

ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN KELISTRIKAN PADA SUBSISTEM UNGARAN

Riswandha Prasdiamaja^{*)}, Juningtyastuti, and Mochammad Facta

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

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

Abstrak

Sistem tenaga listrik dalam skala besar memiliki resiko terjadinya ketidakstabilan berupa gangguan yang berhubungan dengan tegangan dan frekuensi. Gangguan tersebut dapat menyebabkan terjadinya kondisi undervoltage pada sistem. PT. PLN APB JATENG dan DIY memiliki skema prosedur manual load shedding terkait undervoltage berupa SOP UVLS 2014. Tujuan dari penelitian adalah melakukan analisis pengaruh pemasangan AVR dan governor terhadap kestabilan tegangan subsistem Ungaran jika terjadi gangguan serta membandingkan skema pelepasan beban berdasarkan SOP UVLS tahun 2014 dan metode sensitivitas bus. Kurva P-V, Q-V, dan sensitivitas bus diterapkan untuk menganalisis profil tegangan yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan tegangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan governor dan AVR sangat penting dalam mencegah undervoltage. Berdasarkan kurva P-V, Q-V dan sensitivitas bus, maka bus Pekalongan dan Pemalang yang memiliki injeksi daya kritis 132,653MW-108,75MVA_r dan 159,17MW-115,75MVA_r serta nilai sensitivitas sebesar 0,00130863 dan 0,00120584 merupakan busbar yang paling mudah mengalami undervoltage. Skema pelepasan beban berdasarkan sensitivitas bus memiliki rata-rata kenaikan 1,944 kV sedangkan berdasarkan SOP UVLS 2014 memiliki rata-rata kenaikan 0,852 kV.

Kata kunci : pelepasan beban, kurva P-V dan Q-V, sensitivitas bus, stabilitas tegangan

Abstract

Electric power systems on a large scale have the risk of power system instability that associated with voltage and frequency which could cause undervoltage conditions on the system. PT. PLN APB JATENG and DIY have a manual procedures undervoltage load shedding scheme in SOP UVLS 2014. The purpose of the research was to analyze the influence of AVR and governor on stability of Ungaran subsystem in case of disturbances and to compare both of load shedding scheme. P-V curves, Q-V curves, and the sensitivity bus were applied to analysis voltage profiles in order to get level of stability. The simulation results showed that the use of governor and AVR are very important in preventing undervoltage. Based on P-V curves, Q-V curves, and sensitivity bus, at Pekalongan and Pemalang which has critical power injection 132,653MW-108,75MVA_r and 159,17MW-115,75MVA_r and sensitivity values 0,00130863 and 0,00120584 were the easiest busbars to get undervoltage compare with other busbars. Load shedding scheme based on the sensitivity of the bus had an average increase of 1,944 kV while based SOP UVLS 2014 have an average increase of 0,852 kV.

Keywords : load shedding, P-V and Q-V Curves, bus sensitivity, voltage stability

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik dalam skala besar memiliki potensi resiko terjadinya ketidakstabilan sistem tenaga. Salah satu potensi tersebut adalah gangguan yang berhubungan dengan tegangan dan frekuensi. Saat terjadi gangguan dimungkinkan terjadi perubahan frekuensi, tegangan, ataupun keduanya. Subsistem Ungaran merupakan bagian dari sistem kelistrikan Jawa Tengah yang memiliki beban terbesar dibandingkan dengan subsistem lain. Tercatat pada bulan Desember 2015 beban malam di Subsistem

Ungaran adalah 3938,38 MW dengan 1531,25 MW adalah beban (*internal*) dan 2407,13 MW adalah beban (*external*). Jumlah daya yang disuplai ke subsistem adalah sebesar 4346,45 MW [1]. Subsistem Ungaran memiliki prosedur penanggulangan kondisi *undervoltage* berupa SOP *Undervoltage Load Shedding* Jawa Tengah dan DIY yang diterapkan pada tahun 2014 [2]. Analisis stabilitas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kestabilan subsistem Ungaran. Analisis dilakukan dengan mengamati pengaruh pemasangan AVR dan *governor* terhadap respon tegangan saat terjadi gangguan pada

sistem. Analisis juga dilakukan dengan kurva P-V, kurva Q-V, dan sensitivitas bus (dV/dQ) [3],[4]. Analisis sensitivitas dapat memberikan pilihan tindakan dalam menyelesaikan ketidakstabilan tegangan pada sistem berupa pelepasan beban (*load shedding*) [5],[6]. Analisis yang dilakukan berbasis simulasi dengan bantuan perangkat lunak DIGSILENT 14.1.3.

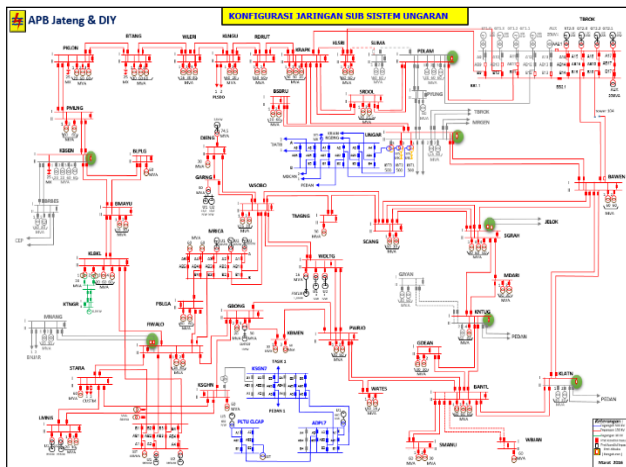
Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh pemakaian Governor dan AVR pada simulasi menaikkan beban dan melepas sumber pasokan daya pada subsistem Ungaran.
2. Mengamati dan menganalisis perubahan respon tegangan setelah dilakukan simulasi menaikkan beban dan melepas sumber pasokan daya pada subsistem Ungaran yang merujuk pada SOP *Under Voltage Load Shedding* Jateng dan DIY tahun 2014.
3. Membandingkan dan menganalisis metode pemulihan tegangan terbaik antara skema pelepasan beban SOP *Under Voltage Load Shedding* Jateng dan DIY tahun 2014 dengan skema pelepasan beban berdasarkan sensitivitas bus (dV/dQ).

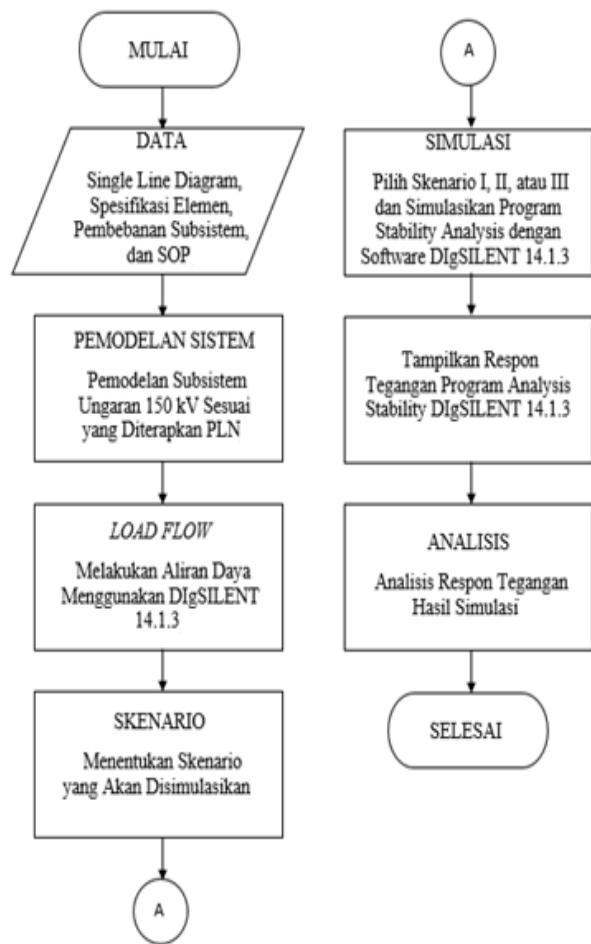
2. Metode

Subsistem Ungaran telah dibuat sesuai dengan data milik PLN dengan beberapa penyesuaian agar hasil aliran daya yang mirip. Hasil aliran daya simulasi yang dibuat telah divalidasi dengan data DIGSILENT sistem kelistrikan Jawa-Bali yang dimiliki oleh PLN. Sebelum dilakukan skenario simulasi, terlebih dahulu dilakukan pengamatan pada subsistem Ungaran pada kondisi pembebanan normal. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.

2.1. Data Subsistem Ungaran



Gambar 1. Subsistem Ungaran [7]

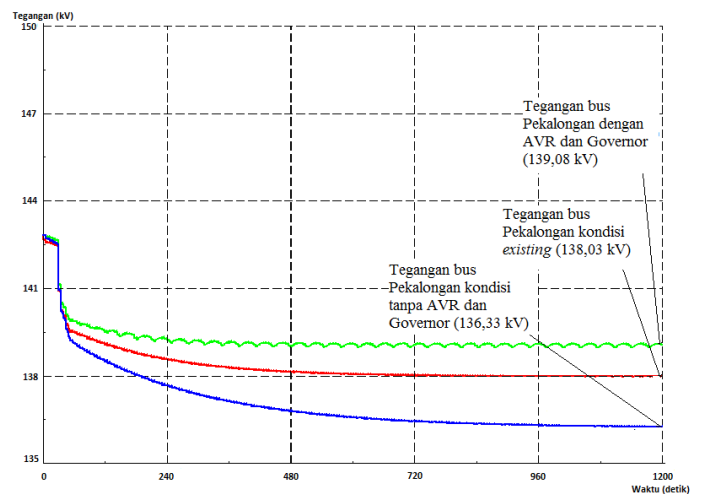


Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

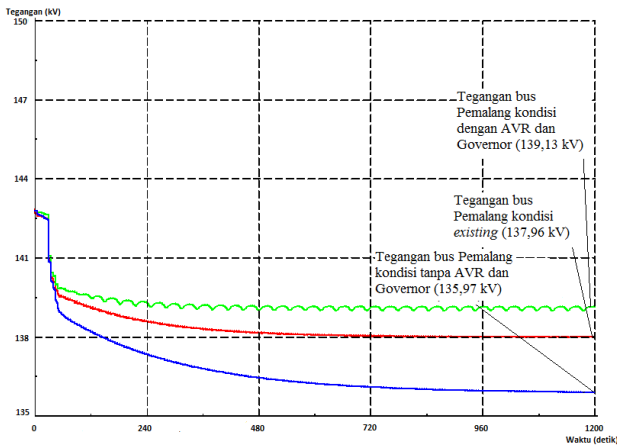
3. Hasil dan Analisa

3.1. Skenario I

3.1.1. Kenaikan Beban Internal Subsistem Ungaran



Gambar 3. Respon tegangan bus Pekalongan

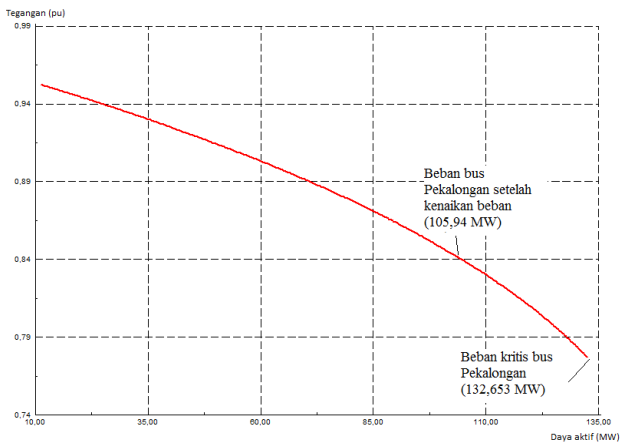


Gambar 4. Respon tegangan bus Pemalang

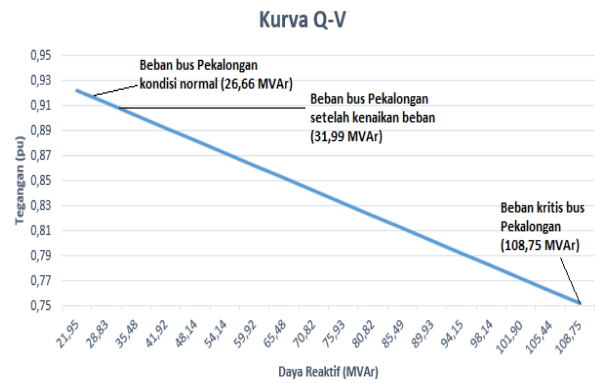
Tabel 1. Tegangan bus setelah kenaikan beban internal

Kondisi	Tegangan bus (kV)	
	Pekalongan	Pemalang
Dengan AVR-Gov	139,08	139,13
Tanpa AVR-Gov	136,33	135,97
Exisiting	138,03	137,96

Dari Gambar 3. dan 4. dapat dilihat bahwa respon tegangan yang menggunakan AVR-Gov memiliki hasil terbaik karena respon tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Dari Tabel 1 tegangan terbaik adalah kondisi AVR dan Gov. Fluktuasi tegangan pada kondisi AVR dan Governor sebesar 0,1% masih dalam batas normal yaitu 2 % [8]. Pengaruh kenaikan daya aktif dan reaktif di sisi beban dapat digambarkan dengan kurva P-V dan Q-V.

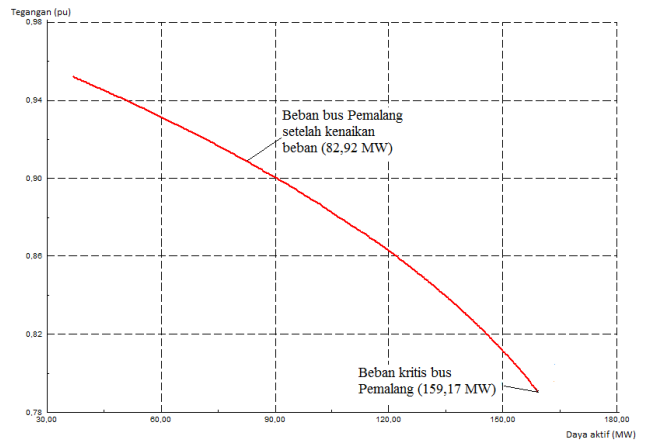


Gambar 5. Kurva P-V bus Pekalongan

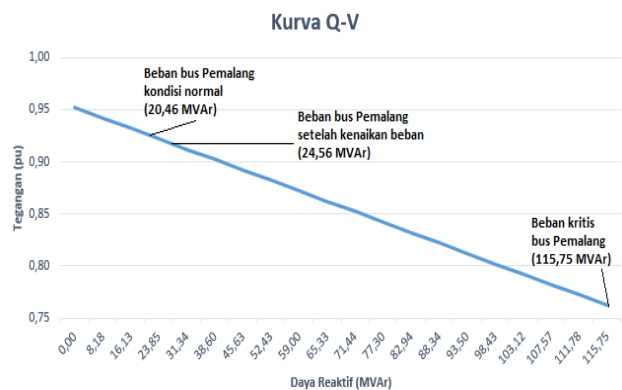


Gambar 6. Kurva Q-V bus Pekalongan

Dari Gambar 5. dan 6. dapat dilihat bahwa semakin besar daya aktif dan reaktif pada bus Pekalongan maka tegangan akan semakin turun. Kedua kurva juga menunjukkan batas pembebanan kritis, jika melebihi batas tersebut maka tegangan bus tersebut akan mengalami ketidakstabilan.



Gambar 7. Kurva P-V bus Pemalang



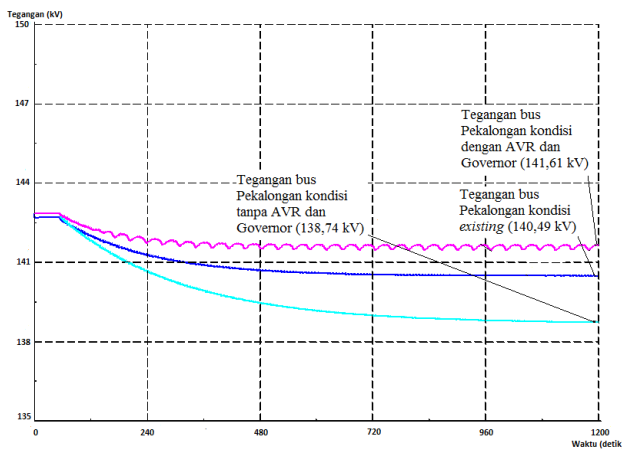
Gambar 8. Kurva Q-V bus Pemalang

Dari Gambar 7. dan 8. dapat dilihat bahwa semakin besar daya aktif dan reaktif pada bus Pemalang maka tegangan akan semakin turun. Kedua kurva juga menunjukkan batas pembebanan kritis, jika melebihi batas tersebut maka tegangan bus tersebut akan mengalami ketidakstabilan.

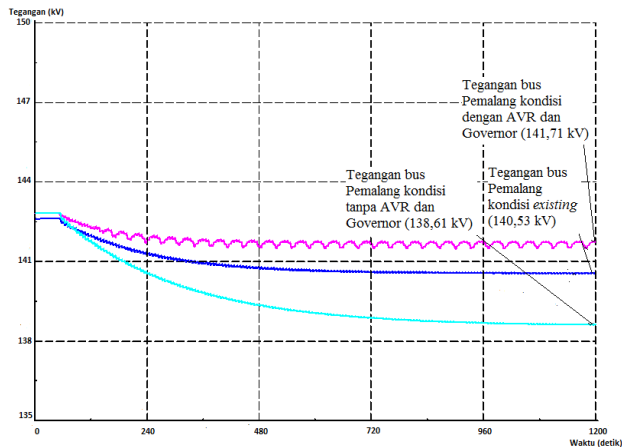
3.1.2. Kenaikan beban eksternal subsistem Ungaran

Tabel 2 . Tegangan setelah kenaikan beban eksternal

Kondisi	Tegangan bus (kV)	
	Pekalongan	Pemalang
Dengan AVR-Gov	141,61	141,71
Tanpa AVR-Gov	138,74	138,61
Exisiting	140,49	140,53



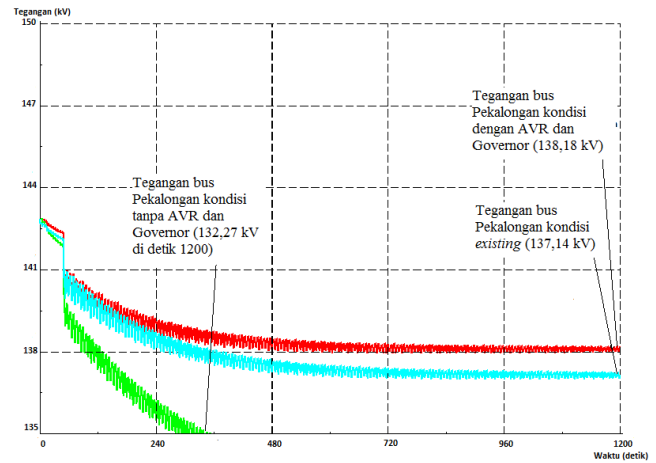
Gambar 9. Respon tegangan bus Pekalongan



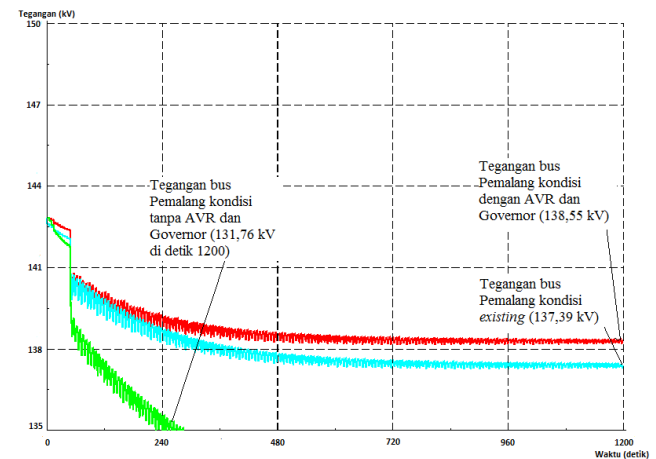
Gambar 10. Respon tegangan bus Pemalang

Dari Gambar 9. dan 10. dapat dilihat bahwa respon tegangan yang menggunakan AVR-Gov memiliki hasil terbaik karena respon tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Fluktuasi tegangan pada kondisi AVR dan Governor sebesar 0,1% masih dalam batas normal yaitu 2 % [8]. Dari Tabel 2 tegangan terbaik adalah kondisi AVR dan Gov

3.1.3. Lepasnya Generator Subsistem Ungaran



Gambar 11. Respon tegangan bus Pekalongan



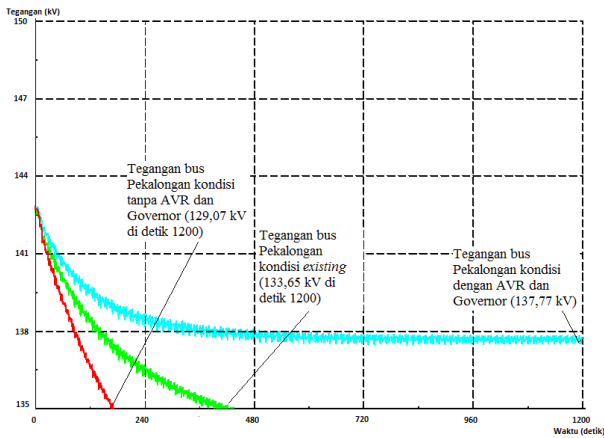
Gambar 12. Respon tegangan bus Pemalang

Tabel 3. Tegangan setelah lepasnya generator

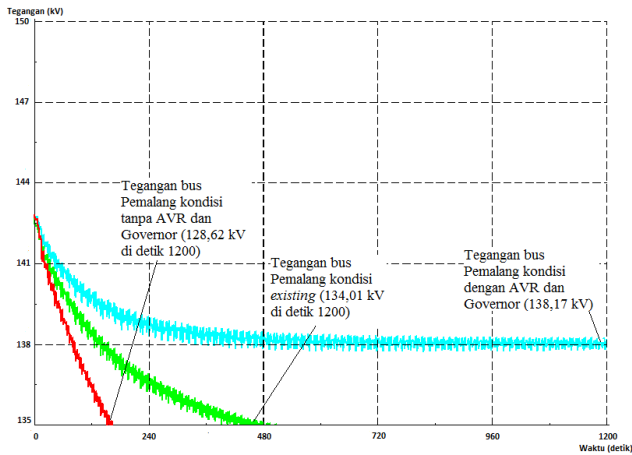
Kondisi	Tegangan bus (kV)	
	Pekalongan	Pemalang
Dengan AVR-Gov	138,18	138,35
Tanpa AVR-Gov	132,37	131,76
Exisiting	137,14	137,39

Dari Gambar 11. dan 112. dapat dilihat bahwa respon tegangan yang menggunakan AVR-Gov memiliki hasil terbaik karena respon tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Kondisi *undervoltage* terjadi pada kondisi tanpa AVR-Gov. Osilasi pada respon tegangan terjadi karena pembangkit yang masih menyuplai pada subsistem Ungaran tidak dapat secara cepat menanggulangi perubahan pasokan daya. Dari Tabel 3 tegangan terbaik adalah kondisi AVR dan Gov

3.1.4. Lepasnya Jala-jala Subsistem Ungaran



Gambar 13. Respon tegangan bus Pekalongan



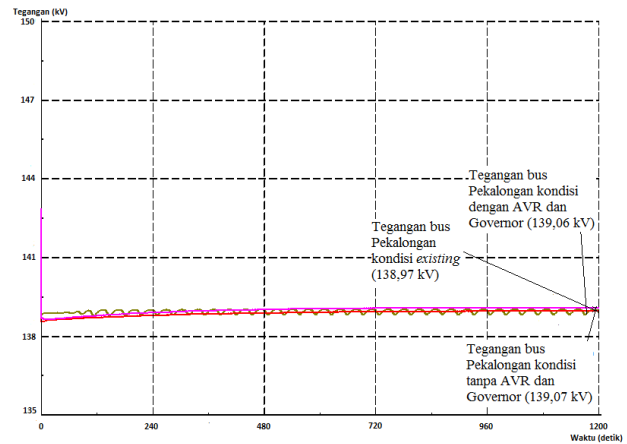
Gambar 14. Respon tegangan bus Pemalang

Tabel 4. Tegangan setelah lepasnya jala-jala

Kondisi	Tegangan bus (kV)	
	Pekalongan	Pemalang
Dengan AVR-Gov	137,77	138,17
Tanpa AVR-Gov	129,07	128,62
Existing	133,65	134,01

Dari Gambar 13. dan 14. dapat dilihat bahwa respon tegangan yang menggunakan AVR-Gov memiliki hasil terbaik karena respon tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Kondisi *undervoltage* terjadi pada kondisi tanpa AVR-Gov dan *existing*. Osilasi pada respon tegangan terjadi karena hilangnya pasokan daya aktif maupun reaktif, osilasi yang terjadi pada skenario ini tidak sebesar ketika generator lepas disebabkan dalam skenario ini subsistem tidak kehilangan komponen pegatur tegangan yaitu AVR. Dari Tabel 4 tegangan terbaik adalah kondisi AVR dan Gov.

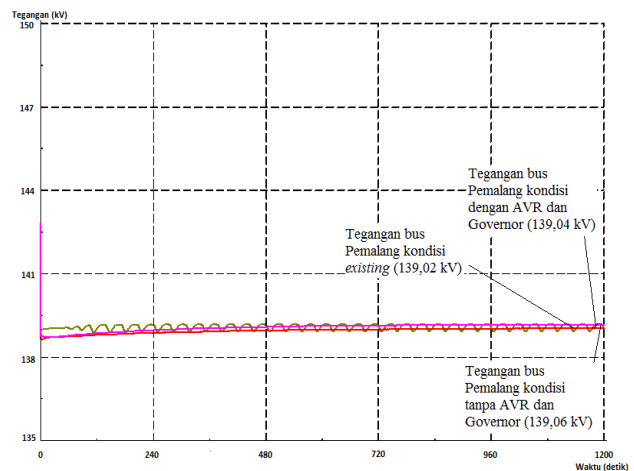
3.1.5. Lepasnya Kapasitor Subsistem Ungaran



Gambar 15. Respon tegangan bus Pekalongan

Tabel 5. Tegangan setelah lepasnya kapasitor

Kondisi	Tegangan bus (kV)	
	Pekalongan	Pemalang
Dengan AVR-Gov	139,06	139,04
Tanpa AVR-Gov	139,07	139,06
Existing	138,97	139,02

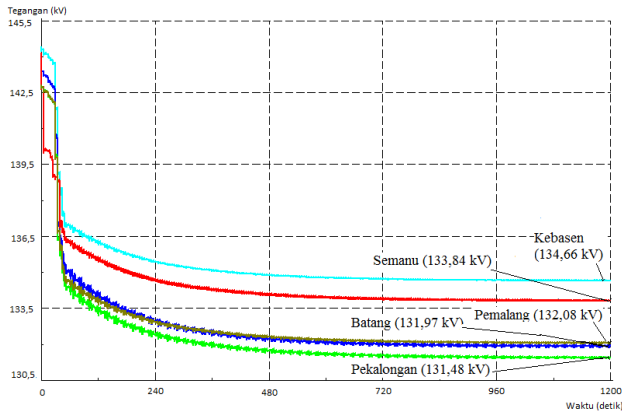


Gambar 16. Respon tegangan bus Pemalang

Gambar 15. dan 16. menunjukkan respon tegangan kondisi dengan AVR dan Governor mengalami penurunan tegangan yang lebih kecil dari pada respon tegangan kondisi lain setelah lepasnya kapasitor. Fluktuasi tegangan pada kondisi AVR dan Governor sebesar 0,1% masih dalam batas normal yaitu 2 % [8]. Dari Tabel 5 tegangan terbaik adalah kondisi tanpa AVR dan Gov.

3.2. Skenario II

Simulasi ini dibuat untuk mengkaji SOP terkait *Under Voltage* Jawa Tengah dan DIY tahun 2014. Gambar 15. menyajikan respon tegangan bus *undervoltage*.



Gambar 17. Respon tegangan setelah kenaikan beban skenario II

Tabel 6. Tegangan bus *undervoltage*

Bus	Tegangan (kV)
BATANG	131,97
SEMANU	133,84
PEKALONGAN	131,48
PEMALANG	132,08
KEBASEN	134,66

Gambar 17. menunjukkan bahwa kondisi *undervoltage* terjadi di bus Semanu, Pekalongan, Pemalang, Batang, dan Kebasen. Besarnya penurunan tegangan pada bus yang mengalami *undervoltage* juga disebabkan oleh sensitivitas bus.

Tabel 7. Nilai sensitivitas bus *undervoltage*

Bus	Sesitivitas bus
BATANG	0,00131581
SEMANU	0,00131041
PEKALONGAN	0,00130863
PEMALANG	0,00120584
KEBASEN	0,00104464

Tabel 7. menyajikan nilai sensitivitas bus yang mengalami *undervoltage*. Semakin tinggi nilai sensitivitas bus maka akan semakin sensitif bus tersebut dengan perubahan daya aktif dan daya reaktif.

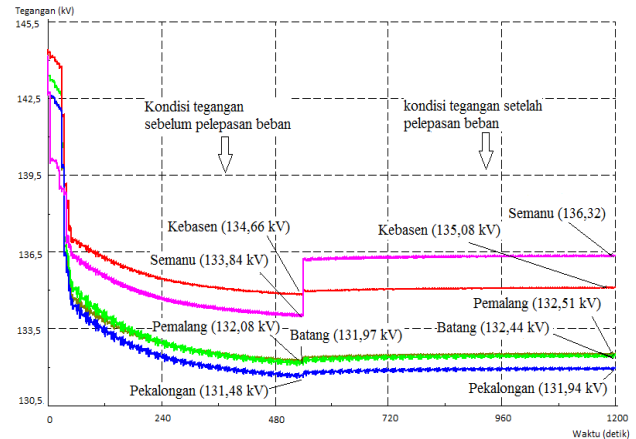
3.3. Skenario III

Skenario ini dilakukan untuk menanggulangi kondisi *undervoltage* yang terjadi pada skenario II berupa pelepasan beban berdasarkan SOP dan skema sensitivitas bus.

3.3.1 Pelepasan beban berdasarkan SOP UVLS JTD 2014

Tabel 8. Besar beban yang dilepas skema SOP

Beban	Daya Aktif (MW)	Prossentase beban yang dilepas (%)
BNTUL_TD1	40,15	100
SMANU_TD2	14,85	86,32



Gambar 18. Respon tegangan setelah pelepasn beban skema SOP UVLS

Dari Gambar 18. didapatkan besarnya kenaikan tegangan yang disajikan Tabel 9.

Tabel 9. Nilai tegangan setelah pelepasn beban skema SOP

Kondisi	Tegangan (kV)		ΔV
	Sebelum LS	Setelah LS	
BATANG	131,97	132,44	0,47
SEMANU	133,84	136,32	2,48
PEKALONGAN	131,48	131,94	0,46
PEMALANG	132,08	132,51	0,43
KEBASEN	134,66	135,08	0,42

Pelepasan beban sebesar 55 MW di daerah Yogyakarta menaikkan tegangan sebesar 2,48 kV di Semanu sehingga bus tersebut tidak mengalami kondisi *undervoltage*. Bus di daerah Pekalongan tidak mengalami kenaikan sebesar di Semanu sehingga masih mengalami kondisi *undervoltage* [9]. Rata-rata kenaikan tegangan sebesar 0,852 kV. Besarnya perbedaan kenaikan tegangan pada setiap bus menunjukkan pelepasan berdasarkan SOP tidak menaikkan tegangan secara merata di bus yang mengalami *undervoltage*.

3.3.2 Pelepasan beban skema sensitivitas bus

Besar beban yang dilepas pada skema ini dapat dihitung dengan Persamaan 1 [5].

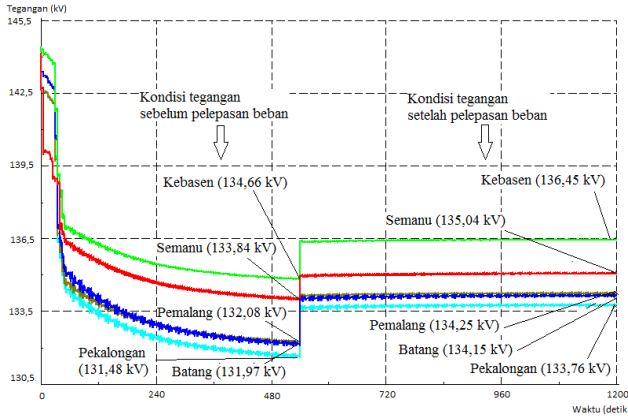
$$S_i = \frac{\left(\frac{dV_i}{dQ_i}\right)}{\left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{dV_i}{dQ_i}\right)\right]} \times P.diff \quad (1)$$

dimana :

dV/dQ = Sensitivitas busbar

S_i = Beban yang dilepas pada busbar

P.diff = Total beban yang dilepas



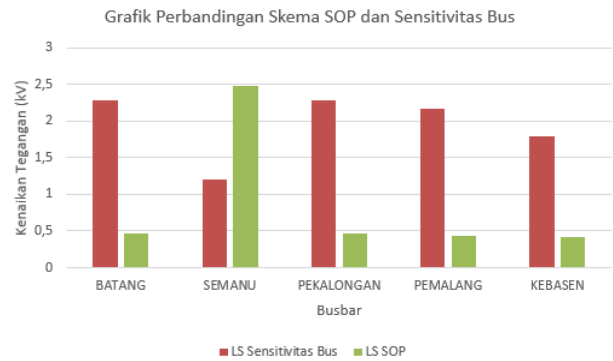
Gambar 19. Respon tegangan setelah pelepasn beban skema sensitivitas bus

Dari Gambar 19. didapatkan besarnnta kenaikan tegangan yang disajikan Tabel 10.

Tabel 10. Nilai tegangan setelah pelepasan beban skema sensitivitas bus

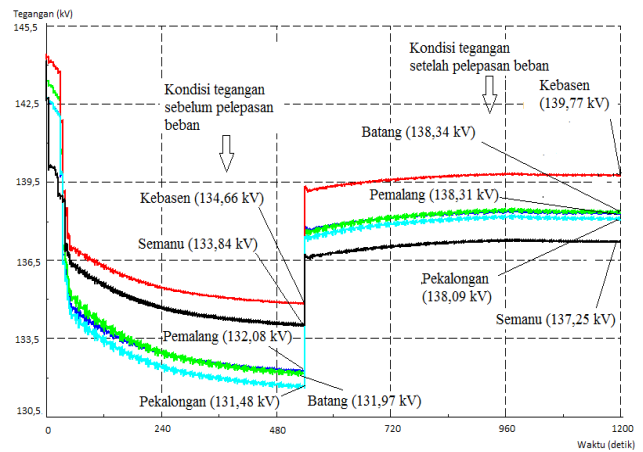
Kondisi	Tegangan (kV)		
	Sebelum LS	Setelah LS	ΔV
BATANG	131,97	134,15	2,28
SEMANU	133,84	135,04	1,2
PEKALONGAN	131,48	133,76	2,28
PEMALANG	132,08	134,25	2,17
KEBASEN	134,66	136,45	1,79

Pelepasan beban sebesar 55 MW skema sensitivitas bus dapat menaikkan tegangan di bus Kebasen dan Semanu sampai melebihi batas normal [9]. Bus Pekalongan, Pemalang, dan Batang mengalami kenaikan yang lebih besar dibanding Kebasen dan Semanu namun belum bisa sampai batas normal tegangan [9]. Rata-rata kenaikan tegangan sebesar 1,944 kV. Pelepasan skema sensitivitas bus menaikkan tegangan secara merata di bus yang mengalami *undervoltage*.



Gambar 20. Perbandingan kenaikan tegangan skema SOP dan sensitivitas bus

Kriteria yang menjadi perbandingan adalah pengaruh kenaikan tegangan ke subsistem Ungaran, terutama di bus yang mengalami kondisi *undervoltage*. Dari kedua skema dapat diketahui bahwa skema SOP UVLS menaikkan dengan rata-rata kenaikan tegangan 0,852 kV. Skema sensitivitas bus dengan rata-rata kenaikan tegangan 1,944 kV. Dengan perbandingan tersebut maka skema sensitivitas lebih efektif untuk menaikkan tegangan bus *undervoltage*. Pelepasan beban dengan skema sensitivitas bus akan disimulasikan kembali dengan besarnya pelepasan beban memperhatikan selisih antara pasokan daya dan beban saat kondisi subsistem Ungaran. Besarnya beban yang dilepas dapat dihitung dengan Persamaan (1).



Gambar 21. Respon tegangan setelah pelepasn beban skema sensitivitas bus

Dari Gambar 21. didapatkan besarnnta kenaikan tegangan yang disajikan Tabel 11.

Tabel 11. Nilai tegangan setelah pelepasan beban skema sensitivitas bus

Kondisi	Tegangan (kV)		
	Sebelum LS	Setelah LS	ΔV
BATANG	131,97	138,34	6,37
SEMANU	133,84	137,25	3,41
PEKALONGAN	131,48	138,09	6,61
PEMALANG	132,08	138,31	6,23
KEBASEN	134,66	139,76	5,11

Pelepasan beban sebesar 170,857 MW skema sensitivitas bus dapat menaikkan tegangan semua bus *undervoltage* sampai melebihi batas normal [9]. Total kenaikan tegangan dengan rata-rata 5,55 kV.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi skenario gangguan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kondisi subsistem Ungaran menggunakan AVR dan Governor tegangan lebih cepat stabil dan dapat mencegah terjadinya *undervoltage*. Pada skenario SOP *Undervoltage* Jateng dan DIY tahun 2014 kondisi subsistem Ungaran tidak mencapai kondisi yang diinginkan karena perbedaan beban, konfigurasi jaringan, dan aliran daya. Pelepasan beban skema sensitivitas bus memiliki rata-rata kenaikan tegangan 1,944 kV dan SOP *Undervoltage* Jateng dan DIY tahun 2014 memiliki rata-rata 0,852 kV sehingga skema sensitivitas bus lebih efektif. Pelepasan beban dengan beban yang dilepas adalah selisih antara pasokan dan kenaikan dapat menaikkan tegangan dengan rata-rata 5,55 kV sehingga subsistem Ungaran tidak mengalami *undervoltage*.

Referensi

- [1]. "Data DIgSILENT Power Factory 14.1.3 Sistem Kelistrikan Jawa Bali," PT. PLN (Persero), Ungaran, Desember 2015.
- [2]. "SOP *Under Voltage Load Shedding* Jawa tengah dan DIY", PT. PLN (Persero), 2014.
- [3]. Thannimalai, Pavithren. dkk, "Voltage Stability Analysis and Stability Improvement of Power System", *International journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 5, no. 2, April 2015, hal 189-197.
- [4]. Bhaladhare, Snehal B. dkk, "P-V, Q-V Curve – A Novel Approach for Voltage Stability Analysis", *International Journal of Computer Applications*, 2013.
- [5]. Joshi, Poonam., "Load Shedding Algorithm Using Voltage and Frequency Data", All Theses, Paper 240, 2007.
- [6]. Ladhani, Shamir S. dkk, "Under Voltage Load Shedding for Voltage Stability : Overview of Concepts and Principles", IEEE, 2004.
- [7]. "Konfigurasi Jaringan Subsistem Ungaran", PT. PLN (Persero), Maret 2016.
- [8]. Peraturan Menteri ESDM Nomor 3 tahun 2007.
- [9]. SPLN Nomor 1 tahun 1995.