



**Studi Perencanaan Skema *Island Operation* pada Sistem  
Kelistrikan Bali Menggunakan DIGSILENT**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Chyntia Raziqin Silmi**  
**NIM. 131910201094**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**Studi Perencanaan Skema *Island Operation* pada Sistem  
Kelistrikan Bali Menggunakan DIgSILENT**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk  
menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Chyntia Raziqin Silmi  
NIM. 131910201094**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Kupanjatkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan karunia dan kasih sayang-Nya kepadaku dan sholawat serta salam kepada Rasulullah SAW yang senantiasa memberikan syafaatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan langkah awal untuk menuju kesuksesan yang lebih baik, karenanya dengan segala kerendahan hati kupersembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibunda Rince dan Ayahanda Soenyoto yang sangat aku cintai yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan dukungan baik moril maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepadaku.
4. Almarhumah Mbah Supiyati dan Almarhum Kung Sudiwadji yang sangat aku cintai yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan dukungan baik moril maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepadaku bahkan sampai akhir hayatnya.
5. Kakakku Fitri Andika Nur Andini Fajrin yang selalu mendukungku.
6. Dosen Pembimbing Utama Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T., dan Dosen Pembimbing Anggota Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T., yang bersedia meluangkan waktu dan pikirannya dalam membimbing dan memberikan motivasi.
7. Semua guru dari TK, SD, SMP, dan SMA serta seluruh dosen Teknik Elektro yang telah berbagi ilmu yang sangat bermanfaat.
8. Sahabatku dunia akhirat yang aku anggap saudara sendiri Ratna Kusuma Wardhani yang selalu mendukungku, menerima aku apa adanya dan menjadi *partner* bertukar pikiran.
9. Sahabatku dunia akhirat yang sangat aku sayangi Devry Berta Irawan yang selalu mendukungku dan menjadi teman bertukar pikiran.
10. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa.

11. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
12. Serta seluruh pihak yang tidak tertulis dalam lembar persembahan ini, kusampaikan terimakasih banyak atas segalanya.



### MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Qs. Al- Baqarah: 286)

“Dua nikmat yang kebanyakan manusia rugi di dalamnya: kesehatan dan waktu yang luang”

(HR. Bukhari)

“Persiapkan hari ini untuk keinginan hari esok”

(Aesop)

“Kesenangan dalam sebuah pekerjaan membuat kesempurnaan pada hasil yang dicapai”

(Aristoteles)

*“Do the best wherever you are”*

(Chyntia Raziqin S)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Chyntia Raziqin Silmi

NIM : 131910201094

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Studi Perencanaan Skema *Island Operation* pada Sistem Kelistrikan Bali Menggunakan DigSILENT” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 31 Mei 2017

Yang menyatakan,

Chyntia Raziqin Silmi  
NIM 131910201094

**SKRIPSI**

**Studi Perencanaan Skema *Island Operation* pada Sistem  
Kelistrikan Bali Menggunakan DIgSILENT**

Oleh

Chyntia Raziqin Silmi  
NIM 131910201094

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Studi Perencanaan Skema *Island Operation* pada Sistem Kelistrikan Bali Menggunakan DIGSILENT” karya Chyntia Raziqin Silmi telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 31 Mei 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Penguji:**

Ketua,

Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T.  
NIP 198006102005011003

Anggota II,

Suprihadi Prasetyono, M.T.  
NIP 197004041996011001

Anggota I,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T.  
NIP 197008261997021001

Anggota III,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.  
NIP 196312011994021002

Mengesahkan  
Dekan,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.U.M  
NIP 196612151995032001



## RINGKASAN

**Studi Perencanaan Skema *Island Operation* pada Sistem Kelistrikan Bali Menggunakan DIgSILENT;** Chyntia Raziqin Silmi, 131910201094; 2017; 77 halaman; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Tenaga listrik merupakan salah satu dari beberapa tenaga yang penting untuk menunjang kehidupan sehari-hari masyarakat. Energi listrik dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan penerangan dan juga proses produksi yang melibatkan barang-barang elektronik dan alat-alat/ mesin industri. Energi listrik dipakai secara terus menerus demi menjamin keberlangsungan hidup rumah tangga, industri bahkan pariwisata di Bali. Oleh karena itu, dalam menjaga kontinuitas daya dalam sistem tenaga listrik, mutu (kualitas), keandalan, serta keekonomisan dalam pengoperasiannya harus selalu diperhatikan agar selalu dalam keadaan baik.

Suatu sistem kelistrikan bisa saja mengalami ketidak-seimbangan akibat gangguan. Gangguan yang terjadi salah satunya adalah lepas sinkron antara suatu sistem dengan sistem lainnya yang lebih besar. Untuk mengatasi suatu sistem dari gangguan agar tidak terjadi *blackout* maka dibuat *defence scheme*, salah satunya adalah *island operation*. *Island operation* adalah skema penyelamatan sistem kelistrikan dengan cara menyelamatkan beban sekitar.

Dalam penelitian ini bertujuan untuk menentukan skema yang paling optimal. Skema yang optimal salah satunya adalah skema yang mampu menyeimbangkan antara *supply* dan *demand*. Dengan seimbang antara *supply* dan *demand*, diharapkan frekuensi yang dihasilkan adalah normal, yaitu 50 Hz dengan toleransi  $\pm 10\%$ .

## SUMMARY

**A Study of Island Operation Planning Scheme on Bali's Electricity System Using DIGSILENT;** Chyntia Raziqin Silmi, 131910201094; 2017; 77 pages; Departement of Electrical Engineering , Faculty of Engineering, Jember University.

Electric power is one of some power which is important to support people's daily life electrical energy is needed to meets the needs of the lighting and also process of production involving electronic goods, and tools or industrial machinery. Electrical energy is used continuously to ensure the sustainability of the daily life (household survival), industry and even tourism in Bali. Therefore, in maintaining the power continuity in the power system, quality, reliability, and thriftiness in the operation, must always be noted in order to always be in good condition.

An electrical system may experience an imbalance due to disruption. One of the disruption that occur is loose sync between one system with another larger system. To overcome a system from disruption to avoid blackout, then made a defense scheme, for the example, one of them is Island Operation. Island Operation is electrical system rescue scheme by saving loads around.

The research aims to determine the most optimal scheme. One of the optimal scheme is a scheme capable of balancing between supply and demand. With the balance between supply and demand is expected that the resulting frequency is normal, that is 50Hz with a tolerance of  $\pm 10\%$ .

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim,*

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Perencanaan Skema Island Operation pada Sistem Kelistrikan Bali Menggunakan DigSILENT”**. Skripsi ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak akan bisa selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis sampaikan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang bersedia meluangkan waktu dan pikirannya dalam membimbing dan memberikan motivasi.
6. Bapak Suprihadi Prasetyono, M.T., selaku Penguji 1 dan Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M., selaku Penguji 2 yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis.
7. Ibunda Rince Sudyah dan Ayahanda Sunyoto yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan dukungan baik moril maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepadaku.
8. Almarhumah Mbah Supiyati dan Almarhum Kung Sudiwadji yang sangat aku cintai yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan dukungan baik

moril maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepadaku bahkan sampai akhir hayatnya.

9. Nenekku yang kucinta yang telah mewariskan sifat tidak mudah menyerah serta yang selalu mendoakan yang terbaik untukku.
10. Kakakku Fitri Andika Nur Andini Fajrin yang mendukungku dan selalu membantuku dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
11. Mas Fahmi dari PT. PLN P3B Bali dan Mbak Desty yang selalu siap diajak berdiskusi dan selalu memberikan ilmu baru yang tidak didapatkan dibangku kuliah.
12. Teman-teman satu bimbingan (DPU) yang bersedia bertukar pikiran dan saling mendukung satu sama lain.
13. Sahabatku dunia dan akhirat, Ratna Kusuma Wardhani yang selalu memberiku semangat dan mendukungku selalu.
14. Sahabatku Devry Berta Irawan yang selalu mendukungku.
15. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa.
16. Keluarga besar Civitas Akademia Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember yang memberikan bantuan dalam urusan administrasi dan segala pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terimakasih banyak.
17. Serta seluruh pihak yang tidak tertulis dalam lembar ini, kusampaikan terimakasih banyak atas segalanya.

Semoga skripsi ini dapat memberikan informasi, dan manfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk dapat menyempurnakan skripsi ini.

Jember, 31 Mei 2017

**Penulis**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>vii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1 Jaringan Distribusi Listrik</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Pengertian Jaringan Distribusi Listrik .....	<b>5</b>
2.1.2 Transformator Distribusi (IBT) .....	<b>6</b>
<b>2.2 Sistem Proteksi</b> .....	<b>6</b>
2.2.1 Pengertian Sistem Proteksi .....	<b>6</b>
2.2.2 Relai Proteksi .....	<b>7</b>
2.2.2.1 Relai Frekuensi .....	<b>7</b>
2.2.2.2 Relai Arus Lebih/ <i>Over Current Relay</i> (OCR).....	<b>8</b>
<b>2.3 Pencegahan Gangguan Total Pada Jaringan Distribusi Listrik</b> .....	<b>9</b>

2.3.1 <i>Brown Out</i> .....	9
2.3.2 <i>Load Curtailment</i> .....	9
2.3.3 <i>Manual Load Shedding</i> .....	10
2.3.4 <i>Load Shedding UFR</i> .....	10
2.3.5 <i>Overload Shedding (OLS)</i> .....	11
2.3.6 <i>Island Operation</i> .....	11
2.3.7 <i>Host Load</i> .....	12

### **BAB 3. METODE PENELITIAN**

<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	<b>14</b>
3.1.1 Tempat Penelitian .....	14
3.1.2 Waktu Penelitian.....	14
<b>3.2 Sistem Kelistrikan Pulau Bali</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4 Prosedur Kerja</b> .....	<b>17</b>
<b>3.5 Rancangan Skema <i>Island Operation</i></b> .....	<b>19</b>
3.5.1 Generator Tunggal .....	19
3.5.2 Kombinasi Generator (2 Generator- 2 Generator) .....	19
3.5.3 Kombinasi Generator (3 Generator- 1 Generator).....	20
3.5.4 Kombinasi 4 Generator .....	21

### **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

<b>4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan Bali dengan Menggunakan DIgSILENT</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2 Perancangan Skema <i>Island Operation</i> Sistem Kelistrikan Pulau Bali</b> .....	<b>24</b>
4.2.1 Generator Tunggal .....	24
4.2.2 Kombinasi Generator (2 Generator- 2 Generator) .....	30
4.2.3 Kombinasi Generator (3 Generator- 1 Generator).....	45
4.2.4 Kombinasi 4 Generator .....	65
<b>4.3 Skema <i>Island Operation</i> PT. PLN P3B Bali</b> .....	<b>70</b>
<b>4.4 Perbandingan Antar-skema <i>Island Operation</i></b> .....	<b>73</b>

**BAB 5. PENUTUP**

<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>75</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>75</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>76</b>



**DAFTAR TABEL**

Data Pembangkit Wilayah Gilimanuk .....	14
Data Pembangkit Wilayah Celukan Bawang .....	15
Data Pembangkit Wilayah Pamaran .....	15
Data Pembangkit Wilayah Pesanggaran .....	15
Data SKLT Jawa- Bali .....	17
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 1 .....	24
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 1 .....	25
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 2 .....	30
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 2 .....	31
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 3 .....	35
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 3 .....	36
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 4 .....	40
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 4 .....	41
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 5 .....	45
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 5 .....	47
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 6 .....	50
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 6 .....	52
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 7 .....	55
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 7 .....	56
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 8 .....	60
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 8 .....	62
<i>Setting</i> UFR dan PMT yang Dilepas Pada Skema 9 .....	65
Komposisi Beban <i>Island</i> Skema 9 .....	67
Perbandingan Skema <i>Island Operation</i> .....	73



**DAFTAR GAMBAR**

Jaringan Sistem Tenaga Listrik.....	5
Sistem Proteksi.....	6
Ilustrasi Rangkaian OCR Penghantar pada Gardu Induk 150 kV.....	9
Tingkat Strategi Frekuensi (PT. PLN P3B Bali).....	13
<i>Single Diagram</i> Sistem Kelistrikan Pulau Bali.....	16
Pemodelan Sistem Kelistrikan Pulau Bali di DIgSILENT.....	23
Skema 1 <i>Island Operation</i> .....	27
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 1 Siang.....	28
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 1 Malam.....	28
Grafik Frekuensi Skema 1 Siang.....	29
Grafik Frekuensi Skema 1 Malam.....	29
Skema 2 <i>Island Operation</i> .....	32
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 2 Siang.....	33
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 2 Malam.....	33
Grafik Frekuensi Skema 2 Siang.....	34
Grafik Frekuensi Skema 2 Malam.....	34
Skema 3 <i>Island Operation</i> .....	37
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 3 Siang.....	38
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 3 Malam.....	38
Grafik Frekuensi Skema 3 Siang.....	39
Grafik Frekuensi Skema 3 Malam.....	39
Skema 4 <i>Island Operation</i> .....	42
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 4 Siang.....	43
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 4 Malam.....	43
Grafik Frekuensi Skema 4 Siang.....	44
Grafik Frekuensi Skema 4 Malam.....	44
Skema 5 <i>Island Operation</i> .....	46
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 5 Siang.....	48
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 5 Malam.....	48

Grafik Frekuensi Skema 5 Siang .....	49
Grafik Frekuensi Skema 5 Malam .....	49
Skema 6 <i>Island Operation</i> .....	51
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 6 Siang.....	53
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 6 Malam.....	53
Grafik Frekuensi Skema 6 Siang .....	54
Grafik Frekuensi Skema 6 Malam .....	54
Skema 7 <i>Island Operation</i> .....	57
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 7 Siang.....	58
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 7 Malam.....	58
Grafik Frekuensi Skema 7 Siang .....	59
Grafik Frekuensi Skema 7 Malam .....	59
Skema 8 <i>Island Operation</i> .....	61
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 8 Siang.....	63
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 8 Malam.....	63
Grafik Frekuensi Skema 8 Siang .....	64
Grafik Frekuensi Skema 8 Malam .....	64
Skema 9 <i>Island Operation</i> .....	66
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 9 Siang.....	68
Hasil Simulasi <i>Island Operation</i> DIgSILENT Skema 9 Malam.....	68
Grafik Frekuensi Skema 9 Siang .....	69
Grafik Frekuensi Skema 9 Malam .....	69
Skema A <i>Island Operation</i> Bali.....	71
Skema B <i>Island Operation</i> Bali .....	72

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik merupakan salah satu dari beberapa tenaga yang penting untuk menunjang kehidupan sehari-hari masyarakat. Perkembangan zaman menuntut masyarakat untuk menggunakan tenaga listrik sebagai penunjangnya. Energi listrik dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan penerangan dan juga proses produksi yang melibatkan barang-barang elektronik dan alat-alat/ mesin industri. Mengingat begitu besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terutama yang berasal dari sumber daya tak terbarui keberadaannya terbatas, maka untuk menjaga kelestarian sumber energi ini perlu diupayakan langkah-langkah strategis yang dapat menunjang penyediaan energi listrik secara optimal dan terjangkau.

Energi listrik dipakai secara terus menerus demi menjamin keberlangsungan hidup rumah tangga, industri bahkan pariwisata di Bali. Oleh karena itu, dalam menjaga kontinuitas daya dalam sistem tenaga listrik, mutu (kualitas), keandalan, serta keekonomisan dalam pengoperasiannya harus selalu diperhatikan agar selalu dalam keadaan baik. Suatu keekonomisan dapat dilihat apabila sumber energi yang digunakan adalah bahan yang paling murah bahkan ramah lingkungan. Keandalan sistem juga perlu diperhatikan agar tidak terjadi gangguan kecil ataupun besar walau sebenarnya suatu sistem tidak akan luput dari gangguan itu sendiri. Selain itu, yang perlu diperhatikan adalah mutu frekuensi dan tegangan yang harus memenuhi standar yang berlaku di Indonesia.

Kondisi sistem Jawa Bali yang selalu berkembang baik dari sisi beban maupun pembangkitan menuntut PT. PLN (Persero) dapat menanggulangi pemadaman yang bertujuan kepada peningkatan mutu pelayanan konsumen. Meskipun demikian tidak selamanya kinerja PT. PLN (Persero) selalu sesuai harapan karena adanya gangguan pada unit pembangkit maupun dalam sistem itu sendiri yang berakibat pada pelepasan beban (*load shedding*). Hal ini akan

membutuhkan waktu yang cukup lama serta biaya yang besar untuk memulihkan kembali pada keadaan normal. Oleh sebab itu, muncullah keberadaan skema *island operation*.

*Island operation* merupakan *defence scheme* (skema penyelamatan) pada sebuah sistem kelistrikan saat terjadi gangguan. Saat terjadi lepas sinkronnya pembangkit listrik besar, *load shedding* akan terjadi pada sistem interkoneksi. Pada saat lepas sinkronnya pembangkit listrik besar tersebut, maka sistem secara tiba-tiba akan kehilangan daya, maka hal ini menyebabkan frekuensi turun. Pada keadaan seperti yang telah disebutkan, maka tugas *island operation* adalah menyelamatkan beban prioritas sampai pembangkit listrik besar mencapai keadaan stabil. Apabila *load shedding* sudah tidak mampu memulihkan frekuensi akibat gangguan yang terjadi, maka *island operation* dilakukan pada subsistem di setiap *region* (Wikarsa, 2013).

Sistem kelistrikan di Pulau Bali sempat beberapa kali mengalami gangguan bahkan *black out*. Pada bulan Mei 2009 terjadi kasus *black out* yang disebabkan petir pada SUTT 150 kV Situbondo- Banyuwangi. Selain itu pada September 2009 terjadi kasus *black out* yang diakibatkan kawat penghubung bawah laut 2 SUTT-sirkuit 2 arah ke gardu induk Gilimanuk terjadi hubung singkat, sehingga Pembangkit Gilimanuk *trip* dan PLTG 1 Pesanggaran melampaui sudut rotor sejauh tiga ratus derajat dan menyebabkan *collapse*-nya sistem Bali yang tidak kuat menahan beban yang lepas dari kedua pembangkit tersebut. Kasus *black out* juga terjadi pada bulan September 2014, yaitu saat terjadi gangguan transmisi SUTT Situbondo- Banyuwangi (Pahlevi, 2014).

Studi tentang pemasangan *island operation* telah beberapa kali dilakukan pada beberapa daerah di Indonesia khususnya sistem tenaga listrik Jawa- Bali. Pada tahun 2015 dilakukan studi pembuatan *island operation* di Gresik (Endah, 2015). Selain itu, pernah dilakukan studi *under frequency relay* pada sistem tenaga listrik Jawa- Bali yang terkait dengan perancangan *island operation* (Wikarsa, 2013). Meskipun demikian, studi seperti itu perlu dikaji ulang dan disesuaikan kondisi terakhir sistem tenaga listrik Jawa- bali.

Bali merupakan pulau yang memiliki pendapatan per kapita yang tinggi yaitu sebesar Rp 25.880.000,- per tahun (pada tahun 2014). Pendapatan terbesar merupakan sumbangan dari sektor pariwisatanya. Dalam bidang pariwisata sumber listrik yang selalu ada sangat dibutuhkan. Pulau Bali mendapatkan masukan daya listrik dari Pulau Jawa kurang lebih sebesar  $2 \times 120$  MW . Di region Bali terdapat total sebanyak 7 buah PLTG dan 76 buah PLTD yang tersebar di wilayah Pamaran, Pesanggaran dan Gilimanuk dengan daya pembangkitan seperti ini seharusnya Pulau Bali bisa memenuhi kebutuhan daya listriknya dengan membuat strategi *island operation*. Sebenarnya, pada sistem kelistrikan Pulau Bali, telah dibuat skema *island operation*. Namun, skema yang ada saat ini tidak bekerja maksimal. Untuk mengetahui skema paling optimal *island operation* maka perlu dilakukan kajian terhadap skema tersebut. Skema optimal maksudnya adalah skema yang seimbang antara asupan daya dan bebannyaserta memiliki frekuensi sistem sebesar 50 Hz dengan toleransi  $\pm 10\%$ . Skema yang dibuat adalah penyelamatanbeban dengan pola *island operation* saat terjadi *trip* akibat penurunan frekuensi karena gangguan yang terjadi pada *supply* dari Jawa melalui SKLT Jawa- Bali.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan sistem kelistrikan di Pulau Bali ke dalam *software* DIGSILENT?
2. Bagaimana perancangan yang optimal mengenai *island operation* pada sistem kelistrikan di Pulau Bali?
3. Bagaimana perbandingan skema *island operation* penelitian yang dibuat dengan skema *island operation* yang saat ini digunakan sistem kelistrikan Bali dengan mempertimbangkan frekuensi yang dipulihkan dan *ratio* antara pembangkit dan beban?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan sistem kelistrikan di Pulau Bali ke dalam *software* DIgSILENT.
2. Merancang dan menganalisa skema yang optimal *island operation* pada sistem kelistrikan di Pulau Bali.
3. Mengetahui perbandingan skema *island operation* penelitian yang dibuat dengan skema *island operation* aktual yang saat ini digunakan sistem kelistrikan Bali dengan mempertimbangkan frekuensi yang dipulihkan dan *ratio* antara pembangkit dan beban.

### 1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas dan menghindari meluasnya masalah, maka dibuat batasan masalah. Ada beberapa batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Data diambil dari data beban puncak pada bulan Oktober dan Nopember 2016.
2. Skema *island operation* dibuat untuk penyelamatan saat terjadi gangguan pada SKLT Jawa-Bali.
3. Skema *island operation* dibuat dengan 2 cara, yaitu menggunakan perhitungan berbasis Ms. Excell dan *software* DIgSILENT.
4. Dalam skenario, PLTG dan PLTD Pesanggaran tidak diaktifkan sedangkan pembangkit wilayah Gilimanuk dan Pamaron diaktifkan.

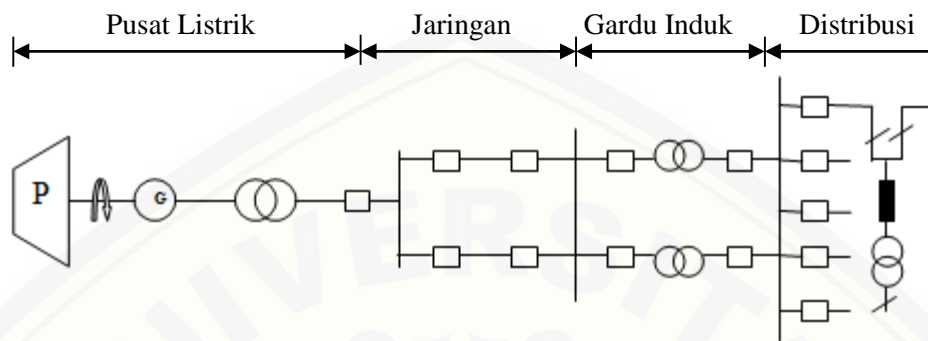
### 1.5 Manfaat Penelitian

Dalam tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu mengetahui hasil analisis skema *island operation* yang optimal pada sistem kelistrikan di Pulau Bali sehingga dapat dijadikan pertimbangan untuk aktualisasi skema ke dalam sistem kelistrikan Pulau Bali.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jaringan Distribusi Listrik

#### 2.1.1 Pengertian Jaringan Distribusi Listrik



Gambar 2.1 Jaringan Sistem Tenaga Listrik

Secara umum, jaringan tenaga listrik terdiri dari pembangkit, jaringan transmisi (gardu induk dan saluran transmisi) dan jaringan distribusi yang diilustrasikan seperti Gambar 2.1. Pembangkit merupakan sumber tenaga listrik, misalnya pembangkit listrik thermal, surya, angin dan lain-lain. Jaringan transmisi merupakan jaringan penyalur tenaga listrik dari pembangkit menuju jaringan distribusi. Jaringan distribusi merupakan jaringan penyalur tenaga listrik yang tadng diteruskan oleh jaringan transmisi menuju jaringan distribusi kemudian disalurkan ke konsumen (Purba, 2012).

Jaringan distribusi listrik terdiri dari pusat pengatur dan penyaluran atau pembagian tenaga listrik ke pelanggan. Jaringan distribusi listrik mengatur besarnya beban yang dipakai. Jaringan distribusi listrik juga membagi atau menyalurkan berapa besar tenaga listrik yang disalurkan ke pelanggan.

Sistem proteksi yang memadai diperlukan untuk memnunjang keandalan dan ketersediaan dan penyaluran energi listrik. Peralatan sistem proteksi berfungsi untuk mendeteksi gangguan dan memutus bagian jaringan yang mengalami gangguan dengan jaringan yang masih normal. Selain itu, sistem proteksi mengamankan bagian yang mengalami gangguan dari kerusakan. Proteksi tenaga listrik biasanya dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misanya generator, transformator, jaringan dan lain-lain.

### 2.1.2 Transformator Distribusi (IBT)

Transformator distribusi merupakan jantung dari jaringan distribusi listrik. Apabila terjadi kerusakan pada transformator distribusi maka akan menyebabkan terganggunya kontinuitas pelayanan terhadap konsumen (terjadi pemadaman listrik). Pemadaman merupakan suatu hal yang tidak menguntungkan karena biaya pembangkitan terus meningkat tetapi kWh tidak terjual.

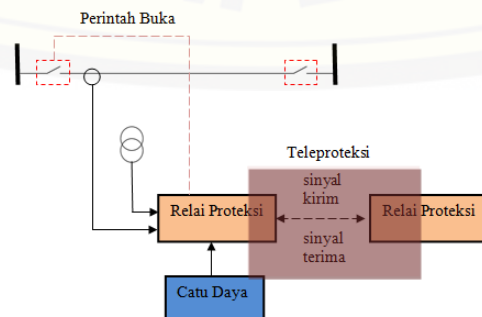
Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut *Interbus Transformator (IBT)*. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi. Sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kV-nya (Rizki, 2013).

## 2.2 Sistem Proteksi

### 2.2.1 Pengertian Sistem Proteksi

Dalam usaha untuk meningkatkan keandalan penyediaan energi listrik, kebutuhan sistem proteksi yang memadai tidak dapat dihindarkan. Sistem proteksi terdiri dari peralatan catu daya DC/AC, relai proteksi dan teleproteksi yang diintegrasikan dalam suatu rangkaian *wiring*. Disamping itu diperlukan juga peralatan pendukung untuk kemudahan operasi dan evaluasi seperti sistem *recorder*, sistem *scada* dan indikasi relai (*annunciator*) (Nugraheni, 2011).

Secara sederhana salah satu contoh sistem proteksi untuk jaringan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem Proteksi



### 2.2.2 Relai Proteksi

Relai adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *electromechanical* (elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). Relai menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.

Relai proteksi adalah susunan piranti, baik elektronik maupun magnetik yang direncanakan untuk mendeteksi suatu kondisi ketidak-normalan pada peralatan listrik yang bisa membahayakan peralatan tersebut. Ketidak-normalan peralatan listrik bisa berupa frekuensi yang turun, frekuensi yang naik drastis, arus yang terlalu tinggi atau rendah dan lain-lainnya. Ketidak-normalan ini bisa merusak peralatan yang bersangkutan bahkan bisa mengganggu penyaluran tenaga listrik (Purba, 2012).

#### 2.2.2.1 Relai Frekuensi

##### a. Relai Frekuensi Lebih/ *Over Frequency Relay* (OFR)

OFR merupakan suatu jenis relai proteksi frekuensi. OFR membandingkan frekuensi sistem dengan frekuensi *setting*-nya, bila frekuensi sistem lebih besar, atau sama dengan frekuensi *setting*-nya, maka relai akan bekerja. Pada sistem *island operation*, OFR tidak terlalu berpengaruh, sebab pada kenyataannya, ketidakseimbangan beban dengan pasokan listrik akan membuat frekuensi sistem mengecil.

##### b. Relai Frekuensi rendah/ *Under Frequency Relay* (UFR)

Dalam sistem tenaga listrik matinya unit pembangkit secara tiba-tiba akan menyebabkan penurunan frekuensi secara cepat. Jika terus dibiarkan maka gangguan ini akan menyebabkan pembangkit yang lain tidak sanggup memikul beban dan akibatnya pembangkit akan melepaskan diri dari sistem. Untuk menghindari hal ini terjadi maka dibuatlah sistem proteksi dengan menggunakan UFR (Purba, 2012).

Besaran input dari UFR adalah tegangan yang diambil dari transformator tegangan, dan relai ini memonitor besarnya frekuensi sistem. Relai frekuensi terdiri dari dua jenis, salah satunya adalah UFR. UFR membandingkan frekuensi sistem dengan frekuensi *setting*-nya, bila frekuensi sistem lebih kecil, atau sama dengan frekuensi *setting*-nya, maka relai akan bekerja. UFR terdiri dari 7 tahapan yang dimulai dari frekuensi sebesar 49.00 Hz – 48.3 Hz. UFR ini akan digunakan untuk keperluan pemisahan sistem *island operation*.

Prinsip kerja UFR adalah sebagai berikut:

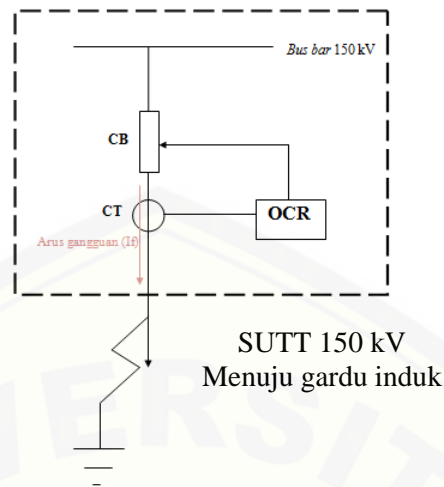
- a. UFR bekerja bila frekuensi sistem lebih kecil atau sama dengan frekuensi *setting*.
- b. Besaran input dari relai frekuensi adalah tegangan yang diambil dari transformator tegangan (PT), umumnya dari tegangan busbar atau busbar imitasi.
- c. Pada kondisi *under voltage* (tegangan masukan sekunder PT turun dibawah nilai tertentu) relai ini akan blok.

Hal yang perlu diperhatikan dalam penerapan UFR antara lain :

- a. Tingkat sensitifitas dari kerja UFR
- b. Kekuatan pembangkit kecil menahan *overload*
- c. Lama waktu pembukaan PMT
- d. Besarnya pengaruh beban terhadap frekuensi sistem

#### 2.2.2.2 Relai Arus Lebih/ *Over Current Relay* (OCR)

Relai arus lebih atau yang lebih dikenal dengan *over current relay* adalah peralatan proteksi (pengamanan) yang banyak dipakai di instalasi listrik, termasuk pada instalasi tegangan tinggi. Ketika terjadi gangguan fasa ke tanah, maka besarnya arus gangguan ( $I_f$ ) akan termonitor melalui CT (*current transformer*) yang kemudian akan diteruskan melalui rangkaian sekunder CT menuju relai proteksi (OCR). Relai proteksi akan membaca besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan melebihi *setting* relai, maka relai akan bekerja memberi perintah / *order trip* pada CB (*Circuit Breaker*) sehingga daerah terganggu terputus (terlokalisir) dari sirkuit yang sehat (Aris, 2013).



Gambar 2.3 Ilustrasi Rangkaian OCR Penghantar pada Gardu Induk 150 kV

## 2.3 Pencegahan Gangguan Total Pada Jaringan Distribusi Listrik

### 2.3.1 *Brown Out*

*Brown out* adalah kondisi dimana sistem kelistrikan mengalami sebagian beban yang padam (tidak secara keseluruhan). Penurunan kualitas tegangan sistem pada rentang normal operasi dalam rangka menurunkan tegangan konsumen. *Brown out* dapat dilaksanakan apabila tidak terjadi ekskursi tegangan di sistem. Apabila *brown out* terjadi, maka tegangan 20kV akan turun (Obvius, 2012).

*Brown out* dilaksanakan pada saat :

- 1) Frekuensi sistem di bawah nominal karena sistem kekurangan daya (defisit).
- 2) Beban sebuah instalasi (transformator, penghantar radial) telah mencapai nilai nominalnya dan diperkirakan beban masih akan naik.

### 2.3.2 *Load Curtailment*

*Load Curtailment* melibatkan kesepakatan antara pelanggan tenaga listrik dan penyedia listrik, di mana pelanggan setuju untuk memenuhi sebagian (atau semua) kebutuhan energinya sendiri selama waktu yang diminta oleh distributor listrik. Di bawah program semacam itu, pelanggan listrik biasanya setuju untuk menurunkan sebagian muatan mereka dari *grid* - atas permintaan utilitas dan

dengan pemberitahuan terlebih dahulu agar mereka memenuhi kebutuhan listrik mereka sendiri.

Dalam kondisi *load curtailment* terjadi total kebutuhan listrik yang tidak terkendali- melebihi total kapasitas sumber yang tersedia. Pada saat *load curtailment* terjadi, maka akan ada permintaan distribusi ke pelanggannya untuk secara sukarela mengurangi pemakaian beban pada sistem kondisi defisit, terutama beban seperti pabrik yang memiliki *genset* (Kashyap, 2010).

Berbeda dengan keadaan *load shedding*, pada tahap *load curtailment* terjadi pelepasan beban secara sukarela oleh konsumen (berdasarkan persetujuan terlebih dahulu dengan distributor) dan beban yang dilepas masih dalam skala kecil. *Load shedding* adalah pelepasan beban secara *masive* oleh distributor (baik secara manual ataupun otomatis) seperti yang akan dijelaskan pada poin 2.3.3 dan 2.3.4.

### 2.3.3 Manual Load Shedding

Pada tahap ini, dilakukan pelepasan beban secara manual dengan cara memilih beban mana (di luar beban esensial). Pelepasan beban secara manual dilakukan apabila laju penurunan frekuensi sangat kecil. 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 transformator (Nugraheni, 2011).

*Manual load shedding* dilakukan untuk :

- 1) Mengurangi beban sistem karena sistem dalam kondisi defisit.
- 2) Mengurangi beban subsistem karena sistem penyaluran dikhawatirkan *overload*.

### 2.3.4 Load Shedding UFR

*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 (Purba, 2012).

Untuk pengamanan sistem, skema pelepasan beban dapat dilaksanakan dalam :

1) Pelepasan beban secara bertahap dengan UFR

Relai ini bekerja apabila terjadi penurunan frekuensi sampai batas *setting* relai. Untuk menghindarkan pelepasan beban terlalu besar, strategi pelepasan beban dilakukan secara bertahap.

2) Pelepasan beban dengan relai  $df/dt$

Relai ini bekerja apabila terjadi penurunan frekuensi secara tiba-tiba dengan kecuraman yang tinggi sehingga *slope*-nya telah mencapai *setting* relai yang ditetapkan. Kecuraman penurunan frekuensi yang tinggi tersebut bisa terjadi pada saat sejumlah pembangkit besar keluar secara bersama-sama.

### 2.3.5 Overload Shedding (OLS)

*Over Load Shedding* adalah salah satu bentuk tindakan pelepasan beban yang lebih yang terjadi secara otomatis maupun manual untuk pengamanan operasi dari unit-unit pembangkit untuk menghindari atau mencegah terjadinya padam total (*Black Out*).

*Overload shedding* melepas beban secara otomatis dengan menggunakan OCR yang dipasang pada penghantar atau transformator IBT sistem 150 kV atau sistem 70 kV. Tujuan OLS adalah untuk mengamankan penghantar atau transformator IBT dari pembebanan di atas nominalnya, OLS ini diterapkan pada penghantar atau transformator IBT yang operasi N-1nya tidak terpenuhi. Hal ini untuk menghindari bekerjanya OCR yang menyebabkan tripnya PMT penghantar atau transformator IBT tersebut saat terjadi pembebanan di atas kemampuan nominalnya, yang mengakibatkan pemadaman beban secara meluas dan bukan diakibatkan oleh gangguan, sehingga pada setiap subsistem diterapkan OLS di beberapa tempat instalasi penyaluran (Pradnya, 2017).

### 2.3.6 Island Operation

Mode *island operation* dalam sistem kelistrikan pada dasarnya adalah sistem yang menyediakan tambahan listrik yang datang atau keluar dan sistem

tertutup ini dapat memberikan semua daya yang diperlukan dari pasokan ke sumber yang tertanam di dalamnya atau yang diterapkan untuknya.

Secara teknis, unit pembangkit tidak harus hadir secara fisik. Operator sistem dapat menggunakan peralatan tertentu untuk menentukan berapa banyak daya yang akan mengalir atau unit pembangkit mana yang akan beroperasi. Perubahan dari operasi paralel ke mode *island operation* dapat terjadi seketika ketika sistem mengalami gangguan. Dalam situasi ini dimungkinkan untuk terus memasok tenaga listrik tanpa henti sesuai dengan kemampuan pembangkit untuk mengendalikan keseimbangan antara *supply* dan *demand* (beban).

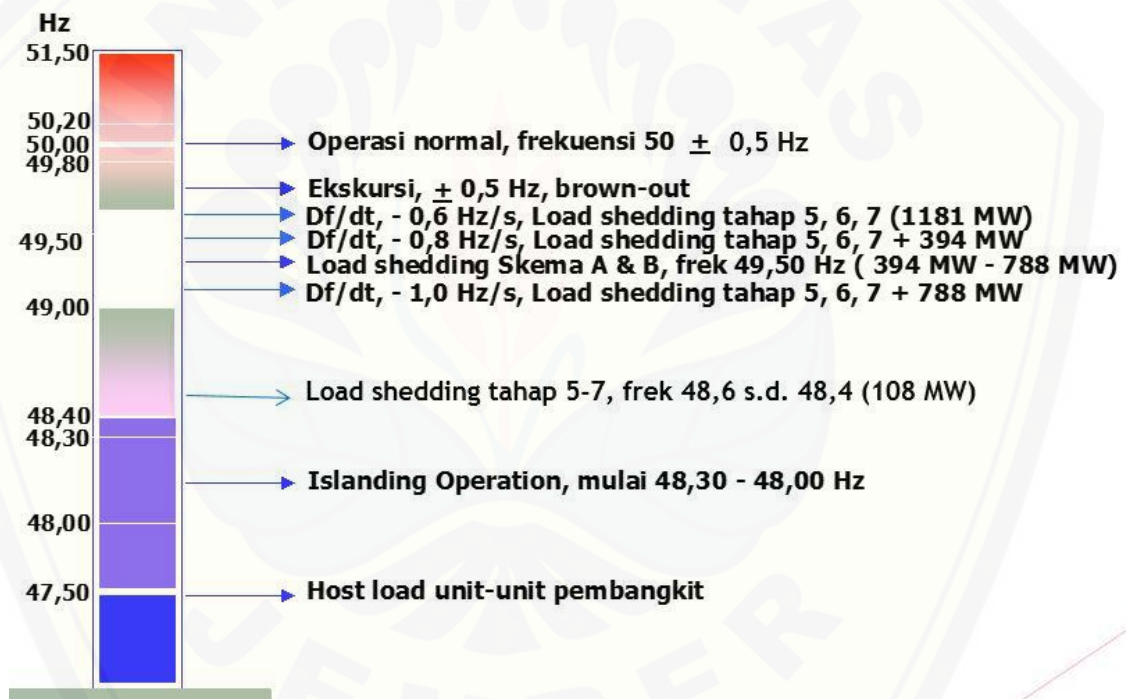
Masalah yang paling penting berasal dari aliran energi listrik yang tidak diinginkan. Dapat dipertimbangkan sebagian besar jalur distribusi dan transmisi yang secara permanen kelebihan beban karena meningkatnya permintaan akan energi listrik tetapi berkurangnya pasokan energi listrik. Kelebihan beban jalur transmisi menyebabkan masalah yang signifikan untuk menjaga pengoperasian sistem tenaga yang aman dan andal. Pemodelan kelebihan beban kapasitas saluran transmisi yang diputuskan oleh jalur proteksi yang diatur untuk keputusan yang cepat dengan situasi yang tepat.

*Island operation* adalah skema 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. Strategi yang diterapkan adalah apabila sistem mengalami gangguan besar dan pelepasan beban yang dilakukan oleh relai UFR maupun relai  $df/dt$  sudah tidak sebanding dengan pembangkit yang keluar. Suatu *island operation* dikatakan optimal apabila memiliki keseimbangan antara *supply* dan *demand*. Sehingga frekuensi sistem yang dipulihkan berada pada frekuensi 50 Hz dengan toleransi  $\pm 10\%$  (Dudiak, 2016).

### 2.3.7 Host Load

Upaya penyelamatan sistem selanjutnya setelah *island operation* adalah *host load operation*, yang diimplementasikan pada frekuensi mencapai 47,5 Hz. *Host load* unit pembangkit hanya memikul beban pemakaian sendiri, dengan maksud mempertahankan unit pembangkit tetap beroperasi sehingga memperpendek waktu pemulihan (Hutomo, 2012).

Penyelamatan dengan *host load* ini bertujuan menyelamatkan unit pembangkit agar unit tersebut tetap beroperasi dan menghindari terjadinya kerusakan. *Strategi* pengamanan sistem juga digambarkan dengan tongkat strategi frekuensi yang ditunjukkan pada gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.4 Tingkat Strategi Frekuensi

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Tempat Penelitian

Pengambilan data untuk penelitian perancangan *island operation* di sistem kelistrikan Pulau bali dilakukan di PT. PLN (PERSERO) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Bali, Jalan Abian Base , Kapal, Mengwi, Badung, Bali, 80351. Sedangkan, untuk penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Jember.

##### 3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama tujuh bulan, mulai bulan Oktober 2016 sampai bulan Mei 2017. Dalam rentan waktu tujuh bulan ini dilakukan beberapa tahap penelitian yaitu penyusunan proposal, pencarian studi pustaka kemudian dilakukan seminar proposal. Setelah seminar proposal, dilakukan pengambilan data kemudian dilanjut dengan pembuatan simulasi. Setelah membuat simulasi maka perlu dilakukan pengujian hasil sebelum seminar hasil. Tahap terakhir adalah pembuatan laporan hasil penelitian yang telah dilakukan.

#### 3.2 Sistem Kelistrikan Pulau Bali

Pada sistem kelistrikan Pulau Bali, terdapat pembangkit tenaga listrik di 4 wilayah seperti yang bisa dilihat dalam *single diagram* kelistrikan Pulau Bali pada gambar 3.1 dan didukung oleh SKLT Jawa- Bali.

Data pembangkit dalam sistem kelistrikan Pulau Bali dan SKLT Jawa- Bali yang mendukung sistem kelistrikan Pulau Bali bisa dilihat dalam tabel 3.1, tabel 3.2, tabel 3.3, tabel 3.4 dan tabel 3.5.

Tabel 3.1 Data Pembangkit Wilayah Gilimanuk

Nama Mesin	Jumlah Mesin (Buah)	Kapasitas Terpasang (MW)	Total (MW)
PLTG Gilimanuk	1	130	130
	Total		130



Tabel 3.2 Data Pembangkit Wilayah Celukan Bawang

Nama Mesin	Jumlah Mesin (Buah)	Kapasitas Terpasang (MW)	Total (MW)
PLTU Celukan Bawang 1	2	125	250
PLTU Celukan Bawang 2	1	130	130
Total			380

Tabel 3.3 Data Pembangkit Wilayah Pamaron

Nama Mesin	Jumlah Mesin (Buah)	Kapasitas Terpasang (MW)	Total (MW)
PLTG Pamaron 1	1	45	45
PLTG Pamaron 2	1	43	43
Total			88

Tabel 3.4 Data Pembangkit Wilayah Pesanggaran

Nama Mesin	Jumlah Mesin (Buah)	Kapasitas Terpasang (MW)	Total (MW)
PLTG Pesanggaran 1	1	15	15
PLTG Pesanggaran 2	1	16	16
PLTG Pesanggaran 3	1	38	38
PLTG Pesanggaran 4	1	36	36
PLTDG Pesanggaran	4	49.8	199.2
PLTD B Pesanggaran	1	49.5	49.5
PLTD E Pesanggaran	1	10	10
Total			363.7

Tabel 3.5 Data SKLT Jawa- Bali

Nama Saluran	Daya Mampu (MW)
SKLT 1	100
SKLT 2	100
SKLT 3	100
SKLT 4	100
Total	400

### 3.3 Alat dan Bahan

Dalam penyelesaian ini perlu adanya beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang berjalannya penelitian sebagai berikut:

1. Laptop
2. *Software* DIgSILENT Powerfactory
3. Data kapasitas pembangkit di Pulau Bali
4. Data pembebanan listrik di Pulau Bali
5. Data skema UFR di sistem kelistrikan Pulau Bali

### 3.4 Prosedur Kerja

Penelitian dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Literatur

Penelitian dimulai dengan pengumpulan literatur dengan mempelajari dasar-dasar dan proses pembuatan *island operation*. Literatur yang menunjang penelitian berupa *paper* dan jurnal nasional maupun internasional. Literatur-literatur ini digunakan sebagai dasar, acuan dan pembanding dalam penelitian.

2. Pengambilan Data

Data yang diambil pada penelitian ini dilakukan di PT. PLN (PERSERO) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Bali, Jalan Abian Base , Kapal, Mengwi, Badung. Data yang diambil berupa

- a. *Single line diagram* sistem kelistrikan Pulau Bali.
- b. Karakteristik beban pada tiap *bus* dalam sistem kelistrikan Pulau Bali.
- c. Kapasitas serta karakteristik pembangkitan dari pembangkit-pembangkit dalam sistem kelistrikan Pulau Bali.
- d. Skema UFR sistem kelistrikan Pulau Bali.

### 3. Penyimulasian Sistem Kelistrikan Pulau Bali dengan *software* DIgSILENT

Dalam penelitian ini, *software* DIgSILENT memiliki peran-peran penting. Untuk mengetahui aliran beban dari sistem kelistrikan Pulau Bali, digunakan *software* ini. Dengan menggunakan *software* ini dapat pula diketahui prosentase pembebanan setiap penghantar. Selain itu, dapat diketahui pula titik-titik rawan terjadinya beban lebih.

### 4. Pembuatan Skema dan Perhitungan Menggunakan *Software* DIgSILENT Powerfactory

DIgSILENT Powerfactory adalah *software* yang terintegrasi dan interaktif yang didedikasikan untuk sistem tenaga listrik dan analisis kontrol untuk perencanaan dan optimasi sistem operasi. DIgSILENT memiliki beberapa fungsi seperti analisis aliran beban, perhitungan hubung singkat, analisis harmonik, koordinasi proteksi, perhitungan stabilitas dan analisis modal. DIgSILENT digunakan untuk perencanaan jangka pendek.

Dalam penelitian ini, parameter yang dimasukkan dalam DIgSILENT adalah sebagai berikut:

- a. Spesifikasi transformator *step-up*, generator pembangkit dan transformator IBT
- b. Data penghantar tiap saluran transmisi
- c. Data daya pembangkit pada jam puncak siang dan malam hari
- d. Data daya beban transformator 150/ 20 kV dan 70/20 kV pada jam puncak siang dan malam hari.
- e. Memasang skema relai UFR 7 tahap dan prosentase beban yang akan di-*shedding*

### 5. Analisis

Setelah melakukan simulasi dengan beberapa skema, dianalisis skema yang manakah yang paling optimal untuk pembuatan *island operation* di sistem kelistrikan Pulau Bali. Suatu skema *island operation* dikatakan optimal apabila beban yang diselamatkan mendekati 100% dengan frekuensi yang stabil sesuai standar.

### 3.5 Rancangan Skema *Island Operation*

Perancangan skema *island operation* pada penelitian ini terdiri dari 2 skema yang berbeda. Skema yang pertama adalah menggunakan generator tunggal. Pada skema generator tunggal, hanya menggunakan 1 pembangkit dalam wilayah yang sama. Skema yang kedua adalah menggunakan generator kombinasi. Pada skema generator kombinasi menggunakan kombinasi lebih dari 1 generator dalam wilayah yang sama.

#### 3.5.1 Generator Tunggal

Skema pertama yang selanjutnya akan disebut Skema 1 adalah menggunakan generator tunggal yang masing-masing generator menyuplai daerah sekitarnya yang berada pada radius tertentu, karena memperhatikan faktor rugi-rugi daya pada saluran. Dalam pembuatan skema ini akan diketahui bagaimana karakteristik beban dan pembangkitan pada saat pengambilan data.

#### 3.5.2 Kombinasi Generator (2 Generator – 2 Generator)

##### a. Skema 2 (Pembangkit 1- 3 dan Pembangkit 2- 4)

Skema kedua pada interkoneksi generator adalah menggunakan kombinasi pembangkit 1- 3 dan pembangkit 2- 4. Dengan kombinasi ini, total kapasitas pembangkitan adalah sebesar 762.9 MW pada siang dan 755.2 MW pada malam. Walaupun demikian, masih belum diketahui karakteristik beban dan pembangkitannya, maka hal ini bisa diketahui lebih detil setelah dilakukan pengambilan data.

##### b. Skema 3 (Pembangkit 1- 2 dan Pembangkit 3- 4)

Skema ketiga pada interkoneksi generator adalah menggunakan kombinasi pembangkit 1- 2 dan pembangkit 3- 4. Dengan kombinasi ini, total kapasitas pembangkitan adalah sebesar 762.9 MW pada siang dan 755.2 MW pada malam.



Walaupun demikian, masih belum diketahui karakteristik beban dan pembangkitannya, maka hal ini bisa diketahui lebih detil setelah dilakukan pengambilan data.

c. Skema 4 (Pembangkit 1- 4 dan Pembangkit 2-3)

Skema keempat pada interkoneksi generator adalah menggunakan kombinasi pembangkit 1- 4 dan pembangkit 2- 3. Dengan kombinasi ini, total kapasitas pembangkitan adalah sebesar 762.9 MW pada siang dan 755.2 MW pada malam. Walaupun demikian, masih belum diketahui karakteristik beban dan pembangkitannya, maka hal ini bisa diketahui lebih detil setelah dilakukan pengambilan data.

### 3.5.3 Kombinasi Generator (3 Generator- 1 Generator)

a. Skema 5 (Pembangkit 1-2- 4 dan Pembangkit 3)

Skema kelima pada kombinasi generator adalah menggunakan kombinasi pembangkit 1- 2- 4 dan pembangkit 3. Dengan kombinasi ini, total kapasitas pembangkitan adalah sebesar 762.9 MW pada siang dan 755.2 MW pada malam. Walaupun demikian, masih belum diketahui karakteristik beban dan pembangkitannya, maka hal ini bisa diketahui lebih detil setelah dilakukan pengambilan data.

b. Skema 6 (Pembangkit 1- 2- 3 dan Pembangkit 4)

Skema keenam pada kombinasi generator adalah menggunakan kombinasi pembangkit 1- 2- 3 dan pembangkit 4. Dengan kombinasi ini, total kapasitas pembangkitan adalah sebesar 762.9 MW pada siang dan 755.2 MW pada malam. Walaupun demikian, masih belum diketahui karakteristik beban dan pembangkitannya, maka hal ini bisa diketahui lebih detil setelah dilakukan pengambilan data.

c. Skema 7 (Pembangkit 1- 3- 4 dan Pembangkit 2)

Skema ketujuh pada kombinasi generator adalah menggunakan kombinasi pembangkit 1- 3- 4 dan pembangkit 2. Dengan kombinasi ini, total kapasitas pembangkitan adalah sebesar 762.9 MW pada siang dan 755.2 MW pada malam. Walaupun demikian, masih belum diketahui karakteristik beban dan

pembangkitannya, maka hal ini bisa diketahui lebih detil setelah dilakukan pengambilan data.

d. Skema 8 (Pembangkit 2- 3- 4 dan Pembangkit 1)

Skema kedelapan pada kombinasi generator adalah menggunakan kombinasi pembangkit 2- 3- 4 dan pembangkit 1. Dengan kombinasi ini, total kapasitas pembangkitan adalah sebesar 762.9 MW pada siang dan 755.2 MW pada malam. Walaupun demikian, masih belum diketahui karakteristik beban dan pembangkitannya, maka hal ini bisa diketahui lebih detil setelah dilakukan pengambilan data.

#### 3.5.4 Kombinasi 4 Generator

Kombinasi keempat generator yang selanjutnya akan disebut skema 9 adalah menggunakan kombinasi pembangkit 1- 2- 3- 4. Dengan kombinasi ini, total kapasitas pembangkitan adalah sebesar 762.9 MW pada siang dan 755.2 MW pada malam. Walaupun demikian, masih belum diketahui karakteristik beban dan pembangkitannya, maka hal ini bisa diketahui lebih detil setelah dilakukan pengambilan data.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada kajian *island operation* sistem kelistrikan Pulau Bali dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada pemodelannya, sistem kelistrikan Bali dibuat ke dalam *software* DIGSILENT dengan 17 *busbar* yang terdiri dari 4 *busbar* pembangkit, 12 *busbar* beban dan 1 *busbar* untuk pengganti SKLT Jawa-Bali.
2. Skema 6 *island operation* merupakan skema paling optimal yang dibuat dalam penelitian ini yaitu dengan kombinasi pembangkit 1-2-3 dan pembangkit 4 yang berdiri sendiri dengan masing-masing pembangkit *mes-supply* daerah sekitarnya.
3. Dari 11 skema yang ada (termasuk skema milik PT. PLN P3B Bali) dengan mempertimbangkan gangguan pada masing-masing skema dan syarat-syarat sebuah skema dikatakan optimal, maka skema yang paling optimal adalah skema 6 dengan gangguan pada SKLT Jawa- Bali dan mampu memulihkan frekuensi stabil pada angka 50 Hz serta *ratio* antara *supply- demand* sebesar 94%.

### 5.2 Saran

Dalam studi perencanaan *island operation* pada sistem kelistrikan Bali ini dibuat berbagai macam skema yang bisa dipertimbangkan untuk penerapan dalam sistem kelistrikan Pulau Bali. Rekomendasi penulis untuk skema *island operation* paling optimal adalah skema 6. Karena dalam penelitian ini tidak terlalu mementingkan aspek dari segi *cost* pembangkit, dalam penerapannya aspek *cost* pembangkit bisa dipertimbangkan.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Dudiak, Jozef. *Island Operation Mode in Small Power System*. Slovakia: Technical University of Kosice.
- Hutomo, Ridho Saputro. 2012. *Simulasi Telemetering Frekuensi pada Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) pada Sistem Island di PT. RJTD*. Semarang: UNDIP.
- Imai, Shinichi. *UFLS program to ensure stable island operation*. Jepang: Tokyo Electric Power Company.
- Joto, Ruwah. *Analisis Efisiensi Penyaluran Kabel Laut 150 Kv Gilimanuk 3 dan 4 yang Menghubungkan Interkoneksi Jawa-Bali Dengan Metode Rock Dumping*. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- Math Bollen dan Olof Samuelsson. *Controlled island operation of part of the 50-kV grid in Southern Sweden*.
- Muzik, Vaclav. *Control possibilities for Island Operation in city of Pilsen*. Czech: University of West Bohemia. Romania: IEEE.
- Pahlevi, Muhammad Rezha. 2014. *Analisis Transien Subsistem Bali Ketika Lepas dari Sistem Interkoneksi Jawa-Bali Akibat Gangguan Petir dan Hubung Singkat Terminasi Jumper Kabel Laut*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Pradnya, M. A. 2017. *Studi Analisis Dampak Pemasangan Over Load Shedding Terhadap Pembebanan pada Saluran Transmisi 150 kV di Bali*. Bali: Universitas Udayana.
- Purba, Irpan Logitra. 2012. *Pengujian Rele Frekuensi*. Semarang: Universitas Diponegoro (UNDIP).
- Rubianto, Triwahyu. *Studi Load Shedding pada Sistem Kelistrikan Pengeboran Minyak Lepas Pantai, Kasus di Perusahaan X*. Bandung: ITENAS.
- S. D'Arco, A. Petterteig, R. Pittini dan T. M. Undeland. *Droop Regulated VSCs for Island Operation of Future Offshore Systems* . IEEE

- Song, Kim Il. *Islanding Detection Technique using Grid-Harmonic Parameters in the Photovoltaic System*. Korea: Chung Ju National University.
- Wibisono, Edo Harwindo. *Proteksi Arus Lebih yang Adaptif pada Sistem Distribusi Dengan Pembangkit Tersebar*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Wikarsa, Mohamad Tresna. 2013. *Studi Under Frequency Relay, Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali*. Telaahan Staf PT. PLN P3B: tidak diterbitkan.

