$\Delta t_1 = TD_{\text{relay}02} - TD_{\text{relay}01} = 0.5 - 0.25 = 0.25 \text{ s}$$

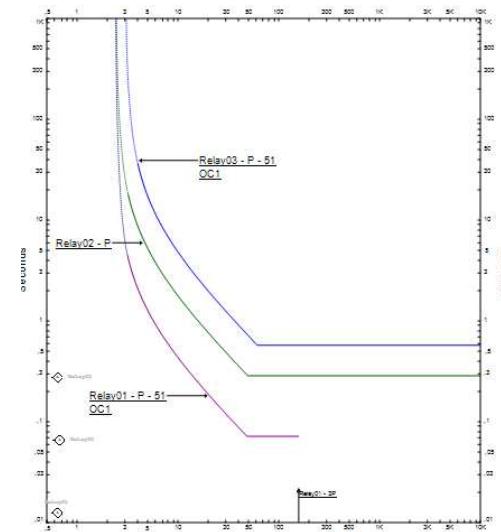
$$\Delta t_2 = TD_{\text{relay}03} - TD_{\text{relay}02} = 0.75 - 0.5 = 0.25 \text{ s}$$

Dengan adanya *Delay Time* tersebut rele pada sisi *upstream* akan bekerja sebagai pengaman cadangan ketika terjadi gangguan hubung singkat pada *Motor01* dan *Relay3* sebagai pengaman utama tidak bekerja. Selanjutnya simulasi koordinasi rele pengaman utama dengan rele pengaman cadangan (data aktual) ditunjukkan Gb.7.

Penyebab terjadinya kesalahan lokalisir gangguan tersebut Yang pertama adalah kondisi dari rele pengaman yang tidak baik. Kondisi komponen-komponen dalam rele harus diperiksa kembali apakah dalam keadaan baik atau tidak. Kondisi komponen dalam rele berpengaruh terhadap kerja dari rele. Apabila kondisi dari komponen tersebut tidak baik, maka kerja rele tidak akan optimal. Selain itu catu daya pada rele juga harus diperiksa apakah masih dalam keadaan baik atau tidak.

Sedangkan penyebab kedua adalah melemahnya kemampuan isolasi pada kabel penghantar terutama pada sisi *upstream* (sekitar *Relay1*). Melemahnya kemampuan isolasi pada kabel penghantar dapat menyebabkan terjadinya arus bocor. Arus bocor pada sisi *upstream* mengakibatkan *Relay1* bekerja. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran tahanan isolasi pada kabel dengan menggunakan alat ukur *Insulation*

Tester (Megger) untuk mengetahui baik atau tidaknya kekuatan isolasi kabel.



Gb. 7 Grafik koordinasi Rele Pengaman Utama dan Pengaman Cadangan

PENUTUP

F. Kesimpulan

1. Besar arus gangguan hubung singkat pada motor induksi tiga fasa 1000 kW (sebagai penggerak *compressor*) :
 - Gangguan hubung singkat tiga fasa = 12218.83 A
 - Gangguan hubung singkat antar fasa = 8926.65 A
 - Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah = 9233.97 A
 - Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah = 9097.61 A
2. Hasil setelan rele arus lebih tipe COC4-A02D1 sesudah perhitungan, analisis dan simulasikan :

CT	= 400/5
I _{set} primer	= 262.432 A
I _{set} sekunder	= 3.28 A
Setelan OCR	: M = 0.75 ; t = 0.25 s
Setelan GFR	: M = 1 ; t = 0.25 s

G. Saran

Studi analisis mengenai arus kapasitif kabel penghantar pada sisi *upstream* juga perlu dilakukan untuk mengevaluasi setelan dari rele arus lebih, sehingga rele tersebut lebih selektif dalam melindungi sistem

REFERENCES

- [1] Huta uruk, Tunpak S. 1991. *Pentanahan Titik Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [2] Grainger, John J. & Stevenson, William D. 1994. *Power System Analysis*. Singapore : McGraw-Hill.
- [3] Huta uruk , Tunpak S. 1983. *Jaringan Tegangan Menengah*. Bandung : Badan Pelaksana Prokerma PLN-ITB.
- [4] Taqiyuddin, Muhammad. 2006. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik Edisi Seri Relay elektromagnetis*. Malang : Penerbit UIN.
- [5] Manual Book Mitsubishi Electric : Mitsubishi Numerical Protection Relay MELPRO D series.

