

Analisis Pengaruh Penambahan Gardu Induk Terhadap Aliran Daya dan Profil Tegangan

Sri Wahyuni Dali^{a)}, Imron Ridzki^{*b)}, Rohmanita Duanaputri^{b)}, Egar Rahmat Maulana^{c)}

(Artikel diterima: Juni 2022, direvisi: Juni 2022)

Abstract: Addition of the Guluk-Guluk Substation, it will affect the flow of power and voltage in the electric power system. Based on the analysis of normal conditions before and after the Guluk-Guluk Substation in terms of the voltage value on each connected bus, it is still within the permitted limits, while the contingency ranking calculation using the Voltage Performance Index (PVI) method can determine contingency conditions N-1 to N-3 before and after the Guluk-Guluk Substation. In this case, it was found that during the contingency conditions N-1 to N-3 before the Guluk-Guluk Substation there was a decrease in the value of the voltage which was still within the permissible limits, but in the N-3 contingency there was also an overload on the line due to the release of two generator units and one channel. After the existence of the Guluk-Guluk Substation, during the N-1 to N-2 contingency conditions the voltage value was still within the permissible limits, but the voltage drop that occurred was bigger than the condition before the Guluk-Guluk Substation. For the N-3 contingency condition the voltage value does not meet the standard due to overload on the Ujung Substation - Bangkalan Substation line and the lack of power flow.

Keywords : Power Flow, Voltage, Voltage Performance Index method, Contingency Analysis

1. Pendahuluan

Sub sistem Krian dan Gresik merupakan salah satu bagian dari Region IV-sistem kelistrikan Jawa Timur yang terdiri dari beberapa gardu induk, salah satu diantaranya adalah Gardu Induk Guluk-Guluk. Dengan adanya pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk tersebut dapat mempengaruhi kondisi sistem tenaga listrik. Hal tersebut dapat ditinjau berdasarkan keadaan tegangan dan aliran daya pada masing-masing gardu induk yang terinterkoneksi dengan gardu induk baru, khususnya pada sistem kelistrikan sub sistem Krian dan Gresik.

Untuk mengetahui kondisi sistem tenaga listrik akibat adanya pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk dilakukan analisis kontingensi sebagai salah satu kondisi agar diketahui kestabilan sistem tenaga listrik tersebut. Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem tenaga listrik dalam mempertahankan tegangan, frekuensi, dan daya di setiap bus sistem interkoneksi pada kondisi normal baik sebelum dan setelah terjadinya gangguan, peningkatan permintaan beban dan adanya perubahan kondisi sistem.

Dalam hal ini, salah satu penyebab terjadinya ketidakstabilan sistem tenaga listrik adalah lepasnya beberapa unit generator pada pembangkit tenaga listrik atau lepasnya saluran transmisi pada sistem interkoneksi, sehingga akan mempengaruhi nilai dari profil tegangan, frekuensi sistem, dan aliran daya dari pembangkit sampai beban dikarenakan kurangnya pasokan daya dari pembangkit menuju beban. Hal tersebut dapat diindikasikan bahwa sistem dalam keadaan tidak stabil sehingga menyebabkan beberapa wilayah tidak dapat menerima pasokan listrik akibat parameter-parameter tersebut dibawah nilai nominal atau tidak sesuai dengan standar yang ditentukan.

Berdasarkan uraian diatas, adanya pembangunan Gardu Induk

Guluk-Guluk dilakukan analisis terhadap kondisi sistem tenaga listrik pada kondisi sebelum dan setelah pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk saat terjadi kontingensi pada sub sistem Krian dan Gresik. Hal tersebut untuk mengetahui kestabilan sistem tenaga listrik dengan cara melakukan perhitungan ranking kontingensi menggunakan metode Voltage Performance Index (PVI), dengan ranking terkecil hingga terbesar dihitung berdasarkan PI pada seluruh unit komponen yang keluar dari sistem tersebut.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Per Unit

Pada kenyataannya didalam suatu sistem tenaga listrik didapatkan harga besaran-besaran dari parameter dalam kondisi yang berlainan. Pada kondisi tersebut, ditemui kesulitan dalam melakukan perhitungan-perhitungan baik untuk perhitungan kondisi normal maupun kondisi gangguan. Maka untuk mengatasinya, diciptakan suatu sistem yang disebut Sistem Per Unit, dalam sistem ini semua kuantitas harga besaran didasarkan pada suatu besaran yang telah dipilih, sehingga harga yang didapatkan bernilai sama untuk setiap komponen dari suatu sistem tenaga listrik.

a. Per Unit

Per Unit merupakan harga perbandingan antara harga atau kualitas sebenarnya dengan suatu besaran dasar yang telah dipilih atau dapat dinyatakan:

$$\text{Nilai Per Unit} = \frac{\text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai dasar}} \quad (2-1)$$

b. Persen Per Unit (%)

$$\text{Persen Per Unit} = \frac{\text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai dasar}} \times 100\% \quad (2-2)$$

2.2 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada

* Korespondensi: imron.ridzki@polinema.ac.id

- Prodi Jaringan Telekomunikasi Digital, Jurusan Teknik Elektro, Polinema. Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141
- Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Polinema. Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141
- Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema. Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang.

Persamaan unjuk kerja sistem tenaga listrik dapat dinyatakan dalam bentuk impedansi atau admitansi sebagai berikut [1] :

$$E_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \tag{2-3}$$

Dalam bentuk admitansi:

$$I_{bus} = Y_{bus} E_{bus} \tag{2-4}$$

Pada suatu bus i , tegangan dinyatakan dalam bentuk:

$$V_i = \frac{1}{Y_i} \left[\frac{S^*}{V^*} - \sum Y_{ik} V_k \right] \tag{2-5}$$

Dan arus pada bus i adalah:

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{E_i^*} \tag{2-6}$$

i akan positif jika arus mengalir masuk kedalam sistem.

Setelah proses iterasi untuk mengetahui tegangan setiap bus selesai, daya yang mengalir pada setiap saluran dapat dihitung. Arus yang mengalir dari bus i ke bus k adalah:

$$i_{ik} = (E_i - E_k) y_{ik} + E_i \frac{y'_{ik}}{2} \tag{2-7}$$

Daya yang mengalir dari bus i ke bus k adalah:

$$P_{ik} - jQ_{ik} = E_i^* i_{ik} \tag{2-8}$$

2.3 Klasifikasi Bus

Bus dapat diklasifikasikan menjadi tiga sebagai berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Bus

Bus	Variabel Diketahui	Variabel Dicari
PQ	P_i, Q_i	V_i, θ_i
PV	P_i, V_i	Q_i, θ_i
Slack	$\theta_i = 0, V_i$	P_i, Q_i

2.5 Kontingensi Sistem

Analisis kontingensi dimaksudkan untuk keadaan *steady state* dari sistem tenaga listrik terhadap beberapa kemungkinan kontingensi yang mungkin terjadi pada sistem seperti lepasnya satu atau dua pembangkit secara mendadak, tripnya satu atau beberapa penghantar dikarenakan gangguan hubung singkat satu fasa ataupun tiga fasa, hilangnya reaktor dan sebagainya. Didalam suatu area sistem tenaga, kemungkinan kontingensi yang terjadi bisa terjadi secara sengaja, dikarenakan ada pemeliharaan atau *maintenance* atau dalam gangguan sehingga analisa kontingensi menjadi sangat penting dalam analisa aliran daya.

Keandalan suatu sistem tenaga listrik dapat dilihat dari analisis kontingensi yang dilakukan dengan simulasi gangguan pada satu unit pembangkit atau satu saluran transmisi dengan menganalisis pengaruh gangguan terhadap nilai tegangan pada bus dan aliran daya pada sistem.

2.6 Index Peformance Kontingensi dengan Voltage Performance Index (PI_v)

Voltage Index Performance Kontingensi Generator merupakan suatu cara untuk mendapatkan nilai yang menunjukkan seberapa besar pengaruh dari suatu generator saat lepas dari sistem

sehingga membuat sistem tidak stabil atau terganggu [2]. Nilai dari index terendah menunjukkan bahwa saat generator lepas dari sistem tidak terlalu mempengaruhi parameter nilai dari sistem (tegangan bus, pembebanan saluran, dan ketersediaan cadangan berputar). Sedangkan nilai index tertinggi menandakan bahwa saat generator lepas dari sistem akan mempengaruhi parameter nilai dari sistem tersebut.

Nilai dari index terendah menunjukkan bahwa saat generator lepas dari sistem tidak terlalu mempengaruhi parameter nilai dari sistem (tegangan bus, pembebanan saluran, dan ketersediaan cadangan berputar). Sedangkan nilai index tertinggi menandakan bahwa saat generator lepas dari sistem akan mempengaruhi parameter nilai dari sistem tersebut.

Metode PI_v sesuai dengan dengan setiap bentuk pola beban dan untuk setiap single line *outage* yang mengindikasikan penyimpanan tegangan dari tegangan yang dijadwalkan pada bus beban dan pelanggaran daya reaktif pada bus generator yang terdiri dari dua pernyataan [2] :

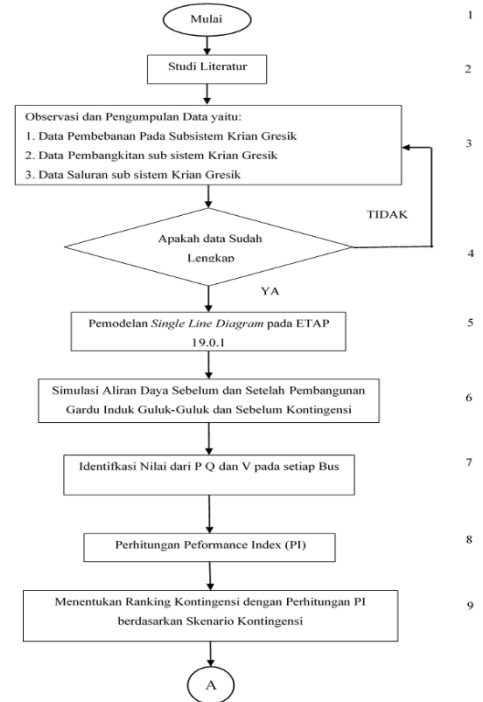
$$PI_v = \sum_{i=1}^{N_G} \left(\frac{W_{vi}}{M} \right) \left[\frac{|V_i - V_i^{sp}|}{\Delta V_i^{lim}} \right]^M \tag{2-9}$$

Keterangan:

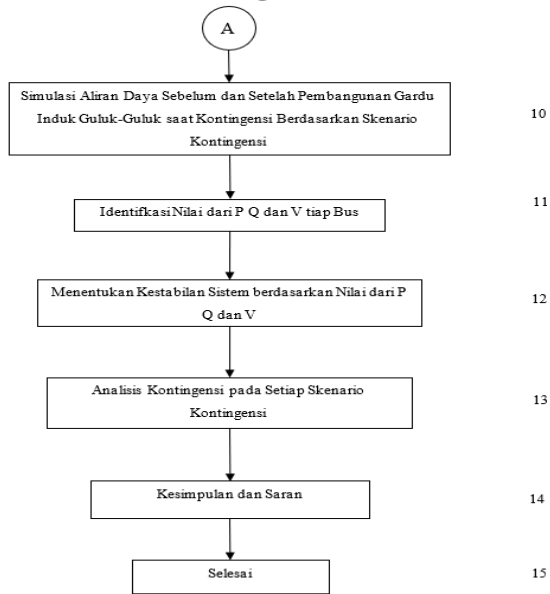
- V_i = *Post contingency* tegangan pada i^{th}
- V_i^{sp} = *Base case* spesifikasi besaran tegangan
- V_i^{min} = Batas minimum pada tegangan i^{th}
- V_i^{max} = Batas maksimum pada tegangan i^{th}
- W_{vi} = *Factor weighting real non negative* (=1)
- M = Urutan eksponen untuk fungsi penalty bernilai $2n$, pada penelitian ini n bernilai 1, $2n = 2(1) = 2$
- W_G = *Factor real non - negative weighting* (=1)

3. Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini semua tahapan kegiatan diatur sedemikian rupa agar mudah dalam proses pengerjaan. Untuk memudahkan dalam penyusunannya maka diaplikasikan dengan *flow chart* seperti di bawah ini.



[1]

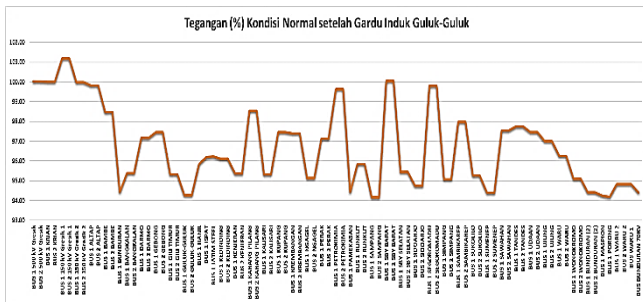


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Stabilitas Tegangan Kondisi Normal sebelum Pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk

Pada keadaan sebelum adanya Gardu Induk Guluk-Guluk sistem tidak mengalami gangguan (Normal), baik gangguan pada generator pembangkitan maupun saluran, maka dari itu sub sistem Krian Gresik masih dalam kategori stabil dilihat dari parameter tegangannya pada setiap bus yang terhubung pada sistem interkoneksi sub sistem Krian Gresik sesuai dengan standar [3].



Gambar 4.1 Tegangan (%) Kondisi Normal sebelum Gardu Induk Guluk-Guluk

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas didapatkan nilai (%) tegangan pada sub sistem Krian Gresik kondisi normal sebelum pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk terdapat beberapa gardu induk sudah mencapai *range critical* pada Etap 19.0.1 yaitu pada *under voltage* sebesar 95% sedangkan untuk *over voltage* 105% dari tegangan nominalnya, salah satunya pada Gardu Induk Bunduran dan Gardu Induk Sidoarjo pada sistem 150 kV, dengan nilai (%) tegangan telah mencapai 95% dapat dikatakan kondisi tersebut sudah hampir mencapai batas standar [3].

Perubahan nilai tegangan pada sistem tenaga listrik sebanding dengan besarnya beban, sehingga pada kondisi sebelum adanya Gardu Induk Guluk-Guluk nilai aliran daya pada generator pembangkitan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

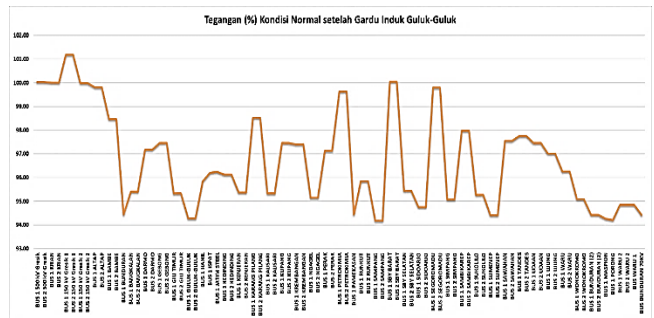
Tabel 4.1 Pembebanan Generator Sebelum Ada Gardu Induk Guluk-Guluk

ID	Rating	Rated kV	MW	Mvar	% Generation
GT 1.1	150 MW	10.5	83.58	1.37	55.7
GT 1.2	150 MW	10.5	80.56	4.388	53.7
GT 1.3	150 MW	15.75	83.92	8.4	55.9
GT 2.3	200 MW	10.5	80.1	21.575	40
GT 3.0	200 MW	15.75	75.5	20	37.8
GT 3.1	200 MW	10.5	98.89	21.615	49.4
GT 3.2	150 MW	10.5	100.1	21.622	66.7
PLTU 3	250 MW	10.5	157.37	57.038	62.9
ST 1.0	200 MW	15.75	139.85	19.93	69.9
KRIAN	500 MVA	500	814.619	974.716	
Total Daya Generator			899.87	175.938	
Total Daya sub sistem Krian Gresik			1630.91	1149.284	

Pada kondisi ini dapat disimpulkan pada sub sistem Krian Gresik sebelum pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk ditinjau dari nilai tegangan pada setiap bus yang terhubung sesuai standar [3] keadaan tersebut tentunya sebanding dengan besar aliran daya pada sub sistem Krian Gresik.

4.2 Analisis Stabilitas Tegangan Kondisi Normal setelah Pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk

Pada keadaan setelah adanya Gardu Induk Guluk-Guluk terjadi kenaikan beban pada sub sistem Krian Gresik, sehingga ditinjau dari nilai tegangan pada setiap bus terjadi penurunan tegangan pada sub sistem Krian Gresik setelah adanya Gardu Induk Guluk-Guluk, akan tetapi nilai tegangan pada kondisi ini masih sesuai standar [3].



Gambar 4.2 Tegangan (%) Kondisi Normal setelah Gardu Induk Guluk-Guluk

Pada kondisi ini terdapat 18 bus gardu induk terjadi penurunan tegangan mencapai 95% dari nominalnya berdasarkan Gambar 4.2, besarnya penurunan nilai tegangan sebanding kenaikan beban pada sistem tenaga listrik.

Tabel 4.2 Pembebanan Generator Sesudah Ada Gardu Induk Guluk-Guluk

ID	Rating	Rate d kV	MW	Mvar	% Generation
GT 1.1	150 MW	10.5	83.58	25.96	55.7
GT 1.2	150 MW	10.5	80.56	28.98	53.7
GT 1.3	150 MW	15.75	83.92	29.5	55.9
GT 2.3	200 MW	10.5	80.1	31.572	40

ID	Rating	Rate d kV	MW	Mvar	% Generation
GT 3.0	200 MW	15.75	75.5	30	37.8
GT 3.1	200 MW	10.5	98.89	31.613	49.5
GT 3.2	150 MW	10.5	100.1	31.619	66.7
PLTU 3	200 MW	10.5	157.37	67.137	78.7
ST 1.0	200 MW	15.75	139.85	17.211	69.9
KRIAN	500 MVA	500	1142.38	930.964	-
Total Daya Generator			899.87	293.592	
Total Daya sub sistem Krian Gresik			1958.67	1198.596	

Pada kondisi ini terjadi kenaikan aliran daya pada sub sistem Krian Gresik dikarenakan terjadi kenaikan beban setiap tahunnya dapat dilihat pada Tabel 4.2 sehingga kondisi ini menyebabkan generator pada pembangkitan Gresik akan mensuplai kebutuhan daya reaktif lebih besar dari kondisi sebelumnya, mengingat generator pada simulasi ini merupakan generator *voltage control* dengan besar daya (Mvar) akan berubah sesuai dengan kebutuhan beban untuk dapat mengontrol tegangan dalam *range* nominal dan nilai daya nyata (MW) tetap pada setiap kondisi. Krian 500 kV merupakan *slack bus* atau *swing bus* yang akan mensuplai kekurangan aliran daya pada generator pembangkitan Gresik saat terjadi kenaikan beban.

4.3 Perhitungan Ranking Kontingensi dengan Voltage Performance Index (PIV) Metode

Tabel 4.3 Ranking Kontingensi

Unit Generator	Daya (MW)	Tegangan kV	PI	Ranking
Unit 3	157.37	150	0.73416	1
GT 1.1	83.58	150	0.56392	9
GT 1.2	80.56	150	0.56805	7
GT 1.3	83.92	150	0.59504	6
ST 1.0	139.85	150	0.56784	8
GT 2.3	88.06	150	0.66419	4
GT 3.1	98.9	150	0.68698	3
GT 3.2	100.1	150	0.69670	2
GT 3.0	75.5	500	0.65926	5

Dengan mengetahui urutan ranking kontingensi pada generator maka dapat dilakukan skenario kontingensi generator pada sistem, sebagai berikut:

1. Kontingensi N-1 : Generator Unit 3.
2. Kontingensi N-2 : Generator Unit 3 dan Generator GT 3.2.
3. Kontingensi N-3 : Generator Unit 3, Generator GT 3.2, dan Saluran Ujung – Bangkalan.

Pada simulasi dipilih lepasnya satu saluran Ujung – Bangkalan pada pulau Madura saat terjadi penambahan Gardu Induk Guluk-Guluk, mengingat pulau Madura mendapat suplai energi listrik dari Gardu Induk Kenjeran menuju Gardu Induk Gili Timur dan Gardu Induk Ujung menuju Gardu Induk Bangkalan.

4.4 Analisis Kontingensi sebelum Gardu Induk Guluk-Guluk

Berdasarkan simulasi kontingensi N-1 sampai N-3 dapat diketahui nilai aliran daya pada sistem Krian Gresik dan *profil* tegangan sebelum pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk.

Tabel 4.4 Perbandingan Tegangan Normal dan Kontingensi sebelum GI Guluk-Guluk

ID Bus (Gardu Induk)	Persen Tegangan			
	Normal	N-1	N-2	N-3
BUS 1 500 kV Gresik	100.01	99.99	99.98	99.98
BUS 2 500 kV Gresik	100.01	99.99	99.98	99.98
BUS 1 KRIAN	100.00	100.00	100.00	100.00
BUS 2 KRIAN	100.00	100.00	100.00	100.00
BUS 1 150 kV Gresik 1	99.91	99.91	99.91	99.90
BUS 2 150 kV Gresik 1	99.91	99.91	99.91	99.90
BUS 1 150 kV Gresik 2	99.35	99.35	98.22	98.17
BUS 2 150 kV Gresik 2	99.35	99.35	98.22	98.17
BUS 1 ALTAP	99.20	99.20	98.18	98.13
BUS 2 ALTAP	99.20	99.20	98.18	98.13
BUS 1 BAMBE	98.42	98.35	98.24	98.16
BUS 2 BAMBE	98.42	98.35	98.24	98.16
BUS 1 BUNDURAN	94.54	94.37	94.17	94.07
BUS 1 BANGKALAN	96.55	96.44	96.30	94.67
BUS 2 BANGKALAN	96.55	96.44	96.30	94.67
BUS 1 DARMO	97.08	96.96	96.83	96.77
BUS 2 DARMO	97.08	96.96	96.83	96.77
BUS 1 GEBONG	97.36	97.26	97.13	97.08
BUS 2 GEBONG	97.36	97.26	97.13	97.08
BUS 1 GILI TIMUR	96.12	96.00	95.85	94.97
BUS 2 GILI TIMUR	96.12	96.00	95.85	94.97
BUS 1 HANIL	96.10	95.96	95.80	95.63
BUS 1 ISPAT	96.26	96.09	95.90	95.80
BUS 1 JATIM STEEL	96.30	96.13	95.94	95.84
BUS 1 KEDINDING	96.42	96.31	96.17	96.00
BUS 2 KEDINDING	96.42	96.31	96.17	96.00
BUS 1 KENJERAN	95.85	95.72	95.57	95.26
BUS 2 KENJERAN	95.85	95.72	95.57	95.26
BUS 1 KARANG PILANG	98.46	98.39	98.28	98.19
BUS 2 KARANG PILANG	98.46	98.39	98.28	98.19
BUS 1 KALISARI	95.74	95.61	95.46	95.23
BUS 2 KALISARI	95.74	95.61	95.46	95.23
BUS 1 KUPANG	97.35	97.24	97.12	97.07
BUS 2 KUPANG	97.35	97.24	97.12	97.07
BUS 1 KREMBANGAN	97.31	97.21	97.08	97.03
BUS 2 KREMBANGAN	97.31	97.21	97.08	97.03
BUS 1 NGAGEL	95.58	95.45	95.29	95.04
BUS 2 NGAGEL	95.58	95.45	95.29	95.04
BUS 1 PERAK	97.15	97.06	96.93	96.92
BUS 2 PERAK	97.15	97.06	96.93	96.92
BUS 1 PETROKIMIA	99.04	98.49	98.00	97.95
BUS 2 PETROKIMIA	99.04	98.49	98.00	97.95
BUS 1 PAMEKASAN	97.88	97.75	97.60	95.76
BUS 1 RUNKUT	96.10	95.96	95.81	95.63
BUS 2 RUNKUT	96.10	95.96	95.81	95.63
BUS 1 SAMPANG	97.03	96.91	96.76	95.00
BUS 2 SAMPANG	97.03	96.91	96.76	95.00
BUS 1 SBY BARAT	99.75	99.71	99.63	99.58
BUS 2 SBY BARAT	99.75	99.71	99.63	99.58

ID Bus (Gardu Induk)	Persen Tegangan			
	Normal	N-1	N-2	N-3
BUS 1 SBY SELATAN	95.85	95.72	95.56	95.35
BUS 2 SBY SELATAN	95.85	95.72	95.56	95.35
BUS 1 SIDOARJO	94.86	94.68	94.49	94.39
BUS 2 SIDOARJO	94.86	94.68	94.49	94.39
BUS 1 SEGOROMADU	99.16	98.62	98.12	98.07
BUS 2 SEGOROMADU	99.16	98.62	98.12	98.07
BUS 1 SIMPANG	95.50	95.37	95.21	94.96
BUS 2 SIMPANG	95.50	95.37	95.21	94.96
BUS 1 SAMBIKAREP	97.77	97.39	97.03	96.95
BUS 2 SAMBIKAREP	97.77	97.39	97.03	96.95
BUS 1 SUKOLILO	95.70	95.57	95.41	95.16
BUS 2 SUKOLILO	95.70	95.57	95.41	95.16
BUS 1 SUMENEP	98.11	97.98	97.82	95.93
BUS 2 SUMENEP	98.11	97.98	97.82	95.93
BUS 1 SAWAHAN	97.44	97.34	97.21	97.16
BUS 2 SAWAHAN	97.44	97.34	97.21	97.16
BUS 1 TANDES	97.59	97.50	97.39	97.35
BUS 2 TANDES	97.59	97.50	97.39	97.35
BUS 1 UDAAN	97.36	97.26	97.13	97.08
BUS 2 UDAAN	97.36	97.26	97.13	97.08
BUS 1 UJJUNG	97.09	96.99	96.87	96.87
BUS 2 UJJUNG	97.09	96.99	96.87	96.87
BUS 1 WARU	96.32	96.15	95.96	95.86
BUS 2 WARU	96.32	96.15	95.96	95.86
BUS 1 WONOKROMO	95.59	95.46	95.30	95.05
BUS 2 WONOKROMO	95.59	95.46	95.30	95.05

Tabel 4.5 Aliran Daya Generator saat Kontingensi N-3 sebelum GI Guluk-Guluk

ID	Rating	Rated kV	MW	Mvar	% Generation
GT 1.1	150 MW	10.5	83.58	6.648	55.7
GT 1.2	150 MW	10.5	80.56	9.667	53.7
GT 1.3	150 MW	15.75	83.92	8.4	55.9
GT 2.3	200 MW	10.5	80.1	62.233	40
GT 3.0	200 MW	15.75	75.5	20	37.8
GT 3.1	200 MW	10.5	98.89	62.275	49.4
GT 3.2	OUTAGE				
PLTU 3	OUTAGE				
ST 1.0	200 MW	15.75	139.85	20.125	69.9
KRIAN	500 MVA	500	1075.719	941.679	
Total Daya Generator			642.4	189.348	
Total Daya sub sistem Krian Gresik			1634.54	1124.38	

Berdasarkan Tabel 4.5 terjadi kenaikan aliran daya reaktif pada generator pembangkitan Gresik saat terjadi kontingensi, kenaikan aliran daya reaktif pada generator sebanding dengan kurangnya aliran daya reaktif pada sistem akibat kontingensi. Akan tetapi pada kondisi kontingensi N-3 penurunan persen tegangan masih sesuai dengan standar [3].

4.5 Analisis Kontingensi setelah Gardu Induk Guluk-Guluk

Pada kondisi kontingensi N-1 sampai N-3 setelah adanya Gardu Induk Guluk-Guluk, perubahan nilai tegangan dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Tegangan Normal dan Kontingensi setelah GI Guluk-Guluk

ID Bus (Gardu Induk)	Persen Tegangan			
	Normal	N-1	N-2	N-3
BUS 1 500 kV Gresik	100.04	100.04	99.95	99.95
BUS 2 500 kV Gresik	100.04	100.04	99.95	99.95
BUS 1 KRIAN	100.00	100	100.00	100.00
BUS 2 KRIAN	100.00	100	100.00	100.00
BUS 1 150 kV Gresik 1	101.18	99.99	99.99	99.99
BUS 2 150 kV Gresik 1	101.18	99.99	99.99	99.99
BUS 1 150 kV Gresik 2	99.98	98.39	97.77	97.63
BUS 2 150 kV Gresik 2	99.98	98.39	97.77	97.63
BUS 1 ALTAP	99.81	98.33	97.76	97.62
BUS 2 ALTAP	99.81	98.33	97.76	97.62
BUS 1 BAMBE	98.47	97.68	97.53	97.28
BUS 2 BAMBE	98.47	97.68	97.53	97.28
BUS 1 BUNDURAN	94.44	93.34	93.10	92.80
BUS 1 BANGKALAN	95.40	94.34	94.16	89.23
BUS 2 BANGKALAN	95.40	94.34	94.16	89.23
BUS 1 DARMO	97.17	96.16	95.98	95.82
BUS 2 DARMO	97.17	96.16	95.98	95.82
BUS 1 GEBONG	97.45	96.48	96.31	96.17
BUS 2 GEBONG	97.45	96.48	96.31	96.17
BUS 1 GILI TIMUR	95.32	94.29	94.10	91.52
BUS 2 GILI TIMUR	95.32	94.29	94.10	91.52
BUS 1 GULUK-GULUK	94.28	93.03	92.81	86.93
BUS 2 GULUK-GULUK	94.28	93.03	92.81	86.93
BUS 1 HANIL	95.84	94.84	94.63	94.14
BUS 1 ISPAT	96.20	95.13	94.89	94.61
BUS 1 JATIM STEEL	96.24	95.17	94.93	94.65
BUS 1 KEDINDING	96.12	95.11	94.93	94.45
BUS 2 KEDINDING	96.12	95.11	94.93	94.45
BUS 1 KENJERAN	95.37	94.35	94.16	93.26
BUS 2 KENJERAN	95.37	94.35	94.16	93.26
BUS 1 KARANG PILANG	98.52	97.74	97.58	97.33
BUS 2 KARANG PILANG	98.52	97.74	97.58	97.33
BUS 1 KALISARI	95.33	94.32	94.12	93.46
BUS 2 KALISARI	95.33	94.32	94.12	93.46
BUS 1 KUPANG	97.45	96.48	96.31	96.17
BUS 2 KUPANG	97.45	96.48	96.31	96.17
BUS 1 KREMBANGAN	97.40	96.43	96.26	96.12
BUS 2 KREMBANGAN	97.40	96.43	96.26	96.12
BUS 1 NGAGEL	95.14	94.13	93.93	93.21
BUS 2 NGAGEL	95.14	94.13	93.93	93.21
BUS 1 PERAK	97.14	96.14	95.98	95.95
BUS 2 PERAK	97.14	96.14	95.98	95.95
BUS 1 PETROKIMIA	99.63	98.12	97.54	97.40
BUS 2 PETROKIMIA	99.63	98.12	97.54	97.40
BUS 1 PAMEKASAN	94.44	93.21	93.00	87.23
BUS 1 RUNKUT	95.84	94.84	94.63	94.14
BUS 2 RUNKUT	95.84	94.84	94.63	94.14
BUS 1 SAMPANG	94.17	92.99	92.79	87.28
BUS 2 SAMPANG	94.17	92.99	92.79	87.28

ID Bus (Gardu Induk)	Persen Tegangan			
	Normal	N-1	N-2	N-3
BUS 1 SBY BARAT	100.05	99.36	99.23	99.09
BUS 2 SBY BARAT	100.05	99.36	99.23	99.09
BUS 1 SBY SELATAN	95.44	94.44	94.23	93.63
BUS 2 SBY SELATAN	95.44	94.44	94.23	93.63
BUS 1 SIDOARJO	94.75	93.64	93.40	93.11
BUS 2 SIDOARJO	94.75	93.64	93.40	93.11
BUS 1 SEGOROMADU	99.79	98.28	97.70	97.56
BUS 2 SEGOROMADU	99.79	98.28	97.70	97.56
BUS 1 SIMPANG	95.08	94.06	93.86	93.14
BUS 2 SIMPANG	95.08	94.06	93.86	93.14
BUS 1 SAMBIKAREP	97.97	96.64	96.21	96.00
BUS 2 SAMBIKAREP	97.97	96.64	96.21	96.00
BUS 1 SUKOLILO	95.27	94.26	94.06	93.34
BUS 2 SUKOLILO	95.27	94.26	94.06	93.34
BUS 1 SUMENEP	94.40	93.13	92.91	86.94
BUS 2 SUMENEP	94.40	93.13	92.91	86.94
BUS 1 SAWAHAN	97.54	96.58	96.41	96.27
BUS 2 SAWAHAN	97.54	96.58	96.41	96.27
BUS 1 TANDES	97.75	96.77	96.61	96.51
BUS 2 TANDES	97.75	96.77	96.61	96.51
BUS 1 UDAAN	97.45	96.48	96.31	96.17
BUS 2 UDAAN	97.45	96.48	96.31	96.17
BUS 1 UJUNG	97.01	96.01	95.85	95.85
BUS 2 UJUNG	97.01	96.01	95.85	95.85
BUS 1 WARU	96.26	95.19	94.95	94.67
BUS 2 WARU	96.26	95.19	94.95	94.67
BUS 1 WONOKROMO	95.09	94.08	93.88	93.16
BUS 2 WONOKROMO	95.09	94.08	93.88	93.16

Berdasarkan Tabel 4.6 di atas dapat diketahui terjadi penurunan secara signifikan saat kontingensi N-3 khususnya pada gardu induk pulau Madura yaitu Gardu Induk Gili Timur, Bangkalan, Sampang, Guluk-Guluk sendiri, dan Sumenep. Hal tersebut dikarenakan hanya satu saluran yang mensuplai aliran daya pada semua gardu induk Pulau Madura sehingga kondisi ini tidak memungkinkan dikarenakan nilai profil tegangan pada gardu induk Pulau Madura diatas tidak memenuhi standar [3].

Berdasarkan Tabel 4.7 terjadi kenaikan aliran daya reaktif pada generator pembangkitan Gresik saat terjadi kontingensi, kenaikan aliran daya reaktif pada generator sebanding dengan kurangnya aliran daya reaktif pada sistem akibat kontingensi.

Tabel 4.7 Aliran Daya Generator saat Kontingensi N-3 setelah GI Guluk-Guluk

ID	Rating	Rated kV	MW	Mvar	% Generation
GT 1.1	150 MW	10.5	83.58	6.648	55.7
GT 1.2	150 MW	10.5	80.56	9.667	53.7
GT 1.3	150 MW	15.75	83.92	8.4	55.9
GT 2.3	200 MW	10.5	80.1	62.233	40
GT 3.0	200 MW	15.75	75.5	20	37.8
GT 3.1	200 MW	10.5	98.89	62.275	49.4
GT 3.2	OUTAGE				
PLTU 3	OUTAGE				

ID	Rating	Rated kV	MW	Mvar	% Generation
ST 1.0	200 MW	200 MW	15.75	139.85	20.125
KRIAN	500 MVA	500 MVA	500	1075.72	941.679
Total Daya Generator			642.4	189.348	
Total Daya sub sistem Krian Gresik			1634.54	1124.38	

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

1. Pada kondisi normal sub sistem Krian Gresik sebelum dan setelah pembangunan Gardu Induk Guluk-Guluk nilai tegangan secara keseluruhan pada setiap gardu induk dapat dikategorikan stabil karena nilai tegangan sesuai dengan standar [3].
2. Pada kondisi sebelum Gardu Induk Guluk-Guluk saat kontingensi terjadi perubahan aliran daya subsistem Krian Gresik ditinjau dari nilai tegangan terjadi penurunan dibandingkan dengan kondisi normalnya.
3. Pada kondisi setelah adanya Gardu Induk Guluk-Guluk kondisi kontingensi N-1 sampai N-2 nilai tegangan masih sesuai dengan standar [3]. Akan tetapi kondisi kontingensi N-3 terdapat tegangan tidak memenuhi standar [3].

Beberapa hal yang dapat dikembangkan dari hasil analisis kestabilan pada sub sistem Krian Gresik adalah:

1. Hasil simulasi dapat digunakan untuk mengetahui kondisi sistem saat terjadi gangguan pada generator pembangkitan pada skenario kontingensi generator yang telah ditentukan.
2. Perlu dilakukan analisis kestabilan sub sistem Krian Gresik saat adanya perubahan beban atau penambahan unit pembangkit dan gardu induk baru

Daftar Pustaka

- [1] Das, Debapriya. 2006. *Electrical Power Systems*. West Bengal: Department of Electrical Engineering Indian Institute of Technology.
- [2] Naik, P. 2014. *Power System Contingency Ranking using Newton Raphson Load Flow Method and its Prediction using Soft Computing Techniques*. National Institute of Technology. Rourkela: Department of Electrical Engineering National Institute of Technology.
- [3] SPLN 1:1995 Tegangan-Tegangan Standar. Jakarta: PT PLN (Persero)