

Studi Perancangan Skema Pulau Berdasarkan Koherensi Generator pada Sistem Kelistrikan DKI Jakarta dan Banten

Hasna Satya Dini¹; Nanang Hariyanto²

¹Sekolah Tinggi Teknik PLN

²Institut Teknologi Bandung

¹hasna@sttpln.ac.id

ABSTRACT

This research deals with the islanding scheme design of DKI Jakarta and Banten power system which aim to improve the rate of success in islanding formation when disturbance hit. Islanding scheme is the last option in corrective control that divide electrical system into several regions during disturbance to maintain the electrical system stability. The islanding scheme design method is based on generator coherency, severe connections, and active and reactive power balance. This islanding scheme is designed in 2 steps for 48,3 Hz and 48,1 Hz. In the first step, DKI Jakarta and Banten will be separated from Jawa Bali and in the second step the system should be divided into 4 islands due to generator coherency. Based on simulation in Digsilent, this islanding scheme design could keep the stability of frequency and rotor angle of DKI Jakarta and Banten system.

Keywords: *DKI Jakarta and Banten Power System, Defense Scheme, Islanding, Generator Coherency, Stability*

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan studi perancangan skema pulau untuk sistem kelistrikan DKI Jakarta dan Banten yang dilakukan untuk meningkatkan keberhasilan ekeekusi skema pulau. Skema pulau merupakan skema korektif yang membagi jaringan listrik menjadi beberapa bagian untuk mencegah perambatan gangguan. Perancangan skema pulau yang dilakukan didasarkan pada koherensi generator, letak saluran rawan, dan keseimbangan daya aktif dan reaktif. Dalam pembentukan skema pulau pada sistem ini, dirancang dua langkah pembentukan pulau yaitu pada frekuensi 48,3 Hz dan 48,1 Hz. Pada frekuensi 48,3 Hz, sistem DKI Jakarta dan Banten akan terpisah dengan sistem Jawa Bali. Sedangkan pada frekuensi 48,1 Hz akan terbentuk empat pulau pada sistem DKI Jakarta dan Banten. Adapun berdasarkan simulasi yang dilakukan, skema pulau dapat menjaga kestabilan frekuensi dan sudut rotor sistem DKI Jakarta dan Banten ketika terjadi gangguan besar.

Kata kunci: *DKI Jakarta dan Banten, defense scheme, skema pulau, koherensi generator, stabilitas*

1. PENDAHULUAN

Kendala pada pembangunan infrastruktur menyebabkan tidak sedikit sistem kelistrikan yang terpaksa untuk bekerja dekat dengan ambang kestabilannya. Hal ini menyebabkan ketika terjadinya gangguan di dalam sistem kelistrikan, kemungkinan sistem mengalami kelebihan beban (*overload*), jatuh atau naik tegangan melewati batas aman, atau gangguan katastropik meningkat. Dan apabila tidak terdapat skenario penanggulangan dari gangguan tersebut, maka akan berujung padam total pada sistem.

Terdapat dua jenis skenario penanggulangan yang dapat digunakan untuk mencegah terjadinya gangguan berkelanjutan yaitu a) kendali preventif dan b) kendali korektif. Beberapa contoh kendali korektif antara lain rekonfigurasi sistem transmisi, pengaturan daya keluaran generator, pelepasan beban, dan skema pulau [1].

Skema pulau merupakan langkah terakhir dalam kendali korektif untuk menjaga kestabilan sistem. Dimana langkah tersebut akan diambil hanya jika terjadi frekuensi penurunan secara terus menerus, walaupun langkah terakhir dari pelepasan beban telah dilakukan. Adapun skema pulau bertujuan untuk membagi jaringan listrik menjadi beberapa region untuk mencegah perambatan gangguan.

Umumnya, skema pulau dirancang dengan mempertimbangkan kesesuaian daya generator dan beban dan lokasi geografis beban dan generator. Perancangan skema pulau dengan dasar tersebut memiliki kemungkinan keberhasilan yang rendah. Salah satu masalah yang akan muncul adalah generator menjadi *out of step* akibat adanya ayunan sudut rotor dari generator yang tidak koheren.

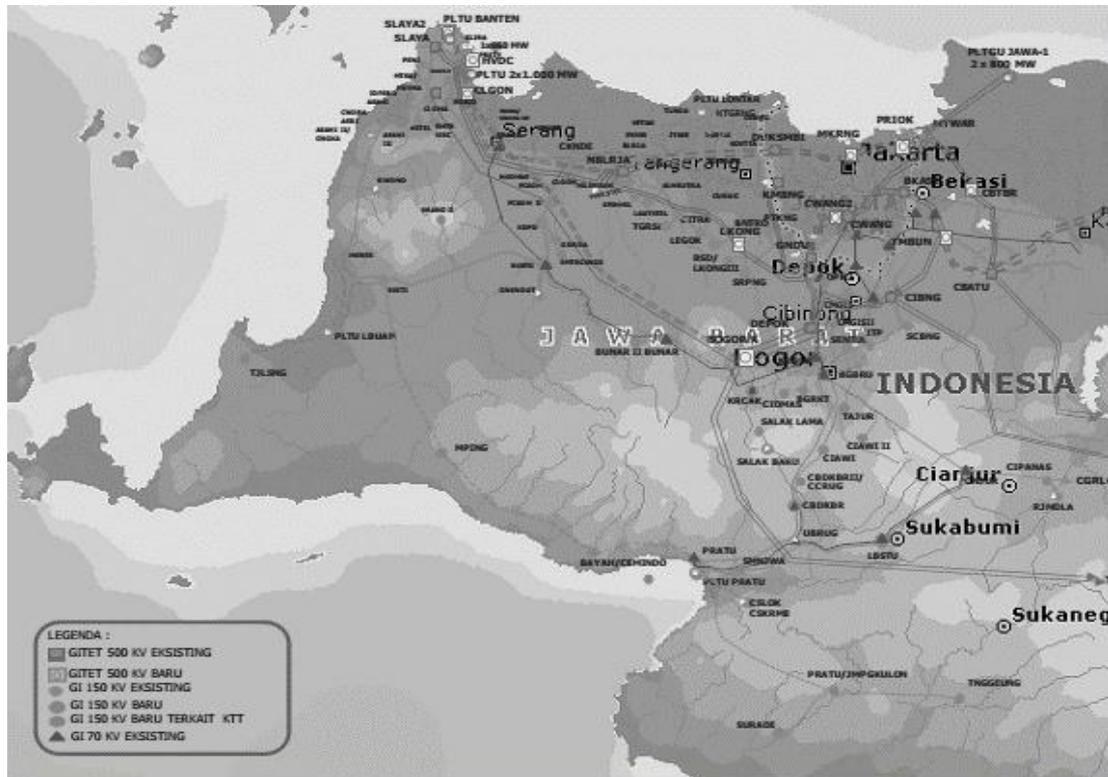
Sistem DKI Jakarta dan Banten merupakan bagian dari sistem kelistrikan Jawa Bali yang terletak di bagian barat pulau Jawa. Skema pulau yang sudah dirancang pada sistem DKI Jakarta dan Banten mempertimbangkan kesesuaian beban dan lokasi geografis beban dan generator. Pada penelitian ini perancangan skema pulau dilakukan dengan mempertimbangkan letak saluran rawan dan koherensi generator. Sehingga masing-masing pulau diharapkan memiliki generator-generator yang koheren untuk menghindarkan terlepasnya generator (*out of step*) dari sistem dan meningkatkan keberhasilan dalam eksekusi skema pulau tersebut.

1.1. Sistem Kelistrikan DKI Jakarta dan Banten

Sistem DKI Jakarta dan Banten merupakan bagian dari sistem kelistrikan Jawa Bali dengan beban hampir mencapai 50% dari keseluruhan beban di sistem kelistrikan Jawa Bali. Pada tahun 2016 beban puncak dari sistem DKI Jakarta dan Banten adalah 4.615 MW (DKI Jakarta) dan 3.747 MW (Banten). Pada topologi sistem kelistrikan DKI Jakarta dan Banten di Gambar 1, saluran transmisi yang menghubungkan gardu induk berada pada level tegangan 150 kV dan 500 kV. Adapun Gardu induk pada sistem 500 kV meliputi:

- a) Gardu Induk Gandul
- b) Gardu Induk Bekasi
- c) Gardu Induk Cawang
- d) Gardu Induk Cibinong
- e) Gardu Induk Kembangan
- f) Gardu Induk Depok
- g) Gardu Induk Suralaya

- h) Gardu Induk Cilegon
- i) Gardu Induk Balaraja

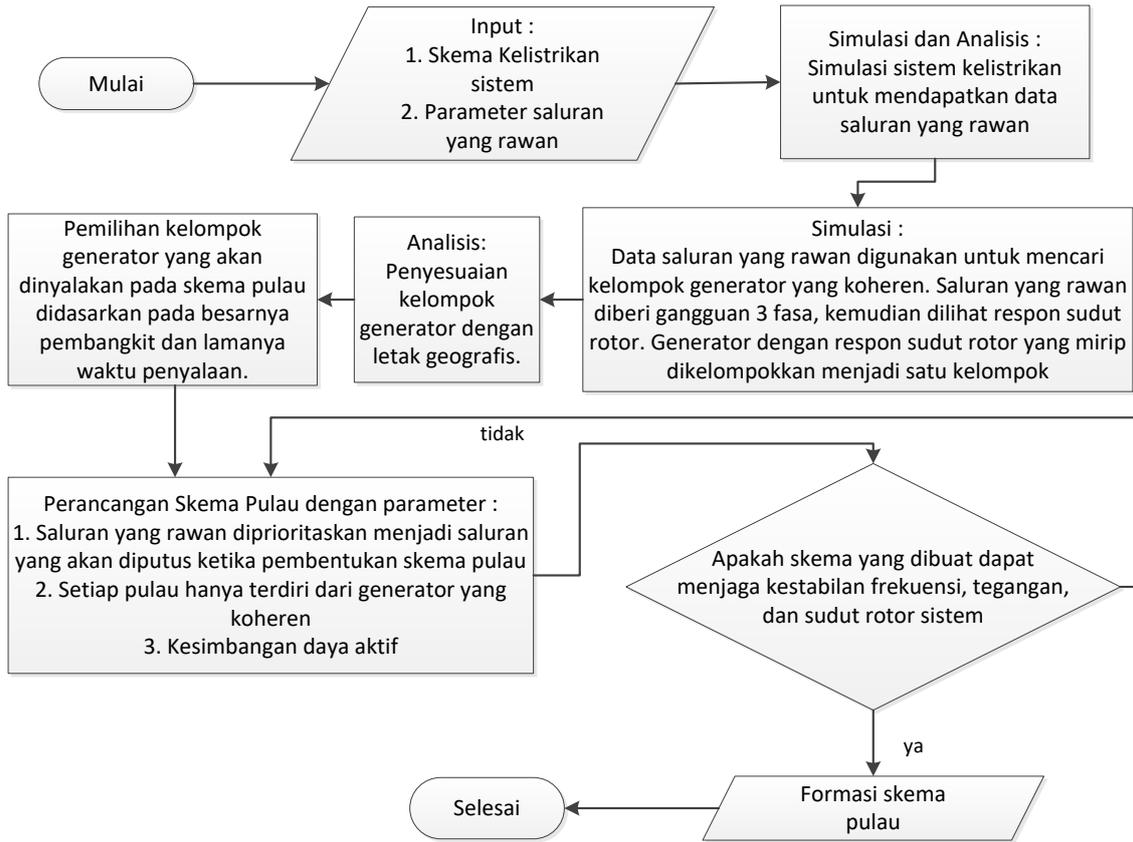


Gambar 1. Sistem Kelistrikan DKI Jakarta dan Banten

Skema pulau yang dirancang akan membagi sistem kelistrikan DKI Jakarta dan Banten pada level tegangan 150 kV.

2. METODE PENELITIAN

Dalam pengerjaan penelitian ini, perancangan skema pulau dilakukan pada tahap frekuensi 48,1 Hz dan 48,3 Hz dengan menggunakan software DigSilent. Pengambilan nilai frekuensi tersebut berdasarkan pada perancangan skema pertahanan ketika frekuensi rendah yang disusun oleh PLN. Adapun algoritma yang digunakan dalam penyusunan skema pulau adalah sebagai berikut:

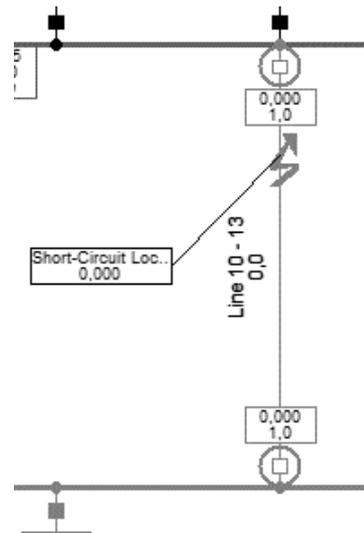


Gambar 2. Algoritma Perancangan Skema Pulau

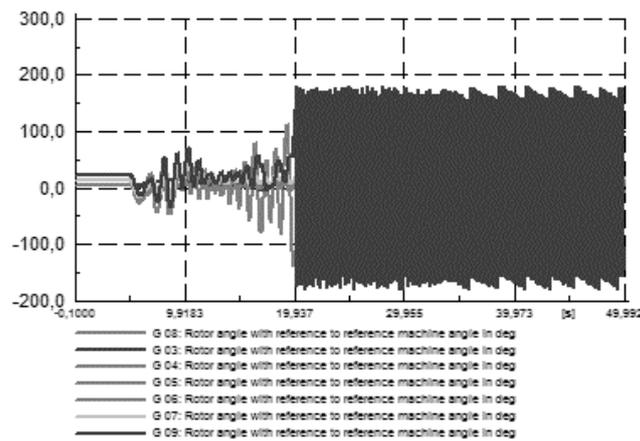
2.1. Identifikasi Saluran Rawan

Saluran rawan merupakan saluran yang memiliki waktu pemutusan kritis kurang dari 150 ms. Adapun tujuan dari identifikasi saluran rawan adalah untuk menentukan saluran yang diutamakan untuk diputus (*disconnected*) untuk mencegah penyebaran gangguan. Identifikasi saluran rawan dapat dilakukan dengan melihat waktu pemutusan kritis yang diperlukan saluran sebelum terjadinya gangguan.

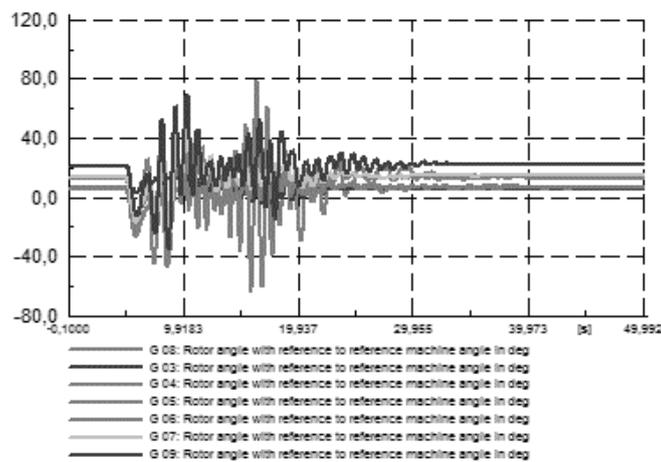
Waktu pemutusan kritis didapatkan dengan melihat respon sudut rotor ketika terjadi gangguan tiga fasa di saluran seperti pada Gambar 3. Apabila waktu pemutusan pemutus tegangan lebih dari waktu pemutusan kritis, respon dari sudut rotor generator menjadi tidak konvergen seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Namun apabila waktu pemutusan terbuka dari pemutus tegangan lebih kecil dari waktu pemutusan kritis, respon sudut rotor untuk semua generator akan konvergen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Contoh Simulasi Gangguan Pada Saluran



Gambar 4. Respon Sudut Rotor Ketika Waktu Pemutusan CB > Waktu Pemutusan Kritis



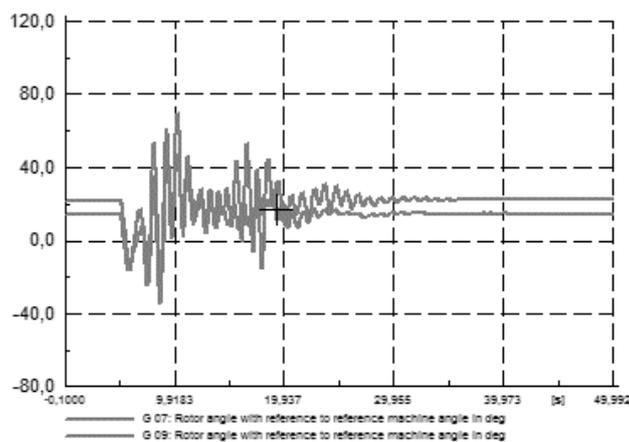
Gambar 5. Respon Sudut Rotor Ketika Waktu Pemutusan CB < Waktu Pemutusan Kritis

2.2. Koherensi Generator

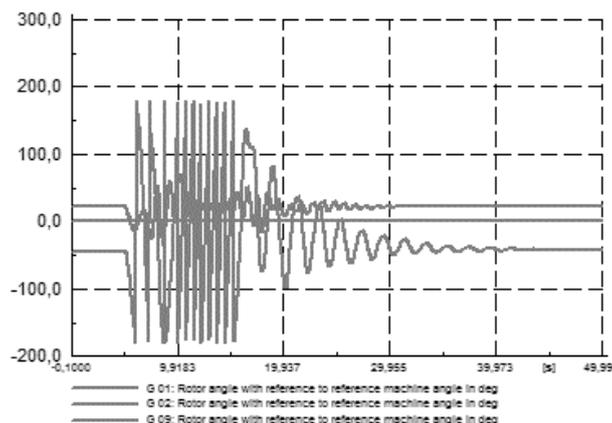
Koherensi generator dapat ditentukan dengan melihat perbedaan sudut rotor suatu generator dengan generator-generator lain yang ada pada sistem yang sama. Generator-generator dapat dikatakan koheren apabila perbedaan respon sudut rotornya konstan pada 0.5-1 detik setelah terjadinya gangguan [2]. Perbedaan sudut maksimum dari kedua generator dibatasi melalui persamaan berikut [2]:

$$\max|\Delta\delta_i(t) - \Delta\delta_j(t)| \leq \varepsilon_i, te(0, \tau) \tag{1}$$

Identifikasi dari kelompok generator yang koheren dilakukan dengan melihat respon sudut rotor setelah terjadi gangguan 3 fasa. Generator dengan kecenderungan ayunan sudut rotor yang sama, dapat dilihat pada Gambar 6. Sedangkan generator dengan kecenderungan osilasi yang berbeda, dapat dilihat pada Gambar 7. Generator-generator yang koheren nantinya akan dikelompokkan pada satu pulau yang sama.



Gambar 6. Respon Sudut Rotor Dua Generator Koheren



Gambar 7. Respon Sudut Rotor Generator Tidak Koheren

2.3. Parameter-Parameter Lainnya

Parameter lain yang dipertimbangkan pada perancangan skema pulau ini adalah keseimbangan beban dan topologi jaringan [3]. Perbedaan daya antara generator dan

beban dibuat seminimum mungkin untuk mencegah terjadinya penurunan frekuensi setelah terjadi pembentukan skema pulau. Untuk membentuk suatu skema pulau, maka semua saluran yang menghubungkan generator pada skema pulau yang berbeda harus diidentifikasi dan dilepas.

Penelitian ini dilakukan pada operasi normal sistem kelistrikan DKI Jakarta dan Banten dengan frekuensi 50 Hz. Total pembangkitan adalah 8.337 MW dan total beban 9.440 MW.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Saluran rawan pada sistem DKI Jakarta dan Banten yang teridentifikasi setelah dilakukan simulasi gangguan tiga fasa terdapat pada Tabel 1. Data saluran rawan ini digunakan sebagai saluran yang diutamakan untuk diputus pada saat pembentukan skema pulau dan juga untuk melihat kelompok generator koheren pada saat terjadi gangguan di saluran tersebut.

Berdasarkan simulasi pada software Digsilent, didapatkan empat kelompok generator koheren. Kelompok generator pada Tabel 2 ini merupakan generator dengan ayunan sudut rotor yang sama ketika terjadi gangguan tiga fasa pada saluran rawan.

Tabel 1. Saluran Rawan

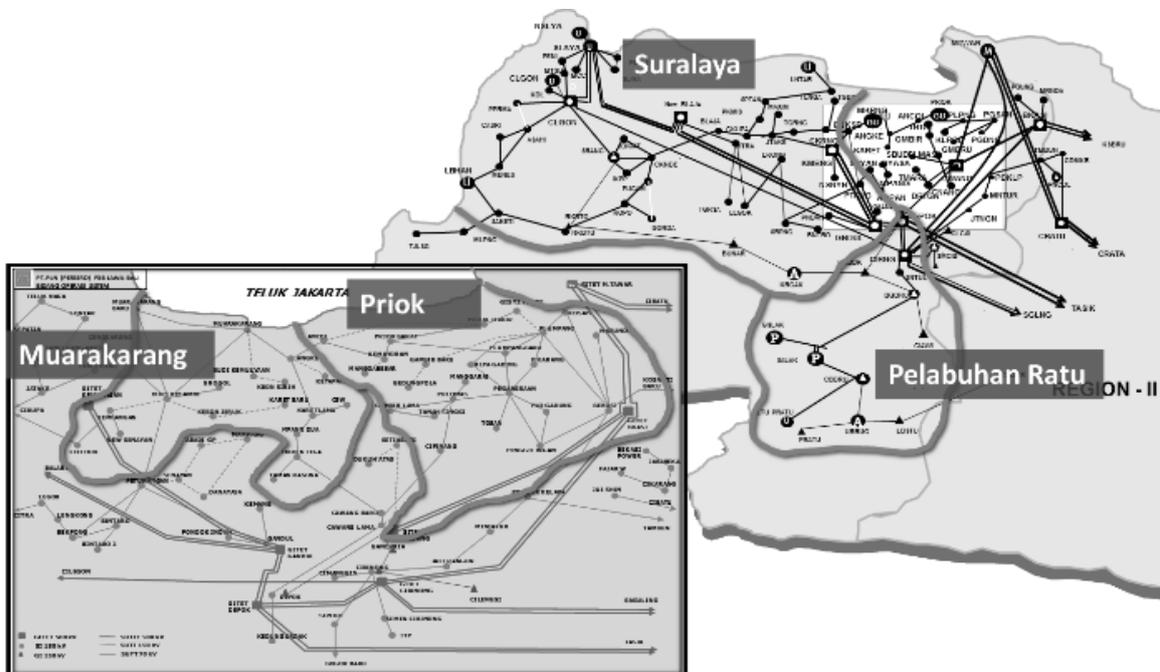
Saluran	Level Tegangan	Waktu Pemutusan Kritis (s)
Banaran-Surya Zag Zag	150 kV	0,117
PLTU Pacitan-Pacitan	150 kV	0,0083
Ponorogo-Manisrejo	150 kV	0,107
Banaran-Manisrejo	150 Kv	0,106
Pacitan-Ponorogo	150 kV	0,05
Surya Zag Zag-Manisrejo	150 kV	0,117
Sutami-Wlingi	150 kV	0,05

Skema pulau yang dirancang memiliki dua langkah. Langkah pertama akan dieksekusi ketika frekuensi 48,3 Hz dan langkah kedua akan dieksekusi ketika frekuensi 48,1 Hz. Pada skema pulau tahap pertama, sistem DKI Jakarta dan Banten akan terpisah dari sistem kelistrikan Jawa Bali. Tujuan dari tahap pertama ini adalah untuk mencegah gangguan menjalar ke sistem DKI Jakarta dan Banten. Untuk menjaga keseimbangan daya, maka PLTU Suralaya Unit 7 dan PLTU Labuan harus dimatikan.

Tabel 2. Kelompok Generator Koheren

Pembangkit Listrik	P (MW)	Q (Mvar)	Pembangkit Listrik	P (MW)	Q (Mvar)
Kelompok 1			Kelompok 4		
PLTGU Muara Karang Baru	942,67	391	PLTU Pelabuhan Ratu	865	620,2
PLTGU New Priok	570,13	330	Kelompok 5		
PLTGU Priok Barat	998,12	652	PLTU Suralaya	3352,85	2112,959
Kelompok 2			PLTU Teluk Naga	252	88
PLTP Salak Baru	182,91	58	Kelompok 6		
PLTP Salak Lama	161,6	53	PLTGU Cilegon	330	147
Kelompok 3			Kelompok 7		
PLTU Labuan	504	160	PLTA Kracak	8	3
PLTU Muara Karang Lama	134,26	46	PLTA Ubrug	6	2

Skema pulau tahap dua dilakukan pada frekuensi 48,1 Hz. Dengan detail pembagian skema pulau terdapat pada Tabel 3 dan Gambar 8. Alokasi pembagian beban untuk setiap skema pulau didasarkan pada keseimbangan daya, topologi jaringan, dan lokasi saluran rawan. Untuk menjaga keseimbangan daya, dibutuhkan adanya generator yang dimatikan. Dimana pemilihan tersebut didasarkan pada kapasitas dan kecepatan waktu penyalaan. Pembangkit dengan kapasitas besar dan waktu penyalaan lama diprioritaskan untuk tetap menyala.



Gambar 8. Skema Pulau Sistem DKI Jakarta dan Banten

Tabel 3. Skema Pulau Sistem DKI Jakarta dan Banten

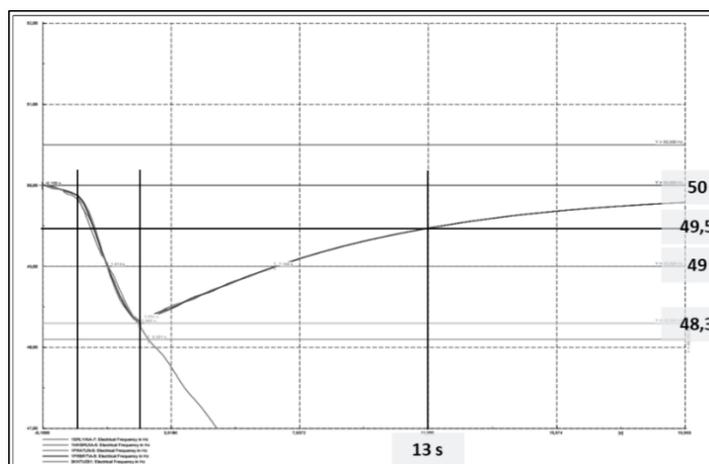
Pulau	Daya Pembangkitan	Load	Daya Beban
Suralaya	2809	2688	121
Muara Karang	732	812	-80
Priok	1568	982	586
Pelabuhan Ratu	865	620	245

Skenario yang digunakan untuk menguji hasil perancangan skema pulau terdapat pada Tabel 4. Pada skenario pertama, skema pulau hanya terjadi sampai tahap pertama. Sedangkan pada skenario kedua, akan terjadi skema pulau tahap dua.

Pada skenario pertama, gangguan lepas pembangkit terjadi di luar area DKI Jakarta dan Banten. Ketika frekuensi turun mencapai 48,3 Hz, maka tahap pertama skema pulau bekerja untuk mencegah gangguan menyebar ke sistem DKI Jakarta dan Banten. Dan pada detik ke 12,7 setelah terjadi eksekusi skema pulau tahap pertama, frekuensi sistem DKI Jakarta dan Banten dapat kembali ke batas aman pada 49,5 Hz seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

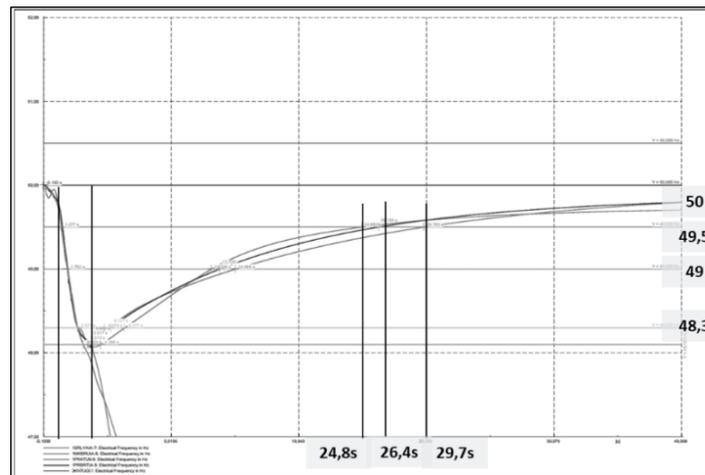
Tabel 4. Skenario Gangguan untuk Evaluasi Hasil Perancangan

Skenario 1	P(MW)	Skenario 2	P(MW)
PLTU Paiton 5,6,7,8	2200	PLTU Paiton 5,6,7,8	2200
PLTU Tanjung Jati 1,2,3,4	2376	PLTU Tanjung Jati 1,2,3,4	2376
PLTU Cilacap 1	160	PLTU Cilacap 1	160
PLTU Kanci	680	PLTU Kanci	680
PLTU Pacitan 2	228	PLTU Pacitan 2	228
PLTU Rembang 1	252	PLTU Rembang 1	252
		PLTU Pel Ratu 1	292
Total	5900		6192



Gambar 9. Respon Frekuensi Skenario 1

Pada skenario kedua, gangguan lepas pembangkit juga terjadi pada sistem DKI Jakarta dan Banten yaitu pada PLTU Pelabuhan Ratu unit 1. Lepasnya pembangkit tersebut menyebabkan frekuensi sistem turun mencapai 48,3 Hz. Frekuensi sistem akan tetap mengalami penurunan walaupun skema pulau tahap pertama telah dieksekusi, sehingga skema pulau tahap kedua terjadi. Sistem DKI Jakarta dan Banten terbagi kedalam 4 pulau dimana setiap skema pulau mampu mempertahankan kestabilan frekuensinya seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Respon Frekuensi Skenario 2

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Perancangan skema pulau pada sistem DKI Jakarta dan Banten berdasarkan koherensi generator akan membagi sistem tersebut kedalam 4 skema pulau yaitu Pelabuhan Ratu, Muara Karang, Priok, dan Suralaya dan masing-masing pulau akan memiliki kelompok generator yang koheren. Berdasarkan simulasi pertama ketika kejadian gangguan lepas generator, terjadi skema pulau tahap pertama dan berhasil mengembalikan frekuensi sistem ke batas aman. Sedangkan simulasi kedua gangguan lepas generator menyebabkan terjadinya skema pulau tahap kedua. Masing-masing pulau dapat mengembalikan frekuensi sistem ke batas amannya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa skema pulau yang dirancang dapat bekerja dengan baik dalam mempertahankan kestabilan frekuensi dan sudut rotor sistem.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Bandung dan Perusahaan Listrik Negara yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Wang, W. Shao dan V. Vittal, 2005. "Adaptive Corrective Control Strategies for Preventive Power System Blackouts," dalam 15th PSCC, Liege.

- [2] F. S. Rahman, N. Hariyanto dan M. Nurdin, 2014. "Underfrequency Load Shedding Scheme Using Generator Coherency Approach," dalam IEEE Workshop on Electronics, Computer, and Application.
- [3] H. You, V. Vittal dan X. Wang, 2004. "Slow Coherency-Based Islanding," IEEE transactions on Power Systems, vol. 19, pp. 483-491.
- [4] S. A. Nezam-Sarmadi, S. Nouri-Zadeh and M. R. Pishavaie, "An Islanding Algorithm to Restore a PMU Installed Power System," p. 1.
- [5] Z. Lin, H. Shao, J. Bialek dan S. Norris, 2014. "Transient Stability Assesment of Controlled Islanding Based on Power Flow Tracing," dalam Power System Computation Conference (PSCC), Wroclaw.
- [6] D. Barus, 2010. "Over Load Shedding Scheme to Increase Transient Stability Limit Of Jawa Bali Power System Network," dalam University Power Engineering Conference (UPEC), Cardiff.