

Instalasi Pentanahan Dan Proteksi Gangguan Ke Tanah Pada Pembangkitan Multi Generator Di Sistem Kelistrikan Industri Minyak Nabati

Johari, Adi Soeprijanto, dan Ontoseno Penangsang

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: ontosenop@ee.its.ac.id

Abstrak—Pemilihan metode pentanahan pada multi generator menjadi pertimbangan penting dalam sebuah industri yang memiliki tegangan menengah. Hal ini dikarenakan seringkali terjadi gangguan ke tanah serta besarnya arus gangguan satu fasa ke tanah pada masing-masing generator. Jika terjadi kesalahan dalam pemilihan pentanahan generator akan menyebabkan kerusakan yang sangat berarti pada peralatan tersebut. Tugas akhir ini akan membahas berbagai macam metode pentanahan pada generator yang beroperasi di Industri Minyak Nabati. Besar arus gangguan satu fasa merupakan faktor utama dalam pemilihan pentanahan sistem. Berdasarkan hasil simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah, maka dapat ditentukan kombinasi pentanahan pada masing-masing generator disistem tegangan menengah yaitu *Low Resistance - Open* atau sebaliknya. Selain itu, akan dibahas juga pengamanan arus gangguan ketanah. Dengan adanya penambahan pembangkit dan beban pada perusahaan ini, akan berpengaruh pada besar arus hubung singkat pada sistem kelistrikan diperusahaan tersebut. Untuk itu perlu dilakukan analisis ulang penyetelan kordinasi rele proteksi yang ada seperti rele pengamanan gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) serta menggambarkan kurva karakteristiknya.

Kata Kunci— Gangguan 1 fasa ke tanah, koordinasi proteksi, pentanahan, rele gangguan ketanah.

I. PENDAHULUAN

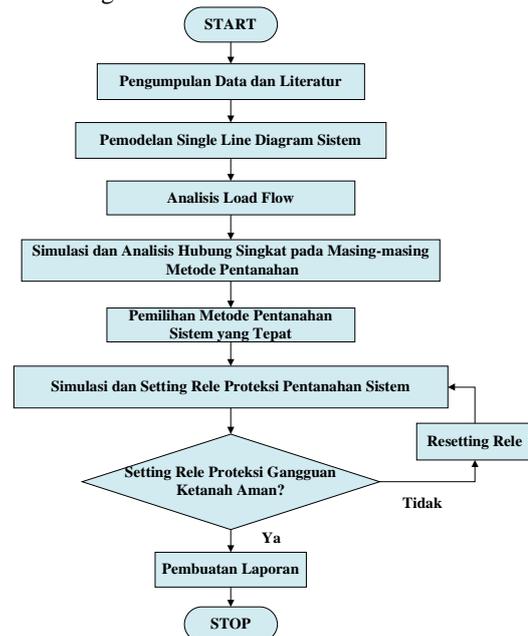
Industri Minyak Nabati merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri minyak nabati oleo & bio energy. Sistem kelistrikan Industri Minyak Nabati mempunyai beberapa alternatif suplai energi untuk kebutuhan beban operasionalnya yaitu PLN, dua unit *Steam Turbine Generator (STG)*, dan dua unit *Diesel Generator (DG)*. Dalam rangka peningkatan jumlah hasil produksi, mengakibatkan daya listrik di Industri Minyak Nabati juga bertambah. Untuk memenuhi kekurangan daya listrik tersebut maka akan dilakukan penambahan 2 unit generator dengan daya 6,4 MW dan 10 MW. Dengan adanya penambahan pembangkit dan beban pada PT. Wilmar akan berpengaruh pada arus hubung singkat (*Short Circuit Current*) pada sistem kelistrikan diperusahaan tersebut[6]. Untuk itu perlu dilakukan analisis ulang *setting* rele proteksi yang ada seperti rele pengamanan gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) serta menggambarkan kurva karakteristiknya[4].

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah:

1. Memberi referensi keuntungan dan kekurangan dalam pemilihan metode pentanahan pada multi generator di Industri Minyak Nabati.
2. Memahami metode pengamanan *ground fault relay* pada pentanahan sistem generator.
3. Menyetel ulang koordinasi rele gangguan ketanah yang masih belum tepat setelahnya.

II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi

III. STUDI KASUS SISTEM KELISTRIKAN INDUSTRI MINYAK NABATI

A. Sistem Kelistrikan Industri Minyak Nabati

Industri Minyak Nabati memiliki total suplai energi listrik sebesar 51.9 MW. Total beban maksimum yang terpasang besarnya sekitar 40.8 MW. Ini adalah untuk kondisi *Peak Load* dimana semua sumber aktif kecuali DG 1.6 MW[11].

Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem secara radial dengan membuka *switch-switch* pada *single line diagram*. Adapun tegangan menengah yang digunakan adalah 10.5 kV. Tegangan menengah ini akan diturunkan menjadi tegangan yang lebih rendah dengan trafo *step-down* menjadi 0.4 kV dan 3.3 kV.

B. Jenis Pentanahan yang Digunakan

Pada simulasi tugas akhir ini menggunakan beberapa jenis pentanahan sistem pada generator, diantaranya pentanahan langsung (*Solid*), pentanahan impedansi (pentanahan dengan tahanan rendah(LRG) dan tahanan tinggi(HRG) dan tanpa diketanahkan(*Open*). Untuk pentanahan dengan tahanan rendah, besar arus yang mengalir dibatasi sebesar 200 – 600 A[1], sedangkan pada pentanahan dengan tahanan tinggi besar arus yang mengalir dibatasi maksimal 10 A[1].

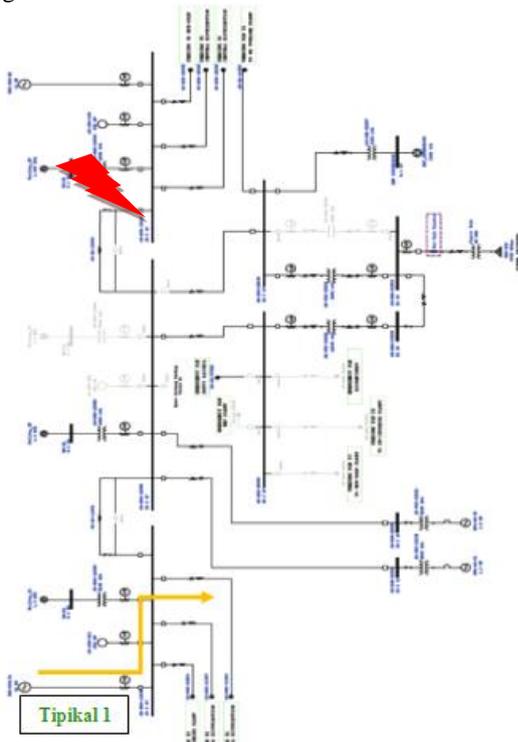
Untuk jenis pentanahan:

- ✓ Tahanan rendah menggunakan NGR 400 A
- ✓ Tahanan tinggi menggunakan NGR 10 A .

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

A. Simulasi Pentanahan untuk Generator PWS STG 01 dan PWS STG 02 serta Pemilihan Tipikal Koordinasi

Generator PWS STG 01 dan PWS STG 02 berada dalam satu bus pada sistem kelistrikan Industri Minyak Nabati. Untuk pemasangan sistem pentanahan pada generator yang berdekatan dalam satu bus maka perlu untuk melakukan simulasi pentanahan serta melihat respon arus hubung gangguan yang terjadi pada saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dari setiap kombinasi pentanahan yang digunakan pada 2 generator tersebut. Dimana kondisi semua generator ON kecuali DG.



Gambar 2. SLD-Industri Minyak Nabati Sheet 02

Pada tabel 1. Dibawah adalah hasil simulasi kombinasi pada setiap metode pentanahan sistem pada generator PWS STG 01 dan 02 yang bekerja paralel di Industri Minyak Nabati.

Tabel 1. Besar Arus Hubung Singkat Total 1 Fasa ke Tanah Pada Setiap Pentanahan

Line To Ground Fault						
Type of Grounding	Fault in Bus-	% Voltage at From Bus			kA	
		Va	Vb	Vc	Ia	3I0
Solid-Solid	SP-BUS-13000	0.00	81.54	83.15	11.339	11.339
HRG-HRG	SP-BUS-13000	0.00	173.10	173.29	0.02	0.02
LRG-LRG	SP-BUS-13000	0.00	168.42	176.21	0.79	0.79
OPEN-OPEN	SP-BUS-13000	0.00	173.21	173.21	0.00	0.00
HRG-LRG	SP-BUS-13000	0.00	170.89	174.92	0.41	0.41
LRG-HRG	SP-BUS-13000	0.00	170.74	174.73	0.41	0.41
HRG-Solid	SP-BUS-13000	0.00	82.15	84.39	11.11	11.11
Solid-HRG	SP-BUS-13000	0.00	126.96	124.65	5.00	5.00
LRG-Solid	SP-BUS-13000	0.00	82.02	84.50	11.12	11.12
Solid-LRG	SP-BUS-13000	0.00	125.84	125.63	5.01	5.01
Solid-OPEN	SP-BUS-13000	0.00	126.98	124.62	5.00	5.00
OPEN-Solid	SP-BUS-13000	0.00	82.16	84.38	11.11	11.11
HRG-OPEN	SP-BUS-13000	0.00	173.15	173.25	0.01	0.01
OPEN-HRG	SP-BUS-13000	0.00	173.15	173.25	0.01	0.01
LRG-OPEN	SP-BUS-13000	0.00	170.80	174.69	0.39	0.39
OPEN-LRG	SP-BUS-13000	0.00	170.95	174.88	0.39	0.39

Dari hasil simulasi diatas dapat dilihat arus hubung singkat satu fasa ketanah yang nilai nya paling kecil 10 Ampere terdapat pada 2 kombinasi pentanahan yaitu pentanahan *High Resistance-Open* dan pentanahan *Open - High Resistance*. Dari 2 jenis pentanahan ini memiliki karakteristik yang sama,hal ini dikarenakan spesifikasi dari 2 generator ini sama,khususnya untuk nilai impedansi dari kedua generator tersebut. Sehingga dari hasil simulasi arus hubung singkat diatas untuk pentanahan pada generator yang beroperasi paralel pada tegangan menengah, kita dapat memilih *High Resistance-Open* atau sebaliknya[1].Hal ini dikarenakan untuk menghindari mengalirnya aliran arus harmonisa ketiga pada antar generator. Namun pada kombinasi metode pentanahan ini sulit untuk mendeteksi lokasi terjadinya gangguan karena nilai arus gangguan yang kecil sehingga dibutuhkan peralatan pengaman yang lebih banyak untuk keamanan sistem kelistrikan,sehingga biaya yang digunakan juga otomatis lebih mahal[8].

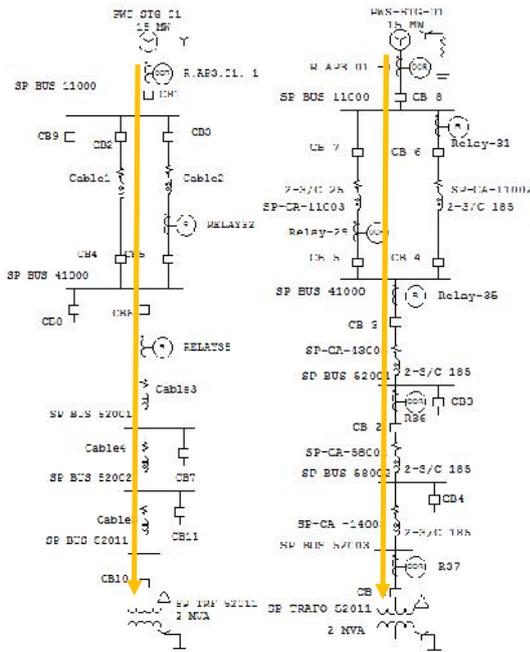
Pada umumnya industri yang memiliki generator yang bekerja paralel pada level tegangan menengah banyak yang mengaplikasikan pentanahan *Low Resistance-Open* atau sebaliknya[1].Hal ini adalah untuk memudahkan dalam mendeteksi lokasi terjadinya gangguan,dapat menghindari mengalir nya aliran arus harmonisa ketiga antar generator, serta untuk menjamin kontinuitas dari kelistrikannya[1]. Sehingga instalasi pentanahan sistem yang tepat pada sistem kelistrikan Industri Minyak Nabati adalah pentanahan *Low Resistance-Open* atau sebaliknya.

Untuk setelan rele pengaman gangguan ketanahnya kita harus lakukan koordinasi khusus untuk rele *ground fault* nya. Dimana generator PWS STG 01 diaplikasikan dengan

pentanahan 400 A dan generator PWS STG 02 tanpa pentanahan. Generator PWS STG 01 dan PWS STG 02 memiliki kapasitas yang sama yaitu 18.75 MVA.

B. Analisis Setelan Existing Rele Ground Fault Tipikal 1

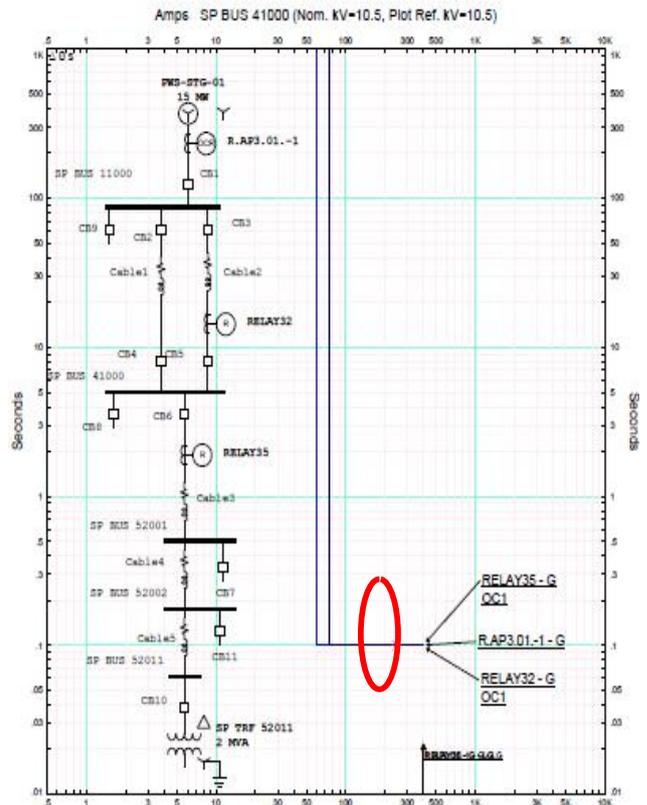
Untuk melihat koordinasi dari rele yang terpasang dibutuhkan data setelan dari rele *existing* pada Industri Minyak Nabati. Berikut akan ditampilkan data setelan rele yang terpasang. Dari SLD yang ditampilkan dibawah masih terdapat bus yang belum ada pengamanan Rele *ground fault* sehingga perlu ditambahkan.



Gambar 3. a) SLD Kondisi Existing b) SLD Setelah Diperbaiki
Tabel 2. Setelan Existing Rele Ground Fault Tipikal 1

Relay ID dan Model	CT Ratio	Setting Rele Ground Fault	
		Curve Type	DT
R.AP3.01.-1 Merlin Gerin Sepam 1000	1500/5	Curve Type	DT
		Pickup Range x CT Sec.	0.05-2
		Pickup	0.05
		Time Dial	0.1
Relay29- Merlin Gerin Sepam 40	600/5	Curve Type	DT
		Pickup Range x CT Sec.	0.1-15
		Pickup	0.1
		Time Dial	0.1
Relay32-Merlin Gerin Sepam 40	600/5	Curve Type	DT
		Pickup Range x CT Sec.	0.1-15
		Pickup	0.1
		Time Dial	0.1
Relay35-Merlin Gerin Sepam 20	600/5	Curve Type	DT
		Pickup Range x CT Sec.	0.1-15
		Pickup	0.1
		Time Dial	0.1

Dari setelan *existing* rele *ground fault* diatas jika diplot kurva nya adalah seperti berikut:



Gambar 4. Koordinasi Rele Ground Fault Existing-Tipikal 1

Dari kurva *plot existing* diatas terlihat bahwa koordinasi waktu antara rele 35, rele 32 serta rele R.AP3.01-1 masih belum tepat dan perlu diperbaiki. Hal ini karena kurva *Definite Time* nya masih berimpit dan ini akan berakibat rele akan bekerja atau *trip* bersamaan. Disamping itu, di *single line diagram* tipikal 1 diatas masih perlu ditambah rele pengamanan untuk mengaman kan Trafo 52011 dan penambahan CT untuk merasakan gangguan *ground fault* yang terjadi. Dan juga penambahan rele pengamanan *Ground fault* dan CT pada bus 52001 karena ada percabangan pembagian beban [5]. Sehingga sistem kelistrikkannya lebih aman.

C. Rekomendasi Penyetelan Ulang Rele Ground Fault dan Penambahan Rele Ground Fault

R37 (Tambahan):

Manufacturer = Merlin Gerin
Model = Sepam 1000
Curve Type = Definite Time
 $I_{sc 1\phi} = 400 A$

$$I_{FLA TRF - 52011} = \frac{2 * 10^6}{\sqrt{3} * 10500} = 109.9 \approx 110 A$$

$$1.2 * FLA Primer TRF \leq I_{SET} \leq 0.8 * I_{sc min SP - BUS - 52003} [6]$$

$$1.2 * 110A \leq I_{SET} \leq 0.8 * 7100 A$$

$$132 A \leq I_{SET} \leq 5680 A$$

Sehingga dapat ditentukan CT yang akan digunakan adalah 150/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{sc1} \leq I_{pp} \leq 50\% I_{sc1} \quad [12]$$

$$0.1 \times 400 \leq I_{pp} \leq 0.5 \times 400$$

$$40 \text{ A} \leq I_{pp} \leq 200 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{inCT}} = \frac{40}{150} = 0,27$$

$$\text{Time Delay} = 0,1 \text{ sec}$$

☑ R36(Tambahan):

Manufacturer = Merlin Gerin
Model = Sepam 1000
Curve Type = Definite Time
I_{sc1φ} = 400 A

$$I_{FLA} TRF - 52007 = \frac{2 * 10^6}{\sqrt{3} * 10500} = 109,9 \approx 110 \text{ A}$$

$$I_{FLA} = I_{FLA} TRF - 52011 + I_{FLA} TRF - 52007$$

$$I_{FLA} = 110A + 110A$$

$$I_{FLA} = 220A$$

$$1.2 * FLA \leq I_{SET} \leq 0.8 * I_{sc} \text{ min SP - BUS - 52001}$$

$$1.2 * 220A \leq I_{SET} \leq 0.8 * 7600 \text{ A}$$

$$264 \text{ A} \leq I_{SET} \leq 6080 \text{ A}$$

Sehingga dapat ditentukan CT yang akan digunakan adalah 250/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{sc1} \leq I_{pp} \leq 50\% I_{sc1}$$

$$0.1 \times 400 \leq I_{pp} \leq 0.5 \times 400$$

$$40 \text{ A} \leq I_{pp} \leq 200 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{inCT}} = \frac{40}{250} = 0,16$$

$$\text{Time Delay} = 0,3 \text{ sec}$$

☑ R35:

Manufacturer = Merlin Gerin [9]
Model = Sepam 20
Curve Type = Definite Time
I_{sc1} = 400 A
CT Ratio = 600/5 A

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{sc1} \leq I_{pp} \leq 50\% I_{sc1}$$

$$0.1 \times 400 \leq I_{pp} \leq 0.5 \times 400$$

$$40 \text{ A} \leq I_{pp} \leq 200 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{inCT}} = \frac{40}{600} = 0,07 \quad 0.1$$

$$\text{Time Delay} = 0,5 \text{ sec}$$

☑ R29 dan R32:

Jika sebelumnya R37, R36,dan R35 ini hanya berupa rele arus lebih gangguan ketanah biasa, maka dalam analisis ini direkomendasikan penggunaan rele arus lebih gangguan ketanah berarah atau 67N. Dengan mempertimbangkan adanya *double feeder*, maka untuk meningkatkan keandalan sistem dari segi sistem proteksinya, harus ada koordinasi ketika salah satu *feeder* mengalami gangguan 1 fasa ke tanah. Hal ini dapat dicapai dengan cara memasang rele 67N, sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat 1fasa ketanah pada salah satu *feeder*, rele 67N akan segera mendeteksi gangguan tersebut sehingga *trip* pertama kali dan suplai daya ke beban tetap berlanjut melalui *feeder* yang lainnya[5], [2].Untuk *setting* R29 dan R32 adalah sama[2].

Manufacturer = Merlin Gerin
Model = Sepam 2000
Curve Type = Definite Time
I_{sc1} = 400 A
CT Ratio = 600/5 A

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{sc1} \leq I_{pp} \leq 50\% I_{sc1}$$

$$0.1 \times 400 \leq I_{pp} \leq 0.5 \times 400$$

$$40 \text{ A} \leq I_{pp} \leq 200 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{inCT}} = \frac{40}{600} = 0,07$$

Time Delay

Dipilih *delay* = 0,05 s

Direction : Reverse

Polarization : Voltage

Maximum Torque Angle (MTA)

$$R = 0,128$$

$$X = 0,12$$

$$= \tan^{-1} X/R = 43,2^\circ$$

Dipilih MTA = 43°

☑ R28 dan R31(Tambahan):

Pada *single line* diatas R28 dan R31 terletak pada *double feeder*. Untuk *setting* rele R7 dan R8 disetel sama.

Manufacturer = Merlin Gerin
Model = Sepam 40
Curve Type = Definite Time
I_{sc1} = 400 A
CT Ratio = 600/5 A (sama seperti R29 dan R32)

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{sc1} \leq I_{pp} \leq 50\% I_{sc1}$$

$$0.1 \times 400 \leq I_{pp} \leq 0.5 \times 400$$

$$40 \text{ A} \leq I_{pp} \leq 200 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{inCT}} = \frac{40}{600} = 0,07$$

$$\text{Time Delay} = 0.7 \text{ sec}$$

☑ RAP3.01.-1:

Manufacturer = Merlin Gerin
Model = Sepam 1000
Curve Type = Definite Time
I_{sc1} = 400 A
CT Ratio = 1500/5 A

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{sc1} \leq I_{pp} \leq 50\% I_{sc1}$$

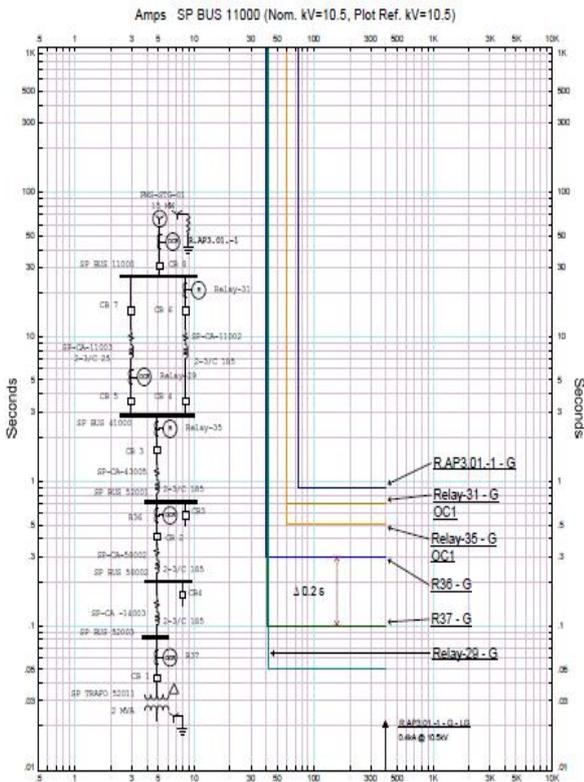
$$0.1 \times 400 \leq I_{pp} \leq 0.5 \times 400$$

$$40 \text{ A} \leq I_{pp} \leq 200 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{inCT}} = \frac{40}{1500} = 0,03$$

karena *tap setting* yang paling kecil 0.05 maka dipilih *Tap setting* nya 0.05

$$\text{Time Delay} = 0.9 \text{ sec}$$



Gambar 5. Hasil Plot Setelan Rele Ground Fault tipikal-1 yang Telah Diperbaiki

D. Rele Differential 87GN untuk Pengaman Generator PWS STG 01[3]

Untuk menjaga keamanan generator dari resiko terbakarnya belitan stator generator dari gangguan satu fasa ketanah, maka perlu diberikan perlindungan tambahan sehingga generator benar-benar mendapatkan perlindungan maksimal ketika beroperasi. Salah satu caranya adalah memberikan proteksi rele *Differential 87GN*. Dimana rele ini akan melindungi generator dari 2 macam gangguan yaitu gangguan 1 fasa ketanah dan gangguan gangguan 3 fasa. Rele ini akan bekerja hanya ketika gangguan terjadi di bagian internal generator yaitu diantara paralel CT yang digunakan pada rele *Differential 87GN* tersebut. Untuk lebih detailnya tentang penyetelan rele *Differential 87GN* akan dijelaskan seperti dibawah.

Generator PWS STG 01 memiliki kapasitas yaitu:

Daya generator = 18.750 MVA

V = 10500 Volt

X'' = 0,1264 pu

$$I_n = \frac{18.75 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 10.5 \text{ KV}} = 1030,9 \text{ A}$$

$$I_{set} \geq 1.2 * 1030,9 = 1237,1 \text{ A}$$

$$Z_{base} = \frac{(10.5)^2}{18.75} \approx 5.88 \text{ ohm/pu}$$

$$Z_{actual} = 0.1264 \text{ pu} * 5.88 \frac{\text{ohm}}{\text{pu}}$$

Rele *Differential 87GN* ini disetel tidak akan beroperasi jika ada arus gangguan maksimum yang terjadi pada eksternal generator, dimana CT pada terminal generator akan

mengalami saturasi. Rele 87GN hanya akan melindungi generator apabila gangguan hanya terjadi diantara paralel CT saja. Untuk arus gangguan 1 fasa ketanah sendiri dibatasi adalah 400 A sesuai dengan nilai NGR yang dipasang, sedangkan untuk arus gangguan maksimum terdapat pada gangguan 3 fasa[3].

Dengan Iset = 1237,1 dapat ditentukan CT yang dipakai yaitu 1200/5.

Nilai Bundan CT 1200/5 = 10 VA

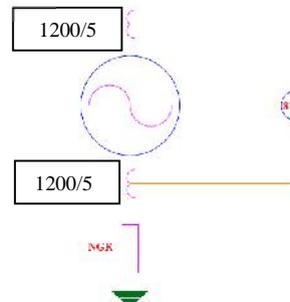
$$R_L (\text{Kabel antara CT dan Rele}) = 4 \text{ mm}^2 = 4.56 \text{ ohm/Km [10]} = 0.00456 \text{ ohm/m}$$

$$R_L \text{ untuk 2 meter} = 2 * 0.00456 \text{ ohm} = 0.00912 \text{ ohm}$$

$$R_S (\text{Tahanan belitan sekunder CT}) = \frac{10 \text{ VA}}{5^2} = 0.4 \text{ ohm}$$

P = 1 (untuk gangguan 3 fasa)

$$= 0.743 \text{ ohm}$$



Gambar 6. SLD Pengaman Ground Fault Generator Differential Relay 87GN Sehingga arus gangguan 3 fasa yang terjadi di internal generator dapat dihitung seperti berikut :

$$I_{fault} = \frac{10500 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0.743} = 8159 \text{ A}$$

Dengan besar arus gangguan maksimum yang terjadi pada internal generator diatas, dapat ditentukan tegangan junction (Vj) yaitu pada paralel CT seperti berikut :

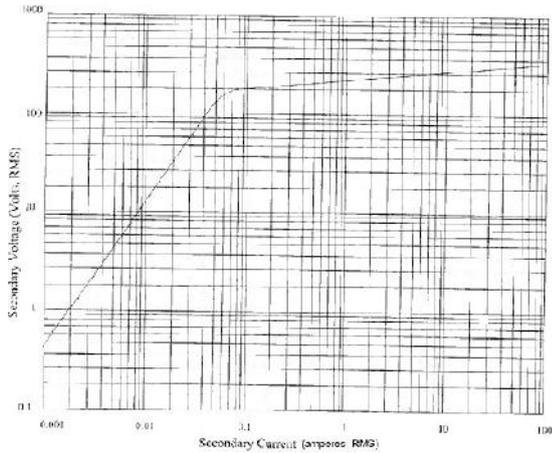
$$V_j = [R_S + (P * R_L)] * \left(\frac{I_{fault}}{CT_{ratio}} \right) = [0.4 + (1 * 0.00912 \text{ ohm})] * \left(\frac{8159 \text{ A}}{240} \right) = 13.9 \text{ Volt}$$

Diasumsikan untuk *Safety Margin* adalah 50%, maka setelan tegangan rele adalah :

$$V_R = 1.5 (13.9 \text{ Volt}) = 21 \text{ Volt}$$

Dari kurva eksitasi belitan CT 1200/5 dibawah untuk nilai tegangan eksitasi = 21 Volt maka didapat nilai I_E = 0.015 A. Jika diketahui tipikal impedansi rangkaian operasi rele adalah 1700 ohm[3], dan I_I adalah ditentukan dari perusahaan sebesar 0,01 A[3]. Maka bisa didapatkan arus pada rele dengan tegangan 21 V adalah:

$$I_R = \frac{21 \text{ V}}{1700 \text{ ohm}} = 0.012 \text{ A}$$



Gambar 7. Kurva Eksitasi Belitan Sekunder CT 1200/5 (Tegangan dan Arus)[3]

Sehingga dapat dihitung arus minimum gangguan internal pada generator :

$$I_{min} = CTR [\sum (I_e)_X + I_r + I_1] \quad X=1,2,3,\dots,n$$

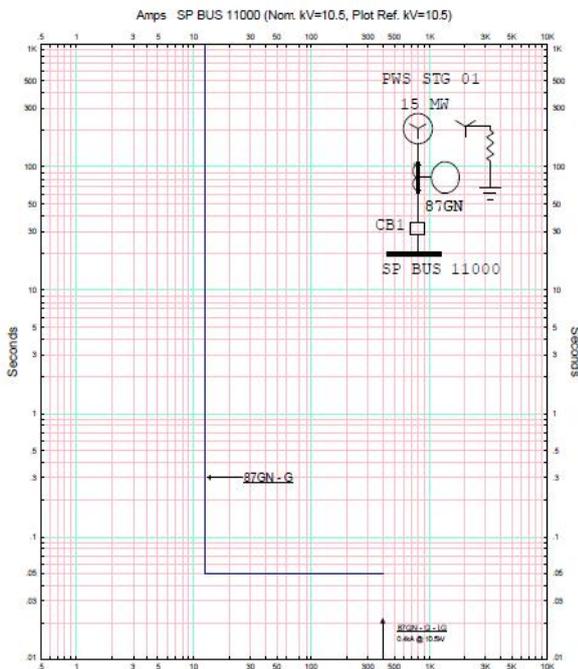
$$I_{min} = 240 [2 * 0.015 + 0.012 + 0.01] = 12.5 \text{ Amper}$$

Waktu kerja rele = 0.05 detik

Sehingga persentase perlindungan stator generator adalah :

$$\left[1 - \left(\frac{I_{min}}{I_{fault \ 1 \ phase}}\right)\right] * 100\%$$

$$\left[1 - \left(\frac{12.5 \ A}{400}\right)\right] * 100\% = 96.8 \%$$



Gambar 8. Hasil Plot setelah Rele 87GN

Untuk simulasi pentanahan generator PWS GTG dan Future Generator (tipikal 2) pada sistem kelistrikan PT. Wilmar dapat dilakukan dengan cara kombinasi pentanahan yang sama seperti cara tipikal 1. Serta untuk penyetelan rele *ground fault* dan rele *differential 87GN* dapat dilakukan sama seperti cara sebelumnya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisa pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk Generator yang beroperasi paralel dalam satu bus disarankan salah satu saja yang diketanahkan (*Single Point Grounding*) dan yang lain tidak diketanahkan. Hal ini bertujuan untuk mencegah aliran harmonisa ketiga dari satu generator ke generator lainnya. Sehingga mengurangi efek harmonisa ketiga terhadap kawat netral
2. Pada pentanahan *High Resistance* arus gangguan satu fasa ketanah dibatasi maksimal 10 Ampere dan *Low Resistance* arus gangguan maksimal dibatasi 400 Ampere. Pada umumnya industri tegangan menengah banyak yang menggunakan *Low Resistance*, hal ini disebabkan untuk memudahkan dalam mendeteksi letak gangguan.
3. Besar arus hubung singkat dengan pentanahan generator dengan tahanan cenderung tetap pada periode 0,5 – 30 cycle. Sesuai dengan NGR yang terpasang pada sistem pentanahan.
4. Rele pengaman *Differential 87GN* berfungsi untuk mengamankan gangguan yang terjadi di internal generator.
5. Pentanahan langsung memiliki keuntungan tidak menyebabkan tegangan lebih pada fasa – fasa yang tidak terganggu, namun arus gangguan satu fasa sangat besar, sehingga tidak aman untuk sistem tegangan menengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih banyak kepada seluruh bagian PT. Wilmar yang terkait karena telah sudi untuk memberikan kesempatan bagi saya untuk melakukan penelitian pada sistem kelistrikan di Industri Minyak Nabati untuk dijadikan Tugas Akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prafulla Pillai and root,inc “ Grounding And Ground Fault Protection Of multiple Generator installation on Medium Voltage Industrial And commercial Power System”, *IEEE/IAS*, 1, January, (2004).
- [2] Horak, Jhon, “Directional Overcurrent Relaying (67) Concepts”, *Member IEEE, Basler Electric*, pp. 1-2, January, (2006).
- [3] IEEE Std C37.101-2006™, “IEEE Guide for Generator Ground Protection”, *IEEE Power Engineering Society*, New York, NY 10016-5997. 15, November, (2007).
- [4] Lazar, Irwin, “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch. 1, (1980).
- [5] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, (2004).
- [6] Kasikci Ismail, “*Short Circuit in Power Sistem*”, A Practical Guide to IEC 60 909, Weinheim, Germany, (2002).
- [7] Ramon Julian Alcantara, Ferran Garcia, “*Stator Gound Fault Protection*”, Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, (2002).
- [8] Lewis Blackburn, Thomas J. Domin., “*Protective Relay Principles and Applications Third Edition*”, CRC Press, New York, (2006).
- [9] Instruction Bulletin, “*Sepam™ Series 20 Protective Relay User’s Manual*”, Schneider Electric, (2007).
- [10] SPLN 41-1 : 1991, “*Persyaratan Penghantar Tembaga Dan Aluminium Untuk Kabel Listrik Berisolasi*”, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, Lampiran Keputusan Direksi, (1991).
- [11] Power System Analysis, “*Studi Load Flow*”, Industri Minyak Nabati Indonesia.
- [12] Breitkreutz, Billy and Frere, Amy “ Core Balance Ground Fault Protection of Motors on A Low Resistance Grounded Medium Voltage System”, *IEEE/Member*, Houston, Texas, (1994).