

Perencanaan Kinerja Sistem Proteksi Generator di PLTG Mobile Power Plant Jeranjang (2×25 MW) Lombok

Annisa Ridzky Fajrina J^{1*}, Supriyatna², Agung Budi Muljono³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram

Email: ¹annisardzky1@gmail.com, ²supriyatna@unram.ac.id, ³agungbm@unram.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstract— The protection system plays a crucial role in maintaining the continuity of power plant operations, particularly in generators. This research aims to plan the performance of the generator protection system at the PLTG MPP Jeranjang (2x25 MW). The method involves modeling the generator protection system using operational data and technical characteristics with the ETAP 21.0.1 software. The study focuses on adjusting the generator protection relay *settings* to the IEEE Std C37.102-2006 standards. The relays examined include overcurrent relay (50/51), differential relay (87), phase overvoltage relay (59), phase undervoltage relay (27), reserve power relay (32), and frequency relay (81). Simulation results and analysis show that the correct *settings* for the overvoltage relay (149.5 V), undervoltage relay (80.5 V), overfrequency relay (50.51 Hz), underfrequency relay (49.49 Hz), differential relay (0.02 A), and reverse power relay (1.14 MVAR) at PLTG MPP Jeranjang are in accordance with the IEEE C37.102-2006 standards, even though there is a slight difference in the simulation results, which is still within tolerance (<5%). This research demonstrates the importance of planning to improve the reliability of generator protection.

Kata Kunci— Performance planning, Protection system, Generator, PLTG MPP, ETAP 21.0.1.

Intisari— Sistem proteksi memiliki peran penting dalam menjaga kelangsungan operasi pembangkit listrik, khususnya pada generator. Penelitian bertujuan untuk melakukan perencanaan pada kinerja proteksi generator pada PLTG MPP Jeranjang (2x25 MW). Metode dilakukan dengan melakukan pemodelan sistem proteksi generator menggunakan data operasi dan karakteristik teknis menggunakan software ETAP 21.0.1. Penelitian berfokus pada penyesuaian *setting* relay proteksi generator dengan standar IEEE Std C37.102-2006. Relay yang dikaji meliputi relay overcurrent (50/51), differential (87), phase overvoltage (59), phase undervoltage (27), reserve power (32), dan frequency (81). Hasil simulasi dan analisis menunjukkan bahwa *setting* yang tepat pada relay overvoltage 149,5 V, relay undervoltage 80,5 V, overfrequency 50,51 Hz, underfrequency 49,49 Hz, differential relay 0,02 A, dan reverse power relay 1,14 MVAR di PLTG MPP Jeranjang sesuai dengan standar IEEE C37.102-2006, meskipun terdapat selisih hasil simulasi yang masih dalam toleransi (<5%). Penelitian ini membuktikan pentingnya perencanaan untuk meningkatkan keandalan proteksi generator.

Kata Kunci— Perencanaan kinerja, Sistem proteksi, Generator, PLTG MPP, ETAP 21.0.1.

I. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk di Pulau Lombok terus bertambah setiap tahun. Seiring dengan itu, pertumbuhan ekonomi meningkat, yang berdampak pada meningkatnya permintaan listrik. Untuk mengatasi hal ini, PLN menambah jumlah pembangkit listrik, salah satunya PLTG MPP Jeranjang, yang berkapasitas 2×25 MW dan telah beroperasi sejak Juli 2016. Pembangkit ini dibangun oleh anak perusahaan PLN, Bright PLN Batam.

PLTG yang berbahan bakar fosil dalam operasional pembangkitan listrik termasuk juga pembangkit thermal lainnya PLTGU, PLTDG maupun PLTU pengoptimalan penggunaan bahan bakar perlu diperhatikan salah satunya menggunakan cara Economic Dispatch [1][2][3]. Pembangkit listrik tersebut dalam operasinya tidak hanya menghasilkan listrik, tetapi juga menjamin kestabilan dan keandalan pasokan listrik. Dengan kemampuannya untuk beroperasi secara cepat dan efisien serta menyediakan daya cadangan saat diperlukan, generator pada PLTG mendukung kestabilan dan efisiensi sistem kelistrikan.

Di samping itu, sistem perlindungan yang baik memastikan generator dapat beroperasi dengan aman, mencegah kerusakan pada peralatan, dan menjaga kelangsungan operasional pembangkit. Proteksi terhadap generator sinkron di pusat pembangkit tenaga listrik sangat penting untuk mencegah kerusakan yang dapat menyebabkan gangguan operasi atau kerugian besar. Proteksi ini termasuk koordinasi proteksi terhadap arus lebih, tegangan lebih, hubung singkat, serta perlindungan terhadap suhu tinggi atau masalah mekanis yang bisa menyebabkan kerusakan pada generator atau komponen lainnya [4][5]. Tidak hanya itu unjuk kerja generator juga dapat ditentukan dari rugi-rugi internal yang terdiri dari rugi tembaga, rugi inti, rugi mekanik yang dapat mengakibatkan reduksi daya pada generator [6]. Oleh karena itu, sistem proteksi diperlukan untuk melindungi generator dari berbagai gangguan dan memastikan keandalan operasionalnya.

Berbagai penelitian menekankan koordinasi proteksi pada generator, telah dicapai dengan mendapatkan *setting* relay yang tepat. Ketidaktepatan *setting* proteksinya dapat mengakibatkan terganggunya pada sistem secara menyeluruh. Koordinasi proteksi generator pada nilai *setting* proteksi relay tegangan lebih dan kurang, relay frekuensi lebih telah dilakukan dengan mendapatkan nilai *setting* relay yang tepat [5]. Dalam melakukan koordinasi proteksi generator telah dilakukan dengan berbagai pemodelan menggunakan *software* Matlab Simulink [7] untuk mengatasi kesulitan *setting* secara riil dengan simulasi relay daya balik generator AC tiga fasa 1.5 MVA. Untuk meningkatkan unjuk kerja pada proteksi generator dilakukan desain relay frekuensi digital, relay yang dirancang ini akan mencakup kondisi frekuensi lebih tinggi

(over) dan lebih rendah (under) menggunakan software Matlab [8]. Pemodelan pada koordinasi proteksi generator dan transformator pada relay arus lebih, relay diferensial, relay daya balik dan relay keseimbangan daya memberikan hasil evaluasi sistem yang masih sesuai dengan standar, dengan software ETAP [9][10], dan dengan software PSCAD [11], memberikan hasil evaluasi kinerja sistem masih berjalan dengan baik.

Setting relay yang tepat sangat penting untuk mencegah kegagalan proteksi dan meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik. Seiring waktu, keandalan peralatan proteksi menurun, sehingga perlu diperbarui untuk menjaga efektivitasnya. Jika relay proteksi bekerja dengan baik, gangguan dapat dideteksi dan ditangani lebih cepat. Koordinasi perlindungan dan pengendalian pada generator sinkron, termasuk perlindungan kehilangan eksitasi, koordinasi eksitasi dinamis, dan pengembangan platform relay perlindungan, menggunakan simulasi dinamis dan metode SVM untuk deteksi LOE [12].

Penelitian ini untuk melakukan perencanaan kinerja sistem proteksi generator di PLTG MPP Jeranjang (2x25 MW), Lombok. Analisis mencakup beberapa jenis relay, seperti overcurrent (50/51), phase undervoltage (27), phase overvoltage (59), differential (87), reserve power (32), dan frequency (81). Simulasi dilakukan menggunakan software ETAP untuk memberikan acuan dalam operasional sistem tenaga listrik, menjaga keamanan, dan meningkatkan keandalan di generator. Simulator ETAP juga dapat mensimulasikan kualitas daya dan nilai harmonik pada sistem pembangkit PLTU dengan peralatan motor induksi 3 fasa pada Boiler Feed Water Pump [13].

II. METODE PENELITIAN

A. Data Generator

PLTG MPP Jeranjang menggunakan 2 unit generator turbin gas dan sudah beroperasi sejak 2016. Generator dengan merk General Electric tipe Turbogenerator dengan kapasitas 32,706 MVA memiliki spesifikasi yang selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Spesifikasi Generator

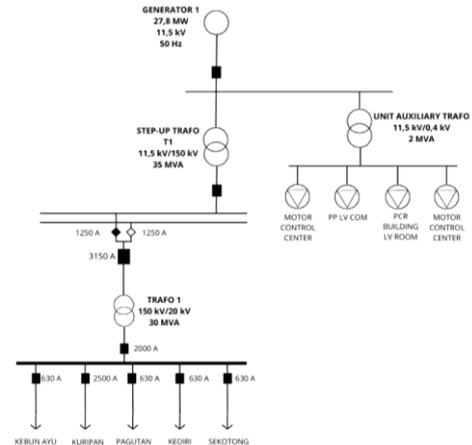
Parameter	Keterangan
Pabrikasi	General Electric
Tipe	Turbogenerator
Power Output	32706 kVA
Tegangan	11500 V
Arus	1642 A
Power Factor	0,85
Frekuensi	50 Hz
Kecepatan	3000 rpm
Kutub	2

B. Penempatan relay pada Software ETAP

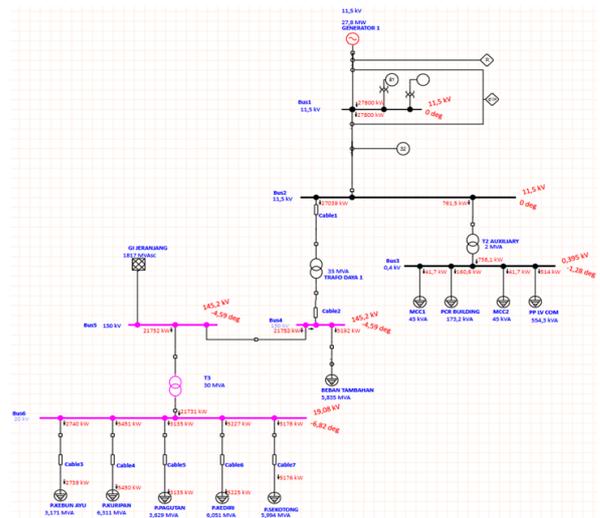
Gambar 1 adalah single line diagram PLTG MPP Jeranjang generator unit 1. PLTG ini mensuplai daya ke 1 unit trafo Unit Auxiliary 2 MVA dan 1 unit trafo daya 35 MVA yang terhubung langsung dengan saluran transmisi 150 kV pada GI Jeranjang.

Penempatan relay pada single line diagram PLTG MPP Jeranjang pada Gambar 2 dengan menggunakan data beban dengan pengukuran pada tanggal 15 September 2024. Dengan menggunakan software ETAP dilakukan simulasi load flow

guna mengetahui kondisi profil tegangan setiap bus, sebelum dilakukan simulasi gangguan hubung singkat untuk melakukan setting relay.



Gambar 1. Single Line Diagram PLTG MPP Jeranjang



Gambar 2. SLD Simulasi Load Flow Pada Software ETAP.

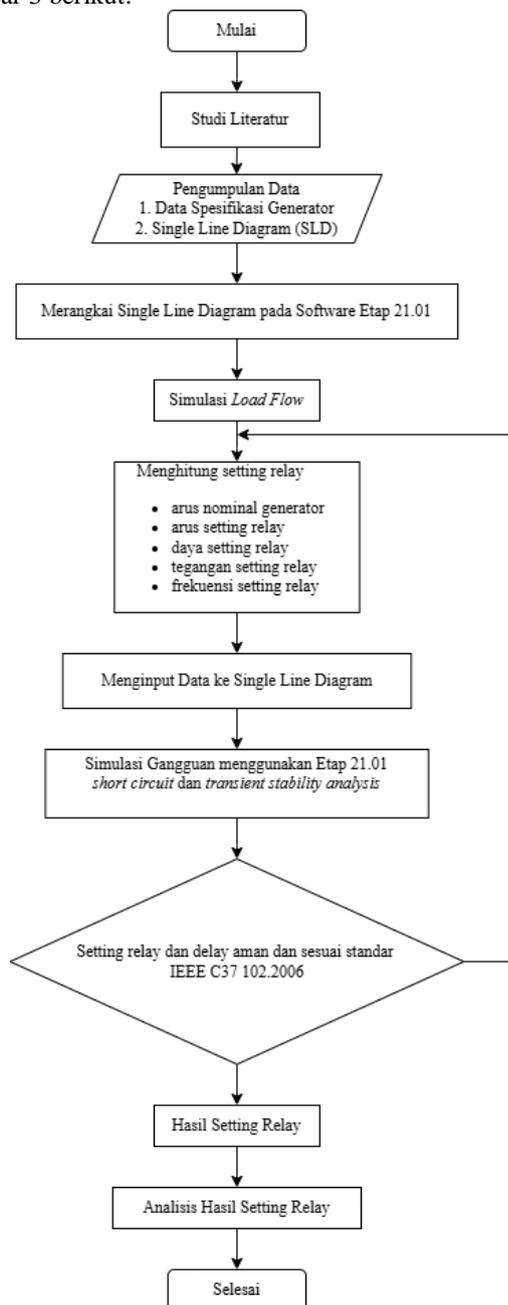
C. Tahapan Penelitian

1. Penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memahami teori dan penelitian sebelumnya yang relevan.
2. Setelah itu dilakukan pengumpulan data, yang mencakup spesifikasi generator dan Single Line Diagram (SLD).
3. Selanjutnya, data yang telah dikumpulkan digunakan untuk merancang SLD pada Software ETAP 21.0.1.
4. Setelah diagram selesai dirancang, dilakukan simulasi Load Flow untuk menganalisis aliran daya dalam sistem kelistrikan.
5. Langkah berikutnya adalah menghitung setting relay, yang mencakup beberapa parameter penting seperti: Arus nominal generator, Arus setting relay, Daya setting relay, Tegangan setting relay, Frekuensi setting relay.
6. Setelah parameter relay ditentukan, data tersebut dimasukkan ke dalam SLD yang telah dirancang sebelumnya.
7. Kemudian, dilakukan simulasi gangguan menggunakan ETAP 21.0.1, yang mencakup analisis hubung singkat

(short circuit analysis) dan analisis kestabilan transien (transient stability analysis) untuk menguji respon sistem terhadap gangguan.

8. Hasil simulasi digunakan untuk menentukan *setting relay* dan *delay* yang aman, sesuai dengan standar IEEE C37.102-2006.
9. Setelah itu, diperoleh hasil *setting relay*, yang kemudian dianalisis lebih lanjut dalam tahap analisis hasil *setting relay*.
10. Akhirnya, penelitian ini disimpulkan setelah semua tahapan analisis selesai.

Tahapan penelitian ini dapat digambarkan secara sistematis melalui bagan alir (flowchart) sebagaimana tertuang dalam Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Setting Relay

1. Setting Relay Overvoltage (59) dan Undervoltage (27)

Relay *undervoltage* adalah relay yang bekerja dengan cara mengukur nilai tegangan setiap saat. Jika tegangan terukur mengalami penurunan di bawah nilai minimum, maka relay akan memutuskan aliran listrik menuju beban. Sedangkan relay *overvoltage* kebalikannya, yaitu bekerja ketika mendeteksi tegangan yang diukur mengalami kenaikan di atas batas tegangan maksimum.

• Penetapan setting Relay Overvoltage

Penetapan pengaturan pada relay mengacu pada standar IEEE Std C37.102-2006, di mana relay *overvoltage* dengan karakteristik waktu instan diatur sebesar 130% dari tegangan sekunder PT. Dengan demikian, diperoleh pengaturan tegangan pada relay sebagai berikut: $115 \times 130\% = 149,5$ Volt.

Pengaturan tegangan relay *overvoltage* yang diterapkan adalah sebesar 149,5V pada sisi sekunder. Tegangan terminal generator saat mencapai nilai *setting* dapat dihitung berdasarkan hasil pengalihan ratio PT terhadap setting relay, yaitu 14,95 kV. Relay bekerja saat terdeteksi tegangan PT 149,5V atau 14,95 kV tegangan keluaran generator.

• Penetapan setting Relay Undervoltage

Berdasarkan standar IEEE Std C37.10-2006, relay *undervoltage* dengan karakteristik waktu instan diatur sebesar 70% tegangan sekunder PT. Dengan demikian, pengaturan tegangan relay adalah: $115 \times 70\% = 80,5$ Volt. Pengaturan tegangan relay *undervoltage* yang digunakan adalah 80,5 V. Tegangan terminal generator pada setting relay 80,5 Volt dapat dihitung berdasarkan hasil pengalihan ratio PT terhadap setting relay, menghasilkan 8,05 kV. Relay akan beroperasi jika mendeteksi tegangan pada PT sebesar 80,5 V atau 8,05 kV pada tegangan terminal generator.

2. Setting Relay Overcurrent (50)

Relay 50 berperan penting dalam mendeteksi arus lebih yang mengalir melalui kumparan stator generator. Arus berlebih ini dapat muncul baik di kumparan stator maupun di kumparan rotor. Sementara itu, arus lebih yang terjadi pada kumparan stator umumnya disebabkan oleh pembebanan yang berlebihan terhadap generator [14]. *Setting* OCR pada generator dihitung menggunakan nilai setting arus gangguan yang telah diketahui atau disebut dengan arus *pickup*. *Setting pickup* ini membatasi nilai arus beban. Batas *setting* relay arus lebih berkarakteristik *instantaneous pickup* dengan waktu tunda 10 *cycles* digunakan arus beban penuh (*Full Load Ampere, FLA*) dan hubung singkat minimum. FLA digunakan sebagai batas arus minimum dan arus hubung singkat minimum line to line atau arus hubung singkat 3 fasa digunakan sebagai batas maksimum untuk pemilihan nilai setting arus *pickup*. Data arus gangguan diperoleh dari hasil simulasi gangguan pada aplikasi ETAP.

Tabel 2. Data Arus Hubung Singkat Saluran Gangguan Pada Bus4

Dari bus	Ke bus	Jenis gangguan	Arus gangguan (kA)
Generator	Bus 1	Line to line	5,246
Generator	Bus 1	3 fasa	4,973
Bus 4	Total	Line to line	6,405
Bus 4	Total	3 fasa	7,374

Setting relay *overcurrent* dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 1,15 \text{ FLA} &\leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc} \text{ min bus} \\
 1,15 \times 1469 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 4973 \text{ A} \\
 1720,4/2000 &\leq I_{set} \leq 3978,4/2000 \\
 0,8602 &\leq I_{set} \leq 1,9892
 \end{aligned}$$

Nilai tap yang dipilih 1,9 A.

3. *Setting reserve power relay (32)*

Relay daya balik berfungsi mendeteksi aliran daya balik aktif yang masuk ke generator, yang dapat menyebabkan peristiwa motoring, yaitu ketika generator berubah menjadi motor akibat rendahnya input daya dari *prime mover*. Jika daya input tidak cukup untuk mengatasi rugi-rugi daya, generator akan menyerap daya aktif dari jaringan, sementara daya reaktif bisa masuk atau keluar. Peristiwa ini dapat merusak turbin, terutama saat aliran uap berhenti, karena peningkatan suhu pada sudu-sudu akibat gesekan dengan udara. Oleh karena itu, turbin gas dan uap dilengkapi sensor aliran dan temperatur yang dapat mengaktifkan relay untuk *trip*, serta relay daya balik sebagai cadangan jika sistem proteksi turbin gagal berfungsi [15].

• *Menentukan Daya Balik Generator*

Generator 1 PLTG MPP Jeranjang menggunakan penggerak mula turbin gas. Standar IEEE C37.102-2006, daya balik maksimal mengalir ke generator diizinkan 50% dari daya balik nominal primer generator [16]. Oleh karena itu pada input ETAP presentase terjadinya gangguan disetting 50% untuk relay bekerja.

• *Daya balik sisi primer*

Penggerak mula yang digunakan pada generator adalah turbin gas, sehingga daya motoring pada pembangkit adalah sebesar 50% dari daya yang dihasilkan oleh generator. Selanjutnya, untuk pengaturan keamanan pada pembangkit, daya yang digunakan untuk pengaturan keamanan tersebut adalah sebesar 50% dari daya motoring generator.

Daya balik primer = motoring (%) × proteksi generator (%) × MW Generator

$$\begin{aligned}
 &= 50\% \times 50\% \times 27,8 \text{ MW} \\
 &= 6,95 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan diketahui daya balik primer sebesar 6,95 MW atau setara dengan 2,284 MVAR. Daya balik yang dirasakan oleh generator saat terjadi gangguan adalah 50% dari nilai daya balik primer yang telah dihitung yaitu 1,14 MVAR. Oleh karena itu relay akan aktif ketika adanya daya balik sebesar 1,14 MVAR pada generator.

• *Time delay relay*

Menurut standar IEEE C37.102-2006, waktu tunda relay daya balik maksimal diatur pada 30 detik. Dalam penelitian ini, setting waktu tunda relay daya balik digunakan sebesar 5 detik. Waktu tunda ini bertujuan mencegah relay beroperasi selama terjadi ayunan daya yang disebabkan gangguan pada sistem generator.

4. *Setting frequency relay (81)*

Relay 81 berfungsi sebagai pengaman untuk sistem jika frekuensi turun atau naik hingga berada di luar batas yang diizinkan. Relay frekuensi ini digunakan untuk mengatur

sistem pelepasan sebagian beban jika terjadi *underfrequency*, sebagai langkah mitigasi terhadap abnormalitas frekuensi dan untuk menghindari efek kaskade yang bisa menyebabkan pemadaman total (blackout) pada generator.

Pengaturan *setting* relay frekuensi (*overfrequency* dan *underfrequency*) mengacu pada standar IEEE C37.106-1987, yang menyarankan bahwa frekuensi yang diperbolehkan adalah ±1% dari frekuensi referensi. Frekuensi referensi di Indonesia adalah 50 Hz, dan berdasarkan SPLN, frekuensi normal yang diizinkan pada sistem adalah antara 49,5 Hz hingga 50,5 Hz [17].

5. *Setting differential relay (87)*

Relay diferensial adalah jenis relay proteksi utama pada generator yang berfungsi mengatasi gangguan hubung singkat (*short circuit*) di dalam generator. Relay ini bekerja dengan cepat dan selektif berdasarkan prinsip keseimbangan, yaitu perbandingan arus yang mengalir pada kedua sisi saluran, yang diukur melalui trafo arus [18].

• Arus nominal

Arus nominal pada CT₁ dihitung menggunakan data dari generator.

$$\begin{aligned}
 \circ I_{\text{nominal CT}_1} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s} \\
 \circ I_{\text{nominal CT}_1} &= \frac{29263000}{\sqrt{3} \times 11500} \\
 \circ I_{\text{nominal CT}_1} &= 1469 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Arus nominal pada CT₂ didapatkan dari hasil *running load flow* pada aplikasi ETAP.

$$\circ I_{\text{nominal CT}_2} = 1508 \text{ A}$$

• Arus rating

$$\begin{aligned}
 \circ I_{\text{rating CT}_1} &= 110\% \times 1469 \\
 \circ I_{\text{rating CT}_1} &= 1615,9 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Rasio CT yang digunakan adalah 2000:1

$$\begin{aligned}
 \circ I_{\text{rating CT}_2} &= 110\% \times 1508 \\
 \circ I_{\text{rating CT}_2} &= 1658,8 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Rasio CT yang digunakan adalah 2000:1

• Arus sekunder CT

$$\begin{aligned}
 \circ I_{\text{sekunder CT}_1} &= \frac{1}{\text{Rasio CT}} \times I_{\text{nominal}} \\
 \circ I_{\text{sekunder CT}_1} &= \frac{1}{2000} \times 1469 \\
 \circ I_{\text{sekunder CT}_1} &= 0,73 \text{ A} \\
 \circ I_{\text{sekunder CT}_2} &= \frac{1}{\text{Rasio CT}} \times I_{\text{nominal}} \\
 \circ I_{\text{sekunder CT}_2} &= \frac{1}{2000} \times 1508 \\
 \circ I_{\text{sekunder CT}_2} &= 0,75 \text{ A}
 \end{aligned}$$

• Arus differensial

$$\begin{aligned}
 I_d &= |I_{\text{sekunder CT}_2} - I_{\text{sekunder CT}_1}| \\
 I_d &= |0,75 - 0,73|
 \end{aligned}$$

$$I_d = 0,02 \text{ A}$$

- Perhitungan arus restrain

$$I_r = \frac{(I_{\text{sekunder CT2}} + I_{\text{sekunder CT1}})}{2}$$

$$I_r = \frac{(0,75 + 0,73)}{2}$$

$$I_r = 0,74 \text{ A}$$

- Perhitungan %Slope

$$\%Slope 1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$

$$\%Slope 1 = \frac{0,02}{0,74} \times 100\%$$

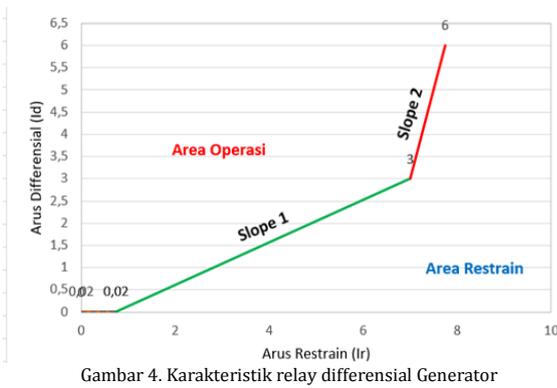
$$\%Slope 1 = 2,62\%$$

Selanjutnya menghitung %Slope 2 yang bernilai 2 kali nilai %Slope 1.

$$\%Slope 2 = 2 \times \%slope 1$$

$$\%Slope 2 = 2 \times 2,7\%$$

$$\%Slope 2 = 5,24\%$$



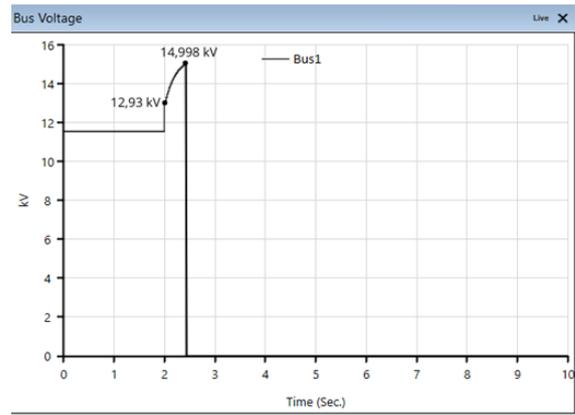
Gambar 4. Karakteristik relay diferensial Generator

Gambar 4 merupakan gambar kurva karakteristik yang diperoleh dari perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai *setting* diferensial dimana sumbu Y adalah arus diferensial (I_d) dan sumbu X adalah arus restrain (I_r) atau arus penahan.

B. SIMULASI PADA SOFTWARE ETAP 21.0.1

1. Setting Relay Overvoltage (59) dan Undervoltage (27)

Simulasi *Transient Study Analysis* dilakukan dengan memberikan gangguan pada sistem untuk melihat kinerja relay. Pengujian relay *overvoltage* dilakukan skenario pelepasan beban. Pelepasan beban diskenarioikan dengan membuka CB6 dan CB7 (total beban terlepas 27,039 MW) saat 2 detik setelah simulasi dijalankan dari SLD Gambar 1. Grafik tegangan hasil simulasi pelepasan beban dan bekerjanya relay *overvoltage* dapat dilihat pada Gambar 5.

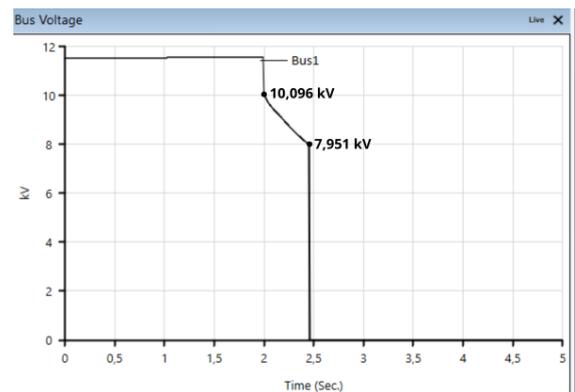


Gambar 5. Grafik Simulasi Transient Study Analysis Relay Overvoltage

Simulasi pelepasan beban 27,039 MW setelah 2 detik simulasi dijalankan menaikkan tegangan 112,43% dari tegangan nominal. Kenaikan tegangan tersebut terdeteksi oleh relay *overvoltage* yang *disetting* beroperasi ketika tegangan naik sampai 130% (14,95 kV) dari tegangan nominal (11,5 kV) pada detik ke 2,448. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 3, relay aktif memerintahkan CB buka saat tegangan generator bernilai 14,998 kV.

2. Simulasi hasil setting relay Undervoltage

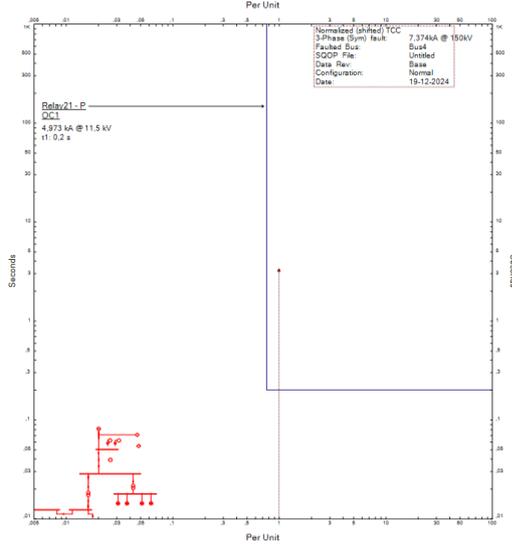
Simulasi penambahan beban 30,4 MW dan pelepasan *Grid* Jeranjang menggunakan *Transient Study Analysis* dilakukan untuk melihat kinerja relay *undervoltage*. Skenario terjadi setelah 2 detik simulasi dijalankan dengan menutup CB20 dan membuka CB18 (Gambar 2). Grafik hasil simulasi *Transient Stability Analysis* selama 5 detik saat penambahan beban terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Simulasi Transient Study Analysis Relay Undervoltage

Setelah 2 detik simulasi penambahan beban terjadi penurunan tegangan hingga 87,79% (10,096 kV) dari tegangan nominal (11,5 kV). Tegangan terus turun dan terdeteksi relay *undervoltage* sehingga bekerja pada penurunan tegangan 70% (8,05 kV) dari tegangan nominal (11,5 kV). Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 6, relay aktif memerintahkan CB buka pada detik ke 2,463 saat tegangan generator bernilai 7,951 kV atau saat penurunan tegangan 69,1%

3. Simulasi hasil setting relay Overcurrent



Gambar 7. Kurva Waktu Kerja OCR Gangguan 3 fasa

Gambar 7 menunjukkan kurva OCR berkarakteristik waktu tertentu dengan waktu tunda saat gangguan pada bus 4 (Gambar 2). Hasil yang didapatkan yaitu arus gangguan 3 fasa yang mengalir pada bus 1 melewati CT yang terpasang pada relay OCR sebesar 4,973 kA (1 Per-Unit) yang menyebabkan terjadi trip pada CB1. Terjadi trip pertanda arus gangguan sudah lebih dari batas setting arus pada relay dan membuat relay aktif dengan mengintruksikan CB1 terbuka. Gambar 7 merupakan grafik arus gangguan perunit terhadap waktu yang menggambarkan perbandingan arus gangguan pada bus 1 dengan arus gangguan pada bus 4.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus4

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 19-12-2024

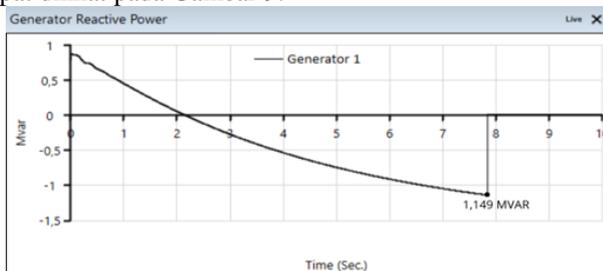
Time (s)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
200	Relay21	4,973	200		Phase - OC1 - 50
230	CB1		30,0		Tripped by Relay21 Phase - OC1 - 50

Gambar 8. Waktu OCR Aktif dan CB Terbuka Gangguan 3 fasa

Berdasarkan Gambar 8 diketahui relay aktif pada waktu 200 ms saat relay mendeteksi adanya arus gangguan sebesar 4,973 kA yang melebihi arus setting relay *overcurrent* 3,8 kA dan CB1 terbuka 30 ms setelah arus gangguan terpantau oleh relay arus lebih.

4. Simulasi setting relay Reserve Power

Kinerja *reverse power relay* (32) dilakukan dengan memberikan kondisi *loss excitation* pada generator 1 (Gambar 1) menggunakan simulasi *Transient Stability Analysis*. Grafik perubahan daya reaktif generator selama simulasi 10 detik dapat dilihat pada Gambar 9.

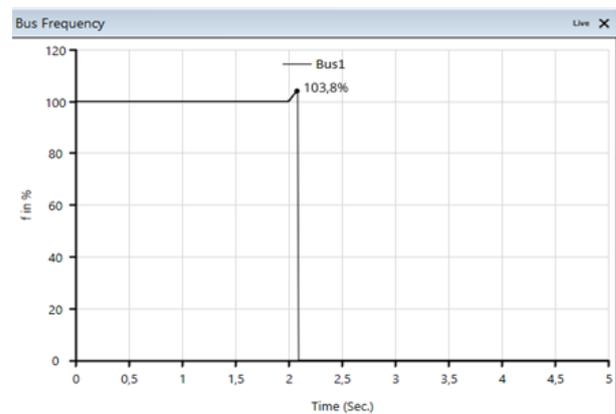


Gambar 9. Grafik Simulasi Transient Study Analysis Relay Daya Balik

Gambar 9 adalah grafik hasil simulasi kehilangan eksitasi di generator 1 pada detik ke 2 simulasi dijalankan. Terjadi penurunan daya balik diakibatkan saat simulasi dijalankan generator 2 dan grid disetting sebagai pengatur tegangan. Hal ini untuk mengetahui besar nilai dari daya balik pada generator 1. Oleh karena itu dari awal simulasi (detik 0) daya reaktif pada generator semakin menurun dan kemudian terdeteksi oleh relay saat daya balik telah bernilai 50% dari nilai daya balik primer sebesar 1,14 MVAR. Berdasarkan simulasi relay daya balik telah bekerja sesuai *setting* yang diberikan dan aktif saat terjadi daya balik pada generator 1 sebesar 1,1495 MVAR. Nilai daya balik saat relay aktif lebih besar dari *setting*. Hal ini karena waktu yang dibutuhkan untuk daya balik dirasakan oleh CT sebesar 0,846 detik dan memberikan sinyal pada CB untuk terbuka.

5. Simulasi hasil setting relay Frequency

Simulasi relay *overfrequency* menggunakan skenario pelepasan beban dan relay *underfrequency* menggunakan skenario penambahan beban. Skenario diatur terjadi setelah 2 detik simulasi dijalankan. Grafik perubahan frekuensi sistem dalam persen selama 5 detik simulasi *Transient Stability Analysis* dapat dilihat pada Gambar 10.

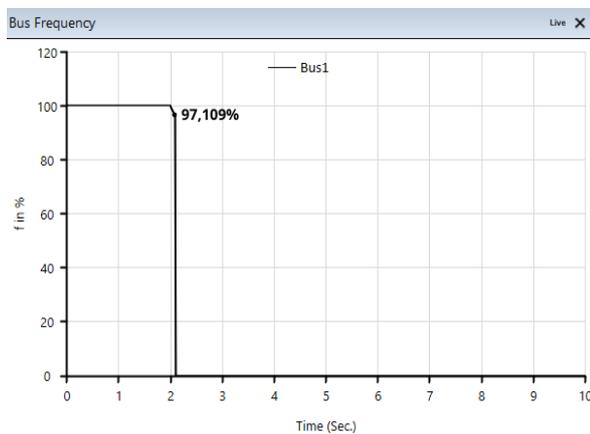


Gambar 10. Grafik Simulasi Transient Study Analysis Relay Overfrequency

Gambar 10 adalah grafik hasil setelah dilakukan simulasi pelepasan beban sebesar 22,001 MW setelah 2 detik terjadi kenaikan frekuensi hingga 100,131% dari frekuensi nominal. Relay *overfrequency* mendeteksi saat frekuensi naik 103,82% dari frekuensi nominal dan setelah delay 0,02 detik. Relay memberi perintah open ke CB1 setelah 0,06 detik. Frekuensi sistem akan tetap naik hingga delay pada relay tersebut sesuai *setting*. Hal ini menyebabkan frekuensi terdeteksi atau dirasakan relay saat terjadi trip tidak sesuai dengan *setting* yang digunakan yaitu seharusnya pada frekuensi nominal 50 Hz naik 101,02% menjadi 50,51 Hz relay akan bekerja tetapi relay baru bekerja saat frekuensi bernilai 51,9 Hz karena delay 0,02 detik.

Penurunan frekuensi sistem dalam persen selama 10 detik waktu simulasi terlihat menggunakan *Transient Stability Analysis*. Gambar 11 merupakan grafik hasil simulasi penambahan beban sebesar 22,001 MW setelah 2 detik. Terjadi penurunan frekuensi hingga 97,109% dari frekuensi nominal dan setelah adanya delay 0,02 detik. Berdasarkan simulasi, relay aktif pada delay diatur selama 0,02 detik saat tegangan masuk dan dideteksi relay dan memberi perintah open pada CB setelah 0,05 detik, frekuensi pada bus generator akan tetap

turun hingga delay pada relay tersebut telah sesuai *setting*. Hal itulah yang menyebabkan frekuensi yang terdeteksi atau yang dirasakan relay saat terjadi trip tidak sesuai dengan *setting* yang digunakan yaitu seharusnya trip pada saat frekuensi nominal 50 Hz turun 98,98% menjadi 49,49 Hz relay bekerja, tetapi relay baru bekerja saat frekuensi bernilai 48,55 Hz karena delay 0,02 detik dan memberikan instruksi *open* pada CB1 keluaran generator.



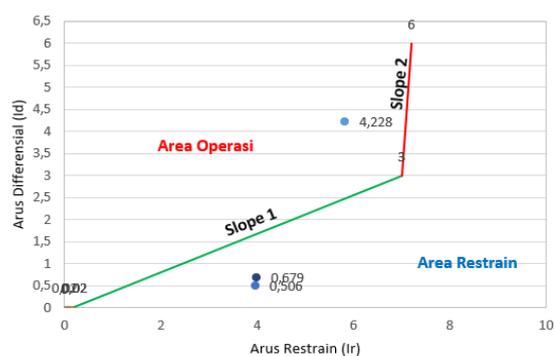
Gambar 11. Grafik Simulasi Transient Study Analysis Relay Underfrequency

6. Simulasi hasil *setting* relay Diferensial

Simulasi ini dilakukan saat keadaan normal, gangguan internal dan gangguan eksternal pada generator 1 bertujuan mengetahui kinerja relay diferensial di PLTG MPP Jeranjang menggunakan *software* ETAP. Gangguan internal disimulasikan terjadi di bus 1 atau bus tempat dipasang relay diferensial. Simulasi gangguan eksternal pada dua lokasi yaitu gangguan di bus 2 dan di trafo daya 1 seperti pada Tabel 3, dengan karakteristik kinerja relay diferensial seperti pada Gambar 12.

Tabel 3. Data Keadaan Normal, Gangguan Internal dan Gangguan Eksternal Relay Diferensial

perhitungan relay diferensial keadaan normal							
	ARUS (I)	RASIO CT	IS CT	I DIFF	IR	%Slope 1	%Slope 2
CT 1	1469	2000	0,73	0,020	0,74425	2,620087	5,240175
CT 2	1508	2000	0,75				
perhitungan relay diferensial saat terjadi gangguan internal							
	ARUS (I)	RASIO CT	IS CT	I DIFF	IR	%Slope 1	%Slope 2
BUS 1	7444	2000	3,722	4,2285	5,83625	72,45235	144,9047
BUS 1	15901	2000	7,9505				
perhitungan relay diferensial saat terjadi gangguan eksternal							
	ARUS (I)	RASIO CT	IS CT	I DIFF	IR	%Slope 1	%Slope 2
TRAFO DAYA 1	7444	2000	3,722	0,5065	3,97525	12,74134	25,48267
TRAFO DAYA 1	8457	2000	4,2285				
BUS 2	7392	2000	3,696	0,679	4,0355	16,82567	33,65134
BUS 2	8750	2000	4,375				



Gambar 12. Kurva Karakteristik Relay Diferensial Saat Terjadi Gangguan Internal Dan Eksternal

Saat terjadi gangguan internal, arus diferensial 4,228 A dimana nilai ini berada dalam area operasi yang menandakan bahwa relay diferensial bekerja saat terjadi gangguan tersebut. Sedangkan untuk gangguan eksternal dapat dilihat pada Gambar 12 arus diferensial 0,506 A dan 0,679 A, berada di luar area operasi (*area restrain*) relay diferensial. Hal ini menandakan relay diferensial tidak bekerja saat gangguan eksternal tersebut.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi *software* ETAP, perhitungan matematis dan analisis saat melakukan pengujian dengan memberi gangguan sesuai dengan fungsi relay yang digunakan pada PLTG MPP Jeranjang, dapat disimpulkan bahwa *setting* yang tepat dan sesuai standar IEEE C37.102-2006: *Guide for AC Generator Protection pada relay overvoltage 149,5 V, relay undervoltage 80,5 V, overfrequency 50,51 Hz, underfrequency 49,49 Hz, differential relay 0,02 A, dan reverse power relay 1,14 MVAR* yang digunakan pada PLTG MPP Jeranjang. Terdapat perbedaan pada hasil simulasi antara *setting* menggunakan perhitungan sesuai standar dan *setting* pada PLTG MPP Jeranjang tetapi masih dibawah toleransi 5% menurut standar IEEE.

REFERENSI

- [1] I. M. T. Winasatria, I. M. Mataram, and I. B. G. Manuaba, "Economic Dispatch Pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) Menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC)," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 18, no. 1, p. 105, 2019, doi: 10.24843/mite.2019.v18i01.p16.
- [2] M. S. Zuhri and P. P. S. Saputra, "Economic Dispatch Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap Di PT. Petrokimia Gresik Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)," *SinarFe7*, vol. 3, pp. 15–20, 2020.
- [3] A. Anshori, M. W. Kasrani, and K. Nurhandayani, "Perancangan Monitoring Coal Handling System PLTU Kaltim Teluk Berbasis Internet of Things," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 8, no. 2, pp. 438–448, 2024, doi: 10.36277/jteuniba.v8i2.268.
- [4] A. Mashar, M. Z. Firdausi, A. Mudawari, A. D. Mulyadi, and D. Sodiq, "Design of Generator Stator Protection 100% Using Overvoltage and Undervoltage Schemes," *Curr. J. Int. J. Appl. Technol. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 66–80, 2020, doi: 10.35313/ijatr.v1i1.25.
- [5] S. Boles, J. Cornwell, Rob Del Mar, J. Reichers, and A. Schultz, "Study On Small-Scale and Community-Based Renewable Energy Projects," *Oregon Dep. Energy*, no. September, pp. 1–48, 2022.
- [6] R. Septiyan, M. Waruni K, and B. Sugeng, "Analisa Hilang Daya Pada Generator Sinkron 3 Fasa (6,6 KV) 11 MVA TYPE 1DT4038-3EE02-Z," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 4, no. 1, pp. 7–11, 2019, doi: 10.36277/jteuniba.v4i1.45.

- [7] D. N. Suharno and M. A. M. Ismat, "Pemodelan Sistem Proteksi Terhadap Daya Balik Pada Paralel Generator AC Tiga Fasa Dengan Perangkat Lunak Matlab Modeling of the Protection System against Reverse Power in Parallel Three Phase Ac Generators with Matlab Software," in *SENTER*, 2019, pp. 512–524.
- [8] M. M. Aman, G. Bin Jasmon, H. Bin Mokhlis, Q. A. Khan, A. H. B. A. Bakar, and M. Karimi, "Modeling and simulation of digital frequency relay for generator protection," *PECon 2012 - 2012 IEEE Int. Conf. Power Energy*, no. December, pp. 701–706, 2012, doi: 10.1109/PECon.2012.6450305.
- [9] U. Yahdian, J. Juningtyastuti, and K. Karnoto, "Analisis Koordinasi Proteksi Generator Dan Trafo Generator Pada PLTGU Tambak Lorok Blok 2 Menggunakan Software Etap 12.6.0," *Transient*, vol. 6, no. 3, p. 292, 2017, doi: 10.14710/transient.6.3.292-300.
- [10] R. Saputra, "Analysis Of The Use Of Overcurrent Protection In Generator Case Study Of Teluk Sirih PLTU Analisis Penggunaan Proteksi Arus Lebih Pada Generator Studi Kasus PLTU Teluk Sirih," *IJEERE Indones. J. Electr. Eng. Renew. Energy*, vol. 3, no. December, pp. 112–123, 2023, doi: <https://doi.org/10.57152/ijeere.v3i1>.
- [11] R. T. Arif and S. Nur Yahya, "Simulasi Proteksi Transformator Daya Dengan Relai Diferensial Dual-Bias Presentase Menggunakan Perangkat Lunak PSCAD," *Vertex Elektro*, vol. 13, no. 01, pp. 25–29, 2021.
- [12] E. Pajuelo, "Coordination of Generator Protection and Control in the Over and Under Excited Regions by Permission to Use," *PH.D Diss. Univ. Saskatchewan*, no. January, 2015.
- [13] M. H. Ashabullah and E. Yadie, "Analisis Kinerja dan Harmonik Motor Induksi 3 Fasa dengan Variable Frequency Drive pada Boiler Feed Water Pump di PT . Cahaya Fajar Kaltim Menggunakan ETAP," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 9, no. 1, pp. 502–510, 2024.
- [14] A. Bahar Wahyudi and M. R. Anas Bin Mohd, "Studi Sistem Proteksi Generator Pada PLTU Jeneponto," 2018.
- [15] A. D. W. I. Laksono, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "Analisis Sistem Pengaman Reverse Power Relay Pada Generator PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton," 2022.
- [16] P. System and R. Committee, *IEEE Guide for AC Generator Protection*, vol. 1995, no. February. 1995.
- [17] M. O. Fitriyani, M. Facta, and Juningtyastuti, "Evaluasi Setting Relay Proteksi Generator Dan Trafo Generator Di PLTGU Tambak Lorok Blok 1," *Transient*, p. Aryanto, T. (2013) 'Frekuensi Gangguan Terhadap Ki, 2015.
- [18] N. U. Maharani, A. Trihasto, and D. Pravitasari, "Evaluasi Kinerja Rele Arus Lebih dan Rele Diferensial pada Generator Kapasitas 100 MW.," *Theta Omega J. Electr. Eng. Comput. Inf. Technol. 2.1*, pp. 44–49, 2021.