

# Jurnal Ilmiah

## ENERGI & KELISTRIKAN



SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN

PRAKIRAAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK WILAYAH JAWA - BALI TAHUN 2017 - 2036 DENGAN GABUNGAN METODE ANALITIS, EKONOMETRI, DAN KECENDERUNGAN

*Soetjipto Soewono; John Pantouw; Septianissa Azzahra*

IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY UNTUK SISTEM OTOMATISASI PENGATURAN PENGISIAN BATERE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

*Tri Joko Pramono; Dhami Johar Damiri; Supriadi Legino*

STUDI PENYIMPANAN ENERGI PADA BATERAI PLTS

*Retno Aita Diantari; Erlina; Christine Widyastuti*

POTENSI PEMANFAATAN BIOMASSA SEKAM PADI UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK MELALUI TEKNOLOGI GASIFIKASI

*Isworo Pujotomo*

KONTROL PENERANGAN TENAGA SURYA SEBAGAI IMPLEMENTASI DARI LISTRIK KERAKYATAN

*Muchamad Nur Qosim; Isworo Pujotomo; Heri Suyanto*

ANALISIS PENGGUNAAN LISTRIK ARUS SEARAH UNTUK MENINGKATKAN LAJU PRODUKSI MINYAK BUMI JENIS MINYAK BERAT

*M. Hafidz; Martin Choirul Fatah; Sandy Suryakusuma*

STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 2X50 MW DENGAN MENGGUNAKAN *BOILER CIRCULATING FLUIDIZED BED COMBUSTION* DI KENDARI, SULSELBAR

*Harun Al Rasyid; Haqimul Batih; Raden Edi Sewandono*

STUDI METODE PENGANTIAN RELAI MEKANIS MENJADI ELEKTRIS PANEL TEGANGAN MENENGAH PLTU UNIT 4 MUARA KARANG

*Zainal Arifin; Santoso Januwarsono; Ryan Farieztya*

KAJIAN PEMASANGAN *LIGHTNING ARRESTER* PADA SISI HV TRANSFORMATOR DAYA UNIT SATU GARDU INDUK TELUK BETUNG

*Ibnu Hajar; Eko Rahman*

ISSN 1979-0783



9 771979 078352

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

ENERGI & KELISTRIKAN

VOL. 9

NO. 2

HAL. 101 - 179

JUNI - DESEMBER 2017

ISSN 1979-0783

## STUDI METODE PENGGANTIAN RELAI MEKANIS MENJADI ELEKTRIS PANEL TEGANGAN MENENGAH PLTU UNIT 4 MUARA KARANG

Zainal Arifin<sup>1)</sup>, Santoso Januwarsono<sup>2)</sup>, Ryan Farieztya<sup>3)</sup>,

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN

<sup>1</sup>zainal\_pln@yahoo.com

<sup>2</sup>sjwarsono@gmail.com

<sup>3</sup>ryan.farieztya@gmail.com

**Abstract :** *Protective Relay is a device that provides alarm and trip / open signals to circuit breakers due to interference with protected equipment. Replacement of protection relay at the switchgear location of PLTU unit 4 Muara karang has been planned since 2010 and realized in December 2016 this coincides with Over Houl Mean Inspection. There are several problems encountered in the replacement of switchgear protection relays. The problem faced in performing this switchgear protective relay replacement is on mechanical relays that are replaced into electrical relays requiring many modifications and work steps. So in conducting this research is needed a proper method of research in order to produce a system of protection that is feasible operation.*

**Keywords:** *Switchgear, relay protection, reliability*

**Abstrak :** *Relay Proteksi adalah suatu alat yang berfungsi memberikan sinyal alarm dan trip / open kepada circuit breaker atau pemutus tenaga dikarenakan adanya gangguan pada peralatan yang dilindungi. Penggantian relay proteksi pada lokasi switchgear PLTU unit 4 Muara karang memang sudah direncanakan semenjak tahun 2010 dan direalisasikan pada desember 2016 ini bertepatan dengan Over Houl Mean Inspection. Terdapat beberapa permasalahan yang dihadapi dalam melakukan penggantian relay proteksi switchgear. Permasalahan yang dihadapi dalam melakukan penggantian relay proteksi switchgear ini adalah pada relay mekanis yang diganti menjadi relay elektris memerlukan banyak modifikasi dan langkah kerja. Maka dalam melakukan penelitian ini sangat dibutuhkan metode penelitian yang tepat agar dapat menghasilkan suatu sistem proteksi yang laik operasi.*

**Kata Kunci:** *Switchgear, relay proteksi, keandalan*

## 1. PENDAHULUAN

Relai Proteksi adalah suatu alat yang berfungsi memberikan sinyal alarm dan *trip / open* kepada PMT atau pemutus tenaga dikarenakan adanya gangguan pada peralatan yang dilindungi. Saat ini Relai Proteksi *Switchgear* PLTU unit 4 sudah berumur lebih dari 30 tahun, dan banyak mengalami kerusakan, sebagai contoh spring yang sering putus. Maka perlu penggantian relai proteksi untuk meningkatkan keandalan dari sistem tegangan menengah itu sendiri. Ketidakandalan relai proteksi ini mengakibatkan peralatan yang diproteksi seperti motor kipas dan motor pompa lepas dari sistem. Lepasnya motor-motor tersebut berakibat penurunan daya pada generator atau bahkan lepasnya generator pada sistem transmisi. Inilah salah satu faktor utama hilangnya pendapatan biaya operasi pada pembangkit listrik tenaga uap.

## 2. TEORI PENUNJANG

### 2.1. Karakteristik Motor Yang Mempengaruhi Proteksi

Karakteristik utama motor yang tersedia dan dilibatkan dalam proteksi motor antara lain:

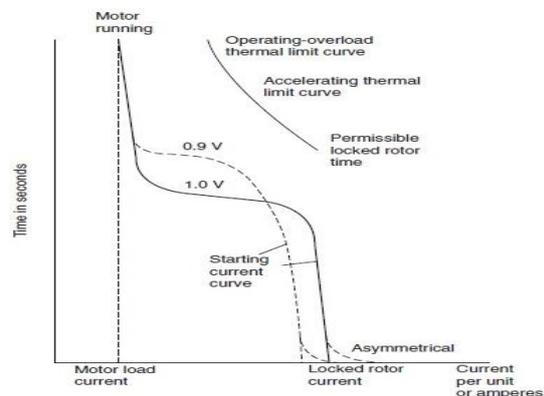
1. Kurva arus pengasutan
2. Kurva kapabilitas termis, termasuk batasan termis rotor terkunci
3. Konstanta K ( $R_{r2}/R_{r1}$ )

Kurva arus pengasutan maksimum diberikan dalam rating tegangan motor. Arus arus untuk tegangan rendah diberikan pada sebelah kiri, dengan lutut pada level waktu tinggi. Batasan termis diberikan dalam tiga kurva yang berbeda, dalam banyak kasus kurva ini diberikan bersama seperti dalam gambar. Batasan termis adalah zona yang tidak pasti dimana *engineer* menginginkan kurva yang lebih khusus.

1. Porsi arus terbesar menunjukkan lama waktu diizinkan rotor terkunci. Waktu ini adalah lama waktu rotor dapat tetap berhenti setelah motor *energize* sebelum terjadi kerusakan termis pada batang rotor, ring penahan rotor,

atau stator, yang merupakan waktu desain motor tersebut. Pada motor-motor besar, batasan termis rotor terkunci dapat lebih singkat dari waktu pengasutan, jadi motor-motor ini harus diasut seketika untuk mengurangi kerusakan termis. Kurva ini dibuat berdasarkan arus rotor terkunci pada tegangan penuh terhadap arus pengasutan pada tegangan minimum yang diizinkan.

2. Kurva percepatan batasan termis dibuat berdasarkan arus rotor terhadap arus torka *breakdown motor*, yaitu pada 75% kecepatan nominal.
3. Kurva batasan termis operasi atau jalan, merepresentasikan kapasitas beban lebih motor pada saat operasi darurat.



Gambar 2.1 Tipikal Karakteristik Motor Induksi

### 2.2. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Sebagai alat bantu untuk analisis proteksi dan proteksi motor, diagram ekuivalen motor dapat disederhanakan seperti diberikan dalam Gambar 2.2. Tipikal harga parameter motor dalam per-unit dengan dasar kVA dan kV dasar motor adalah  $R_s$  dan  $R_r = 0,01pu$ ,  $jX_m = 0,3 pu$ , dan  $jX = jX''_d = 0,15 pu$ , berdasarkan besaran ini, tipikal rotor terkunci atau arus pengasutan adalah:

$$I_{\text{asut}} = \frac{1}{jX''_d} = \frac{1}{0,15} = 6,67 pu \quad (2.1)$$

Harga ini adalah harga simetri, arus pengasutan unsimetri jauh lebih besar, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.1. Karena reaktansi shunt  $jX_m$  relatif lebih besar dari impedansi lainnya,

rangkainan ekivalen pada sisi masukan dapat dikurangi menjadi sebagai berikut :

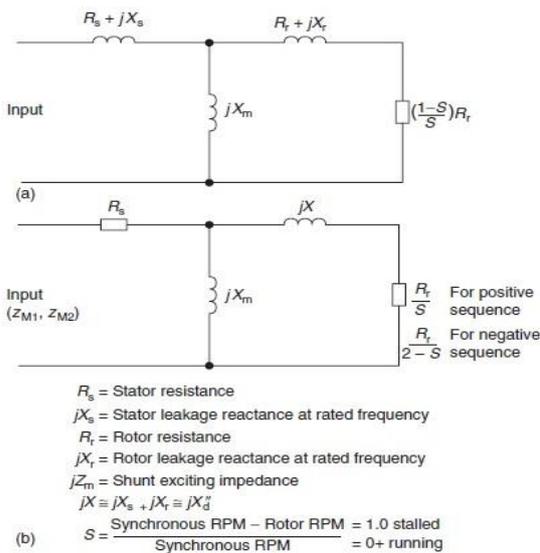
$$Z_{m1} = Z_{m2} = 0,144 \angle 82,39^{\circ} \quad (2.2)$$

Atau pada prakteknya sama dengan  $jX''_d = 0,15$  pu seperti umumnya sebuah motor pada saat stalled ( $s = 1,00$ ). Bila motor dalam keadaan berputar ( $s = 0,01$ ) harga parameter diatas menjadi:

$$Z_{m1} = 0,927 \angle 25,87^{\circ} \text{ pu dan } Z_{m2} = 0,144 \angle 84,19^{\circ} \text{ pu} \quad (2.3)$$

Jadi pada prakteknya :

$$Z_{m1} = 0,9 - 1,0 \text{ pu dan } Z_{m2} = 0,15 \text{ pu.} \quad (2.4)$$



**Gambar 2.2** Diagram sirkit ekivalen Motor Induksi a). Diagram ekivalen Motor Induksi; b). Penyederhanaan diagram ekivalen Motor Induksi

Dari kondisi stalled sampai berputar penuh impedansi urutan positif dari motor berubah dari 0,15 ke 0,9 atau 1,0 pu, sedangkan impedansi urutan negatif tidak mengalami perubahan atau tetap sama, yaitu sebesar  $\pm 0,15$  pu. Parameter-parameter ini berbeda untuk setiap motor, sesuai dengan tipe dan ukuran motor, tetapi tipikal harga ini dapat digunakan apabila data motor sesungguhnya tidak tersedia.

### 2.3. Proteksi Gangguan Fasa

Relai arus lebih tanpa arah seketika dapat dipergunakan untuk proteksi motor induksi. Gangguan yang terjadi umumnya akan menghasilkan arus gangguan yang lebih besar dari arus pengasutan motor rotor terkunci, kecuali untuk gangguan

antar belitan. Arus gangguan dapat mengalir diantara belitan, namun sayangnya hanya sedikit bukti yang dapat dirasakan pada terminal rotor sampai gangguan tersebut berubah menjadi gangguan antar fasa atau antara fasa ke tanah. Motor merupakan peralatan yang terhubung pada bagian akhir dari suatu sistem tenaga elektrik, oleh karena itu rele *instantaneous* dapat digunakan dan tidak ada masalah dalam hal koordinasi. Kontribusi motor induksi sebagai sumber gangguan pada sistem relatif kecil ( $1/\omega X + \text{offset}$ ) dan akan menghilang dengan cepat dalam beberapa siklus, jadi tidak dibutuhkan relai arah. Ratio CT yang dipilih sebagai masukan rele dipilih sehingga arus maksimum motor disisi sekunder berkisar antara 4 dan 5A. Relai fasa *instantaneous* harus diset berada diatas arus unsimetri rotor terkunci namun masih dibawah arus gangguan minimum. Hal ini dapat dilihat dari persamaan dimana ILR, arus rotor terkunci adalah:

$$I_{LR} = \frac{1}{X_{1s} + X_d''} \quad (2.5)$$

Dimana  $X_{1s}$  adalah reaktansi (impedansi) total sistem atau sumber motor. Persamaan ini sama dengan persamaan arus pengasutan motor dengan harga impedansi sistem mendekati NOL. Arus gangguan pada motor adalah :

$$I_{3\phi} = \frac{1}{X_{1s}} \quad (2.6)$$

dan untuk gangguan antar fasa, dengan  $X_{1s} = X_{2s}$  adalah

$$I_{\phi\phi} = 0,866 I_{3\phi} = \frac{0,866}{X_{1s}} \quad (2.7)$$

Bila  $P_R$  adalah ratio antara arus angkat relai dan arus rotor terkunci, yaitu

$$P_R = \frac{I_{PU}}{I_{LR}} \quad (2.8)$$

Dimana pada umumnya harga  $P_R$  berkisar antara 1,6 sampai 2,0 atau lebih. Jika  $P_F$  adalah *ratio* antara arus gangguan minimum dengan arus *pick up* relai, yaitu :

$$P_F = \frac{I_{\phi\phi}}{I_{PU}} \quad (2.9)$$

Dengan harga antara 2 sampai 3 atau lebih besar. Dari persamaan persamaan diatas dapat dilihat bahwa:

$$I_{\varphi\varphi} = P_F \times I_{PU} = P_F \times P_R \times I_{LR} \quad (2.10)$$

$$\frac{I_{\varphi\varphi}}{I_{PU}} = P_F \times P_R \quad (2.11)$$

$$\frac{I_{\varphi\varphi}}{I_{PU}} = 1,155 P_F \times P_R \quad (2.12)$$

Atau arus gangguan tiga fasa pada motor sebesar  $1,155 P_F P_R$  atau lebih besar untuk proteksi arus lebih *instantaneous*. Apabila harga minimum yang direkomendasikan untuk  $P_R = 1,6$  dan  $P_F = 2$ , maka arus gangguan tiga fasa harus 3,7 kali dari arus rotor terkunci. Bilamana  $P_R = 2,0$  dan  $P_F = 3$ , maka arus gangguan tiga fasa paling tidak sebesar 6,9 kali dari arus rotor terkunci. Lihat kembali persamaan-persamaan diatas, dimana:

$$I_{\varphi\varphi} = 0,866 I_{3\varphi} = \frac{0,866}{X_{1S}} = \frac{P_F P_R}{X_{1S} + X_d''} \quad (2.13)$$

$$X_{1S} = \frac{0,866 X_d''}{P_F P_R - 0,866} \quad (2.14)$$

jadi untuk  $P_R = 1,6$  dan  $P_F = 2,0$ , maka

$$X_{1S} = \frac{0,866 X_d''}{1,6 \times 2,0 - 0,866} = 0,371 X_d'' \quad (2.15)$$

dan dengan tipikal harga  $X_d'' = 0,15$  dan  $X_{1S} = 0,056$  pu, atau dengan  $P_R = 2,0$ ;  $P_F = 3$ ; dan  $X_d'' = 0,15$ ,  $X_{1S} = 0,025$  pu. Besaran ini didefinisikan sebagai impedansi sumber yang besarnya seperti diindikasikan proteksi arus lebih *instantaneous*. Harga perunit dalam contoh diatas semuanya dalam base kVA dan kV dari motor, dimana:

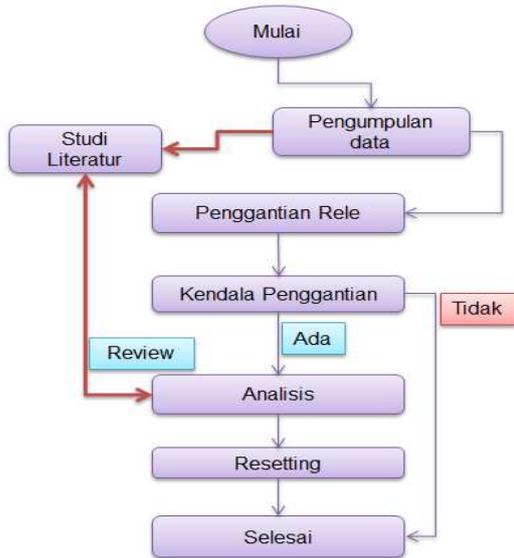
$$kVA_{Rated} = \frac{HP \times 0,746}{\text{Effisiensi} \times \varphi} \quad (2.16)$$

Pada kebanyakan aplikasi, impedansi sumber  $X_{1S}$  untuk keperluan praktis merupakan reaktansi dari transformator pemasok daya bagi motor, dimana bagian primer dari transformator tersebut terhubung pada sebuah utilitas yang besar, yang dapat dikategorikan sebagai sumber daya infinite. Disamping itu, umumnya sumber dari transformator tersebut juga merupakan sumber bagi beban-beban lain dan dengan demikian jauh lebih besar dari motor, sehingga reaktansinya dengan dasar reaktansi motor cenderung kecil. Hal ini dapat dicontohkan dimana Transformator 2500 kVA dengan reaktansi bocor 5,75% digunakan untuk mensuplai sebuah penyulang 800 A. Misalkan ini adalah motor, dan beban 800 A pada tegangan 480 V sama dengan 665 kVA. Pada 665

kVA, reaktansi transformator menjadi =  $5,75 (665)/(2500) = 1,538$  atau 0,0153 pu. Harga ini jauh lebih rendah dari batasan reaktansi sumber yang dibutuhkan agar proteksi rele *instantaneous* menjadi baik. Bilamana rekomendasi kriteria penyetelan  $P_R$  dan  $P_F$  tidak dapat dipenuhi, atau diperlukan relai yang lebih sensitif, relai *instantaneous* (atau relai kedua) dapat disetel lebih sensitif bila ada penundaan dari timer. Hal ini memungkinkan komponen arus asut tidak simetri menurun. Rekomendasi penyetelan yang disarankan untuk keadaan ini adalah  $P_F = 1,1$  samapai 1,2 dengan waktu tunda sebesar 0,10 detik (setara dengan 6 cyle pada sistem 60 Hz). Pada waktu motor kehilangan tegangan, motor-motor yang sedang beroperasi dialihkan dari sebuah bus ke bus lainnya, atau bila sistem penutupan balik berkecepatan tinggi digunakan untuk mengenergize kembali motor sebelum tegangan yang tersisa turun sampai 33% dari rating tegangan motor, maka akan terjadi transien yang sangat tinggi. Arus ini akan sangat berbahaya bagi motor kecuali motor telah didesain khusus untuk itu. Atensi khusus perlu dilakukan agar penyetelan rele diatas kondisi transien ini bila kondisi ini memang diizinkan. Bilamana kriteria yang dikemukakan diatas tidak menghasilkan margin yang cukup antara arus gangguan dan arus rotor terkunci, dapat digunakan proteksi diferensial.

### 3. METODE PENELITIAN

Berikut ini adalah Diagram Alir yang Menjelaskan Proses penelitian penggantian rele proteksi panel tegangan menengah terhadap keuntungan yang didapat dari tahap awal hingga akhir ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut,



**Gambar 3.1** Diagram Alur Metode Penelitian

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### a. SPESIFIKASI MOTOR GAS RECIRCULATION FAN

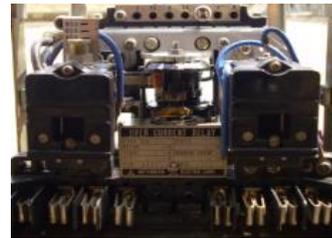
Manufactur : Mitsubishi Electric Corp  
 Model Number : FKB-W630L  
 Rating Power : 610 kW  
 Rating Speed : 730 rpm  
 Full Load Current : 103 A  
 Pole : 8  
 Rating Voltage : 4 kV



**Gambar 4.1** Motor GRF yang terpasang di area groundfloor Boiler

##### b. SPESIFIKASI RELAI MITSUBISHI CO-5I

Manufacture : Mitsubishi Electric Corp  
 Type : CO-5I  
 Rating : 2 – 6 A  
 TMS : 0 – 11 (IEC Curve)  
 Instantaneous : 20 – 80 A  
 Frekuensi : 50 Hz  
 Operating Type : Magnetic Coil  
 Date : 1978



**Gambar 4.2** Relai Mitsubishi type CO-5I

##### c. SPESIFIKASI RELAI ALSTOM P14NB

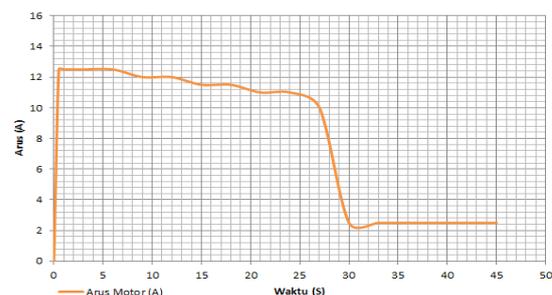
Manufacture : ALSTOM  
 Type : P 14 NB  
 Rating : 1A, 5 A  
 TMS : 0.025 – 1.2 (IEC Curve)  
 Instantaneous : 20 – 80 A  
 Frekuensi : 50 Hz  
 Power : 250 Vdc  
 Operating Type : Electronic  
 Date : 2016



**Gambar 4.3** Relai Alstom type P14NB

#### 4.1. Data Operasi Motor Gas Recirculation Fan

Dalam analisis penyetelan relai proteksi akan lebih mudah jika metode yang digunakan melibatkan data operasi pada *motor gas recirculation fan*. Salah satu data yang paling aktual adalah grafik antara arus starting terhadap durasi waktu hingga berada pada arus normal operasinya. Tabel dan Grafik antara arus terhadap waktu dapat diperlihatkan gambar dibawah ini.



**Gambar 4.4** grafik kurva arus sekunder operasi motor

**Tabel 4.1** daftar table arus sekunder motor tiap 3 detik

Waktu (S)	Arus Motor (A)
0	0
0.5	12.5
1	12.5
3	12.5
6	12.5
9	12
12	12
15	11.5
18	11.5
21	11
24	11
27	10
30	2.5
33	2.5
36	2.5
39	2.5
42	2.5
45	2.5

Melihat data tersebut diatas maka didapat beberapa petunjuk yaitu, karakteristik *motor gas recirculation fan* pada saat dijalankan, memiliki arus start sebesar 5 kali I nominal, sedangkan beban yang digunakan hanya kurang lebih 60% dari beban penuh.

#### 4.2. Data Setting Relai Proteksi Mekanis

Nilai setting relai proteksi mekanis yang terdapat pada *motor gas recirculation fan* dapat diperlihatkan pada table dibawah ini.

**Tabel 4.2** Setting Relai Mekanis

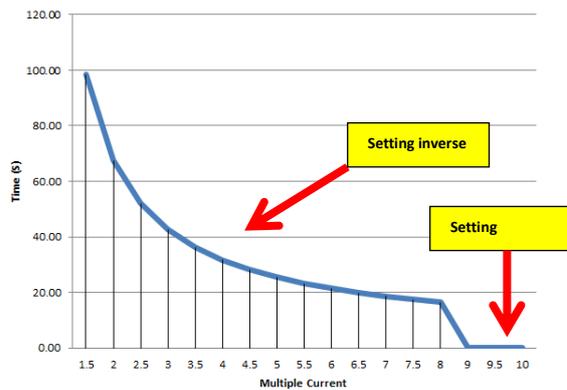
Relai Motor Gas Recirculation Fan	
Merk	Mitsubishi
Type	CO-5
Is	4 Ampere
ratio CT	150/5
TMS	11
IIT	9 x Is

Setelah mendapatkan nilai setting relai, maka proses selanjutnya adalah memperoleh nilai pengujian relai tersebut yang diperlihatkan pada table dibawah ini.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Relai Mekanis

CO-5 curve				
SETTINGS		INJECTED Current	Multiple Current	Time to Operate
Pu	TMS			
4	11	6	1.5	98.32 seconds
4	11	8	2	67.48 seconds
4	11	10	2.5	51.98 seconds
4	11	12	3	42.58 seconds
4	11	14	3.5	36.25 seconds
4	11	16	4	31.67 seconds
4	11	18	4.5	28.20 seconds
4	11	20	5	25.46 seconds
4	11	22	5.5	23.26 seconds
4	11	24	6	21.43 seconds
4	11	26	6.5	19.90 seconds
4	11	28	7	18.58 seconds
4	11	30	7.5	17.45 seconds
4	11	32	8	16.46 seconds
4	-	36	9	0.02 seconds
4	-	38	9.5	0.02 seconds
4	-	40	10	0.02 seconds

Data diatas merupakan gabungan antara hasil pengujian setting inverse dan *setting instant*. Untuk *setting inverse* dapat dilihat dari arus pengali sebesar 1,5 kali hingga 8 kali arus *setting* atau arus *pick up*. Sedangkan untuk *setting instant* dimulai dari nilai 9 kali hingga 10 kali. Untuk setting instant berfungsi sebagai pembatas nilai hubung singkat, maka diatas nilai 9 kali arus *pick up* hasilnya akan tetap sama. Dan selanjutnya dari hasil uji tersebut dapat di tampilkan menjadi grafik dibawah ini.



**Gambar 4.5** Grafik Hasil Pengujian Relai Mekanis

Dengan melihat data diatas maka dapat diperoleh salah satu hipotesis yaitu penyetelan yang ada pada relai tersebut sangat bergantung kepada arus operasi motor saat *starting*, arus beban lebih dan arus hubung singkatnya.

#### 4.3. Analisis Arus Gangguan Fasa

Dalam analisis ini pertama dapat menghitung arus hubung singkat yang akan terjadi pada *motor Gas recirculation fan* tersebut.

Manufactur : Mitsubishi Electric Corp  
 Model Number : FKB-W630L  
 Rating Power : 610 kW  
 Rating Speed : 730 rpm  
 Full Load Current: 103 A  
 Pole : 8  
 Rating Voltage : 4 kV  
 $Z = 23,35 \Omega$   
 $X_{1s} = 0,025 pu$   
 $X''d = 0,15 pu$   
 $P_R = 2$   
 $P_F = 3$

Dari data diatas maka dapat dihitung nilai impedansi gangguannya adalah sebesar.

$$X_{1s} = 0,025 \times 23,35 = 0,58 \Omega$$

$$X''d = 0,15 \times 23,35 = 3,5 \Omega$$

$$ILR = \frac{kV}{X_{1s} + X''d}$$

$$ILR = \frac{4160}{0,58 + 3,5} = 1019,6 A \text{ (Sisi Primer)}$$

Untuk sisi sekundernya adalah :

$$ILR = \frac{1019,6}{\frac{150}{5}} = 34 A$$

Setelah mendapatkan nilai *lock rotor* maka dihitung pula nilai gangguan minimum sebesar :

$$I_{2\phi} = PF \times PR \times ILR$$

$$= 3 \times 2 \times 34$$

$$= 204 A \text{ (sisi sekunder)}$$

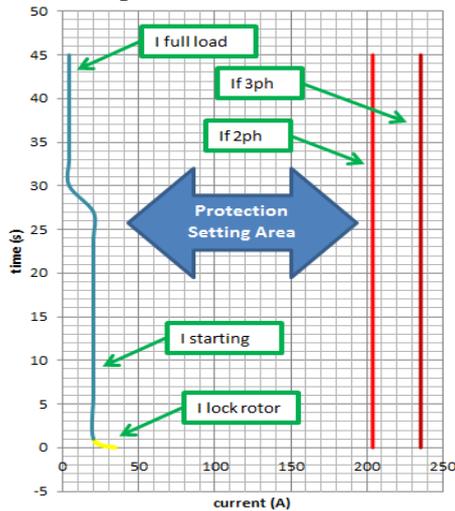
Untuk gangguan 3 fasa adalah sebesar

$$I_{3\phi} = \frac{I_{2\phi}}{0,866}$$

$$= \frac{204}{0,866}$$

$$= 235,56 A \text{ (sisi sekunder)}$$

Maka jika digambarkan dalam grafik adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.6** Grafik Hasil Perhitungan Kemampuan Motor GRF

#### 4.4. Analisis Perbedaan Spesifikasi Rele Mekanis Dan Elektris

Jika melihat kembali *setting* relai mekanis Mitsubishi tipe CO-5 maka terdapat beberapa perbedaan yang sangat spesifik yaitu pada TMS (*time multiple setting*) atau *setting* pengali waktu. Dan pada relai elektris Alstom tipe P14NB hanya memiliki TMS maksimal adalah sebesar 1,2 dan perbedaan yang

lain dapat dilihat berdasarkan tabel dibawah ini.

**Tabel 4.4** spesifikasi relai mekanis dan elektris

rele	Mekanis	Elektris
Manufaktur	Mitsubishi	Alstom
Tipe	CO-5I	P14NB
Rating	2-6 A	1A atau 5A
TMS	0-11 (IEC)	0,025-1,2 (IEC)
Instantaneous	20-80 A	20-80 A
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Power	-	250 Vdc
Operating Type	Magnetic coil	Logic Gate
Date	1978	2016

Jika merujuk data diatas maka, yang sangat berpengaruh adalah pada nilai TMS atau pengali waktu. Sedangkan data pada sub bab 4.2 nilai TMS yang diberlakukan pada relai mekanis adalah sebesar 11 sedangkan relai elektris tidak sanggup memberikan nilai *setting* sebesar tersebut. Maka diperlukan analisis yang akurat agar dapat mengaplikasikan relai elektris dengan tetap menyesuaikan terhadap batasan yang diijinkan.

Menghitung waktu berdasarkan rumus IEC yaitu.

$$T(s) = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times TMS$$

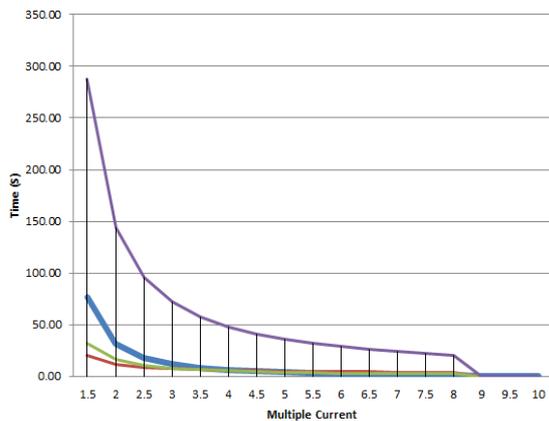
Data K dan  $\alpha$  yang dimasukkan adalah berdasarkan formula pada, *Standard inverse*, *extreme inverse*, *very inverse* dan *long inverse*. Perhitungan yang dilakukan menggunakan excel sebagai alat bantu hitung dan diperlihatkan dalam tabel sebagai berikut.

**Tabel 4.5** hasil perhitungan IEC curve dengan TMS 1,2

SETTINGS		IEC Curve						
Pu	TMS	INJECTED Current	Multiple Current	Time to Operate (s)				LI
				EI	SI	VI	LI	
4	1,2	6	1,5	76,80	20,63	32,40	288,00	
4	1,2	8	2	32,00	12,03	16,20	144,00	
4	1,2	10	2,5	18,29	9,08	10,80	96,00	
4	1,2	12	3	12,00	7,56	8,10	72,00	
4	1,2	14	3,5	8,53	6,62	6,48	57,60	
4	1,2	16	4	6,40	5,98	5,40	48,00	
4	1,2	18	4,5	4,99	5,50	4,63	41,14	
4	1,2	20	5	4,00	5,14	4,05	36,00	
4	1,2	22	5,5	3,28	4,84	3,60	32,00	
4	1,2	24	6	2,74	4,60	3,24	28,80	
4	1,2	26	6,5	2,33	4,40	2,95	26,18	
4	1,2	28	7	2,00	4,23	2,70	24,00	
4	1,2	30	7,5	1,74	4,09	2,49	22,15	
4	1,2	32	8	1,52	3,96	2,31	20,57	
4	-	36	9	0,02	0,02	0,02	0,02	
4	-	38	9,5	0,02	0,02	0,02	0,02	
4	-	40	10	0,02	0,02	0,02	0,02	

Setelah melihat data diatas nilai *extreme inverse*, *standard inverse* dan *very inverse* sangat jauh dari nilai yang diharapkan untuk menyesuaikan dengan relai CO-5I. Sedangkan relai *long inverse* diprediksi akan sangat mampu untuk mendapatkan hasil yang mirip dengan relai CO-5I. Akan tetapi nilai TMS yang diberikan ternyata terlalu tinggi, dan perlu diturunkan hingga beberapa poin.

Dibawah ini menunjukkan grafik hasil dari tabel 4.5.



**Gambar 4.7** Grafik Hasil Perhitungan IEC curve dengan nilai TMS 1,2

Maka dengan perhitungan diatas, perlu menghitung ulang dengan beberapa sampling TMS dibawah nilai 1.2 hingga ditemukan nilai TMS yang mendekati kurva CO-5I. Dan hasil dari nilai TMS yang sesuai dapat diperlihatkan pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.6** hasil perhitungan *Long Inverse* Relai Alstom P14NB

P14NB				
SETTINGS		INJECTED	Multiple Current	Time to Operate (s)
Pu	TMS	Current		
4	0.5	6	1.5	130.00
4	0.5	8	2	70.00
4	0.5	10	2.5	50.00
4	0.5	12	3	40.00
4	0.5	14	3.5	34.00
4	0.5	16	4	30.00
4	0.5	18	4.5	27.14
4	0.5	20	5	25.00
4	0.5	22	5.5	23.33
4	0.5	24	6	22.00
4	0.5	26	6.5	20.91
4	0.5	28	7	20.00
4	0.5	30	7.5	19.23
4	0.5	32	8	18.57
4	-	36	9	0.02
4	-	38	9.5	0.02
4	-	40	10	0.02

Dari beberapa percobaan maka ditemukanlah nilai TMS yang mendekati kesesuaian dengan Relai Mekanis tipe

CO-5I. nilai TMS yang didapat pada IEC *curve Long inverse* adalah sebesar 0.5 dengan menambahkan *formula time delay* sebesar 10 detik. Fungsi time delay ini sudah ada didalam pengaturan setting rele Alstom P14NB. Jika dituliskan dalam rumus maka akan terlihat modifikasi formula didalamnya.

Rumus standar dari IEC adalah :

$$T(s) = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times TMS$$

Jika dimasukkan karakteristik long Inverse dengan konstanta :

$$K = 120$$

$$\alpha = 1$$

maka rumusnya menjadi :

$$T(s) = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^1 - 1} \times TMS$$

Pangkat dapat 1 dihilangkan :

$$T(s) = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_s}\right) - 1} \times TMS$$

Kemudian dimasukkan nilai TMS dan penambahan *formula time delay* :

$$TMS = 0,5$$

$$TD = 10$$

Maka rumusnya akan menjadi :

$$T(s) = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_s}\right) - 1} \times TMS + TD$$

$$T(s) = \left(\frac{120}{\left(\frac{I}{I_s}\right) - 1} \times 0.5\right) + 10$$

Asumsikan Jika  $\left(\frac{I}{I_s}\right) = M$ , maka :

$$T(s) = \left(\frac{120}{M-1} \times 0.5\right) + 10$$

Jika disederhanakan akan menjadi :

$$T(s) = \left(\frac{120}{M-1} \times 0.5\right) + 10$$

$$T(s) = \left(\frac{120 \times 0.5}{M-1}\right) + 10$$

$$T(s) = \left(\frac{60}{M-1}\right) + 10$$

Atau

$$T(s) = \left(\frac{60}{M-1}\right) + 10$$

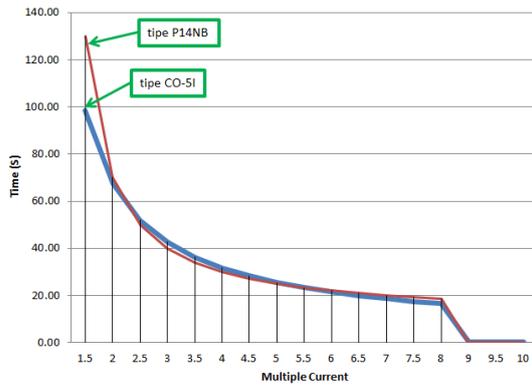
$$T(s) = \left(\frac{60}{M-1}\right) + \left(\frac{(10)M-1}{M-1}\right)$$

$$T(s) = \left(\frac{60}{M-1}\right) + \left(\frac{10M-10}{M-1}\right)$$

$$T(s) = \left(\frac{60+10M-10}{M-1}\right)$$

$$T(s) = \left(\frac{50+10M}{M-1}\right)$$

Jika diperlihatkan dalam grafik, maka didapat kemiripan kurva antara rele mekanis tipe CO dan tipe P14NB yang telah dimodifikasi.



**Gambar 4.8** Grafik Perbandingan Setting CO-5I dan P14NB

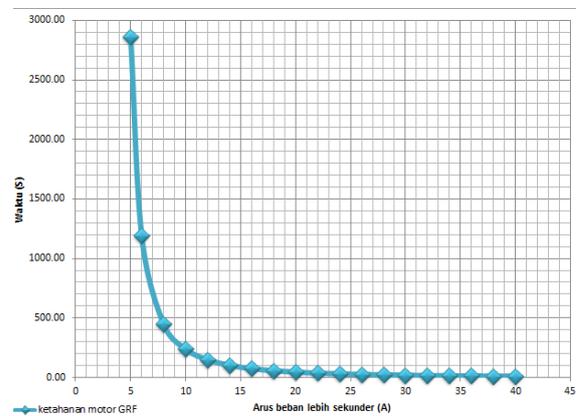
Menurut hasil diatas sangat memungkinkan untuk menerapkan relai P14NB pada *motor gas recirculation fan* walaupun berbeda karakteristik rumusan atau formulanya. Disini sangat menitikberatkan pada kemiripan hasilnya yaitu pada bentuk kurva setelah penyetelan. Selanjutnya dilakukan perbandingan relai proteksi listrik terhadap kemampuan *motor gas recirculation fan*.

Kemampuan Motor menahan panas sangat bergantung terhadap kemampuan material isolasi didalamnya. Dan untuk *motor gas recirculation fan* memiliki ketahanan panas pada saat terjadi arus *lock* rotor tidak lebih dari 18 detik. Jika dibandingkan dengan arus *starting* yang memiliki nilai dibawah arus *lock* rotor maka waktunya juga akan lebih besar. Lalu diterapkan dengan beberapa sampling, pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.7** hasil perhitungan ketahanan *motor gas recirculation fan* terhadap arus beban lebih

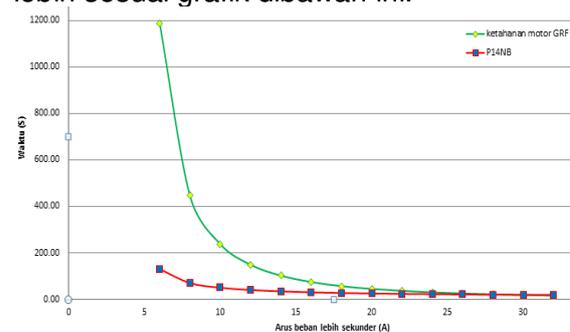
ketahanan motor GRF	
Arus beban lebih (A)	Waktu (s)
5	2856.00
6	1190.00
8	446.25
10	238.00
12	148.75
14	102.00
16	74.38
18	56.67
20	44.63
22	36.06
24	29.75
26	24.97
28	21.25
30	18.31
32	15.94
34	14.00
36	12.40
38	11.05
40	9.92

Lalu dari hasil tabel4.6 di perhatikan pada grafik dibawah ini.



**Gambar 4.9** Grafik ketahanan motor gas recirculation fan terhadap arus beban lebih

Setelah mendapatkan hasil kemampuan motor lalu dibandingkan terhadap penyetelan rele elektrik arus lebih sesuai grafik dibawah ini.



**Gambar 4.10** Grafik perbandingan antara ketahanan motor gas recirculation fan terhadap setting rele elektrik

Dalam standard IEC 60255 mengatakan bahwa relai mekanis memiliki eror terhadap waktu operasi sebesar 7,5% sedangkan relai elektris memiliki eror yang lebih kecil hanya sebesar 5%.

#### 4.5. Analisis Biaya Penggantian Rele Proteksi Terhadap Biaya Operasi

Analisis ini digunakan sebagai penguat dari sisi manajemen agar mampu meyakinkan nilai lebih yang didapat setelah relai mekanis tersebut diganti dengan relai elektris yang baru.

Komponen pertama adalah biaya penggantian relai proteksi elektris. Dengan rincian sebagai berikut.

Relai Alstom P14NB = Rp. 27.682.000,00  
 Harga relai P14NB = Rp.27.682.000 x 29 unit = Rp 802.778.000,00

Total biaya relai = harga relai P14NB + relai dengan tipe lain + jasa pemasangan + PPN 10%

Total biaya relai = Rp. 802.778.000 + 658.615 + 152.997 + 161.439.000

Total biaya relai = Rp. 1.775.829.000,00

Lalu perhitungan selanjutnya adalah *losses* saat terjadi *derating/ trip/ shutdown/ forced outage* akibat gangguan relai mekanis. Asumsi rata-rata gangguan relai mekanis jika menggunakan data 2009 hingga 2016 maka diperoleh gangguan sebanyak 20 kali, atau rata-rata pertahun 2 hingga 3 kali gangguan. Jika tiap gangguan rata rata penyelesaian dengan durasi 6 jam. Maka perhitungannya adalah sebagai berikut.

Daya terpasang = 200MW

BPP (biaya Pokok Produksi) = Rp 980,00/kwh

Forced Outage / tahun = 3

Perbaikan = 6 jam

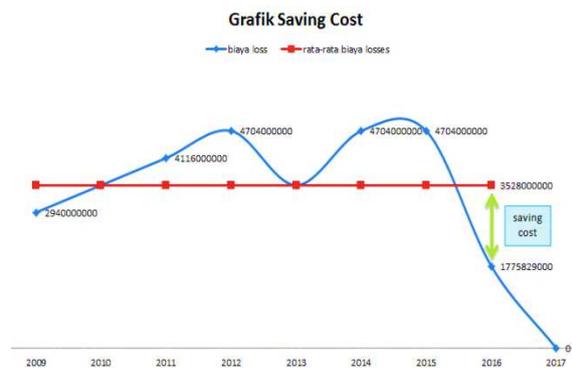
Biaya *losses* = Daya x BPP x FO x Perbaikan

Biaya *losses* = 200MW x 980/kWH x 3 x 6

Biaya *losses* = Rp 3.528.000.000,00

Dan potensi penghematan biaya saat tahun berjalan penggantian relai panel tegangan menengah adalah sebesar (Biaya *losses* - Total biaya relai = Rp 3.528.000.000,00 - Rp 1.775.829.000,00 = Rp 1.752.171.000,00). Selanjutnya potensi penghematan ditahun berikutnya akan sama dengan biaya hilang beban.

Untuk memperjelas analisis dapat diperlihatkan dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4.11 Grafik penghematan biaya setelah penggantian relai

## 5. KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil analisis dari segi teknis maupun finansial, rele elektris yang menggantikan rele mekanis pada panel tegangan menengah (*switchgear*) di PLTU Muara Karang layak diterapkan dengan baik dan efisien. Bentuk keuntungan finansial penelitian yang didapat dari penggantian rele mekanis menjadi rele elektris adalah ditemukan potensi penghematan biaya sebesar Rp 1.752.171.000,00.
- Metode penelitian penggantian relai mekanis menjadi elektris yang diterapkan di Muara Karang juga dapat untuk diterapkan di unit lain, dengan prosedur berdasarkan hasil penelitian ini sebagai berikut :
  - Pengumpulan data spesifikasi Rele dan Beban.
  - Menemukan metode penghitungan rele mekanis.
  - Menghitung arus hubung singkat.
  - Menganalisis hasil dari metode penghitungan rele mekanis dan arus hubung singkat terhadap rele elektris.
  - Menghitung potensi penghematan setelah penggantian rele proteksi.
- Menghasilkan penemuan baru berupa modifikasi rumus inverse yang berasal dari *long delay IEC inverse curve*.

$$T (s) = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{1-1}} \times TMS \rightarrow$$

$$T (s) = \left(\frac{50+10M}{M-1}\right)$$

## REFERENSI

- 1) *Schematic Diagram of Generator and Transformer Protection Relay Panel (Unit 4)*, 2009, Muara Karang Steam Power Plant Unit 4 & 5 (2x200MW).
- 2) *Manual, Instruction. Relay CO, Mitsubishi Co., Inc.* 1972, Japan.
- 3) *Manual, Instruction. M3425 Generator Protection, Beckwith Electric Co., Inc.* 1998, USA.
- 4) Marsudi, Djiteng, 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Graha Ilmu, Jakarta.
- 5) Pandjaitan, Bonar, 2012, *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Andi, Jakarta.
- 6) Michael Thompson, James R. Closson Basler Electric, *"Using  $I_{OP}$  Characteristics To Troubleshoot Transformer Differential Relay Misoperation"* Presented to International Electrical Testing Association Technical Conference, Kansas City, Missouri March 13 - 16, 2001, Revised July 2005.
- 7) Larry Lawhead, Randy Hamilton, John Horak Basler Electric Company, *"Three Phase Transformer Winding Configurations and Differential Relay Compensation"*, Presented before the 60th Annual Georgia Tech Protective Relay Conference May 2-5, 2006.
- 8) Liem Ek Bien & Dita Helna, "Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA" JETri, Volume 6, Nomor 2, Februari 2007, Halaman 41 - 68, ISSN 1412-0372, 2007.
- 9) J Duncan Glover, Mulukutla S Sarma, Thomas J Overbye, **"Power Systems Analysis and Design"**, 2007
- 10) UDIKLAT SEMARANG, "Modul Pelatihan Proteksi Pembangkit 2", 2008.
- 11) L. Sevov, J. Cardenas, Y. Sun. *IEEE No. 978-1-4244-1949-4/08/\$25.00 ©2008. CT Failure Detection For Differential Protection Applications.*