

Pemodelan Pemulihan Sistem 500 Kv Saat Terjadi *Blackout* Dengan Simulasi *Digsilent*

Samsurizal¹, Andi Makkulau², Nico E Tamba³, Novi Kurniasih⁴

¹²³⁴Prodi Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Jakarta, DKI Jakarta.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 30 Juli 2021

Direvisi : 8 Nopember 2021

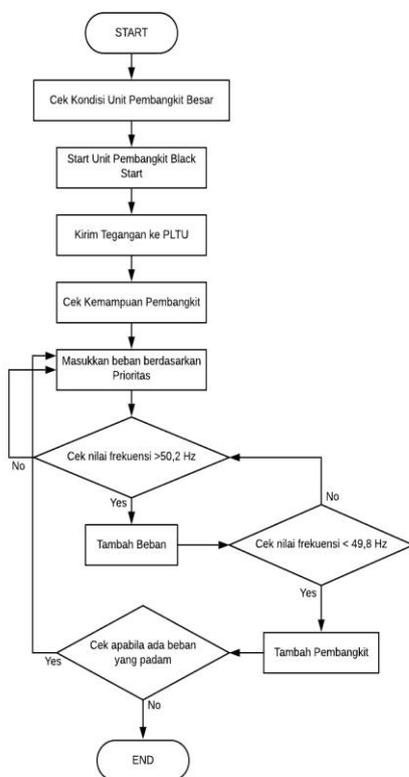
Disetujui : 16 Nopember 2021

doi: 10.36055/setrum.v10i2.12033

*Korespondensi Penulis:

samsurizal@itpln.ac.id

Graphical abstract



Abstract

The electric power system network must be maintained in its operation. The stability of the frequency in the balance between the power supply and the load is the main thing. In the event of a major disturbance, where many generating units are out of operation so that the system's generation capability is much lower than the load requirement, it can cause blackouts in the system. If this happens, the power system must immediately restore its generating capacity so that it can immediately serve the load or electricity users. In the simulation using *DIgSILENT*, it was found that the amount of load that must be sent by the Saguling PLTA to the Suralaya PLTU for the start-up process is 52.22 MW. And after the Suralaya PLTU is ready to operate, a recovery process is carried out on the 500 kV network by restoring *GITET* on the western system by paying attention to the frequency so that it returns to normal frequency. By using the software *DIgSILENT* 15.1.7. From the simulation results, the results showed that the Suralaya *GITET* recovered at a frequency of 50.072 Hz, 49.825 Hz at the Cilegon Baru *GITET*, 49.825 Hz at the Cibinong *GITET*, 49.953 Hz at the Bekasi *GITET*, and 50.064 Hz *GITET* in Cawang. While *GITET* Gandul at 49.866 Hz and *GITET* Kembangan at 50.078.

Keywords: *Digsilent*, *Blackout*, *Load Recovery*, *Simulation*

Abstrak

Jaringan sistem tenaga listrik harus dijaga dalam pengoperasiannya. Kestabilan frekuensi pada keseimbangan antara pasokan daya pembangkitan dan beban menjadi hal yang utama. Apabila terjadi gangguan besar, dimana banyak unit pembangkit yang keluar dari operasi sehingga kemampuan pembangkitan sistem jauh lebih rendah dari kebutuhan beban, maka dapat menyebabkan terjadinya *blackout* pada sistem. Jika hal ini terjadi maka sistem tenaga listrik harus segera dipulihkan kemampuan pembangkitannya agar bisa segera melayani beban atau pemakai tenaga listrik. Pada simulasi menggunakan *DIgSILENT* didapatkan besar beban yang harus dikirim oleh PLTA Saguling ke PLTU Suralaya untuk proses start up sebesar 52,22 MW. Dan setelah PLTU Suralaya sudah siap beroperasi, dilakukan proses pemulihan pada jaringan 500 kV dengan memulihkan *GITET* pada sistem barat dengan memperhatikan frekuensi agar kembali ke frekuensi normal. Dengan menggunakan software *DIgSILENT* 15.1.7. Dari hasil simulasi didapatkan hasil, pada *GITET* Suralaya pulih di frekuensi 50,072 Hz, 49,825 Hz pada *GITET* Cilegon Baru, 49,825 Hz pada *GITET* Cibinong, 49,953 Hz pada *GITET* Bekasi, 50,064 Hz *GITET* pada Cawang. Sedangkan *GITET* Gandul pada 49,866 Hz dan *GITET* Kembangan pada 50,078.

Kata kunci: *Digsilent*, *Blackout*, *Pemulihan Beban*, *Simulasi*

© 2021 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi dimana terdapat pusat listrik dan juga puluhan unit pembangkit serta puluhan gardu induk yang dimana satu sama lain dihubungkan oleh saluran transmisi. Di setiap gardu induk terdapat subsistem distribusi yang melayani pemakai tenaga listrik yang

merupakan beban sistem. Dalam keadaan operasi normal beban sistem dibagi diantara pusat – pusat listrik dengan prinsip pembagian yang optimum, dalam arti mencapai biaya bahan bakar yang minimum dengan memperhatikan mutu dan keandalan nya. Mutu tersebut menyangkut nilai frekuensi dan tegangan, sedangkan keandalan menyangkut gangguan pada sistem tenaga listrik yang harus dibuat seminimal mungkin [1][2].

Gangguan tidak diinginkan tetapi tidak dapat dihindarkan, apabila terjadi gangguan besar (*blackout*) dimana banyak unit pembangkit yang trip (keluar dari operasi) sehingga kemampuan pembangkitan sangat menurun dan mengakibatkan terjadinya pelepasan beban (*shedding load*) yang mungkin bisa mencapai 100%. Maka harus ada langkah untuk menormalkan sistem dalam arti memulihkan kemampuan pembangkitan dan melayani para pemakai tenaga listrik secara normal Kembali [3][4]. Maka diperlukan untuk menganalisa pemulihan sistem agar durasi waktu pemulihannya lebih minimum. Untuk pemulihan sistem tenaga listrik setelah *blackout* secara garis besar diperlukan langkah dimana untuk men start unit pembangkit yang dapat melakukan *blackstart* (dalam hal ini adalah PLTA, PLTG, PLTD), mengirim tegangan dari unit pembangkit yang dapat *blackstart* ke PLTU yang besar dengan melalui saluran transmisi, dan setelah unit – unit yang besar seperti PLTU ataupun PLTGU beroperasi maka segera dilakukan pemulihan beban.

Jaringan sistem tenaga listrik merupakan jaringan yang sangat kompleks yang memiliki sejumlah komponen yang berinteraksi satu dengan yang lainnya. Ketika salah satu komponen beroperasi melebihi limit maka sistem proteksi akan beraksi dan komponen akan dilepaskan dari sistem. Komponen juga dapat terlepas dari sistem oleh karena kesalahan operasi atau kerusakan yang diakibatkan penuaan (*ageing*), api, cuaca, perawatan yang kurang baik, dan setting yang tidak tepat. Aliran daya sistem dihitung dengan melalui pendekatan aliran daya DC untuk mencari sudut tegangan dan daya aktif yang mengalir pada saluran [8].

Sedangkan pada jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro membahas tentang Performasi Pembangkit 150 kV dalam *Blackout Scenarios*, dimana berfokus pada kondisi pembangkitan pada saat adanya gangguan *blackout*. Dengan memperhatikan perubahan respon tegangan pada tegangan saat terjadinya osilasi akibat gangguan *blackout*.

Dalam arikel lain Kajian Keandalan Sistem *Blackstart* pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap Blok 1 Muara Karang [4]. Dimana unit pembangkit yang bisa *blackstart* adalah unit pembangkit yang bisa dioperasikan dari kondisi berhenti sampai berbeban penuh tanpa adanya bantuan pasokan tenaga listrik dari luar. Secara teknis unit pembangkit yang dapat melakukan *blackstart* adalah PLTA, PLTD, PLTG dan PLTGU. Apabila terjadi *blackout*, pembangkit yang mempunyai fasilitas *blackstart* dapat membantu pembangkit berdaya besar untuk kembali beroperasi.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

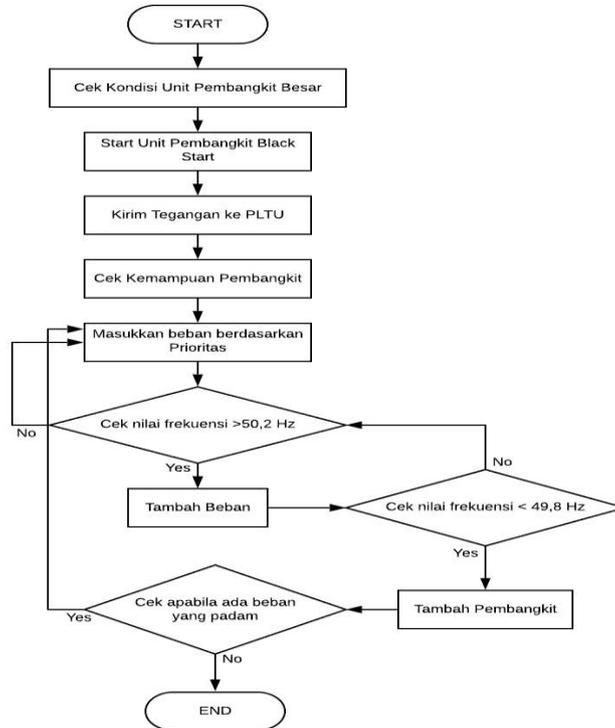
Dalam menyelesaikan penelitian ini, maka peneliti menggunakan beberapa tahap untuk menyelesaikan studi tentang pemulihan sistem akibat terjadinya gangguan besar yang menyebabkan sistem mengalami pemadaman total (*blackout*), yang terdiri dari :

- Studi Literatur, yaitu mencari dan mempelajari buku-buku, jurnal ilmiah, *Handbook*, dan artikel-artikel yang berisikan tentang teori atau pembahasan yang terkait dengan penelitian tentang kajian pemulihan sistem, gangguan besar (*blackout*) pada sistem tenaga listrik.
- Pengumpulan data, dengan cara pengamatan dan survei secara langsung ke lapangan dan pengambilan data di PT.PLN (Persero) UI P2B.
- Melakukan perhitungan beban start untuk PLTU Suralaya untuk dikirimkan oleh PLTA Saguling.
- Merancang basecase pada software DIgSILENT untuk studi simulasi pemulihan frekuensi sistem 500 kV berdasarkan operasi frekuensi normal $50 \pm 0,2$ Hz.

- Melakukan pemulihan pada setiap GITET dan melakukan simulasi dinamik pada DIgSILENT untuk melihat pembebanan IBT saat dipulihkan.

2.1. Alur Kerja Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada bagan di bawah ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Kecepatan perubahan beban pada unit PLTU harus menurut petunjuk instruction manual yang dibuat oleh pabrik, karena perubahan beban memberikan berbagai dampak. Kecepatan perubahan beban yang mampu dilakukan oleh unit PLTU tergantung pula keadaan posisi beban permulaan dan kaitannya dengan sistem bahan bakar dan sistem pengisian air ketel. Ada PLTU yang didesain apabila bebannya kurang dari 50% harus ada burner yang dimatikan dan juga ada pompa pengisi air ketel yang diberhentikan. Untuk menaikkan bebannya misalkan dari 40% ke 80%, tahapnya terbagi dua yaitu dari 40% sampai dengan 50%. Kemudian berhenti sesaat untuk menyalakan burner tambahan dan pompa air pengisi ketel tambahan, baru setelah burner tambahan dan pompa berisi air ketel tambahan bekerja normal beban dapat dinaikkan dari 50% sampai dengan 80%. Untuk PLTU yang menggunakan batubara penambahan burner yang beroperasi juga harus diikuti dengan penambahan penggiling batubara yang beroperasi. Sedangkan pada PLTU yang menggunakan bahan bakar minyak perlu diikuti dengan tambahan pompa bahan bakar minyak yang beroperasi. Hal ini semua harus diperhitungkan dalam proses penambahan beban tersebut diatas. Sebaliknya dalam proses penurunan beban, harus ada proses pemberhentian sebagai peralatan tersebut diatas apabila misalnya penurunan melampaui batas 50%, karena peralatan tersebut diatas misalnya penggilingan batubara bisa menjadi tidak stabil apabila bebannya menjadi kecil. Untuk kondisi seperti diuraikan diatas, apabila unit pembangkit berbeban 40% maka unit harus dianggap mempunyai cadangan berputar sebesar $50\% - 40\% = 10\%$. Kalau unit pembangkit dalam keadaan berbeban 60% maka cadangan berputarnya bisa dianggap $= 100\% - 60\% = 40\%$. Sedangkan untuk proses start up pada PLTU membutuhkan beban daya pada saat start up Turbin pada PLTU. Dimana untuk melakukan start up turbin perlu menggunakan motor 3 phasa. Jadi untuk mengetahui beban yang dibutuhkan saat melakukan start up turbin, diperlukan perhitungan daya dari suatu motor 3 phasa dengan persamaan.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varnothing \quad (1)$$

dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

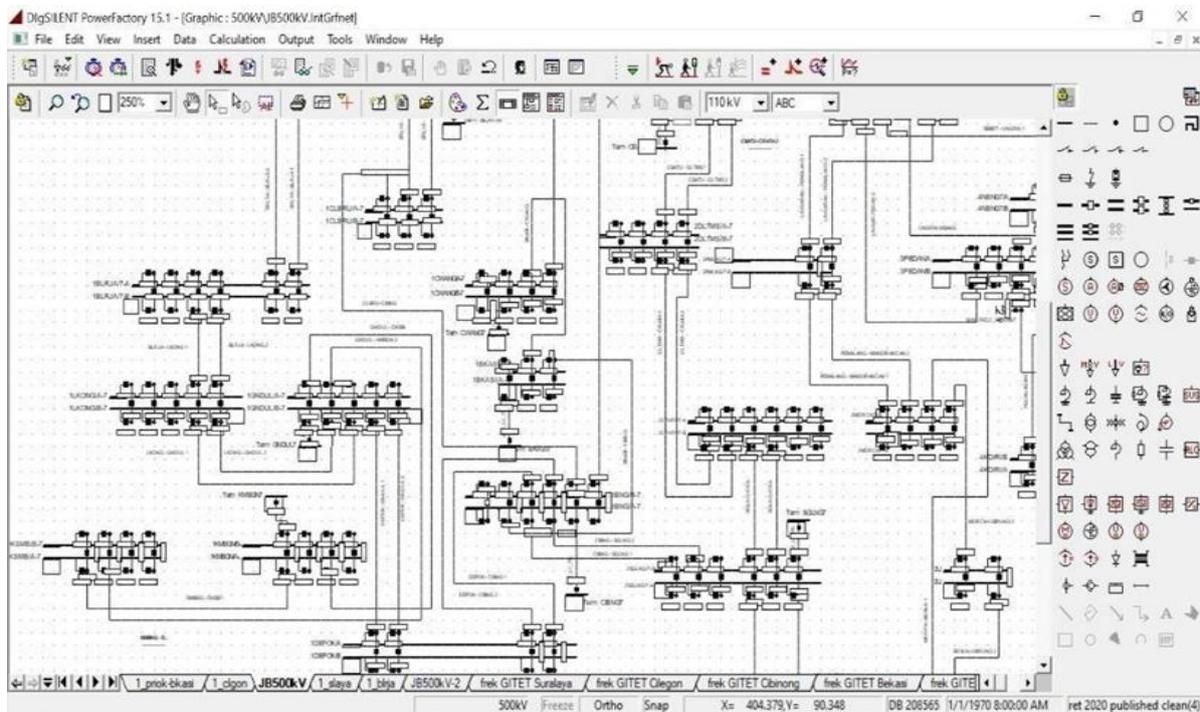
V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amp)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.2. Teknik Analisis

Data yang diperoleh akan diolah dengan menggunakan software DIgSILENT PowerFactory 15.1 untuk melakukan simulasi respon frekuensi untuk proses pemulihan sistem Program DIgSILENT ini merupakan engineering tool untuk melakukan analisis jaringan ketenagalistrikan, transmisi, dan distribusi. Pada penelitian ini digunakan software DIgSILENT PowerFactory 15.1 untuk mensimulasikan respon frekuensi pada setiap pemulihan GITET dan operasi pembangkit. Selain itu, DIgSILENT PowerFactory 15.1 ini juga digunakan untuk mengetahui persentase pembebanan setiap IBT pada GITET yang sudah berhasil dipulihkan, untuk melihat apakah melebihi kapasitas operasi IBT agar nantinya menghindari terjadinya overload pada IBT.



Gambar 1. Tampilan Interface Aplikasi DigSilent

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pelaksanaan Pengiriman Tegangan

Hal – hal yang perlu diperhatikan didalam pelaksanaan pengiriman tegangan adalah sebagai berikut :

- a. Sistem harus diberi tegangan demi tahap. Sebelum melakukan pengiriman tegangan dilanjutkan, pada setiap tahapan harus diperhatikan bahwa cadangan daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVar) dari pembangkitan yang terhubung ke sistem masih mencukupi.
- b. Apabila ada peralatan instalasi yang sudah jelas terlihat mengalami kerusakan, maka peralatan tersebut harus segera dibebaskan dari tegangan tinggi.

- c. Bilamana mungkin, pemberian tegangan pada bagian yang bebannya tinggi atau saluran yang panjang, dilaksanakan setelah sistem betul-betul stabil.
- d. Semua IBT dioperasikan secara manual dan *tap-changer* ditempatkan pada posisi tap maksimum (*full winding*).

3.2 Perhitungan Beban Start PLTU Suralaya

Untuk melakukan proses start up pada PLTU Suralaya saat terjadi blackout, membutuhkan tegangan dari luar untuk melakukan proses operasi start. Dimana tegangan tersebut didapat dari pembangkit blackstart yaitu PLTA Saguling. Tujuan perhitungan ini adalah menghitung beban yang dibutuhkan oleh PLTU Suralaya yang dimana harus dikirimkan oleh PLTA Saguling. Untuk proses start pada PLTU terdiri dari start boiler dan start turbin, didapatkan hasil yang ditunjukkan tabel 1.

Tabel 1. Beban Start Turbin PLTU Suralaya

No	Beban	Volt	Ampere	PF
1	Cooling Water Pump Motor	380	131	0.85
2	Cooling Water Fan Motor	380	43.3	0.85
3	Auxiliary Lube Oil Pump Motor	380	133	0.85
4	Torque Converter Motor	380	27	0.85
5	Mist Eliminator	380	9.9	0.85
6	Exhaust Frame Blower Motor	380	133	0.85
7	Auxiliary Hidraulik Motor	380	30.1	0.85
8	Acces Comp Exh Fan Motor	380	13.5	0.85
9	Turbin Comp. Exhaust Fan Motor	380	31.6	0.85
10	Load Coupling Compt Fan Motor	380	13.5	0.85

Berdasarkan data beban start turbin pada tabel 1 diatas, maka dapat dihitung besar daya yang dibutuhkan untuk melakukan start turbin dengan menggunakan persamaan 1 di bawah ini :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Didapat hasil :

1. Cooling Water Pump Motor
 $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$
 $P = \sqrt{3} \times 380 \times 131 \times 0.85$
 $P = 73.29 \text{ kW}$
2. Cooling Water Fan
 $P = 7 \times \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$
 $P = 7 \times \sqrt{3} \times 380 \times 43.3 \times 0.85$
 $P = 169.54 \text{ kW}$
3. Auxiliary Lube Oil Pump Motor
 $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$
 $P = \sqrt{3} \times 380 \times 133 \times 0.85$
 $P = 74.41 \text{ kW}$

4. Torque Converter Motor

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \emptyset$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 27 \times 0.85$$

$$P = 15.11 \text{ kW}$$

5. Mist Eliminator Motor

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \emptyset$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 9,9 \times 0.85$$

$$P = 5.53 \text{ kW}$$

6. Exhaust Frame Blower Motor

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \emptyset$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 133 \times 0.85$$

$$P = 74.41 \text{ kW}$$

7. Auxiliary Hidraulik Motor

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \emptyset$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 30.1 \times 0.85$$

$$P = 16.83 \text{ kW}$$

8. Acces Comp Exhoust Fan Motor

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \emptyset$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 13.5 \times 0.85$$

$$P = 7.55 \text{ kW}$$

9. Turbin Comp Exhaus Fan Motor

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \emptyset$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 31.6 \times 0.85$$

$$P = 17.67 \text{ kW}$$

10. Load Coupling Compt Fan Motor

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \emptyset$$

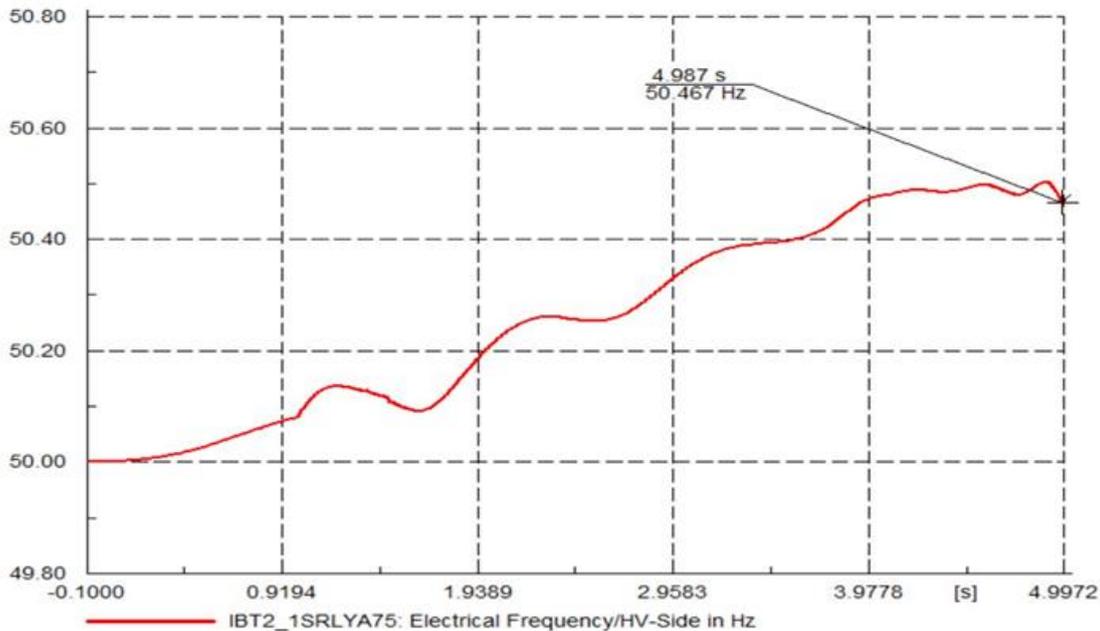
$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 13.5 \times 0.85$$

$$P = 7.55 \text{ kW}$$

Sehingga dari perhitungan di atas di dapat total beban yang dibutuhkan PLTU Suralaya untuk melakukan start sebesar 0.461 MW

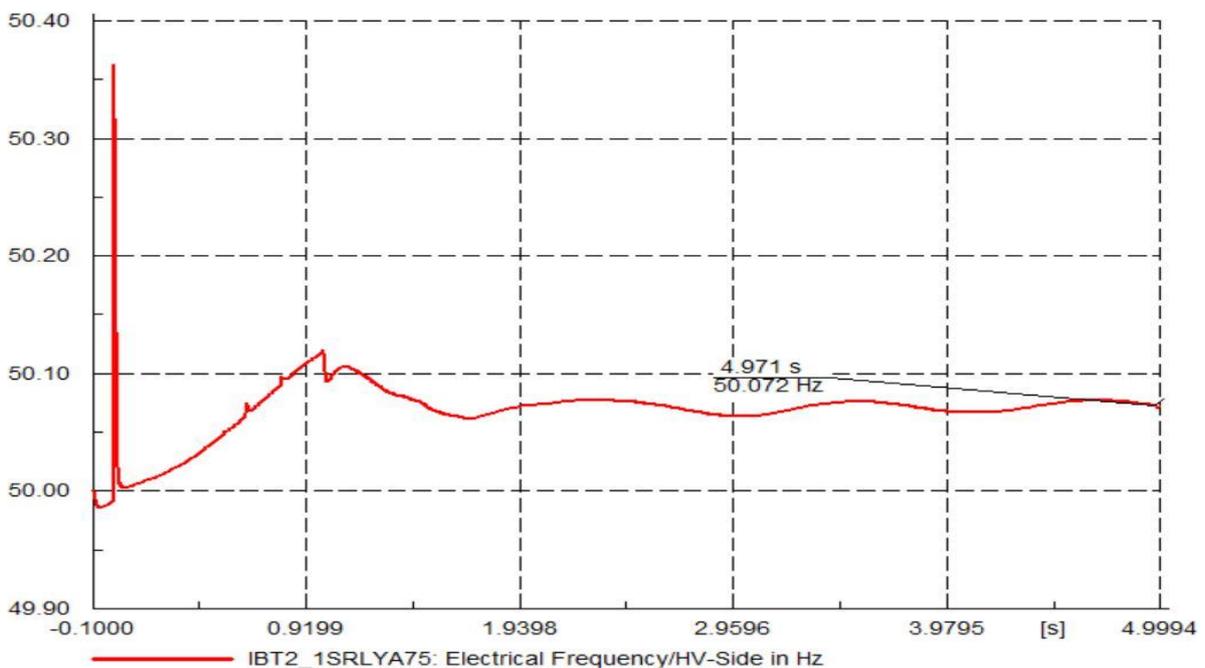
3.3 Simulasi Pemulihan Sistem Jaringan 500 kV

a. Pengiriman Tegangan ke GITET Suralaya dari Unit 1 PLTU Suralaya



Gambar 2. Respon Frekuensi Sistem GITET Suralaya

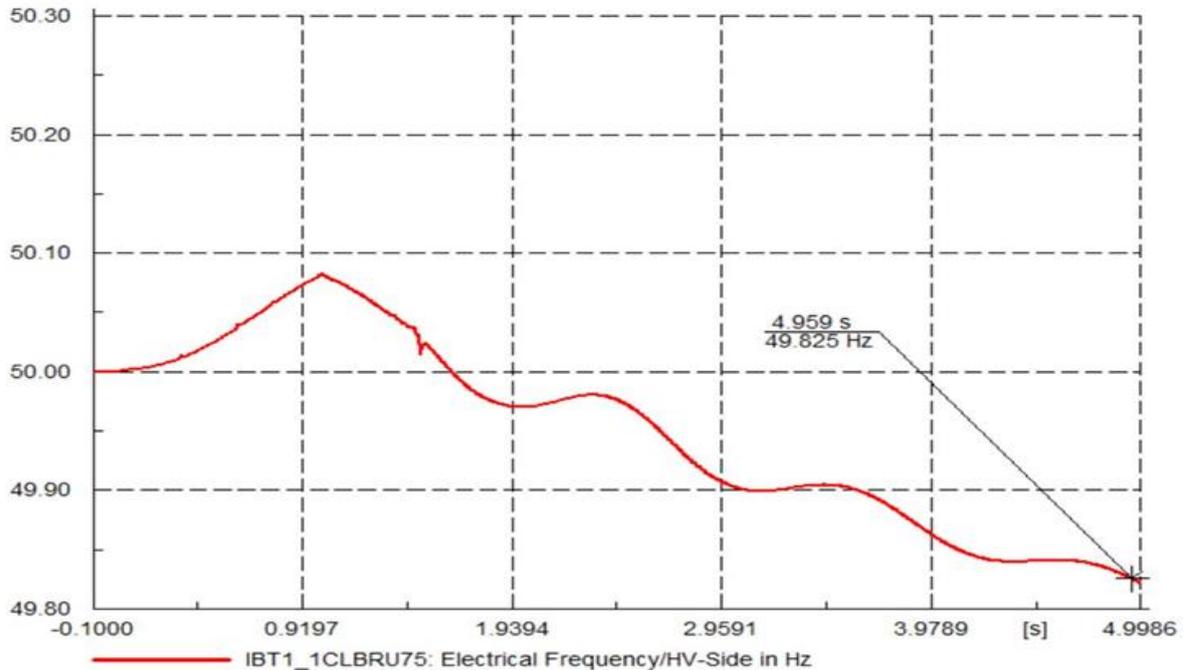
Pengiriman tegangan ke GITET Suralaya dilakukan melalui unit 1 PLTU Suralaya 371,5 MW. Setelah dilakukan simulasi, frekuensi pada GITET Suralaya di dapat sebesar 50,467 Hz. Frekuensi tersebut belum pada kondisi normal, sehingga perlu untuk menambah beban. Sehingga GITET Cilegon Baru ditambah untuk dibebani oleh Unit 1 Suralaya agar dapat menurunkan frekuensi sistem pada GITET Suralaya



Gambar 3. Respon Frekuensi GITET Suralaya setelah penambahan beban GITET Cilegon Baru

Setelah penambahan beban GITET Cilegon Baru, frekuensi sistem pada GITET Suralaya berada pada operasi frekuensi normal sebesar 50,072 Hz.

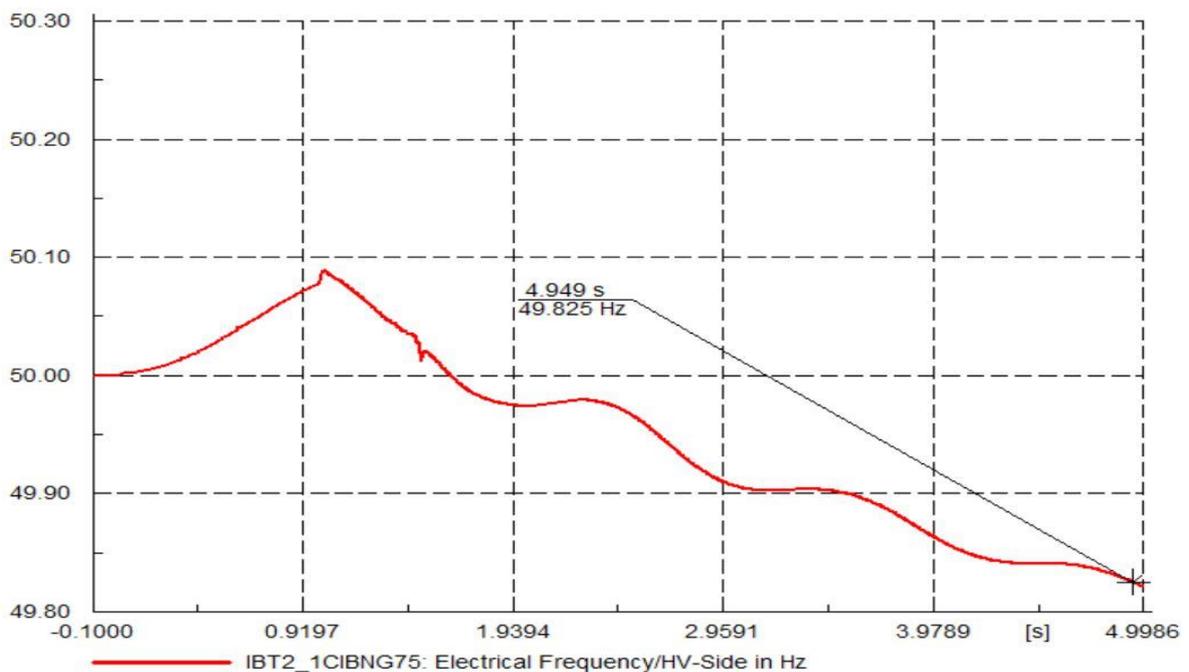
b. Simulasi Pemberian Tegangan ke GITET Cilegon Baru



Gambar 4. Respon Frekuensi Sistem GITET Cilegon Baru

Pada gambar 4. diatas merupakan kondisi frekuensi sistem di GITET Cilegon Baru saat dibebani unit $1 \times 371,5$ MW PLTU Suralaya. Dimana hasil simulasi menunjukkan frekuensi sistem pada IBT di GITET Cilegon Baru berada pada operasi frekuensi normal sebesar 49,825 Hz.

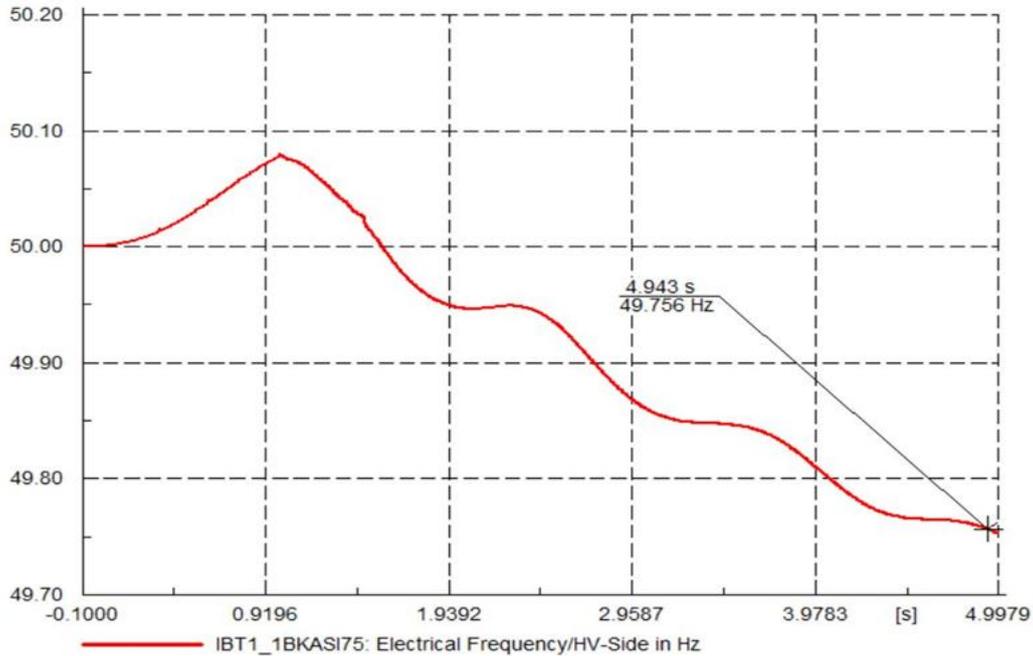
c. Simulasi Pemberian Tegangan ke GITET Cibinong



Gambar 5. Respon Frekuensi Sistem GITET Cibinong

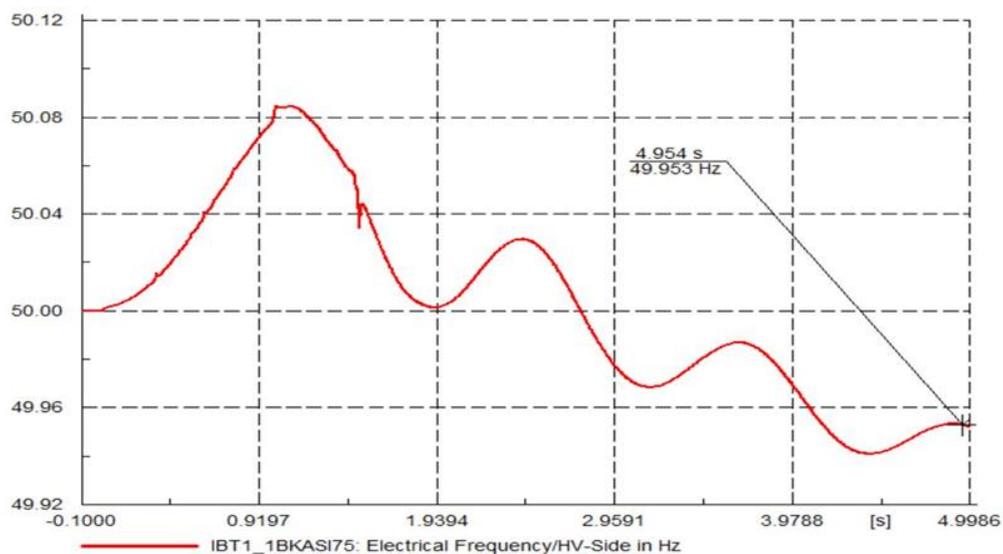
Pada gambar 5. diatas merupakan kondisi frekuensi sistem di GITET Cibinong saat dibebani unit 1×371,5 MW PLTU Suralaya. Dimana hasil simulasi menunjukkan frekuensi sistem pada IBT di GITET Cibinong berada pada operasi frekuensi normal sebesar 49,825 Hz.

d. Simulasi Pengiriman Tegangan ke GITET Bekasi



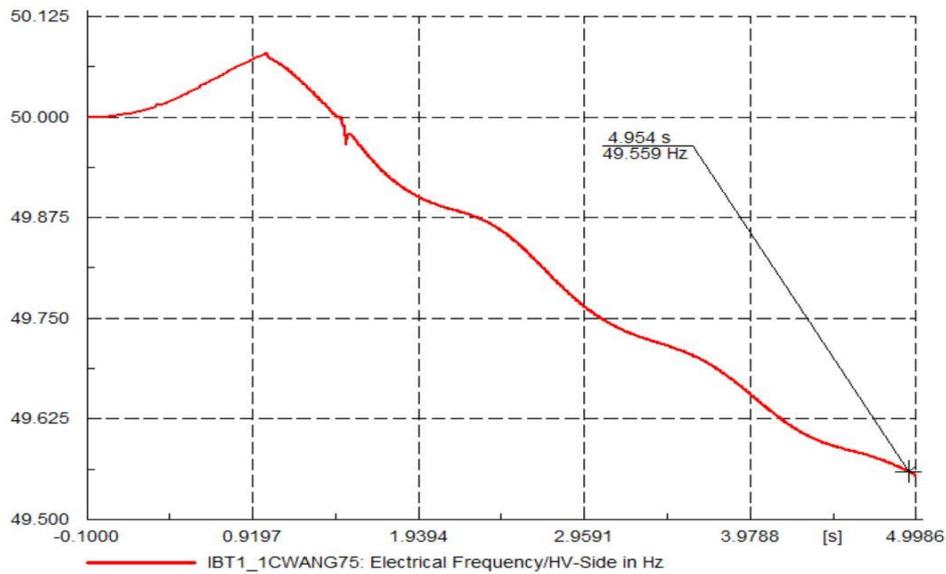
Gambar 6. Respon Frekuensi Sistem pada GITET Bekasi

Pada gambar 6 diatas merupakan keadaan dimana GITET Bekasi di bebani oleh unit 1 PLTU Suralaya. Terlihat hasil frekuensi yang di dapat dari simulasi adalah sebesar 49,756 Hz. Dimana frekuensi tersebut sudah tidak berada pada operasi normal, sehingga perlu untuk menaikkan frekuensi tersebut. Untuk menaikkan frekuensi sistem pada GITET Bekasi tersebut, perlu menambah unit pembangkit pada PLTU Suralaya.



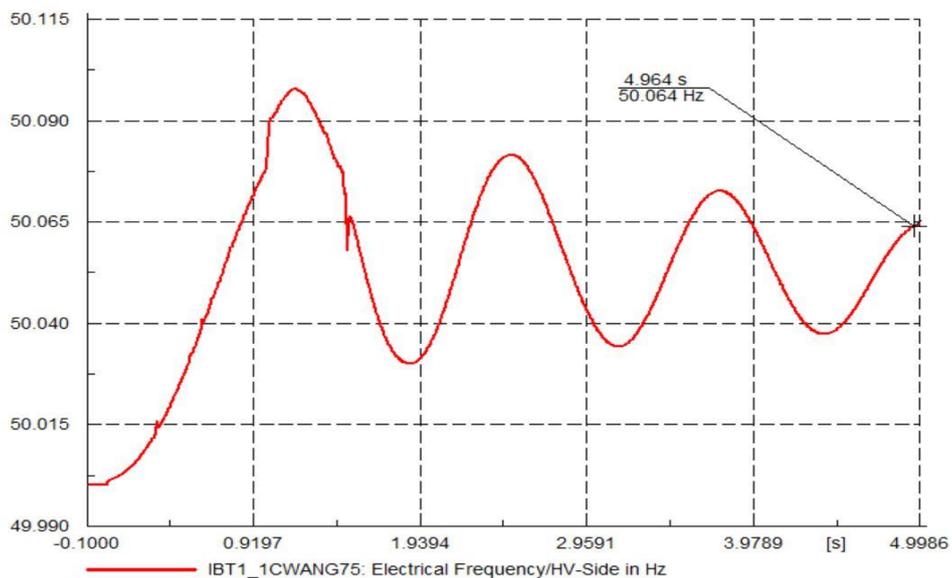
Gambar 7. Respon Frekuensi Sistem GITET Bekasi Setelah penambahan Unit 2 PLTU Suralaya

e. Simulasi Pengiriman Tegangan ke GITET Cawang



Gambar 8. Respon Frekuensi Sistem pada GITET Cawang

Pada gambar 8. diatas merupakan kondisi dimana masuknya GITET Cawang atau memasok tegangan pada GITET Cawang oleh dua uni PLTU Suralaya. Pada kondisi ini, unit 1 dan 2 PLTU Suralaya sebelumnya sudah berhasil memulihkan 4 GITET pada sistem barat yaitu GITET Suralaya, GITET Cilegon Baru, GITET Cibinong, dan GITET Bekasi. Namun hasil simulasi frekuensi sistem yang di dapat pada GITET Cawang sebesar 49,559 Hz, dimana frekuensi tersebut belum pada kondisi normal operasi. Sehingga perlu menambah pembangkitan untuk dapat menaikkan frekuensi tersebut.



Gambar 9. Respon Frekuensi GITET Cawang setelah masuknya Unit 3 dan 5 PLTU Suralaya

Pada gambar diatas, merupakan kondisi dimana masuk nya unit 3 dan 5 PLTU Suralaya (571,5 MW). Pada proses pemberian tegangan di GITET Cawang ini, 4 Unit PLTU Suralaya sudah beroperasi untuk melakukan proses pemulihan dan telah dibebani 5 GITET. Setelah dilakukan simulasi pada

kondisi ini, di dapat respon frekuensi sistem sebesar 50,064 Hz. Dimana frekuensi tersebut sudah berada pada kondisi operasi normal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa langkah awal yang dilakukan saat terjadinya *blackout* ialah dengan mengoperasikan kembali PLTU Suralaya. Dengan menggunakan perhitungan beban untuk start up PLTU Suralaya didapat beban sebesar 0,461 MW. Dimana besar beban tersebut yang harus dikirim oleh pembangkit blackstart untuk membantu proses operasi PLTU Suralaya setelah keluar dari operasi. Dari hasil simulasi pemulihan sistem 500 kV yang dilakukan dengan menggunakan software DIGSILENT 15.1 didapat GITET Suralaya pulih pada frekuensi 50,002 Hz, GITET Cilegon Baru pulih pada frekuensi 49,825 Hz, GITET Cibinong pulih di frekuensi 49,825 Hz, GITET Bekasi pulih di frekuensi 49,953, GITET Cawang pulih di frekuensi 50,064 Hz. Maka untuk memastikan keandalan proses pemulihan sistem tenaga listrik berjalan dengan baik, maka diperlukan kesiapan yang maksimal baik dari peralatan maupun pelaksana operasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Induk Pusat Pengatur Beban (UI P2B) dan Institut Teknologi-PLN yang telah memberikan dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel, semoga tulisan ini bermanfaat.

REFERENSI

- [1] Marsudi, D. (2005). *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [2] *Pedoman Pemulihan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Bali*. (2007). Depok: PT PLN (Persero) P3B Jawa-Bali Bidang Operasi Sistem.
- [3] Despa, D. (2010). *Analisis Kontingensi Terhadap Probabilitas Blackout Pada Jaringan Sistem Tenaga Menggunakan Model Bertingkat*. Rekayasa dan Teknologi Elektro.
- [4] *Evaluasi Operasi Sistem Tenaga Listrik Jawa-Bali*. (2015). Jakarta: PT PLN (Persero) P2B Jawa Bali Bidang Operasi Sistem.
- [5] Shahidehpour, M., & Eremia, M. (2013). *Handbook of Electrical Power System Dynamics*. Piscataway: IEEE Pres Editorial Board
- [6] Fitrianto, A. (2005). *Evaluasi Blackstart PLTU Suralaya*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [7] Kadir, A. (2006). *Distribusi dan utilitas tenaga listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [8] Kenedi, M. (2011). *Proses Mengatasi Blackout Dalam Sistem Interkoneksi*. Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik PLN.
- [9] Khairiah, I. (2019). *Kajian Keandalan Sistem Blackstart Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap Blok 1 Muara Karang*. Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik PLN.
- [10] M. M. Adibi, C. (1994). *Expert System Requirement For Power System*
- [11] *Restoration (Vol. 9)*. Piscataway: IEEE Transactions on Power System.
- [12] Marsudi, D. (1990). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Balai Penerbit & Humas ISTN.
- [13] *Rencana Operasi Tahunan Sistem Jawa Bali*. (2020). Jakarta: PT PLN (Persero) P2B Jawa Bali Bidang Perencanaan Sistem.
- [14] *Rencana Penyediaan Tenaga Listrik Sistem Jawa Bali Periode 2016-2020*. (2016). Jakarta: PT. PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban.
- [15] *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2028*. (2019). Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [16] Stevenson, W. (1984). *Analisa Sistem Tenaga Listrik (Edisi Keempat)*. Jakarta: Erlangga