

STUDI PLTG UNIT 2 PUSAT LISTRIK BALAI PUNGUT SEBAGAI *BLACK START* SAAT KEHILANGAN TEGANGAN PADA SISTEM 150 KV

Rendy Abdullah¹, Daniel Meliala², Zulfahri³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: abdullahrendy45@gmail.com, daniel@unilak.ac.id, zulfahri@unilak.ac.id

ABSTRAK

Saat ini ketika terjadi *blackout* di sistem 150 kV Riau yang menjadi unit *black start* adalah PLTA Koto Panjang namun jika musim kemarau tiba maka dikhawatirkan elevasi air tidak memenuhi syarat batas minimum untuk melakukan *start* PLTA, hal ini tentu akan menjadi suatu masalah ketika terjadi *blackout* maka PLTA tidak bisa melakukan *black start*. Memaksimalkan PLTG Unit 2 Pusat Listrik Balai Pungut menjadi *black start* tentu akan menjadi nilai plus untuk sistem 150 kV Riau yang akan bisa melakukan pemulihan sendiri jika PLTA tidak bisa melakukan *start*. Sehingga perlu dilakukan sebuah studi untuk mendapatkan gambaran kontribusi PLTG Unit 2 dalam skema pemulihan sistem pasca *blackout*. Data yang diambil adalah data sekunder berupa data spesifikasi generator, data sistem interkoneksi 150 kV Riau meliputi data *single line diagram* 150 kV, daya mampu pembangkit, data impedansi penghantar dan data *load shedding*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTG Unit 2 mampu melakukan *supply* daya menuju pembangkit yang berada di Balai Pungut, Teluk Lembu dan Koto Panjang serta memulihkan beban sistem 10,74 MW. PLTA Koto Panjang mampu melakukan *supply* daya menuju semua pembangkit yang berada dalam sistem interkoneksi Riau dan memulihkan beban sistem 84,22 MW. Dengan mengacu pada batas *load shedding* tahap awal 49,50 Hz setiap penambahan beban pada sistem, PLTG Unit 2 mampu menahan beban maksimal 3 MW dengan fluktuasi frekuensi yang dapat dipertahankan 49,51 Hz, PLTA Koto Panjang maksimal 7,3 MW dengan fluktuasi frekuensi yang dapat dipertahankan 49,515 Hz.

Kata Kunci: *black start, pemulihan sistem tenaga listrik, PLTG, PLTA*

ABSTRACT

Currently when there is a *blackout* in the Riau 150 kV system that became a *black start* unit is Koto Panjang hydropower but if the dry season arrives then it is feared that the water level does not meet the minimum requirement for hydropower start, this will certainly be a problem when there is *blackout* then Koto Panjang hydropower can not do *black start*. Maximizing Gas Turbine Power Plant (GTPP) Unit 2 Pusat Listrik Balai Pungut into a *black start* would be a plus for Riau's 150 kV system which can do its own recovery if the Koto Panjang hydropower can not start. So it is necessary to do a study to get an overview of the contribution of GTPP Unit 2 in the post-*blackout* power system restoration scheme. In conducting the research, the data taken are secondary data in the form of generator data, Riau 150 kV interconnect system data include *single line diagram* data of 150 kV, power generated, impedance data and *load shedding* data. The results showed that GTPP Unit 2 was able to supply power to the power plant located in Balai Pungut, Teluk Lembu and Koto Panjang and restore the system load of 10,74 MW. Koto Panjang hydropower is able to supply power to all plants located in the Riau interconnection system and restore the system load 84,22 MW. Referring to the initial loading *load shedding* limit of 49,50 Hz each additional load on the system, GTPP Unit 2 is able to withstand a maximum load of 3 MW with defensible frequency fluctuations of 49,51 Hz, Koto Panjang maximum of 7,3 MW with fluctuations in frequency 49,515 Hz can be maintained.

Keywords: *black start, power system restoration, Gas Turbine Power Plant, hydropower*

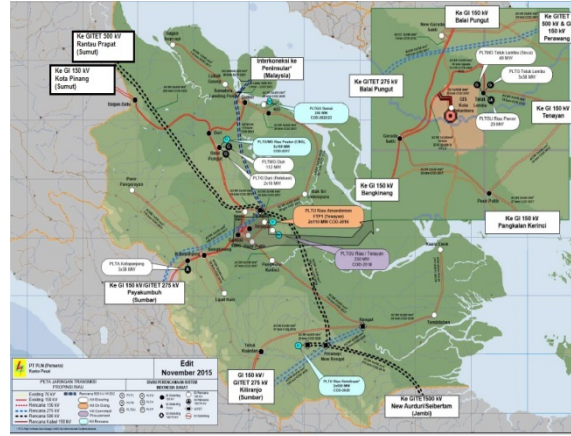
1. PENDAHULUAN

Blackout (padam total) merupakan keadaan gangguan meluas sistem tenaga listrik dimana seluruh unit pembangkit berhenti bekerja (*trip*) sehingga seluruh konsumen padam. *Blackout* memiliki dampak yang sangat merugikan baik secara materi maupun non materi. Untuk menghindarinya, saat ini telah berkembang metode pengaturan preventif dan pengaturan emergensi seperti *load shedding* dan *islanding*. Upaya pengaturan tersebut diharapkan mampu mengembalikan keseimbangan sistem setelah mengalami guncangan akibat gangguan. Namun jika gagal maka akan tetap terjadi *blackout* [1]. Berdasarkan kebutuhan daya pada proses *start-up*, unit dapat dibagi menjadi dua kelompok: *Black Start unit*, misalnya, PLTA dan PLTG, yang bisa melakukan *start* dengan sumber listrik internal, dan *Non Black Start unit*, seperti PLTU yang memerlukan sumber listrik eksternal [2]. *Black Start* merupakan pengoperasian unit saat keadaan tanpa ada tegangan dari luar yang bertujuan untuk mengisi tegangan ke sistem. Saat ini ketika terjadi *blackout* di sistem 150 kV Riau maka yang menjadi unit *black start* adalah PLTA Koto Panjang Unit 1, 2, 3 namun di sisi lain jika musim kemarau tiba maka dikhawatirkan elevasi air tidak memenuhi syarat batas minimum untuk melakukan proses *start*, hal ini tentu akan menjadi suatu masalah ketika terjadi *blackout* maka PLTA tidak bisa melakukan *black start* untuk mengisi tegangan ke sistem 150 kV Riau dan harus menunggu sumber tegangan dari sub sistem Sumatera Barat. Memaksimalkan PLTG Unit 2 menjadi *black start* tentu akan menjadi nilai plus untuk sistem 150 kV Riau yang mana akan bisa melakukan pemulihan sendiri jika PLTA tidak bisa melakukan *start* selain itu memaksimalkan PLTG Unit 2 menjadi *black start* dapat mempercepat pemulihan sistem tenaga listrik pasca terjadi *blackout*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Gambaran Umum Sub Sistem Interkoneksi Riau

Sub Sistem interkoneksi 150 kV Riau merupakan bagian dari Sistem Sumatera yang melayani sebagian besar pelanggan di Provinsi Riau melalui 11 GI 150 kV diantaranya : GI Koto Panjang, GI Bangkinang, GI Garuda Sakti, GI Teluk Lembu, GI Tenayan Raya, GI Pasir Putih, GI Pangkalan Kerinci, GI Balai Pungut, GI Duri, GI Dumai, GI Bagan Batu seperti pada gambar 1. Beban Puncak Sistem Riau tahun 2016 sebesar 571 MW sedangkan beban puncak pada bulan Maret 2017 sebesar 554 MW. Dengan kapasitas mampu terbaca pembangkit interkoneksi di Riau saat ini tercatat 729 MW.



Gambar 1. Topologi Sub Sistem Riau [3]

2.2 Data Teknik Unit *Blackstart*

Data yang diperlukan dalam penelitian ini disajikan diantaranya adalah data teknik generator PLTG unit 2 balai pungut dan PLTA Koto Panjang, model governor pembangkit, daya mampu pembangkit interkoneksi Riau, *single line diagram* 150 kV Riau dan *load shedding*. Data tersebut akan disajikan pada tabel-tabel berikut :

Tabel 1 Data Generator PLTG Unit 2 [4]

Parameter	Spesifikasi
Merk	ALSHTOM
Type	T190-240
Power	25125 kVA
Tegangan	10,5 kV \pm 5 %
Arus	1382 A
Power factor	0,8 at 15 °C
Reaktansi	$X_d' = 203,1 \%$ $X_d'' = 20,8 \%$
Rpm	3000
Frekuensi	50 Hz
Resistansi Rotor	0,314
Sistem Pendinginan	Udara
Eksitasi	Vdc = 173 V, I = 410 A Tegangan <i>control</i> 24 Vdc Tegangan <i>supply</i> 110 Vdc

Tabel 2 Data Generator PLTA Koto Panjang [5]

Parameter	Spesifikasi
Merk	ELIN
Type	Ssv 540/30-170
Tegangan	11 kV
Arus	2362 A
Power factor	0,85
Power	45000 kVA
Rpm	200
Resistansi Stator	0,00826 Ohm
Frekuensi	50 Hz
Connection	Y
Eksitasi	Rated Load, V= 203 VDC , I = 870 ADC No Load, V= 117 VDC, I= 503 ADC

Tabel 3 Daya Mampu Pembangkit Interkoneksi Riau [6]

No	Nama Pembangkit	Daya Mampu (MW)
1	PLTA Koto Panjang	114
2	PLTG Teluk Lembu	-
3	PLTG Combine Cycle Riau Power	26
4	PLTMG Hutan Alam 1	12
5	PLTMG Hutan Alam 2	50
6	PLTMG PJBS Teluk Lembu	60
7	PLTG Balai Pungut 1 PJBS	17
8	PLTG Balai Pungut 2 PLN	16
9	PLTMG Balai Pungut PLN	105
10	PLTMG Navigat Balai Pungut	34
11	PLTG MPP Balai Pungut	75
12	PLTU Tenayan Raya	220
TOTAL		729

2.3 Pemodelan Governor

Governor merupakan suatu katup yang berfungsi mengatur banyak sedikitnya jumlah (debit air ke turbin air, jumlah (entalpi) uap/gas ke turbin uap/gas atau bahan bakar solar yang dialirkan ke ruang bakar mesin diesel [7]. Model governor dalam aplikasi DIgSILENT 14.1 tersedia secara default. Dengan mengacu pada *Technical Report PES-TR1 IEEE Power Energy & Society tahun 2013 "Turbine-Governors in Power System Studies"* maka dalam simulasi penelitian ini jenis governor yang dipakai adalah sebagai berikut :

- PLTG menggunakan governor tipe GAST
- PLTA menggunakan governor tipe PIDGOV
- PLTU menggunakan governor tipe IEEEG1
- PLTMG menggunakan governor tipe DEGOV1

2.4 Load Shedding

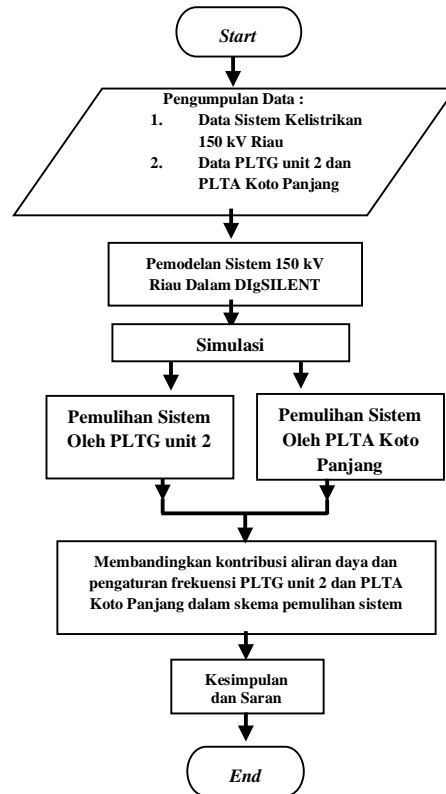
Load Shedding adalah skenario pengendalian *impact* gangguan yang berpotensi menimbulkan hilangnya tegangan pada sistem dengan pembuangan sebagian beban melalui skema proteksi *Under Frequency Relay* [1]. Adapun tahapan *load shedding* Sub Sistem Interkoneksi Riau ditampilkan dalam tabel 4.

Tabel 4 Tahapan *Load Shedding* [8]

No	Tahap Load Shedding	Frekuensi (Hz)
1	Tahap 0	49,5
2	Tahap I	49,3
3	Tahap II	49,1
4	Tahap III	48,9
5	Tahap IV	48,8
6	Tahap V	48,7

2.5 Langkah Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini adapun langkah-langkah penelitian ini yang dilakukan seperti pada gambar 2.

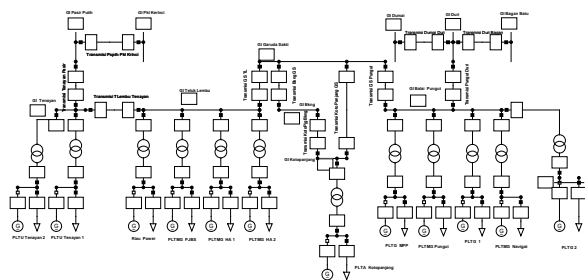


Gambar 2. Flowchart pelaksanaan penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan Sistem Interkoneksi Riau

Pemodelan sistem dilakukan dengan mengacu data pembangkit sistem kelistrikan Riau terkini. Adapun pemodelan sistem interkoneksi Riau seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan Sistem Dalam DIgSILENT 14.1

Fokus pemulihan oleh pembangkit *black start* adalah melakukan *supply* daya menuju peralatan bantu pembangkit *non black start*. Kebutuhan *Cranking Power* unit pembangkit *non black start* yang harus *disupply* dapat dihitung menggunakan persamaan :

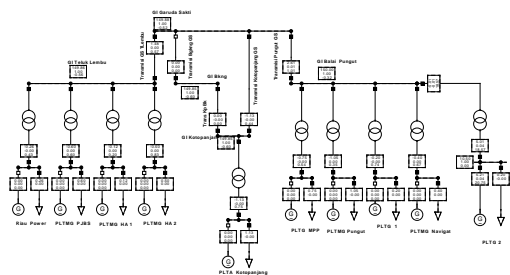
$$n\% \times \text{Daya Terpasang Pembangkit}$$

- a. Cranking power PLTA Koto Panjang
 $0,99\% \times 114 \text{ MW} = 1,1286 \text{ MW} \approx 1,13 \text{ MW}$
- b. PLTG Riau Power
 $1\% \times 26 \text{ MW} = 0,26 \text{ MW}$
- c. PLTMG Hutan Alam 1
 $1\% \times 12 \text{ MW} = 0,12 \text{ MW}$
- d. PLTMG Hutan Alam 2
 $1\% \times 50 \text{ MW} = 0,5 \text{ MW}$
- e. PLTMG PJBS Teluk Lembu
 $1\% \times 60 \text{ MW} = 0,6 \text{ MW}$
- f. PLTG Unit 1 Balai Pungut PJBS
 $1\% \times 20,1 \text{ MW} = 0,201 \text{ MW}$
- g. PLTG Unit 2 Balai Pungut PLN
 $1\% \times 20,1 \text{ MW} = 0,201 \text{ MW}$
- h. PLTG MPP Balai Pungut
 $1\% \times 75 \text{ MW} = 0,75 \text{ MW}$
- i. PLTMG Balai Pungut PLN
 $1\% \times 105 \text{ MW} = 1,05 \text{ MW}$
- j. PLTMG Navigat Balai Pungut
 $1\% \times 40 \text{ MW} = 0,4 \text{ MW}$
- k. PLTU Tenayan Raya 1 dan 2
 $10\% \times 220 \text{ MW} = 22 \text{ MW}$

3.2 Simulasi PLTG Unit 2 Sebagai Black Start

3.2.1 Simulasi Aliran Daya PLTG Unit 2

Dalam mendukung proses pemulihan sistem PLTG unit 2 berperan sebagai *black start* dengan fokus pemulihan adalah melakukan *supply cranking power* kepada pembangkit *non black start*. Sesuai daya mampu PLTG unit 2 yaitu 16 MW maka tidak semua unit pembangkit yang ada dalam sistem interkoneksi Riau dapat disupply *cranking power*-nya. Adapun pembangkit yang mendapat daya PLTG adalah yang berada di Balai Pungut, Teluk Lembu, dan Koto Panjang. Simulasi kondisi PLTG unit 2 melakukan pengiriman daya menuju pembangkit *non black start* sesuai topologi pemulihannya seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Aliran Daya PLTG Unit 2 Melakukan Supply Daya Ke Pembangkit Non Black Start

Gambar 4 merupakan kondisi PLTG unit 2 melakukan *supply* daya ke pembangkit lain dengan aliran daya konvergen pada iterasi ke-2 sebagaimana terlihat pada gambar 5. Parameter daya hasil simulasi terlihat pada tabel 4.

```

DIGSI/info - Operation scenario Simulasi PLTG OK was saved.
DIGSI/info - Element ' @ PLTG 2 ' is local reference in separated area of 'Terminal PLTG 2'
DIGSI/info - Grid split into 2 isolated areas
DIGSI/info - Calculating load flow...
DIGSI/info - Start Newton-Raphson Algorithm...
DIGSI/info - Load flow iteration: 1
DIGSI/info - Load flow iteration: 2
DIGSI/info - Newton-Raphson converged with 2 iterations.
DIGSI/info - Load flow calculation successful.
    
```

Gambar 5. Iterasi Aliran Daya PLTG Unit 2 Saat Melakukan Supply Cranking Power Pembangkit Non Black Start

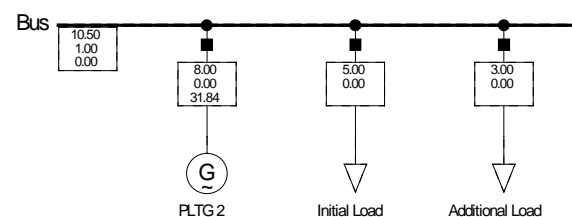
Tabel 4 Parameter Cranking Power Terbaca Pada Pembangkit Non Black Start

Gardu Induk	Pembangkit	Cranking Power Hasil Perhitungan (MW)	Cranking Power Hasil Simulasi (MW)
GI Balai Pungut	PLTG Unit 1 Balai Pungut	0,2	0,2
	PLTMG Balai Pungut PLN	1,05	1,05
	PLTMG Navigat Balai Pungut	0,4	0,4
	PLTG MPP Balai Pungut	0,75	0,75
	Pemakaian Sendiri PLTG Unit 2	0,2	0,2
GI Koto Panjang	PLTA Koto Panjang	1,13	1,13
GI Teluk Lembu	PLTMG Hutan Alam 1	0,12	0,12
	PLTMG Hutan Alam 2	0,5	0,5
	PLTMG PJBS Teluk Lembu	0,6	0,6
	PLTG Riau Power	0,26	0,26
Total		5,21	5,21

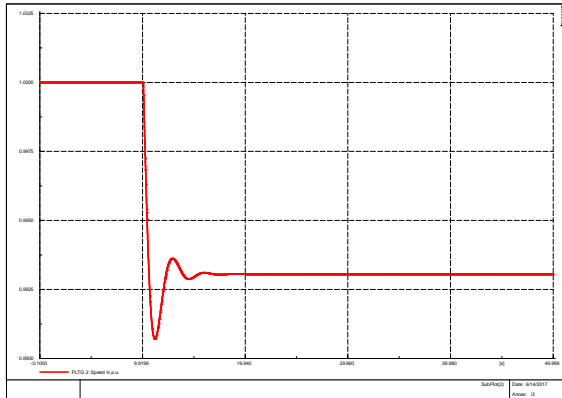
3.2.2 Simulasi Step Response Governor PLTG Unit 2

Dengan perannya sebagai *black start* pasca gangguan *blackout*, pembebanan PLTG unit 2 dilakukan secara bertahap sesuai kemampuan governornya dalam mempertahankan putaran (frekuensi) sesuai skema pengaturan frekuensi *load shedding* sistem. Simulasi *step response* dilakukan secara berulang hingga mendapat nilai minimum yang dapat dipertahankan.

Simulasi *step response* terlihat pada gambar 5 dengan beban awal yang diberi (*initial load*) adalah 5 MW, hasilnya dengan batas nilai mengacu pada skema *load shedding* tahap awal 49,50 Hz didapat beban maksimal yang dapat ditambah (*additional load*) adalah sebesar 3 MW dengan fluktuasi frekuensi hingga 0,9902 pu. Grafik hasil simulasi seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Simulasi Step Response PLTG 2



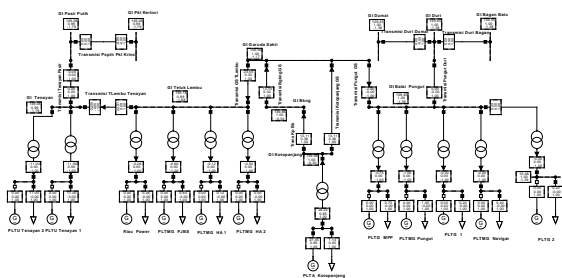
Gambar 7. Grafik Fluktuasi Frekuensi PLTG Unit 2 Terhadap Waktu Saat Penambahan Beban 3 MW

Gambar 7 menampilkan grafik fluktuasi frekuensi saat penambahan beban 3 MW dengan sumbu x menyatakan waktu simulasi (detik) dan sumbu y menyatakan frekuensi (pu). Dapat dilihat frekuensi terendah yang dapat dipertahankan adalah 0,9902 pu pada detik ke-11 sehingga nilai sebenarnya yang terjadi :
 $0,9902 \text{ pu} \times 50 \text{ Hz} = 49,51 \text{ Hz}$

3.3 Simulasi PLTA Koto Panjang Sebagai Black Start

3.3.1 Simulasi Aliran Daya PLTA Koto Panjang

Sesuai daya mampu PLTA Koto Panjang yaitu 114 MW maka semua unit pembangkit yang ada dalam sistem interkoneksi Riau dapat disupply cranking power-nya. Simulasi PLTA Koto Panjang melakukan pengiriman daya menuju pembangkit non black start seperti pada gambar 6.



Gambar 7 Aliran Daya PLTA Koto Panjang Melakukan Supply Cranking Power Ke Pembangkit Non black Start

Gambar 7 merupakan kondisi PLTA melakukan supply daya ke pembangkit non black start dengan aliran daya konvergen pada iterasi ke-2 terlihat pada gambar 8. Parameter daya terbaca hasil simulasi terlihat pada tabel 5.

```

DigSI/info - Element @ PLTA Koto Panjang is local reference in separated area of Terminal PLTA
DigSI/info - Calculating load flow...
DigSI/info -
DigSI/info - Start Newton-Raphson Algorithm...
DigSI/info - load flow iteration: 1
DigSI/info - load flow iteration: 2
DigSI/info - Newton-Raphson converged with 2 iterations.
DigSI/info - Load flow calculation successful.
    
```

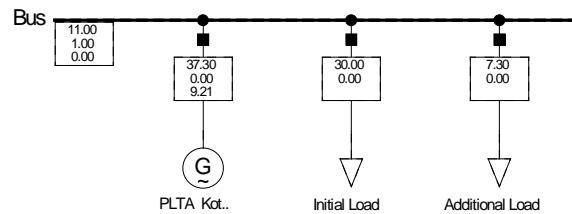
Gambar 8. Iterasi Aliran Daya PLTA Koto Panjang Saat Melakukan Supply Cranking Power Pembangkit Non Black Start

Tabel 5 Parameter Cranking Power Terbaca Pada Pembangkit Non Black Start

Gardu Induk	Pembangkit	Cranking Power Hasil Perhitungan (MW)	Cranking Power Hasil Simulasi (MW)
GI Balai Pungut	PLTG Unit 1 Balai Pungut	0,2	0,2
	PLTG Unit 2 Balai Pungut	0,2	0,2
	PLTMG Balai Pungut PLN	1,05	1,05
	PLTMG Navigat Balai Pungut	0,4	0,4
	PLTG MPP Balai Pungut	0,75	0,75
GI Koto Panjang	Pemakaian Sendiri PLTA Koto Panjang	1,13	1,13
GI Teluk Lembu	PLTMG Hutan Alam 1	0,12	0,12
	PLTMG Hutan Alam 2	0,5	0,5
	PLTMG PJBS Teluk Lembu	0,6	0,6
	PLTG Riau Power	0,26	0,26
GI Tenayan Raya	PLTU Tenayan Raya	22	22
	Total	27,21	27,21

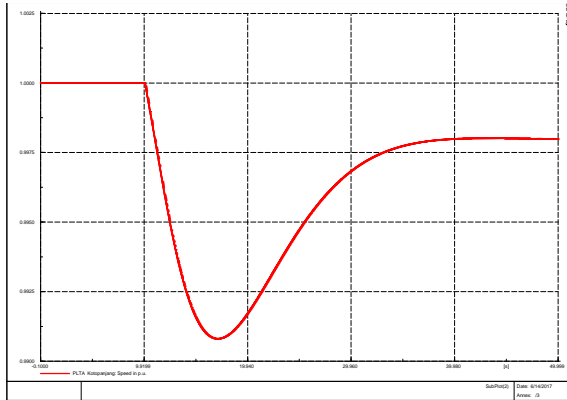
3.3.2 Simulasi Step Response Governor PLTA Koto Panjang

Dengan perannya sebagai black start pasca gangguan blackout, pembebanan PLTA Koto Panjang dilakukan secara bertahap sesuai kemampuan governornya dalam mempertahankan putaran (frekuensi) sesuai skema pengaturan frekuensi load shedding tahap awal sistem. Simulasi step response seperti pada gambar 9. Simulasi ini dilakukan 2 tahap yaitu saat PLTA terhubung dengan initial load dan saat PLTA menahan beban additional load



Gambar 9. Tampilan Simulasi Step Response PLTA Koto Panjang

Gambar 10 menampilkan grafik fluktuasi frekuensi saat penambahan beban 7,3 MW dengan sumbu x menyatakan waktu simulasi (detik) dan sumbu y menyatakan frekuensi (pu). Dapat dilihat frekuensi terendah yang dapat dipertahankan adalah 0,9903 pu pada detik ke-17 sehingga nilai frekuensi sebenarnya yang terjadi :
 $0,9903 \text{ pu} \times 50 \text{ Hz} = 49,515 \text{ Hz}$

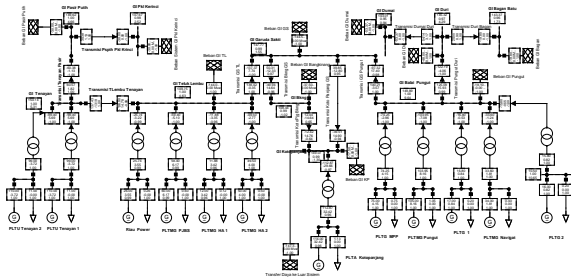


Gambar 10. Grafik Fluktuasi Frekuensi PLTA Koto Panjang Terhadap Waktu Saat Penambahan Beban 7,3 MW

3.4 Simulasi Pasca Semua Pembangkit Interkoneksi Beroperasi

3.4.1 Aliran Daya Interkoneksi

Simulasi kondisi pemulihan sistem dimana semua unit yang berada dalam sistem interkoneksi beroperasi sesuai daya mampunya. Adapun kondisi sistem setelah semua unit beroperasi dapat terlihat pada gambar 11 dengan aliran daya konvergen pada iterasi ke-3 ditunjukkan pada gambar 12, parameter hasil simulasi terlampir pada tabel 6.



Gambar 11. Simulasi Kondisi Pasca Semua Pembangkit Beroperasi

```

DIGSI/info - Calculating load flow...
DIGSI/info - Start Newton-Raphson Algorithm...
DIGSI/info - load flow iteration: 1
DIGSI/info - load flow iteration: 2
DIGSI/info - load flow iteration: 3
DIGSI/info - Newton-Raphson converged with 3 iterations.
DIGSI/info - Load flow calculation successful.
    
```

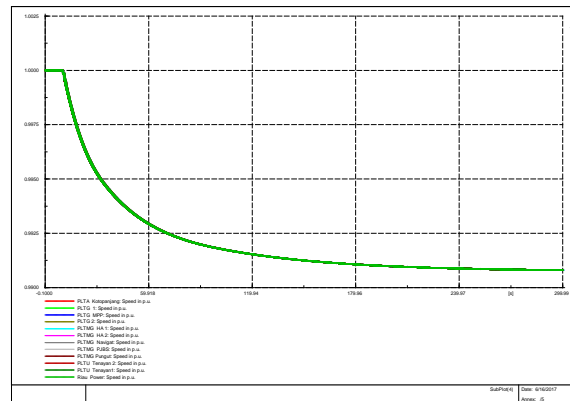
Gambar 12 Iterasi Aliran Daya Interkoneksi

Tabel 6 Parameter Sistem Setelah Semua Pembangkit Beroperasi

No	Beban Terbaca (MW)	Beban Terbaca (MW)
1	GI Bagan Batu	19,8
2	GI Dumai	53,37
3	GI Duri	48
4	GI Balai Pungut	19,1
5	GI Garuda Sakti	144,52
6	GI Koto Panjang	17,5
7	GI Bankinang	37,5
8	GI Teluk Lembu	144
9	GI Tenayan Raya	-
10	GI Pasir Putih	30
11	GI Pki Kerinci	30
12	Beban Pemakaian Sendiri	27,21
13	Transfer Beban Ke Sistem Lain	147,23
Total Beban Terbaca		718,23

3.4.2 Simulasi Step Response Governor Interkoneksi

Untuk melihat *step response* governor sistem interkoneksi Riau dilakukan simulasi dengan lama waktu 300 detik dan penambahan 62 MW dilakukan pada detik ke-10 sebagaimana gambar 12. Sumbu x menyatakan lama waktu simulasi (detik) dan sumbu y menyatakan frekuensi (pu).



Gambar 12. Step Response Governor Interkoneksi

Dapat dilihat frekuensi terendah yang dapat dipertahankan sistem saat semua pembangkit dalam keadaan paralel adalah 0,9903 pu sehingga fluktuasi nilai frekuensi sebenarnya yang terjadi adalah : $0,9903 \text{ pu} \times 50 \text{ Hz} = 49,515 \text{ Hz}$

Rekapitulasi hasil dari semua simulasi yang telah dilakukan tersedia dalam tabel 7.

Tabel 7 Rekapitulasi Hasil

Pembangkit/ Sistem	Aliran Daya		Simulasi Step Response Governor	
	Iterasi (Ke-n)	Fokus Pemulihan Pembangkit	Add Load (MW)	Frek (pu)
PLTG Unit 2 Balai Pungut	Konvergen/2	Balai Pungut, Koto Panjang, Teluk Lembu	3	0,9902
PLTA Koto Panjang	Konvergen/3	Balai Pungut, Teluk Lembu, Tenayan Raya	7,3	0,9903
Sistem Interkoneksi	Konvergen/3	Beban Interkoneksi	62	0,9903

4. KESIMPULAN

1. PLTG Unit 2 mampu melakukan *supply* daya sesuai daya mampunya 16 MW menuju pembangkit yang berada di Balai Pungut, Teluk Lembu dan Koto Panjang serta memulihkan beban sistem 10,74 MW
2. PLTA Koto Panjang mampu melakukan *supply* daya sesuai daya mampunya 114 MW menuju semua pembangkit yang berada dalam sistem interkoneksi Riau dan memulihkan beban sistem 84,22 MW
3. Dengan mengacu pada batas *load shedding* tahap awal 49,50 Hz :
 - a. Pemulihan sistem oleh PLTG Unit 2 dilakukan secara bertahap dengan setiap penambahan beban maksimal 3 MW dengan fluktuasi frekuensi yang dapat dipertahankan 49,51 Hz
 - b. Pemulihan sistem oleh PLTA Koto Panjang dilakukan secara bertahap dengan setiap penambahan beban maksimal 7,3 MW dengan fluktuasi frekuensi yang dapat dipertahankan 49,515 Hz
 - c. Sistem interkoneksi mampu menahan lonjakan penambahan beban hingga 62 MW dengan fluktuasi frekuensi yang dapat dipertahankan hingga 49,515 Hz.
4. PLTG Unit 2 Pusat Listrik Balai Pungut mampu melakukan peran sebagai *black start* ketika PLTA Koto Panjang tidak dapat beroperasi pada saat elevasi air rendah di musim kemarau.

Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 2012.

- [6] PT PLN UPB, *Laporan Beban Harian*, PT PLN P3BS, Padang, 2017.
- [7] Nugraheni, Ari, *Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd*, Skripsi Teknik Elektro Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [8] PT PLN UPB, *Defend Scheme Sub Sistem Sumbagteng Tahun 2014*, PT. PLN P3BS, Padang, 2014.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hudah, M Afip Nurul, *Strategi Pemulihan Gangguan Blackout Sistem Sulserbarteng Dengan Restorasi Pembangkit Hidro*, Tesis Program Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Hasanudin Makassar, 2014.
- [2] Sun, Wei, Chen ching Liu, Shanshan Liu, *Black Start Capability Assessment in Power System Restoration*, IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, ISSN 1932-5517, 2011.
- [3] Keputusan Menteri ESDM RI, *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) Tahun 2017 s.d. 2026*, Kementerian ESDM, Jakarta, 2017.
- [4] Power, Indonesia, *Laporan Teknik Major Inspection & Relokasi PLTG Sunyaragi Unit 1 Cirebon Jabar-Duri Riau*, Maintenance Services, Jakarta Barat, 2012.
- [5] Purwanto, Edi, *Analisa Perbandingan Efisiensi Turbin Sebelum dan Sesudah Combustion Inspection di PLTG Muara Karang Blok 1.2 dengan Menggunakan Bahan Bakar HSD*,