

ANALISIS KESTABILAN FREKUENSI PADA MEKANISME PELEPASAN BEBAN MANUAL DI SUB SISTEM KELISTRIKAN TANJUNG JATI

Vinda Zahrotul Corina^{*)}, Juningtyastuti, and Mochammad Facta

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

^{*)}E-mail: vindazcorin@gmail.com

Abstrak

Dalam sistem kelistrikan, frekuensi dijaga pada nilai nominal dengan mengendalikan keseimbangan antara daya keluaran generator dan beban. Ketika kebutuhan beban meningkat dan tidak dapat dipenuhi oleh generator maka perlu dilakukan pelepasan beban pada sistem. Pelepasan beban secara manual dapat dilakukan dengan metode sensitivitas bus. Semakin tinggi nilai sensitivitas suatu bus maka semakin besar pula beban yang harus dilepas pada bus tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi terhadap Subsistem Tanjung Jati guna mengetahui stabilitas frekuensi menggunakan software DIGSILENT 14.1. Pengujian pertama dilakukan dengan cara menerapkan Standard Operating Procedure (SOP) Under Voltage Subsistem Ungaran tahun 2013 pada Subsistem Tanjung Jati. Hasil pengujian menunjukkan bahwa SOP Under Voltage Ungaran tahun 2013 tidak dapat diterapkan pada Subsistem Tanjung Jati. Pengujian kedua dilakukan dengan cara memberi gangguan yaitu kenaikan beban, kemudian membandingkan hasil respon frekuensi dari skema pelepasan beban manual PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY dengan skema pelepasan beban manual berdasarkan metode sensitivitas bus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua skema pelepasan beban tidak dapat mengembalikan frekuensi ke nilai nominal pada $50 \pm 0,2$ Hz. Dibutuhkan pelepasan beban yang lebih besar untuk mengembalikan frekuensi ke nilai nominal.

Kata kunci : Keseimbangan Daya Generator dan Beban, Pelepasan Beban, Metode Sensitivitas Bus, Stabilitas Frekuensi, Software DIGSILENT 14.1.

Abstract

In the electrical system, frequency is preserved in a nominal value by controlling the balance of generator output power and load. When the need of load increases and it can not be fed by the generator, the load shedding in the system has to be executed. The manual load shedding can be carried out by using the bus sensitivity method. The higher bus sensitivity's value is the bigger the load that must be released in that bus. In this research, Tanjung Jati Subsystem has been evaluated in order to know the stabilization of frequency by using the DIGSILENT 14.1 software. The first test was conducted by applying the 2013 Under Voltage Subsystem Ungaran's standard operating procedure (SOP) to Tanjung Jati Subsystem. The result was showed that 2013 Under Voltage Subsystem Ungaran's SOP could not be applied to Tanjung Jati Subsystem. The second test was conducted by giving load increment, then comparing the frequency responses of the manual scheme of the PT. PLN Distribusi Jateng and DIY to the manual scheme of load based on bus sensitivity method. The results showed that both manual load shading scheme couldn't restore the frequency back to nominal value at 50 ± 0.2 Hz. The bigger load was required to be released to restore the frequency into nominal value.

Keywords : The balance of generator power and load, load's releasing, bus sensitivity method, frequency stability, DIGSILENT 14.1 software.

1. Pendahuluan

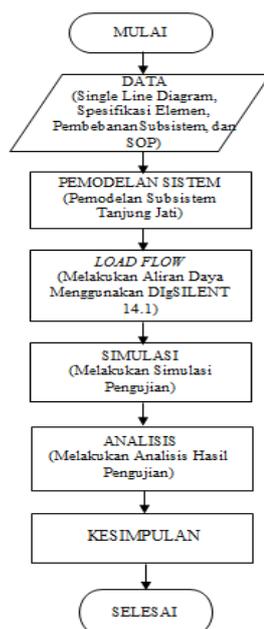
Subsistem Tanjung Jati merupakan salah satu subsistem yang ada di wilayah kerja PT. PLN APB Jateng dan DIY [1]. Pada malam hari, subsistem Tanjung Jati memiliki sumber pembangkitan 4004,2 MW dan mensuplai beban sebesar 3949,68 MW. Dengan selisih daya akibat rugi-

rugi sistem adalah 54,51 MW, maka saat subsistem ini terjadi gangguan akan mudah mengalami ketidakstabilan frekuensi. Untuk menanggulangi ketidakstabilan frekuensi akibat keluaran generator lebih kecil dibandingkan beban, perlu dilakukan pelepasan beban (*load shedding*) pada sistem [2]. Salah satu metode untuk menentukan lokasi pelepasan beban adalah dengan

menggunakan metode sensitivitas bus. Dalam metode sensitivitas bus semakin kecil nilai sensitivitas maka semakin stabil sistem tersebut [3]. Penggunaan metode sensitivitas bus telah di coba untuk di simulasikan dalam referensi sebelumnya, dimana metode pelepasan beban pada bus dengan sensitivitas tertinggi lebih baik dibandingkan dengan pelepasan beban pada bus dengan sensitivitas rendah [4]. Dalam simulasi lain, tercatat bahwa pelepasan beban berdasarkan sensitivitas bus lebih baik dibandingkan dengan pelepasan beban berdasarkan nilai daya reaktif [5]. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara skema pelepasan beban manual PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY dengan skema pelepasan beban berdasarkan metode sensitivitas bus (dV/dQ) pada Subsistem Tanjung Jati. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* DigSILENT Power Factory 14.1. Tujuan pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis perubahan respon frekuensi setelah dilakukan simulasi berupa kenaikan beban dan lepasnya sumber pembangkit pada subsistem Tanjung Jati yang merujuk pada SOP *Under Voltage* Subsistem Ungaran tahun 2014.
2. Mengetahui pengaruh pemakaian Governor dan AVR pada simulasi berupa kenaikan beban dan lepasnya sumber pembangkit pada subsistem Tanjung Jati yang merujuk pada SOP *Under Voltage* Subsistem Ungaran tahun 2014.
3. Membandingkan dan menganalisis metode pemulihan frekuensi terbaik antara skema pelepasan beban manual PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY dengan skema pelepasan beban berdasarkan sensitivitas bus (dV/dQ).

2. Metode



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Berdasarkan Gambar 1, langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu mengumpulkan data terkait Subsistem Tanjung Jati, memodelkan *single line diagram* Subsistem Tanjung Jati, mendapatkan aliran daya Subsistem Tanjung Jati, melakukan simulasi pengujian, menganalisis hasil simulasi pengujian, dan memperoleh kesimpulan.

2.1. Pengujian 1

Pengujian 1 mengacu pada SOP UV Subsistem Ungaran yang menyatakan: “Pada kondisi pasokan subsistem Ungaran normal dan GI Ungaran tegangan kurang dari 140 kV berpotensi tegangan kurang dari 120 kV wilayah Yogyakarta, untuk mengembalikan tegangan pada batas aman perlu dilakukan pelepasan beban manual sebesar 55 MW di wilayah Yogyakarta” [6]. Kondisi pada SOP UV Subsistem Ungaran di coba untuk diterapkan pada Subsistem Tanjung Jati dengan cara sebagai berikut :

2.1.1. Menaikan Beban dalam Subsistem Tanjung Jati

Nilai daya aktif dan reaktif pada beban dalam subsistem Tanjung Jati dinaikkan 80% dari kapasitas transformator masing-masing beban sesuai persamaan (1).

$$X = \left[\sqrt{\frac{(S_{TRF})^2}{(P^2 + Q^2)}} - 1 \right] \times 100 \quad (1)$$

X = Presentase kenaikan yang dimasukkan dalam DigSILENT (%)

S_{TRF} = 80% Daya dari kapasitas trafo (MVA)

P = Daya aktif beban (MW)

Q = Daya reaktif beban (MVAR)

Event yang digunakan adalah *Load Event*, dengan waktu kenaikan beban pada detik ke 30 (tabel 1).

2.1.2. Menaikan Beban luar 150 kV Subsistem Tanjung Jati

Pengujian ini dilakukan dengan menaikkan daya aktif dan daya reaktif beban luar 150 kV, presentase beban dinaikkan secara bebas untuk memperoleh nilai tegangan pada busbar 2 GI Ungaran 140 kV. *Event* yang digunakan adalah *Load Event*, dengan waktu kenaikan beban pada detik ke 30.

2.1.3. Menaikan Beban luar 500 kV Subsistem Tanjung Jati

Pengujian ini dilakukan dengan menaikkan daya aktif dan daya reaktif beban luar 500 kV, presentase beban dinaikkan secara bebas untuk memperoleh nilai tegangan pada bus 2 GI Ungaran 140 kV. *Event* yang digunakan

adalah *Load Event*, dengan waktu kenaikan beban pada detik ke 30.

Tabel 1. Kenaikan Beban dalam Subsistem Tanjung Jati

Beban Internal	Event
BLORA-TD1	P dan Q naik 288,02%
BLORA-TD2	P dan Q naik 36,36%
BRINGIN-TD2	P dan Q naik 151,71%
CEPU-TD1	P dan Q naik 474,75%
CEPU-TD2	P dan Q naik 28,91%
JEKULO-TD1	P dan Q naik 41,25%
JEKULO-TD2	P dan Q naik 63,17%
JEPARA-TD1	P dan Q naik 36,33%
JEPARA-TD2	P dan Q naik 182,79%
KUDUS-TD1	P dan Q naik 156,78%
KUDUS-TD2	P dan Q naik 10,73%
KUDUS-TD3	P dan Q naik 54,48%
MJNGO-TD1	P dan Q naik 8,50%
MJNGO-TD2	P dan Q naik 47,05%
PATI-TD1	P dan Q naik 4,13%
PATI-TD2	P dan Q naik 12,72%
PATI-TD3	P dan Q naik 75,65%
PDLAM-TD1	P dan Q naik 81,75%
PDLAM-TD2	P dan Q naik 417,13%
PWD-TD1	P dan Q naik 295,32%
PWD-TD2	P dan Q naik 38,74%
PWD-TD3	P dan Q naik 15,19%
PYUNG-TD1	P dan Q naik 96,31%
RBNG-TD1	P dan Q naik 150,41%
RBNG-TD2	P dan Q naik 23,75%
SLIMA-TD1	P dan Q naik 69,83%
SLIMA-TD2	P dan Q naik 18,90%
SYUNG-TD1	P dan Q naik 97,87%
SYUNG-TD2	P dan Q naik 38,82%
SYUNG-TD3	P dan Q naik 20,95%
TBROK TD1	P dan Q naik 9,90%
TJATI-TD1	P dan Q naik 70,07%
UNGAR-TD2	P dan Q naik 73,82%
UNGAR-TD3	P dan Q naik 0,25%

Tabel 2. Kenaikan Beban Luar 150 kV Subsistem Tanjung Jati.

Beban	Event
BAWEN TB 1	P dan Q naik 300%
BAWEN1	P dan Q naik 300%
BAWEN2	P dan Q naik 300%
BSB BARU	P dan Q naik 300%
KALISARI TB	P dan Q naik 300%
KRAPYAK TB	P dan Q naik 300%
KRAPYAK 1	P dan Q naik 300%
SANGGRAHAN1	P dan Q naik 400%
SANGGRAHAN2	P dan Q naik 400%

Tabel 3. Kenaikan Beban Luar 500 kV Subsistem Tanjung Jati

Beban	Event
MANDIRANCAN 1	P naik 160% dan Q naik -300%
MANDIRANCAN 2	P naik 160% dan Q naik -300%
PEDAN 2	P naik 140% dan Q naik -300%

2.1.4. Melepas Pembangkit dalam Subsistem Tanjung Jati

Subsistem Tanjung Jati memiliki 25 unit pembangkit yang terdiri dari 9 unit PLTU, 8 unit PLTA, dan 8 unit

PLTGU. Pembangkit yang dilepas berjumlah 19 unit dengan total daya yang dilepas 1016,17 MW. *Event* yang digunakan adalah *Switch Event*, dengan waktu saat *Circuit Breaker (CB)* dibuka adalah pada detik ke 40.

2.1.5. Melepas Grid Subsistem Tanjung Jati

Pengujian ini dilakukan dengan cara membuka *Circuit Breaker (CB)* pada grid yang ingin dilepas. Subsistem Tanjung Jati skenario malam hanya memiliki 2 grid yang berada pada GITET Ungaran 500 kV. Grid tersebut adalah Grid Surabaya Barat dan Grid Ngimbang. *Event* yang digunakan adalah *Switch Event*, dengan waktu pembukaan *CB* pada detik ke 50.

2.2. Pengujian 2

Pengujian ini membandingkan skema pelepasan beban antara skema pelepasan beban manual di Subsistem Tanjung Jati yang disusun oleh PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY tahun 2013 [7] dengan skema pelepasan beban manual berdasarkan metode sensitivitas bus. Gangguan awal yang diberikan berupa kenaikan beban dalam subsistem menjadi 61,95% dari kapasitas transformator dengan cara seperti Persamaan (1).

2.2.1. Pelepasan Beban Manual PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY

Pelepasan beban manual PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY dilakukan dengan cara melepas beban yang ada di Subsistem Tanjung Jati dengan total beban yang dilepas adalah 106,8 MW sesuai dengan ketentuan skema pelepasan beban manual PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY tahun 2013[5]. Presentase *Load Event* didapatkan melalui perbandingan antara jumlah beban yang dilepas sesuai data yang didapat dengan jumlah beban yang terpasang.

2.2.2. Pelepasan Beban Manual Metode Sensitivitas Bus (dV/dQ)

Pelepasan beban berdasarkan dV/dQ dilakukan dengan melepas beban dengan jumlah yang sama dengan pelepasan beban manual PT. PLN Distribusi Jateng DIY yaitu 106,8 MW dengan pembagian besar beban sesuai dengan nilai dV/dQ masing-masing bus. Nilai dV/dQ tiap bus diperoleh dari *software* DIGSILENT. Berikut ini merupakan contoh perhitungan untuk menentukan besar beban yang dilepas pada bus dengan berdasarkan nilai dV/dQ:

$$\begin{aligned}
 dV/dQ \text{ bus Cepu} &= 0,00163 \\
 \text{Jumlah total } dV/dQ &= 0,01 \\
 P_{diff} / \text{Total Beban yang dilepas} &= 106,8 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

$$S_i = \frac{\left(\frac{dV_i}{dQ_i}\right)}{\left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{dV_i}{dQ_i}\right)\right]} \times P_{diff} \quad (2)$$

$$S_i = \frac{(0,00163)}{(0,01)} \times 106,8 \text{ MW}$$

$$S_i = 17,2836 \text{ MW}$$

Dengan menggunakan Persamaan (2), maka GI Cepu harus melepas beban sebesar 17,2836 MW. Presentase *Load Event* didapatkan melalui perbandingan antara jumlah beban yang dilepas melalui persamaan diatas dengan jumlah beban yang terpasang.

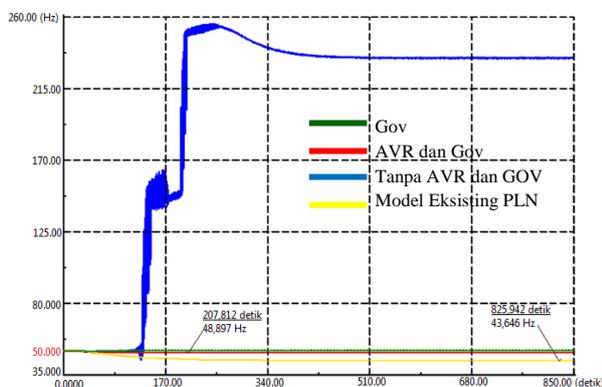
3. Hasil dan Analisa

3.1. Hasil Pengujian 1

Pada pengujian ini yang diamati adalah tegangan pada bus 2 GI Ungaran 150 kV, tegangan terendah subsistem Tanjung Jati dan respon frekuensi dengan 4 kondisi yaitu dengan penerapan Governor, penerapan Governor dan AVR, tanpa penerapan Governor dan AVR, dan sistem Eksisting PLN.

3.1.1. Menaikan Beban dalam Subsistem Tanjung Jati

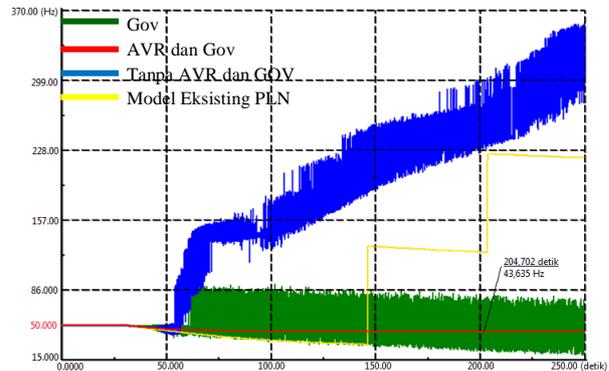
Pengujian menaikan beban dalam Subsistem Tanjung Jati menyebabkan kenaikan daya aktif 484,51 MW dan daya reaktif sebesar 168,06 Mvar pada Subsistem. Gambar 2 menunjukkan kondisi frekuensi dan tegangan sistem terbaik adalah saat menggunakan AVR dan *Governor*. Frekuensi *steady state* dengan nilai 48,897 Hz. Frekuensi sistem turun karena torsi beban melebihi torsi pembangkit dimana beban tiba-tiba naik sebesar 484,51 MW dan tidak dapat diatasi oleh pembangkit yang ada dalam Subsistem Tanjung Jati. Untuk tegangan sistem pada Bus 2 GI Ungaran 150 kV adalah 150,22 kV, serta tegangan GI terendah ada pada GI Mojosongo yaitu dengan tegangan 144,39 kV.



Gambar 2. Grafik Frekuensi Pengujian Kenaikan Beban Dalam Subsistem Tanjung Jati.

3.1.2. Menaikan Beban luar 150 kV Subsistem Tanjung Jati

Pengujian menaikan beban luar 150 kV Subsistem Tanjung Jati menyebabkan kenaikan daya aktif sebesar 1660,32 MW dan daya reaktif sebesar 450,34 Mvar. Hasil respon frekuensi ditunjukkan pada Gambar 3.

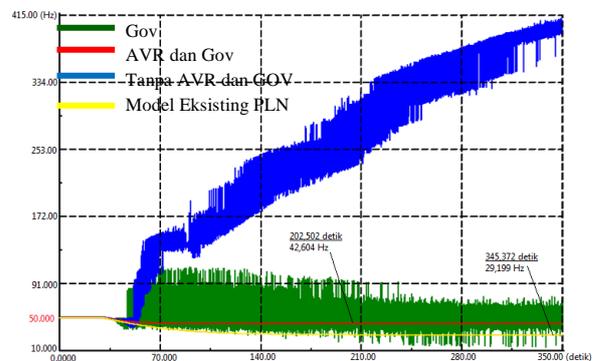


Gambar 3. Grafik Frekuensi Pengujian Kenaikan Beban Luar 150 kV Subsistem Tanjung Jati.

Kondisi frekuensi sistem terbaik adalah saat menggunakan AVR dan *Governor* yaitu 43,635 Hz. Frekuensi sistem turun karena torsi beban melebihi torsi pembangkit dimana beban tiba-tiba naik. Untuk tegangan sistem, pada B2 GI Ungaran 150 kV adalah 140,05 kV, dengan GI tegangan terendah ada pada GI Mojosongo yaitu 131,85 kV.

3.1.3. Menaikan Beban luar 500 kV Subsistem Tanjung Jati

Pengujian menaikan beban luar 500 kV Subsistem Tanjung Jati menyebabkan kenaikan daya aktif sebesar 1063,196 MW dan daya reaktif sebesar 121,563 MVar. Hasil respon frekuensi ditunjukkan pada Gambar 4.



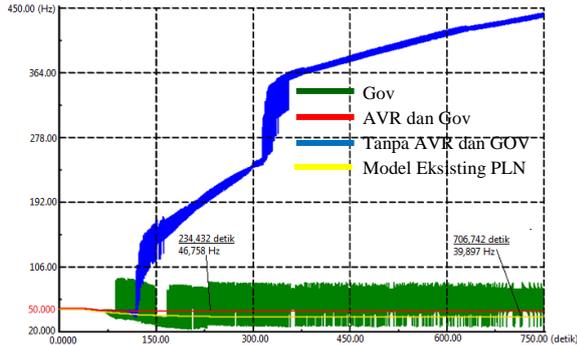
Gambar 4. Grafik Frekuensi Pengujian Kenaikan Beban Luar 500 kV Subsistem Tanjung Jati.

Kondisi frekuensi sistem terbaik adalah saat menggunakan AVR dan GOV yaitu 42,604 Hz. Frekuensi sistem turun karena torsi beban melebihi torsi pembangkit

dimana beban tiba-tiba naik. Untuk tegangan sistem, pada B2 GI Ungaran 150 kV adalah 141,78 kV, dengan GI tegangan terendah ada pada GI Mojosongo yaitu 137,44 kV.

3.1.4. Melepas Pembangkit dalam Subsistem Tanjung Jati

Pengujian lepasnya pembangkit dalam Subsistem Tanjung Jati menyebabkan menyebabkan sistem kehilangan daya sebesar 1016,17 MW.

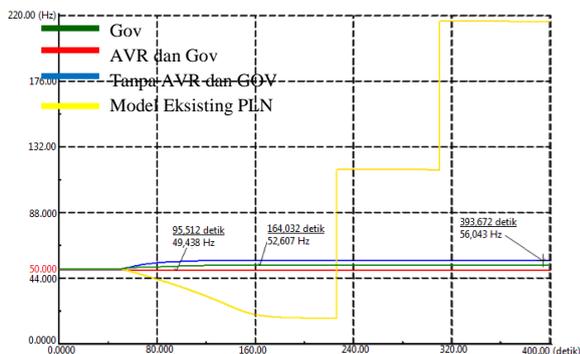


Gambar 5. Grafik Frekuensi Pengujian Lepasnya Unit Pembangkit.

Gambar 5 menunjukkan bahwa kondisi frekuensi sistem terbaik adalah saat menggunakan AVR dan GOV yaitu 46,758 Hz. Frekuensi Subsistem Tanjung Jati turun diakibatkan karena torsi pembangkit tidak sama dengan torsi beban. Kurangnya torsi pembangkit disebabkan karena pembangkit di dalam Subsistem Tanjung Jati dilepas dan menghilangkan suplai daya sebesar 1016,17 MW. Untuk tegangan sistem. Tegangan pada B2 GI Ungaran 150 kV mencapai 139,86 kV. dengan GI tegangan terendah ada pada GI Mojosongo yaitu 135,30 kV.

3.1.5. Melepas Grid Subsistem Tanjung Jati

Grid yang di lepas adalah Grid Surabaya Barat dan Grid Ngimbang yang menyebabkan sistem kehilangan daya aktif sebesar 351,61 MW dan daya reaktif 235,94 Mvar.



Gambar 6. Grafik Frekuensi Pengujian Lepasnya Grid.

Gambar 6 menunjukkan bahwa kondisi frekuensi sistem terbaik adalah saat menggunakan AVR dan GOV yaitu 49,438 Hz. Frekuensi turun karena torsi pembangkit kurang dari torsi beban. Kurangnya torsi pembangkit disebabkan oleh lepasnya grid secara tiba-tiba sebesar 351,61 MW dan daya reaktif 235,94 Mvar sehingga pembangkit pada Subsistem Tanjung Jati tidak dapat menanggung beban yang ada. Tegangan pada B2 GI Ungaran 150 kV mencapai 150,40 kV dengan GI tegangan terendah pada GI Mojosongo yaitu 145,68 kV.

3.2. Hasil Pengujian 2

Hasil pengujian merupakan respon frekuensi setelah dilakukan kedua skema pelepasan beban manual. Frekuensi diharapkan mampu kembali ke nilai nominal yaitu $50 \pm 0,2$ Hz.

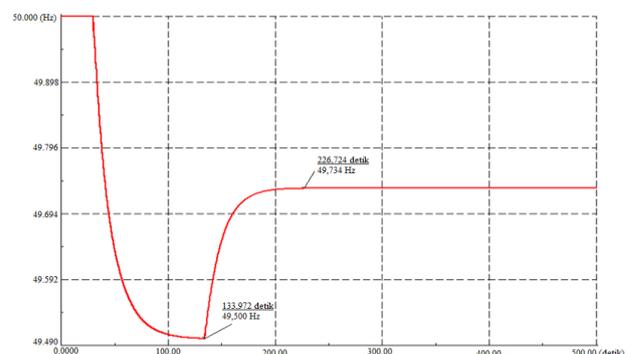
3.2.1. Pelepasan Beban Manual PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY

Pelepasan beban dilakukan pada detik ke 133,972 saat frekuensi nilai 49,50 Hz.

Tabel 4. Data beban pada skema pelepasan beban PT.PLN Distribusi Jateng dan DIY Subsistem Tanjung Jati.

Transformator Distribusi	Pelepasan Beban (MW)	Load Event (%)
PURWODADI-TD2	6,3	-19,21
PATI-TD2	9,7	-24,1
BRINGIN-TD2	7,4	-41,53
JEKULO-TD2	10,1	-73,92
KUDUS-TD3	8,7	-30,02
MOJOSONGO-TD1	0,3	-0,64
UNGERAN-TD3	7,0	-15,24
P. LAMPER-TD3	9,5	-18,2
JEPARA-TD2	13,0	-81,15
BRINGIN-TD2	9,6	-54,06
PURWODADI-TD2	12,1	-37,02
REMBANG-TD1	8,7	-47,17
UNGERAN-TD3	4,2	-9,15
Total	106,8	

Gambar 7 menunjukkan frekuensi sistem naik hingga mencapai nilai 49,734 Hz. Namun, frekuensi sistem tidak dapat kembali ke nilai nominal yaitu $50 \pm 0,2$ Hz.



Gambar 7. Respon frekuensi skema pelepasan beban manual PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY Subsistem Tanjung Jati.

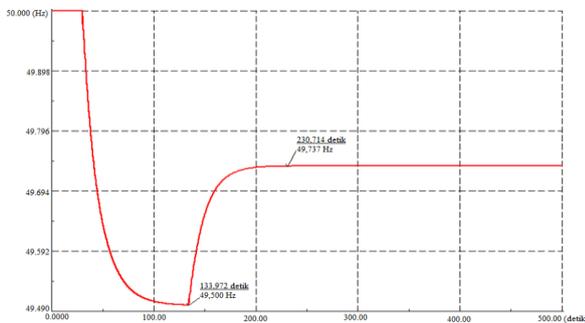
3.2.2. Pelepasan Beban Manual Metode Sensitivitas Bus

Pelepasan beban dilakukan pada detik ke 133,972 saat frekuensi 49,50 Hz.

Tabel 5. Data beban pada skema pelepasan beban manual berdasarkan Sensitivitas Bus.

Transformator Distribusi	Pelepasan Beban (MW)	Load Event (%)
BLORA-TD2	14,3417	-84,85
CEPU-TD2	17,2836	-97,77
JEKULO-TD1	4,5799	-14,34
JEPARA-TD1	2,8386	-8,52
KUDUS-TD2	3,6076	-8,74
MJNGO-TD1	8,9064	-20,88
MRANGGEN-TD1	3,9715	-8,48
PATI-TD2	6,5086	-16,19
PDLAM-TD3	4,3066	-8,23
PWD-TD2	4,4632	-13,66
PYUNG-TD1	4,2047	-18,37
RBNG-TD2	12,2704	-64,91
SLIMA-TD2	4,5126	-11,74
SYUNG-TD3	4,0241	-10,60
TJATI-TD1	1,9294	-7,22
UNGAR-TD3	3,1141	-6,75
Total	106,8	

Gambar 8 menunjukkan frekuensi naik hingga mencapai nilai 49,737 Hz. Namun, frekuensi sistem tidak dapat kembali ke nilai nominal yaitu $50 \pm 0,2$ Hz.



Gambar 8. Respon frekuensi skema pelepasan beban berdasarkan Sensitivitas Bus (dV/dQ).

3.2.3. Perbandingan Hasil Pelepasan Beban Manual

Setelah melakukan 2 simulasi pengujian pelepasan beban di dapatkan hasil seperti Tabel 7.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Simulasi Pengujian Pelepasan Beban.

Skema Pelepasan Beban Manual	Frekuensi (Hz)	Kenaikan Frekuensi (Hz)	Beban yang di Pasok (MW)
PT. PLN	49,734	0,234	1097,923
Sensitivitas Bus	49,737	0,237	1097,377

Tabel 7 menunjukkan bahwa skema pelepasan beban manual berdasarkan metode sensitivitas bus memiliki nilai kenaikan frekuensi yang lebih baik yaitu 0,237 Hz. Kedua skema pelapasan yang diujikan tidak dapat mengembalikan nilai frekuensi ke nilai nominal yaitu $50 \pm 0,2$ Hz.

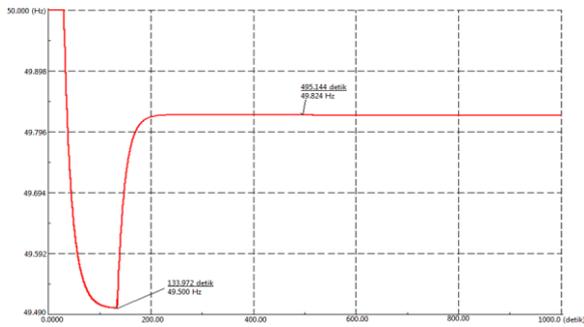
3.2.4. Pelepasan Beban Manual untuk Mengembalikan Frekuensi ke Nilai Nominal

Kedua simulasi yang diujikan tidak dapat mengembalikan frekuensi sistem ke nilai nominal. Hal ini dikarenakan beban yang dilepas hanya 106,8 MW, sedangkan kenaikan daya beban sebesar 247,19 MW. Untuk membuat sistem kembali normal, dilakukan kembali pelepasan beban manual berdasarkan metode Sensitivitas Bus (dV/dQ) dengan jumlah pelepasan beban sebesar 149,01 MW. Jumlah tersebut merupakan hasil selisih antara total kenaikan beban sebesar 247,19 MW dengan jumlah kenaikan daya aktif pembangkit yang hanya sebesar 98,18 MW pada saat frekuensi mencapai batas bawah nilai normal yaitu 49.8 Hz. Pelepasan beban dilakukan pada detik ke 133,972 saat frekuensi 49,50 Hz.

Tabel 7. Data beban pada skema pelepasan beban manual berdasarkan Sensitivitas Bus jumlah pelepasan sebesar 149,01 MW.

Transformator Distribusi	Pelepasan Beban (MW)	Load Event (%)
BLORA-TD1	3,10756	-26,29
BLORA-TD2	16,90242	-100
BRINGIN-TD1	8,28307	-16,36
CEPU-TD2	17,67814	-100
CEPU-TD1	6,43634	-81,05
JEKULO-TD1	6,39013	-20
JEPARA-TD1	3,96052	-11,88
KUDUS-TD2	5,03342	-12,19
MJNGO-TD1	12,42638	-29,13
MRANGGEN-TD1	5,54120	-11,84
PATI-TD2	9,08103	-22,59
PDLAM-TD3	76,00870	-11,49
PWD-TD2	6,22719	-19,07
PYUNG-TD1	5,86649	-25,63
RBNG-TD2	17,11998	-90,57
RBNG-TD2	17,11998	-90,57
SLIMA-TD2	6,29607	-16,38
SYUNG-TD3	5,61453	-14,79
TJATI-TD1	2,69194	-10,08
UNGAR-TD3	4,34491	-9,41
Total	149,01	

Dengan melakukan pelepasan beban manual berdasarkan Tabel 8, di dapat hasil grafik respon frekuensi yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Respon frekuensi skema pelepasan beban manual berdasarkan Sensitivitas Bus jumlah pelepasan sebesar 149,01 MW.

Gambar 9 menunjukkan frekuensi naik dan *steady state* pada nilai 49,824 Hz. Kenaikan frekuensi telah mengembalikan nilai frekuensi sistem ke nilai nominal yaitu $50 \pm 0,2$ Hz.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian 1, tidak ditemukan kondisi dimana pada busbar 2 Ungaran bertegangan 140 kV dan pada busbar tegangan terendah bertegangan 120 kV. Hal tersebut menunjukkan SOP UV Ungaran tahun 2014 tidak dapat diterapkan pada Subsistem Tanjung Jati serta di dapat penerapan AVR dan *governor* berpengaruh terhadap kestabilan frekuensi. Pembangkit yang memiliki *governor* dapat menaikkan dayanya sesuai dengan respon pengaturan masing-masing *governor*. Sedangkan AVR berfungsi untuk mengatur tegangan pada generator, tegangan pada keluaran generator akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Beban yang digunakan pada simulasi ini adalah beban dengan impedansi konstan sehingga daya dipengaruhi oleh kuadrat tegangan. Pada pengujian 2, didapat metode sensitivitas bus lebih baik dibandingkan skema pelepasan beban PT. PLN Distribusi Jateng dan DIY, karena mampu menaikkan nilai frekuensi lebih besar yaitu 0,237 Hz. Namun, pada kedua skema pelepasan beban tidak dapat mencapai nilai frekuensi nominal, sehingga dilakukan kembali pelepasan beban manual berdasarkan metode Sensitivitas Bus dengan jumlah beban yang dilepas lebih besar yaitu 149,01 MW, di dapat nilai frekuensi sistem mencapai nilai nominal yaitu 49,824 Hz. Beberapa studi yang dapat dikembangkan lebih lanjut yaitu melakukan perhitungan pengaturan pada governor dan AVR, melakukan metode skema pelepasan beban lain, serta melakukan pelepasan beban secara otomatis.

Referensi

- [1]. "Konfigurasi Jaringan Subsistem Jawa Tengah dan DIY", PT. PLN (Persero).
- [2]. Sulasno, "Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan". Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [3]. Prabha Kundur, Power System Stability and Control. United States of America: McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [4]. Resita, Riza. "UnderVoltage Load Shedding Pada Sistem Distribusi 20 kV Surabaya Dengan Mempertimbangkan Sensitivitas Bus", Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia.
- [5]. Malau, A. D. "Analisis Undervoltage Load Shedding Berdasarkan Nilai Sensitivitas Bus dan Daya Reaktif dengan Studi Kasus pada PT. PLN Persero APB DKI Jakarta Banten", Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- [6]. "Prosedur Manual Load Shedding terkait Under Voltage Sub Sistem Jawa Tengah & DIY", PT. PLN (Persero), Ungaran, 2014.
- [7]. "Data Pelepasan Skema Beban A & B Wilayah Distribusi Jawa Tengah & DIY", PT. PLN (Persero), Maret 2013.
- [8]. "Island Operation Sistem Tenaga Listrik Jawa Tengah bulan Maret tahun 2003".
- [9]. Hadi Saadat, *Power System Analysis*. 1999, New York: Kevin Kane.
- [10]. Joshi, Poonam., "Load Shedding Algorithm Using Voltage and Frequency Data", *All Theses*, Paper 240, 2007.