

Studi Penerapan Metode *Island Operation* Sebagai *Defence Scheme* Pada Gardu Induk Teluk Lembu

Muhamad Al Khausar, Firdaus

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: Muh.khausar@gmail.com

ABSTRACT

Sumatra island has 3 interconnecting transmission lines of 150 kV are in the North Sumatra, Sumatra central and southern Sumatra. Teluk Lembu substation is a substation that is connected to the 150 kV Interconnection System Central Sumatra.

Blackout is a disruption of the 150 kV transmission system which caused a total blackout. In order to overcome such interference, when the blackout substation Teluk Lembu can secede from the 150 kV interconnection system (Island Operation). Where Power-generator which is connected to the Teluk Lembu substation only supply power to Teluk Lembu substations.

Keywords : Teluk Lembu Power plant, Teluk Lembu substation, Blackout, Island Operation.

I. PENDAHULUAN

Sistem penyaluran tenaga listrik tersebut tidak menutup kemungkinan terjadi gangguan, terutama gangguan yang disebabkan oleh alam. Gangguan yang sering terjadi antara lain kawat penghantar putus, kerusakan pada pembangkit, gangguan pada saluran transmisi akibat petir serta gangguan hubung singkat, dan lainnya. Dengan adanya gangguan yang tidak dapat diprediksi maka diperlukan suatu peralatan pengaman (sistem proteksi) yang tepat dan dapat diandalkan.

Defence Scheme adalah suatu skema proteksi yang digunakan untuk memproteksi sistem saat terjadi kondisi *abnormal* pada operasi sistem. Apabila terjadi gangguan menyebabkan frekuensi tak kunjung normal dan cenderung turun, maka yang dilakukan adalah dengan melepaskan beban agar frekuensi kembali naik dan normal kembali. Salah satu pengaman tersebut yaitu UFR (*Under Frequency Relay*) dimana fungsi *relay* tersebut untuk membatasi frekuensi dari ketidaknormalan frekuensi sistem agar tetap stabil. Pengamanan tersebut dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan pada peralatan- peralatan gardu induk yang nantinya akan menyebabkan terhambatnya penyaluran tenaga listrik ke beban (konsumen).

Islanding Operation adalah pola pengamanan sistem dengan memisahkan unit pembangkit dari sistem tenaga listrik secara otomatis dengan hanya memikul beban di sekitarnya terbatas sesuai

kemampuan unit pembangkitnya apabila sistem mengalami gangguan. Pelaksanaannya dengan membuka beberapa PMT di gardu induk tertentu secara otomatis menggunakan UFR, sehingga terbentuk suatu sistem yang terisolasi dari sistem interkoneksi.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik

Pada sistem pembangkitan tenaga listrik, komponen utama yang dibutuhkan adalah generator dan penggerak utama (*prime mover*). Generator merupakan suatu mesin listrik yang mampu mengubah energi kinetik menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Sedangkan penggerak utama (*prime mover*) dalam hal ini membantu memutar bagian rotor generator. Penggerak utama (*prime mover*) merupakan suatu alat dalam hal ini adalah turbin yang dikopel dengan rotor generator dan bekerja dengan memanfaatkan berbagai macam sumber energi, baik tenaga uap, gas, air, maupun diesel.

2.2 Gardu Induk

a. Transformator Daya

Transformator Daya berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik, dengan merubah besaran tegangannya sedangkan frekuensinya tetap. Transformator daya juga berfungsi sebagai pengatur tegangan. Trafo daya dilengkapi oleh

trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya. Perlengkapan lainnya adalah pentanahan trafo yang disebut Neutral Grounding Resistance (NGR). Pada Gardu Induk Teluk Lembu terdapat 3 buah transformator daya berkapasitas masing-masing 60 MVA.

b. Busbar

Busbar adalah salah satu peralatan utama gardu induk yang merupakan titik pertemuan/hubungan trafo-trafo tenaga, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik. Semua peralatan gardu induk dihubungkan mengelilingi busbar.

c. Penyulang (*feeder*)

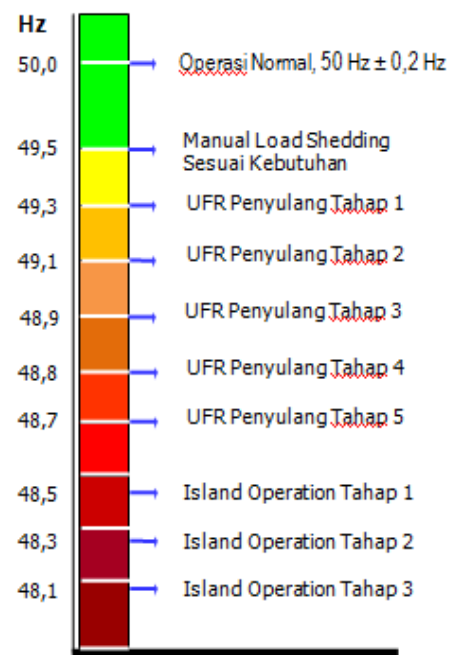
Feeder atau Penyulang, adalah Jaringan PLN yang berfungsi menyalurkan listrik dengan tegangan 20.000 Volt, dari Gardu Induk menuju Gardu Distribusi. Nantinya di Gardu Distribusi ini listrik diubah tegangannya menjadi 380 Volt atau 220 Volt, untuk disalurkan kepada pelanggan umum. Pada Gardu Induk Teluk Lembu memiliki 19 Penyulang aktif merupakan *outgoing* dari masing-masing transformator 150/20 kV.

d. Relai Frekuensi

Ada dua jenis Rele frekuensi, yaitu Rele frekuensi kurang (UFR) dan Rele frekuensi lebih (OFR). Rele frekuensi kurang (UFR), membandingkan frekuensi sistem dengan frekuensi settingnya, bila frekuensi sistem lebih kecil, atau sama dengan frekuensi settingnya, maka Rele akan bekerja. Rele frekuensi lebih (OFR) akan bekerja bila frekuensi sistem lebih besar atau sama dengan nilai settingnya

2.3 Defence Scheme

Defence Scheme adalah suatu skema proteksi yang digunakan untuk memproteksi sistem saat terjadi sistem abnormal pada operasi sistem. *Apabila satu atau beberapa pembangkit yang trip akan menyebabkan pasokan ke sistem berkurang secara tiba-tiba, maka dapat menyebabkan frekuensi turun dan atau tegangan turun (pasokan daya lebih kecil dari beban) dan ada beban yang cukup besar keluar dari sistem secara tiba-tiba, maka dapat menyebabkan frekuensi naik dan atau tegangan naik, maka Sistem menjadi tidak seimbang.*



Gambar Strategi Pengaturan Frekuensi

Gambar 1. Gambar strategi pengatur frekuensi (Sumber : UPB SUMBAGTENG, 2016)

a. *Manual Load Shedding*

Pelaksanaan pelepasan beban secara manual dalam rangka mengatasi kondisi defisit sistem, sudah ditetapkan lokasinya secara kesepakatan bersama antara pusat pengatur beban dengan distribusi dan lokasinya bisa di penyulang atau trafo.

b. *UFR Load Sheeding*

Load Shedding dilaksanakan apabila terjadi penurunan frekuensi dan menyentuh setting relai yang disebabkan hilangnya pasokan daya sistem, pelepasan beban dilakukan seketika dan secara otomatis dengan menggunakan relai UFR. Untuk pengamanan sistem, skema pelepasan beban dapat dilaksanakan dalam beberapa tahap.

c. *Islanding Operation*

Islanding Operation adalah pola pengamanan sistem dengan memisahkan unit pembangkit dari sistem tenaga listrik secara otomatis dengan hanya memikul beban di sekitarnya terbatas sesuai kemampuan unit pembangkitnya apabila sistem mengalami gangguan.

2.4 Tegangan Jatuh (*Drop Tegangan*)

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan

dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Berikut adalah seting UVR (*Under Voltage Relay*) pada pembangkit Listrik Teluk Lembu :

Tabel 1. Seting proteksi UVR generator pada Teluk Lembu

Tegangan Minimal	Waktu
69 % - 70 %	1 detik

(Sumber : Pembangkit Listrik Teluk Lembu)

2.5 Pelepasan Daya Akibat Over Frekuensi

Pada saat terjadi *over* frekuensi, daya generator akan lebih besar dari pada beban yang diserap. Pada saat *over* frekuensi, governor akan secara otomatis menstabilkan frekuensi dengan cara menurunkan daya yang dihasilkan. Putaran generator mempengaruhi frekuensi sistem.

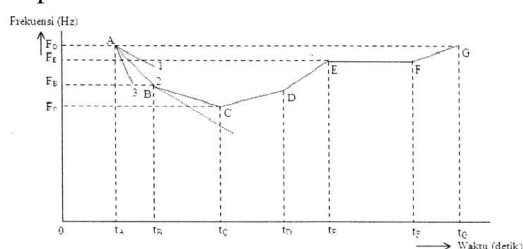
Tabel 2. Seting proteksi *Over* Frekuensi generator pada Teluk Lembu

Batas <i>Over</i> Speed
10 %

(Sumber : Pembangkit Listrik Teluk Lembu)

2.6 Pelepasan Beban Akibat Under Frekuensi (*Load Shedding*)

Pada gambar berikut diperlihatkan perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban.



Gambar 2 Perubahan frekuensi terhadap waktu dengan adanya pelepasan beban (Sumber : Sri Mawar Said, 2009)

Pada gambar garis 2 menunjukkan frekuensi dimana frekuensi yang menurun ke titik C, maka UFR tahap pertama berkerja melepaskan beban untuk mengembalikan frekuensi ke titik D, pada titik D frekuensi yang masih dibawah batas normal UFR bekerja hingga menuju ke titik E, begitu seterusnya hingga frekuensi normal sampai ke titik G.

Apabila penurunan frekuensi yang terjadi terlalu signifikan hingga mencapai lebih ketitik F_c , maka dalam hal ini di yang dilakukan ada lah *island operation system* agar tidak berdampak apabila terjadi pemadaman total (*blackout*).

a. Penurunan Frekuensi Karena Gangguan Terhadap Pembangkit

Unit pembangkit yang terganggu dan trip dari sistem mempunyai dampak penurunan frekuensi sistem, begitu pula penambahan beban secara mendadak, dampaknya akan penurunan terhadap frekuensi.

Untuk dapat besar penurunan frekuensi digunakan persamaan berikut:

$$\frac{df}{dt(0-1)} = \frac{f_0}{2H} \frac{P_{SO}}{P_{GOT} - P_{SOT}} \dots \dots \dots (1)$$

f_0 = Frekuensi Nominal Sistem (Hz)

H = Konstanta Inersia (detik)

P_{SO} = Daya yang dibangkitkan unit yang mengalami gangguan (MW)

P_{GOT} = Total kapasitas seluruh pembangkit (MW)

P_{SOT} = Kapasitas pembangkit yang mengalami gangguan (MW)

Pada akhir selang waktu yang pertama merupakan permulaan selang waktu kedua, yaitu saat t_1 , nilai frekuensinya adalah :

$$f_1 = f_0 + \left[\left(\frac{df}{dt} \right)_{0-1} (t_1 - t_0) \right] \dots \dots \dots (2)$$

Dalam selang waktu antara t_0 dan t_1 nilai df/dt dianggap konstan, untuk selang waktu berikutnya yaitu antara t_1 dan t_2 dilakukan perhitungan menentukan nilai selisih daya yang dibangkitkan dengan beban :

$$\left(\frac{df}{dt} \right)_{1-2} = \frac{f_1 (P_{GO} - P_{SO}) - P_{B1}}{2H (P_{GOT} - P_{SOT})} \dots \dots \dots (3)$$

P_{GO} = Beban system setelah gangguan

P_{B1} = Daya yang dibangkitkan dalam sistem sebelum ada gangguan dari unit

Begitu seterusnya dapat dilakukan perhitungan yang serupa untuk selang waktu berikutnya.

b. Pelepasan Beban Untuk Menghindarkan Gangguan

Load Shedding merupakan suatu bentuk tindakan pelepasan beban yang terjadi secara otomatis ataupun manual untuk pengamanan operasi dari unit-unit pembangkit dari kemungkinan terjadinya padam total (*black out*). Untuk menghitung perubahan frekuensi setelah dilakukan pelepasan beban menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\left(\frac{df}{dt}\right)_{1-2} = \frac{f_s}{2H} \left\{ \frac{P_{SO}GO - (P_{SO} - P_{BR}) - P_{B1}}{P_{GOT} - P_{SOT}} \right\} \dots\dots(4)$$

P_{BR} = besarnya daya yang dilepas oleh relai frekuensi (MW)

2.7 ETAP (Electrical Transient Analysis Program)

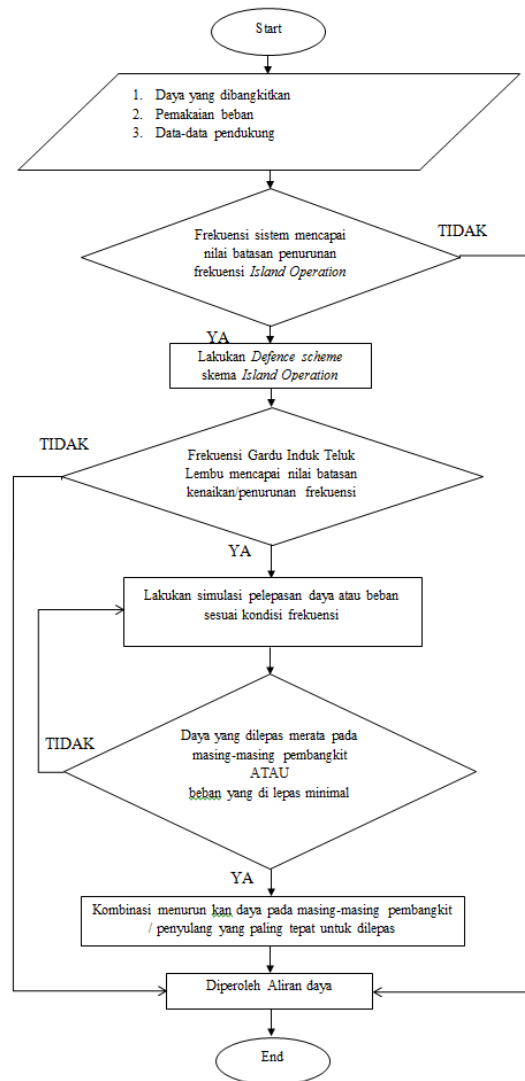
ETAP (Electric Transient Analysis Program) merupakan suatu software (perangkat lunak) yang digunakan suatu sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat bekerja dalam keadaan offline yaitu untuk simulasi tenaga listrik, dan juga dalam keadaan online untuk pengelolaan data real time. Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP antara lain :

- Analisa Aliran Daya (Load Flow Analysis)
- Analisa Hubung Singkat (Short Circuit Analysis)
- Motor Starting
- Arc Flash Analysis
- Harmonics Power System
- Analisa Kestabilan Transien (Transient Stability Analysis)
- Protective Device Coordination

III. METODE PELAKSANAAN

Prosedur yang digunakan untuk skema *island operation*:

1. Parameter-parameter yang ada pada sistem, yaitu daya yang dibangkitkan dan pemakaian beban.
2. Aliran daya pada saat *island operation*.



Gambar 3. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian 3.1 Daya dan Beban Pada yang Terpasang Pada Teluk Lembu

Daya yang dihasilkan pembangkit merupakan data yang sangat penting yaitu:

Tabel 3. Daya yang dihasilkan masing-masing pembangkit Teluk Lembu

No.	Pembangkit Listrik	Daya Terbaca (MW)
1	PLTG 2	-
2	PLTG 3	-
3	PLTG Riau Power	17
4	Combine Cycle Riau Power	9
5	PLTMG Vpower Hutan Alam 1	12
6	PLTMG Vpower Hutan Alam 2	50
7	PLTMG PJBS 1	15
8	PLTMG PJBS 2	15
9	PLTMG PJBS 3	30
Total		148

(sumber : Pembangkit Listrik Teluk lembu, 2016)

Parameter selanjutnya yang diperlukan adalah penyulang yang terhubung dengan GI Teluk Lembu.

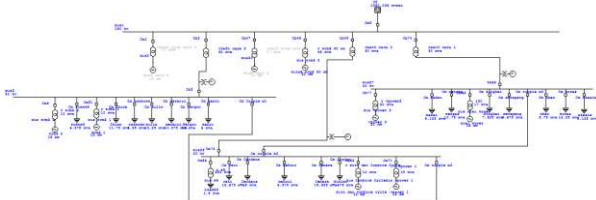
Tabel 4. penyulang yang disuplai GI teluk Lembu

No.	Trafo Daya	Penyulang	Base Load (MW)	Beban Menengah (MW)	Peak Load (MW)
1	TD 1	Surian	3.21	5.47	5.00
2		Cemara	9.82	10.28	10.43
3		Mahoni	5.51	5.70	6.36
4		Cendana	3.09	4.56	3.67
5		Jati	7.42	6.83	9.08
6	TD 2	Bakau	3.20	4.19	3.93
7		Renggas	6.08	6.99	7.25
8		Sungkai	4.26	3.94	4.85
9		Ketapang	5.04	6.66	6.47
10		Ubar	1.50	3.67	1.49
11	TD 3	Kuras	7.43	8.01	8.59
12		Akasia	5.39	6.48	6.34
13		Pinang	4.70	4.94	5.65
14		Okura	6.08	6.36	7.76
15		Tenanyan	0.10	0.10	0.16
16		Kulim	7.72	7.08	9.46
17		Meranti	7.40	7.27	9.10
18		Serngon	5.44	7.00	6.48
19		Ramin	4.45	4.78	5.40
Total			97.84	110.30	117.47

(sumber : logsheet bulan mei Gardu Induk Teluk lembu, 2016)

3.2 Simulasi dengan software ETAP 12.6.0

Berdasarkan hasil dari simulasi pada saat terjadi *Island Operation* pada Gardu Induk Teluk Lembu yang bertujuan apakah *Defence Scheme* skema *Island Operation* layak atau tidak diterapkan pada Gardu Induk Teluk Lembu.



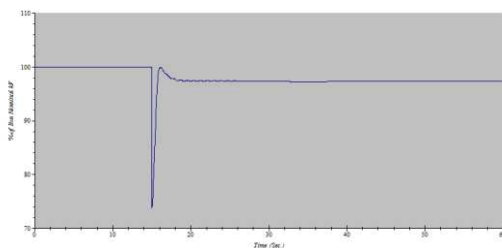
Gambar 4. One Line Diagram Gardu Induk Teluk Lembu

Gambar diatas dibuat sesuai parameter - parameter yang ada pada tabel 3 dan 4.

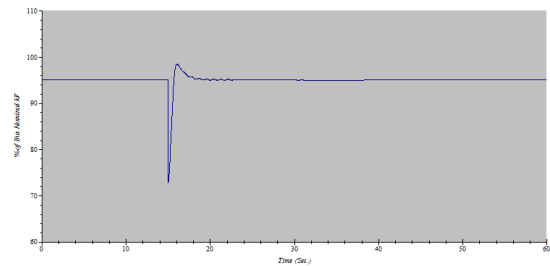
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Defence Scheme Kondisi Base Load

Berikut akan ditampilkan hasil dari simulasi *Island Operation* dalam kondisi *base load* dengan jumlah beban 97.84 Mw.



Gambar 5. Grafik perubahan Tegangan pada bus 150 kV terhadap waktu pada saat terjadi *Island Operation* kondisi *base load*



Gambar 6. Grafik perubahan Tegangan pada bus 20 kV terhadap waktu pada saat terjadi *Island Operation* kondisi *base load*

Pada gambar 4.2 dapat dilihat pada saat *island operation* pada detik ke-15 pada kondisi *base load* tegangan pada bus 150 kV menurun hingga 74 % sehingga drop tegangan yang terjadi :

$$74/100 \times 150 \text{ kV} = 111 \text{ kV}$$

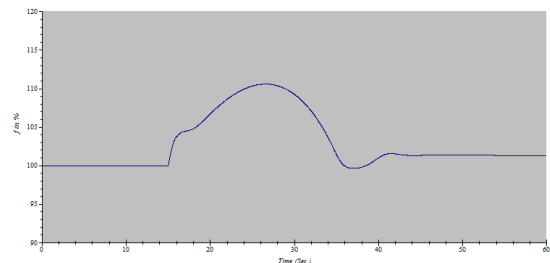
$$150 \text{ kV} - 111 \text{ kV} = 39 \text{ kV}$$

Sedangkan tegangan pada bus 20 kV pada gambar 4.3 menurun hingga 73 % dan drop tegangan nya mencapai :

$$73/100 \times 20 \text{ kV} = 14.6 \text{ kV}$$

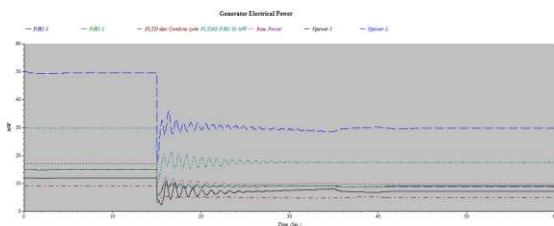
$$20 \text{ kV} - 14.6 \text{ kV} = 5.4 \text{ kV}$$

Lama waktu saat terjadi *under voltage* hanya terjadi sekitar 1 detik, sedangkan penormalan tegangan membutuhkan waktu sekitar 4 detik.



Gambar 7. Grafik perubahan frekuensi terhadap waktu pada saat terjadi *Island Operation* kondisi *base load*

Pada gambar 4.4 menunjukkan grafik frekuensi terhadap waktu saat terjadi *island operation*, frekuensi naik keatas hingga 110% (55 Hz) disebabkan oleh dayang yang dihasilkan oleh pembangkit yang ada di Teluk Lembu lebih banyak dari pemakaian beban. Waktu pemulihan yang terjadi membutuhkan waktu kurang lebih sekitar 29 detik untuk normal kembali.



Gambar 8. Grafik perubahan daya yang dibangkitkan terhadap waktu pada saat terjadi *Island Operation* kondisi *base load*

Untuk menormalkan frekuensi ke 100 % (50 Hz), daya pembangkit harus disesuaikan dengan jumlah beban yang diserap, dengan cara mengurangi daya yang dibangkitkan masing-masing pembangkit.

Tabel 5. Aliran daya pada GI Teluk Lembu saat *Island Operation* kondisi *Base Load*

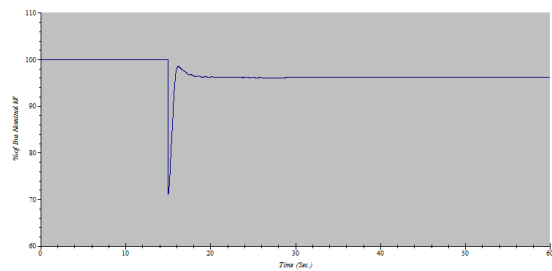
Bus	Terhubung Ke Sistem			Terlepas Dari Sistem		
	kV	MW	Amp	kV	MW	Amp
Bus 150 kV	Bus Sistem	59.804	361.4	-	-	-
	Bus PJBS 3	-29.450	113.4	-16.664	141.5	5.555
	Bus TD1 20 kV	-10.118	99.7	-10.118	99.7	5.555
	Bus TD2 20 kV	-10.118	99.7	-10.118	99.7	5.555
	Bus TD3 20 kV	-10.118	99.7	-10.118	99.7	5.555
Bus TD1 20 kV	Bus 150 kV	10.149	747.9	-5.548	353.8	-14.573
	Bus TD2 20 kV	-25.712	782.7	-14.573	487.6	8.170
	Bus TD3 20 kV	12.296	378.1	-8.855	168.9	-7.014
	Combine Cycle	-8.809	67.5	0.016	0.6	4.264
	Vpower 1	-11.773	357.5	-7.014	236.5	2.791
	Bus PS	0.016	0.6	0.016	0.6	0.016
	Jati	4.269	162.0	4.264	161.9	4.978
	Cendana	2.795	106.0	2.791	106.0	4.978
	Mahoni	4.984	189.1	4.978	189.0	8.871
	Cemara	8.882	337.0	8.871	336.8	2.899
Bus TD2 20 kV	Surian	2.903	110.1	2.899	110.1	-3.548
	Bus 150 kV	10.149	747.9	-5.548	353.8	14.573
	Bus TD1 20 kV	-25.712	782.7	14.573	487.6	-29.230
	Vpower2	-49.017	1488.5	-29.230	983.9	-9.515
	Riau Power	-16.602	504.2	-9.515	324.0	2.891
	Bakau	2.894	109.8	2.891	109.7	5.492
	Rengas	5.499	208.7	5.492	208.5	3.848
	Sungkai	3.853	146.2	3.848	146.1	4.553
	Ketapang	4.559	173.0	4.553	172.9	1.355
	Ubar	1.357	51.5	1.355	51.4	6.712
Bus TD3 20 kV	Kunas	6.720	255.0	6.712	254.8	-8.869
	Akasia	4.875	185.0	4.869	184.8	-5.548
	Bus 150 kV	10.149	747.9	-5.548	353.8	-8.170
	Bus TD1 20 kV	-12.296	378.1	-8.170	294.2	-8.679
	PJBS 1	-14.484	440.3	-8.679	286.7	2.899
	PJBS 2	-14.484	440.3	-8.679	286.7	2.899
	Pinang	2.903	110.1	2.899	110.1	5.492
	Okara	5.499	208.7	5.492	208.5	0.090
	Tenayan	0.090	3.4	0.090	3.4	4.914
	Kaling	4.920	186.7	4.914	186.6	6.974
Bus TD3 20 kV	Meranti	6.983	257.2	6.974	257.1	6.685
	Sengon	6.693	254.0	6.685	253.8	4.020
	Ramin	4.025	152.7	4.020	152.6	

Pada tabel diatas maka dapat dilihat presentase daya dari tiap-tiap pembangkit saat terjadi *island operation* kondisi *base load*, yaitu :

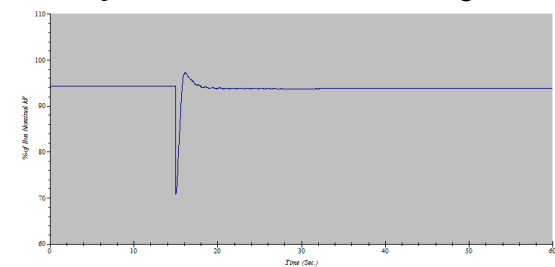
PJBS 3 : $\frac{16.664}{29.450} = 56.58\%$
 Combine Cycle Riau Power : $\frac{8.855}{4.855} = 55.11\%$
 Vpower1 : $\frac{8.809}{7.014} = 59.59\%$
 Vpower 2 : $\frac{11.773}{19.236} = 59.63\%$
 Riau Power : $\frac{49.017}{9.515} = 57.31\%$
 PJBS 1 : $\frac{16.60}{8.679} = 59.92\%$
 PJBS 2 : $\frac{14.484}{8.679} = 59.92\%$
 PJBS 2 : $\frac{14.484}{8.679} = 59.92\%$

4.2 Defence Scheme Kondisi Beban Menengah

Berikut akan ditampilkan hasil dari simulasi *Island Operation* dalam kondisi beban menengah dengan jumlah beban 110.30 MW.



Gambar 9. Grafik perubahan tegangan pada bus 150 kV terhadap waktu pada saat terjadi *Island Operation* kondisi beban menengah



Gambar 10. Grafik perubahan tegangan terhadap waktu pada saat terjadi *Island Operation* kondisi beban menengah

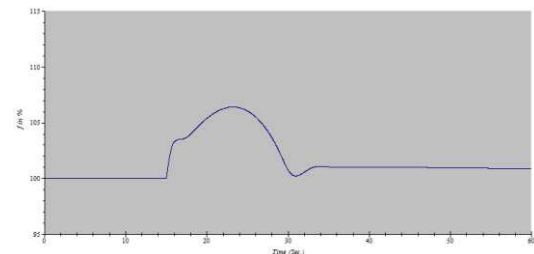
Pada gambar 9 dapat dilihat pada saat *island operation* pada detik ke-15 pada kondisi *base load* tegangan pada bus 150 kV menurun hingga 72 % sehingga drop tegangan yang terjadi,

$72/100 \times 150 \text{ kV} = 108 \text{ kV}$
 $150 \text{ kV} - 108 \text{ kV} = 42 \text{ kV}$

Sedangkan tegangan pada bus 20 kV pada gambar 10 menurun hingga 71 % dan drop tegangan nya mencapai :

$73/100 \times 20 \text{ kV} = 14.2 \text{ kV}$
 $20 \text{ kV} - 14.2 \text{ kV} = 5.8 \text{ kV}$

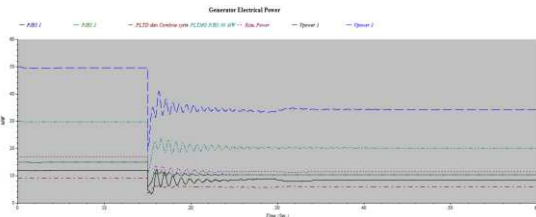
Lama waktu saat terjadi *under voltage* hanya terjadi sekitar 1 detik, sedangkan penormalan tegangan membutuhkan waktu sekitar 4 detik.



Gambar 11. Grafik perubahan frekuensi terhadap waktu pada saat terjadi *Island Operation* kondisi beban menengah

Pada gambar 11 menunjukkan grafik frekuensi terhadap waktu saat terjadi *island operation*, frekuensi naik keatas hingga 107% (53.5Hz) disebabkan oleh dayang yang dihasilkan oleh pembangkit yang ada di Teluk Lembu lebih

banyak dari pemakaian beban. Waktu pemulihan yang terjadi membutuhkan waktu kurang lebih sekitar 18 detik untuk normal kembali.



Gambar 12. Grafik perubahan Daya yang dibangkitkan terhadap waktu pada saat terjadi Island Operation kondisi beban menengah

Untuk menormalkan frekuensi ke 100 % (50 Hz), daya pembangkit harus disesuaikan dengan jumlah beban yang diserap, dengan cara mengurangi daya yang dibangkitkan masing-masing pembangkit.

Tabel 6. Aliran daya pada GI Teluk Lembu saat Island Operation kondisi beban menengah

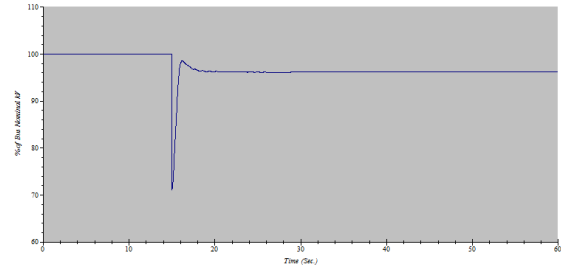
Bus	Terhubung Ke Sistem			Terlepas Dari Sistem		
	kV	MW	Amp	kV	MW	Amp
Bus 150 kV	Bus Sistem	45.983	368.6	-	-	-
	Bus PJBS 3	29.450	108.8	-	18.988	166.5
	Bus TD1 20 kV	5.511	108.8	144.73	6.329	55.5
	Bus TD2 20 kV	5.511	108.8	144.73	6.329	55.5
	Bus TD3 20 kV	5.511	108.8	144.73	6.329	55.5
Bus TD1 20 kV	Bus 150 kV	5.548	816.0	18.76	-6.320	416.2
	Bus TD2 20 kV	-24.577	757.1	18.76	-15.952	548.8
	Bus TD3 20 kV	10.413	320.0	18.76	7.186	278.5
	Combine Cycle	-8.806	269.8	18.76	-5.742	201.1
	Vpower1	11.769	360.6	18.76	8.073	279.2
	Bus PS	0.013	0.5	18.76	0.013	0.5
	Jati	6.069	232.3	18.76	6.008	231.2
	Cendana	4.052	155.1	18.76	4.011	154.3
	Mahoni	5.064	193.9	18.76	5.014	192.9
	Cemara	9.154	349.7	18.76	9.043	347.9
	Sinar	4.860	186.0	18.76	4.811	185.1
Bus TD2 20 kV	Bus 150 kV	5.548	816.0	18.76	-6.320	416.2
	Bus TD1 20 kV	24.577	757.1	18.76	15.952	548.8
	Vpower2	-49.000	1501.3	18.76	-33.646	1158.7
	Riau Power	-16.595	508.6	18.76	-11.103	380.8
	Bakau	3.705	141.8	18.76	3.669	141.1
	Rengas	6.210	237.7	18.76	6.148	236.6
	Sangkal	3.501	134.0	18.76	3.466	133.3
	Ketapang	5.917	226.5	18.76	5.859	225.4
	Uhar	3.261	124.8	18.76	3.229	124.2
	Kuras	7.117	272.5	18.76	7.046	271.1
	Akasia	5.757	220.4	18.76	5.700	219.3
Bus TD3 20 kV	Bus 150 kV	5.548	816.0	18.76	-6.320	416.2
	Bus TD1 20 kV	-10.413	320.0	18.76	-7.186	278.5
	PJBS 1	-14.475	444.0	18.76	-9.987	329.2
	PJBS 2	-14.475	444.0	18.76	-9.987	329.2
	Pinang	4.860	186.0	18.76	4.811	185.1
	Okura	5.651	216.3	18.76	5.595	215.2
	Tenayan	0.089	3.4	18.76	0.088	3.4
	Kaling	6.219	238.1	18.76	6.158	236.9
	Meranti	6.291	240.8	18.76	6.228	239.6
	Sengon	6.459	247.3	18.76	6.395	246.0
	Ramin	4.247	162.6	18.76	4.205	161.8

Pada tabel diatas maka dapat dilihat presentase daya dari tiap-tiap pembangkit saat terjadi island operation kondisi beban menengah, yaitu :

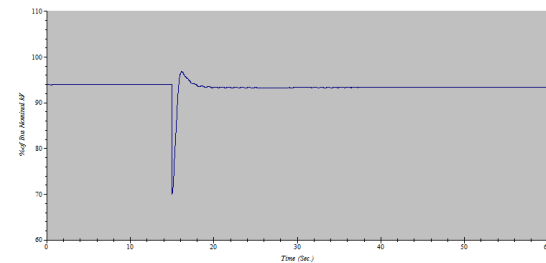
PJBS 3 : $\frac{18.988}{29.450} = 64.48 \%$
 Combine Cycle Riau Power : $\frac{5.742}{8.806} = 65.21 \%$
 Vpower1 : $\frac{8.073}{11.769} = 68.60 \%$
 Vpower 2 : $\frac{33.646}{49.000} = 68.67 \%$
 Riau Power : $\frac{11.103}{16.595} = 66.91 \%$
 PJBS 1 : $\frac{9.987}{14.475} = 68.99 \%$
 PJBS 2 : $\frac{9.987}{14.475} = 68.99 \%$

4.3 Defence Scheme Kondisi Peak Load

Berikut akan ditampilkan hasil dari simulasi Island Operation berdasarkan data daya dan beban Teluk Lembu dalam kondisi peak load dengan jumlah beban 117.47 MW.



Gambar 13. Grafik perubahan Tegangan pada bus 150 kV terhadap waktu pada saat terjadi Island Operation kondisi peak load



Gambar 14. Grafik perubahan Tegangan pada bus 20 kV terhadap waktu pada saat terjadi Island Operation kondisi peak load

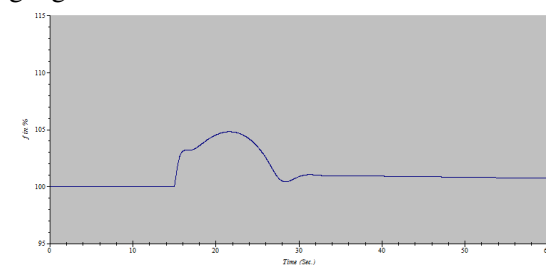
Pada gambar 13. dapat dilihat pada saat island operation pada detik ke-15 pada kondisi base load tegangan pada bus 150 kV menurun hingga 71 % sehingga drop tegangan yang terjadi :

$71/100 \times 150 \text{ kV} = 106.5 \text{ kV}$
 $150 \text{ kV} - 106.5 \text{ kV} = 43.5 \text{ kV}$

Sedangkan tegangan pada bus 20 kV pada gambar 14. menurun hingga 70 % dan drop tegangan nya mencapai :

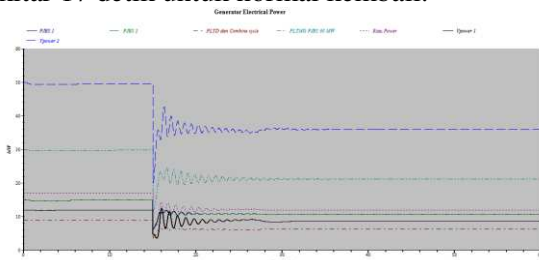
$70/100 \times 20 \text{ kV} = 14 \text{ kV}$
 $20 \text{ kV} - 14 \text{ kV} = 6 \text{ kV}$

Lama waktu saat terjadi under voltage hanya terjadi sekitar 1 detik, sedangkan penormalan tegangan membutuhkan waktu sekitar 4 detik.



Gambar 15. Grafik perubahan frekuensi terhadap waktu pada saat terjadi Island Operation kondisi peak load

Pada gambar 15. menunjukkan grafik frekuensi terhadap waktu saat terjadi *island operation*, frekuensi naik keatas hingga 105% (52.5Hz) disebabkan oleh dayang yang dihasilkan oleh pembangkit yang ada di Teluk Lembu lebih banyak dari pemakaian beban. Waktu pemulihan yang terjadi membutuhkan waktu kurang lebih sekitar 17 detik untuk normal kembali.



Gambar 16. Grafik perubahan Daya yang dibangkitkan terhadap waktu pada saat terjadi *Island Operation* kondisi *peak load*

Untuk menormalkan frekuensi ke 100 % (50 Hz), daya pembangkit harus disesuaikan dengan jumlah beban yang diserap, dengan cara mengurangi daya yang dibangkitkan masing-masing pembangkit.

Tabel 7. Aliran daya pada GI Teluk Lembu saat *Island Operation* kondisi *peak load*

Bus	Terhubung Ke Sistem			Terlepas Dari Sistem		
	kV	MW	Amp	kV	MW	Amp
Bus 150 kv	Bus Sistem	40.737	374.5	-	-	-
	Bus PJBS 3	-29.450	113.4	-	-19.848	175.8
	Bus TD1 20kV	-3.763	113.2	144.26	-6.616	58.6
	Bus TD2 20kV	-3.763	113.2		6.616	58.6
	Bus TD3 20kV	-3.763	113.2		6.616	58.6
Bus TD1 20 kv	Bus 150 kv	3.803	849.2		-6.605	439.5
	Bus TD2 20kV	-27.433	843.1		-19.712	694.9
	Bus TD3 20kV	13.701	433.4		10.766	423.4
	Combine Cycle	-8.805	270.7		-6.074	213.3
	Vpower 1	-11.768	361.8	18.66	-8.473	295.4
	Bus PS	0.018	0.7		0.017	0.7
	Jati	8.014	207.8		7.908	305.8
	Cendana	3.239	124.4		3.197	123.6
	Mahoni	5.613	215.6		5.539	214.2
	Cemara	9.206	353.6		9.084	351.2
	Surian	4.413	169.5		4.354	168.4
Bus TD2 20 kv	Bus 150 kv	3.803	849.2		-6.605	439.5
	Bus TD1 20kV	27.433	843.1		19.712	694.9
	Vpower2	-48.993	1506.2		-35.302	1224.8
	Riau Power	-16.592	510.2		-11.700	402.3
	Bakau	3.468	133.2	18.66	3.422	133.3
	Rengas	6.399	245.8		6.314	244.2
	Sungkal	4.281	164.4		4.224	163.3
	Ketawang	5.710	219.3		5.634	217.9
	Ubat	1.315	50.5		1.297	50.2
	Kuras	7.582	291.2		7.481	289.3
Bus TD3 20 kv	Akasia	5.596	214.9		5.521	213.5
	Bus 150 kv	3.803	849.2		-6.605	439.5
	Bus TD1 20kV	-13.701	433.4		-10.766	423.4
	PJBS 1	-14.472	445.4		-10.479	345.4
	PJBS 2	-14.472	445.4		-10.479	345.4
	Pinang	4.987	191.5		4.921	190.3
	Okura	6.849	263.1		6.758	261.3
	Tenanyan	0.141	5.4		0.139	5.4
	Kaling	5.719	219.7		5.643	218.2
	Meranti	8.349	320.7		8.239	318.6
	Serem	8.031	308.5		7.925	306.4
	Ramin	4.766	183.1		4.703	181.8

Pada tabel diatas maka dapat dilihat presentase daya dari tiap-tiap pembangkit saat terjadi *island operation* kondisi *peak load*, yaitu :

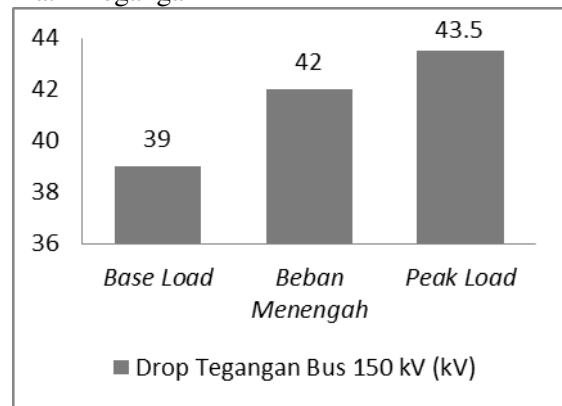
PJBS 3 : $\frac{19.848}{29.450} = 67.40\%$
 Combine Cycle Riau Power : $\frac{8.074}{8.805} = 68.98\%$

Vpower1 : $\frac{9.473}{11.768} = 72.00\%$
 Vpower 2 : $\frac{48.993}{55.302} = 72.06\%$
 Riau Power : $\frac{16.592}{11.700} = 70.52\%$
 PJBS 1 : $\frac{16.592}{16.479} = 72.41\%$
 PJBS 2 : $\frac{14.472}{16.479} = 72.41\%$

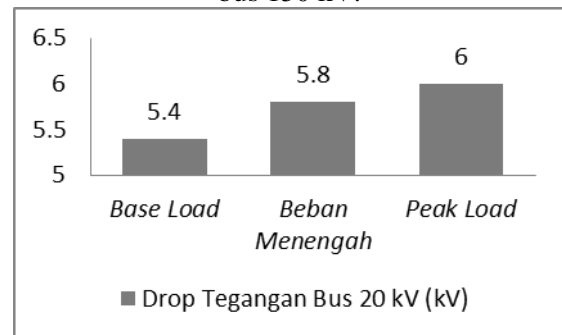
4.4 Rekapitulasi simulasi *defence scheme* skema *island operation*

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, didapatkan perbandingan frekuensi, tegangan dan daya generator dengan beban *base load*, beban menengah dan *peak load*.

a. Tegangan



Gambar 17. Grafik perbandingan drop tegangan bus 150 kV.

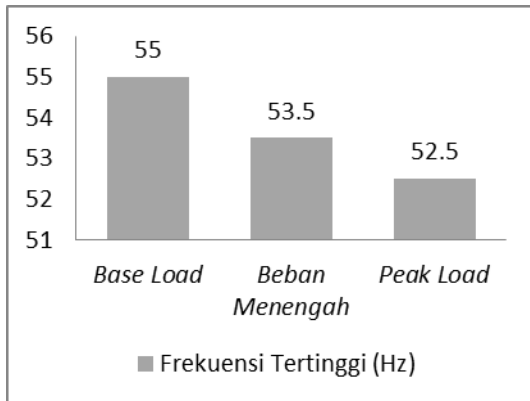


Gambar 18. Grafik perbandingan drop tegangan bus 20 kV

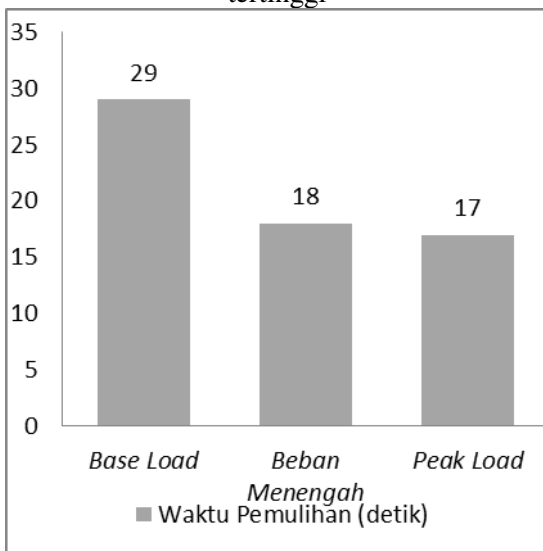
Pada gambar 17 dan 18 dapat dijelaskan, semakin besar beban yang diserap maka drop tegangan yang terjadi akan semakin besar pula. Dengan lama waktu saat terjadi *under voltage* sama yaitu hanya terjadi sekitar 1 detik, sedangkan penormalan tegangan membutuhkan waktu sekitar 4 detik.

Pada settingan proteksi untuk *under voltage* pada generator yang ada pada pembangkit Teluk Lembu yang mempunyai 69% - 70%. Artinya, Pembangkit yang ada pada Teluk Lembu masih sanggup menampung jatuh tegangan yang terjadi.

b. Frekuensi



Gambar 19. Grafik perbandingan frekuensi tertinggi

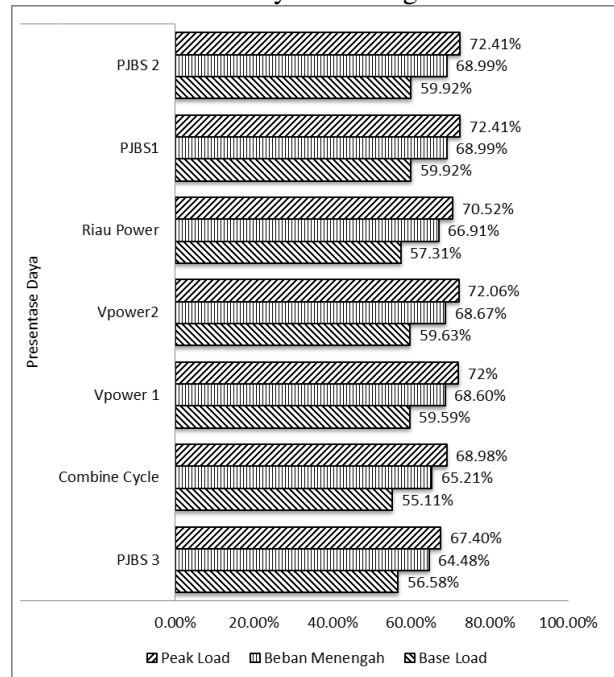


Gambar 20. Grafik perbandingan waktu pemulihan frekuensi

Pada gambar 18 dan 19 dapat dijelaskan semakin tinggi beban yang diserap, maka lonjakan frekuensi akan semakin kecil. Apabila lonjakan atau drop frekuensi menjauh dari batas normal, maka semakin lama waktu pemulihan frekuensinya, begitu pula sebaliknya.

Pada settingan proteksi untuk frekuensi lebih pada generator yaitu 55 Hz dengan waktu 1 detik. Maka generator tersebut bisa menahan 55 Hz dengan waktu pemulihan 29 detik, dikarenakan pada saat *base load* lonjakan frekuensi tertinggi dan waktu pemulihan terlama.

c. Presentase Daya Pembangkit



Gambar 21. Grafik perbandingan persentase daya pembangkit

Grafik diatas dapat dijelaskan beban dan daya berbanding lurus yang artinya semakin besar beban yang diserap, maka semakin besar pula daya yang dibangkitkan. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil beban yang diserap maka semakin kecil juga daya yang dibangkitkan. Kapasitas seluruh pembangkit masih memadai dengan kondisi terendah saat kondisi *base load* 55.11% untuk combine cycle dan yang tertinggi untuk kondisi *peak load* 72.41% untuk PJBS 1 dan 2.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi *island operation* pada sistem tenaga Gardu Induk Teluk Lembu, maka diambil beberapa kesimpulan yaitu :

- Pada settingan proteksi untuk under voltage pada generator yang terdapat pada Teluk Lembu adalah sekitar 70 % dengan waktu 1 detik. Sedangkan drop tegangan untuk kondisi *base load* sekitar 74%-73%, beban menengah sekitar 72%-71% dan *peak load* sekitar 71%-70% selama sekitar 1 detik. Artinya, Pembangkit Teluk Lembu masih bisa menahan jaatuh tegangan yang terjadi ketika *Island Operation* dari ketiga kondisi tersebut.
- Pada settingan untuk frekuensi lebih pada ada pada governor generator yaitu 10% (55 Hz) dengan waktu 1 detik. Maka generator

tersebut bisa menahan lonjakan hingga 55 Hz dengan waktu pemulihan 29 detik, dikarenakan pada saat *base load* lonjakan frekuensi tertinggi dan waktu pemulihan terlama.

- c. Kapasitas seluruh pembangkit masih memadai untuk melakukan *defence scheme* skema *island operation*, dengan kemampuan daya terendah yaitu saat kondisi *base load* 55.11% untuk combine cycle dan kemampuan daya yang tertinggi untuk kondisi *peak load* 72.41% untuk PJBS 1 dan 2.

5.2 Saran

Sementara saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah:

- a. *Defence Scheme* skema *Island Operation* ini sangat layak diterapkan pada Gardu Induk Teluk Lembu untuk mengurangi rugi akibat *blackout*.

DAFTAR PUSTAKA

Bahan ajar perkuliahan Teknik Elektro Universitas Riau

Baruna Teguh (2015). Perancangan Sistem Pelepasan Beban Pembangkit Listrik Pertamina Talisman Dengan Menggunakan Relay SR3B261FU, Universitas Tridianti, Indonesia.

Data Gardu Induk Teluk Lembu 2015-2016

Data Pusat Listrik Teluk Lembu 2016

Harmeidi Dhani B. dan Yudo Eko P. (2012). *No Load Shedding Defence Scheme as Reinforcement in Aceh Province Network*, PLN P3B Sumatra, Indonesia

ETAP 12.6.0 Help

Marsudi, Djiteng. (1990). *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga

Marsudi, Djiteng. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta; Graha Ilmu

Mawar Sri S. (2009). *Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Under Frequency Relay Pada Pusat Pembangkit Tello*, Universitas Hasanudin, Indonesia.

Nugraheni Ari (2011) *Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Relay Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES LTD*, Universitas Indonesia, Indonesia