

**PERBAIKAN TEGANGAN PADA BUS 150KV SISTEM SUB  
REGION BALI DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR**

**SKRIPSI**

Disusun oleh :

**ARVANSYAH**

**2006 – 11 – 132**

**S-1 TEKNIK ELEKTRO**



**SEKOLAH TINGGI TEKNIK PLN**

**JAKARTA 2011**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

Skripsi ini berjudul

### **PERBAIKAN TEGANGAN SISTEM BUS 150kV SUB REGION BALI DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR**

Disusun oleh :

**ARVANSYAH**

**NIM : 2006 – 11 – 132**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan pada kurikulum  
pendidikan Sarjana Strata Satu (S1) pada

### **JURUSAN TEKNIK ELEKTRO SEKOLAH TINGGI TEKNIK – PLN**

Jakarta, 21 Oktober 2011

Mengetahui,

Disetujui,

Ir. Sampurno SP, MT

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Sampurno SP, MT

Pembimbing Tugas Akhir

## **LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

### **PERBAIKAN PADA BUS 150kV SISTEM SUB REGION BALI DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR**

Merupakan karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan tiruan, salinan, atau duplikat dari Tugas Akhir yang telah dipergunakan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan baik di lingkungan STT – PLN maupun di Perguruan Tinggi lain, serta belum pernah dipublikasikan.

Pertanyaan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia memikul segala resikonya jika pernyataan di atas tidak benar.

Jakarta, 21 Oktober 2011

**Arvansyah Amri**

**2006 – 11 – 132**

**DAFTAR ISI**

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>

## **BAB I. PENDAHULUAN**

1.1.Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penulisan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Metode Penulisan .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3

## **BAB II. SISTEM TENAGA LISTRIK, MUTU DAN KEANDALAN**

2.1. Sistem Tenaga Listrik Terpisah (Isolated) dan Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi.....	5
-----------------------------------------------------------------------------------------------	---

2.1.1.Sistem Tenaga Listrik Terpisah (Isolated).....	6
2.1.2.Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi.....	7
2.2. Mutu dan Keandalan Pasokan Listrik.....	8
2.2.1. kontinuitas Pasokan Daya .....	9
2.2.2 Mutu Pasokan Daya.....	10
2.2.2.1. Tegangan .....	11
2.2.2.2 Frekuensi .....	11
2.2.2.3 Harmonik.....	12
2.2.2.3 Kelip Tegangan (Flicker).....	14
2.3. Studi Analisa Aliran Daya .....	14
2.3.1. Perhitungan Aliran Daya.....	17
2.3.2. Metode Penyelesaian Studi Aliran Daya.....	19
2.3.3. Metode Newton Raphson.....	21
2.3.4. Metode Newton Raphson Untuk Studi Aliran Daya.....	24

### **BAB III. PERBAIKAN TEGANGAN SISTEM BUS 150kV**

#### **DENGAN MENGGUNAKAN KAPASITOR**

3.1. Daya Sistem Tenaga Listrik .....	30
3.2. Sumber Daya Reaktif.....	33
3.3. Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank.....	36

3.4. Operasi Penempatan Kapasitor.....	38
3.5. Penempatan Kapasitor Dengan Program PSS/E.....	40
3.6. Penggunaan Analisa Studi Aliran Daya Dalam Penerapan Pemasangan Kapasitor Untuk Perbaikan Tegangan	
Interkoneksi 150 KV .....	46

#### **BAB IV. PEMASANGAN KAPASITOR DI BUS 150 kV SUB REGION BALI**

##### **UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN**

4.1. Data Sistem 150 kV Sub Region Bali.....	48
4.1.1. Data Bus.....	50
4.1.2. Data Impedansi Saluran.....	51
4.1.3 Data Pembangkit dan Beban.....	51
4.2. Aliran Daya Sistem Bali.....	55
4.3. Perhitungan Besar Kapasitas dan Lokasi Pemasangan Kapasitor	
Shunt.....	57
4.3.1. Penambahan 2 Kabel Bawah Laut Sebelum Dipasang	
Kapasitor shunt .....	57
4.3.2. Penambahan 2 Kabel Bawah Laut sesudah Dipasang	

Kapasitor shunt.....	59
4.3.2.1. Penambahan Kapasitor Shunt di Bus 150 kV	
Kapal.....	59
4.3.2.1. Penambahan Kapasitor Shunt di Bus 150 kV	
Nusa Dua.....	61
4.3.2.1. Penambahan Kapasitor Shunt di Bus 150 kV	
Gianyar.....	63
4.3.2.1. Penambahan Kapasitor Shunt di Bus 150 kV	
Kuta.....	65
<b>BAB V. KESIMPULAN.....</b>	<b>69</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Kondisi Bus .....	12
Gambar 2.2 Diagram Alir Perhitungan Aliran Daya (Sulasno,1993).....	14
Gambar 3.1. Segi Tiga Daya.....	31
Gambar 3.2. Diagram Vektor Untuk Dua Keadaan Beban .....	32
Gambar 3.3. Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank .....	37
Gambar 3.4. Input Data Busbar.....	41
Gambar.3.5 Input Data Transformator.....	41
Gambar 3.6 Input Data Generator.....	42
Gambar 3.7 Input Data Beban.....	42
Gambar 4.1 Topologi Jaringan 150 kV Sub Region Bali.....	50
Gambar 4.2. Diagram Satu Garis Sub Region Bali.....	50
Gambar 4.3 Diagram Satu Garis Sub Region Bali dalam Keadaan Beban Puncak.....	55
Gambar 4.4 Kurva Beban Tahunan.....	56
Gambar 4.5 Kurva Beban Harian Sub Region Bali .....	56
Gambar 4.6 Simulasi Aliran Daya Dengan Mengoptimalkan 4 Kabel Bawah Laut.....	58
Gambar 4.7 Simulasi Aliran Daya Setelah Ditambah Kapasitor Shunt.....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keuntungan dan kerugian sistem <i>isolated</i> .....	6
Tabel 2.2 Keuntungan dan kerugian sistem interkoneksi .....	7
Tabel 4.1 Data Impedansi Saluran.....	52
Tabel 4.2 Karakteristik Beban.....	53
Tabel 4.3 Data Pembangkit.....	53
Tabel 4.4 Perhitungan Studi Aliran Daya.....	58
Tabel 4.5 Perhitungan Rugi-Rugi Saluran Akibat Pemasangan Kapasitor Dibus 150 kV kapal.....	60
Tabel 4.6 Perhitungan Rugi-Rugi Saluran Akibat Pemasangan Kapasitor Dibus 150 kV Nusa Dua.....	62
Tabel 4.7 Perhitungan Rugi-Rugi Saluran Akibat Pemasangan Kapasitor Dibus 150 kV Gianyar.....	63
Tabel 4.8 Perhitungan Rugi-Rugi Saluran Akibat Pemasangan Kapasitor Dibus 150 kV kuta.....	66
Tabel.5.1.Rugi-rugi daya pada saluran tanpa dan dengan pemasangan kapasitor di bus Gianyar dalam keadaan beban puncak.....	69
Tabel.5.2.Tegangan pada bus tanpa dan dengan pemasangan kapasitor shunt di bus Gianyar dalam keadaan beban puncak.....	70

## ABSTRAK

Sehubung dengan beban di Sub Region Bali selalu meningkat dan kondisi saat ini beban puncak sudah mendekati daya mampu, maka direncanakan penambahan 2 kabel bawah laut 150 kV dari pulau Jawa ke Sub Sistem Region Bali. Dengan penambahan 2 kabel bawah laut 150 kV tersebut, beberapa pembangkit PLTG dan PLTD yang dinilai tidak ekonomis lagi maka sebagian dinon-aktifkan dan sebagian dikurangi pembebanannya. Sesuai hasil kajian studi analisa aliran daya dengan menggunakan metode Newton Raphson yang ada di dalam program PSSE (Power System Simulation Enggining), didapat ada beberapa bus yang tegangannya tidak memenuhi standar operasi. Salah satu cara untuk memperbaiki tegangan di sistem Sub Region Bali adalah dengan pemasangan kapasitor shunt pada. Tujuan dari pemasangan kapasitor shunt tidak hanya untuk memperbaiki tegangan saja, tetapi juga untuk mengurangi rugi-rugi daya pada saluran.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. LATAR BELAKANG PERMASALAHAN**

Pada operasi sistem transmisi tenaga listrik nilai tegangan operasi dibatasi dimana tegangan operasi tidak boleh dibawah 90% dan diatas 105 % dari tegangan nominalnya. Untuk itu pada sistem 150 kV yang tegangannya tidak memenuhi syarat operasi perlu diadakan perbaikan tegangan. Apabila tidak terdapat sumber daya reaktif disekitar beban maka semua kebutuhan beban reaktifnya dipikul oleh generator sehingga akan mengalir arus reaktif pada jaringan. Apabila kebutuhan daya reaktif ini cukup besar, (faktor daya beban rendah) maka arus yang mengalir di jaringan menjadi semakin besar, rugi-rugi daya besar, jatuh tegangan pada saluran meningkat, profil tegangan setiap bus tidak bagus. Untuk memperbaiki tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya diperlukan suatu kompensasi daya reaktif. Kompensasi yang digunakan adalah dengan pemasangan kapasitor shunt.

Untuk penambahan suplai daya ke Sub Sistem Region Bali, saat ini sedang direncanakan pembangunan penambahan dua kabel bawah laut 150kV dari pulau Jawa. Dengan adanya suplai daya dari sistem Jawa-bali maka beberapa PLTG dan PLTD dinon-aktifkan dan dikurangi pembebanannya sehingga ada empat bus yang tegangannya rendah (tidak memenuhi standart). Untuk itu dalam skripsi ini dibahas rencana perbaikan tegangan ke empat bus tersebut dengan pemasangan kapasitor

## **2. 1.2. TUJUAN PENULISAN**

Tujuan dari penulisan skripsi ini antara lain:

1. Untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana teknik starta satu (S1) jurusan teknik elektro Sekolah Tinggi Teknik PLN jakarta
2. Membahas dan menganalisa perbaikan tegangan pad bus150 KV pada Sistem Sub Region Bali

## **1.3. BATASAN MASALAH**

Adapun batasan masalah dalam Skripsi ini adalah:

1. Perbaikan tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya pada Sub Region Bali.
2. Analisa profil tegangan sebelum dipasang kapasitor dengan menggunakan metode Newton Raphson dengan bantuan program PSS/E (Power System Simulation Enggineering) versi 31.0.0.
3. Penentuan besar kapasitas dan lokasi penempatan kapasitor dengan melakukan percobaan pada ke 4 bus yang tegangannya rendah, tanpa meperhitungkan biaya pembelian dan pemasangan kapasitor.
4. Untuk menentukan besarnya kapasitor yg dipasang dengan melakukan percobaan dengan 4 kapasitas kapasitor yang di jual di pasaran yaitu 15 Mvar, 20 Mvar , 25 Mvar, dan 50 Mvar.

## 1.4. METODE PENULISAN

Metodologi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini antara lain:

### 1. Studi Literatur

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis mencari bahan-bahan yang dianggap sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir ini. Bahan-bahan tersebut berupa literatur-literatur, handbook, diktat, buku-buku acuan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini

### 2. Studi lapangan

Melakukan studi lapangan pada sistem 150KV di sistem Jawa-Bali region III untuk mengumpulkan data dan informasi yang diperlukan dalam perbaikan.

### 3. Melakukan diskusi dengan para ahli dibidangnya, dilapangan serta melakukan konstultasi dengan pembimbing tugas akhir

## 1.5.SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

### ➤ **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini membahas tentang latar belakang masalah, pokok permasalahan, pembatasan masalah, metode pendekatan masalah dan sistematika penulisan.

➤ **BAB II SISTEM TENAGA LISTRIK, MUTU DAN KEANDALAN**

Pada bab ini membahas tentang teori-teori dasar mengenai sistem interkoneksi, mutu dan keandalan pasokan listrik.

➤ **BAB III PERBAIKAN TEGANGAN SISTEM BUS 150KV DENGAN MENGGUNAKAN KAPASITOR**

Pada bab ini membahas tentang perbaikan tegangan pada sistem 150 KV dengan pemasangan kapasitor terhadap aliran daya pada beban, dengan memperhitungkan aliran daya pada sistem 150 KV.

➤ **BAB IV PEMASANGAN KAPASITOR 150KV DI SUB REGION BALI UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN**

Pada bab ini akan membahas dan menganalisa perbaikan tegangan dengan menggunakan aplikasi program PSS/E

➤ **BAB V KESIMPULAN**

Pada bab ini merupakan penutup dari tugas akhir ini yang memuat kesimpulan yang diperoleh.

## BAB II

### SISTEM TENAGA LISTRIK ,MUTU, DAN KEANDALAN

Sistem Tenaga Listrik adalah rangkaian instalasi tenaga listrik dari sistem pembangkitan, saluran transmisi, gardu induk dan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik. Dari pengertian diatas, tampak bahwa sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang kompleks dengan tiga komponen utama, yaitu sistem pembangkitan, saluran transmisi, gardu induk dan distribusi. Ketiga komponen ini harus saling mendukung satu sama lainnya, agar dapat mencapai tujuan utama dari sebuah sistem tenaga listrik yaitu menyuplai kebutuhan listrik konsumen.

Sasaran dan target yang harus dipenuhi sebuah Sistem Tenaga Listrik antara lain :

- Biaya pembangkitan yang minimal
- Dapat memenuhi kebutuhan energi konsumen
- Menghasilkan energi listrik yang berkualitas dan andal

#### **2.1. Sistem Tenaga Listrik Terpisah (Isolated) dan Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi**

Sistem tenaga listrik biasanya dimulai sebagai sistem yang *isolated* (terpisah), kemudian berkembang secara bertahap, sehingga meliputi daerah yang lebih luas. Kebutuhan akan unit-unit tenaga yang besar dan keandalan yang lebih tinggi mendorong tiadakannya sambungan antara sistem-sistem yang berdekatan yang disebut interkoneksi. Di Indonesia sendiri terdapat

tujuh buah sistem interkoneksi dan lebih dari 600 buah sistem yang *isolated*. Hal ini disebabkan kondisi geografis negara kita yang merupakan negara kepulauan, sehingga sulit untuk dibuat satu sistem yang terinterkoneksi seluruhnya.

### 2.1.1. Sistem Tenaga Listrik Terpisah (*Isolated*)

Biasanya sistem ini diterapkan di daerah yang terpisah secara geografis dari daerah lain, dan diperlukan dana yang besar untuk membangun interkoneksi dengan Sistem tenaga listrik lain. Pulau-pulau dan daerah yang terletak di pegunungan biasanya menerapkan sistem ini. Keuntungan dan kerugian dari sistem *isolated* ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Keuntungan dan kerugian sistem *isolated*

Keuntungan	Kerugian
<ul style="list-style-type: none"><li>• Operasi tidak tergantung pada sistem tenaga listrik lain</li><li>• Tidak mengalami gangguan bila sistem tenaga listrik lain terganggu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kelebihan kapasitas pembangkitan tidak bisa disalurkan</li><li>• Bila kekurangan daya tidak bisa dibantu sistem tenaga listrik lain</li></ul>

### 2.1.2. Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi

Beberapa sistem *isolated* yang terletak berdekatan dapat terhubung satu sama lainnya dengan interkoneksi. Meningkatkannya kebutuhan daya yang harus dilayani suatu sistem *isolated* merupakan salah satu alasan dibangunnya sistem interkoneksi. Keuntungan utama dari sistem ini adalah tiap-tiap sistem tenaga listrik dapat berbagai daya yang dibangkitkannya ke sistem tenaga listrik lain. Sementara kerugian dari sistem ini adalah bila terjadi gangguan pada suatu sistem tenaga listrik, sistem tenaga listrik lain dapat terkena imbasnya. Beberapa keuntungan dan kerugian sistem interkoneksi dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Keuntungan dan kerugian sistem interkoneksi

Keuntungan	Kerugian
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat berbagai daya dengan sistem tenaga listrik lain</li> <li>• Tegangan dan frekuensi lebih stabil</li> <li>• Sistem lebih andal</li> <li>• Perlu lebih sedikit mesin sebagai cadangan untuk beban puncak (kapasitas cadangan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arus hubungan singkat lebih besar, sehingga perlu pemutus- arus dengan kapasitas yang lebih besar.</li> <li>• Gangguan pada suatu sistem dapat menjalar pada sistem lain</li> <li>• Frekuensi nominalnya harus sama</li> </ul>

## 2.2. Mutu dan Keandalan Pasokan Listrik

Listrik telah menjadi komponen utama dalam kehidupan manusia. Oleh karena itu, diperlukan mutu pasokan listrik yang bagus agar kehidupan kita tidak terganggu. Didalam memasok tenaga listrik ke konsumen, harus diperhatikan mengenai mutu listrik dan keandalan pasokan listrik. Mutu tenaga listrik menyangkut nilai tegangan pada setiap titik pada sistem tenaga listrik, nilai frekuensi, total harmonisasi distorsi (THD), nilai kedip tegangan, dan nilai flicker. Keandalan pasokan listrik menyangkut SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*system Average Interruption Frequency Index*).

### 2.2.1. Kontinuitas Pasokan Daya

Kontinuitas pasokan daya dinyatakan sebagai ketersediaan tenaga listrik dalam suatu daerah untuk suatu periode tertentu. Indikator untuk kontinuitas

pelayanan daya ini dinyatakan dalam SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*system Average Interruption Frequency Index*).

SAIDI adalah besaran yang menyatakan perbandingan antara durasi terputusnya pasokan listrik yang dialami oleh konsumen di suatu daerah untuk periode waktu tertentu dengan jumlah total konsumen yang dilayani di daerah tersebut, dan dinyatakan dalam :

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah Lamanya Pemadaman Dalam 1 Tahun}}{\text{Jumlah Pelanggan Yang Dilayani}}$$

atau

$$d = \frac{\sum_{i=1}^m C_i t_i}{N} \text{ jam / tahun}$$

Dimana:

d = SAIDI

M = jumlah pemadaman dalam satu tahun.

$C_i$  = jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman.

$t_i$  = lamanya tiap-tiap pemadaman.

N = jumlah pelanggan yg di layani.

SAIDI sering dinyatakan dalam menit per tahun atau jam per tahun. Semakin kecil harga SAIDI menunjukkan kontinuitas pelayan daya yang semakin baik.

SAIFI merupakan perbandingan antara jumlah interupsi pasokan listrik yang dialami konsumen di suatu daerah untuk periode waktu tertentu terhadap jumlah total konsumen yang dilayani di daerah tersebut. SAIFI dinyatakan dalam :

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Kali Padam Dalam 1 Tahun}}{\text{Jumlah Pelanggan Yang Dilayani}}$$

Atau

$$d = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{N} \text{ pemadaman / tahun}$$

Dimana:

d = SAIFI

M = jumlah pemadaman dalam satu tahun.

$C_i$  = jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman.

N = jumlah pelanggan yg di layani.

Semakin kecil harga SAIFI menunjukkan kinerja sistem yang semakin baik.

### **2.2.2. Mutu Pasokan Daya**

mutu pasokan daya ini meliputi tegangan, frekuensi harmoni, dan kelip tegangan (flicker) . Secara teoritis, kualitas daya yang baik berarti :

- Tegangan yang disuplai ke konsumen stabil dan dalam batas yang ditentukan;
- Frekuensi stabil dan dekat dengan nilai nominalnya;
- Bentuk gelombang tegangan menyerupai gelombang sinusoidal mulus

#### **2.2.2.1.Tegangan**

Tegangan yang diterima di sisi konsumen bervariasi sesuai dengan aliran daya di transmisi dan terutama di distribusi. Awalnya, generator menyuplai daya dengan tegangan yang tetap. Namun, seiring dengan bertambahnya arus beban maka drop tegangan sepanjang saluran juga bertambah. Artinya, perbedaan antara tegangan yang disuplai dengan tegangan yang diterima beban bervariasi sesuai permintaan daya. Di Indonesia , toleransi untuk besar tegangan yang diijinkan adalah -10%, + 5%. Tegangan yang rendah dapat menyebabkan penerangan menjadi redup dan merusak motor listrik. Sementara, tegangan yang terlalu tinggi dapat juga merusak peralatan listrik.

#### **2.2.2.2Frekuensi**

Frekuensi dapat bergeser dari nilai nominalnya jika pembangkitan dan permintaan daya tidak seimbang. Jika permintaan daya melebihi ketersediaan daya aktif pembangkit, energi akan ditarik dari energi kinetik generator yang

akan melambatkan putaran generator. Pada frekuensi rendah, jumlah daya aktif yang ditransmisikan akan lebih sedikit, dan beban akan dihindarkan dari konsumsi daya yang melebihi kapasitas pembangkitan.

Perubahan frekuensi ini sangat dipengaruhi oleh naik turunnya beban dan kesiapan pusat listrik untuk melayani beban, yaitu:

- Daya ( $P_{\text{pembangkit}} < P_{\text{beban}}$ ) maka frekuensi  $< 50$  HZ
- Daya ( $P_{\text{pembangkit}} > P_{\text{beban}}$ ) maka frekuensi  $> 50$  HZ
- Daya ( $P_{\text{pembangkit}} = P_{\text{beban}}$ ) maka frekuensi  $= 50$  HZ

Perusahaan / pemasok listrik harus mengusahakan agar frekuensi sekonstan mungkin, pada umumnya perusahaan listrik dapat mengusahakan agar frekuensi hanya  $\pm 0.1$  pada frekuensi 50 Hz.

### **2.2.2.3. Harmonik.**

Tegangan harmonik adalah tegangan frekwensi kelipatan frekwensi dasar yang digunakan sebagai dasar penilaian faktor distorsi total (total distortion factor). timbulnya tegangan harmonik tidak saja dikarenakan peralatan pemakai yang kurang memenuhi syarat, tetapi juga bisa karena peralatan atau sistem pemasok listrik. Desain generator atau trafo daya yang kurang baik dapat menimbulkan harmonik. Walaupun harmonik ini kecil tegangannya tetapi dengan adanya kemungkinan resonansi besi tegangan harmonik ini bisa jadi besar (amplified). Kasus semacam ini tidak terjadi di sistem kelistrikan Indonesia pada umumnya. Untuk di Indonesia batasan harmonik:

- Pada sistem 20 kV faktor distorsi total yang diijinkan maksimum 5%
- Pada sistem 70 kV faktor distorsi total yang diijinkan maksimum 3%
- Pada sistem 20 kV faktor distorsi total yang diijinkan 2 % selama beberapa puluh menit.

untuk memperoleh faktor distorsi total dapat mempergunakan persamaan:

$$\lambda = \sqrt{\sum_{1}^{\infty} Bn^2}$$

Dimana:

$$Bn = \frac{Un}{U1} \text{ dengan } n \geq 2$$

Atau

$$Bn = \frac{\text{Tegangan harmonik ke } n}{\text{tegangan frkewensi dasar}}$$

Arus harmonik timbul karena adanya beban yg tidak linier. Arus harmonik akan menambah besar arus di penghantar netral. Adanya arus harmonik dapat

meningkatkan rugi jaringan karena energi harmonik tidak dapat diukur meter kWh standar.

#### **2.2.2.4. Kelip Tegangan (Flicker)**

Motor dengan asutan langsung, tanur busur untuk peleburan besi menimbulkan susut tegangan yang mendadak dan berulang-ulang yang besarnya hanya antara 0.5% sampai 6.5%. Susut tegangan ini disebut kelip (flicker). Lampu pijar merupakan peralatan yang dominan dan juga merupakan alat yang paling sensitif terhadap kelip, penelitian tersebut dititik beratkan pada pengaruh kelip pada lampu pijar. Kusus untuk tanur busur listrik beberapa perusahaan listrik mengadakan pengawasan kelip.

### **2.3. Studi Analisa Aliran Daya**

Aliran daya merupakan solusi untuk sistem tenaga listrik dalam kondisi operasi yang statis. Aliran daya dilakukan untuk menentukan :

- Aliran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada tiap cabang jaringan
- Tegangan di busbar
- Efektif dari pengaturan ulang rangkaian dan pemasukan rangkain baru terhadap pembedaan sistem.
- Efek dari kehilangan temporer pembangkit dan saluran transmisi terhadap pembebanan sistem
- Kondisi optimal operasi sistem dan distribusi beban
- Meminimalisir *loss* daya pada sistem
- Perbaikan yang didapat dengan penggantian ukuran konduktor dan tegangan sistem.

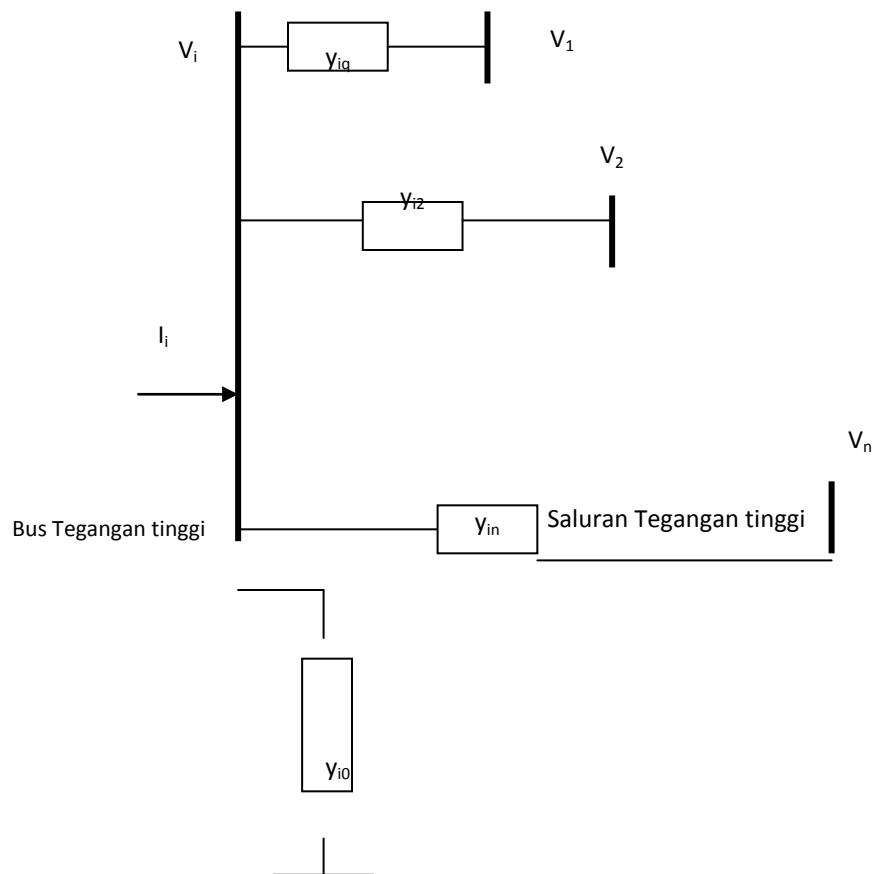
Dalam penyelesaian aliran daya digunakan model fasa tunggal karena biasanya sistem dianggap beroperasi pada keadaan seimbang. Di tiap bus atau titik, terdapat empat variabel yaitu besar tegangan ( $|V|$ ), sudut fasa tegangan ( $\delta$ ), daya aktif ( $P$ ), dan daya reaktif ( $Q$ ). Dua dari empat variabel ini diketahui pada tiap bus dan dua yang lain diperoleh dari hasil aliran daya. Berdasarkan variabel yang diketahui dan yang akan dihitung tersebut, busbar dibagi menjadi tiga kategori, yaitu :

1. Slack Bus/ Swing Bus (Bus Berayun), dimana besar dan sudut fasa tegangan ditentukan. Bus ini menyuplai kehilangan (*loss*) daya aktif dan daya reaktif pada saluran transmisi serta menyeimbangkan kebutuhan daya sistem. Bus ini biasanya adalah bus yang terhubung pada generator.
2. Load Bus (Bus Beban), merupakan bus dimana beban sistem terhubung. Daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$  telah ditentukan, sedangkan besar dan sudut fasa tegangan akan dihitung. Sering disebut juga bus P-Q.
3. Generator Bus/ Voltage- Controlled Bus (Bus Generator), dimana generator-generator terhubung. Pada bus generator nilai daya aktif ( $P$ ) dan besar tegangan  $|V|$  diketahui, sedangkan sudut fasa tegangan  $\delta$  dan daya reaktif  $Q$  akan ditentukan. Sering disebut juga bus P-V :

Jenis Bus	Variabel Diketahui	Variabel Dihitung
<i>Slack/ swing bus</i>	$V$ dan $\delta$	$P$ dan $Q$
Generator/ PV bus	$P$ dan $V$	$\delta$ dan $Q$
Load/ PQ bus	$P$ dan $Q$	$V$ dan $\delta$

### 2.3.1. Perhitungan Aliran Daya

Perhitungan aliran daya sebenarnya tidak berbeda dengan perhitungan rangkaian listrik lainnya. Misalkan suatu bus mempunyai kondisi seperti gambar berikut :



Gambar 2.1 Contoh sistem tegangan listrik Tegangan Tinggi

Dengan Hukum Arus Kirchoff didapatkan persamaan :

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1} V_1 - y_{i2} V_2 - \dots - y_{in} V_n \dots \dots \dots (2.1)$$

dalam bentuk deret,

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \dots \dots \dots (2.2)$$

Daya aktif dan reaktif pada bus tersebut

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \dots \dots \dots (2.3)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \dots \dots \dots (2.4)$$

Substitusi persamaan (2.4) ke persamaan (2.2) :

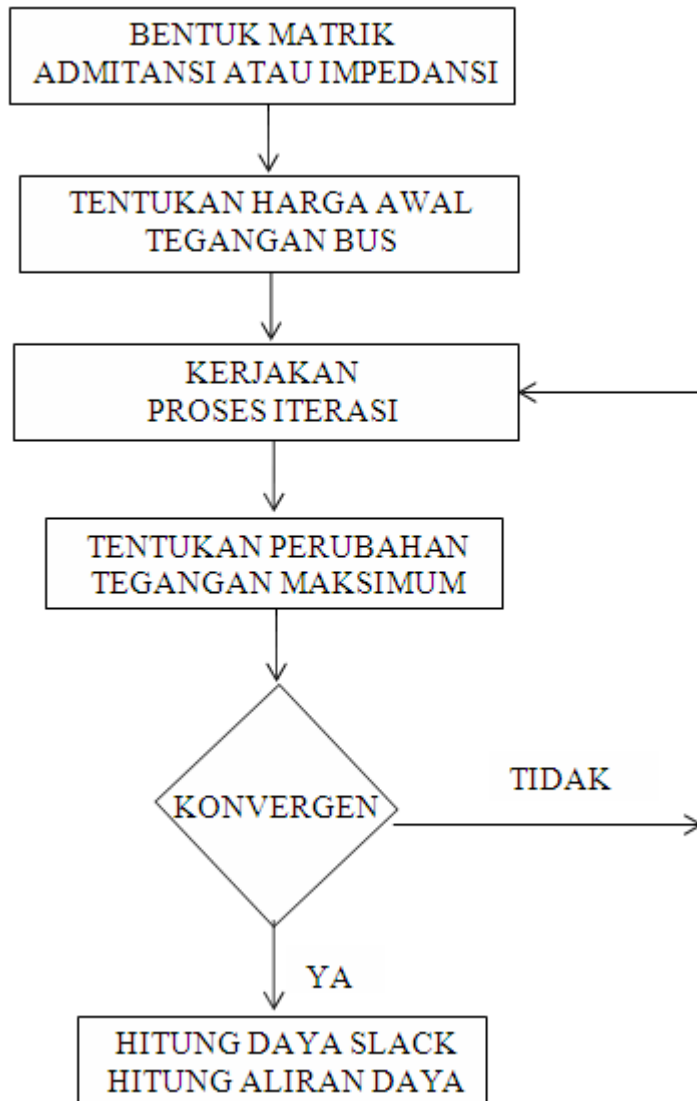
$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \dots\dots\dots (2.5)$$

Dari hubungan di atas tampak bahwa perumusan matematis dari masalah aliran daya menghasilkan sistem persamaan aljabar nonlinier yang harus dipecahkan dengan teknik iterasi.

Untuk menyelesaikan masalah ini, telah banyak metode perhitungan n yang dikembangkan misalnya Gauss Seidel, Newton Rhapson, Fast Decoupled, dan lain-lain. Dari sekian banyak metode yang dikenal, yang paling umum pemakaiannya adalah metode Gauss Seidel dan Newton Rhapson.

**2.3.2. Metode Penyelesaian Studi Aliran Daya**

Untuk menyelesaikan studi aliran daya, metode yang sering digunakan adalah metode *Gauss-Seidel* dan metode *Newton Raphson*. Metode *Newton Raphson* lebih cepat mencapai nilai konvergen sehingga proses iterasi yang berlangsung lebih sedikit tetapi setiap iterasinya memerlukan waktu yang relatif lebih lama, karena jumlah iterasinya sedikit, secara keseluruhan memerlukan waktu yang lebih singkat dalam penyelesaian aliran daya. Secara umum prosedur penyelesaian aliran daya dapat dilihat pada diagram alir dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.2 Diagram Alir Perhitungan Aliran Daya (Sulasno,1993).

### 2.3.3. Metode Newton Rhapson

Dasar dari metode iterasi ini adalah Deret Taylor. Untuk persamaan berikut :

$$f(x) = c$$

$$f(x^{(0)}) + \Delta x^{(0)} = c \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan  $x^{(0)}$  adalah nilai perkiraan awal dari  $\Delta x$  adalah selisih yang sangat kecil dari nilai sebenarnya. Bila dinyatakan dalam deret taylor, maka :

$$f(x^{(0)}) + \left(\frac{df}{dx}\right) \Delta x^{(0)} + \frac{1}{2!} \left(\frac{d^2f}{dx^2}\right) (\Delta x^{(0)})^2 + \dots = c \dots\dots\dots (2.7)$$

Bila dianggap  $\Delta x^{(0)}$  mendekati nol, maka suku-suku orde tinggi dari deret taylor dapat diabaikan sehingga menghasilkan :

$$f(x^{(0)}) + \left(\frac{df}{dx}\right) \Delta x^{(0)} \cong c \text{ atau}$$

$$c - f(x^{(0)}) - \left(\frac{df}{dx}\right) \Delta x^{(0)}$$

$$\Delta c^{(0)} \cong \left( \frac{df}{dx} \right)^{(0)} \Delta x^{(0)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$$\Delta c^{(0)} = c - f(x^{(0)})$$

Bila  $\Delta x^{(0)}$  dijumlahkan ke nilai perkiraan awalnya maka akan didapatkan nilai pendekatan kedua dan demikian seterusnya.

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \Delta x^{(0)}$$

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \frac{\Delta c^{(0)}}{\left( \frac{df}{dx} \right)^{(0)}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Maka dapat diambil prosedur algoritma Newton-Raphson sebagai berikut :

$$\Delta c^{(0)} = c - f(x^{(0)})$$

$$\Delta x^{(0)} = \frac{\Delta c^{(0)}}{\left( \frac{df}{dx} \right)^{(0)}} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \Delta x^{(0)}$$

Persamaan (2.10) dapat disusun kembali menjadi :

$$\Delta c = j \Delta x \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana

$$j = \left( \frac{df}{dx} \right)$$

Bila sistem diperluas menjadi n buah persamaan dengan n variabel yang tak diketahui, maka dalam deret Taylor, dengan mengabaikan orde tingginya, dituliskan :

$$\begin{aligned}
 f_1 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right) \Delta x_2 + \dots + \left( \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right) \Delta x_n &= c_1 \\
 f_2 + \left( \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 + \left( \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right) \Delta x_2 + \dots + \left( \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \right) \Delta x_n &= c_2 \\
 \cdot & \\
 \cdot & \\
 \cdot & \\
 f_n + \left( \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 + \left( \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \right) \Delta x_2 + \dots + \left( \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \right) \Delta x_n &= c_n
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

Dalam bentuk matriks dituliskan :

$$\begin{bmatrix} c_1 - f_1 \\ c_2 - f_2 \\ \vdots \\ c_n - f_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right) & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right) & \dots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right) \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right) & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right) & \dots & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right) & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right) & \dots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dalam bentuk lebih singkat dapat dituliskan

$$\Delta c = J^k \Delta x$$

$$\Delta x = [J^k]^{-1} \Delta c$$

Dengan j(k) disebut Matriks Jacobian.

Maka algoritma Newton-Raphson untuk kasus n dimensi menjadi :

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \Delta X^{(k)} \dots\dots\dots (2.14)$$

**2.3.4. Metode Newton Rhapsion Untuk Solusi Aliran Daya**

Salah satu metode untuk menghitung aliran daya yang terjadi dalam sistem tenaga listrik adalah metode Newton Raphson. Metode Newton Raphson dapat menyelesaikan permasalahan aliran daya untuk sistem lebih besar dengan lebih efektif. Jumlah iterasi yang diperlukan tergantung dari jumlah bus dalam sistem. Persamaan aliran daya ditulis dalam bentuk koordinat polar.

Daya yang mengalir suatu titik (bus) di dalam sistem kelistrikan dipasok dari atau mengalir ke beberapa bus lain. Parameter yang dihitung dalam hal ini adalah tegangan di suatu bus  $i$  ( $V_i$ ) dengan sudut ( $\delta_i$ ). Admittansi antara bus penerima ( $i$ ) dan bus pengirim ( $j$ ) dengan simbol  $Y_{ij}$  dan sudutnya  $\theta_{ij}$ .

Tegangan sistem disimbolkan sebagai :

$$V_j = |V_j| \angle \delta_j \quad (3.1)$$

Admittansi antara dua bus  $i$  dan  $j$  adalah :

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle -\theta_{ij} \quad (3.2)$$

Besar arus yang mengalir dari bus-bus lain ( $j$ ) ke suatu bus ( $i$ ) dapat diperoleh berdasarkan hukum kirchoff sebagai berikut :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle -\theta_{ij} + \delta_j \quad (3.3)$$

Persamaan daya kompleks pada bus  $i$  adalah :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (3.4)$$

Substitusikan (3.3) untuk  $I_i$  ke dalam (3.4),

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \angle -(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (3.5)$$

Dengan memisahkan komponen real dan imajiner, didapatkan persamaan untuk daya aktif dan daya reaktif seperti persamaan di bawah ini :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (3.6)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i + \delta_j) \quad (3.7)$$

Persamaan (3.6) dan (3.7) merupakan persamaan aljabar non-linier, dapat disusun dalam bentuk deret Taylor seperti bentuk matriks Jacobian di bawah ini :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_i \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_n^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2|^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta |V_n|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Pada persamaan di atas, bus 1 dianggap sebagai Slack Bus. Matriks Jacobian akan menunjukkan hubungan yang linier antara perubahan kecil pada sudut tegangan  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan nilai mutlak tegangan  $\Delta |V_i|^{(k)}$  dengan perubahan kecil terhadap daya aktif  $\Delta P_i^{(k)}$  dan reaktif  $\Delta Q_i^{(k)}$ . Komponen dari matriks Jacobian merupakan turunan parsial dari

persamaan (3.6) dan (3.8), terhadap  $\Delta\delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta|V_i|^{(k)}$ . Dalam bentuk sederhana dapat ditulis sebagai :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix}$$

(3.9)

Komponen diagonal dan off-diagonal dari  $J_1$  adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = |V_i|^2 |Y_{ii}| \sin(\theta_{ii}) - Q_i \quad j = i \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad j \neq i$$

(3.11)

Komponen diagonal dan off-diagonal dari  $J_2$  adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |V_i| |Y_{ii}| \cos(\theta_{ii}) + \frac{P_i}{|V_i|} \quad j = i \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad j \neq i \quad (3.13)$$

Komponen diagonal dan off-diagonal dari  $J_3$  adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = P_i - |V_i|^2 |Y_{ii}| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_j) \quad j = i \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad j \neq i \quad (3.15)$$

Komponen diagonal dan off-diagonal dari  $J_4$  adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = |V_i||Y_{ii}| \sin(\theta_{ii}) + \frac{Q_i}{|V_i|} \quad j = i \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = \sum_{j=1}^n |V_i||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad j \neq i \quad (3.17)$$

Besaran  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  adalah selisih dari penjadwalan dengan hasil perhitungan setiap iterasi, atau lebih dikenal dengan power residual (daya sisa). Persamaan daya sisa diberikan oleh :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (3.18)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (3.19)$$

Perkiraan baru untuk tegangan adalah :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (3.20)$$

$$|V_i|^{(k+1)} = |V_i|^{(k)} - \Delta |V_i|^{(k)} \quad (3.21)$$

Proses lengkap penyelesaian aliran daya metode Newton- Raphson adalah sebagai berikut :

1. Untuk PQ bus, dimana daya aktif dan reaktifnya diketahui, tegangan dan sudut tegangan diambil sama dengan slack bus, atau diambil 1 pu untuk tegangan dari

sudut tegangan diambil 0.0. Untuk *PV* bus, dimana daya aktif dan tegangan diketahui, sudut tegangan diambil sama dengan slack bus atau 0.0.

2. Untuk *PQ* bus,  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$  dihitung dari persamaan (3.6) dan (3.7), dan  $\Delta P_i^{(k)}$  serta  $\Delta Q_i^{(k)}$  dihitung dengan menggunakan persamaan (3.18) dan (3.19)
3. Untuk *PV* bus,  $P_i^{(k)}$  , dan  $\Delta P_i^{(k)}$  , dihitung dengan menggunakan persamaan (3.6) dan (3.19).
4. Elemen dari matriks Jacobian ( $J_1$ ,  $J_2$ ,  $J_3$ , dan  $J_4$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan (3.10) - (3.17).
5. Nilai mutlak tegangan dan sudut tegangan yang baru dihitung dengan menggunakan persamaan (3.20) dan (3.21).
6. Proses terus berlanjut sampai didapatkan daya sisa  $\Delta P_i^{(k)}$  , dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  mendekati nilai nol atau sampai keadaan konvergen.

# BAB III

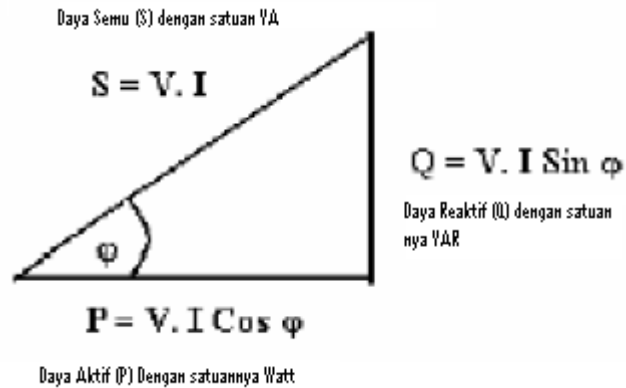
## PERBAIKAN TEGANGAN SISTEM BUS 150kV DENGAN MENGUNAKAN KAPASITOR

### 3.1 Daya Sistem Tenaga listrik

Saluran transmisi dan distribusi sistem tenaga listrik merupakan jaringan yang bersifat reaktif yang dinyatakan dengan induktansi seri dan kapasitansi shunt perkilometer. Hal ini menyebabkan mengalirnya daya reaktif pada saluran transmisi dan distribusi tersebut. Aliran daya reaktif ini berkaitan erat dengan daya aktif dan akan mempengaruhi tegangan pada setiap bus sehingga apabila beban dan faktor daya beban berubah maka profil tegangan di setiap bus saluran transmisi akan berubah jika tegangan tidak memenuhi standar operasi tidak dapat ditolerir karena jika tegangannya rendah akan menyebabkan rugi-rugi daya. Tegangan yang rendah menyebabkan penurunan unjuk kerja dari peralatan beban, seperti motor-motor induksi, peralatan penerangan dan sebagainya. Sehingga perlu diadakan pengontrolan daya reaktif untuk memperbaiki profil tegangan saluran. Daya yang dapat disalurkan melalui saluran transmisi antara sisi pengirim dan sisi penerima ditentukan oleh kemampuan daya hantar saluran.

Pada sistem tenaga listrik arus bolak-balik memiliki 3 jenis daya yaitu daya aktif (P) dengan satuan watt dan daya reaktif (Q) dengan satuannya VAR yang keduanya merupakan besaran skalar. Sedangkan daya semu merupakan besaran vektor dimana  $\hat{S} = P + jQ$  dan mempunyai satuan VA dan bisa juga dinyatakan dengan  $\hat{S} = V \hat{I}^*$ . Jika digambarkan dalam bentuk segitiga daya, maka daya nyata direpresentasikan oleh sisi miring dan daya aktif maupun reaktif direpresentasikan oleh sisi-sisi segitiga yang saling tegak lurus seperti gambar

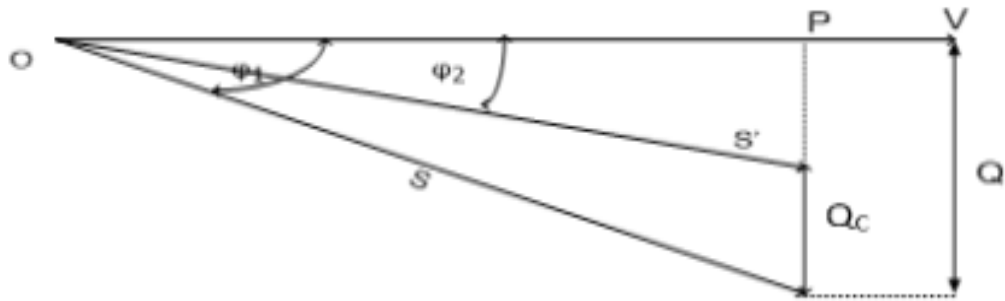
### 3.1



Gambar 3.1. Segi Tiga Daya

Pada umumnya beban listrik pada sistem mempunyai faktor daya yang bersifat induktif. Pada beban seperti ini vektor Arus terbelakang terhadap vektor tegangan, yang dapat digambarkan seperti pada diagram vektor dalam gambar 3.1. dalam keadaan seperti ini vektor arus terdiri dari dua komponen yang sejajar dengan vektor tegangan, yaitu  $I \cdot \cos \theta$ , dan komponen arus yang tegak lurus dengan vektor tegangan yaitu  $I \cdot \sin \theta$ . dari persamaan daya reaktif yaitu  $Q = V \cdot I \cdot \sin \theta$ , terlihat bahwa komponen arus yang berimpit dengan vektor tegangan  $I \cdot \cos \theta$  adalah komponen arus yang membangkitkan daya aktif, dan disebut komponen arus aktif. Demikian pula dengan arus yang tegak lurus dengan vektor tegangan yaitu  $I \cdot \sin \theta$  adalah komponen arus yang membangkitkan daya reaktif, disebut arus reaktif

Dari gambar 3.2 terlihat dengan membesarnya beban reaktif, pada daya aktif yang sama, maka komponen arus reaktif  $I \cdot \sin \theta$  semakin membesarkan sudut antara arus dan tegangan semakin membesar, sehingga  $\cos \theta$  akan semakin mengecil dan berarti p.f semakin kecil, besarnya daya semu (S) semakin membesar, dan arus yang mengalir (I) semakin membesar pula. Hal ini ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 3.2. diagram vektor untuk dua keadaan beban

Terlihat bahwa dengan beban reaktif yang relatif lebih besar, maka faktor dayanya akan lebih kecil atau lebih buruk. Hal ini akan di karenakan beban reaktif yang berlebihan menimbulkan berbagai kerugian di pihak konsumen maupun dipihak perusahaan listrik. Kerugian dipihak konsumen antara lain adalah:

- Perbedaan tegangan listrik pada saat beban ringan dan beban penuh relatif besar, pengaturan tegangannya buruk.
- Instalasi listrik dengan pembatasan arus tertentu untuk melayani daya tertentu memerlukan kapasitas yang lebih besar.

### 3.2.Sumber-sumber Daya Reaktif

Untuk mengkompensasi daya reaktif berlebih pada saluran primer da pat dilakukan dengan memasang sumber daya reaktif tambahan pada saluran tersebut. Sumber-sumber daya reaktif tambahan tersebut dapat berupa antara lain:

- Motor Sinkron

Motor sinkron menjadi sumber daya reaktif apabila motor ini bekerja dengan penguatan berlebih sehingga dia bekerja dengan faktor daya mendahului yang berarti bekerja

seperti sebuah kapasitor sebagai contoh motor sinkron untuk kompensasi ini adalah motor-motor yang ada pada industri.

- Kondensator Sinkron

Kondensator sinkron adalah motor sinkron yang tidak dibebani tapi diberi penguatan berlebih sehingga motor bekerja seperti sebuah kapasitor

- Kapasitor Seri

Kapasitor seri adalah kapasitor yang dipasang seri dengan konduktor kawat atau saluran. Penggunaan kapasitor seri hanya bisa dilakukan untuk:

1. Memperbaiki tegangan pada sisi beban.
2. Mereduksi reaktansi saluran antara sumber dengan beban, sehingga mempertinggi stabilitas saluran.

Kapasitor seri jarang digunakan untuk sumber daya reaktif tambahan guna mengurangi rugi-rugi daya pada saluran, hal ini disebabkan karena:

1. Dengan ukuran atau rating kVAr yang sama, perbaikan p.f dengan kapasitor seri relatif lebih kecil dibandingkan dengan kapasitor shunt.
2. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat dapat menimbulkan tegangan lebih yang cukup.
3. Pada kapasitor seri mengalir arus yang cukup besar yaitu arus beban pada keadaan normal, oleh karena itu tidak dapat diputuskan atau dihubung singkat begitu saja, karena dapat mengganggu pelayanan beban.

- Kapasitor Shunt

Kapasitor shunt adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan kawat atau saluran.

Kapasitor shunt ini terdiri dari unit-unit standar antara 15000-20000 kVAR. Kapasitor shunt biasanya digunakan sebagai sumber daya reaktif tambahan untuk mengurangi rugi-rugi daya pada saluran tersebut.

Ada dua cara dalam pemakaian kapasitor shunt yaitu:

- Kapasitor tetap
- Kapasitor dengan saklar

#### **a.Kapasitor tetap**

Kapasitor tetap adalah kompensasi daya reaktif dengan kapasitor yang selalu terpasang di jaringan. Biasanya digunakan pada saluran yang mempunyai beban reaktif yang relatif konstan, atau mempunyai perubahan beban yang tidak terlalu mencolok. Pada beban yang semacam ini kemungkinan terjadinya kenaikan tegangan dengan dipasangnya kapasitor tetap ini cukup kecil.

#### **b.Kapasitor dengan saklar**

penggunaan kapasitor dengan saklar ini adalah untuk dipasang pada daerah yang mempunyai perubahan beban yg relatif besar. Untuk mendapatkan pengaturan daya reaktif yang dibutuhkan, dilakukan dengan mengatur jumlah kapasitor yang dihubungkan pada saluran tersebut. Hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi kenaikan tegangan yang melebihi batas yang diperbolehkan pada saat beban ringan. Pemutusan dan penyambungan kapasitor shunt pada saluran dapat dilakukan secara manual atau otomatis dengan menggunakan elemen-elemen kontrol tertentu.

Keuntungan yang didapat dengan kapasitor shunt ini dibandingkan dengan sumber daya reaktif lain adalah:

- Harga relatif murah

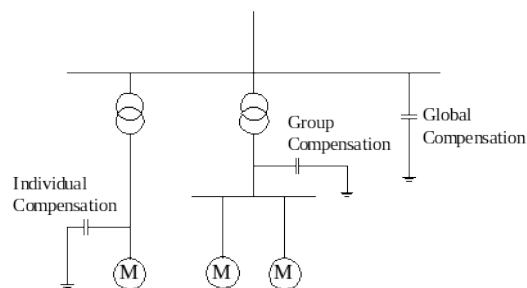
- Ringan dan peraktis pemasangannya
- Tidak mempunyai bagian bergerak
- Operasi dan pemeliharaan mudah

Pemakaian kapasitor ini juga mempunyai beberapa kerugian antara lain:

- Kapasitor mempunyai rating tertentu sehingga kadang-kadang sulit untuk memenuhi ukuran yang tepat
- Jika kapasitor rusak tidak bisa diperbaiki karenanya memerlukan proteksi yang cukup baik

### 3.3. Metoda Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

Metode pemasangan kapasitor tergantung dari fungsi yang diinginkan. Cara pemasangan instalasi kapasitor dibagi menjadi 3 bagian yaitu global compensation, individual compensation, dan group compensation



**Gambar 3.4** Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

#### 1. **Global Compensation**

Dengan metode ini kapasitor dipasang di induk panel (MDP). Arus yang turun dari pemasangan model ini hanya di penghantar antara panel MDP dan transformator. Sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun dengan demikian rugi akibat disipasi panas pada penghantar setelah MDP tidak terpengaruh. Terlebih instalasi tenaga dengan penghantar yang cukup panjang Delta Voltagenya masih cukup besar.

**Kelebihan :**

- Pemanfaatan kompensasi daya reaktifnya lebih baik karena semua motor tidak bekerja pada waktu yang sama.
- Biaya pemeliharaan rendah.

**Kekurangan :**

- Switching peralatan pengaman bisa menimbulkan ledakan.
- Transient yang disebabkan oleh energizing grup kapasitor dalam jumlah besar.
- Hanya memberikan kompensasi pada sisi atasnya (*upstream*).
- Kebutuhan ruang.

**2. *Group Compensation***

Dengan metoda ini kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang dipanel SDP. Cara ini cocok diterapkan pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan kva dan terlebih jarak antara panel MDP dan SDP cukup berjauhan.

**Kelebihan :**

- Biaya pemasangan rendah.
- Kapasitansi pemasangan bisa dimanfaatkan sepenuhnya.
- Biaya pemeliharaan rendah.

**Kekurangan :**

- Perlu dipasang kapasitor bank pada setiap SDP atau MV/LV bus.
- Hanya memberikan kompensasi pada sisi atas.
- Kebutuhan ruangan

**3. *Individual Compensation***

Dengan metoda ini kapasitor langsung dipasang pada masing masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar. Cara ini sebenarnya lebih efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun ada kekurangannya yaitu harus menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut sehingga mengurangi nilai estetika. Disamping itu jika mesin yang dipasang sampai ratusan buah berarti total cost yang diperlukan lebih besar dari metode diatas.

**Kelebihan :**

- Meningkatkan kapasitas saluran suplai.
- Memperbaiki tegangan secara langsung.
- Kapasitor dan beban ON/OFF secara bersamaan.
- Pemeliharaan dan pemasangan unit kapasitor mudah.

## **Kekurangan :**

- Biaya pemasangan tinggi.
- Membutuhkan perhitungan yang banyak
- Kapasitas terpasang tidak dimanfaatkan sepenuhnya
- Terjadi fenomena transient yang besar akibat sering dilakukan switching ON/OFF.
- Waktu kapasitor OFF lebih banyak dibanding waktu kapasitor ON

### **3.4.Operasi Penempatan Kapasitor**

Optimasi pemasangan kapasitor yaitu besar penghematan yang diperoleh dari pemasangan kapasitor untuk mengurangi besaran rugi-rugi dengan memperhatikan besaran-besaran yang telah ditentukan seperti kondisi tegangan pada jaringan.

Untuk menyelesaikan masalah optimalisasi pemasangan kapasitor maka dengan ini digunakan metode aliran daya Newton Raphson yang ada di dalam program PSS/E. Studi aliran daya Newton Raphson telah dibahas di BAB II. Studi aliran daya digunakan untuk menghitung besarnya tegangan dan besarnya rugi-rugi dari tiap bus. Selanjutnya dari simulasi aliran daya dengan menggunakan program PSS/E didapatkan analisa keandalan operasi sistem tenaga listrik dan juga rugi-rugi dayanya. Rugi-rugi daya pada saluran adalah selisih antara daya yang masuk dengan daya kirim pada saluran. Dibawah ini akan dibahas penggunaan program PSS/E untuk mengetahui aliran daya dan tegangan tiap-tiap bus.

### 3.5. Penempatan Kapasitor Dengan Program PSS/E

PSS/E (Power System Simulator for Engineering) merupakan software power system simulation buatan Siemens Power Technologies International PSS/E yang dipakai adalah versi 30.3.2. PSS/E digunakan untuk simulasi perhitungan aliran daya. Sebelum menjalankan PSS/E maka harus dilakukan input data parameter busbar, Transformator, Line, Generator, Beban, Reaktor Shunt maupun Kapasitor.

Gambar.3.5.Input Data Busbar.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Number	Area Name	Zone Number	Zone Name	Owner Number	Owner Name	Code	G-Shunt (MW)	B-Shunt (MVAR)	Voltage (pu)	Angle (deg)
13001	KCDOS	150.0	2	AREA-2	204	T-BDSN72	1		1	0.00	0.00	1.0252	-12.62
13002	BOURTS	150.0	2	AREA-2	202	T-CRATA7	1		1	0.00	0.00	1.0190	-13.15
13003	BOBRTS	150.0	2	AREA-2	202	T-CRATA7	1		1	0.00	0.00	0.9840	-12.56
13004	CORLOS	150.0	2	AREA-2	203	T-BDSN71	1		1	0.00	0.00	0.9840	-12.56
13005	UBRNOS	150.0	2	AREA-2	202	T-CRATA7	1		1	0.00	0.00	1.0347	-11.95
13006	PDLROS	150.0	2	AREA-2	202	T-CRATA7	1		1	0.00	0.00	1.0123	-13.47
13007	CBMATS	150.0	2	AREA-2	202	T-CRATA7	1		1	0.00	0.00	1.0031	-14.29
13008	LOGARS	150.0	2	AREA-2	202	T-CRATA7	1		1	0.00	25.00	1.0172	-12.92

3.6.Gambar. Input Data Transformator

From Bus Number	From Bus Name	To Bus Number	To Bus Name	M	Name	In Service	Metered	Winding 1 Side	Controlled Bus	Controlled Side	Tap Positions	Control Mode	Auto Adjust	Winding EO Code
13262	CBATUS	150.00	17902	CBATU7	500.00	1		From	From	13262	Tapped	16 Voltage	Yes	Turns ratio (pu)
13262	CBATUS	150.00	17902	CBATU7	500.00	2		From	From	13262	Tapped	16 Voltage	Yes	Turns ratio (pu)

From Bus Name	To Bus Name	To Bus Name	Last Bus Number	Last Bus Name	M	Name	In Service	Non-metered End	Winding 1 Side	Winding 2 Side	Winding Data EO Code	Impedance EO Code			
BOGLN7	500.00	13009	BOGLN6	150.00	13001	BOGLN6	70.000	1	BOGLN	All in-service	Last bus	From bus	To bus	Winding voltage (kV)	Zpu (winding base)
BOGLN7	500.00	13009	BOGLN6	150.00	13001	BOGLN6	70.000	2	BOGLN	All in-service	Last bus	From bus	To bus	Winding voltage (kV)	Zpu (winding base)

Gambar.3.7. Input Data Generator

From Bus Number	From Bus Name	To Bus Number	To Bus Name	Id	Line R (pu)	Line X (pu)	Charging (pu)	In-Service	Metered	Rate A (MVA)	Rate B (MVA)
13006	PDLR05	13023	CRAT05	4	0.021900	0.065400	0.021600	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 200.0	200.0
13006	PDLR05	13258	JTLHR5	1	0.023200	0.079200	0.028500	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 139.0	139.0
13006	PDLR05	13258	JTLHR5	2	0.023200	0.079200	0.028500	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 139.0	139.0
13007	CBAT05	13000	NCBBAT5	1	0.001059	0.007253	0.002818	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 392.0	392.0
13007	CBAT05	13000	NCBBAT5	2	0.001059	0.007253	0.002818	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 392.0	392.0
13008	LODAR5	13282	PTUHA5	1	0.007058	0.048356	0.008935	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 392.0	392.0
13008	LODAR5	13282	PTUHA5	2	0.007058	0.048356	0.008935	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 392.0	392.0
13008	LODAR5	13294	NLODAR5	1	0.000529	0.003627	0.001409	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 392.0	392.0
13008	LODAR5	13294	NLODAR5	2	0.000529	0.003627	0.001409	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 392.0	392.0
13009	BDSLH5	13251	PNSIA5	1	0.005500	0.015900	0.005800	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 154.0	154.0
13009	BDSLH5	13251	PNSIA5	2	0.005500	0.015900	0.005800	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 154.0	154.0
13010	RCHK5	13028	MDRCN5	1	0.017700	0.125500	0.085200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 392.0	392.0
13010	RCHK5	13028	MDRCN5	2	0.017700	0.125500	0.085200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	From 392.0	392.0

Gambar.3.8.Input Data Beban

Bus Number	Bus Name	Id	Area Number Name	Zone Number Name	Owner Number Name	In-Service	Pload (MW)	Qload (MVAR)
13270	GDMKR5	150.00	1 AREA-1	12 SPOD	1	<input checked="" type="checkbox"/>	77.0245	17.7531
13271	MKSR5	150.00	2 AREA-2	201 T-CBATU7	1	<input checked="" type="checkbox"/>	29.0498	11.6944
13272	TLJMB5	150.00	2 AREA-2	21 SPRN	1	<input checked="" type="checkbox"/>	29.6119	11.5417
13273	TGLHR5	150.00	2 AREA-2	201 T-CBATU7	1	<input checked="" type="checkbox"/>	29.0498	9.7454
13276	CKSKA5	150.00	2 AREA-2	203 T-BOSN71	1	<input checked="" type="checkbox"/>	64.2797	15.8696
13277	DAGOP5	150.00	2 AREA-2	21 SPRN	1	<input checked="" type="checkbox"/>	38.7330	14.6181
13278	CKLMPAY	150.00	1 AREA-1	21 SPRN	1	<input checked="" type="checkbox"/>	78.5056	24.4104
13279	RCKSB5	150.00	2 AREA-2	203 T-BOSN71	1	<input checked="" type="checkbox"/>	69.3353	13.7057
13280	SKMD5	150.00	2 AREA-2	206 T-MDRCN7	1	<input checked="" type="checkbox"/>	49.3831	10.5238
13281	HRGL5	150.00	2 AREA-2	206 T-MDRCN7	1	<input checked="" type="checkbox"/>	53.5724	13.1864
13283	KANCIS	150.00	2 AREA-2	206 T-MDRCN7	1	<input checked="" type="checkbox"/>	20.2141	6.4730
13284	CKDNG5	150.00	2 AREA-2	206 T-MDRCN7	1	<input checked="" type="checkbox"/>	22.9707	7.3978

Setelah semua data dimasukkan untuk menjalankan program Loads pilih main Toolbar, kemudian pilih menu “solve”



Maka akan keluar menu:

### Loadflow solutions

Newton | Gauss

#### Solution method

- Fixed slope decoupled Newton-Raphson
- Full Newton-Raphson
- Decoupled Newton-Raphson

#### Solution options

##### Tap adjustment

- Lock taps
- Stepping
- Direct

##### Switched shunt adjustments

- Lock all
- Enable all
- Enable continuous, disable discrete

##### Area interchange control

- Disabled
- Tie lines only
- Tie lines and loads

- Flat start
- Non-divergent solution
- Adjust phase shift
- Adjust DC taps

#### VAR limits

- Apply automatically
- Apply immediately
- Ignore
- Apply at  Iterations

Show this window when using the Solve toolbar button

Solve

Defaults

Close

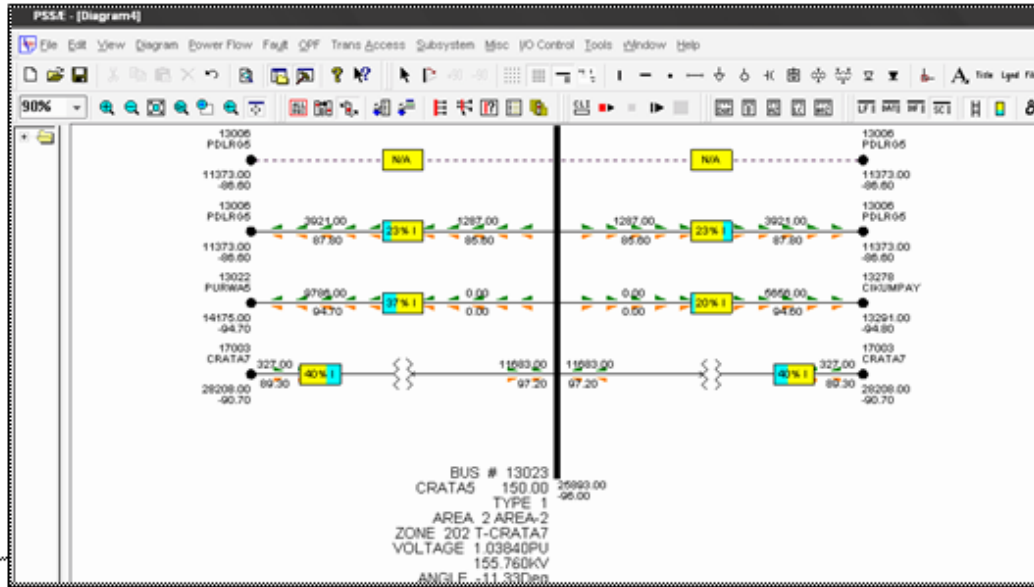
Pilih "Solve", maka akan keluar hasil simulasi sebagai berikut:

```

LARGEST MISMATCH:    0.00 MW    0.01 MVAR    0.01 MVA AT BUS    2001 [PARUNG
500.00]
SYSTEM TOTAL ABSOLUTE MISMATCH:    0.03 MVA

SWING BUS SUMMARY:
BUS# X-- NAME --X BASKV    PGEN    PMAX    PMIN    QGEN    QMAX    QMIN
  30121 SLAYA77    23.000    363.4    600.0    300.0    72.5    360.0    -120.0
  
```

Dan pada layar diagram akan terlihat gambar sebagai berikut:



SIEMENS POWER TECHNOLOGIES INTERNATIONAL

12000 BUS POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS/E-30.3.2

Initiated at load flow entry point on FRI, JUN 06 2008 21:21

PRAKIRAAN LOAD FLOW TAHUN 2011 PEAK LOAD

ORIGINALN LOAD FLOW TAHUN 2011 PEAK LOAD

CASE D:\Pasca\Thesis\PSSE\PSSE BANDUNG\LF2011.sav WAS SAVED ON SAT, MAY 03 2008 21:06

DEFAULT OPTIONS MODIFIED:  
 S.C. UNITS: PHYSICAL  
 S.C. COORDINATES: POLAR  
 DEFAULT TAP ADJUSTMENT: STEPPING

ITER	DELTA P	BUS	DELTA Q	BUS	DELTA/V/	BUS
DELTA ANG						
0	0.0000	( 30100 )	0.0001	( 2001 )	0.05740	( 30101 )
0.00930	( 30113 )					
1	0.0039	( 30102 )	0.5598	( 30102 )	0.04985	( 30101 )
0.00963	( 30113 )					
2	0.0030	( 30102 )	0.3576	( 30100 )	0.00947	( 30100 )
0.00149	( 15045 )					
3	0.0001	( 30100 )	0.0032	( 30100 )	0.00009	( 30100 )
0.00002	( 15045 )					
4	0.0000	( 30100 )	0.0001	( 2001 )		

REACHED TOLERANCE IN 4 ITERATIONS

Setelah didapatkan aliran daya tiap-tiap saluran maka lakukan percobaan pada setiap bus yang tegangannya tidak sesuai mutu tegangan dengan pemasangan kapasitor shunt yang besar kapasitasnya sesuai yang dijual oleh pihak pabrik di pasaran yaitu sebesar 15 Mvar, 20 Mvar, 25 Mvar, dan 50 Mvar. Dengan melakukan percobaan pemasangan kapasitor shunt satu demi satu secara bergantian maka akan di dapatkan aliran daya pada tiap-tiap saluran yg berbeda-beda. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan rugi-rugi daya saluran pada setiap percobaan dengan rumus:

$$\Delta V = V_1 - V_2$$

Dimana:

$\Delta V$  = Rugi-rugi daya pada saluran (MW)

$V_1$  = Daya yg dikirim oleh bus (MW)

$V_2$  = Daya yg di terima oleh bus (MW)

Setelah dilakukan perhitungan rugi-rugi daya saluran pada setiap percobaan maka akan didapatkan penurunan atau peningkatan rugi-rugi daya saluran sebelum dipasang kapasitor shunt. Dari keempat percobaan pemasangan kapasitor shunt secara bergantian tersebut mana yang lebih banyak mengalami penurunan rugi-rugi daya pada saluran yg lebh besar maka lokasi tersebut penempatan kapasitor shunt yang paling optimal.

### 3.6. Penggunaan Analisa Studi Aliran Daya Dalam Penerapan

pemasangan Kapasitor Untuk perbaikan Tegangan Interkoneksi

150KV.

Dalam perhitungan studi aliran daya digunakan metode aliran daya Newton Raphson, dimana metode ini diselesaikan dengan metode koordinat rektangular dan kooordinat polar. Dimana tujuan dari perhitungan aliran daya ini yaitu :

1. Mengetahui daya kirim dan daya terima dari satu bus.
2. Aliran arus pada saluran.
3. Nilai tegangan pada tiap bus

Pada bab IV nanti akan ada penyelesaian bagaimana perhitungan aliran daya dan penempatan kapasitor pada jaringan interkoneksi 150kv untuk perbaikan tegangan dengan menggunakan program PSSE.

## **BAB IV**

### **PEMASANGAN KAPASITOR DI BUS 150 kV SUB REGION BALI UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN**

Pada bab ini dibahas mengenai perbaikan tegangan Sub Region Bali di bus 150kV yang tidak memenuhi standar mutu tegangan dengan pemasangan kapasitor shunt. Permasalahan yang terjadi saat ini adalah adanya penambahan 2 kabel bawah laut yang sedang dalam proses pengerjaan ke Sub Region Bali yang menyebabkan beberapa pembangkit dinon-aktifkan atau pengurangan bahan bakar dan mengoptimalkan transfer daya dari Pulau Jawa. Akibat yang terjadi dengan dimatikannya pembangkit menyebabkan beberapa bus 150kV berada di bawah ketentuan batasan operasi normal / standar tidak memenuhi standar mutu tegangan, dimana untuk tegangan tinggi 150 kV adalah +10% hingga -10%. Bus yang tidak memenuhi standar tersebut antara lain tegangan di bus Nusa Dua, Gianyar, Kapal, dan Kuta. Permasalahan tersebut dapat disimulasikan dengan menggunakan program PSS/E (Power System Simulator for Engineering). Program PSS/E dapat membantu perhitungan dalam penempatan kapasitor yg paling optimal di antara 4 bus tersebut

#### **4.1 Data Sistem 150kV Sub Region Bali**

Operasi sistem tenaga listrik Jawa-Bali dikontrol oleh *Jawa-Bali control center* (JCC) di Gandul yang bertanggung jawab terhadap sekuriti sistem tenaga listrik Jawa-

Bali secara keseluruhan. Operasi sistem tenaga listrik Jawa-Bali dibagi 4 region : Region 1 (Jakarta dan Banten), Region 2 (Jawa Barat), Region 3 (Jawa Tengah dan DI Yogyakarta), Region 4 (Jawa Timur dan Bali). Untuk masing-masing Region dikendalikan oleh satu *Region Control Center (RCC)*. Adapun *Region Control Center (RCC)* Cawang untuk Jakarta dan Banten, *Region Control Center (RCC)* Cigelereng untuk Region Jawa Barat, *Region Control Center (RCC)* Ungaran untuk daerah Jawa Tengah dan DI Yogyakarta serta *Region Control Center (RCC)* Waru untuk daerah Region Jawa Timur dan Bali. Khusus untuk Bali terdapat Sub-Regional Control Center yang secara khusus berfungsi seperti region tetapi secara administratif berada di bawah Region Jawa Timur dan Bali. Sub Region Bali merupakan bagian dari sistem interkoneksi Jawa Madura dan Bali (JAMALI) yang menyuplai PLN distribusi Bali. Tanggung jawab yang dilaksanakan PT PLN (Persero) sub region Bali meliputi perusahaan transmisi dan pengaturan beban di Sub Region Bali. Distribusi Bali saat ini terbagi atas 5 (lima) Area dan 13 Rayon, yakni:

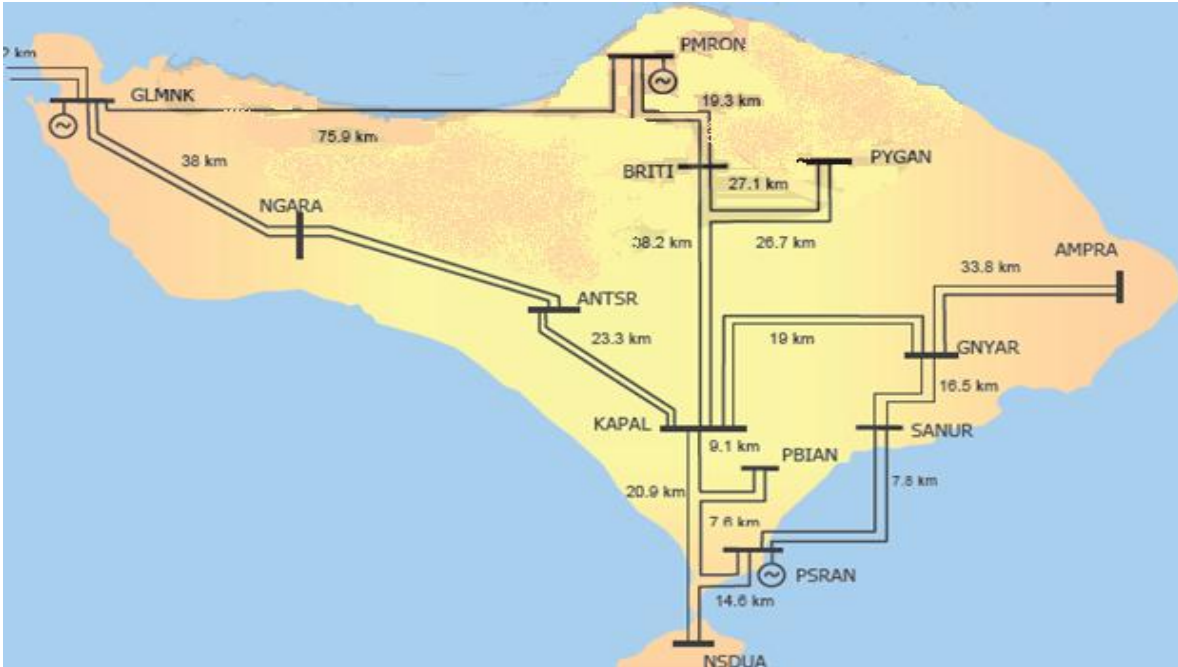
1. Area Pelayanan Prima (APP)
2. Area Pengatur Distribusi (APD)
3. Area Bali Selatan
  - Rayon Denpasar
  - Rayon Kuta
  - Rayon Mengwi
  - Rayon Tabanan
4. Area Bali Timur
  - Rayon Singaraja

- Rayon Tejakula
- Rayon Seririt
- Rayon Negara
- Rayon Gilimanuk

#### 5. Area Bali Utara

- Rayon Klungkung
- Rayon Gianyar
- Rayon Bangli
- Rayon Karangasem

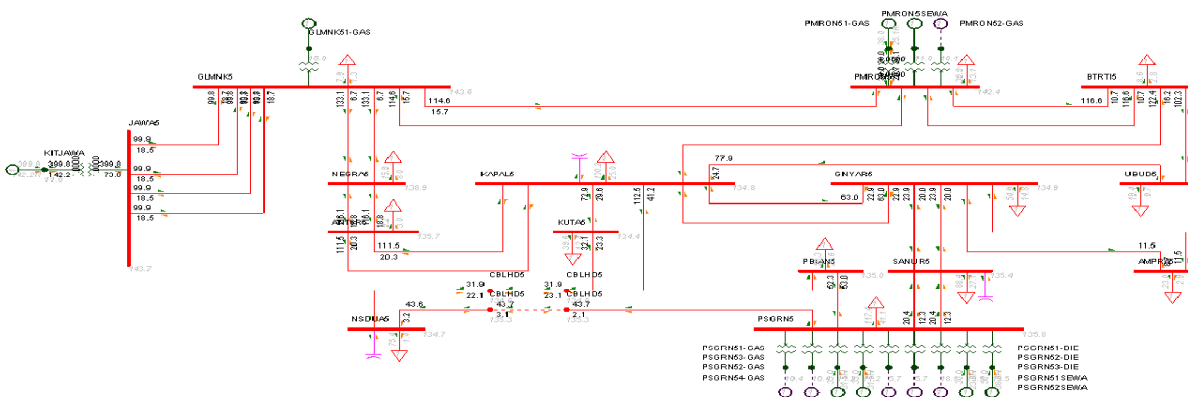
Sub Region Bali juga memiliki 13 Bus 150 kV yaitu bus Gilimanuk, Negara, Nusa Dua, Gianyar, Antasari, kapal, Pamaron , Baturiti, Ampera, Pesanggaran, Sanur, Pabian, dan Pamaron. Dimana ke 14 bus ini memiliki karakteristik masing-masing. Gambaran ke 14 bus ini dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1. Topologi Jaringan 150kV Sub Region Bali

#### 4.1.1 Data Bus

Bus 150kV Nusa Dua, Gianyar, Kapal, dan Kuta adalah beberapa dari bus yang tidak langsung terhubung dengan pembangkit listrik. Pada Gambar 4.2 dijabarkan diagram satu garis dari dari region bali termasuk ke 4 bus tersebut.



Gambar 4.2 Diagram satu garis Sub Region Bali

#### 4.1.2 Data Impedansi Saluran

Penghantar yang digunakan pada 4 bus tersebut berbeda-beda. Penghantar antar bus Nusa Dua-kuta, dan Kuta-kapal penghantarnya menggunakan tipe ACSR, HAWK 241,7 mm<sup>2</sup>, 1 kali konfigurasi, resistans 0.0860 Ω/km, reaktansi 0.2618 Ω/km. Untuk Kapal-Gianyar menggunakan tipe ACSR, PARTRIDGE 152,7m<sup>2</sup>, 1 kali konfigurasi, resistans 0.01424 Ω/km, reaktansi 0.02638 Ω/km. Berikut ini akan diperlihatkan pada tabel 4.1 data panjang dan saluran impedansi tiap bus.

#### 4.1.3 Data Pembangkit dan Beban

Masing-masing bus memiliki karakteristik beban dan komposisi pembangkit yang berbeda-beda. Karakter. Pembangkit yang beroperasi di sub region bali merupakan pembangkit termal yg terdiri dari beberapa Pembangkit listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan bahan bakar High Speed Diesel (HSD). Hal ini menyebabkan biaya pembangkit di Bali Relatif Mahal. Selain unit pembangkit ,kebutuhan daya di sub region bali juga di pasok dari pulau jawa melalui Saluran Kabel Laut (SKLT). Tipikal komposisi beban masing-masing region pada saat beban puncak dan komposisi pembangkit pada masing-masing bus adalah sebagai berikut :

Tabel.4.1.Data Impedansi Saluran

No Bus	Nama Bus Dari	No Bus	Nama Bus ke	Resistansi ( $\Omega$ /km)	Reaktansi ( $\Omega$ /km)	Panjang Saluran (km)
55000	AMPRA5 150.00	55007	GNYAR5 150.00	0.031993	0.059276	33.7
55000	AMPRA5 150.00	55007	GNYAR5 150.00	0.031993	0.059276	33.7
55001	ANTSR5 150.00	55008	KAPAL5 150.00	0.013244	0.040323	23.1
55001	ANTSR5 150.00	55008	KAPAL5 150.00	0.013244	0.040323	23.1
55001	ANTSR5 150.00	55009	NEGRA5 150.00	0.025456	0.077503	44.4
55001	ANTSR5 150.00	55009	NEGRA5 150.00	0.025456	0.077503	44.4
55004	BTRTI5 150.00	55008	KAPAL5 150.00	0.036237	0.069088	38.1
55004	BTRTI5 150.00	55014	PMRON5 150.00	0.018261	0.033772	19.2
55004	BTRTI5 150.00	55014	PMRON5 150.00	0.018261	0.033772	19.2
55004	BTRTI5 150.00	55017	UBUD5 150.00	0.026631	0.050773	28
55006	GUMNK5 150.00	55009	NEGRA5 150.00	0.022016	0.06703	38.4
55006	GUMNK5 150.00	55009	NEGRA5 150.00	0.022016	0.06703	38.4
55006	GUMNK5 150.00	55014	PMRON5 150.00	0.02176	0.08953	75.9
55006	GUMNK5 150.00	55014	PMRON5 150.00	0.02176	0.08953	75.9
55006	GUMNK5 150.00	55105	JAWA5 150.00	0.001	0.00307	1.7
55006	GUMNK5 150.00	55105	JAWA5 150.00	0.001	0.00307	1.7
55006	GUMNK5 150.00	55105	JAWA5 150.00	0.001	0.00307	1.7
55006	GUMNK5 150.00	55105	JAWA5 150.00	0.001	0.00307	1.7
55007	GNYAR5 150.00	55008	KAPAL5 150.00	0.011008	0.033515	19.2
55007	GNYAR5 150.00	55008	KAPAL5 150.00	0.011008	0.033515	19.2
55007	GNYAR5 150.00	55016	SANUR5 150.00	0.00935	0.02845	16.3
55007	GNYAR5 150.00	55016	SANUR5 150.00	0.00935	0.02845	16.3
55008	KAPAL5 150.00	55010	KUTA5 150.00	0.015474	0.029557	16.3
55008	KAPAL5 150.00	55013	PBIAN5 150.00	0.005229	0.016412	9.12
55008	KAPAL5 150.00	55017	UBUD5 150.00	0.020639	0.039349	21.7
55010	KUTA5 150.00	55100	CBLHD5 150.00	0.00985	0.01826	10.4
55012	NSDUA5 150.00	55102	CBLHD5 150.00	0.00684	0.01266	7.2
55012	NSDUA5 150.00	55104	CBLHD5 150.00	0.00684	0.01266	7.2
55013	PBIAN5 150.00	55015	PSGRN5 150.00	0.004357	0.013677	7.6
55015	PSGRN5 150.00	55016	SANUR5 150.00	0.002682	0.01314	7.6
55015	PSGRN5 150.00	55016	SANUR5 150.00	0.002682	0.01314	7.6
55015	PSGRN5 150.00	55103	CBLHD5 150.00	0.00589	0.01091	6.2
55100	CBLHD5 150.00	55102	CBLHD5 150.00	0.00067	0.00155	2
55103	CBLHD5 150.00	55104	CBLHD5 150.00	0.00067	0.00155	2

Tabel 4.2. Karakteristik Beban

No Bus	Bus Name	Pload (MW)	Qload (Mvar)
55000	AMPRA5 150.00	22.9838	2.873
55001	ANTSR5 150.00	9.2016	3.0244
55004	BTRTI5 150.00	8.5531	2.8113
55006	GLMKN5 150.00	7.9045	1.3174
55007	GNYAR5 150.00	54.9249	14.7875
55008	KAPAL5 150.00	100.1639	25.041
55009	NEGRA5 150.00	16.8866	8.0412
55010	KUTA5 150.00	39.577	12.3678
55012	NSDUA5 150.00	75.356	1.4218
55013	PBIAN5 150.00	59.2633	29.6317
55014	PMRON5 150.00	39.8696	13.1045
55015	PSGRN5 150.00	117.3587	41.0756
55016	SANUR5 150.00	88.4085	27.0638
55017	UBUD5 150.00	19.4166	9.7083

Tabel 4.3 Data Pembangkit

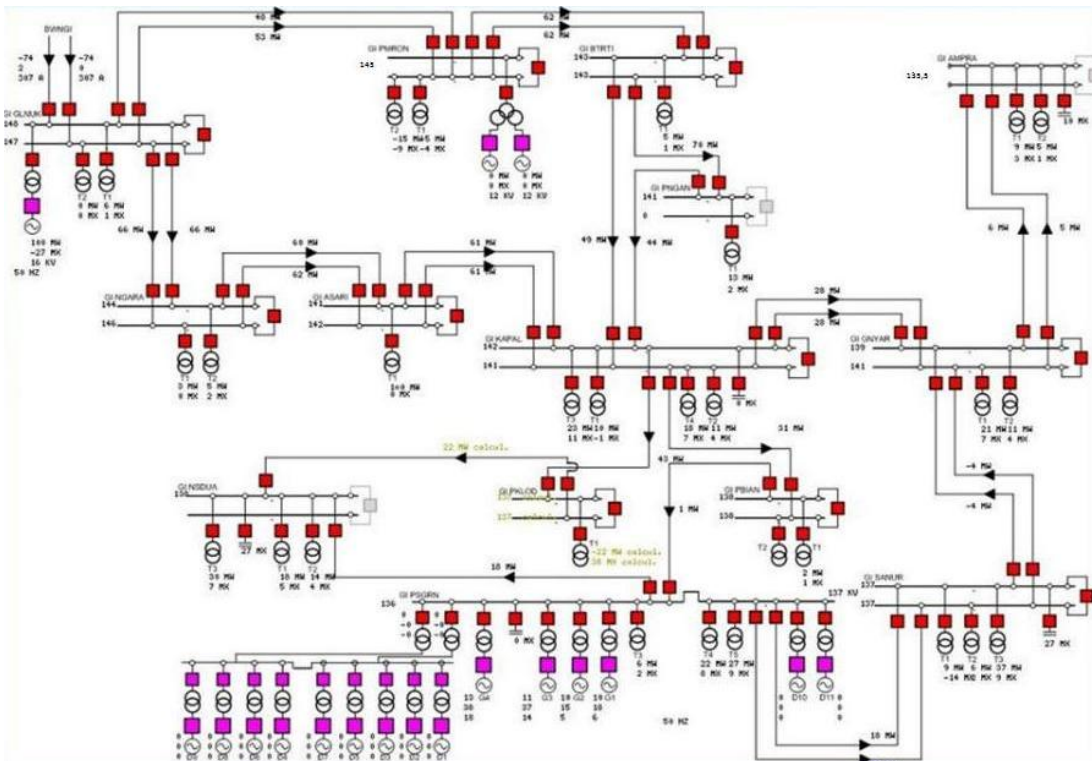
Bus Number	Bus Name	Pgen (MW)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qgen (Mvar)	Qmax (Mvar)	Qmin (Mvar)
51000	PSGRN51-DIE 6.3000	12	12	4.8	4.5299	9	-7.902

51001	PSGRN52-DIE 6.3000	12	12	4.8	4.5299	9	-7.902
51011	PSGRN53-DIE 20.000	5	5	2	1.8874	3.75	-3.292
51100	PSGRN51SEWA 20.000	30	30	12	23	23	-20
51101	PSGRN52SEWA 20.000	50	50	20	38	38	-33
52001	KITJAWA 11.000	399.7923	615	246	142.2364	381.143	- 225.922
52006	PMRON51-GAS 11.000	18	49	19.6	26.033	36.75	-32.265
52008	PMRON52-GAS 11.000	30	49	19.6	24.0476	36.75	-32.265
52009	PSGRN51-GAS 11.500	21	21	8.4	7.9272	15.75	-13.828
52010	PSGRN52-GAS 11.500	20	20	8	7.5498	15	-13.17
52011	PSGRN53-GAS 11.500	35	42	16.8	31.5	31.5	-27.656
52012	PSGRN54-GAS 11.500	35	42	16.8	31.5	31.5	-27.656
52014	GLMKN51-GAS	104	130	58.4	68.1443	109.5	-96.138

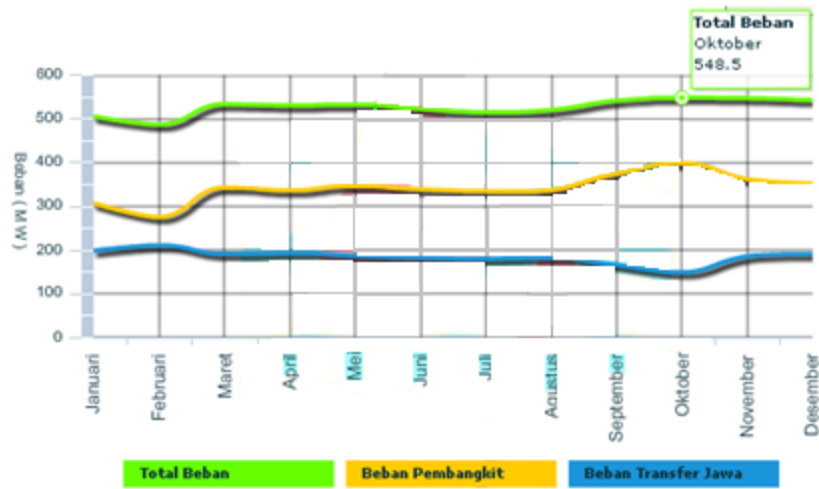
	16.000						
52100	PMRON5SEWA	11.000	38	45	18	25.1281	34
							-30

## 4.2 Aliran Daya Sistem Bali

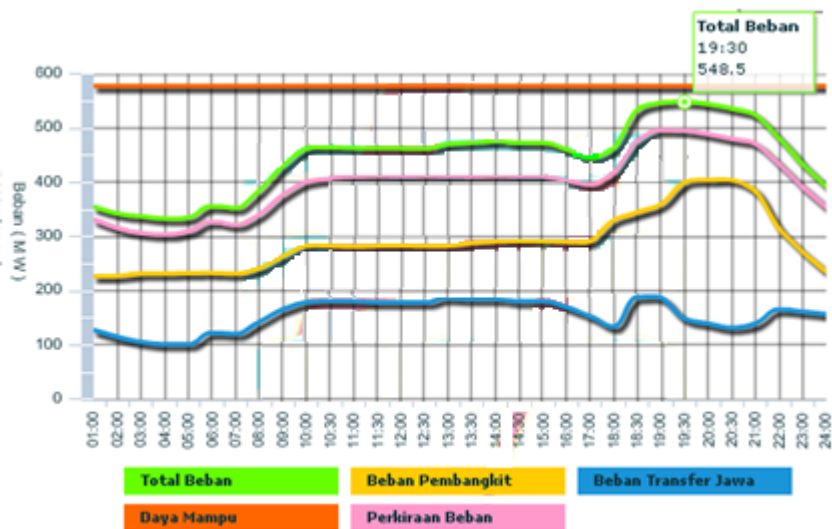
Secara umum karakteristik beban sub region bali rendah pada siang hari dan beban puncak terjadi pada malam hari. kondisi sistem pada periode beban puncak 2010 dapat dilihat pada gambar 4.3, gambar 4.4 dan gambar 4.5 yaitu aliran daya pada subsistem 150 kV saat beban puncak pada tanggal 05-10-2010 pukul 19:30 WIB sebesar 548.5 MW.



4.3. Diagram satu Garis Sub region Bali dalam keadaan beban puncak



4.3. Kurva beban tahunan Sub Region Bali tahun 2010.



4.5. Kurva beban harian Sub Region Bali

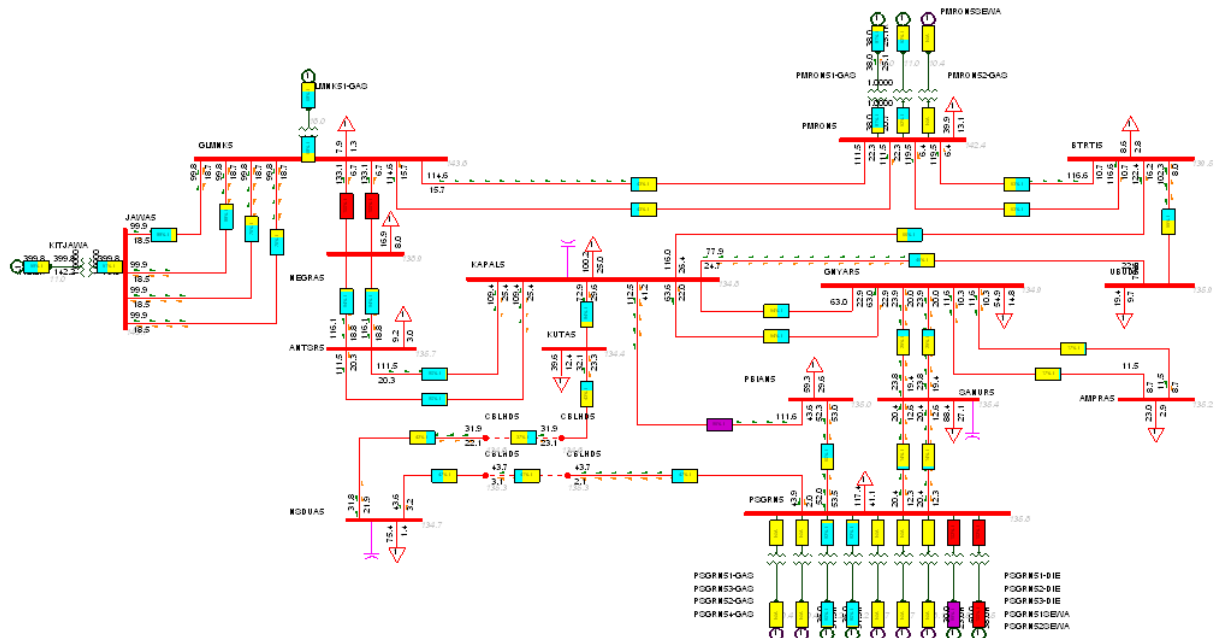
### **4.3 Perhitungan Besar Kapasitas dan Lokasi Pemasangan Kapasitor Shunt**

Untuk mendapatkan analisa dan perhitungan yang nantinya membantu dalam menyelesaikan permasalahan optimasi kapasitor, penulis menggunakan metode newton-raphson yg sudah ada di dalam program PSS/E. Tahap pertama yaitu membuat simulasi aliran daya region bali menggunakan program PSS/E, setelah itu pilih metode newton-raphson untuk menjalankan program simulasi aliran dayanya. Setelah dijalankan akan terlihat besarnya tegangan di tiap bus dan besarnya rugi-rugi saluran sebelum dan sesudah di pasang kapasitor.

#### **4.3.1 Penambahan 2 Kabel Bawah laut Sebelum Dipasang**

##### **Kapasitor Shunt**

Saat ini pulau bali sedang dalam proses pengerjaan penambahan kabel bawah laut. Dengan mengoptimalkan transfer dari pulau jawa maka ada beberapa pembangkit di region bali di non-aktifkan dan pengurangan bahan bakar. Pembangkit yang di non-aktifkan yaitu 3 PLTD Pesanggaran, 2 PLTG Pesanggaran dan 1 PLTG Pamaron. Pembangkit yang daya berkurang di akibatkan pengurang bahan bakar adalah pembangkit di PLTG Pamaron pengurangannya sebesar 22 MW dan PLTD sewa sebesar 2 MW. Tetapi ada beberapa pembangkit yang harus ditambah dayanya yaitu PLTG Gilimanuk sebesar 4 MW. Berikut ini akan diperlihatkan simulasi aliran daya region bali dengan penambahan 2 kabel bawah laut dengan mengurangi daya yang disalurkan dan menon-aktifkan beberapa pembangkit.



4.6 Gambar simulasi aliran daya dengan mengoptimalkan 4 kabel bawah laut

Tabel.4.4. perhitungan studi aliran daya

No	Bus kirim	Bus masuk	Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.8	32.1	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.6	43.9	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.7	72.9	1.2
4	KAPAL	ANTSR	109.4	111.5	2.1
5	KAPAL	BTRITI	116	127.4	6.4
6	KAPAL	UBUT	77.9	79.6	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.6	0.6

### **4.3.2. Penambahan 2 Kabel Bawah Laut Sesudah Dipasang**

#### **kapasitor Shunt**

Berdasarkan simulasi aliran daya yang diperlihatkan pada gambar 4.6 didapatkan data bahwa ada 4 bus yang tidak sesuai dengan mutu tegangan yaitu bus di Nusa Dua, Gianyar, Kapal, dan Kuta. Untuk memperbaiki tegangan di 4 bus tersebut dengan menggunakan kapasitor shunt. Pemilihan peletakan kapasitor shunt yang paling optimal adalah yang memiliki perubahan rugi-rugi yang lebih kecil dari rugi-rugi sebelum di pasang kapasitor shunt. Berikut ini akan di tampilkan beberapa pemilihan penempatan kapasitor yang paling optimal dan memiliki rugi-rugi daya yg lebih kecil.

#### **4.3.2.1 Penambahan Kapasitor shunt di bus 150 kV Kapal**

Pada bus 150 kV kapal sudah terpasang kapasitor shunt sebesar 15 Mvar. Ada 3 percobaan peletakan kapasitor shunt di bus 150 kV kapal berdasarkan besar Mvar nya. Percobaan pertama mengganti kapasitor shunt di bus 150 kV kapal dengan kapasitor shunt sebesar 20 Mvar yang mengakibatkan rugi-rugi saluran berkurang sebesar 0.1 MW di saluran antara kapal-kuta dan kapal-baturiti. Percobaan kedua mengganti kapasitor yang sudah terpasang sebesar 25 Mvar yang mengakibatkan rugi-rugi saluran berkurang sebesar 0.1 MW di saluran Kapal-Kuta dan Kapal-Baturiti. Di percobaan kedua ini juga mengakibatkan

kenaikan rugi-rugi saluran sebesar 0.4 di saluran Kuta-Nusa Dua. Percobaan ketiga yaitu mengganti kapasitor shunt yang sudah ada dengan kapasitor shunt sebesar 50 Mvar yang mengakibatkan pengurangan rugi-rugi saluran sebesar 0.1 MW di saluran Pesanggaran-Nusa Dua, Kapal-Gianyar dan sebesar 0.2 MW di saluran kapal-baturiti. Perhitungan rugi-rugi saluran ketiga percobaan ini dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Perhitungan Rugi-Rugi Saluran Akibat Pemasangan

Kapasitor di bus 150 kV Kapal

No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 20 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.8	32.1	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.6	43.9	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.7	72.8	1.1
4	KAPAL	ANTSR	109.5	111.6	2.1
5	KAPAL	BTRITI	115.9	122.2	6.3
6	KAPAL	UBUT	77.8	79.5	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.6	0.6
No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 50 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.8	32.1	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.6	43.8	0.2
3	KAPAL	KUTA	71.7	72.9	1.2

4	KAPAL	ANTSR	110	112.1	2.1
5	KAPAL	BTRITI	115.2	121.4	6.2
6	KAPAL	UBUT	77.2	78.9	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.5	0.5
No	Bus	Bus	Pemasangan Kapasitor shunt 25 Mvar		
	kirim	masuk	Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.7	32.1	0.4
2	PSGRN	NSDUA	43.6	43.9	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.7	72.8	1.1
4	KAPAL	ANTSR	109.6	111.7	2.1
5	KAPAL	BTRITI	115.7	122	6.3
6	KAPAL	UBUT	77.7	79.4	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.6	0.6

#### 4.3.2.2. Penambahan Kapasitor shunt di bus 150 kV Nusa

##### Dua

Pada bus 150 kV kapal sudah terpasang kapasitor shunt sebesar 25 Mvar. Percobaan pada bus ini yaitu mengganti kapasitor shunt di bus 150 kV Nusa Dua dengan kapasitor shunt sebesar 50 Mvar yang mengakibatkan rugi-rugi saluran berkurang sebesar 0.2 MW disaluran Kapal-Baturiti. Perhitungan rugi-rugi saluran pada percobaan ini dapat dilihat di tabel 4.6

Tabel 4.6.Pemasangan Kapasitor shunt 50 Mvar di Bus 150 kV di Nusa  
dua

No	Bus kirim	Bus masuk	Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.4	31.8	0.4
2	PSGRN	NSDUA	44	44.3	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.3	72.6	1.3
4	KAPAL	ANTSR	110	112.1	2.1
5	KAPAL	BTRITI	115.5	121.7	6.2
6	KAPAL	UBUT	77.4	79.1	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63.1	63.7	0.6

#### 4.3.2.3 Pemasangan Kapasitor shunt di bus 150 kV Gianyar

Pada bus 150 kV Gianyar sebelum nya tidak ada pemasangan kapasitor. Ada 4 percobaan pemasangan kapasitor shunt di bus 150 kV Gianyar berdasarkan besar Mvar nya. Percobaan pertama pemasangan kapasitor shunt di bus 150 kV Gianyar dengan kapasitor shunt sebesar 15 Mvar yang mengakibatkan rugi-rugi saluran berkurang sebesar 0.1 MW di saluran antara Kapal-Antasari dan Kapal-Baturiti. Pada percobaan pertama ini saluran Kuta-Nusa Dua dan Kapal-Gianyar mengalami kenaikan rugi-rugi saluran masing-masing sebesar 0.1 MW. Pada percobaan kedua pemasangan kapasitor shunt sebesar 20 Mvar

yang mengakibatkan rugi-rugi saluran berkurang sebesar 0.1 MW di saluran Kapal-Kuta, Kapal-Antasari, dan sebesar 0.2 MW di saluran Kapal-Baturiti. Di percobaan kedua ini juga mengakibatkan kenaikan rugi-rugi saluran sebesar 0.1 di saluran Kapal-Gianyar. Pada percobaan ketiga pemasangan kapasitor shunt sebesar 25 Mvar yang mengakibatkan pengurangan rugi-rugi saluran sebesar 0.1 MW di saluran Kapal-Kuta, Kapal-Antasari, dan sebesar 5.9 MW di saluran Kapal-Baturiti. Pada percobaan keempat pemasangan kapasitor shunt sebesar 50 Mvar yang mengakibatkan rugi-rugi saluran berkurang sebesar 0.1 MW di saluran Kapal-Kuta, Kapal-Antasari, dan sebesar 0.2 MW di saluran Kapal-Baturiti. Di percobaan keempat ini juga mengakibatkan kenaikan rugi-rugi saluran sebesar 0.1 di saluran Kapal-Gianyar. Perhitungan rugi-rugi saluran keempat percobaan ini dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel.4.7. Perhitungan Rugi-Rugi Saluran Pemasangan Kapasitor Shunt di bus 150 kV Gianyar

No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 15 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.5	31.9	0.4
2	PSGRN	NSDUA	43.8	44.1	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.4	72.6	1.2
4	KAPAL	ANTSR	109.8	111.8	2

5	KAPAL	BTRITI	115.6	121.9	6.3
6	KAPAL	UBUT	77.6	79.3	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.7	0.7
No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor Shunt 20 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.5	31.8	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.8	44.1	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.4	72.5	1.1
4	KAPAL	ANTSR	110.2	112.2	2
5	KAPAL	BTRITI	115.1	121.3	6.2
6	KAPAL	UBUT	77.2	78.9	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.7	0.7
No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 25 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.5	31.8	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.9	44.2	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.4	72.5	1.1
4	KAPAL	ANTSR	110	112	2
5	KAPAL	BTRITI	115.4	115.9	0.5
6	KAPAL	UBUT	77.4	79.1	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.7	0.7
No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 50 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)

1	KUTA	NSDUA	31.8	32.1	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.8	44.1	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.4	72.5	1.1
4	KAPAL	ANTSR	110.2	112.2	2
5	KAPAL	BTRITI	115.1	121.3	6.2
6	KAPAL	UBUT	77.2	78.9	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.7	0.7

#### 4.3.2.4 Pemasangan Kapasitor shunt di bus 150 kV Kuta

Pada bus 150 kV Gianyar sebelumnya tidak ada pemasangan kapasitor. Ada 4 percobaan pemasangan kapasitor shunt di bus 150 kV Kuta berdasarkan besar Mvar nya. Percobaan pertama pemasangan kapasitor shunt di bus 150 kV Kuta dengan kapasitor shunt sebesar 15 Mvar. Pada percobaan pertama ini tidak ada pengurangan atau penambahan rugi-rugi saluran. Pada percobaan kedua pemasangan kapasitor shunt sebesar 20 Mvar yang mengakibatkan rugi-rugi saluran berkurang sebesar 0.1 MW di saluran Kapal-Antasari, dan sebesar 0.2 MW di saluran Kapal-Baturiti. Di percobaan kedua ini juga mengakibatkan kenaikan rugi-rugi saluran sebesar 0.2 di saluran Kapal-Kuta. Pada percobaan ketiga pemasangan kapasitor shunt sebesar 25 Mvar yang mengakibatkan pengurangan rugi-rugi saluran sebesar 0.2 MW di saluran Kapal-Baturiti, dan sebesar 0.1 MW di saluran Kuta-Nusa

Dua. Di percobaan ketiga ini juga mengakibatkan kenaikan rugi-rugi saluran sebesar 0.1 MW di saluran Kapal-Kuta. Pada percobaan keempat pemasangan kapasitor shunt sebesar 50 Mvar yang mengakibatkan rugi-rugi saluran berkurang sebesar 5.9 MW di saluran Kapal-Baturiti. Di percobaan keempat ini juga mengakibatkan kenaikan rugi-rugi saluran sebesar 0.4 di saluran Kapal-Kuta. Perhitungan rugi-rugi saluran keempat percobaan ini dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.8. Perhitungan Rugi-Rugi Saluran Pemasangan Kapasitor

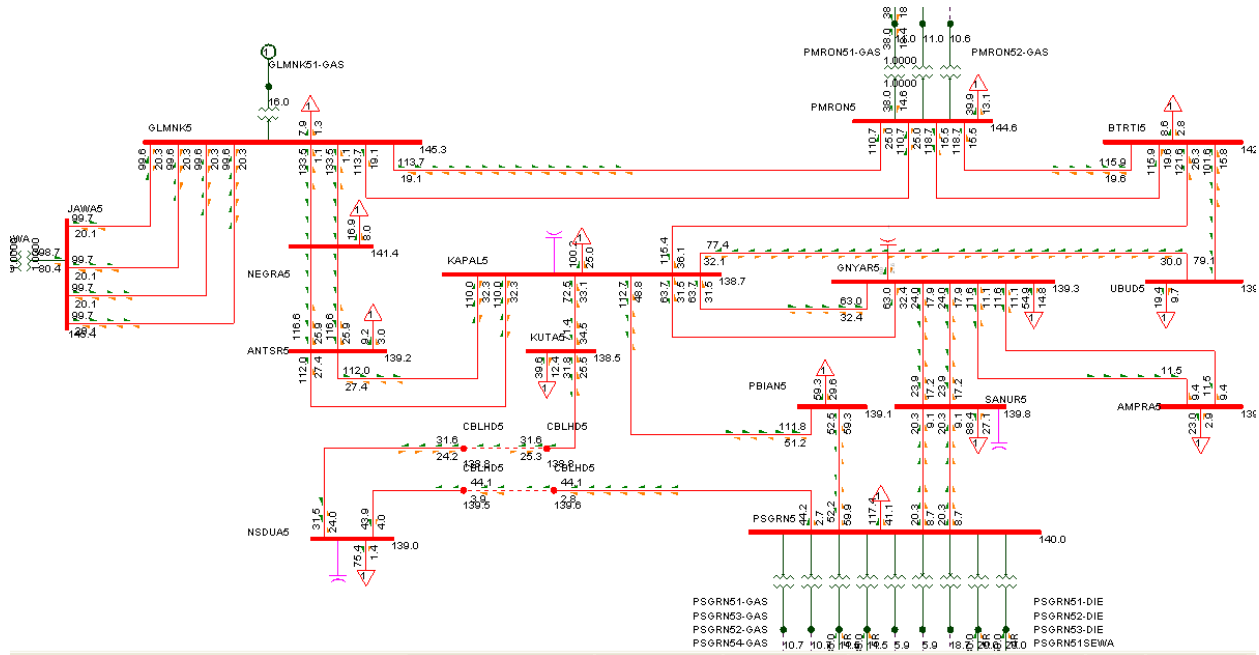
Shunt di bus 150 kV Kuta

No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 15 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.8	32.1	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.6	43.9	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.7	72.9	1.2
4	KAPAL	ANTSR	109.4	111.5	2.1
5	KAPAL	BTRITI	116	122.4	6.4
6	KAPAL	UBUT	77.9	79.6	1.7

7	KAPAL	GNYAR	63	63.6	0.6
No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 20 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.7	32	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.7	44	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.5	72.9	1.4
4	KAPAL	ANTSR	110	112	2
5	KAPAL	BTRITI	115.4	121.6	6.2
6	KAPAL	UBUT	77.4	79.1	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.6	0.6
No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 25 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)
1	KUTA	NSDUA	31.7	31.9	0.2
2	PSGRN	NSDUA	43.7	44	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.5	72.8	1.3
4	KAPAL	ANTSR	109.9	112	2.1
5	KAPAL	BTRITI	115.5	121.7	6.2
6	KAPAL	UBUT	77.5	79.2	1.7
7	KAPAL	GNYAR	63	63.6	0.6
No	Bus kirim	Bus masuk	Pemasangan Kapasitor shunt 50 Mvar		
			Daya masuk (MW)	Daya kirim (MW)	RugiRugi (MW)

1	KUTA	NSDUA	32	32.3	0.3
2	PSGRN	NSDUA	43.4	43.7	0.3
3	KAPAL	KUTA	71.8	73.4	1.6
4	KAPAL	ANTSR	110.3	112.3	2
5	KAPAL	BTRITI	115.2	115.7	0.5
6	KAPAL	UBUT	77.2	78.9	1.7
7	KAPAL	GNYAR	62.9	63.5	0.6

Dalam studi kasus ini penempatan kapasitor shunt tidak hanya melihat rugi-rugi nya saja melainkan ada atau tidaknya tempat yang cukup memadai untuk menempatkan peralatan kapasitor shunt. Dari ke 4 bus ini hanya 2 bus yang belum sama sekali terpasang dengan kapasitor shunt yaitu bus kuta dan gianyar. Bus yang sudah terpasang kapasitor shunt adalah kapal sebesar 15 Mvar dan Nusa Dua sebesar 25 Mvar. dari keempat percobaan pemasangan kapasitor shunt yang paling optimal adalah di bus gianyar sebesar 25 Mvar. Pada gambar 4.6 di perlihatkan simulasi aliran daya setelah di pasang kapasitor shunt di bus gianyar.



.Gambar 4.6. Simulasi aliran daya setelah di tambah kapasitor



STT-PLN