

# ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN SUBSISTEM TANJUNGGATI

Dedy Brian Ericson<sup>\*)</sup>, Agung Nugroho, and Mochammad Facta

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

<sup>\*)</sup>E-mail: [dedybrian@rocketmail.com](mailto:dedybrian@rocketmail.com)

## Abstrak

Stabilitas tegangan merupakan bagian penting dalam operasi suatu sistem tenaga listrik. PT. PLN APB JATENG dan DIY sebagai perusahaan yang memegang peranan dalam pengaturan beban Jawa Tengah dan D.I Yogyakarta memiliki prosedur *manual load shedding* terkait *undervoltage* pada tahun 2014. Namun untuk subsistem Tanjungjati dan Pedan tidak memiliki prosedur *manual load shedding*. Berdasarkan permasalahan diatas, tugas akhir ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik jaringan dan kestabilan tegangan subsistem Tanjungjati. Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi gangguan kenaikan beban dan lepas generator untuk melihat respon tegangan pada subsistem Tanjungjati. Dalam menganalisis tegangan, pada tugas akhir ini menggunakan metode sensitivitas busbar dan kurva hubungan P-V dan Q-V. Sehingga didapatkan tingkat kestabilan dan rekomendasi yang diperlukan dalam menanggulangi kondisi *undervoltage*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kasus kenaikan beban dan pelepasan pembangkit kemungkinan terjadinya sangat kecil mendapatkan tegangan *undervoltage*. Sehingga subsistem Tanjungjati masih belum memerlukan prosedur *manual load shedding* terkait *undervoltage*. Berdasarkan kurva P-V dan Q-V juga didapatkan busbar Mojosongo adalah busbar yang paling mudah untuk *undervoltage* dibandingkan dengan busbar yang lainnya. Dalam menanggulangi terjadinya turun tegangan sangat direkomendasikan dilakukannya *tapping* transformator dan pelepasan beban berdasarkan sensitivitas busbar.

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

## Abstract

Voltage stability is an important part for a power system operation. PT. PLN APB Jateng and DIY as a company that play an important role for controlling the load in Central Java and Yogyakarta has manual procedure related to undervoltage load shedding in 2014. However, Tanjungjati subsystem does not have that kind of procedure. Based on that reason, this work was carried out to find characteristics of system and analyze the voltage stability in Tanjungjati subsystem. In this work, one of the simulation is about generator outage and load increment to get a data about voltage response and profile in Tanjungjati. In analyzing the voltage, this work used busbar sensitivity method and relation curves of P-V and Q-V. The result of generator outage and load increment simulation gave a small possibility to get under voltage condition. So, it appears that Tanjungjati subsystem is still not required the manual load shedding procedure related to undervoltage yet. Based on P-V and the Q-V curve, Mojosongo busbar is the easiest busbar to get undervoltage. To overcome undervoltage condition, it is worthy to use tapping of transformator and load shedding scheme based on sensitivity of busbar.

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

## 1. Pendahuluan

Stabilitas tegangan merupakan bagian penting dalam operasi suatu sistem tenaga listrik[1]. Ketidakstabilan tegangan merupakan ketidakmampuan sistem untuk mempertahankan profil tegangan dalam batas yang diperbolehkan setelah terjadi gangguan atau perubahan konfigurasi sistem[2]. Setiap sistem tenaga listrik diharapkan dapat mempertahankan stabilitas tegangannya

untuk menjaga ketersediaan suplai listrik secara kontinu (*availability*) dengan kualitas daya yang baik dan meminimalisasi terjadinya pemadaman listrik (*black out*) total atau sebagian [2]. Sistem kelistrikan Jawa Tengah dan D.I Yogyakarta saat ini memiliki 3 subsistem (Tanjung Jati, Ungaran, dan Pedan). Pada bulan Desember 2015 subsistem Tanjung Jati saat ini mendapat suplai daya dari generator sebesar 3.652,59 MW dengan beban pada malam hari 966.0303 MW. Dalam

menanggulangi permasalahan tegangan, PLN APB JATENG dan DIY memiliki prosedur operasi *manual load shedding* terkait *undervoltage* pada subsistem Jawa Tengah dan D.I Yogyakarta. Namun, prosedur tersebut hanya diberlakukan untuk subsistem Ungaran, sehingga diperlukan pengkajian terhadap keandalan subsistem lain seperti subsistem Tanjung Jati. Dalam tugas akhir ini akan menganalisa subsistem Tanjungjati dengan menggunakan metode sensitivitas, kurva P-V, dan kurva Q-V dalam menganalisa karakteristik jaringan dan pemberian gangguan dalam sistem untuk melihat respon tegangan[4]. Metode sensitivitas dipergunakan untuk melihat bus mana saja yang paling cepat merespon perubahan beban, sehingga *busbar* ini yang nantinya akan di waspadai ketika suplai daya cepat berubah [8]. Kurva P-V dan kurva Q-V dipergunakan untuk melihat karakter setiap *busbar*, bus mana saja yang paling mudah mengalami ketidak stabilan [9]. Keseluruhan analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak DigSilent Power Factory 14.3.0 [12].

## 2. Metode

Subsistem Tanjungjati 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-Bali yang dimiliki oleh PLN. Sebelum dilakukan skenario simulasi, terlebih dahulu dilakukan pengamatan pada subsistem Tanjungjati pada kondisi pembebanan normal.

### 2.1. Kurva Karakteristik P-V dan Q-V

Pada simulasi ini melihat kurva karakteristik P-V dan Q-V pada bus-bus yang dianggap rawan secara bersamaan. Bus tersebut antara lain Mojosongo, Kudus, Pati, Pandean Lamper, Sayung, dan Cepu. Bus Mojosongo dilihat karena bus ini merupakan bus yang tegangannya paling rendah. Bus Cepu dilihat karena bus ini merupakan bus yang memiliki nilai sensitivitas tertinggi. Dan bus Kudus, Pati, Pandean Lamper, dan Sayung merupakan bus dengan beban terbesar.

- Kurva P-V dan Q-V Bus Tegangan Terendah  
Pada simulasi ini melihat kurva karakteristik P-V dan Q-V pada bus-bus yang dianggap rawan secara sendiri-sendiri. *Busbar* yang diamati adalah dua *busbar* dengan tegangan paling rendah pada kondisi normal, yaitu *busbar* Mojosongo dan *busbar* Beringin.
- Kurva P-V dan Q-V Bus Beban Terbesar  
Pada simulasi ini melihat kurva karakteristik P-V dan Q-V pada bus-bus yang dianggap rawan secara sendiri-sendiri. *Busbar* yang diamati adalah dua *busbar* dengan beban paling besar dalam keadaan normal, yaitu *busbar* Kudus dan *busbar* Pati.

### 2.2. Kondisi Kenaikan Beban

Subsistem Tanjungjati tidak mempunyai SOP terkait *under voltage*, sehingga dilakukan pengadopsian SOP *under voltage* milik subsistem Ungaran. Berdasarkan SOP *manual load shedding* terkait *under voltage* subsistem Jawa Tengah dan DIY pada bulan Desember tahun 2014, besar tegangan yang menjadi acuan melaksanakan *Manual load shedding* (MLS) adalah pada tegangan tegangan selain pembangkit mencapai 120 kV atau GI pembangkit mencapai 137 kV dengan pelepasan beban sebesar 55 MW di *busbar* terendah. Sehingga dilakukan simulasi kenaikan beban sebagai salah satu cara untuk mencapai kondisi tersebut. Apakah mendekati kondisi SOP tersebut. Kalau tidak apakah terdapat kondisi diluar standar Peraturan Menteri ESDM No. 03 Tahun 2007 untuk tegangan 150 kV (+5%, -10%). Berikut beberapa simulasi yang dilakukan.

- Beban Internal Naik 10%  
Menaikkan beban dalam subsistem Tanjungjati harus memperhatikan daya maksimum transformator dengan batasan toleransi sebesar 80% daya transformator pada setiap GI. Total beban (internal dan eksternal) 3949,65 MW; 436,9158 MVAR menjadi 4011,691 MW; 459,52 MVAR.
- Beban Internal Naik mendekati 80 % Kapasitas Transformator  
Disini dilakukan simulasi kenaikan beban mendekati 80% kapasitas transformator pada daya aktif dan daya reaktif. Pada simulasi ini batasan berupa kapasitas transformator. Apabila beban telah mencapai kapasitas 80% transformator, maka tidak dilakukan kenaikan beban. Tetapi, apabila masih memungkinkan maka dilakukan simulasi kenaikan beban sampai mendekati 80% kapasitas transformator. Didapat perubahan beban total dari 3949,65 MW ; 436,9158 MVAR menjadi 4258,61 MW; 546,78 MVAR.
- Beban Eksternal Naik 10%  
Simulasi ini dilakukan tanpa adanya batasan. Tetapi dilakukan kenaikan 10% karena prakiraan kenaikan beban sekitar 10%. Kenaikan dari 3949,65 MW ; 436,9158 MVAR menjadi 4201,862 MW; 444,258 MVAR.

- Beban Internal Naik mendekati 80 % Kapasitas Transformator dan Beban Eksternal Naik 10%  
Simulasi ini dilakukan dengan menggabungkan kenaikan beban 80% kapasitas transformator dan kenaikan beban eksternal sebesar 10%. Pada simulasi terjadi perubahan daya sebesar 3949,65 MW ; 436,9158 MVAR menjadi 4500,503 MW ; 552,5515 MVAR.

### 2.3. Kondisi Lepas Generator

Pada simulasi ini dilakukan skenario generator keluar dari sistem. Hal ini untuk melihat kestabilan tegangan ketika generator keluar dari sistem.

- Tambak Lorok Unit ST 2.0 Keluar  
Simulasi ini dilakukan berdasarkan data PLN, telah terjadi gangguan pada tanggal 1 Mei 2016 pukul 16.59 WIB sampai dengan 1 Mei 2016 pukul 17.14 WIB.
- Tambak Lorok Unit ST 1.0 Keluar  
Simulasi ini dilakukan berdasarkan data PLN, pembangkit keluar dari sistem pada tanggal 11 Mei 2016 pukul 15.10 WIB sampai dengan 11 Mei 2016 pukul 16.12 WIB.
- Tambak Lorok Unit 1.3 Keluar  
Simulasi ini dilakukan berdasarkan data PLN, telah terjadi gangguan pada tanggal 11 Mei 2016 pukul 1.17 WIB sampai dengan 11 Mei 2016 pukul 19.48 WIB.
- Rembang Unit 1 dan 2 Keluar  
Simulasi ini dilakukan untuk melihat seberapa cepat bus Cepu turun, dikarenakan pembangkit yang paling dekat dengan Cepu adalah pembangkit Rembang. Pelepasan pembangkit rembang sebesar 504 MW dan 97 MVAR.
- Tambak Lorok Unit ST 2.0 dan Unit 1.1 Keluar  
Simulasi ini dilakukan berdasarkan data PLN, telah terjadi gangguan pada tanggal 2 Mei 2016 pukul 19.17 WIB sampai dengan 4 Mei 2016 pukul 04.46 WIB pada Tambak Lorok Unit 1.1. Kemudian dilanjutkan Tambak Lorok unit ST 2.0 pada tanggal 2 Mei 2016 pukul 09.54 sampai dengan 10.11 WIB.

- Tanjungjati Unit 1,2, dan 3 Keluar  
Simulasi ini dilakukan dengan melepas 3 pembangkit dengan kapasitas terbesar untuk mencapai kondisi *undervoltage*. Pelepasan pembangkit Tanjungjati unit 1,2, dan 3 sebesar 1.784,43 MW dan 313 MVAR

#### 2.4. Simulasi Pemulihan Tegangan

Dalam mendesain simulasi pemulihan tegangan maka diperlukan kondisi dimana tegangan mencapai kondisi *undervoltage*. Maka dipilih simulasi yang mengakibatkan tegangan mencapai kondisi tersebut yaitu saat beban internal dan eksternal naik 10%, serta PLTU Tanjungjati unit 1, 2, dan 3 keluar dari sistem. Tabel 2.1 merupakan nilai tegangan hasil simulasi :

Tabel 1. Data Kondisi Undervoltage

Nama GI	Tegangan
Mojosongo	132.793
Tanjungjati	133.216
Beringin	134.175
Jepara	134.7232
Jelok	135.017

- Simulasi Tapping Bus Terendah  
Ketika terjadi kondisi tegangan menurun salah satu cara untuk menanggulangi hal tersebut adalah dengan dilakukannya *tapping* transformator. Sehingga pada

simulasi ini dilakukan simulasi *tapping* transformator pada bus terendah, sehingga didapatkan apakah *tapping* transformator dapat menyelamatkan penurunan tegangan atau tidak. *Busbar* yang dipilih untuk dijadikan sebagai simulasi adalah *busbar* Mojosongo yang mana paling cenderung tegangan paling rendah dibandingkan *busbar* lain. Kondisi *tapping* transformator pada kondisi normal diposisi 10. Kemudian ketika terjadi penurunan tegangan tap transformator dipindahkan ke posisi 8 yang mana *tapping* maksimal di sisi tegangan tinggi.

- Simulasi Pelepasan Beban  
Salah satu tindakan restorasi untuk menanggulangi kondisi *undervoltage* adalah dengan melakukan pelepasan beban (*load shedding*). Salah satu isi dalam SOP *manual load shedding* terkait under voltage adalah pelepasan beban, sehingga dilakukan simulasi pelepasan beban dengan mengacu metode yang digunakan PLN dan metode sensitivitas *busbar*.

##### a. Berdasarkan Tegangan Terendah

Dilakukan kenaikan beban sekitar 10% setiap beban internal dan eksternal, kemudian melepas pembangkit Tanjungjati unit 1,2, dan 3. Setelah itu dilakukan pelepasan beban berdasarkan urutan bus dengan tegangan terendah sampai mencapai kondisi jumlah beban yang akan dilepas. Tabel 2.2 merupakan pelepasan beban :

Tabel 2. Data Pelepasan Beban Tegangan Terendah

Busbar	Nama Beban	P beban (MW)	Q Beban (MVAR)
Mojosongo	3MJNGO5_TD1	42.65411	11.7336
	3MJNGO5_TD2	15.59595	4.811344
Tanjungjati	3TJATI5_TD1	26.71112	9.118734

##### b. Berdasarkan Sensitivitas Busbar

Dilakukan kenaikan beban sekitar 10% setiap beban internal dan eksternal, kemudian melepas pembangkit Tanjungjati unit 1,2, dan 3. Setelah itu dilakukan pelepasan beban berdasarkan urutan sensitivitas bus. Persamaan pelepasan beban :

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

dimana :

$dV/dQ$  = Sensitivitas *busbar*

$S_i$  = Beban yang dilepas pada *busbar*

$P.diff$  = Total beban yang dilepas

Tabel 3 merupakan pelepasan beban berdasarkan sensitivitas :

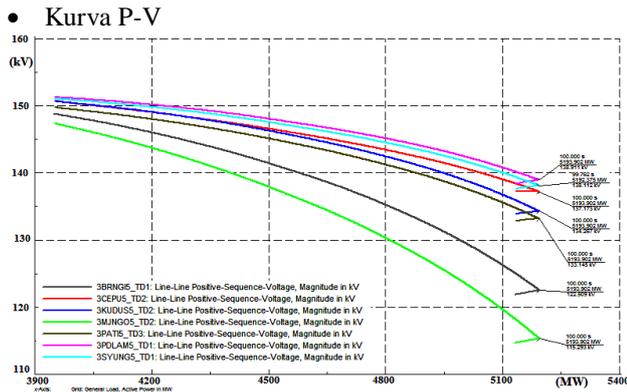
Tabel 3. Data Pelepasan Beban Sensitivitas

Busbar	Nama Beban	P beban (MW)	Q Beban (MVAR)
Mojosongo	3MJNGO5_TD2	15.59595	4.811344
Tanjungjati	3TJATI5_TD1	26.71112	9.118734
Beringin	3BRNGI5_TD2	17.84144	6.732079
Jepara	3JPARA5_TD2	16.07567	5.448421

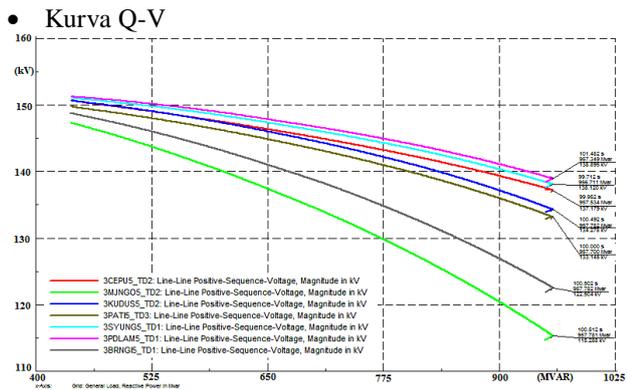
### 3. Hasil dan Analisis

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

#### 3.1. Kurva Karakteristik P-V dan Q-V



Gambar 1. Kurva P-V Busbar Pilihan



Gambar 2. Kurva Q-V Busbar Pilihan

Berdasarkan kurva P-V dan Q-V didapatkan data urutan busbar dari yang paling stabil sampai mudah tidak stabil :

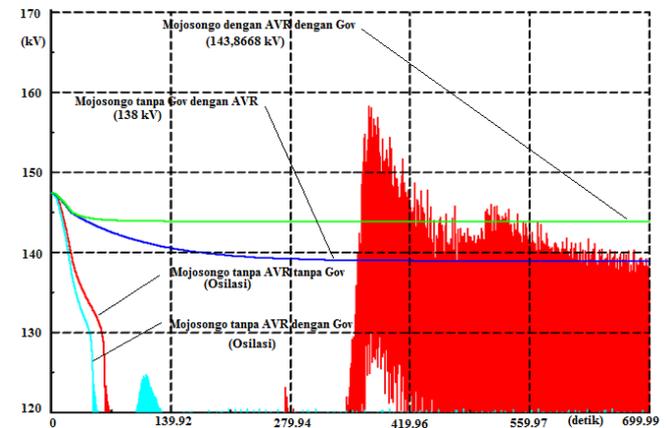
Tabel 4. Data Kurva P-V dan Q-V

Busbar	Tegangan (kV)
Pandean Lamper	138
Sayung	138
Kudus	134
Cepu	137
Pati	133
Beringin	122
Mojosongo	115

Dari Tabel 3. didapatkan bahwa busbar Mojosongo merupakan busbar yang paling mudah untuk tidak stabil dibandingkan busbar yang lain. Tegangan ketika dilakukan simulasi mencapai 115 kV. Namun berdasarkan Gambar 1 untuk keseluruhan busbar masih belum mencapai kondisi kritisnya.

#### 3.2. Kondisi Kenaikan Beban

Beban internal naik mendekati 80 % kapasitas Transformator dan beban eksternal naik 10% didapatkan kondisi sebagai berikut :



Gambar 3. Hasil Tegangan Beban Internal dan Eksternal Naik

Didapatkan hasil tegangan kondisi kenaikan beban pada Tabel 5:

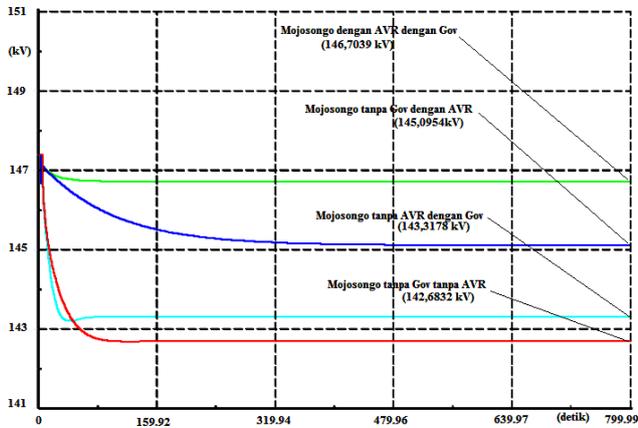
Tabel 5. Hasil Simulasi Kondisi Kenaikan Internal dan Eksternal

Kondisi	Cepu (kV)	Mojosongo (kV)
Dengan AVR dan Gov	146,4782	143,8668
Tanpa AVR	Osilasi	Osilasi
Tanpa Gov	145,8482	138,9238
Tanpa AVR dan Gov	Osilasi	Osilasi

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa gelombang yang menggunakan AVR dan governor hasil grafiknya paling baik, karena gelombang tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Dari keseluruhan simulasi kenaikan beban didapatkan tegangan paling rendah adalah busbar Mojosongo yaitu 143,8668 kV. Nilai tegangan tersebut masih berada pada batas normal berdasarkan standar yang dipergunakan PLN yaitu 135 kV (Peraturan Menteri ESDM No. 03 tahun 2007). Nilai tegangan tersebut juga belum mencapai kondisi prosedur manual load shedding yang dimiliki oleh PLN sehingga tidak diperlukan kondisi pelepasan beban.

3.3. Kondisi Lepas Generator

• Tambak Lorok Unit ST 2.0 dan Unit 1.1 Keluar



Gambar 4. Hasil Tegangan Tambak Lorok Unit ST 2.0 dan Unit 1.1 Keluar

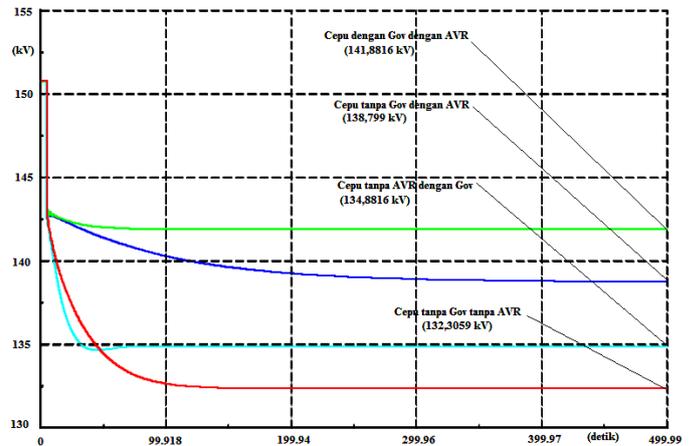
Didapatkan hasil tegangan kondisi Tambak Lorok unit ST 2.0 dan unit 1.1 keluar sistem pada Tabel 6:

Tabel 6. Hasil Simulasi Kondisi Tambak Lorok Unit ST 2.0 dan Unit 1.1 Keluar

Kondisi	Cepu	Mojosongo
Dengan AVR dan Gov	150.4975	146.7039
Tanpa AVR dengan Gov	143.9281	143.3178
Tanpa Gov dengan AVR	150.2829	145.0954
Tanpa Gov dan AVR	143.3158	142.6832

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa gelombang yang menggunakan AVR dan governor hasil grafiknya paling baik, karena gelombang tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Sedangkan untuk penggunaan tanpa governor dengan AVR memang tegangannya cukup baik, tetapi lebih lama stabil dan landai. Tegangan paling rendah adalah busbar Mojosongo yaitu 143,7039 kV. Nilai tegangan tersebut masih berada pada batas normal berdasarkan standar yang dipergunakan PLN yaitu 135 kV (Peraturan Menteri ESDM No. 03 tahun 2007). Nilai tegangan tersebut juga belum mencapai kondisi prosedur manual load shedding yang dimiliki oleh PLN sehingga tidak diperlukan kondisi pelepasan beban.

• Rembang Unit 1 dan 2 Keluar



Gambar 5. Hasil Tegangan Rembang Unit 1 dan 2 Keluar

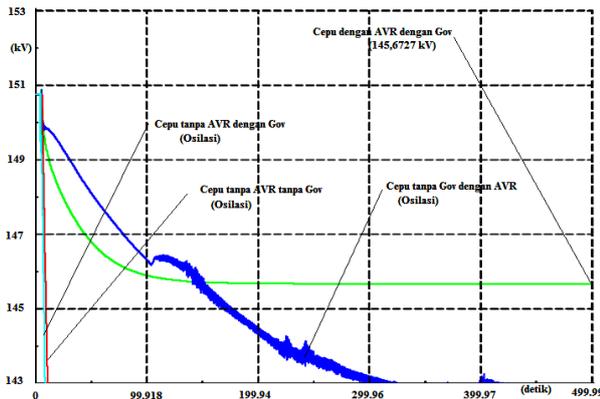
Didapatkan hasil tegangan kondisi Rembang unit 1 dan 2 keluar sistem pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Simulasi Kondisi Rembang Unit 1 dan 2 Keluar

Kondisi	Cepu	Mojosongo
Dengan AVR dan Gov	141.8816	145.8337
Tanpa AVR dengan Gov	134.8816	139.3534
Tanpa Gov dengan AVR	138.799	141.7289
Tanpa Gov dan AVR	132.3059	136.8971

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa gelombang yang menggunakan AVR dan governor hasil grafiknya paling baik, karena gelombang tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Tegangan paling rendah adalah busbar Cepu yaitu 141,8816 kV. Nilai tegangan tersebut masih berada pada batas normal berdasarkan standar yang dipergunakan PLN yaitu 135 kV (Peraturan Menteri ESDM No. 03 tahun 2007). Nilai tegangan tersebut juga belum mencapai kondisi prosedur manual load shedding yang dimiliki oleh PLN sehingga tidak diperlukan kondisi pelepasan beban.

- Tanjungjati Unit 1,2, dan 3 Keluar



Gambar 6. Hasil Tegangan Tanjungjati Unit 1,2, dan 3 Keluar

Didapatkan hasil tegangan kondisi Tanjungjati Unit 1,2, dan 3 keluar sistem pada Tabel 8.

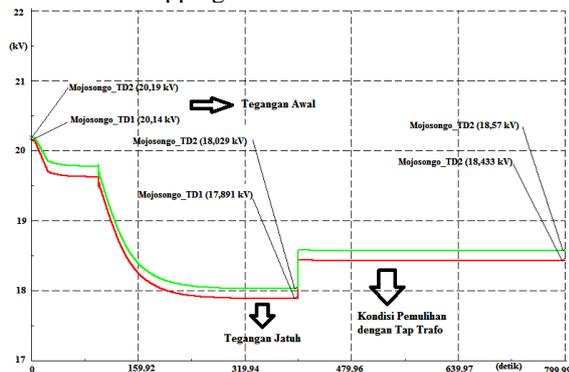
Tabel 8. Hasil Simulasi Kondisi Tegangan Tanjungjati Unit 1,2, dan 3 Keluar

Kondisi	Cepu	Mojosongo
Dengan AVR dan Gov	145.6727	136.1122
Tanpa AVR dengan Gov	Osilasi	Osilasi
Tanpa Gov dengan AVR	Osilasi	Osilasi
Tanpa Gov dan AVR	Osilasi	Osilasi

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa gelombang yang menggunakan AVR dan governor hasil grafiknya paling baik, karena gelombang tegangan lebih cepat stabil dan bisa menahan jatuh tegangan. Tegangan paling rendah adalah busbar Ungaran yaitu 130,8198 kemudian Mojosoongo yaitu 136,112 kV. Untuk busbar Ungaran sudah berada dibawah standart tegangan 135 kV, namun dikarenakan tersambung dengan saluran luar subsistem Tanjungjati maka tidak dilakukan pemulihan tegangan. Nilai tegangan pada busbar Mojosoongo masih berada pada batas normal berdasarkan standar yang dipergunakan PLN yaitu 135 kV (Peraturan Menteri ESDM No. 03 tahun 2007). Nilai tegangan tersebut juga belum mencapai kondisi prosedur manual load shedding yang dimiliki oleh PLN sehingga tidak diperlukan kondisi pelepasan beban.

### 3.4. Simulasi Pemulihan Tegangan

- Simulasi Tapping Transformator



Gambar 7. Hasil Tegangan Simulasi Tapping Transformator

Didapatkan hasil tegangan simulasi tapping transformator pada Tabel 9.

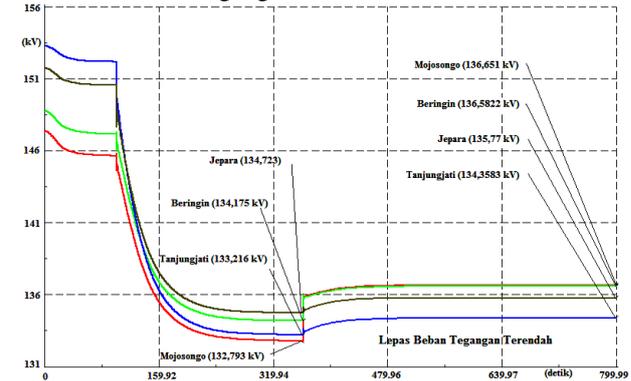
Tabel 9. Hasil Simulasi Kondisi Tapping Transformator

Busbar 20 kV	Teg. Awal (kV)	Teg. Jatuh (kV)	Teg. Pemulihan (kV)
Mojosoongo_TD1	20.14873	17.891	18.43334
Mojosoongo_TD2	20.19237	18.029	18.57553
Mojosoongo 150 kV	147.3331	132.323	132.054

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pemulihan tegangan dengan menggunakan tapping transformator dapat dilakukan. Tegangan pada sisi 20 kV yang tadinya dibawah batas normal yaitu -5% atau 18 kV (Peraturan Menteri ESDM No. 03 tahun 2007) berubah menjadi diatas batas normal. Walaupun pemulihan tersebut tidak membuat tegangan kembali seperti kondisi normal, tetapi tegangan yang dihasilkan masih dalam batas ambang.

- Simulasi Pelepasan Beban

#### a. Berdasarkan Tegangan Terendah



Gambar 8. Hasil Pelepasan Beban berdasarkan Tegangan Rendah

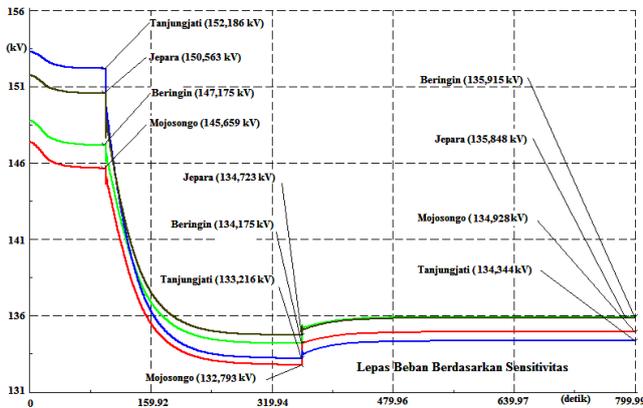
Didapatkan hasil tegangan simulasi pelepasan beban berdasarkan tegangan terendah pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Simulasi Pelepasan Beban berdasarkan Tegangan Rendah

Busbar	Tegangan Awal (kV)	Tegangan Akhir (kV)	Selisih (kV)
Mjosongo	132.793	136.651	3.858
Tanjungjati	133.216	134.3583	1.1423
Beringin	134.175	136.5822	2.4072
Jepara	134.7232	135.7777	1.0545

Dengan menggunakan pelepasan beban manual pada tegangan terendah didapatkan tegangan setiap busbar kembali menjadi normal (diatas 135 kV). Tegangan menjadi normal namun yang menjadi catatan adalah tidak meratanya kenaikan tegangan pada setiap busbar. Selain itu pelepasan busbar seluruh Mojosoongo mengakibatkan satu area Mojosoongo mengalami pemadaman total.

b. Berdasarkan Sensitivitas Busbar



Gambar 9. Hasil Pelepasan Beban berdasarkan Sensitivitas Busbar

Didapatkan hasil tegangan simulasi pelepasan beban berdasarkan tegangan terendah pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Simulasi Pelepasan Beban berdasarkan Sensitivitas Busbar

Busbar	Tegangan Awal (kV)	Tegangan Akhir (kV)	Selisih (kV)
MOJOSONGO	132.793	134.9288	2.1358
TANJUNG JATI	133.216	134.344	1.128
BRINGIN	134.175	135.9153	1.7403
JEPARA	134.7232	135.8485	1.1253

Dengan menggunakan pelepasan beban manual berdasarkan sensitivitas didapatkan hampur semua tegangan setiap busbar kembali menjadi normal (perlu catatan mojosongo 134,928 kV). Kenaikan tegangan pada setiap busbar hamper merata sehingga tidak semua beban dilepas.

Berdasarkan kedua simulasi (tegangan terendah dan sensitivitas) didapatkan bahwa skema pelepasan beban berdasarkan sensitivitas lebih sedikit pemadaman. Total pemadaman berdasarkan sensitivitas adalah 76,22 MW sedangkan pada pelepasan beban berdasarkan tegangan terendah adalah 84,96 MW. Sehingga penulis merekomendasikan untuk melakukan pelepasan beban berdasarkan sensitivitas tertinggi.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa prosedur *Manual load shedding* (MLS) Ungaran tahun 2014 tidak dapat diimplementasikan pada subsistem Tanjungjati dengan data kondisi kelistrikan pada DiGSILENT Desember 2015. Dalam melaksanakan simulasi skenario pada subsistem Tanjungjati, kondisi saat subsistem Tanjungjati menggunakan AVR dan governor

menghasilkan tegangan dengan nilai terbaik karena paling mendekati tegangan subsistem Tanjungjati saat kondisi normal.

Untuk kestabilan tegangan, berdasarkan simulasi kenaikan beban dan simulasi lepas generator didapatkan bahwa kemampuan pembangkitan subsistem Tanjungjati lebih besar dari beban. Dan melalui data kurva karakteristik P-V dan Q-V didapatkan bahwa kondisi subsistem tanjungjati ketika beban mencapai 80% kapasitas transformator masih dalam kondisi stabil. Hanya saja yang perlu menjadi catatan bahwa busbar Mojosoongo adalah busbar yang paling mudah untuk tidak stabil jika dibandingkan dengan busbar lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman dan handal dalam proses menyalurkan listrik ke konsumen.

Dalam menanggulangi kasus *undervoltage* tapping transformator dan pelepasan beban menggunakan metode sensitivitas busbar (dV/dQ) menjadi rekomendasi dari penulis.

Demi pengembangan tugas akhir ini, dapat dilakukan pengembangan perhitungan parameter yang ada pada pengaturan AVR dan governor.

#### Referensi

- [1]. P. Kundur, *Power System Stability and Control*. Mc Graw-Hill, Inc, 1994.
- [2]. Suhadi, *SMK Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [3]. K. M. Kumar, *Electrical Machines*. New Delhi: Vikas Publishing House, 1999.
- [4]. J. Machowski, J. R. Bumby, and J. Wiley, *Power System Dynamics and Stability*. 1997.
- [5]. Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Penerbit ITB, 1991.
- [6]. D. Marsudi, *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2011.
- [7]. D. Marsudi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [8]. P. Kundur and A. J, "Defenition and classification of power system stability," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, 2004.
- [9]. C. W. Taylor, *Power System Voltage Stability*. USA: McGrawHill, 1994.
- [10]. "No Title," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, pp. 1387–1401.
- [11]. R. P. T. Tambunan, Karnoto, and S. Handoko, "Simulasi Pelepasan Beban ( Load Shedding ) Pada Sistem Jaringan Distribusi Tragi Sibolga 150 / 20 Kv ( Studi Kasus Pada Penyulang Tragi Sibolga , Sumut )," *Transient*, vol. 3, p. 213, 2014.
- [12]. Z. Abidin, S. P. Hadi, and Sarjiya, "Dampak Pemasangan Peralatan FACTS terhadap Stabilitas Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik," *Transmisi*, vol. 16, p. 148, 2014.