

Studi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Relai Frekuensi Kurang Pada Sistem Tenaga Listrik

Abdul Hadi, Edy Ervianto

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: abdul.hadi@engineer.com

ABSTRACT

This paper discusses about load shedding scheme using under frequency relay in Teluk Lembu substation PT. PLN electric power system. Load shedding is used as an effort to improve the unstable system frequency because of overload condition. Load shedding is expected to improve the frequency rapidly and the amount of load shed as minimum as possible. To prove the effectiveness of load shedding scheme used by PLN, do a comparison with the load shedding scheme using trial and error method. Simulation of load shedding is using ETAP software version 12.6.0. From the simulation, load shedding scheme owned PLN is still effective against the condition of decreasing frequency.

Keywords: Load shedding, frequency, under frequency relay, ETAP

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik adalah suatu kesatuan dari beberapa sistem, yaitu sistem pembangkitan tenaga listrik, transmisi tenaga listrik, dan sistem distribusi tenaga listrik. Sistem tenaga listrik ini harus selalu dijaga secara berkelanjutan untuk dapat memenuhi kebutuhan umat manusia. Salah satu faktor yang dapat menjaga ketersediaan listrik ini adalah dari segi keamanan yang diharapkan dapat meminimalisir terjadinya gangguan. Keamanan dari sistem tenaga listrik sangat penting untuk diperhatikan, baik dari sisi peralatan yang digunakan maupun dalam penyaluran energi listrik.

Frekuensi adalah salah satu besaran yang dikendalikan secara ketat dalam sebuah sistem daya listrik. Hal ini dikarenakan frekuensi merupakan salah satu parameter yang dapat menunjukkan keadaan yang tidak normal pada suatu sistem tenaga listrik. Gangguan frekuensi dapat dilihat dari naik atau turunnya frekuensi sistem yang beroperasi. Salah satu penyebab turunnya frekuensi sistem adalah

jika jumlah daya yang dihasilkan oleh pembangkit tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban, keadaan ini perlu dihindari karena hal ini dapat mengganggu kestabilan dari sistem tenaga listrik, sedangkan jika frekuensi sistem berada jauh di atas nilai yang diizinkan juga akan mengganggu kestabilan sistem tenaga listrik.

Ketika frekuensi sistem terus mengalami penurunan dikarenakan terjadinya ketidakseimbangan antara beban dengan sumber, maka governor yang bertugas sebagai pengatur daya yang dihasilkan generator akan memaksimalkan kerjanya. Namun apabila governor telah bekerja secara maksimal dan frekuensi sistem tetap turun, maka diperlukan suatu tindakan untuk melepaskan beberapa beban pada suatu sistem tenaga listrik.

Setelah dilakukan pelepasan sebagian beban pada suatu sistem tenaga listrik, maka diharapkan frekuensi sistem kembali berada pada nilai yang diizinkan untuk beroperasi. Hal ini dikarenakan peralatan pada sistem

tenaga listrik memiliki rentang nilai frekuensi aman untuk beroperasi, jika peralatan sistem tenaga listrik bekerja diluar rentang nilai frekuensi yang diizinkan, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tersebut.

Peralatan proteksi yang dapat digunakan untuk membaca penurunan frekuensi adalah relai frekuensi. Relai frekuensi akan bekerja jika frekuensi sistem berada di luar rentang nilai yang telah diatur sebelumnya. Jenis relai yang digunakan dalam melakukan pelepasan beban ini adalah relai frekuensi kurang.

II. DASAR TEORI

A. Relai Frekuensi

Relai frekuensi berfungsi untuk membaca besar frekuensi sekaligus memberikan perintah ketika menanggapi terjadinya perubahan frekuensi yang mencapai nilai di luar batas yang telah diatur. Terdapat dua jenis relai frekuensi, yaitu relai frekuensi-lebih dan relai frekuensi-kurang.

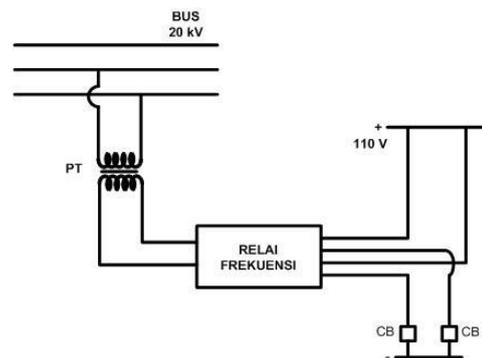
1. Relai Frekuensi Lebih

Relai ini berfungsi sebagai pengaman untuk kecepatan lebih pada generator.

2. Relai Frekuensi Kurang

Relai ini berfungsi sebagai pengaman jika frekuensi sistem turun hingga berada di luar batas yang diijinkan. Relai frekuensi-kurang ini digunakan selain untuk membaca perubahan frekuensi juga sebagai pengaturan bagi sistem pelepasan sebagian beban sebagai tindak lanjut dari terjadinya penurunan frekuensi. Relai ini lah yang akan digunakan sebagai peralatan untuk melakukan pengaturan skema pelepasan beban nantinya.

Diagram pengawatan untuk relai frekuensi adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Pengawatan Relai Frekuensi Kurang

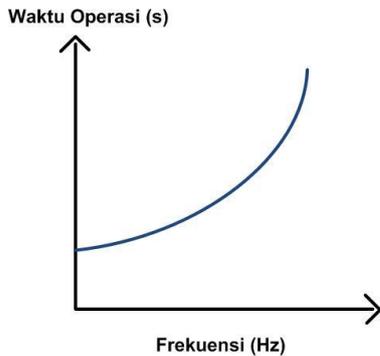
Dapat kita lihat pada gambar diatas, pembacaan relai frekuensi menggunakan *Potential Transformer* (PT). Relai terhubung ke sumber DC, kemudian terhubung ke masing-masing pemutus yang telah diatur terhubung ke penyulang yang akan dilepas yang telah diatur sebelumnya.

Secara umum, prinsip kerja relai frekuensi kurang dijelaskan sebagai berikut:

1. Relai frekuensi kurang mendapatkan sumber tegangan untuk bekerja melalui sumber tegangan DC sebesar 110Vdc.
2. Apabila terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan frekuensi sistem menurun atau kurang dari 50 Hz, maka relai frekuensi kurang akan membaca penurunan frekuensi tersebut melalui gelombang sinusoidal tegangan yang disuplai dari PT. Gelombang tegangan yang dimaksud adalah banyaknya tegangan 110 Volt yang terjadi selama satu periode gelombang tegangan dalam satu detik.
3. Apabila periode gelombang tegangan tersebut kurang dari 0,02 detik ($T=1/50\text{Hz}$), maka relai frekuensi kurang akan mendeteksi penurunan frekuensi tersebut.
4. Apabila penurunan frekuensi tersebut sudah mencapai *setting* relai frekuensi kurang, maka relai akan bekerja dengan mengaktifkan kontaktor sehingga dapat menyalurkan daya sebesar 110 Vdc dari sumber DC menuju *circuit breaker* yang

akan bekerja membuka dan memisahkan penyulang dari sistem.

Untuk kurva karakteristik relai frekuensi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Kurva Karakteristik Relai Frekuensi Kurang

Dari kurva karakteristik di atas dapat dilihat bahwa apabila penurunan frekuensi semakin besar terjadi, maka waktu relai beroperasi juga semakin cepat.

B. Pelepasan Beban (*Load Shedding*)

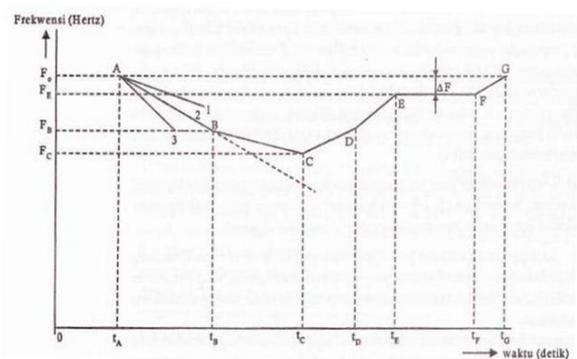
Untuk mengimbangi turunnya frekuensi yang dapat membuat terjadinya kerusakan pada sistem, sebagian beban harus dilepaskan supaya frekuensi dari sistem tidak turun jauh dari batas yang diijinkan dan segera kembali dalam rentang waktu yang masih diperbolehkan.

Keadaan yang kritis dalam sistem dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat. Hal ini dapat digambarkan pada Gambar 3, saat $t=t_A$ ada gangguan yang terjadi sehingga frekuensi menurun.

Dalam gambar diasumsikan frekuensi menurun menurut garis 2. Setelah mencapai titik B dilakukan pelepasan beban tingkat pertama oleh relai frekuensi kurang yang bekerja setelah frekuensi mencapai F_B . Dengan adanya pelepasan beban tingkat pertama maka penurunan frekuensi berkurang kecepatannya,

hingga mencapai titik C relai frekuensi kurang mendeteksi frekuensi sebesar F_C dan akan melakukan pelepasan beban tingkat kedua.

Setelah pelepasan beban tingkat kedua frekuensi sistem tidak lagi menurun tapi menunjukkan gejala yang baik yaitu naik menuju titik D. Naiknya frekuensi dari titik C menuju titik D disebabkan karena daya yang masih tersedia dalam sistem adalah lebih besar daripada beban setelah mengalami pelepasan beban tingkat kedua. Kemudian frekuensi perlahan mencapai titik yang diizinkan beroperasi di titik F, dalam hal ini 49,5 Hz (Permen ESDM No. 37 tahun 2008) dan kemudian menjadi normal di titik G.



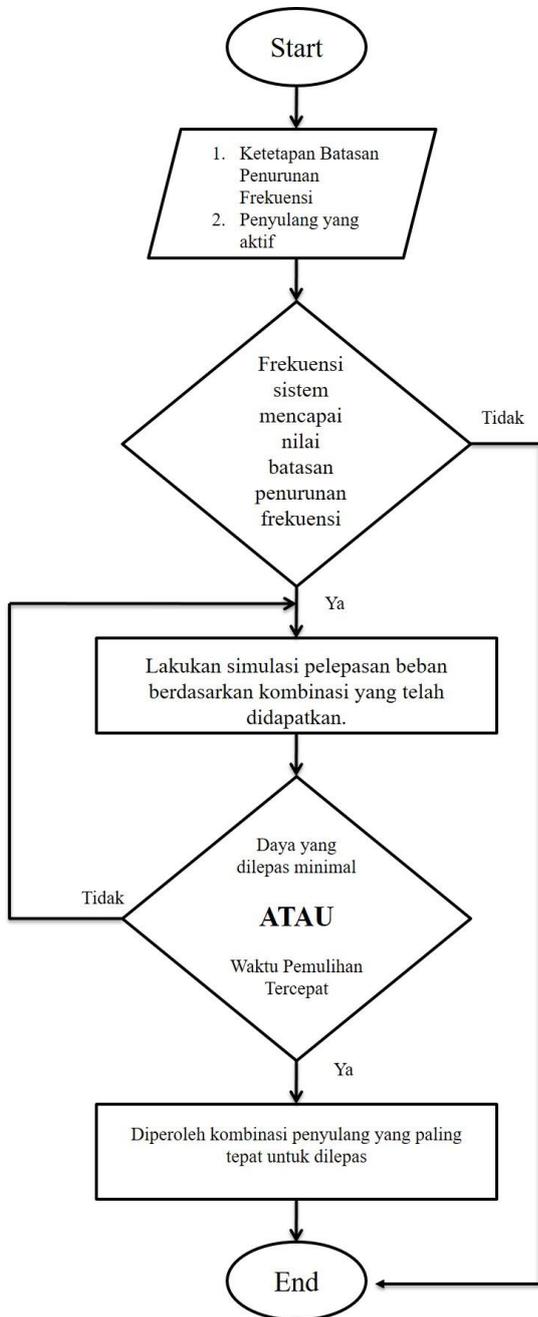
Gambar 3. Perubahan Frekuensi Terhadap Fungsi Waktu Dengan Adanya Pelepasan Beban

Apabila penurunan frekuensi yang terjadi tidak terlalu signifikan kemungkinan penurunan frekuensi tidak pernah mencapai nilai F_C sehingga dalam hal ini pelepasan beban tingkat pertama saja sudah cukup untuk menghindarkan sistem terkena pemadaman total. Dalam praktek pelepasan beban dilakukan dengan memasang relai frekuensi kurang yang terhubung pada penyulang yang berada di sistem distribusi yang ditentukan berdasarkan beberapa pertimbangan.

III. METODE PENELITIAN

Di bawah ini adalah gambaran alur penelitian yang akan dilakukan untuk

melakukan studi mengenai pelepasan beban menggunakan relai frekuensi kurang.



Gambar 4. Flow chart penelitian

Penentuan kombinasi penyulang baru yang akan dilepas dilakukan dengan metode coba-coba (*trial and error*), dalam hal ini yaitu dilakukan pengujian secara manual untuk melepaskan berbagai kombinasi penyulang yang telah ditetapkan untuk mendapatkan kombinasi terbaik. Metode ini telah dikenal

secara universal dan tidak memerlukan penjelasan yang panjang. Metode ini cenderung termasuk *learning by doing* dibandingkan *learning by thinking*. Dalam metode ini semua kemungkinan kombinasi penyulang yang ada akan dicoba untuk melihat waktu pemulihan frekuensi sistem terbaik dengan daya yang dilepas paling minim.

Apabila telah didapatkan kombinasi terbaik dari penyulang yang dilepas untuk setiap tahap penurunan frekuensi, selanjutnya dilakukan perbandingan dengan skema pelepasan beban yang telah ditetapkan GI Teluk Lembu. Hal ini bertujuan untuk membandingkan hasil percobaan dengan skema dari GI Teluk Lembu. Lalu diambil kesimpulan dari perbandingan ini. Untuk skema pelepasan beban yang dimiliki GI Teluk Lembu dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Skema Pelepasan Beban Gardu Induk Teluk Lembu

Tahap ke-	Frekuensi (Hz)	Penyulang Yang Dilepas	Daya (MW)
1	49,1	Cemara	11,2
1	49,1	Jati	10,1
2	48,9	Sungkai	5,1
2	48,9	Meranti	7,9
3	48,8	Rengas	7,9
3	48,8	Kuras	9,1
3	48,8	Kulim	10,2
4	48,7	Ketapang	7,9
4	48,7	Bakau	4,9

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai simulasi pelepasan beban yang dilakukan menggunakan perangkat lunak (*software*) ETAP 12.6.0 dengan fitur Analisa Stabilitas Transient. Berikut akan ditampilkan kurva perubahan frekuensi terhadap waktu untuk setiap kondisi pelepasan beban berdasarkan metode pengujian secara manual. Penyulang-

penyulang yang akan dikombinasikan dapat dilihat pada tabel berikut:

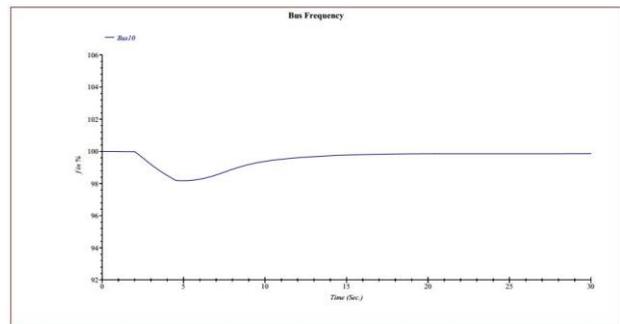
Tabel 2. Penyulang Yang Disuplai GI Teluk Lembu

No	Trafo Daya	Nama Penyulang	Daya (MW)
1	TD 1	Surian	6,6
2		Cemara	11,2
3		Mahoni	6,9
4		Cendana	5,5
5		Jati	10,1
6	TD 2	Bakau	4,9
7		Rengas	7,9
8		Sungkai	5,1
9		Ketapang	7,9
10		Ubar	3,7
11		Kuras	9,1
12		Akasia	7
13	TD 3	Okura	7,6
14		Sengon	8,7
15		Kulim	10,2
16		Meranti	7,9
17		Ramin	5,4

Pengecualian terhadap penyulang Cendana dan Ubar. Dikarenakan dua penyulang ini terhubung dengan beban yang penting seperti Kantor Pemerintahan dan Rumah Sakit, dua penyulang ini tidak dimasukkan saat membuat kombinasi penyulang yang akan dilepas. Berikut adalah hasil yang didapat dengan menggunakan metode pengujian secara manual.

A. Frekuensi Mencapai 49,1 Hz

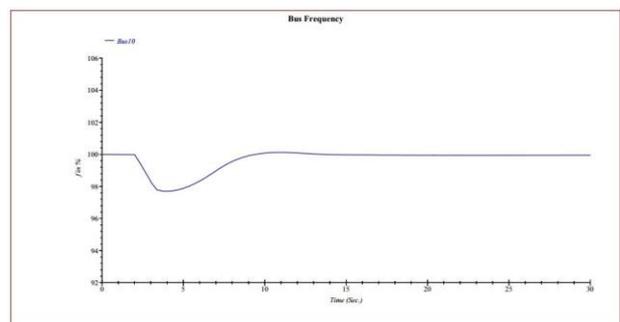
Pada tahap ini berdasarkan metode pengujian secara manual, diperlukan kombinasi dua penyulang yang akan dilepas setelah sebelumnya dilakukan pengujian dengan melepas satu penyulang. Penyulang tersebut yaitu penyulang Bakau dan Surian dengan waktu pemulihan frekuensi 3,821 detik. Berikut kurva yang didapat:



Gambar 5. Kurva Perubahan Frekuensi Terhadap Waktu Untuk Pelepasan Beban Dengan Melepas Penyulang Bakau dan Surian Pada Tahap 49,1 Hz

B. Frekuensi Mencapai 48,9 Hz

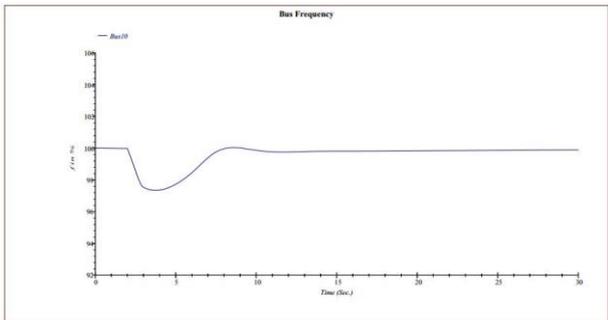
Pada tahap ini berdasarkan metode pengujian secara manual, diperlukan kombinasi dua penyulang yang akan dilepas setelah sebelumnya dilakukan pengujian dengan melepas satu penyulang. Penyulang tersebut yaitu penyulang Jati dan Kulim dengan waktu pemulihan frekuensi 3,972 detik. Berikut kurva yang didapat:



Gambar 6. Kurva Perubahan Frekuensi Terhadap Waktu Untuk Pelepasan Beban Dengan Melepas Penyulang Jati dan Kulim Pada Tahap 48,9 Hz

C. Frekuensi Mencapai 48,8 Hz

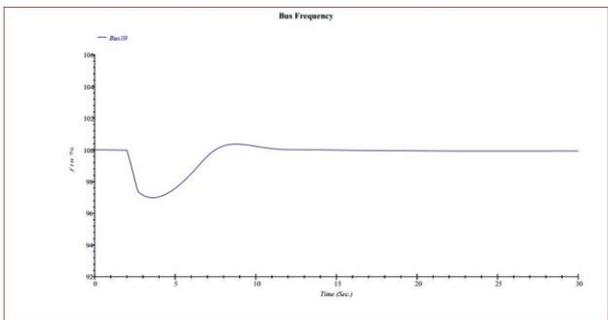
Pada tahap ini berdasarkan metode pengujian secara manual, diperlukan kombinasi dua penyulang yang akan dilepas setelah sebelumnya dilakukan pengujian dengan melepas satu penyulang. Penyulang tersebut yaitu penyulang Mahoni dan Okura dengan waktu pemulihan frekuensi 3,942 detik. Berikut kurva yang didapat:



Gambar 7. Kurva Perubahan Frekuensi Terhadap Waktu Untuk Pelepasan Beban Dengan Melepas Penyulang Mahoni dan Okura Pada Tahap 48,8 Hz

D. Frekuensi Mencapai 48,7 Hz

Pada tahap ini berdasarkan metode pengujian secara manual, diperlukan kombinasi tiga penyulang yang akan dilepas setelah sebelumnya dilakukan pengujian dengan melepas satu dan dua penyulang. Penyulang tersebut yaitu penyulang Cemara, Meranti, dan Sungkai dengan waktu pemulihan frekuensi 3,96 detik. Berikut kurva yang didapat:



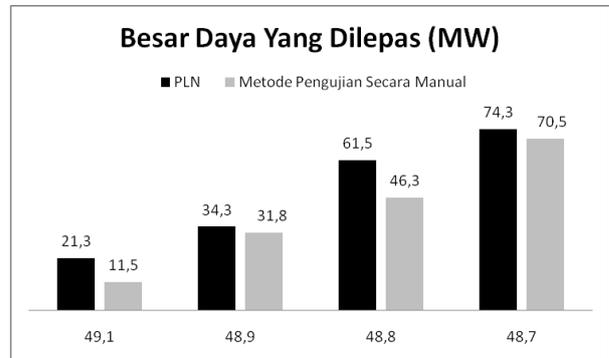
Gambar 8. Kurva Perubahan Frekuensi Terhadap Waktu Untuk Pelepasan Beban Dengan Melepas Penyulang Cemara, Sungkai, dan Meranti Pada Tahap 48,7 Hz

Kemudian hasil dari pengujian tersebut disatukan dalam sebuah tabel skema pelepasan beban berdasarkan metode pengujian secara manual.

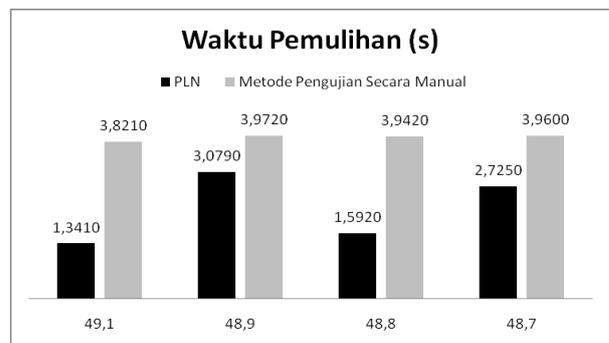
Tabel 3. Skema Pelepasan Beban Berdasarkan Metode Pengujian Secara Manual

Tahap ke-	Frekuensi (Hz)	Penyulang Yang Dilepas	Daya (MW)
1	49,1	Bakau	4,9
1	49,1	Surian	6,6
2	48,9	Jati	10,1
2	48,9	Kulim	10,2
3	48,8	Mahoni	6,9
3	48,8	Okura	7,6
3	48,7	Cemara	11,2
4	48,7	Sungkai	5,1
4	48,7	Meranti	7,9

Perbandingan skema pelepasan beban yang didapat dengan skema dari GI Teluk Lembu dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 9. Perbandingan Besar Daya Yang Dilepas



Gambar 10. Perbandingan Waktu Pemulihan

V. KESIMPULAN & SARAN

A. Kesimpulan

1. Besar pembangkit yang terlepas dari sistem akan mempengaruhi waktu turunnya frekuensi. Jika pembangkit yang lepas memiliki kapasitas yang lebih besar, maka kecepatan penurunan frekuensi juga akan semakin tinggi.
2. Dari simulasi yang dilakukan, skema pelepasan beban yang digunakan GI Teluk Lembu membutuhkan waktu yang lebih cepat untuk pemulihan sistem dibandingkan skema pelepasan beban yang didapat dari hasil pengujian dengan persentase rata-rata selisih waktu sebesar 101,72%.
3. Dari simulasi yang dilakukan, skema pelepasan beban berdasarkan hasil pengujian melepas daya yang lebih kecil dalam rentang waktu pemulihan sistem yang masih diizinkan dibandingkan skema pelepasan beban yang digunakan GI Teluk Lembu dengan persentase rata-rata selisih daya sebesar 20,78%.

B. Saran

Ada baiknya setiap perubahan yang terjadi pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Teluk Lembu, baik penambahan atau pengurangan pembangkit, penambahan atau pengurangan beban, diperlukan peninjauan kembali mengenai skema pelepasan beban, hal ini dikarenakan frekuensi merupakan salah satu aspek yang sangat penting yang harus dijaga.

DAFTAR PUSTAKA

Bahan ajar perkuliahan Teknik Elektro Universitas Riau.

Chaedar Indar G. (2009). Studi Laju Penurunan Frekuensi Pada Saat PLTG Sengkang Lepas Dari Sistem Sulseltrabar, Universitas Hasanuddin, Indonesia.

Data Gardu Induk Teluk Lembu 2014.

Eko Adrian S. (2015). Analisis Stabilitas Transien Respon Frekuensi Dengan Skema Pelepasan Beban (*Load Shedding*) Di PT. Petrochina International Jabung LTD. Mode BCD3

Akibat Lepasnya Salah Satu Generator Menggunakan ETAP 12.6.0, Universitas Diponegoro, Indonesia.

Elmore W.A. *Protective Relaying Theory And Applications* 2nd ed. Marcel Dekker Inc. New York.

Etap 12.6.0 *Help*

Marsudi, Djiteng. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik*. Erlangga .Jakarta.

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

Nugraheni, A., dan Setiabudy. R. (2011) Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Relay Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES LTD, Universitas Indonesia, Indonesia.

Samuelsson, Olof. *Synchronous Generator Dynamics*. Diktat Perkuliahan.