

ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN KELISTRIKAN PADA SUBSISTEM PEDAN

Berzelius Octa Natanael Gultom^{*}), Agung Nugroho, and Mochammad Facta

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

**E-mail: berzeliusgultom@gmail.com*

Abstrak

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. Gangguan tersebut dapat menyebabkan terjadinya kondisi undervoltage pada sistem. Kondisi undervoltage merupakan suatu gejala ketidakstabilan sistem. PT. PLN APB JATENG dan DIY sebagai perusahaan yang memegang peranan dalam pengaturan beban Jawa Tengah dan Yogyakarta. Peran tersebut adalah skema prosedur manual load shedding terkait undervoltage pada tahun 2014. Tujuan dari penelitian adalah melakukan analisis sejauh mana kestabilan tegangan subsistem Pedan jika terjadi gangguan. Pada penelitian ini, gangguan yang disimulasikan adalah kenaikan beban dan lepasnya suplai daya. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui respon tegangan dari setiap bus pada subsistem Pedan. Kurva P-V, Q-V, dan sensitivitas bus diterapkan untuk menganalisis profil tegangan yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan dan memberikan beberapa rekomendasi untuk menanggulangi undervoltage. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan governor dan AVR sangat penting dalam mencegah undervoltage. Berdasarkan kurva P-V, Q-V dan sensitivitas bus, Sragen dan Gejayan dimana memiliki injeksi daya kritis 90,909MW-20,994MVA_r dan 83,266MW-22,64MVA_r serta nilai sensitivitas sebesar 0.00142874 dan 0.00140879 merupakan busbar yang termudah mengalami undervoltage. Direkomendasikan pelepasan beban berdasarkan sensitivitas bus untuk menanggulangi undervoltage.

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

Abstract

Electric power systems on large scale has the potential risk power system instability. One such potential is a disturbance associated with voltage and frequency. A disturbance was cause undervoltage conditions on system. Undervoltage condition is a symptom of system instability. PT. PLN APB JATENG and DIY as accompany that has role regulating the load in Central Java and Yogyakarta. Thar role is a manual procedures undervoltage load shedding scheme in year 2014. The purpose of the research was carried out to analyze the stability of Pedan subsystem incase of disturbances. In this research, disturbances were simulated as load increment and loss of power supplies. These simulations were conducted to observe voltage responses of all buses at Pedan subsystem. P-V curves, Q-V curves, and the sensitivity bus were applied to analysis voltage profiles in order to get level of stability and several recommendation overcome undervoltage. The simulation results showed that use of governor and AVR are very important in preventing undervoltage. Based on P-V curves, Q-V curves, and sensitivity bus, at Sragen and Gejayan which has critical power injection 90,909MW MW-20,994MVA_r and 83,266MW-22,64MVA_r and sensitivity values 0.00142874 dan 0.00140879 were the easiest busbars to get undervoltage compare with other busbars. To overcome undervoltage it is highly recommended to do load shedding based on the sensitivity of the busbar.

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 Pedan merupakan bagian dari sistem kelistrikan yang ada di Jawa Tengah. Tercatat pada bulan Desember 2015 beban malam di Subsistem

Pedan adalah 1587,52 MW dengan 924,54 MW adalah beban (*internal*) dan 663,18 MW adalah beban (*external*). Jumlah daya yang disuplai ke subsistem adalah sebesar 2474,2 MW. Subsistem Pedan tidak memiliki prosedur penanggulangan kondisi *undervoltage* berupa SOP *Undervoltage Load Shedding* Jawa Tengah dan DIY seperti yang diterapkan pada tahun 2014 pada subsistem Ungaran. Analisis stabilitas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kestabilan subsistem Pedan. Analisis dilakukan dengan mengamati pengaruh pemasangan AVR dan *governor* terhadap respon tegangan saat terjadi gangguan pada sistem. Analisis juga dilakukan dengan kurva P-V dan sensitivitas bus (dV/dQ). Kurva P-V untuk memberikan informasi mengenai batas wilayah operasi untuk daya aktif serta sensitivitas untuk pengaruh terhadap pembebanan pada suatu busbar[4]. Analisis sensitivitas dapat memberikan pilihan tindakan dalam menyelesaikan ketidakstabilan tegangan pada sistem berupa pelepasan beban (*load shedding*)[3]. Analisis yang dilakukan berbasis simulasi dengan bantuan perangkat lunak DIGSILENT 14.1.3.

Dalam sistem tenaga listrik, dibutuhkan keseimbangan antara daya mekanik dan daya elektrik[1]. Ketidakstabilan tegangan merupakan ketidakmampuan sistem untuk mempertahankan profil tegangan dalam batas yang diperbolehkan setelah terjadi gangguan atau perubahan konfigurasi sistem [2].

Sistem menjadi tidak stabil setelah terjadinya gangguan berat, misalnya gangguan sistem transmisi, perubahan beban secara tiba-tiba, terputusnya unit pembangkitan atau *switching* saluran[3].

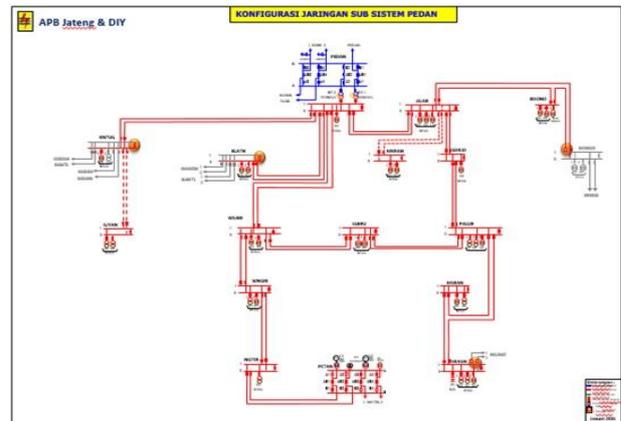
Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan analisis stabilitas tegangan untuk Subsistem Pedan pada kondisi pembebanan normal.
2. Menganalisa perubahan respon tegangan setelah simulasi gangguan dalam Subsistem Pedan merujuk pada SOP UV Subsistem Ungaran tahun 2014 karena SOP UV Subsistem Ungaran merupakan SOP terakhir yang dikeluarkan PT.PLN.
3. Melaksanakan analisis kestabilan tegangan di subsistem Pedan menggunakan kurva P-V dan Q-V untuk mendapatkan data kestabilan tegangan busbar

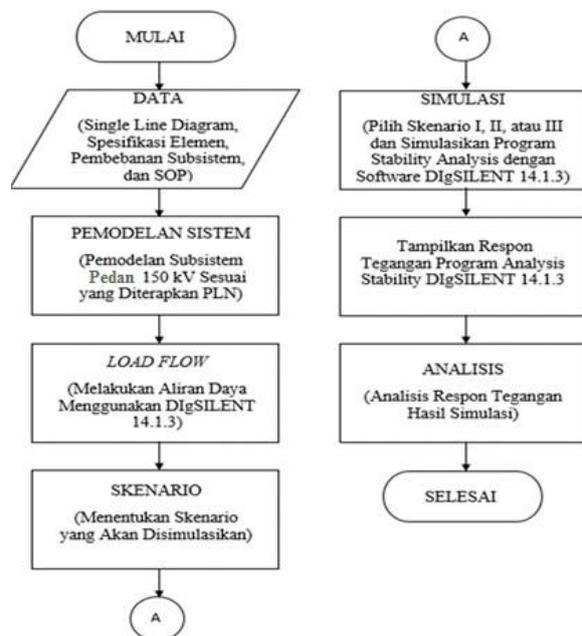
2. Metode

Subsistem Pedan 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.

3.1. Data Subsistem Pedan



Gambar 1. Subsistem Pedan



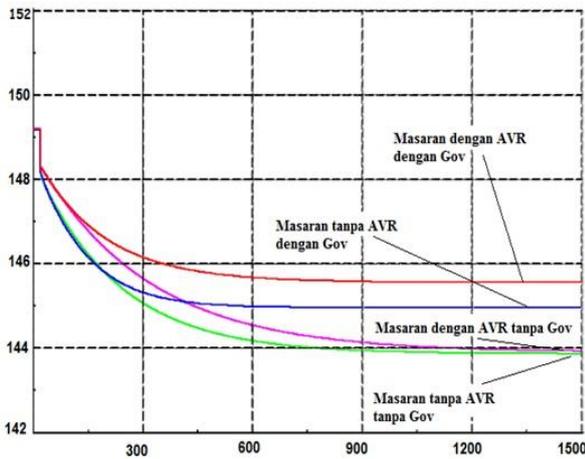
Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

3. Hasil dan Analisa

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dari simulasi skenario yang ada.

3.1. Skenario I

- Peningkatan Beban Internal Subsistem Pedan
Peningkatan beban internal subsistem Pedan sebesar 10% menyebabkan kenaikan sebesar 92,4 MW dan 20,59 MVAR. Respon tegangan yang diamati adalah tegangan terendah yang terjadi di Masaran.

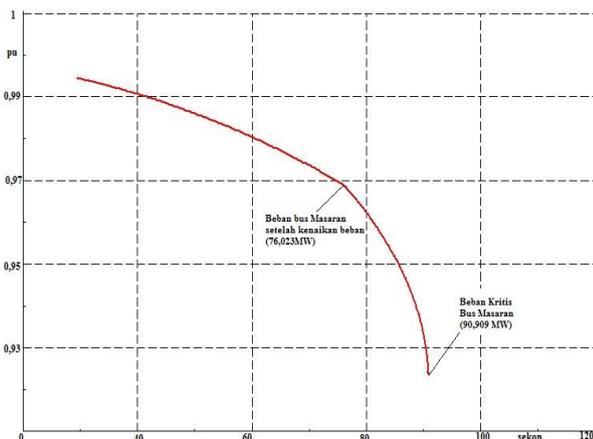


Gambar 3. Respon tegangan bus Masaran

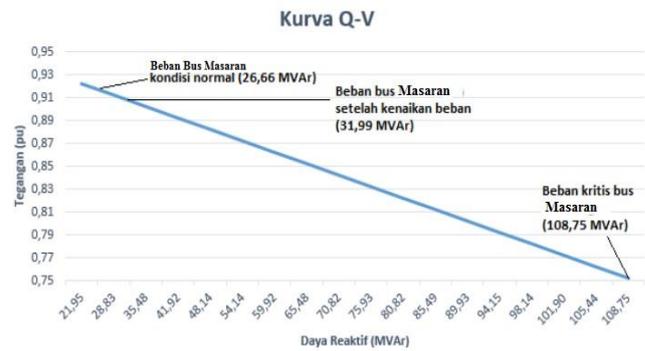
Tabel 1. Tegangan bus setelah kenaikan beban internal

Kondisi	Tegangan bus (kV)	
	Gondangrejo	Masaran
Dengan AVR-Gov	147,365	145,554
Tanpa AVR-Gov	145,77	143,869
Tanpa Gov	145,680	143,906
Tanpa AVR	146,909	144,960

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa respon tegangan yang menggunakan AVR-Gov memiliki hasil terbaik karena respon tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Keadaan tunak kondisi tersebut terjadi setelah detik ke 350, kondisi lain tunak setelah detik 1100. Fluktuasi tegangan pada kondisi AVR dan Governor sebesar 0,1% masih dalam batas normal yaitu 2 % (Peraturan Menteri ESDM No. 03 tahun 2007). Pengaruh kenaikan daya aktif dan reaktif di sisi beban dapat digambarkan dengan kurva P-V dan Q-V.



Gambar 4. Kurva P-V bus Masaran



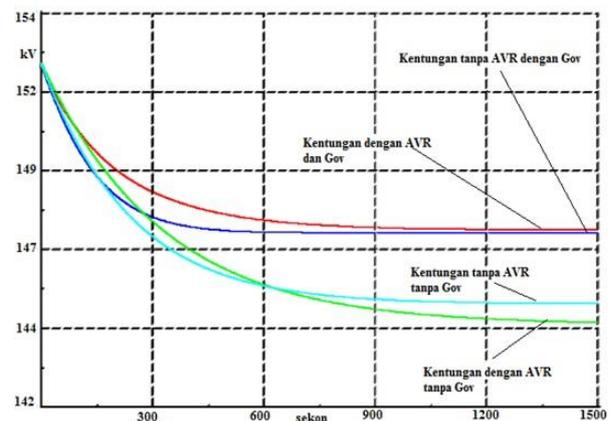
Gambar 5. Kurva Q-V bus Masaran

Dari Gambar 4. dan 5. dapat dilihat bahwa semakin besar daya aktif dan reaktif pada bus Masaran maka tegangan akan semakin turun. Kedua kurva juga menunjukkan batas pembebanan kritis, jika melebihi batas tersebut maka tegangan bus tersebut akan mengalami ketidakstabilan.

- Kenaikan beban eksternal subsistem Pedan Kenaikan beban luar subsistem Pedan sebesar 10% menyebabkan beban naik sebesar 66,31 MW dan 12,312 MVar. Respon tegangan yang diamati adalah bus dengan tegangan terendah yang terjadi di daerah Masaran

Tabel 2 . Tegangan setelah kenaikan beban eksternal

Kondisi	Tegangan bus (kV)	
	Gondangrejo	Masaran
Dengan AVR-Gov	147,365	141,71
Tanpa AVR	145,437	143,570
Tanpa Gov	143,259	141,685
Tanpa AVR-Gov	143,355	141,577



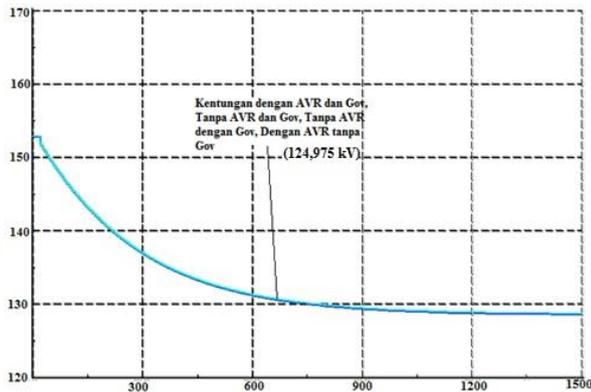
Gambar 6. Respon tegangan bus Kentungan

Dari Gambar 6. dapat dilihat bahwa respon tegangan yang menggunakan AVR-Gov memiliki hasil terbaik karena respon tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Keadaan tunak kondisi tersebut terjadi setelah detik ke 480, kondisi lain tunak setelah detik 720. Fluktuasi tegangan pada kondisi AVR dan Governor

sebesar 0,1% masih dalam batas normal yaitu 2 % (Peraturan Menteri ESDM No. 03 tahun 2007).

- Lepasnya Generator Subsistem Pedan

Percobaan skenario berupa lepasnya generator pada subsistem Pedan sebesar 252 MW dan 61,8 MVar. Respon tegangan yang diamati adalah bus dengan tegangan terendah yang terjadi di daerah Masaran dan Gondangrejo.



Gambar 7. Respon tegangan bus Kentungan

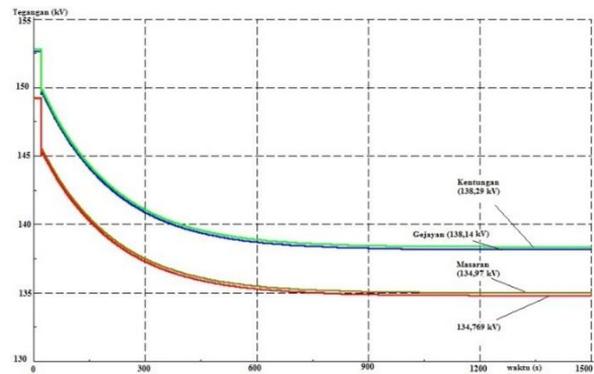
Tabel 3. Tegangan setelah lepasnya generator

Kondisi	Tegangan bus (kV)	
	Gondangrejo	Masaran
Dengan AVR-Gov	126,693	124,979
Tanpa AVR	125,123	123,275
Tanpa Gov	124,971	122,984
Tanpa AVR-Gov	122,567	121,573

Dari Gambar 7. 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 semua kondisi. Keadaan ini memerlukan operasi pemulihan tegangan. Pemulihan tegangan dilakukan karena tegangan tiap bus tidak memenuhi standart.

3.2. Skenario II

Simulasi ini dibuat untuk mengkaji SOP terkait *Under Voltage* Jawa Tengah dan DIY tahun 2014. Simulasi dilakukan selama 1500 detik dengan kondisi menggunakan Governor dan AVR. Hasil yang diamati adalah kondisi pembangkitan subsistem, beban dan tegangan di gardu induk 150 kV. Setelah dilakukan simulasi maka didapat bus yang mengalami kondisi *undervoltage*. Gambar 8. menyajikan respon tegangan bus *undervoltage*



Gambar 8. Respon tegangan setelah kenaikan beban Skenario II

Tabel 4. Tegangan pada bus Gondangrejo dan Masaran

Bus	Tegangan (kV)
SRAGEN	134,769
GEJAYAN	138,142
KENTUNGAN	138,329
MASARAN	134,975

Gambar 8. menunjukkan bahwa kondisi *undervoltage* terjadi di bus Masaran dan Sragen. Kenaikan beban sebesar 369.378MW dan 91,246 MVar mengakibatkan penurunan tegangan pada subsistem Pedan. Besarnya penurunan tegangan pada bus yang mengalami *undervoltage* juga disebabkan oleh sensitivitas bus.

Tabel 5 Nilai sensitivitas bus *undervoltage*

Bus	Sesitivitas bus
SRAGEN	0.00142874
GEJAYAN	0.00140879
KENTUNGAN	0.00138849
MASARAN	0.00137319

Tabel 5. 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.

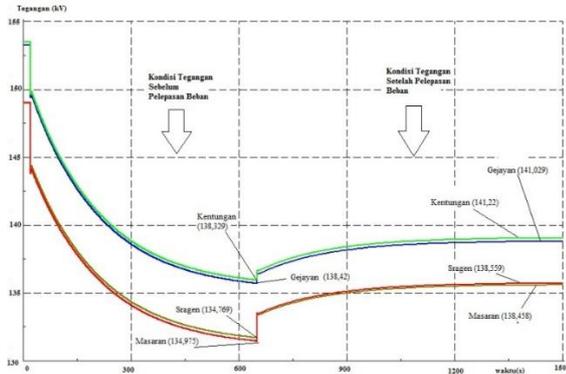
3.3. Skenario III

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

- Pelepasan beban berdasarkan SOP UVLS JTD 2014 Simulasi dilakukan selama 1500 detik dengan kondisi yang sama dengan skenario II yaitu kenaikan beban internal 40%. Tindakan pelepasan beban dilakukan pada detik ke 650 ketika respon tegangan sudah tunak. Tabel 8. menyajikan besar beban yang dilepas.

Tabel 5. Besar beban yang dilepas skema SOP

Beban	Daya Aktif (MW)	Prosentase beban yang dilepas (%)
SRAGEN_TD2	36,417	100
PALUR_TD1	18,582	54,37



Gambar 10. Respon tegangan setelah pelepasn beban skema SOP UVLS

Dari Gambar 10 didapatkan besarnnta kenaikan tegangan yang disajikan Tabel 6

Tabel 6. Nilai tegangan setelah pelepasan beban skema SOP

Kondisi	Tegangan (kV)		
	Sebelum LS	Setelah LS	ΔV
SRAGEN	134,769	138,559	3,79
GEJAYAN	138,142	141,029	2,88
KENTUNGAN	138,329	141,22	2,92
MASARAN	134,975	138,458	3,48

Dari tabel 6. ,didapatkan bahwa pelepasan beban sebesar 36,41 MW di daerah Sragen dan Palur sebesar 18,582 MW menaikkan tegangan sebesar 3,48 kV di Masaran, 2,92 kV di Kentungan, 2,88kV di Gejayan dan 3,79 kV di Sragen. Kondisi kenaikan tegangan tersebut mengakibatkan kondisi menjadi tidak *undervoltage*. Rata-rata kenaikan beban adalah 3,263 kV, Besarnya perbedaan kenaikan tegangan pada setiap bus menunjukkan pelepasan berdasarkan SOP dapat menaikkan tegangan.

- Pelepasan beban skema sensitivitas bus

Simulasi dilakukan selama 1500 detik dengan kondisi yang sama dengan skenario II. Tindakan pelepasan beban dilakukan pada detik ke 650 ketika respon tegangan sudah tunak. Besar beban yang dilepas pada skema ini dapat dihitung dengan Persamaan 1. Dan Tabel 10. menyajikan besar beban yang dilepas.

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

dimana :

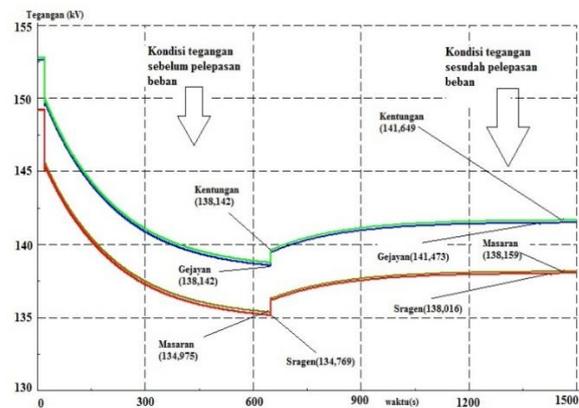
dV/dQ = Sensitivitas busbar

S_i = Beban yang dilepas pada busbar

P.diff = Total beban yang dilepas

Tabel 7. Besar beban yang dilepas skema sensitivitas bus

Beban	Daya Aktif (MW)	Prosentase beban yang dilepas (%)
SRAGEN_TD1	14,08	38,670
GEJAYAN_TD1	14,02	30,471
KENTUNGAN_TD4	14,00	44,303
MASARAN_TD2	12,90	43,961



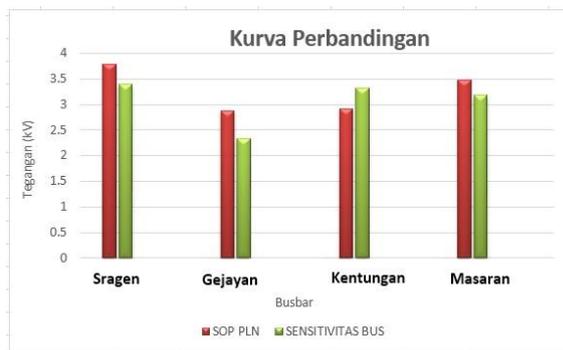
Gambar 11. Respon tegangan setelah pelepasn beban skema sensitivitas bus

Dari Gambar 19. didapatkan besarnnta kenaikan tegangan yang disajikan Tabel 8

Tabel 8. Nilai tegangan setelah pelepasan beban skema sensitivitas bus

Kondisi	Tegangan (kV)		
	Sebelum LS	Setelah LS	ΔV
SRAGEN	134,769	138,159	3,390
GEJAYAN	138,142	141,473	2,331
KENTUNGAN	138,329	141,649	3,320
MASARAN	134,975	138,159	3,184

Pelepasan beban sebesar 55 MW skema sensitivitas bus dapat menaikkan tegangan di bus Gejayan dan Kentungan 141kV dan 141,649kV. Kenaikan ini lebih besar jika dibandingkan dengan pelepasan beban SOP PLN. Rata-rata keniakan tegangan sebesar 3,306 kV. Pelepasan skema sensitivitas bus menaikkan tegangan secara merata di bus subsistem Pedan



Gambar 12. 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 tegangan sebesar 3,48kV di bus *undervoltage* dengan rata-rata kenaikan tegangan 3,26 kV. Kenaikan terbesar di Sragen sebesar 3,79 kV. Skema sensitivitas bus menaikkan tegangan sebesar 3,184 kV di bus *undervoltage* dengan rata-rata kenaikan tegangan 3,304 kV. Dengan perbandingan tersebut maka skema sensitivitas bus lebih efektif untuk menaikkan tegangan bus *undervoltage*.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi skenario gangguan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kondisi subsistem Pedan menggunakan AVR dan Governor tegangan lebih cepat stabil dan dapat mencegah terjadinya *undervoltage*. Pada skenario SOP *Undervoltage* Jateng dan DIY tahun 2014 kondisi subsistem Pedan mencapai kondisi yang diinginkan karena tegangan kembali pada kondisi awal dan tidak kurang dari 135kV. Pelepasan beban skema SOP memiliki rata-rata 3,263 kV. Untuk pelepasan beban menggunakan sensitivitas bus juga menaikkan tegangan ke kondisi normal. Pelepasan beban skema sensitivitas bus memiliki rata-rata 3,306 kV. Dengan demikian dapat dilihat dari rata-ratanya skema menggunakan sensitivitas bus lebih baik dari pelepasan beban skema SOP.

Referensi

- [1]. "Data DiG SILENT Power Factory 14.1.3 Sistem Kelistrikan Jawa Bali," PT. PLN (Persero), Ungaran, Desember 2015.
- [2]. 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.
- [3]. Bhaladhare, Snehal B. dkk, "P-V, Q-V Curve – A Novel Approach for Voltage Stability Analysis", *International Journal of Computer Applications*, 2013.
- [4]. Joshi, Poonam., "Load Shedding Algorithm Using Voltage and Frequency Data", All Theses, Paper 240, 2007.
- [5]. Ladhani, Shamir S. dkk, "Under Voltage Load Shedding for Voltage Stability : Overview of Concepts and Principles", IEEE, 2004.
- [6]. Peraturan Menteri ESDM Nomor 3 tahun 2007.
- [7]. SPLN Nomor 1 tahun 1995.
- [8]. Manual Book DiG SILENT Power Factory 14.1.3.
- [9]. "Konfigurasi Jaringan Subsistem Jawa Tengah dan DIY", PT. PLN (Persero), 2014.
- [10]. "Konfigurasi Jaringan Subsistem Ungaran", PT. PLN (Persero), Maret 2016.
- [11]. "SOP *Under Voltage Load Shedding* Jawa tengah dan DIY", PT. PLN (Persero), 2014.