

PERILAKU FREKUENSI TERHADAP PELEPASAN BEBAN MANUAL (*MANUAL LOAD SHEDDING*) PADA SUB SISTEM KELISTRIKAN PEDAN

Tri Yuli Suyanti^{*)}, Hermawan, Mochammad Facta

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

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

Abstrak

Sistem tenaga listrik menjadi tidak stabil setelah terjadinya gangguan berat, misalnya gangguan sistem transmisi, perubahan beban secara tiba-tiba, terputusnya unit pembangkitan atau switching saluran. Oleh karena itu dibutuhkan profil kinerja frekuensi pada system tersebut agar penurunan frekuensi sistem tidak berkelanjutan dan mengakibatkan pemadaman total (black out) pada sistem. Salah satu tindakan untuk membuat sistem kembali stabil setelah gangguan adalah melakukan pelepasan beban (load shedding). Terdapat beberapa cara load shedding, misalnya menggunakan rele frekuensi atau menggunakan metode sensitivitas. Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa skenario untuk menganalisa Standart Operational Procedure (SOP) Under Voltage Subsistem Ungaran tahun 2014 yang diimplementasikan pada Subsistem Pedan dan mengimplementasikan data Manual Load Shedding (MLS) yang dimiliki PLN Subsistem Pedan setelah simulasi frekuensi Subsistem Pedan berada dalam rentan 49-49,5 Hz. Hasilnya dibandingkan dengan penggunaan sensitivitas bus saat MLS dengan menerapkan daya aktif yang sama besar. Semua skenario dilakukan dengan aplikasi DIgSILENT PowerFactory 14.1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa prosedur pelepasan beban dengan SOP UV Subsistem Pedan tidak dapat digunakan pada Subsistem Pedan dan skema pelepasan beban berdasarkan metode sensitivitas dapat membuat frekuensi menjadi lebih baik dibandingkan dengan skema MLS Subsistem Pedan yang dibuat oleh PLN.

Kata kunci: sistem tenaga listrik, stabilitas frekuensi, load shedding

Abstract

The electrical power system becomes unstable after the occurrence of severe disorders, such as transmission system disorders, load changes suddenly, breaking of generation units or switching line. Therefore it is necessity to observe the frequency performance profile in order that decrease of the frequency of the system is not continued and results in a total blackout on the system. One of the actions that the system to make system stable after disturbance is load shedding. There are several ways for load shedding, example using frequency relay or using the sensitivity method. In this research, several scenarios were carried out to analyze Standart Operational Procedure (SOP) of Under Voltage Subsystem Ungaran 2014 implemented on Subsystem of Pedan and the implementation of data Manual Load Shedding (MLS) issued by PLN Subsystem of Pedan after frequency of subsystem Pedan was simulated in the range 49 to 49.5 Hz was conducted. The results were compared to the use of the sensitivity method when the MLS was applied at the same large active power. All scenarios were performed with 14.1 PowerFactory DIgSILENT application. The results of simulation was showed that the procedure load shedding with SOP UV of Subsystem Ungaran can not be achieved on Subsystem Pedan and load shedding scheme based on sensitivity method can make the frequency to be better than MLS scheme of Subsystem Pedan issued by PLN.

Key word: electrical power system, frequency stability, load shedding

1. Pendahuluan

Subsistem Pedan mempunyai beban malam dengan daya aktif sebesar 868,99116 MW dan daya reaktif sebesar 246,1645533 Mvar dan beban siang dengan daya aktif sebesar 526,72 MW dan daya reaktif 89,53 Mvar. Pada malam, daya aktif dapat dihasilkan sebesar 252 MW dan

daya reaktif sebesar 44 Mvar sedangkan pada siang hari dapat menghasilkan daya aktif sebesar 504 MW dan daya reaktif 104 Mvar sehingga sebagian besar daya disalurkan dari luar subsistem Pedan melalui jaringan 500 kV. [1]

Keadaan-keadaan kritis dalam sistem yang menyebabkan daya tersedia tidak dapat melayani beban dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat. [2]

Dalam beberapa penelitian telah dilakukan beberapa cara pelepasan beban, seperti dengan menggunakan rele frekuensi yang dilakukan oleh Teguh Baruna [3] atau dengan menggunakan metode sensitivitas yang telah dilakukan oleh Riski Cahya [4]. Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa skenario untuk menganalisa SOP *Under Voltage* Subsistem Ungaran tahun 2014 [5] yang diimplementasikan pada Subsistem Pedan dan mengimplementasikan data *Manual Load Shedding* (MLS) yang dimiliki PLN Subsistem Pedan setelah frekuensi Subsistem Pedan turun dalam rentan 49-49,5 HZ [6]. Pelepasan beban dilakukan dengan melepas beban menggunakan data MLS pada Subsistem Pedan dan melepas beban pada busbar yang memiliki sensitivitas tertinggi dengan besar daya yang sama.

Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan analisis stabilitas frekuensi untuk Subsistem Pedan pada kondisi pembebanan normal.
2. Menganalisa perubahan respon frekuensi setelah simulasi gangguan dalam Subsistem Pedan merujuk pada SOP UV Subsistem Ungaran tahun 2014.
3. Menganalisa perbedaan respon frekuensi saat penggunaan data MLS PLN Subsistem Pedan tahun 2013 dan penggunaan sensitivitas bus (dV/dQ) dengan besar daya aktif yang sama setelah adanya skenario kenaikan beban pada Subsistem Pedan

2. Metode

Subsistem Pedan telah dibuat sesuai dengan data milik PLN dengan beberapa penyesuaian agar hasil aliran daya antar keduanya memiliki perbedaan yang sangat kecil, bahkan hampir menyamai. Hasil aliran daya simulasi yang dibuat telah divalidasi dengan data DIGSILENT sistem kelistrikan Jawa-Madura-Bali yang dimiliki oleh PLN. Sebelum dilakukan skenario 1 dan 2, terlebih dahulu dilakukan pengamatan pada Subsistem Pedan pada kondisi pembebanan normal.

2.1. Simulasi MLS berdasarkan SOP UV Ungaran

Skenario ini dibuat berdasarkan SOP *Under Voltage* (UV) Subsistem Ungaran tahun 2014 yang berisikan: "Pada kondisi pasokan subsistem Ungaran normal dan GI Ungaran tegangan kurang dari 120 kV wilayah Yogyakarta, untuk mengembalikan tegangan pada batas aman perlu dilakukan MLS sebesar 55 MW di wilayah Yogyakarta." [5]

Subsistem Pedan tidak mempunyai SOP sendiri sehingga pada penelitian ini akan mengaplikasikan SOP UV Subsistem Ungaran dengan melakukan beberapa skenario yang membuat turunnya tegangan dan melihat kondisi tegangan pada busbar Pedan dengan tegangan 140 kV dan memperhatikan tegangan busbar lain yang terendah sebesar 120 kV sehingga dapat melakukan MLS sebesar 37,3667 MW pada Subsistem Pedan. Terdapat beberapa cara untuk menurunkan tegangan, yaitu antara lain:

2.1.1. Melepas kapasitor

Pada skenario pelepasan kapasitor, dilakukan 2 kali percobaan, yaitu yang pertama dengan melepas kapasitor Sragen dan yang kedua dengan melepas dua kapasitor yang tersambung dengan jaringan 500 kV.

Tabel .1 Data Pelepasan Kapasitor

Nama Kapasitor	Waktu Pemutusan (s)
SHN_REC2_3PEDAN7	30.
SHN_REC1_3PEDAN7	30.
SHN_CAP1_3SRAGN5	30.

2.1.2. Menaikkan beban

1. Beban dalam subsistem yang tersambung pada busbar 150 kV

Menaikkan beban dalam subsistem Pedan harus memperhatikan daya maksimum transformator dengan batasan toleransi sebesar 80% daya transformator pada setiap GI yang ada sampai tegangan pada Busbar Pedan mencapai 140 kV. Skenario menaikkan beban di dalam Subsistem Pedan dilakukan dengan menaikkan daya aktif sebesar 229,2822 MW dan daya reaktif 62,77076 Mvar.

Tabel 2. Penambahan beban dalam Subsistem Pedan

Nama Beban	Persentase Load Event	Waktu Pemutusan (s)
3BDON05_TD1	25%	30.
3GJYAN5_TD2	25%	30.
3JAJAR5_TD1	60%	30.
3JAJAR5_TD2	60%	30.
3JAJAR5_TD3	125%	30.
3KLATN5_TD3	20%	30.
3KNTUG5_TD4	45%	30.
3MKRAN5_TD2	90%	30.
3MSRAN5_TD2	60%	30.
3PALUR5_TD2	30%	30.
3PALUR5_TD3	4%	30.
3PEDAN5_TD2	15%	30.
3SLBRU5_TD1	75%	30.
3SLBRU5_TD2	50%	30.
3SRAGN5_TD2	10%	30.
3SRAGN5_TD3	60%	30.
3WNGRI5_TD1	60%	30.
3WNGRI5_TD2	45%	30.
3WNSRI5_TD1	130%	30.
3WNSRI5_TD2	50%	30.

2. Beban luar subsistem yang tersambung dengan jaringan 150 kV

Beban luar subsistem pada busbar 150 kV merupakan sebagai pengganti saluran yang menyambungkan subsistem Pedan ke sistem kelistrikan lainnya, sehingga tidak perlu memperhatikan kapasitas dari masing-masing transformator yang ada di luar subsistem Pedan jaringan 150 kV. Pada skenario ini, beban dinaikkan sebesar 663,18 MW dan 96,04 Mvar.

Tabel 3. Penambahan beban di luar Subsistem Pedan

Nama Beban	Waktu Pemutusan (s)
BANTUL-KLATEN 1	30
MOJOSONGO-JAJAR	30
MOJOSONGO-BANYUDONO	30
KENTUNGAN-GODEAN	30
KENTUNGAN-BANTUL	30
BANTUL-KLATEN2	30

3. Beban luar jaringan kelistrikan Jateng-DIY

Beban yang dimaksudkan disini merupakan transmisi 500 kV yang menjadi beban bagi Subsistem Pedan atau yang menjadi beban di luar jaringan kelistrikan Jateng-DIY. Total beban yang ditambahkan sebesar 250,17362 MW dan -98,084 Mvar.

Tabel 4. Penambahan beban di luar jaringan kelistrikan Jateng-DIY

Nama Beban	Waktu Pemutusan (s)
PEDAN-KSGHN	30
PEDAN-TSKBRT	30
4NPCTN5_TD1	30

2.1.3. Melepas pasokan daya

Terdapat 3 jenis pasokan daya di dalam subsistem Pedan untuk menurunkan tegangan. Skenario yang dilakukan tersebut antara lain:

1. Melepas pasokan daya dari dalam Subsistem Pedan
Pasokan daya di dalam Subsistem Pedan hanya didapat dari PLTU Pacitan dan PLTA Wonogiri. Sumber daya yang dilepas dari sistem sebesar 252 MW dan 42,631898 Mvar.

Tabel 5. Pelepasan pasokan daya di dalam Subsistem Pedan

Nama	Waktu Pemutusan (s)
PLTA WONOGIRI 1	30.
PLTU PACITAN 1	30.
PLTA WONOGIRI 2	30.

2. Melepas pasokan daya dari luar Subsistem Pedan pada busbar 150kV

Daya yang dilepas merupakan merupakan sebagai pengganti saluran yang menyambungkan subsistem Pedan ke sistem kelistrikan lainnya yang memberi pasokan daya. Daya dari luar Subsistem Pedan yang dilepas sebesar 225,3927 MW dan 47,44983 Mvar.

Tabel 6. Pelepasan pasokan daya dari luar Subsistem Pedan

Nama	Waktu Pemutusan (s)
NGAWI-SAGEN	30.
BAWEN-KLATEN2	30.
SANGGRAHAN-KENTUNGAN	30.
MEDARI-KENTUNGAN 1	30.
BAWEN-KLATEN1	30.

3. Melepas pasokan daya dari luar Sistem Kelistrikan Jateng-DIY

Daya dilepas pada skenario ini merupakan pengganti saluran transmisi 500kV yang memberi pasokan pada Subsistem Pedan. Daya yang dilepas pada skenario ini sebesar 1714,1995 MW dan 194,2 Mvar.

Tabel 7. Pelepasan daya dari luar sistem kelistrikan Jateng-DIY

Nama	Waktu Pemutusan (s)
PEDAN KEDIRI 1	30.
PLTU PACITAN 2	30.
PEDAN-KEDIRI2	30.
UNGERAN-PEDAN	30.

Pada setiap skenario yang ada dalam simulasi 1 dilakukan beberapa variasi penggunaan AVR dan *governor*, seperti:

- a. Subsistem Pedan tanpa AVR dan *governor*
- b. Subsistem Pedan dengan AVR dan *governor*
- c. Kondisi eksisting Subsistem Pedan

2.2. Simulasi Data MLS Subsistem Pedan

Gangguan kenaikan beban dalam Subsistem Pedan dipilih karena berdasarkan pada skenario 1, kenaikan beban dalam subsistem merupakan hal yang paling lumrah terjadi. Setelah dihitung daya maksimal kapasitas trafo, maka dipilih beberapa beban untuk dinaikkan agar frekuensi sistem berubah menjadi nilai dalam kisaran 49-49,5 Hz. Tabel 8. merupakan data kenaikan beban yang dilakukan.

Tabel 8. Data kenaikan beban frekuensi MLS

Nama	Persentase Kenaikan
3PEDAN5_TD2	15%
3SLBRU5_TD2	50%
3SRAGN5_TD2	10%
3WNSRI5_TD3	20%

Setelah dilakukan kenaikan beban, maka akan dilakukan skenario pelepasan beban manual (*Manual Load Shedding*) pada Subsistem Pedan. Cara-cara yang dilakukan antara lain:

2.2.1. Melepas Beban sesuai dengan data MLS milik PLN pada Subsistem Pedan

PLN mempunyai data beban *Manual Load Shedding* (MLS) pada setiap subsistem sehingga terdapat besaran nilai daya yang harus dilepas pada setiap penyulang [6]. Berikut ini merupakan data pelepasan beban manual pada Subsistem Pedan.

Tabel 9. Data MLS PLN Subsistem Pedan

Beban	P(MW)	Persentase Penurunan (%)
KLATEN III	9,6	50,78575079
BANYUDONO II	9,5	21,01974994
WONOSARI I	8,6	43,12065158
WONOGIRI II	8,3	26,01360606
PEDAN I	8,1	19,83976329
MASARAN I	4,6	9,997361566
BANYUDONO I	1,1	9,011001614
SRAGEN II	0,0	0
Total	49,7	

2.2.2. Melepas beban sesuai dengan dV/dQ

dV/dQ merupakan salah satu jenis sensitivitas bus dimana jika beban dinaikkan sebesar 1 MW maka tegangan akan turun 1 kV. Dalam pelepasan menurut sensitivitas bus dilakukan dalam 2 skenario dengan total beban 49,7 MW. Skenario pelepasan beban menurut sensitivitas bus terpusat dan tersebar.

1. Pelepasan beban terpusat

Pelepasan beban terpusat dilakukan pada busbar yang memiliki sensitivitas tertinggi

Tabel 10. Pelepasan beban terpusat menurut sensitivitas bus

Nama Beban	P Lepas (MW)	Keterangan
3SRAGN5_TD1	36,41777	Lepas CB
3SRAGN5_TD2	13,29983	Load Event 64%
Total	49,7176	

2. Pelepasan beban tersebar

Pelepasan beban tersebar dilakukan dengan rumus:[7]

$$Shedding\ i = \frac{dV/dQ^i}{\sum dV/dQ} \times P_{diff} \quad (4.1)$$

dimana:

P_{diff} : 49,7 MW

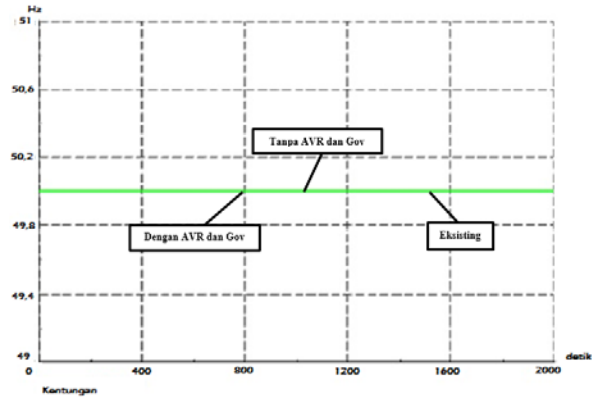
i : bus di-n

Tabel 11. Pelepasan beban tersebar menurut sensitivitas bus

Beban	dV/dQ	P diff = MLS	
		PLN	Load Event (%)
		49,7 MW	
3SRAGN5_TD1	0,00285748	4,161383925	11,426795
3GJYAN5_TD1	0,00281758	4,103277055	8,917812984
3MSRAN5_TD1	0,00274638	3,999587603	8,6924616
3MKRAN5_TD1	0,00244668	3,563130738	9,434992923
3GDRJO5_TD1	0,00243086	3,540091874	7,271226499
3AJAR5_TD1	0,00241018	3,509975331	11,97377803
3PALUR5_TD3	0,0023539	3,428014062	7,595131651
3WNGRI5_TD2	0,00232258	3,382402354	10,601
3SLBRU5_TD2	0,00225444	3,283169218	10,8014
3PEDAN5_TD2	0,0022287	3,245683733	7,94982679
3WNSRI5_TD3	0,00218162	3,17712054	8,114591304
3WNGRI5_TD1	0,00181304	2,640352868	18,6912022
3KNTUG5_TD4	0,00138849	2,022075383	6,398940333
3BDONO5_TD2	0,00137042	1,995759816	4,415828659
3NGTDI5_TD1	0,0013086	1,905730575	12,030436
3KLATN5_TD2	0,00119634	1,742244931	7,48
Jumlah	0,03412729	49,70000001	

3. Hasil dan Analisa

3.1. Profil Kerja Frekuensi saat Pembebanan Normal Subsistem Pedan



Gambar 1. Respon frekuensi terhadap waktu saat kondisi normal

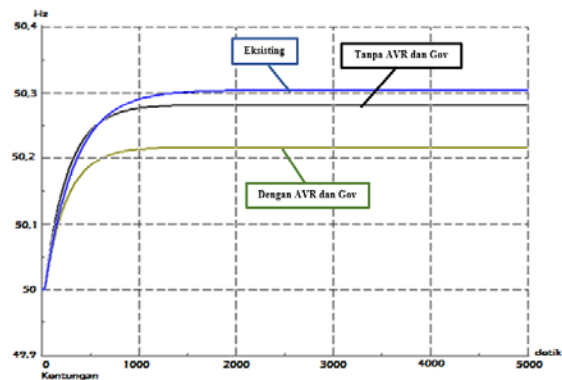
Gambar 1. memperlihatkan bahwa frekuensi sistem pada kondisi malam stabil pada 50 Hz dengan tegangan pada Busbar Pedan sebesar 153,66 kV dan Sragen sebagai busbar bertegangan terendah sebesar 149,22 kV.

Setelah mengetahui respon frekuensi saat kondisi normal, berikut ini merupakan hasil skenario 2 simulasi yang telah dilakukan.

3.2. Skenario MLS berdasarkan SOP UV PLN

3.2.1. Melepas Kapasitor

a. Melepas kapasitor berkapasitas 25 MVAR.

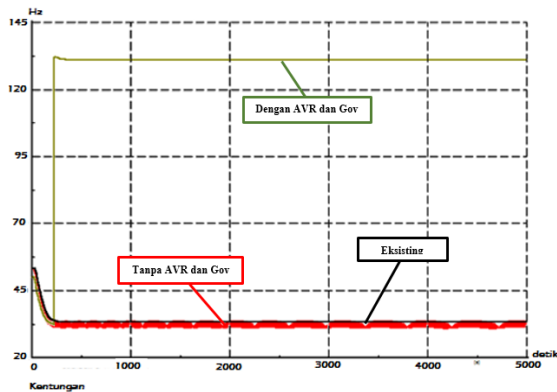


Gambar 2. Grafik skenario pelepasan kapasitor 25 MVAR

Dari kondisi pada Gambar 2. dapat dilihat penggunaan AVR dan governor yang ditunjukkan dengan warna biru membuat frekuensi paling baik yaitu sebesar 50,215 Hz . Tegangan pada Busbar Pedan menjadi 153,75 kV dan tegangan pada Busbar Sragen sebagai busbar yang mengalami perubahan terbesar menjadi 148,12 kV. Frekuensi naik karena sistem kehilangan sumber MVAR. Penurunan

tegangan sistem menyebabkan daya beban menjadi turun. Hal itu disebabkan karena beban yang digunakan dalam simulasi ini merupakan beban dengan impedansi konstan sehingga daya dipengaruhi oleh kuadrat tegangan dan faktor reduksi beban yang bernilai 0. Turunnya daya beban membuat torsi pembangkit melebihi torsi beban sehingga frekuensi menjadi naik.

b. Melepas kapasitor berkapasitas 200 MVAR

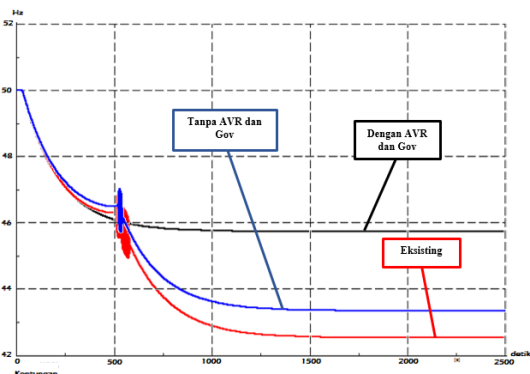


Gambar 3. Grafik respon frekuensi terhadap waktu saat melepas kapasitor 200 MVAR

Dari hasil simulasi pada Gambar 3., penggunaan *governor* dan AVR menghasilkan frekuensi yang lebih baik yang stabil pada nilai 131,024 Hz karena tidak terjadi osilasi dan frekuensinya yang tertinggi. Tegangan pada Busbar Pedan menjadi 85,06 kV dan tegangan pada Busbar Klaten sebagai busbar yang mengalami perubahan terbesar menjadi 84,93 kV. Pelepasan sumber MVAR pada sistem membuat frekuensi dalam sistem meninggi.

3.2.2. Menaikkan Beban

1. Beban Dalam Subsistem Pedan

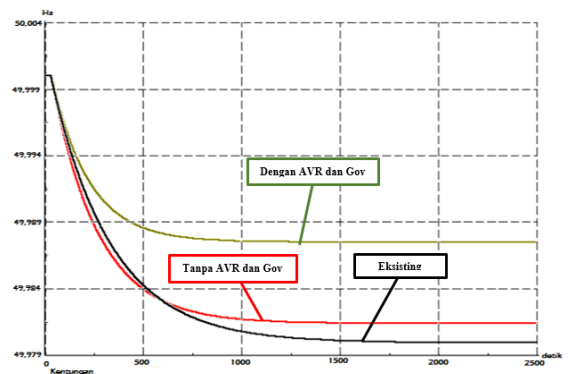


Gambar 4. Grafik skenario menaikkan beban dalam Subsistem Pedan

Sesuai dengan Gambar 4. hasil frekuensi terbaik didapat saat kondisi Subsistem Pedan menggunakan

AVR dan *governor* dengan nilai frekuensi sistem sebesar 45,753 Hz. Tegangan pada Busbar Pedan menjadi 140,2 kV dan tegangan pada Busbar Sragen sebagai busbar yang mengalami perubahan terbesar menjadi 135,64 kV. Frekuensi sistem turun karena torsi beban melebihi torsi pembangkit dimana beban tiba-tiba naik sebesar 229,2822 MW dan tidak dapat diatasi oleh pembangkit yang ada dalam Subsistem Pedan.

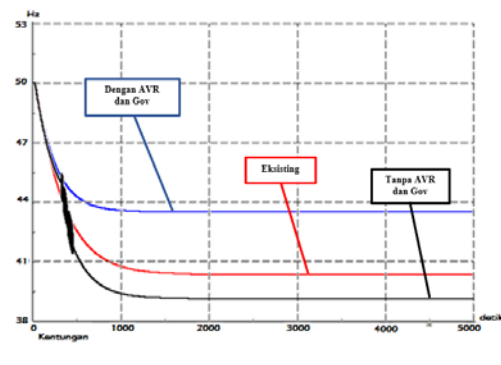
2. Beban Luar Subsistem Pedan



Gambar 5. Grafik skenario saat penambahan beban di Luar Subsistem Pedan

Sesuai dengan Gambar 5. hasil frekuensi terbaik didapat saat kondisi Subsistem Pedan menggunakan AVR dan *governor* dengan frekuensi sistem sebesar 49,988 Hz. Tegangan pada Busbar Pedan menjadi 153,67 kV dan tegangan pada Busbar Sragen sebagai busbar yang mengalami perubahan terbesar menjadi 149,23 kV. Frekuensi sistem turun karena torsi beban melebihi torsi pembangkit dimana beban tiba-tiba naik.

3. Beban Luar Sistem Kelistrikan Jateng-DIY



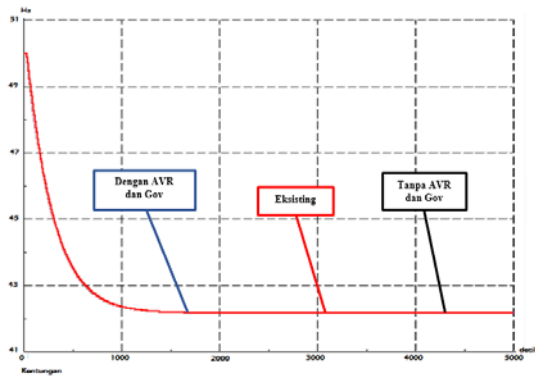
Gambar 6. Grafik skenario penambahan beban di luar Jateng-DIY

Dari Gambar 6. dapat disimpulkan bahwa kondisi paling baik adalah saat menggunakan AVR dan *governor* yaitu sebesar 43,513 Hz. Tegangan pada

Busbar Pedan menjadi 136,13 kV dan tegangan pada Busbar Klaten sebagai busbar yang mengalami perubahan terbesar menjadi 135,93 kV. Frekuensi Subsistem Pedan turun diakibatkan karena torsi pembangkit tidak dapat menyesuaikan torsi beban yang naik secara tiba-tiba.

3.2.3. Pelepasan Daya

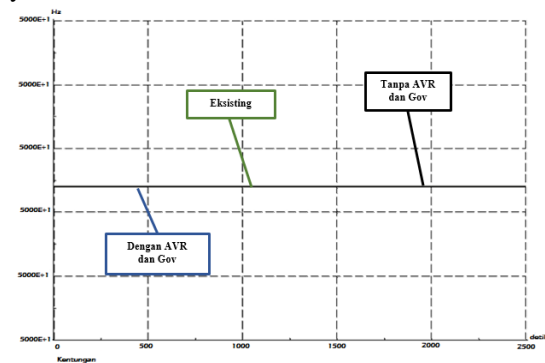
1. Daya di Dalam Subsistem Pedan



Gambar 7. Grafik skenario pelepasan daya di dalam Subsistem Pedan

Dari Gambar 7. dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi kondisi Subsistem Pedan tidak mengalami perbedaan karena AVR dan governor dalam Subsistem Pedan tidak berfungsi akibat skenario pelepasan daya di dalam Subsistem Pedan. Frekuensi sistem turun menjadi 42,17 Hz. Tegangan pada Busbar Pedan turun menjadi 129,27 kV dan tegangan pada Busbar Masaran sebagai busbar yang mengalami perubahan terbesar menjadi 123,9 kV. Frekuensi Subsistem Pedan turun diakibatkan karena torsi pembangkit tidak dapat menyesuaikan torsi beban. Kurangnya torsi pembangkit disebabkan karena pembangkit di dalam Subsistem Pedan dilepas dan menghilangkan asupan daya sebesar 252 MW.

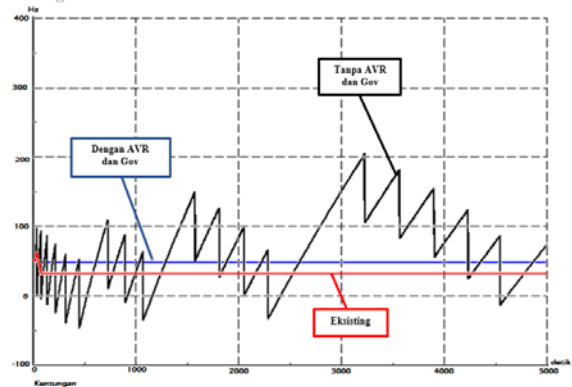
2. Daya di Luar Subsistem Pedan



Gambar 8. Grafik skenario pelepasan daya di luar Subsistem Pedan

Dari Gambar 8. dapat disimpulkan bahwa pelepasan grid di luar subsistem Pedan tidak mempengaruhi frekuensi dan tegangan Subsistem Pedan. Hal itu disebabkan karena grid yang dilepas sebesar 125,5609 MW tidak tersambung pada busbar yang masuk dalam Subsistem Pedan yang ditandai dengan CB yang terbuka pada perbatasan daerah kelistrikkannya.

3. Daya di Luar Sistem Jateng-DIY



Gambar 9. Grafik skenario pelepasan daya di luar Jateng-DIY

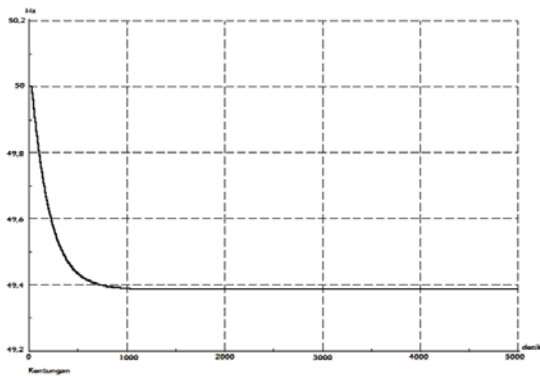
Berdasarkan Gambar 9., keadaan frekuensi terbaik dihasilkan saat Subsistem Pedan menggunakan AVR dan *governor* setelah adanya pelepasan daya yaitu sebesar 47,916 Hz. Tegangan pada Busbar Pedan menjadi 13,12 kV dan tegangan pada Busbar Klaten sebagai busbar yang mengalami perubahan terbesar menjadi 13,1 kV. Frekuensi turun karena torsi pembangkit kurang dari torsi beban. Kurangnya torsi pembangkit disebabkan oleh lepasnya *grid* secara tiba-tiba sebesar 1462,2 MW dan 133,5201 MVAR sehingga pembangkit pada Subsistem Pedan tidak dapat menanggung beban yang ada.

Setelah melakukan 8 simulasi skenario pada Subsistem Pedan, tidak ditemukan kondisi seperti yang dijelaskan pada SOP UV Ungaran pada Subsistem Pedan sehingga SOP tersebut tidak dapat diaplikasikan pada Subsistem Pedan. Hal tersebut dikarenakan perbedaan konfigurasi jaringan antar subsistem, pembebanan, dan aliran daya. Penggunaan AVR dan *governor* pada Subsistem Pedan sangat mempengaruhi hasil keluaran frekuensi Subsistem Pedan, penggunaan AVR dan *governor* menghasilkan frekuensi dengan nilai yang terbaik. Hal itu dikarenakan pembangkit yang dipasang *governor* mampu menghasilkan keluaran daya aktif melebihi daya yang terpasang sesuai dengan batas daya maksimalnya, sehingga ketika terjadi perubahan daya pada beban pembangkit yang memiliki governor dapat menaikkan dayanya sesuai dengan respon pengaturan masing-masing governor. AVR juga secara tidak langsung juga mempengaruhi frekuensi sistem. 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 ($k_{pu}=2$).

3.3. Skenario MLS Data PLN Subsistem Pedan

Untuk menghasilkan frekuensi sistem pada nilai antara 49-49,5 Hz, dilakukan penambahan beban sehingga menghasilkan frekuensi seperti pada Gambar 10.

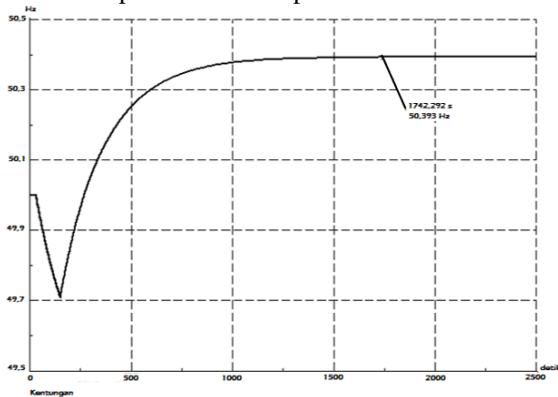


Gambar 10. Grafik skenario kenaikan beban dalam Subsistem Pedan 31,2307 MW

Kenaikan beban sebesar 31,2307 MW dan 8,390386 MVar membuat frekuensi Subsistem Pedan turun menjadi 49,387 Hz. Frekuensi yang dihasilkan sudah memasuki rentan nilai frekuensi *Manual Load Shedding* (MLS) sesuai dengan Gambar 10. Dengan penurunan frekuensi, maka perlu dilakukan pelepasan beban secara manual dimana di dalam data PLN, MLS dilakukan sebesar 49,7 MW. Berikut ini hasil pelepasan beban menurut sensitivitas bus, dan MLS PLN.

3.3.1. Skenario Pelepasan Beban berdasarkan MLS PLN

Setelah dilakukan skenario pelepasan beban, maka akan dihasilkan respon frekuensi seperti Gambar 11.

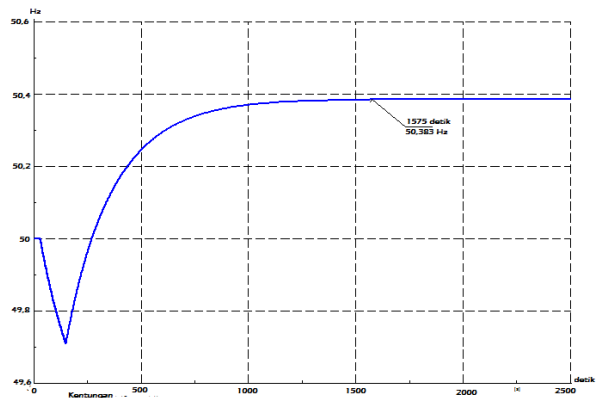


Gambar 11. Grafik skenario MLS PLN

Dengan menggunakan pelepasan beban manual menurut data milik PLN, frekuensi stabil pada frekuensi 50,393 Hz. Frekuensi tidak kembali pada frekuensi kondisi pembebanan normal Subsistem Pedan karena beban yang ditambahkan tidak sesuai dengan beban yang dilepas

3.3.2. Skenario Pelepasan Beban Berdasarkan dV/dQ

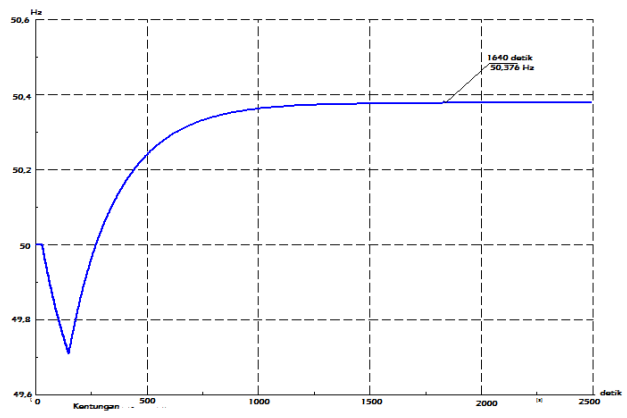
Setelah dilakukan skenario pelepasan beban berdasarkan dV/dQ terpusat, maka akan dihasilkan respon frekuensi seperti Gambar 12.



Gambar 12. Grafik skenario MLS berdasarkan dV/dQ terpusat

Dengan menggunakan pelepasan beban manual berdasarkan sensitivitas bus, frekuensi kembali normal dan stabil pada frekuensi 50,383 Hz. Frekuensi tidak kembali pada frekuensi kondisi pembebanan normal Subsistem Pedan karena beban yang ditambahkan tidak sesuai dengan beban yang dilepas.

Setelah dilakukan skenario pelepasan beban berdasarkan dV/dQ tersebar, maka akan dihasilkan respon frekuensi seperti Gambar 13..



Gambar 13. Grafik skenario MLS berdasarkan dV/dQ tersebar

Dengan menggunakan pelepasan beban manual berdasarkan sensitivitas bus tersebar pada Gambar 13., frekuensi kembali normal dan stabil pada frekuensi 50,376 Hz. Frekuensi tidak kembali pada frekuensi kondisi normal Subsistem Pedan karena beban yang ditambahkan tidak sesuai dengan beban yang dilepas.

Dari ketiga metode pelepasan beban yang dilakukan, metode pelepasan menurut dV/dQ dengan pemutusan dan tersebar terpusat menghasilkan frekuensi yang paling baik karena paling mendekati frekuensi Subsistem Pedan saat kondisi pembebanan normal. Pelepasan beban menurut dV/dQ yang besar berarti melakukan penurunan tegangan sistem yang berdampak pada turunnya daya aktif beban.

4. Kesimpulan

Dengan menggunakan beberapa kondisi penggunaan AVR dan *governor*, didapat nilai frekuensi Subsistem Pedan pada kondisi saat pembebanan normal sebesar 50 Hz. Setelah dilakukan 8 skenario penurunan tegangan pada Subsistem Pedan, tidak ditemukan kondisi dimana tegangan pada Busbar Pedan sebesar 140 kV dan pada busbar terendah sebesar 120 kV. Hal tersebut berarti SOP UV Ungaran tahun 2014 tidak dapat diimplementasikan pada Subsistem Pedan dengan data kondisi kelistrikan pada DIGSILENT Desember 2015. Pada skenario penambahan beban dalam Subsistem Pedan, pada Busbar Pedan tegangan sebesar 140,2 kV tetapi pada busbar terendah sebesar 135,64 kV.

Dalam melaksanakan simulasi skenario *manual load shedding* pada Subsistem Pedan, kondisi saat Subsistem Pedan menggunakan AVR dan *governor* menghasilkan frekuensi dengan nilai terbaik karena paling mendekati frekuensi Subsistem Pedan saat kondisi pembebanan normal. Hal itu dikarenakan pemasangan *governor* pada pembangkit dapat mengontrol keluaran daya melebihi daya terpasang sesuai dengan kebutuhan sistem sehingga dapat mempengaruhi kestabilan frekuensi, dan AVR dapat mengatur tegangan keluaran pada generator sehingga mempengaruhi daya pada beban.

Pelepasan beban secara manual lebih baik dilakukan dengan metode *sensitivitas bus* (dV/dQ) baik secara tersebar maupun terpusat karena dengan besar daya aktif pemutusan yang sama, dapat menghasilkan frekuensi terbaik yang mendekati kondisi pembebanan normal Subsistem Pedan. Dimana frekuensi yang dihasilkan saat menggunakan data MLS PLN sebesar 50,393 Hz, pada saat MLS penggunaan dV/dQ terpusat menghasilkan frekuensi sebesar 50,383 Hz dan pada saat MLS penggunaan dV/dQ tersebar menghasilkan frekuensi sebesar 50,376 Hz.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan perhitungan parameter yang ada pada pengaturan AVR dan *governor* dan melakukan pelepasan beban dengan metode yang berbeda.

Referensi

- [1]. "Data DigSilet Power Factory 14.1 Sistem Kelistrikan Jawa Bali," PT. PLN (Persero), Ungaran, Desember 2014.
- [2]. Djiteng, Marsudi. *Operasi Tenaga Listrik*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- [3]. Baruna, Teguh. "Perancangan Sistem Pelepasan Beban Pada Pembangkit Listrik Pertamina Talisman dengan Menggunakan Relay SR3B261FU", *Jurnal Desiminasi Teknologi*, Indonesia, 2015.
- [4]. Cahya A. H., Riski. "Strategi Meminimalkan *Load Shedding* Menggunakan Metode Sensitivitas untuk Mencegah *Voltage Collapsse* pada Sistem Kelistrikan Jawa-Bali 500 kV", Indonesia.
- [5]. "Prosedur Manual Load Shedding terkait Under Voltage Sub Sistem Jawa Tengah & DIY", PT PLN (Persero), Ungaran. 2014.
- [6]. "Data Pelepasan Skema Beban A & B Wilayah Distribusi Jawa Tengah & DIY", PT PLN (Persero), Maret, 2013.
- [7]. P. Joshi. "Load Shedding Algorithm Using Voltage and Frequency Data", *Clemson University*, South California, 2007.
- [8]. P.M., Anderson, "Protection Againts Abnormal System Frequency in Power System Protection", *IEEE Press*, 1999.
- [9]. Prabha, Kundur. *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill. Inc., United States of America, 1994.
- [10]. Hadi, Saadat. *Power System Analysis*. Kevin Kane, New York, 1999.
- [11]. Abidin, Zainal. "Dampak Pemasangan Peralatan FACTS terhadap Stabilitas Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik", *Transmisi*, Vol.16, No.3, 2014.
- [12]. Parohon T. T., Rio. "Simulasi Pelepasan Beban (Load Shedding) pada Sistem Jaringan Distribusi Tragi Sibolga 150/20 kV (Studi Kasus pada Penyulang Tragi Sibolga, Sumut)", *Transient*, Vol.2, No.3, September 2013.
- [13]. Rubianto, Triwahyu. "Studi Load Shedding pada Sistem Kelistrikan Pengeboran Minyak Lepas Pantai, Kasus di Perusahaan X", *REKA ELKOMIKA*, Vol.1, No.2, 2013.