

## ANALISIS STABILITAS DAN PENENTUAN PROTEKSI TEGANGAN DAN FREKUENSI DI GENERATOR TRANSFORMATOR PLTP DARAJAT

Moh. Izzul Azmi<sup>\*)</sup>, Hermawan dan Mochammad Facta

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup> E-mail: izzulazmi1805@gmail.com

### Abstrak

Suplai daya maksimal Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Darajat maksimum sebesar 197,663 MW. Kestabilan sistem dalam menyuplai beban secara terus menerus sangat penting. Salah satu faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah kestabilan frekuensi dan tegangan. Stabilitas frekuensi dan tegangan perlu diperhatikan selama perencanaan dan pengoperasian tenaga listrik untuk menghindari ketidakstabilan sistem yang dapat menyebabkan (blackout) pemadaman sistem. Pengkondisian beban dan setting proteksi perlu dilakukan untuk mengembalikan sistem ke kondisi normal setelah terjadi gangguan. Penelitian ini membahas tentang stabilitas dan proteksi tegangan dan frekuensi pada generator-transformator PLTP Darajat dengan metode voltage impact dan hubung singkat (short circuit). Untuk proteksi tegangan dan frekuensi akan dilakukan penentuan setting ulang rele tegangan (27 & 59), frekuensi (81 U & O), V/Hz (24), dan penambahan rele loss of excitation (40) guna menjaga kestabilan dan proteksi pada generator-transformator PLTP Darajat

*Kata Kunci: PLTP Darajat, stabilitas frekuensi, stabilitas tegangan, setting proteksi*

### Abstract

*The maximum power supply of the Darajat Geothermal Power Plant is 197,663 MW. The system stability in supplying the load continuously is very important. The factors that influence this is the stability of the frequency and voltage. Stability of frequency and voltage need to be considered during the planning and operation of electric power to avoid system instability which can cause blackout of the system. Load conditioning and protection settings need to be done to restore the system to normal conditions after a disturbance occurs. This study discusses the stability and protection of voltage and frequency on the Darajat Geothermal Power Plant generator-transformer with voltage impact and short circuit methods. For voltage and frequency protection, the determination of resetting the voltage relay (27 & 59), frequency (81 U & O), V/Hz (24), and adding a loss of excitation relay (40) in order to maintain stability and protection on the generator-transformer PLTP Darajat*

*Keywords : PLTP Darajat, frequency stability, voltage stability, protection setting*

### 1. Pendahuluan

Stabilitas, keandalan, dan kualitas adalah syarat mutlak sistem tenaga listrik yang baik. Sistem harus secara kontinyu memberikan suplai daya listrik dengan frekuensi dan tegangan yang sesuai regulasi dan harus dapat secepatnya kembali ke kondisi normal pada saat terjadi gangguan. Beberapa kondisi yang menyebabkan terjadinya perubahan tegangan dan frekuensi yakni hubung singkat, loss of excitation, perubahan beban mendadak, dll. Perubahan beban yang bervariasi mempengaruhi kestabilan sistem, jika daya yang dibutuhkan melebihi daya yang dihasilkan oleh generator, maka frekuensi generator tersebut akan berkurang. Kondisi tersebut tidak hanya mempengaruhi frekuensi tetapi juga tegangan[1].

Stabilitas frekuensi dan tegangan sangat mempengaruhi stabilitas sistem. Penurunan tegangan dan frekuensi secara

terus menerus dapat menyebabkan pemadaman total sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan lebih lanjut agar tegangan dan frekuensi sistem kembali ke kondisi stabil pada level yang diizinkan[2]. Penyetingan pada rele pada generator-transformator merupakan salah satu tindakan yang harus dilakukan untuk mengatasi gangguan yang mengakibatkan perubahan frekuensi dan tegangan sehingga generator terlindungi dengan maksimal[3].

Penelitian ini akan membahas stabilitas dan proteksi frekuensi dan tegangan pada generator-transformator pada PLTP Darajat. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software ETAP 16.0 (Electrical Transient Analyzer Program) untuk mengetahui apakah kestabilan tegangan dan frekuensi sistem kembali normal atau tidak setelah terjadi suatu anomali tertentu[4]. Dari simulasi penelitian ini diharapkan dapat diperoleh setting sistem proteksi

tegangan dan frekuensi yang optimal dari perhitungan berdasarkan standar yang ada sehingga stabilitas sistem dan proteksi tegangan dan frekuensi berjalan dengan maksimal[1].

## 2. Metode

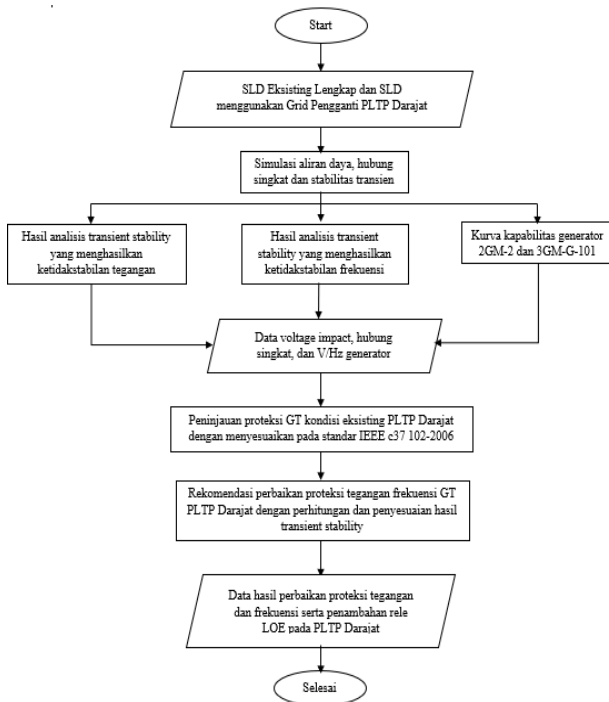
### 2.1. Mekanisme Peninjauan Eksisting dan Perbaikan Sistem Proteksi yang Berdampak pada Stabilitas dan Tegangan

Peninjauan dilakukan dengan membandingkan rele kondisi eksisting dengan standar IEEE c37-102 2006 *guide for ac generator protection*. Rele pada GT PLTP Darajat yang akan dibahas pada penelitian ini yakni: PR M3425-1 U2, PR M3425-2 U2, FR M3425-1 U2, FR M3425-2 U2, VR M3310 U2, VR SEL300G U3, VR M3425 U3, FR M3425 U3, FR SEL300G U3, dan VR M3310 U3

Sedangkan untuk perbaikan sistem proteksi dianalisis menggunakan data eksisting dengan data hasil perhitungan ataupun perbandingan menggunakan standar IEEE c37-102 2006 *guide for ac generator protection* serta penambahan rele loss of excitation (40) dengan berpatokan pada kurva kapabilitas generator-transformator unit 2 dan unit 3 PLTP Darajat

### 2.2. Langkah Penelitian

Tugas akhir ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan penelitian. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 2.3. Permasalahan Proteksi pada Generator-Transformator PLTP Darajat

Permasalahan proteksi pada PLTP Darajat diantaranya:

1. Stabilitas tegangan dan frekuensi yang disebabkan pengkondisian beban secara tiba-tiba pada generator-transformator pada PLTP Darajat
2. Penentuan kurva kapabilitas generator 2GM-2 dan 3GM-G-101
3. Setting rele unit 2 dan 3 ( rele tegangan, frekuensi, dan eksitasi lebih ) belum sesuai dengan standar
4. Belum adanya rele hilangnya eksitasi pada GT unit 2 dan 3
5. Perhitungan dan setting ulang rele tegangan, frekuensi, V/Hz unit 2 dan 3

### 2.4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan data sekunder. Data sekunder berupa file data ETAP yang merupakan kondisi eksisting PLTP Darajat saat ini. Berdasarkan sebagai berikut:

Tabel 1. Data setting rele tegangan, frekuensi, dan V/Hz eksisting unit 2

No.	Relay ID	CB Open	Eksisting
1	V/Hz Generator U2	2GM-BKR01	105 % V/Hz = 10s
	[PR M3425-1 dan 2		114 % V/Hz = 6 s
2	V/Hz Trafo U2	2ES-GCB-01	110 % V/Hz = 4s
	[VRM3310		127 % V/Hz = 6 s
3	Tegangan Generator U2	2GM-BKR01	Undervoltage 81,3 %=2s
	[PR M3425-1 dan 2		105,4%=10s
4	Tegangan Trafo U2	2ES-GCB-01	Undervoltage 103%Hz =
	[VR M3310		115,5%V=5s
5	Frekuensi U2	2GM-BKR01	47,5%Hz =
	[FR M3425-1 dan 2		99,999s
			47,4% = 0,2s
			103,4% = 0,2s

Tabel 2. Data setting rele tegangan, frekuensi, dan V/Hz eksisting unit 3

No	Relay ID	CB	Eksisting
1.	V/Hz Gen. U3 VR SEL300G	3PG-PGR01	108 % V/Hz = 30s
	[VR M3425-3]		120 % V/Hz = 6 s
2.	V/Hz Transf. U3 [VR M3310]	3ES-GCB01	110 % V/Hz = 4s
			127 % V/Hz = 6 s
3.	Tegangan Generator U3 VRSEL300G	3PG-PGR-01	Undervoltage 85 %V = 0,1s
			110%V = 0,1s
4.	Tegangan Generator U3 [VR M3425 U3]	3PG-PGR-01	Undervoltage 80%V=2s
			110%V= 0,1s
5.	Tegangan Trafo VR M3310 U3	3ES-GCB01	Undervoltage 85%V=10s
			120%V=2s
6.	Frekuensi U3 [FR M3425-3, dan FR SEL300G]	3ES-PGR-01	Undervoltage 47,5%Hz =
			99,999s
			47,4%Hz = 0,2s
			103%Hz =
			99,999s
			103,4%Hz =
			0,2s

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil dan Analisis Transient Stability yang Menghasilkan Ketidakstabilan Tegangan

Tabel 3. Voltage impact beban grid yang berpengaruh terhadap V/Hz dan tegangan unit 2 dan 3

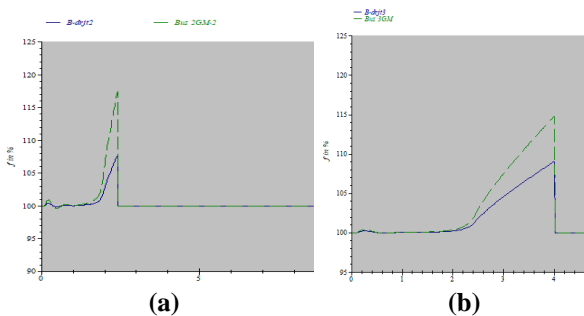
No.	Voltage Impact	Keterangan
Unit 2		
1.	20%	Bus 2GM-2 masih aman Bus B-drjt2 V/Hz konstan 109% harus trip <6 menit, V konstan 109% harus trip 15-20s Bus 2GM-2, tegangan konstan pada 94%V harus trip pada 10-15s
2.	-20%	Bus B-drjt2, tegangan konstan pada 76% harus trip konstan
Unit 3		
3.	20%	Bus 3GM mencapai 116 %V/Hz harus trp pada 5-2 min. Untuk tegangan konstan pada 105% tergolong aman dalam operasi Bus B-drjt3, V/Hz konstan pada 107% harus trip <20 menit. Untuk tegangan konstan pada 107%, kondisi ini aman, namun sangat dianjurkan untuk segera diperbaiki. Bus 3GM, tegangan konstan pada 98%V tergolong aman dalam operasi
4.	-20%	Bus B-drjt3, tegangan mencapai 78% konstan pada 83% (standar 80% trip pada 2s) harus trip seketika.

Pada tabel 7, penentuan ketidakseimbangan tegangan dapat diketahui dari beberapa parameter diantaranya yakni tegangan bus dan frekuensi yang ada pada bus. Analisis aliran daya ini dilakukan dengan cara membuat rangkaian pengganti daripada PLN grid menjadi grid baru, sehingga dapat disetting voltage impact pada tiap utility (grid) untuk mengetahui *undervoltage* dan *overvoltage* yang terjadi.

3.2. Hasil dan Analisis Transient Stability yang Menghasilkan Ketidakstabilan Tegangan dan Frekuensi

Analisa kestabilan frekuensi yang bertujuan dalam penetapan setting rele frekuensi dilakukan dengan 2 cara, diantaranya kondisi voltage impact dan hubung singkat pada bus beban dalam PLN grid (grid pengganti).

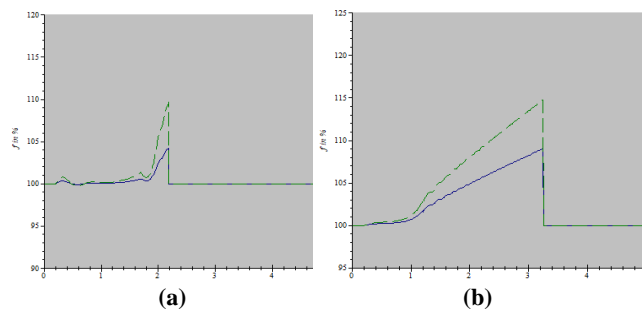
3.2.1. Voltage Impact Transien Stability Unit 2 dan 3



Gambar 2 (a) Frekuensi voltage impact -30% unit 2  
(b) Frekuensi voltage impact -40% unit 3

Pada gambar 4.2 (a) diketahui bahwa frekuensi Bus 2GM berubah pada kondisi voltage impact -30% (0,1 s mulai kondisi voltage impact), yangmana pada detik ke-2 frekuensi berubah signifikan bersama dengan rusaknya generator 2GM-2. Pada gambar 4.2 (b) diketahui bahwa frekuensi Bus 3GM berubah pada kondisi voltage impact -30% (0,1 s mulai kondisi voltage impact), yangmana pada detik ke-2 frekuensi berubah signifikan bersama dengan rusaknya generator 3GM-G-101.

3.2.2. Hubung Singkat di Bus Cek Frek U2 dan U3



Gambar 3. (a) Hubung singkat di bus Cek Frek U2 (b) Hubung singkat di bus Cek Frek U3

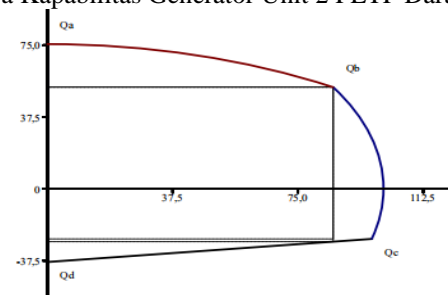
Dari gambar 3 (a) gangguan terjadi pada 0,2s dan diputus pada 1,7s didapatkan frekuensi mengalami perubahan yang sangat signifikan sehingga mengakibatkan rele frekuensi akan bekerja membuka CB 2GM-BKR-01 dan 2ES-GCB-01. Bersamaan dengan ini generator 2GM-2 mengalami kerusakan pada detik ke 2,1.

Dari gambar 3 (b) gangguan terjadi pada 0,2s dan diputus pada 1,7s. didapatkan frekuensi mengalami perubahan yang sangat signifikan sehingga mengakibatkan rele frekuensi akan bekerja membuka CB 3GM-BKR-01 dan 3ES-GCB-01. Bersamaan dengan ini generator 3GM-G mengalami kerusakan pada detik ke 3,23.

3.3. Kurva Kapabilitas Generator Unit 2 dan Unit 3 PLTP Darajat

Digunakan untuk menentukan nilai maksimum dan minimum daya reaktif (Qmax dan Qmin) pada generator.

a. Kurva Kapabilitas Generator Unit 2 PLTP Darajat



Gambar 4. Kapabilitas generator 2GM-2

- $Q_a$  = daya reaktif maksimum yang dapat dibangkitkan pada generator 2GM-2 yaitu sebesar 75,53 Mvar.
- $Q_b$  merupakan rating daya reaktif generator 2GM-2 ketika beroperasi yaitu sebesar 53,05 Mvar.
- $Q_c$  merupakan titik perpotongan kurva stator dan steady state yaitu sebesar -26,18 Mvar.
- $Q_d$  merupakan perpotongan antara steady state dengan sumbu vertikal, dan garis c dan d merupakan steady state yaitu sebesar -38,26 Mvar

Menghitung kapabilitas V/Hz generator 2GM-2

$$V_{rele} = \frac{V_{generator} \times Sekunder PT}{Primer PT} = \frac{13800 \times 115}{13800} = 115 \text{ Volt}$$

$$\frac{V}{Hz} \text{ nominal} = \frac{V_{rele}}{Frekuensi sistem} = \frac{115V}{115V} = 50 \text{ Hz}$$

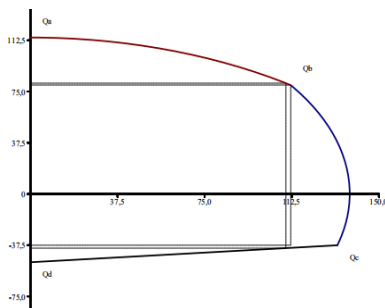
$$= 2,3 \text{ V/Hz}$$

Tabel 4. Kapabilitas generator 2GM-2 unit 2

Time	V / Hz%	V / Hz
0,2	125	2,875
0,5	122	2,806
1	120	2,760
2	118	2,714
5	115,5	2,656
10	113,5	2,610
15	112,5	2,587
20	111,5	2,564
25	111	2,553
33	110	2,530

Nameplate generator 2GM-2 yaitu 100 MVA, pf = 0.85, 11.8 kV, 4890 A. Artinya adalah maksimum kemampuan dari generator adalah di 100 MVA, dengan faktor daya di 0.85 lagging, dan maksimum arus yang bisa dihasilkan adalah 4890 A.

b. Kurva Kapabilitas Generator 3GM-G-101 Unit 3



Gambar 5. Kapabilitas generator 3GM-G-101

- $Q_a$  maksimum yang dapat dibangkitkan pada generator 3GM-G-101 yaitu sebesar 114,5 Mvar.
- $Q_b$  generator 3GM-G-101 ketika beroperasi yaitu sebesar 79,68 Mvar.

- $Q_c$  merupakan titik perpotongan kurva stator dan steady state yaitu sebesar -37,62 Mvar.
- $Q_d$  merupakan perpotongan antara steady state dengan sumbu vertikal, dan garis c dan d merupakan steady state yaitu sebesar -50,03

Menghitung kapabilitas V/Hz generator 3GM-G-101

$$V_{rele} = \frac{V_{generator} \times Sekunder PT}{Primer PT} = \frac{13800 \times 110}{13800} = 110 \text{ Volt}$$

$$\frac{V}{Hz} \text{ Nominal} = \frac{V_{rele}}{Frekuensi sistem} = \frac{110V}{110V} = 50 \text{ Hz}$$

$$= 2,2 \text{ V/Hz}$$

Tabel 5. Kapabilitas generator 3GM-G-101 unit 3

Time	V / Hz%	V / Hz
0,2	125	2,75
0,5	122	2,684
1	120	2,64
2	118	2,596
5	115,5	2,541
10	113,5	2,497
15	112,5	2,475
20	111,5	2,453
25	111	2,442
33	110	2,42

Nameplate generator 3GM-G-101 yaitu 100 MVA, PF = 0.85, 11.8 kV, 4890 A. Artinya adalah maksimum kemampuan dari generator adalah di 100 MVA, dengan faktor daya di 0.85 lagging, dan maksimum arus yang bisa dihasilkan adalah 4890 A.

### 3.4. Hasil dan Analisis Peninjauan Sistem Proteksi Eksisting Generator-Transformator PLTP Darajat

Analisis peninjauan sistem proteksi tegangan dan frekuensi dengan membandingkan setting rele eksisting dengan standar IEEE Std C37.102-1006.

a. Rele V/Hz

Setting nilai trip delay V/Hz kondisi eksisting untuk rele PR M3425-1, PR M3425-2, VR M3310 U2, VR SEL300G U3, VR M3425-3, dan VR M3310 U3 rata-rata terpaut lebih cepat dari setting kapabilitas generator menurut IEEE Std C37.102-1006. Contoh pada setting rele PR M3425-1 nilai setting delay berada pada 105% V/Hz pada 10s yang mana pada standar ditetapkan pada kondisi 110% masih diperbolehkan beroperasi sampai 30 menit kondisi konstan 110% V/Hz. Setting ini cukup bagus untuk keamanan generator-transformator, namun pada saat adanya osilasi, hal ini dapat terbaca sebagai gangguan sehingga CB bekerja.

**Tabel 6. Perbandingan setting V/Hz% rele pada unit 2 dan 3 eksisting dengan IEEE Std C37.102-1006**

Setting Eksisting		IEEE Std C37.102-1006	
V/Hz %	Delay (s)	V/Hz %	Delay (min)
		PR M3425-1 dan PR M3425-2	
105	10	110	33
114	6	113,5-115,5	10-5
		VR M3310 U2	
110	4	109-112,1	6-2
127	6	123,5	0,3 (18s)
		VR SEL300G U3	
108	30	110	33
		VR M3425-3	
108	30	110	33
120	6	120	1
		VR M3310 U3	
110	4	109,3	6
127	6	123,5	0,3 (18s)

b. Rele Tegangan

**Tabel 7. Perbandingan setting V% rele pada unit 2 dan 3 eksisting dengan IEEE Std C37.102-1006**

Overvoltage		Undervoltage	
Tegangan (V%)	Delay (s)	Tegangan (V%)	Delay (s)
		PR M3425-1 dan PR M3425-2	
105,4	10	81,3	2
104,5	2	93,4	10
		VR M3310	
115,5	5	-	-
		VR SEL300G	
110	0,1	85	0,1
		VR M3425 U3	
110	0,1	80	2
120	2	85	10
		VR M3310 U3	
115,5	5	-	-

Setting rele overvoltage dan undervoltage rele PR M3425-1, PR M3425-2, VR M3310 U2, VR SEL300G U3, VR M3425-3, dan VR M3310 U3 rata-rata terpaut lebih cepat dari setting kapabilitas generator menurut IEEE Std C37.102-1006, misal pada tegangan 104,4 V% dengan delay trip 2s yangmana terlalu cepat (standar 110V% = 10-15s). Setting ini cukup bagus untuk keamanan generator-transformator, namun pada saat adanya osilasi, hal ini dapat terbaca sebagai gangguan sehingga CB bekerja (open).

c. Rele Frekuensi

**Tabel 8. Perbandingan setting Hz% rele pada unit 2 dan 3 eksisting dengan IEC 34.3**

Overfrequency			Underfrequency		
Hz %	Hz	Delay(s)	Hz %	Hz	Delay (s)
103,4	51,7	0,2	94,8	47,4	0,2
103	51,5	99,999	95	47,5	99,999

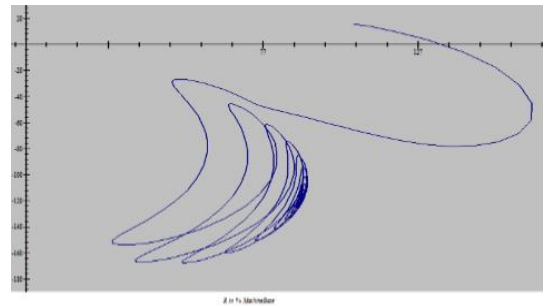
Pada kondisi eksisting PLTP Darajat, setting rele overfrequency FR M3425-1 & 2 U2 dan M3425-3 & SEL300G U3 pada 51,7 Hz dengan delay 0,2s dan 51,5

pada delay 99,999s. Pada setting tersebut 51,5 adalah setting definite dan 51,7 adalah setting instanenous. Penetapan setting ini tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan IEC 34.3 yangmana untuk setting 51-51,5 Hz delay nya hanya 30s. Untuk setting underfrequency pada 47,4 Hz dengan 0,2s dan 47,5 Hz dengan 99,999s. Penetapan setting ini tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan IEC 34.3 yangmana untuk setting 47-47,5 Hz dengan time delay hanya 20s.

**3.5. Rekomendasi Desain dan Perbaikan Sistem Proteksi untuk Meningkatkan Stabilitas Tegangan dan Frekuensi PLTP Darajat**

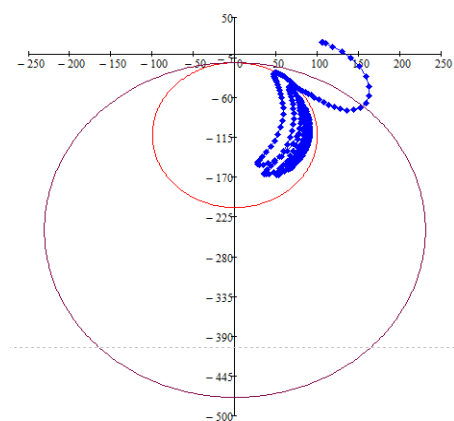
**3.5.1. Penambahan Rele LOE Unit 2 dan 3**

Berdasarkan Standar IEEE C37.102-2006, rele hilangnya eksitasi ini disetting dengan waktu tunda 0,5-0,6s untuk alarm (zona 1) dan 0,1s untuk trip CB (zona 2).



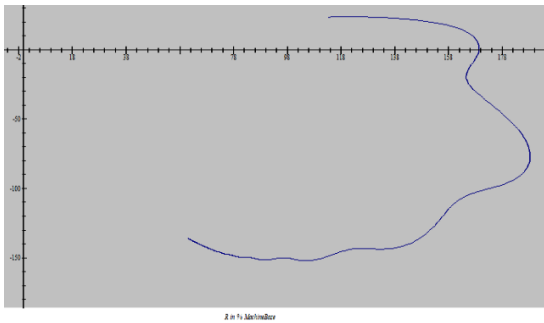
**Gambar 6. Grafik Z impedance generator 2GM ketika Loss of excitation**

LOE terjadi pada 0,04s. Untuk mendapatkan setting penetapan rele LOE untuk unit 2 maka dilakukan perhitungan.



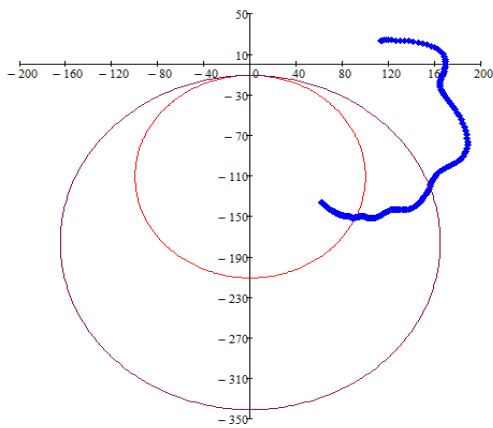
**Gambar 7. Kurva setting rele LOE generator 2GM-2**

Time delay generator 2GM-2 yakni mencapai 0,581 s yangmana telah memenuhi standar yang ditetapkan IEEE C37.102-1987 yaitu delay time antara 0,5-0,6 s. maka setting dilakukan pada time delay 0,5s.



Gambar 8. Grafik Z impedance generator 3GM-G-101 ketika Loss of excitation

LOE terjadi pada 0,04 s sehingga didapatkan grafik seperti diatas. Untuk mendapatkan setting penetapan rele LOE untuk unit 3 maka dilakukan perhitungan dibawah ini.



Gambar 9. Kurva setting rele LOE pada generator 3GM-G-101

Kapasitas LOE pada generator 3GM-G-101 memiliki time delay mencapai 3,301s yangmana tergolong bagus karena lebih besar dari standar yang ditetapkan IEEE C37.102-1987 yaitu delay time antara 0,5-0,6 s. Maka setting time delay pada 0,6s.

### 3.5.2. Setting Ulang Rele Eksitasi Lebih (V/Hz)

Penentuan seting eksitasi lebih harus memperhatikan kurva ketahanan generator terhadap gangguan eksitasi lebih terhadap waktu.

Tabel 9. Setting ulang rele V/Hz unit 2 dan 3

ID	Setting Rele A	Setting Rele B
PR M3425-1 dan PRM3425-2	(110%)2,53 V/Hz dengan delay 33s	(118%)2,714 V/Hz dengan delay 2s
VR M3310	(110%)2,53 V/Hz dengan delay 6s	(118%)2,714 V/Hz dengan delay 0,5s
VR SEL300G dan VR M3425	(110%)2,42 V/Hz dengan delay 33s	(118%)2,596 V/Hz dengan delay 2s
VR M3310	(110%)2,42 V/Hz dengan delay 6s	(118%)2,596 V/Hz dengan delay 0,5s

Penyetingan rele didasarkan pada perhitungan berdasar pada kurva kapabilitas generator dengan presentase setting definite 110% dan instantenous 118%.

### 3.5.3. Setting Ulang Rele Tegangan (27 dan 59)

Penentuan rekomendasi setting rele tegangan dilakukan dengan pertimbangan perhitungan VT nominal generator-transformator sehingga dapat disesuaikan dengan time delay standar yang telah ditentukan.

Tabel 10. Rekomendasi setting rele tegangan unit 2 dan 3

Overvoltage		Undervoltage	
Tegangan (V%)	Delay (s)	Tegangan (V%)	Delay (s)
PR M3425-1 dan PR M3425-2			
110	15	80	2
140	2,5	90	10
VR M3310			
110	15	80	2
115,5	5	90	10
VR SEL300G			
110	15	80	2
140	2,5	90	10
VR M3425 U3			
110	15	80	2
140	2,5	90	10
VR M3310 U3			
110	15	80	2
115,5	5	90	10

### 3.5.4. Setting Ulang Rele Frekuensi (80U&O)

Untuk batas operasi normal  $49.5 \text{ Hz} \leq f \leq 50.5 \text{ Hz}$  rele. Pada  $47.5 \text{ Hz} \leq f < 49.5 \text{ Hz}$  harus dipastikan tidak bekerja seketika (instantaneous). Pada range tersebut rele boleh trip dengan waktu tunda yang didasarkan pada tata syarat PLN P3B yakni time delay dari UFR/OFR minimal adalah setengah dari standar time delay yang ditetapkan.

Tabel 11. Setting rele frekuensi FR M3425-1, FR M3425-2, FR M3425-3, dan FR SEL300G

Keterangan	Setting Utama			Setting Backup		
	Hz %	Hz	Time delay(s)	Hz %	Hz	Time delay (s)
Underfreq	96	48	150	94,8	47,4	0,2
Overfreq.	102	51	100	103,2	51,6	0,2

### 3.6. Perbandingan Waktu Kerja Rele Eksisting dan Rekomendasi pada PLTP Darajat

Daftar rekomendasi setting rele-rele yang telah dtinjau terdapat pada tabel 16 seperti dibawah ini.

**Tabel 11. Setting rele frekuensi FR M3425-1, FR M3425-2, FR M3425-3, dan FR SEL300G**

Relay ID	Rekomendasi	
Loss of Excitation U2	Offset 12,5 Ω	
	Z1 212,5 Ω	
	Z2 496,1 Ω	
Loss of Excitation U3	Trip time delay 0,5s	
	Offset 11 Ω	
	Z1 211 Ω	
V/Hz Generator U2 [PR M3425-1 dan PR M3425-2]	Z2 357,5 Ω	
	Trip time delay 0,6s	
	Overflux	
V/Hz Transformator U2 [VR M3310 U2]	110% V/Hz = 33s	
	118% V/Hz = 2s	
	Overflux	
V/Hz Generator U3 [VR SEL300G U3]	110% V/Hz = 6s	
	118% V/Hz = 0,5s	
	Overflux	
V/Hz Generator U3 [VR M3425-3]	110% V/Hz = 33s	
	118% V/Hz = 2s	
	Overflux	
V/Hz Transformator U3 [VR M3310 U3]	110% V/Hz = 33s	
	118% V/Hz = 2s	
	Overflux	
Tegangan Generator U2 [PR M3425-1 dan PR M3425-2]	110% V/Hz = 6s	
	118% V/Hz = 0,5s	
	Overflux	
Tegangan Transformator U2 [VR M3310 U2]	Undervoltage	
	80% V = 2s	Overtoltage
	90% V = 10s	110%V=15s
Tegangan Generator U3 [VRSEL300G U3]	90% V = 10s	110%V=15s
	80% = 2s	140%V=2,5s
	90% = 10s	110% = 15s
Tegangan Transformator U3 [VR M3310 U3]	80% = 2s	140% = 2,5s
	90% = 10s	110% = 15s
	80% = 2s	115,5% = 5s
Frekuensi U2 [FR M3425-1 dan FR M3425-2]	Underfreq.	Overfreq.
	96% = 150s	102% = 100s
	94,8% = 0,2s	103,2% = 0,2s
Frekuensi U3 [FR M3425-3, dan FR SEL300G]	Underfreq.	Overfreq.
	96% = 150s	102% = 100s
	94,8% = 0,2s	103,2% = 0,2s

#### 4. Kesimpulan

Berdasar pada analisis stabilitas dan proteksi tegangan frekuensi generator-tranformator PLTP Darajat ini, diambil kesimpulan sebagai berikut :

Ketidakstabilan tegangan diperoleh melalui analisis transient stability dengan metode voltage impact yang mana pembebanan di setting over maupun under. Seperti kondisi voltage impact pada +30% Bus 2GM-2, V/Hz mencapai 122 % selama 0,2s namun belum membuat rele bekerja (standar 122% V/Hz pada 0,5 min). Kemudian konstan 114% maka CB 2GM-BKR01 harus trip <10 -5 min. Pada 114%V konstan harus trip pada 10s. Pada Bus B-drjt2, V/Hz mencapai 118% V/Hz (standar 118% trip pada 0,5 min) sehingga CB 2ES-GCB-01 harus trip <30 s. Pada 118% V rele tegangan harus trip <10s.

Ketidakstabilan frekuensi diperoleh dari respon voltage impact terhadap frekuensi (over) dan hubung singkat pada bus didalam PLN grid (grid pengganti). Seperti hubung singkat pada Bus Cek Frek U3 didapatkan frekuensi mengalami perubahan yang sangat signifikan sehingga mengakibatkan rele frekuensi akan bekerja membuka CB 3GM-BKR-01 dan 3ES-GCB-01. Bersamaan dengan ini generator 3GM-G mengalami kerusakan pada detik ke 3,23.

Dalam penentuan kurva ketahanan generator terhadap eksitasi lebih, maka dilakukan perhitungan tegangan rele dan V/Hz nominal pada generator 2GM-2 dan 3GM-G-101. Seperti halnya pada generator 2GM-2 memiliki tegangan rele 115 Volt dan V/Hz nominal 2,3 V/Hz

Rekomendasi perbaikan desain sistem proteksi dilakukan dengan penyetingan ulang dan penambahan rele loss of excitation pada generator 2GM-2 dan 3GM-G-101 dengan cara mengetahui kondisi loss excitation pada generator kemudian mengambil datanya dan menentukan offset, zone 1, dan zone 2 melalui perhitungan. Seperti halnya pada generator 3GM-G-101 didapatkan offset = 11 Ω, Zona1 = 211 Ω, dan Zona2 = 357,5 Ω.

#### Referensi

- [1] M. Moediyono, "PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI / GOETHERMAL ENERGY ( PLTPB )," *Gema Teknol.*, vol. 16, no. 1, pp. 5–10, Oct. 2010, doi: 10.14710/GT.V16I1.240.
- [2] D. Irawan, "Klasifikasi Gangguan Pada Saluran Transmisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Metode Kohonen," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2018, doi: 10.30587/e-link.v1i1.582.
- [3] I. Power and E. Society, *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines - IEEE Std C37.113™-2015 (Revision of IEEE Std C37.113-1999)*, vol. 2015. 2015.
- [4] SPLN T5.002-1 : 2010, "SPLN T5.002-1 : 2010 Pola Proteksi Saluran Transmisi." pp. 1–21, 2010.
- [5] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali," *Peratur. Menteri Energi Dan Sumber Daya Miner.*, vol. 3, pp. 1–135, 2007.
- [6] M. F. Aufar and R. Setiabudy, "Rekonfigurasi Sistem Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi dengan Penambahan Gardu Induk Baru di Alam Sutera," pp. 1–20, 2014.
- [7] N. B. Dharmawan, W. G. Ariastina, and A. A. N. Amrita, "Studi Sistem Proteksi Line Current Differential Relay Pada Saluran Transmisi 150 Kv," *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, vol. 7, no. 1, pp. 152–161, 2020.
- [8] J. B. Sepang, L. S. Patras, F. Lisi, and J. T. Elektro-ft, "Analisa Koordinasi Setting Relai Jarak Sistem Transmisi 150 KV Area Gardu Induk Otam – Gardu Induk Isimu," *Anal. Koord. Setting Relai Jarak Sist. Transm. 150 KV Area Gardu Induk Otam ?? Gardu Induk Isimu*, vol. 6, no. 3, pp. 148–158, 2017, doi: 10.35793/jtek.6.3.2017.18824.

- [9] R. Sudrajat, S. Saodah, and Waluyo, "Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng," *J. Reka Elkomika*, vol. 2, no. 1, pp. 36–48, 2014.
- [10] M. H. M. Efendi, J. Windarta, and A. Darmanto, "Perancangan Aliran Daya dan Sistem Proteksi PLTA Tabang, Kalimantan Timur."
- [11] B. Winardi, N. B. P, and H. Analisa, "Resetting Koordinasi Ocr Gfr Pada Penyulang Pwi 09 Akibat Pembangunan Penyulang Baru Pwi 11," *Resetting Koord. Ocr Gfr Pada Penyulang Pwi 09 Akibat Pembang. Penyulang Baru Pwi 11*, vol. 19, no. 2, pp. 95–99, 2017, doi: 10.12777/transmisi.19.2.95-99.
- [12] E. Dermawan and D. Nugroho, "Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka," *Elektum J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 43–48, 2017.
- [13] Rachmad Hidayat Mastian Noor, *Analisis Koordinasi Over Current Relay Untuk Gangguan Fasa Dan Tanah Di Pt.Kpc (Kaltim Prima Coal)*, vol. 53, no. 9. 2017.
- [14] E. Yanuwirawan, M. Pujiantara, and R. Wahyudi, "Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih dan Ground Fault Pada Sistem Eksisting PT. VICO Indonesia, Kalimantan Timur.," vol. 4, no. 2, pp. A148–A153, 2015.
- [15] A. Azmi and E. Hamdani, "Koordinasi Rele Pada jaringan Transmisi 150 kV," *Jom FTTEKNIK*, vol. 3, no. 2, pp. 1–5, 2016.