

Analisa Proteksi Arus Lebih Pada Generator PLTU Teluk Sirih

Zulkarnaini*, Diaz Satya Nugraha

Institut Teknologi Padang, Padang

Email: zulkarnainieva@gmail.com

ABSTRACT

Power protection system is an electrical equipment which serves to overcome when something happens that will reduce the disruption of continuity waiter to consumers. One type of interference electric current flowing toward the generator from within itself or from outside its own generator. So, to solve this problem is by way of protecting short circuit due to the electric current to the generator windings, so that the disorder can be immediately isolated. In the electric power system, not free from various problems. One of them is symmetrical interference on the generator terminals. These disorders result in higher current flow and unbalanced in the three-phase system resulting distribution of electrical energy to the load to be disrupted and damaged the generator itself. Therefore, this disorder into consideration in setting the over current relay (OCR) mounted on the generator when there is interference on the generator terminals. Evaluation form time pick up and relay operation time. For the purposes of this analysis, the use of simulation to ETAP programming. The amount of short circuit fault that occurs in the busbar area is equal to 3256,647 Amperes. For the OCR setting current is obtained at 532.26 A with a setting time of 0.38 s (600 CT ratio: 1) Large short circuit fault current for generator output is 42170 A. For the current OCR (Over Current Relay) setting obtained for 6074,728 A with a setting time of 0.35 s (CT 8000 ratio: 5). Based on the results of the study, the data in the field are still in a safe condition, so the OCR settings in the field are still in good condition.

Keywords: Protection, generator, OCR

ABSTRAK

Sistem proteksi tenaga listrik adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengatasi apabila terjadi suatu gangguan yang akan mengurangi kontinuitas pelayanan terhadap konsumen. Salah satu jenis gangguan arus listrik yang mengalir menuju generator dari dalam sendiri maupun dari luar generator sendiri. Maka untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan cara memproteksi gangguan hubung singkat akibat arus listrik yang menuju belitan generator, sehingga gangguan tersebut dapat segera terisolir. Dalam suatu sistem tenaga listrik, tidak lepas dari berbagai masalah. Salah satunya adalah gangguan simetris pada terminal generator. Gangguan ini mengakibatkan aliran arus yang tinggi dan tidak seimbang dalam sistem tiga-fasa sehingga mengakibatkan penyaluran energi listrik ke beban menjadi terganggu dan merusak generator itu sendiri. Oleh karena itu, gangguan ini menjadi bahan pertimbangan dalam *setting over current relay* (OCR) yang terpasang pada generator, apabila terjadi gangguan pada terminal generator. Evaluasi berupa penentuan waktu pick up dan waktu operasi relay. Besar arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada area busbar adalah sebesar untuk 3256,647 Ampere. Untuk arus setting OCR diperoleh sebesar 532,26 A dengan waktu setting 0,38 s (ratio CT 600:1) Besar arus gangguan hubung singkat untuk keluaran generator adalah sebesar 42170 A. Untuk arus setting OCR (Over Current Relay) diperoleh sebesar 6074,728 A dengan waktu setting 0,35 s (ratio CT 8000:5). Berdasarkan hasil penelitian, data di lapangan masih dalam kondisi aman, maka setting OCR yang ada di lapangan masih dalam kondisi baik.

Kata Kunci: Proteksi, generator, OCR

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik memiliki empat unsure utama yaitu pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban. Perkembangan sistem kelistrikan saat ini telah mengarah pada peningkatan efisiensi dan kehandalan [1].

Pada sisi pembangkitan, peningkatan kehandalan dapat dilakukan dengan cara memberikan *safety* (proteksi) kepada setiap peralatan utama maupun peralatan bantu. Kehandalan suatu sistem tenaga listrik dapat terlihat ketika terjadinya gangguan yang dapat

menyebabkan terganggunya penyaluran energi listrik ke konsumen. Dalam suatu sistem tenaga listrik tidak akan mungkin bebas dari gangguan. Gangguan yang terjadi bisa pada pembangkitan, transmisi, maupun distribusi. Salah satu contoh adalah gangguan yang terjadi pada terminal generator. Generator adalah komponen utama yang sangat penting dalam pembangkitan energi listrik. Jika terjadi gangguan pada terminal generator maka akan menyebabkan terganggunya proses penyediaan energi listrik [2].

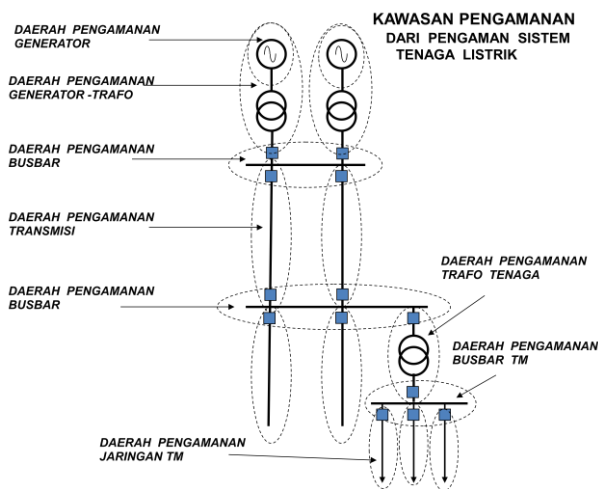
Gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan yang fatal pada peralatan listrik

khususnya generator adalah hubung singkat antar fasa, hubung singkat antar lilitan, hubung singkat dengan tanah pada belitan rotor dan hubung singkat antar lilitan pada belitan rotor. Karena sangat pentingnya proteksi generator, maka dibutuhkan pengaman terhadap arus lebih ini. Pengaman ini berupa tiga jenis rele arus lebih yang ada pada generator, yaitu relay arus lebih dengan *voltage-restrained*, relay arus lebih urutan negatif, dan relay arus lebih netral [6].

Jika ada gangguan pada terminal generator maka relay ini akan memberikan masukan kepada circuit breaker untuk trip sehingga generator terhindar dari arus lebih yang lebih lama. Untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik, relay arus lebih memiliki setting yang baik. Dengan melakukan analisa dan evaluasi terhadap kinerja OCR berdasarkan setting yang tersedia, akan dapat diketahui kelayakan dari setting OCR tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dan analisa lebih lanjut untuk sistem proteksi generator pada PLTU Teluk Sirih.

2. PROTEKSI ARUS LEBIH

Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri atas istem pembangkit, sistem transmisi dan gardu induk, sistem distribusi, sistem sambungan pelayanan seperti gambar 1 di bawah.



Gambar 1 Kawasan Proteksi [3]

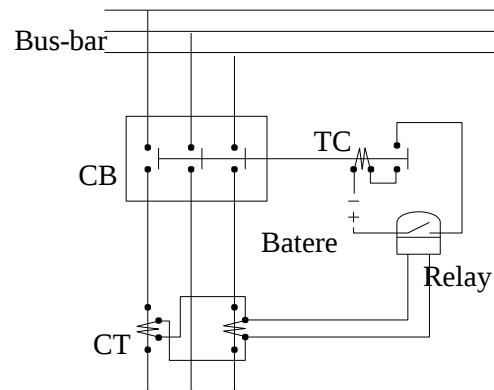
Generator merupakan salah satu peralatan yang rawan terhadap gangguan-gangguan yang datang dari dalam atau luar. Salah satu gangguan yang dapat terjadi pada generator adalah gangguan hubung singkat. Oleh sebab itu, pada generator perlu dipasang relay pengaman yang dapat memproteksi generator dari kerusakan ketika terjadi gangguan.

Relai adalah peralatan elektrik yang didesain untuk merespon kondisi input sesuai *setting* atau kondisi yang telah ditentukan (IEEE C37.100-

1992). Relay- relay yang digunakan pada Generator diantaranya:

- 50 – *Instantaneous Overcurrent Relay*
- 51 – *AC Inverse Time Overcurrent Relay*
- 59 – *Overvoltage Relay*
- 63 – *Pressure Switch*
- 86 – *Lockout Relay*
- 87 – *Differential Protective Relay*

Pada paper ini dibahas tentang penggunaan over current realy (OCR) untuk memproteksi gangguan arus lebih pada generator. OCR bekerja apabila relay dilewati arus yang melebihi nilai pengamanan tertentu (arus *setting* waktu tertentu), maka relay akan mulai bekerja, Jadi relay bekerja berdasarkan kenaikan arus yang terdeteksi. Berdasarkan pada prinsip kerja dan konstruksinya, maka relay jenis ini termasuk relay yang paling sederhana, murah dan mudah dalam penyetelannya [8].



Gambar 2 Wiring OCR [2]

Dalam menentukan *setting* OCR terdapat batas minimum dan maksudnya [9]

1. Batas minimum

Sebagai batas minimum *setting* adalah arus beban maksimum. (I_{smin}) = $K_m \times I_{bmak}$

I_{smin} = *setting* arus minimum

I_{bmax} = arus beban maksimum

K_m = faktor keamanan (1,25-1,5)

2. Batas maksimum

Batas maksimum adalah arus gangguan hubung singkat di ujung seksi depannya. Untuk menjamin relay bekerja pada setiap titik yang diamankan, maka arus hubung singkat tersebut adalah

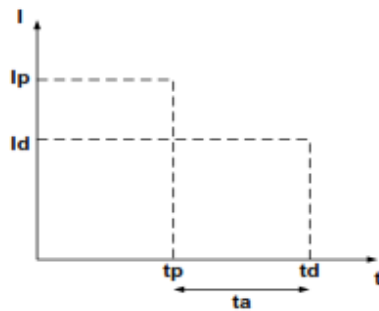
$I_{smax} = K_m \times h_{smin}$

I_{smax} = *setting* arus maksimum

K_m = faktor keamanan (0,8)

Setting Relai Over Current

Arus kerja (*pick up*) dan arus kembali (*drop off*)



Gambar 3 Grafik Perbandingan Arus Drop Off dan Arus Pick Up [4]

Keterangan:

I_p = arus *pick-up*

I_d = arus *drop-off*

t_p = waktu untuk *pick-up*

t_d = waktu untuk *drop-off*

t_a = $t_d - t_p$

Penyetelan Arus (I_s)

Batas penyetelan minimum, relay tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum. Batas penyetelan maksimum relay harus bekerja bila terjadi gangguan hubung singkat pada area berikutnya.

$$Tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{SET}} \right)^k - 1 \right]}{0,14} \quad (1)$$

$I_s = 1,2 \times I_{nTrafo} / I_{nCT}$

I_s = penyetelan arus

Time Multiple Setting (Tms)

Time multiple setting (Tms) OCR mempergunakan standar *inverse*, yang dihitung menggunakan rumus kurva waktu Vs arus, dalam hal ini juga diambil persamaan kurva arus waktu dari standar British, sebagai berikut [5].

$$Tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{SET}} \right)^k - 1 \right]}{0,14} \quad (2)$$

dimana:

t = Waktu trip.

Tms = Time multiple setting

I_{fault} = Besarnya arus hubung singkat

3. METODOLOGI

Dalam paper ini dilakukan analisa perhitungan nilai arus hubung singkat saat terjadi gangguan. Untuk menentukan setting OCR dari system proteksi generator. Lokasi kajian dilakukan pada PT PLN (Persero) Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan Sektor Teluk Sirih. Beberapa data yang dipakai sebagai bahan analisis diantaranya:

1. Data spesifikasi generator
2. Data kapasitas generator

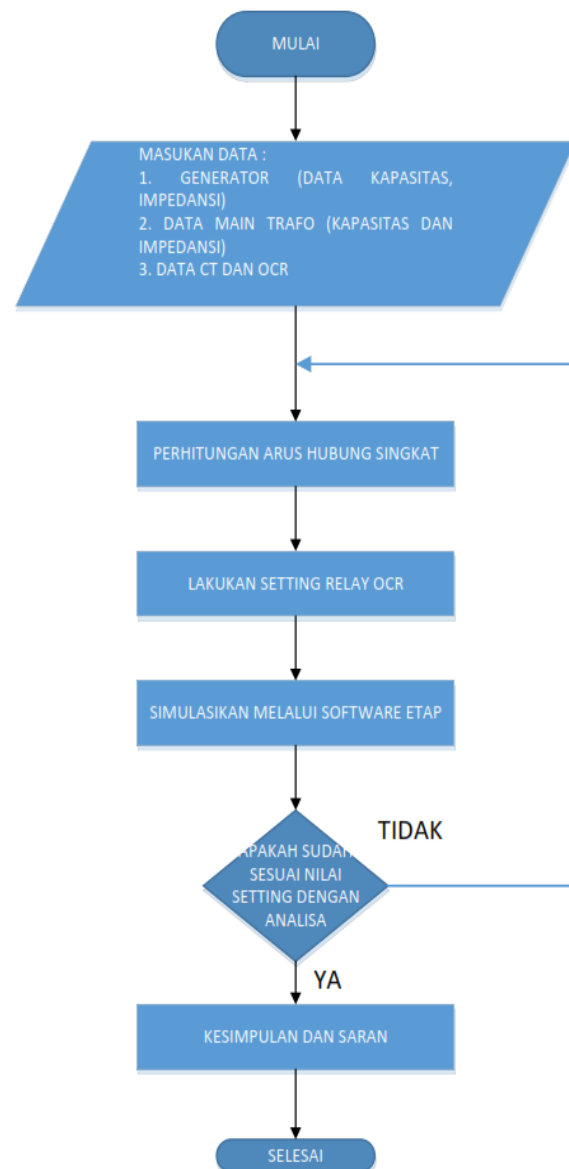
3. Data spesifikasi rele proteksi generator

4. Data main transformator

5. Data *current transformer*

Metode Jalannya Penelitian

Prosedur dan alur penelitian ini dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram alir (flowchart). Diagram alir ini merupakan urutan, mulai dari pencarian data sampai dengan penyelesaiannya.



Gambar 4 Flowchart Penelitian

Di PLTU Teluk Sirih terdapat dua unit generator dengan masing-masing kapasitas 112 MW dengan tegangan keluaran 13,8 kV. Dimana masing masing terhubung oleh satu unit GT (*Generator Transformer*) dengan kapasitas 132 MVA yang langsung terhubung dengan saluran Tegangan Tinggi 150 kV. Data-data yang dipakai untuk menganalisa proteksi arus lebih pada generator PLTU Teluk Sirih tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Data generator

Manufacturer	Nanjing Turbin Generator Co., Ltd
Type	QFJ-112-2
Rated generator capacity (Sn)	130 MVA
Rated generator active power (Pn)	112 MW
Efficiency	98,4 %
Standard	GB/ T 7064
Rated voltage	13800 V
Rated current	5512 A
Power factor	0,85
Connection	Y
Speed	3000 r/min
Frequency	50 Hz
Phase	3
Insulation class	F
D.C Resistance of stator winding 15 ° C	0,00957 Ω
D.C Resistance of excitation winding 15 ° C	0,294 Ω
Stator leakage reactance Xe (P.U)	0,142
Direct axis synchronous reactance Xd (P.U)	1,63
Direct axis transient reactance X'd (P.U)	0,1946
Direct axis sub transient reactance X''d (P.U)	0,1463
Negative phase sequence reactance X ₂ (P.U)	0,1635
Zero phase sequence reactance X ₀ (P.U)	0,077
Transient time constant T'd3	1,107 s
Sub transient time constant T''d3	0,04 s
Short circuit ratio	0,63

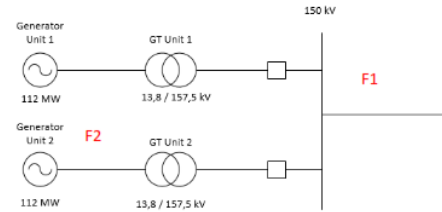
Tabel 2 Data transformator

Manufacturer	Shandong Power Equipment Co., Ltd
Ratio	157,5 ± 8 x 1,25 % / 13,8 kV
Rated current	484 / 5512 A
Rated capacity	132 MVA
Z (impedansi)	12 %
Belitan	Ynd1
Zero sequence impedance	22,4 Ω

Tabel 4 Data OCR

Protection Function	Over current relay
Relay type	Sifang CSC 211
Ratio CT	600/ 1 A
I nominal	1 A
Karakteristik	Normal inverse
Tms	4 s

4. PEMBAHASAN



Gambar 5 Sistem pembangkit PLTU Teluk Sirih

Perhitungan Hubung Singkat (area F1)

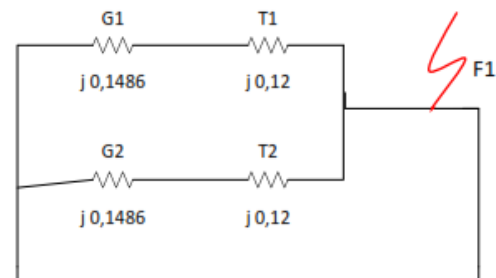
Reaktansi Generator

$$\begin{aligned}
 X''_g &= \frac{MVA_{base}}{MVA_{asli}} \times X''_d \\
 &= \frac{132}{130} \times 14,63\% \\
 &= 14,86\% = 0,1486 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Raktansi Transformator

$$\begin{aligned}
 X'_t &= \frac{MVA_{base}}{MVA_{asli}} \times \text{impedansi trafo (\%)} \\
 &= \frac{132}{132} \times 12\% \\
 &= 12\% = 0,12 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Sehingga rangkaian ekivalen menjadi gambar 5 dibawah



Gambar 6 Rangkaian ekivalen

$$\begin{aligned}
 X_{total} &= \frac{X_{GT1} \times X_{GT2}}{X_{GT1} + X_{GT2}} \\
 &= \frac{j0,286 \times j0,286}{j0,286 + j0,286} \\
 &= \frac{0,082 \angle 180}{0,572 \angle 90} \\
 &= 0,143 \angle 90 \\
 &= j0,143 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Jadi Arus hubungan singkat menjadi

$$\begin{aligned}
 I_{hs} &= \frac{E_1}{X_{total}} \\
 &= \frac{1}{j0,143} \\
 &= \frac{1 \angle 0}{0,143 \angle 90} \\
 &= 6,993 \angle -90 = -j6,993 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Jadi arus *sub transient* pada generator adalah:

$$\begin{aligned} I'_{g1} &= \frac{E_g}{X_{g1}} & I'_{g1} &= I'_{g1} \text{ (pu)} \times \frac{kVA_{base}}{kV \sqrt{3}} \\ &= \frac{1}{0,1486} & &= 6,73 \times \frac{132000}{157,5\sqrt{3}} \\ &= 6,73 \text{ pu} & &= 3256,647 \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi arus *sub transient* pada generator unit 1 dan unit 2 (area F1) sebesar 3256,647A

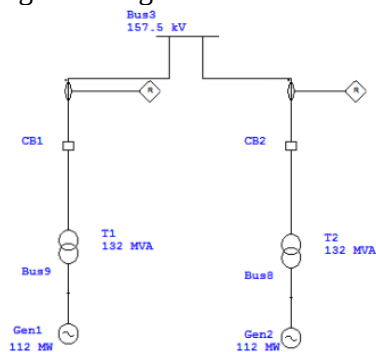
$$\begin{aligned} I_n &= \frac{S_{base}}{V_{base} \sqrt{3}} & I_{rele} &= I_n \times \frac{1}{Ratio CT} \\ I_n &= \frac{132000000}{157500\sqrt{3}} & I_{rele} &= 483,874 \times \frac{1}{600} \\ &= 483,874 \text{ A} & &= 0,80645 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set OCR} &= 1,1 \times I_n \\ &= 1,1 \times 483,874 \\ &= 532,26 \text{ A} \end{aligned}$$

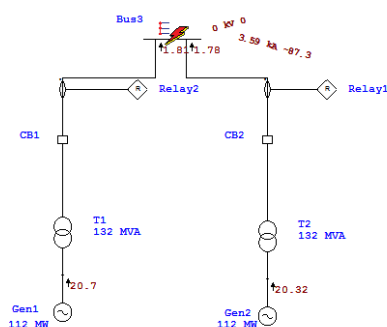
$$\begin{aligned} T_s &= \frac{k}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right)^a - 1} \times TMS \\ &= \frac{0,14}{\left(\frac{3256,647}{532,26}\right)^{0,02} - 1} \times 0,1 \\ &= 0,38 \text{ s} \end{aligned}$$

Perhitungan dengan menggunakan software ETAP 12.6

Rangkaian single line diagram

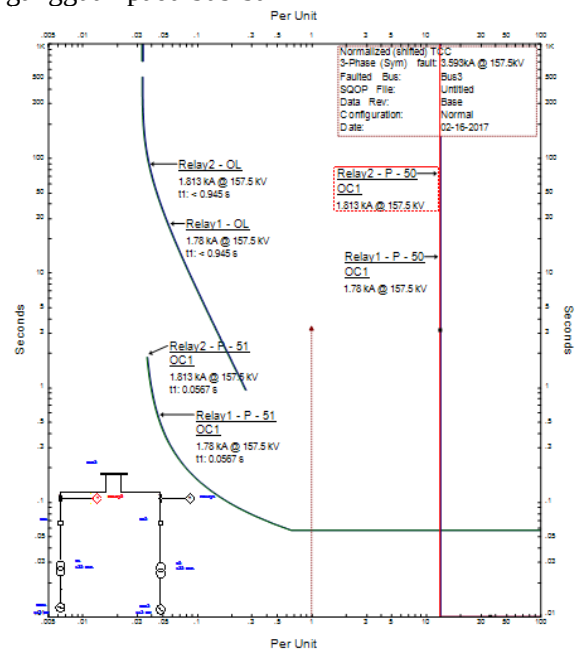


Gambar 7 Single line generator PLTU Teluk Sirih



Gambar 8 Simulasi PLTU Teluk Sirih

Karakteristik OCR PLTU Teluk Sirih bila gangguan pada bus-bar



Gambar 9 Diagram proteksi OCR

Dimana untuk relay 1 dan relay 2 beroperasi pada saat terjadi gangguan di area F1 dengan masing relay merasakan arus sebesar 1,813 kA dan waktu operasi masing masing 0,0567 s dengan tegangan 157,5 kV.

Perhitungan hubung singkat generator (area F2)

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{S_{base}}{V_{base} \sqrt{3}} \\ I_n &= \frac{132000000}{13800\sqrt{3}} \\ &= 5522,48 \text{ A} \\ I_{rele} &= I_n \times \frac{1}{Ratio CT} \\ I_{rele} &= 5522,48 \times \frac{1}{1600} \\ &= 3,45 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus kerja rele (standar OCR 110%):

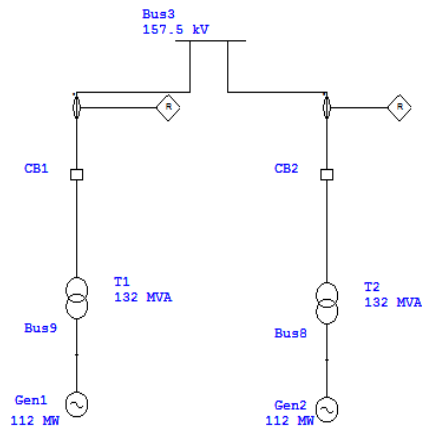
$$\begin{aligned} I_{set OCR} &= 1,1 \times I_n \\ &= 1,1 \times 5522,48 \\ &= 6074,728 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan waktu setting (untuk standard inverse nilai k= 0,14 dan untuk nilai a =0,02)

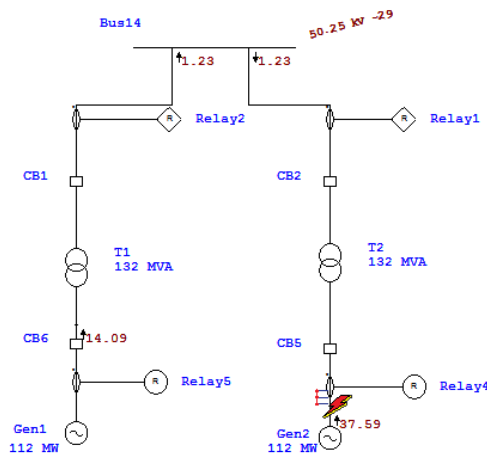
$$\begin{aligned} T_s &= \frac{k}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set OCR}}\right)^a - 1} \times TMS \\ &= \frac{0,14}{\left(\frac{42177,894}{6074,728}\right)^{0,02} - 1} \times 0,1 \\ &= 0,35 \text{ s} \end{aligned}$$

Simulasi dengan ETAP

Single line diagram dari system PLTU Teluk Sirih

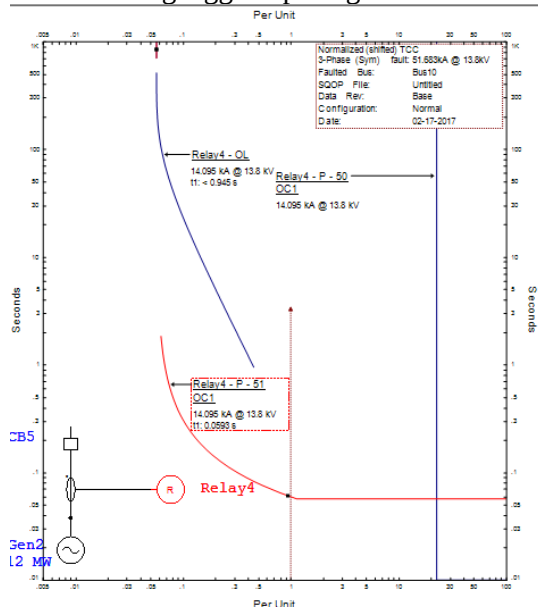


Gambar 10 Single line diagram



Gambar 11 Simulasi di generator unit 2

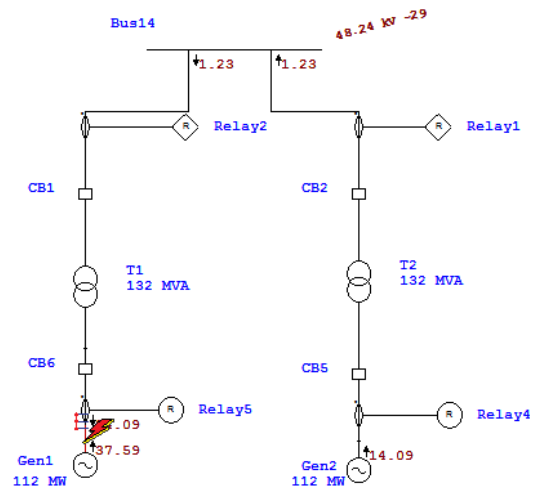
Hasil simulasi gangguan pada generator 2



Gambar 12 Diagram proteksi OCR generator unit 2

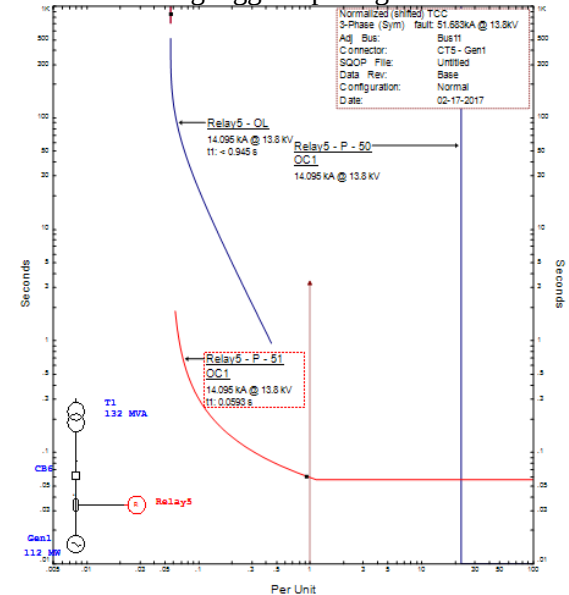
Relay 4 beroperasi dengan arus gangguan 14,095 kA pada tegangan 13,8 kV dengan waktu operasi sebesar 0,0593 s.

Single line gangguan di generator 1



Gambar 13 Simulasi di generator unit 1

Hasil simulasi gangguan pada generator 1



Gambar 14 Diagram proteksi OCR di generator unit 1

Relay 5 beroperasi dengan arus gangguan 14,095 kA pada tegangan 13,8 kV dengan waktu operasi sebesar 0,0593 s.

4. KESIMPULAN

Besar arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada area F1 adalah sebesar untuk 3256,647 Ampere dengan gangguan di sisi busbar. Untuk arus setting OCR (Over Current Relay) diperoleh sebesar 532,26 A dengan waktu setting 0,38 s (ratio CT 600:1)

3. Besar arus gangguan hubung singkat untuk keluaran generator tiap tiap unit atau di area F2 adalah sebesar 42,17 kA.
4. Untuk arus setting OCR (*Over Current Relay*) diperoleh sebesar 6074,728 A dengan waktu setting 0,35 s (ratio CT 8000:5)
5. Hasil perhitungan dengan data di lapangan masih dalam kondisi normal, sehingga dapat disimpulkan bahwa setting OCR yang ada di lapangan masih dalam standard.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 1983. *Pola Pengamanaan Sistem (SPLN 52-1-1983)*. PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [2] Anonim. 2005. *Petunjuk dan Pedoman O & M Relai Proteksi GI (P3B)*. PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [3] Anonim. tanpa tahun *Pola Proteksi Gard Induk*. PT. PLN (Persero), Jakarta
- [4] Anonim. *Proteksi Sistem Tenaga*. PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [5] Alawiy, M. T. 2006. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Universitas Islam Malang.
- [6] Erliwati, Syafii, Muhammad Nurdin. 2015. *Koordinasi Sistem Proteksi Arus Lebih pada Penyulang Distribusi 20 kV GI Pauh Limo*. Universitas Andalas Padang, Padang.
- [7] Kadir, A. 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*. UI-Press, Depok.
- [8] Mirtha Isnay S, Inggrit Izzatul A. 2014. *Studi Koordinasi Relay Proteksi pada Transformator Tenaga 60 MVA 150/20 kV dan Penyulang Gardu Induk Bumi Cokro*. Politeknik negeri Malang, Malang.
- [9] Nugraha, Sandi. 2014. *Analisis Koordinasi Setting Over Current Relay pada Trafo 60 MVA 150/20 kV dan Penyulang CBU 20 kV di Gardu*
- [10] Pandjaitan, B. 2012. *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. ANDI, Yogyakarta.
- [11] Pribadi dan Wahyudi. 2010. *Proteksi Sistem Tenaga Distribusi Tegangan Menengah*. PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [12] Suhadi, Tri Wrahatnolo. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*. Direktorat Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- [13] Tim Penyusun. 2007. *Pengenalan Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero) Udikla Semarang, Semarang