

# ANALISIS LOAD SHEDDING PADA SISTEM KELISTRIKAN BALI AKIBAT LEPASNYA KABEL LAUT JAWA-BALI 150 KV

Rizal Dicky Prasetya, I Made Wartana  
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia  
Email: [rizal.dicky87@gmail.com](mailto:rizal.dicky87@gmail.com),

**Abstrak** — *Load Shedding* merupakan suatu tindakan pelepasan beban yang bisa terjadi secara otomatis maupun manual. Tujuan dari *Load Shedding* adalah untuk menyeimbangkan daya sumplai pembangkit dengan daya yang dibutuhkan beban, mencegah kelebihan beban pada generator, atau *Blackout* pada sistem kelistrikan. Keadaan seperti ini menyebabkan turunnya frekuensi, jatuh tegangan, dan terjadi beban lebih pada semua unit pembangkit yang masih terhubung pada sistem kelistrikan tersebut. salah satu metode pelepasan beban menggunakan *Under Frequency Relay*, dengan acuan standar ANSI/IEEE C37.106-2003 bahwa batas *Under Frequency* adalah 50 – 49,5 Hz. Pelepasan beban pada analisis ini berada pada Sistem Bali 150kV dengan studi kasus lepasnya SKLT Jawa-Bali 150kV. Pada skenario lepasnya SKLT, besar daya suplai yang hilang sebesar 80 MW mengakibatkan turunnya frekuensi hingga 48.16 Hz, dilakukan perhitungan waktu delay pelepasan beban yang dibutuhkan rele sebesar 0,3001 s. dengan *Load Shedding* 2 tahap yaitu 49,5 Hz dan hasil dari perhitungan dengan frekuensi 49.21 Hz dengan besar beban yang dilepas sebesar 65,1 MW. Setelah dilakukan pelepasan beban frekuensi berhasil naik pada batas yang di izinkan 49,6 Hz dengan waktu pemulihan 11 detik.

**Kata Kunci** — *Load Shedding*, *Lepasnya SKLT*, *Over Load*, *Under Frequency relay*.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Gangguan pada sistem transmisi sangatlah mungkin terjadi. Salah satunya adalah gangguan tegangan lebih, baik gangguan dari dalam, maupun dari luar, gangguan simetris dan asimetris yang meliputi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa, dan gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan beban lebih (*Over Load*) gangguan – gangguan tersebut apabila tidak cepat ter tanggulangi maka akan mengganggu aliran daya ke konsumen, dengan gangguan yang terjadi pada sistem, kontinyuitas aliran daya dapat di

jaga dengan beberapa cara, yaitu salah satunya dengan melakukan *Load Shedding* [1].

Pada sistem tenaga listrik, frekuensi merupakan indikator dari keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan total beban sistem. Frekuensi akan naik apabila terjadi kelebihan pembangkitan dan sebaliknya frekuensi akan turun.

Ketidak stabilan frekuensi salah satu penyebabnya adalah beban lebih, maka solusi untuk mengembalikan frekuensi di batas standarnya ialah dengan melakukan pelepasan beban, karna apabila penurunan frekuensi tersebut sangat drastis dapat menyebabkan pemadaman total pada sistem (*Blackout*), dan salah satu metode pelepasan beban dengan menggunakan metode *under frequency load shedding* [1].

*Under frequency load shedding* adalah salah satu metode pelepasan beban, ketidak seimbangan pada daya aktif, dapat menyebabkan perubahan frekuensi[2], jika tegangan dengan frekuensi menyimpang di luar standar yang di izinkan, sistem menjadi tidak stabil. Dengan demikian nilai tegangan dan frekuensi harus di kembalikan dalam kisaran yang di izinkan. Jika gangguan sangat besar sehingga petugas operator tidak dapat mengembalikan sistem ke normal, Pelepasan beban adalah upaya terakhir untuk menghindari pemadaman total pada sistem (*black out*) [3].

Pada skripsi ini akan dilakukan pelepasan beban pada sistem kelistrikan Bali akibat lepasnya SKLT 150kV dengan menggunakan metode *Under frequency load shedding*. Untuk menentukan respon frekuensi, *Setting Under frequency relay*. Untuk mencegah *blackout* pada sistem Bali.

### B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana respon frekuensi sistem kelistrikan bali pada saat lepasnya interkoneksi kabel laut jawa-bali 150kV ?
2. Bagaimana pengaturan pada *under frequency relay* agar pelepasan beban yang di lakukan dapat mencegah terjadinya *Blackout* pada Sistem kelistrikan Bali ?
3. Bagaimana Memilih Area beban yang akan di lepas sehingga dapat memperbaiki frekuensi agar kontinyuitas aliran daya pada sistem kelistrikan bali terjaga, dengan tidak melepas beban penting (rumah sakit, militer, Gedung pemerintahan, dan lain-lain)?

### C. Tujuan

1. Menentukan respon frekuensi sistem apakah masih dalam batas standar frekuensi yang diizinkan atau tidak, akibat lepasnya interkoneksi kabel laut Jawa-bali 150kV.
2. Menentukan frekuensi pelepasan beban dan waktu tunda pada *under frequency relay* yang lebih optimal untuk mencegah terjadinya *Black Out* Pada sistem kelistrikan Bali.
3. Menentukan Area beban yang akan di lepas dengan tetap menjaga suplai daya ke beban – beban penting (rumah sakit, militer, gedung pemerintahan, dan lain-lain).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Load Shedding

*Load Shedding* merupakan suatu tindakan pelepasan beban yang bisa terjadi secara otomatis maupun manual untuk menyeimbangkan daya sumplai pembangkit dengan daya yang dibutuhkan beban, pengamanan operasi dari unit-unit pembangkit untuk menghindari atau mencegah terjadinya pemadaman total (*Black Out*).

Apabila turunnya daya pembangkit berkisar 10% s.d 15%, maka akan terjadi penurunan frekuensi karena governor pembangkit masih sempat bekerja dan daya cadangan panas yang ada (*Spinning Reserve*) sebesar 10% s.d 15% dapat digunakan dengan mengkonversikan menjadi daya listrik.[4]

Pada perencanaan pelepasan beban, pelepasan beban dapat di kriteriaikan beban – beban mana yang akan dilepas dan tidak boleh dilepas, diaman dibagi menjadi 2 kriteria [5]:

#### 1. Beban Penting

Beban-beban yang memegang peranan dalam proses suatu produksi dimana bila terjadi suatu gangguan dapat merusak atau mengurangi mutu dan hasil produksi tersebut.

#### 2. Beban yang kurang penting.

Beban-beban yang tidak mempunyai pengaruh langsung terhadap proses pengolahan produksi.

Pelepasan beban dapat dilakukan dengan cara manual (*manual load Shedding*) dan otomatis (*automatic load shedding*)

#### 1. Manual load shedding

Pelepasan beban secara manual hanya digunakan dalam keadaan yang tidak begitu penting atau pada saat *Control Load Shedding* tidak bekerja sebagaimana mestinya (tidak dalam keadaan normal).

#### 2. Automatic Load Shedding

Sistem pelepasan beban otomatis yang seringkali merupakan perpanjangan relay pengaman generator seperti *Under Frequency Relay* (UFR). Beban-beban yang akan dilepas harus ditentukan dahulu dan akan

secara bertahap pada tiap-tiap frekuensi yang telah ditentukan. Masalah pokok dalam pelepasan beban disebut sistem :

- 1) Besar beban yang akan dilepas per tingkat.
- 2) Menentukan jumlah tahapan pelepasan beban.
- 3) Kelambatan waktu yang direncanakan pada setiap waktu pelepasan.
- 4) Frekuensi dimana setiap tahapan dilepas

### 3. 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

### B. Kestabilan Transient

kestabilan transien adalah suatu kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi sinkron ketika sistem mengalami gangguan transien. Gangguan transien merupakan gangguan besar yang bersifat tiba-tiba selama periode satu ayunan pertama. Kestabilan transien terjadi saat pegatur tegangan otomatis (AVR) dan pengatur frekuensi (governor) belum bekerja [6].

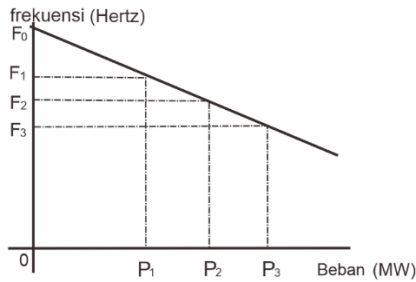
Sistem dikatakan stabil ketika adanya keseimbangan antara daya mekanik pada prime mover dengan daya elektrik yang disalurkan ke beban. Apabila kondisi sistem yang tidak stabil tidak dipulihkan dengan segera, maka percepatan dan perlambatan putaran motor akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem [6].

Maka dari itu studi mengenai kestabilan transien perlu dilakukan karena suatu sistem dapat dikatakan stabil ketika mencapai kestabilan steady state. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan gangguan kestabilan transien, diantaranya :

1. Beban lebih akibat generator lepas dari sistem
2. Hubungan singkat
3. *Starting* pada motor
4. Perubahan beban secara tiba-tiba

### C. Kestabilan Frekuensi

Sistem tenaga listrik harus dapat memenuhi kebutuhan tenaga listrik dari para konsumen dari waktu ke waktu. Untuk itu daya yang dibangkitkan dalam sistem tenaga listrik harus selalu sama dengan beban sistem, hal ini diamati melalui frekuensi sistem. Jika daya yang dibangkitkan dalam sistem lebih kecil daripada beban sistem maka frekuensi turun dan sebaliknya apabila daya yang dibangkitkan lebih besar daripada beban maka frekuensi naik. Pada sistem tenaga listrik keseimbangan antara pembangkit dan beban harus dijaga setiap saat agar kestabilan pasokan listrik tetap berlangsung. Untuk melihat keseimbangan ini digunakan frekuensi sebagai parameternya



Gambar 2.1 Grafik hubungan frekuensi (Hz) dengan beban (MW)

**D. Penurunan frekuensi akibat beban lebih**

Perhitungan penurunan frekuensi sebagai akibat tripnya salah satu unit pembangkit dimaksudkan untuk merencanakan pelepasan beban dengan menggunakan Under frequency relay (UFR) untuk mencegah pemadaman total pada system yang disebabkan terlalu banyak unit pembangkit yang ikut padam karena ketidak stabilan sistem.

**1. Laju Penurunan Frekuensi**

Terjadinya penurunan frekuensi pada sistem dapat disebabkan karena lepasnya salah satu pembangkit yang berkapasitas besar dari sistem tenaga listrik maupun gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat mengakibatkan penurunan frekuensi dalam waktu singkat, setelah itu frekuensi dapat pulih dengan sendirinya dengan bantuan pengaturan governor. Sedangkan penurunan frekuensi akibat beban lebih yang sangat besar diperlukan pelepasan beban untuk memulihkan frekuensi. Faktor - faktor yang mempengaruhi laju penurunan frekuensi akibat terlepasnya unit pembangkit antara lain :

- a. Konstanta inersia
- b. Daya generator
- c. Daya elektrik yang dibutuhkan beban
- d. Respon Generator

**2. Konstanta Inersia**

Kemampuan suatu benda untuk mempertahankan diri dari gangguan yang diberikan kepadanya bergantung pada momen inersia. Generator merupakan benda berotasi sehingga memiliki nilai momen inersia.

Salah satu faktor yang mempengaruhi besar laju penurunan frekuensi suatu generator adalah konstanta inersia. Semakin besar nilai konstanta inersia maka kemampuan suatu generator dalam mempertahankan diri dalam menghadapi gangguan akan semakin tinggi. Nilai konstanta inersia keseluruhan generator, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$H_{Sistem} = \frac{H_1 MVA_1 + H_2 MVA_2 + \dots + H_n MVA_n}{MVA_1 + MVA_2 + \dots + MVA_n} \dots\dots\dots(1)$$

dengan keterangan persamaan :

- $H_{Sistem}$  = Konstanta Inersia Sistem (MJ/MVA)
- $H_n$  = Konstanta Inersia Generator (MJ/MVA)

$$MVA_n = \text{Rating Generator (MVA)}$$

Dengan notasi 1,2,...,n. merupakan notasi urutan generator

**E. Relai Frekuensi**

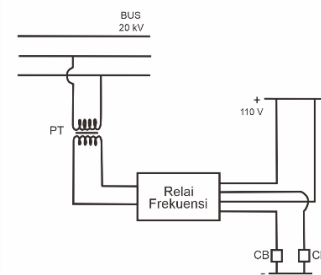
Relai frekuensi berfungsi untuk membaca besar frekuensi sekaligus memberikan perintah ketika menanggapi terjadinya perubahan frekuensi yang mencapai nilai di luar batas yang telah diatur. Terdapat dua jenis rele frekuensi, yaitu rele frekuensi lebih dan rele frekuensi kurang.

**1. Rele Frekuensi Lebih**

Rele ini berfungsi sebagai pengaman untuk kecepatan lebih pada generator.

**2. Rele Frekuensi Kurang**

Rele ini berfungsi sebagai pengaman jika frekuensi sistem turun hingga berada di luar batas yang diijinkan. Rele frekuensi kurang ini digunakan selain untuk membaca perubahan frekuensi juga sebagai pengaturan bagi sistem pelepasan sebagian beban sebagai tindak lanjut dari terjadinya penurunan frekuensi. Rele ini lah yang akan digunakan sebagai peralatan untuk melakukan pengaturan skema pelepasan beban nantinya. Diagram pengawatan untuk rele frekuensi adalah seperti diperlihatkan pada gambar 2.2 berikut[7]:



Gambar 2.2 Diagram Pengawatan Under Frequency Relay

Mulai bekerjanya suatu under frequency relay adalah ketika frekuensi memasuki wilayah abnormal. Untuk mendapatkan keandalan tinggi dari sistem tersebut maka harus dipilih tingkat frekuensi tertinggi untuk rele trip. Pemilihan tingkat frekuensi pertama kali bekerja ditentukan oleh pengguna. Setelah frekuensi tertinggi untuk rele bekerja ditentukan, penentuan frekuensi acuan tahap kedua dan seterusnya bergantung pada besarnya perkiraan laju penurunan frekuensi yang terjadi dan waktu ioperasi rele pada tahap sebelumnya.

Laju penurunan frekuensi bergantung pada besarnya kelebihan beban yang terjadi, frekuensi nominal, rating MVA generator dalam keadaan ideal dan besarnya konstanta inersia [8].

$$\frac{df}{dt} = \left(\frac{P_A}{2GH}\right) f_0 \dots \dots \dots (2)$$

dengan keterangan persamaan :

- $\frac{df}{dt}$  = Laju Penurunan Frekuensi (Hz/s)
- $P_A$  = Selisih permintaan beban dan daya yang disuply generator (MW)
- G = Rating MVA Generator (MVA)
- H = Konstanta Inersia (MJ/MVA)
- $f_0$  = Frekuensi nominal (Hz)

Waktu bekerjanya rele dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu [9] :

- a. Waktu pick-up  
Merupakan waktu yang dibutuhkan rele untuk mulai bekerja setelah terjadi penurunan frekuensi.
- b. Waktu rele  
Merupakan waktu yang dibutuhkan rele untuk menghantarkan sinyal ke pemutus tenaga dan dihitung sejak terdeteksinya sinyal frekuensi trip hingga sinyal tersebut sampai dipemutus tenaga.
- c. Waktu pemutus tenaga  
Merupakan waktu yang dibutuhkan pemutus tenaga untuk menerima sinyal dari rele hingga pemutus tenaga terbuka dan beban yang dihubungkan ke jaringan oleh pemutus tenaga terlepas. Perhitungan waktu ini digunakan untuk menentukan perkiraan frekuensi akhir dimana saat pelepasan beban dilakukan setelah frekuensi tertinggi untuk trip terdeteksi.

$$t_{pick-up} = \frac{f_0 - f_1}{\frac{df}{dt}} \dots \dots \dots (3)$$

dengan keterangan persamaan :

- $t_{pick-up}$  = waktu yang digunakan sistem sesaat sebelum frekuensi turun hingga rele pertama kali bekerja (s)
- $f_0$  = Frekuensi nominal (Hz)
- $f_1$  = frekuensi acuan pelepasan beban (Hz)
- $\left(\frac{df}{dt}\right)$  = Laju Penurunan Frekuensi (Hz/s)

$$t_{trip} = t_{pick-up} + t_{cb} + t_{relay} \dots \dots \dots (4)$$

dengan keterangan persamaan :

- $t_{trip}$  = waktu yang digunakan sistem sesaat sebelum frekuensi turun hingga pemutus tenaga benar-benar bekerja (s)
- $t_{pick-up}$  = waktu yang digunakan sistem sesaat sebelum frekuensi turun hingga rele pertama kali bekerja (s)
- $t_{cb}$  = Waktu CB untuk membuka (s)
- $t_{relay}$  = Waktu Frekuensi untuk bekerja (s)

Dengan  $f_1$  adalah frekuensi acuan pelepasan beban. Setelah laju penurunan frekuensi dan waktu trip tahap sebelumnya didapatkan, nilai frekuensi ketika terjadi pelepasan beban adalah :

$$f_{loadshedding} = f_0 - \left(\frac{df}{dt}\right) \times t_{trip} \dots \dots \dots (5)$$

dengan keterangan persamaan :

- $f_{loadshedding}$  = Frekuensi saat pelepasan beban (Hz)
- $\frac{df}{dt}$  = Laju Penurunan Frekuensi (Hz/s)
- $f_0$  = Frekuensi nominal (Hz)

#### F. Prioritas Beban

##### 1. Jenis Beban yang di lepaskan

Pelepasan beban diharapkan dapat memperbaiki frekuensi secara cepat tanpa harus banyak merugikan pengguna secara ekonomi. Oleh sebab itu, beban-beban yang disuplai oleh suatu generator sebaiknya diurutkan menurut parameter parameter sebagai berikut:

- a. Sensitifitas terhadap kegiatan perekonomian dan politik
- b. Tingkat kesulitan pengasutan (starting)
- c. Daya yang dibutuhkan

Beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan dalam memilih beban yang akan dilepaskan salah satunya adalah apakah beban tersebut sensitif terhadap kegiatan perekonomian. Jenis beban yang dilepaskan merupakan beban yang memiliki pengaruh paling rendah bagi perekonomian. Misalnya pada sistem tenaga listrik di suatu perusahaan minyak dan gas, beban yang tidak sensitif terhadap kegiatan usaha adalah rumah tinggal atau penginapan. Sedangkan beban yang sangat sensitif terhadap kegiatan usaha antara lain motor-motor untuk eksplorasi [10].

##### 2. Perhitungan Beban yang Dilepaskan

besar beban yang dilepaskan pada saat penurunan frekuensi dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut [10] :

$$P_1 = P_{g1} \times \left(\frac{f_0}{f_1}\right)^2 \dots \dots \dots (6)$$

dengan keterangan persamaan :

- $P_1$  = Daya sisa Generator pada frekuensi yang diharapkan (MW)
- $P_{g1}$  = Daya sisa geenrator (MW)
- $f_1$  = Frekuensi acuan pelepasan beban (Hz)
- $f_0$  = Frekuensi nominal (Hz)

Maka digunakan persamaan berikut untuk mendapatkan besar beban yang dilepaskan.

$$\Delta P_1 = P_0 - P_1 \dots \dots \dots (7)$$

dengan keterangan persamaan :

- $\Delta P_1$  = Besar beban yang dilepaskan (MW)

$P_0$  = Total Daya Generator (MW)  
 $P_1$  = Daya sisa Generator pada frekuensi yang diharapkan (MW)

### III. METODOTOGI PENELITIAN

#### A. Metode

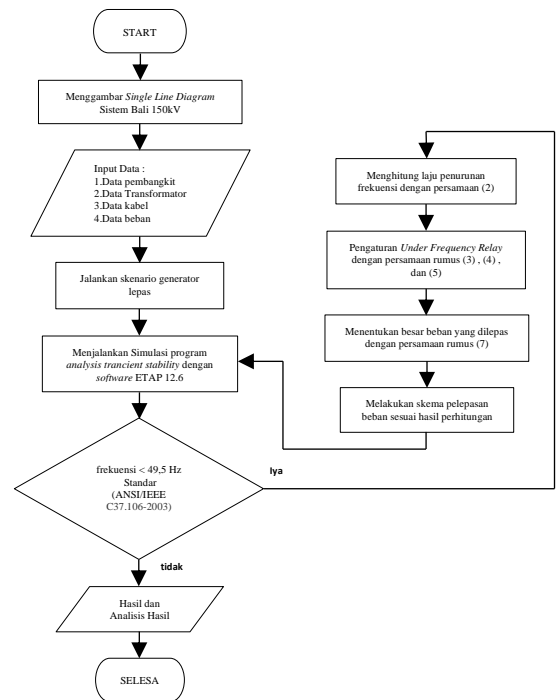
Dalam acuna frekuensi pelepasan beban menggunakan standar ANSI/IEEE C37.106-2003 serta metode pelepasan beban menggunakan metode *under frequency Load shedding*. Dimana pengujian sistem menggunakan software ETAP Power Station 12.6 . ETAP sendiri merupakan software yang sering digunakan untuk melakukan analisa mengenai energi listrik karena didalamnya banyak terdapat komponen-komponen yang dapat di simulasikan dalam suatu sistem. Simulasi dilakukan dengan *Transient Stability Analysis*, untuk mengetahui respon frekuensi sistem setelah lepasnya saluran kabel bawah laut Jawa-Bali 150kV (SKLT) dan respon frekuensi setelah di lakukan pelepasan beban.

#### B. Simulasi pada software ETAP power station

Berikut langkah-langkahnya :

1. Mulai
2. Menggambar *single line diagram* sistem Kelistrikan Bali 150kV pada software ETAP 12.6.
3. *Input* data pembangkit, data kabel, data *transformator*, dan data Beban
4. Menjalankan skenario Lepasnya interkoneksi SKLT dengan sistem Bali menggunakan *Transient Stability Analysis* untuk mengetahui respon frekuensi ketika salah satu generator lepas.
5. Mengecek apakah Frekuensi di bawah standar dari PLN
  - “Ya” : Melakukan *load shedding*
  - “Tidak” : Lakukan Hasil dan *Analysis Hasil*.
6. Melakukan *load shedding*
7. Menghitung Laju penurunan frekuensi  $\left(\frac{df}{dt}\right)$ , menggunakan persamaan rumus (2)
8. Pengaturan *Under Frequency Relay* dengan persamaan rumus (3) , (4) , dan (5)
9. Menentukan besar beban yang dilepas dengan persamaan rumus (7)
10. Melakukan skema pelepasan beban sesuai hasil perhitungan
11. Mengecek apakah frekuensi sistem kembali sesuai standar dari PLN
  - “Ya” : Analisis hasil
  - “Tidak” : Kembali ke langkah 6 dan mencoba kombinasi beban yang lain.
12. Menganalisis dan membuat kesimpulan dari simulasi yang telah dilakukan. Apakah Pelepasan beban yang dilakukan sudah dapat mengembalikan frekuensi ke standar dan menstabilkan sistem kelistrikan Bali 150kV.
13. Selesai

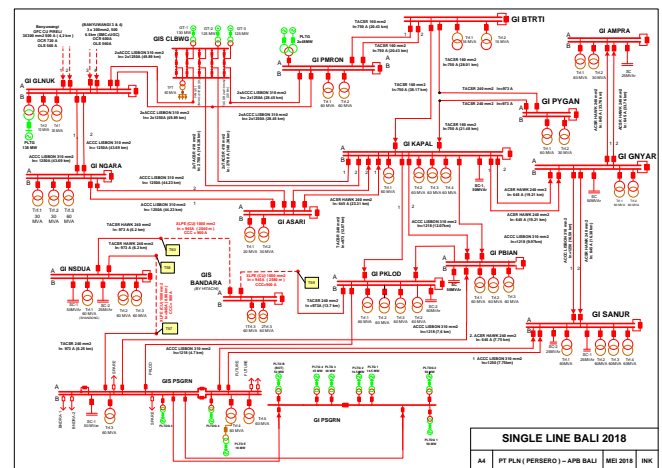
#### C. Metode Pemecahan Masalah



Gambar 3.1 Flowchart Simulasi Load shedding

### IV. HASIL DAN ANALISIS HASIL

#### A. Pengumpulan Data



Gambar 4.1 Single Line Sistem Bali 150 kV

Sumber : PT PLN (Persero) UP2B APB BALI

Pengambilan data dilakukan dengan survey langsung ke lokasi penelitian yakni PT PLN (PERSERO) UP2B APB BALI, Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang telah diarsip dan disediakan oleh Pihak PLN dan siap diolah menjadi data penelitian.

B. Pengelompokan Data

Data yang berasal dari PT PLN (PERSERO) UP2B APB BALI masih berupa data mentah yaitu data generator, data transformator, data kabel, data beban dan data *single line diagram* Bali 150kV. Pengolahan data dilakukan setelah proses pengambilan data. Pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahap diantaranya pengelompokan dan pentabulasian data sesuai dengan kebutuhan analisis, selanjutnya melakukan analisis perhitungan data untuk simulasi dengan menggunakan *software ETAP*, dan yang terakhir adalah melakukan pembahasan terhadap data yang telah di olah.

1. Data Generator

Tabel 4.1 Data Generator

Nama Gen	S Gen (MVA)	P Gen (MW)	P Operasi (MW)	H gen (MW-s/MVA)	H sistem
PLTG GLNUK	172,5	138	100	4,5	3,78
PLTU CLWBG	447,059	380	268,637	4,5	
PLTG 1 PMRON	56,471	48	45	2,5	
PLTG 2 PMRON	56,471	48	43	2,5	
PLTDG 1 PSGRN	62,5	50	45,6	2,5	
PLTDG 2 PSGRN	62,5	50	45,6	2,5	
PLTDG 3 PSGRN	62,5	50	45,6	2,5	
PLTDG 4 PSGRN	62,5	50	45,6	2,5	
PLTG 1 PSGRN	20	16	15,5	2,5	
PLTG 2 PSGRN	20,625	16,5	16	2,5	
PLTG 3 PSGRN	47,059	40	39,6	2,5	
PLTG 4 PSGRN	43,529	37	36,2	2,5	
PLTD B (BOT)	65	52	50	2,5	
PLTD E	11,765	10	9	2,5	
SKLT	400	340	80	4,5	
Total	1590,479 MVA	1325,5 MW	885,337 MW	-	
Rata-Rata	106,0319 33MVA	61,5937 MW	59,0224667 MW	-	

Sumber : PT PLN (Persero) UP2B APB BALI

2. Data Beban

Data beban yang digunakan adalah data beban puncak Sistem Bali pukul 19.30 WITA pada tanggal 26 februari 2019 yang di tunjukan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Beban Sitem Bali

Nama GI	Trafo	Beban (Mvar)	Beban (MW)	total beban per GI
GILIMANUK	TRF - 1	1,6	4,9	9,3
GILIMANUK	TRF - 2	0,073	4,4	
NEGARA	TRF - 1	2	12,3	19,7
NEGARA	TRF - 2	1	7,4	
ANTOSARI	TRF - 1	1	6	14,9
ANTOSARI	TRF - 2	1	8,9	
KAPAL	TRF - 1	4,1	19,2	127,1
KAPAL	TRF - 2	7,5	33,5	
KAPAL	TRF - 3	6,3	30	
KAPAL	TRF - 4	12,2	44,4	
PEMARON	TRF - 1	4	21,3	39,2
PEMARON	TRF - 2	0,7	17,9	
BATURITI	TRF - 1	1,2	4,7	7,9
BATURITI	TRF - 2	1	3,2	
PAYANGAN	TRF - 1	3	20,2	40,9
PAYANGAN	TRF - 2	1,4	20,7	
GIANYAR	TRF - 1	4,3	33,3	69,6
GIANYAR	TRF - 2	6,2	36,3	
SANUR	TRF - 1	2,1	9	93,9
SANUR	TRF - 2	9,4	32	
SANUR	TRF - 3	9,8	40,3	
SANUR	TRF - 4	3,9	12,6	
AMLAPURA	TRF - 1	1,4	15,1	28,8
AMLAPURA	TRF - 2	1	13,7	
PADANG SAMBIAN	TRF - 1	5,8	12,7	68,3
PADANG SAMBIAN	TRF - 2	7,6	29,3	
PADANG SAMBIAN	TRF - 3	9,1	26,3	
PESANGGARAN	TRF - 3	8,3	26,9	67,1
PESANGGARAN	TRF - 4	6,7	40,2	
PESANGGARAN	TRF - 5	0	0	
NUSA DUA	TRF - 1	4	31	85
NUSA DUA	TRF - 2	6	27	
NUSA DUA	TRF - 3	5,8	27	
PEMECUTAN KLOD	TRF - 1	8,9	30,1	129,3
PEMECUTAN KLOD	TRF - 2	7	39,5	
PEMECUTAN KLOD	TRF - 3	5,1	29,4	
PEMECUTAN KLOD	TRF - 4	4,7	30,3	
GIS BANDARA	TRF - 1	3,8	25,3	46,5
GIS BANDARA	TRF - 2	3,3	21,2	
TOTAL		172,273	847,5	847,5

Sumber : PT PLN (Persero) UP2B APB BALI

### 3. Beban Penting (VIP) pada Sistem Bali

Tabel 4.3 Data Beban Penting Sitem Bali

No	Gardu Induk	Trafo	Alasan
1	GI Nusadua	2	Area BTDC
2	GI Bandara	2, 3	<i>Airport</i>
3	GI Kapal	3	Kantor Pemerintahan
4		3	Rumah sakit
5	GI Pamaran	1	Kantor Pemerintahan
6		1	Rumah sakit
7	GI Pesanggaran	3	Pusat Wisata Bali
		4	Kantor Pemerintahan

Sumber : PT PLN (Persero) UP2B APB BALI

### 4. Data Saluran Sitem Bali

Tabel 4.4 Data Salura Sistem Bali

Dari	Ke	Sirkuit	Jarak (Km)	Jenis Konduktor
GI GLNUK	GI NGARA	1	43.69 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1250A
		2	43.69 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1250A
GI GLNUK	GIS CLBWG	-	49.89 Km dan 0,5 Km	2xACCC LISBON 310 mm2 In = 2x1250A dan TACSR 2x410 mm2
GI GLNUK	GI PMRON	-	49.89 Km dan 28.45 Km	2xACCC LISBON 310 mm2 In = 2x1250A dan 2xACCC LISBON 310 mm2 In = 2x1250A
GI PMRON	GI CLBWG	-	28.45 Km dan 0,5 Km	2xACCC LISBON 310 mm2 In = 2x1250A dan TACSR 2x410 mm2
GI PMRON	GI BTRTI	1	20.43 Km	TACSR 160 mm2 In = 750A
		2	20.43 Km	TACSR 160 mm2 In = 750A
GI BTRTI	GI KAPAL	-	38.17 Km	TACSR 160 mm2 In = 750A

GI BTRTI	GI PYGAN	-	28.01 Km dan -	TACSR 160 mm2 In = 750A dan TACSR 240 mm2 In = 973A
GI PYGAN	GI KAPAL	-	- dan 21.48 Km	TACSR 240 mm2 In = 973A dan TACSR 160 mm2 In 750A
GI KAPAL	GI GNYAR	1	19.21 Km	ACSR HAWK 240 mm2 In 645A
		2	19.21 Km	ACSR HAWK 240 mm2 In 645A
GI GNYAR	GI AMPRA	1	33.76 Km	ACSR HAWK 240 mm2 In 645A
		2	33.76 Km	ACSR HAWK 240 mm2 In 645A
GI GNYAR	GI SANUR	1	16.50 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1250
		2	16.38 Km	ACSR HAWK 240 mm2 In = 645A
GI KAPAL	GI PBIAN	-	9.97 Km	ACCC LISBON310 mm2 In = 1218
GI KAPAL	GI PKLOD	1	12.07 Km	TACSR 240 mm2 In = 973
GI KAPAL	GI PBIAN	2	12.07 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1218
GI PBIAN	GI PKLOD	-	-	-
GIS CLBWG	GI KAPAL	1	140.46 Km	2xTACSR 410 mm2 In = 2700
		2	140.46 Km	2xTACSR 410 mm2 In = 2700
GI NGARA	GI ASARI	1	44.23 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1250A
		2	44.23 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1250A
GI ASARI	GI KAPAL	1	23.31 Km	ACSR HAWK 240 mm2 In = 645A
		2	23.31 Km	ACSR HAWK 240 mm2 In = 645A
GI PKLOD	GIS BANDAR A	-	13.7 Km dan 2580 m	TACSR 240 mm2 In = 973A dan XLPE (CU) 1000 mm2 In = 945A CCC = 900 A
GI PKLOD	GIS PSGRN	-	4.7 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1218
GIS BANDARA	GI NSDUA	-	2040 m dan 6.2 Km	XPPE (CU) 1000 mm2 In = 945A CCC = 900 A dan TACSR HAWK 240

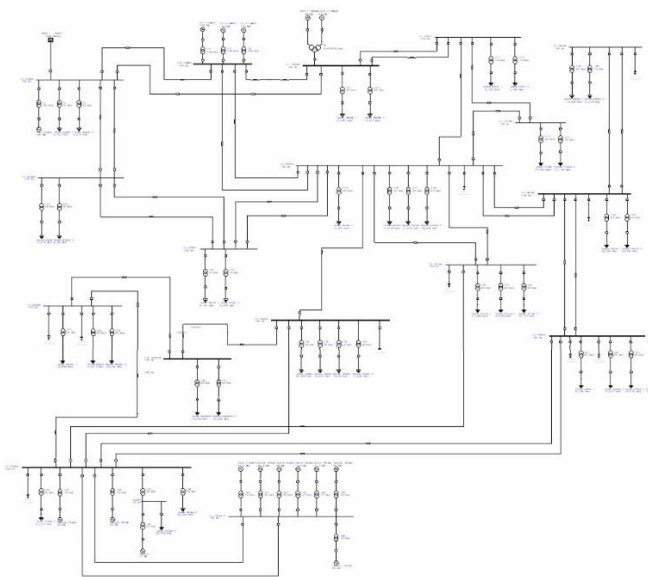


				mm2 In = 973 A
GI NSDUA	GIS PSGRN	-	6.2 Km, 0,96 Km dan 6.25 Km	TACSR HAWK 240 mm2 In = 973 A, XPLE (CU) 1000 mm2 In = 945A CCC = 900 A dan TACSR 240 mm2 In = 973 A
GIS PSGRN	GI PBIAN	-	7.6 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1218
GIS PSGRN	GI SANUR	1	7.75 Km	ACCC LISBON 310 mm2 In = 1250
		2	7.75 Km	ACSR HAWK 240 mm2 In = 645 A
GIS PSGRN	GI PSGRN	-	-	-

Sumber : PT PLN (Persero) UP2B APB BALI

C. Perancangan Simulasi Software ETAP Power Station

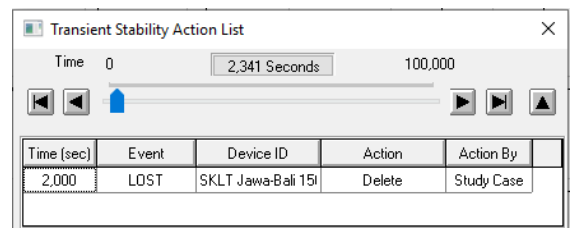
Menggambar single line diagram pada lembar kerja ETAP *Power Station* menggunakan data yang telah didapat dari PT PLN (PERSERO) UP2B APB BALI yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.2 Single Line Sistem Bali 150 kV pada ETAP 12.6

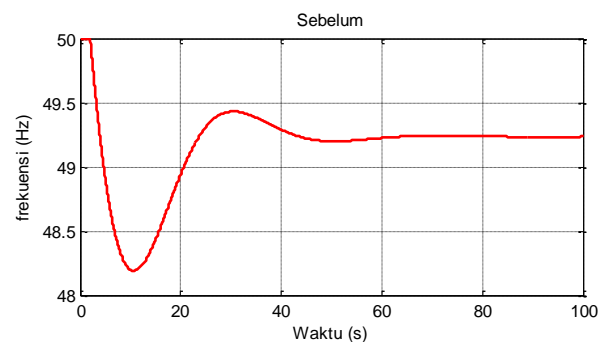
D. Menjalankan Skenario Lepasnya SKLT Jawa-Bali 150 kV

Pada Skenario lepasnya SKLT Jawa-Bali 150kV dari sistem bali, Untuk mendukung simulasi pelepasan beban menggunakan metode *Under Frequency Load Shedding*, Swing Generator pada sistem Bali yang semula pada SKLT Jawa-Bali 150kV di pindahkan ke PLTU Celukan Bawang. Dikarenakan apabila generator swing pada sistem bali di lepas. Maka sistem bali akan berpotensi mengalami *Blackout* .karena penyetabil dalam sistem tidak ada. Lepasnya SKLT menyebabkan suplai daya operasi sebesar 80 MW hilang.



Gambar 4.3 Action list lepasnya SKLT Jawa-Bali 150kV dari Sistem Bali

Pada simulasi pelepasan SKLT Jawa-Bali 150kV ,durasi dari simulasi adalah 100 detik, dan lepasnya SKLT terjadi pada detik ke 2.



Gambar 4.4 Respon Frekuensi Bus Gilimanuk pada saat SKLT Jawa-Bali 150kV lepas dari sistem Bali

Frekuensi Pada Bus Gilimanuk dipilih karena Bus Gilimanuk terletak paling dekat dengan SKLT Jawa-Bali 150kV.

Berdasarkan gambar 4.4 terlihat dari simulasi transient stability analisis yang dijalankan, pada detik ke 2 dilakukan pelepasan SKLT dari sistem Bali. Frekuensi sistem turun hingga mencapai 48,19 Hz pada detik ke 10,1. Frekuensi sistem kembali naik dan mulai konstan dengan frekuensi 49,23 Hz pada detik ke 60,10. Yang berpotensi terjadinya Blackout karna Frekuensi di bawah standar. Sehingga Harus dilakukan pelepasan beban.



E. Tahapan Frekuensi Kerja UFR

Untuk dapat memperkirakan tahapan frekuensi kerja UFR ketika terjadi penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik, beberapa hal yang harus dilakukan antara lain :

1. menghitung laju penurunan frekuensi menggunakan persamaan *swing* (swing equation) sesuai dengan persamaan (2) Data generator yang terdapat dalam sistem tenaga listrik Bali 150kV seperti pada tabel 4.1 , dan didapatkan laju penurunan frekuensi sebesar = 2,6299 Hz/s
2. Menentukan pada frekuensi berapa pemutus tenaga akan benar-benar bekerja. Dibutuhkan perkiraan waktu kerja rele untuk mengetahui frekuensi kerjanya. Waktu kerja rele dipengaruhi oleh waktu pick up, waktu rele dan waktu pemutus tenaga. Besarnya waktu pick up dipengaruhi oleh besarnya penurunan frekuensi per detik dari setiap skenario kombinasi generator lepas sehingga nilai waktu pick up akan berbeda di setiap skenarionya. Waktu pick up diperoleh dengan menggunakan persamaan (3). Dan didapatkan waktu Pickup sebesar = 0,1901 s.

Frekuensi acuan tahap pertama yang digunakan yaitu 49,5 Hz dengan waktu tunda 0,24 detik. Penentuan frekuensi acuan tahap pertama ini mengingat batas gangguan sebelum dilakukan pelepasan beban sesuai peraturan menteri energi dan sumber daya manusia republik Indonesia nomor 3 tahun 2007 yaitu 49,5 Hz. Waktu rele yang digunakan yaitu 0,05 s dan waktu pemutus tenaga kerja hingga terbuka sesuai dengan pemutus tenaga yang digunakan yaitu jenis SF6 CB yaitu 0,06 s. kemudian lamanya waktu kerja rele mulai dari pick up hingga pemutus tenaga bekerja dihitung dengan menggunakan persamaan (4). Dan didapatkan waktu trip sebesar = 0,3001 s.

5. Perkiraan nilai frekuensi saat pemutus tenaga bekerja bergantung pada penurunan frekuensi dan waktu kerja rele sehingga dihitung dengan menggunakan persamaan (5). Sehingga didapat frekuensi pelepasan beban sebesar = 49,21 Hz.

Perkiraan nilai frekuensi saat pemutus tenaga benar-benar bekerja nantinya dapat digunakan sebagai pedoman dalam menentukan tahap pelepasan beban kedua dan seterusnya dengan menggunakan tahap pelepasan beban pertama adalah ketika frekuensi sistem turun hingga 49,5 Hz.

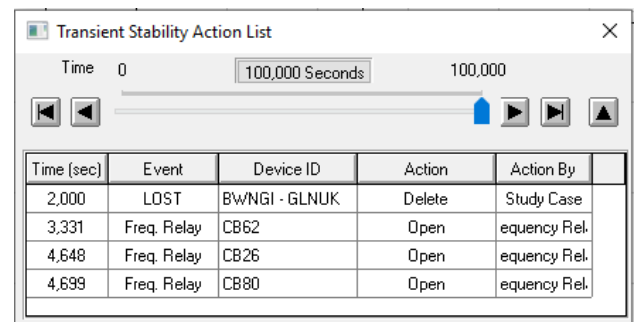
6. Penentuan jumlah beban yang dilepas menggunakan persamaan (7), dan didapatkan beban yang di lepas sebesar = 63,649 MW. pemilihan titik beban yang di lepas merupakan kombinasi beban yang jumlah total

dayanya mendekati perhitungan dan mengembalikan frekuensi ke batas yang diperbolehkan. dan didapatkan tahapan pelepasan beban 2 tahap.

Tabel 4.5 Frekuensi Tahapan Pelepasan Beban

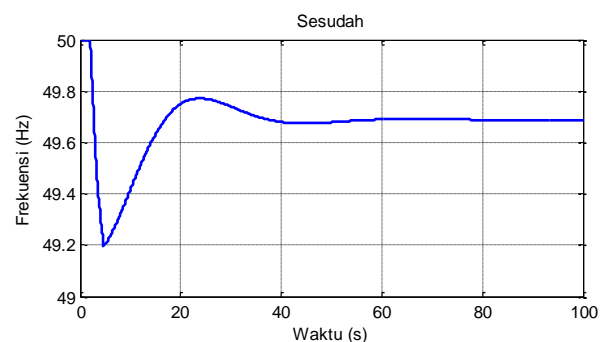
Tahap ke-	UFR Trip (Hz)	UFR Trip (%)
1	49,5	99
2	49,21	98,42

Setelah perhitungan pelepasan beban diperoleh, maka dilakukan simulasi pelepasan beban. Pelepasan beban Tahap pertama dilakukan pada frekuensi 49,5 Hz. Dengan melepas beban sebesar 33,5 MW beban pada GI Kapal (*load kapal 2*) , tahap ke 2 melepas beban pada GI Pamaron (*load Pamaron 2*), GI Amlapura (*Load Amlapura 2*) sebesar 31,6 MW. Dan total beban yang dilepas sebesar = 65,1 MW.



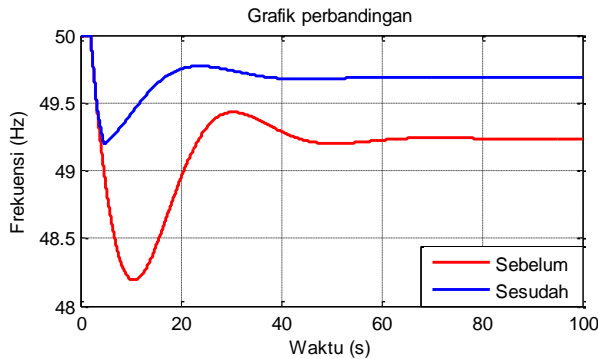
Gambar 4.5 Action List pelepasan beban 2 Tahap

Pada detik ke 3,331 Pelepasan beban tahap 1 bekerja , UFR mengirim sinyal ke CB 62 untuk memutus *Load Kapal 2*. Dan pada detik ke 4.648 Pelepasan beban tahap ke 2 bekerja, UFR mengirim sinyal ke CB 26, dan CB 80 untuk melepas *load Pamaron 2*, dan *load Amlapura 2*. Gambar berikut merupakan respon frekuensi GI Gilimanuk setelah pelepasan beban.



Gambar 4.6 Respon Frekuensi Bus Gilimanuk Setelah Dilakukan Pelepasan beban

Setelah dilakukan pelepasan beban ,maka frekuensi sistem kembali naik ke standar aman frekuensi pada frekuensi 49,6 Hz pada detik ke 14 dan kembali konstan pada frekuensi 49,69 Hz pada detik ke 54,9 .Dan nilai frekuensi ini masih memenuhi standar aturan ANSI/IEEE C37.106-2003 bahwa batas *Under Frequency* adalah 50 – 49,5.



Gambar 4.6 Perbedaan Respon Frekuensi Bus Gilimanuk Sebelum dan Sesudah Pelepasan Beban

Tabel 4.6 Frekuensi Dengan dan Tanpa *Load Shedding*

Waktu (s)	Tanpa <i>Load Shedding</i> (Hz)	Dengan <i>Load shedding</i> (Hz)
1	50	50
2	49,99	49,99
3	49,58	49,58
4	49,22	49,32
8	48,33	49,32
12	48,22	49,51
16	48,53	49,66
18	48,74	49,72
24	49,26	49,77

Sesuai hasil yang di tunjukan oleh tabel 4.6 dapat dilihat perbedaan frekuensi ketika tidak dilakukan *load shedding* dan dilakukan *load shedding* . dengan dilakukan *Load Shedding* frekuensi pada sistem Bali dapat kembali ke batas standar frekuensi.

## V. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan simulasi pelepasan beban pada Sistem Bali 150kV akibat lepasnya SKLT Jawa-Bali 150kV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Respon Frekuensi pada saat terjadinya lepasnya SKLT Jawa-Bali 150kV berkapasitas transfer 340MW yang menyuplai daya 80 MW ke sistem Bali. menunjukkan bahwa frekuensi turun hingga 48,19 Hz yang berpeluang

menyebabkan *Blackout* .Setelah dilakukan pelepasan beban sesuai perhitungan frekuensi pada sistem dapat kembali naik ke frekuensi yg diperbolehkan yaitu 49,60 Hz pada detik ke 14 dan stabil pada detik ke 54,9 dengan frekuensi 49,69 Hz.

2. Didapatkan Frekuensi pelepasan beban 2 tahap, tahap 1 mengacu pada peraturan menteri ESDM republik Indonesia nomor 3 tahun 2007 yaitu pelepasan beban tahap pertama pada frekuensi 49,5 Hz. dan tahap 2 pada frekuensi 49,21 Hz yang didapat dari perhitungan.
3. Beban yang di lepas merupakan kombinasi beban yang mendekati hasil dari perhitungan 63,649 MW, dan beban yang dipilih adalah beban pada GI Kapal (*load kapal 2*) , GI Pemaron (*load Pemaron 2*), GI Amlapura (*Load Amlapura 2*). total kombinasi beban yang dipilih sebesar 65,1 MW . Dengan tidak melepas beban pada GI Nusadua (*load Nusadua 2*), GI Bandara (*load Bandara 1 dan 2*), GI Kapal (*load Kapal 3*), GI Pemaron (*load pemaron 1*) dan GI pesanggaran (*load Pesanggaran 4 dan 5*). Yang terdapat beban – beban penting.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pradnya. M.A. Arjana.I.G.D. Wijaya.W.A., studi Analisis dampak pemasangan *over load shedding* terhadap pembebanan pada saluran transmisi 150kv di bali, Teknologi Elektro, Vol. 16, No.1, Januari-April 2017.
- [2] M. Majidi, M. R. Aghamohammadi, M. Manbachi, “New Design of Intelligent Load Shedding Algorithm Based on Critical Line Overload to Reduce Network Cascading Failure Risks,” Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 2014, 22, pp. 1395 – 1409.
- [3] G. Shahgholian, “Effect of Load Shedding Strategy on Interconnected Power Systems Stability When a Blackout Occurs,” International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol 4, No. 2, April 2012, pp. 212 – 217.
- [4] Subakat, A., “Studi Pengaruh Pemasangan Load Shedding di Gardu Induk Pemecutan Kelod dan Gardu Induk Nusa Dua”. Jimbaran : Jurusan Teknik Elektro U niversitas Udayana, 2014.
- [5] Parahon. R., “Penerapan Relay Over Load Shedding pada Trafo TD 3 # 30MVA GI Sukamerindu Bengkulu Dengan Setting Arus Premier 70kV Untuk Mentriapkan Penyulang 20kV’. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro. , 2013.
- [6] IEEE, “*Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*”, 1987. IEEE Std C37.106-1987 .
- [7] Hadi.A. Ervianto.E., Studi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Relai Frekuensi Kurang Pada Sistem Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Jom FTEKNIK Volume 3 N0.2 Oktober 2016.
- [8] A. Nugraheni, “Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd.,” Universitas Indonesia, 2011.

- [9] Prabha, Kundur ,*Power system and control*, EPRI, McGraw-Hill, inc., New York, USA, 1994.
- [10] Hutahuruk, T.S, *Analisis Sistem Tenaga Elektrik Jilid I Sistem Sistem Yang Seimbang*, Jurusan Teknik Elektro. Institut Teknologi Bandung, 1988.