

**ANALISIS PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL
STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) UNTUK MEMPERBAIKI
PROFIL TEGANGAN DAN PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA
SISTEM 150 KV BALI**

SKRIPSI



**Disusun Oleh :
ACHMAD ZAINUL ABIDIN
NIM. 1112007**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**



LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL *STATIC VAR COMPENSATOR* (SVC) UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM 150 KV BALI

SKRIPSI

Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan guna mencapai gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh
ACHMAD ZAINUL ABIDIN
NIM. 1112007

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST. MT.
NIP.P. 1036100358

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.
NIP. 196105031992021001

Ir. Teguh Herbasuki, MT.
NIP. Y. 1038900209

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**

ABSTRAK

ANALISIS PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)* UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM 150 KV BALI

Achmad Zainul Abidin (1112007)

Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT. dan
Ir. Teguh Herbasuki, MT

Kebutuhan beban listrik yang terus meningkat dan seiring perkembangan elektronika daya yang semakin pesat, menyebabkan *Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices* banyak digunakan dalam sistem tenaga. Pada penelitian ini salah satu peralatan FACTS Device adalah *Static Var Compensator (SVC)* digunakan untuk meningkatkan profil tegangan dan mereduksi rugi-rugi daya dengan cara mengontrol aliran daya sehingga dapat memaksimalkan kapasitas penyaluran daya sistem transmisi. Peningkatan profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya tersebut dapat dicapai dengan penempatan dan penentuan kapasitas optimal SVC. *Electrical Transient Analysis Program (ETAP)* digunakan untuk menentukan penempatan dan kapasitas optimal SVC, yaitu dengan menerapkan metode *algoritma genetika (GA)* pada *tool OCP*. Untuk menguji metode yang diusulkan, sistem standart *IEEE 14-bus* dan sistem 150 kV Bali 15-bus digunakan untuk simulasi dalam penelitian ini. Dari hasil analisis, dapat dibuktikan bahwa dengan penempatan dan kapasitas optimal SVC pada bus GI Ampra sistem 150 kV Bali 15-bus dapat meningkatkan profil tegangan hingga berada pada margin yang diizinkan yaitu 0,95 p.u. sampai 1,05 p.u pada bus GI Ampra, GI Gnyar, GI Kapal, GI Nsdua, GI Pbian, GI Pklod, dan GI Sanur. Serta dapat mengurangi rugi-rugi daya dari 42,820 MW dan 80,232 MVar menjadi 32,514 MW dan 72,204 MVar.

Kata kunci : *Algoritma Genetika (GA)*, *ETAP Power Station*, Sistem 150 kV Bali, *Static Var Compensator (SVC)*.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul **“Analisis Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal *Static Var Compensator* (SVC) Untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Penurunan Rugi-rugi Daya pada Sistem 150 kV Bali ”** dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Sebagai pihak penyusun penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. H. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. M. Ibrahim Ashari, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT selaku Dosen Pembimbing 1.
5. Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing 2.
6. Prof. Dr. Eng. Ir Abraham Lomi, MSEE. selaku Kepala Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik
7. Kedua orang tua dan teman-teman yang turut memberi dukungan terhadap penyelesaian skripsi.

Penulis menyadari bahwa masih banyaknya kekurangan yang terdapat pada skripsi ini, oleh karena itu penulis berharap para pembaca dapat memberikan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih sempurna.

Malang, 02 Maret 2015

Penyusun

2.11. Aliran Daya (<i>Loadflow</i>)	21
2.11.1. Persamaan Aliran Daya	22
2.11.2. Aliran Daya dan Rugi-rugi Daya pada Saluran.....	23
2.11.3. Aliran Daya dengan Metode Newton-Raphson.....	24
2.12. Strategi Penempatan dan Kapasitas Optimal	27
2.12.1. Penempatan Optimal Kapasitor	27
2.12.2. Kapasitas Kapasitor.....	28
2.12.3. Fungsi Objektif	28
2.12.4. Kendala Operasional	29
2.13. Algoritma Genetika	29
2.13.1. Pengkodean	30
2.13.2. Nilai Fitnes	30
2.13.3. Reproduksi	31
2.13.4. Crossover	31
2.13.5. Mutasi	31

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1. Metode yang Digunakan	33
3.2. <i>Software</i> ETAP Power Station	33
3.3. Metode Aliran Daya (<i>Load Flow</i>)	35
3.4. Metode Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC.....	35
3.5. Algoritma Simulasi pada <i>Software</i> ETAP Power Station	37
3.6. <i>Flowchart</i> penyelesaian Masalah	38
3.7. <i>Flowchart</i> Strategi Optimasi	39

BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1. Sistem IEEE 14 Bus	40
4.2. Sistem 150 kV Bali	45
4.3. Analisa Profil Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Sistem 150 kV Bali dalam Kondisi Base case	49
4.4. Analisa Penempatan dan Kapasitas Optimal SVC pada Sistem 150 kV Bali	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban	5
Gambar 2.2.	Rangkaian ekivalen saluran transmisi pendek	7
Gambar 2.3.	Rangkaian ekivalen saluran transmisi menengah dan panjang	7
Gambar 2.4.	Skematik pengendalian daya reaktif	9
Gambar 2.5.	Skematik pengendalian daya reaktif	10
Gambar 2.6.	<i>Thyristor controlled series capacitor</i>	13
Gambar 2.7.	<i>Thyristor controlled phase shifting transformer</i>	13
Gambar 2.8.	<i>Thyristor controlled voltage regulator</i>	14
Gambar 2.9.	SVC (<i>Static Var Compensator</i>)	14
Gambar 2.10.	Diagram konfigurasi SVC	15
Gambar 2.11.	Karakteristik V-I SVC dalam keadaan steady state	18
Gambar 2.12.	SVC menggunakan TCR dan FC	19
Gambar 2.13.	SVC menggunakan TCR dan TSC	19
Gambar 2.14.	SVC menggunakan <i>Self-Commutated Inverter</i>	20
Gambar 2.15.	Tipikal bus dari sistem tenaga	23
Gambar 2.16.	Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya dan rugi-rugi daya pada saluran	23
Gambar 2.17.	Pengkodean dalam <i>genetic algorithm</i>	30
Gambar 2.18.	Proses mutasi pada algoritma genetika	32
Gambar 3.1.	Tampilan Progam ETAP <i>Power Station</i>	35
Gambar 3.2.	Flowchart penyelesaian masalah	38
Gambar 3.3.	Flow chart strategi optimasi	39
Gambar 4.1.	Single line sistem IEEE 14 Bus	40
Gambar 4.2.	Perbandingan level tegangan menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan 2 SVC (kasus 2)	42
Gambar 4.3.	Perbandingan rugi-rugi daya (MW) pada sistem IEEE 14 Bus	43
Gambar 4.4.	Perbandingan level tegangan (p.u.) sebelum dan sesudah pemasangan SVC (Kasus 1).....	44

Gambar 4.5.	Perbandingan rugi-rugi daya (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC (Kasus 1).....	45
Gambar 4.6.	<i>Single line</i> sistem 150 kV Bali	48
Gambar 4.7.	Perbandingan profil tegangan menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan menggunakan 2 SVC (kasus 2)	51
Gambar 4.8.	Perbandingan rugi-rugi daya menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan menggunakan 2 SVC (kasus 2)	52
Gambar 4.9.	pemasangan SVC pada bus GI Gnyar	54
Gambar 4.10.	Perbandingan level tegangan dalam kondisi base case dan pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali	55
Gambar 4.11.	Perbandingan rugi-rugi daya (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali	56
Gambar 4.12.	Perbandingan profil tegangan menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan menggunakan 2 SVC (kasus 2)	58
Gambar 4.13.	Perbandingan rugi-rugi daya menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan menggunakan 2 SVC (kasus 2)	58
Gambar 4.14.	Perbandingan level tegangan dalam kondisi base case dan pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali	60
Gambar 4.15.	Perbandingan rugi-rugi daya (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali	60

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Profil tegangan dalam kondisi base case pada sistem IEEE 14 Bus	41
Tabel 4.2.	Rugi-rugi daya (MW) dalam kondisi base case pada sistem IEEE 14 Bus	41
Tabel 4.3.	Penentuan penempatan dan kapasitas SVC pada sistem IEEE 14 Bus	42
Tabel 4.4.	Profil tegangan sesudah pemasangan SVC pada sistem IEEE 14 Bus	43
Tabel 4.5.	Rugi-rugi daya sesudah pemasangan SVC pada sistem IEEE 14 Bus	43
Tabel 4.6.	Data pembangkit sistem Bali	46
Tabel 4.7.	Data beban sistem Bali	46
Tabel 4.8.	Data saluran sistem Bali	47
Tabel 4.9.	Type bus pada sistem 150 kV Bali	48
Tabel 4.10.	Profil tegangan kondisi base case	49
Tabel 4.11.	Perhitungan rugi-rugi daya kondisi base case	49
Tabel 4.12.	Penentuan dan kapasitas SVC pada sistem 150 kV Bali	50
Tabel 4.13.	Profil tegangan setelah pemasangan SVC	52
Tabel 4.14.	Perhitungan rugi-rugi saluran setelah pemasangan SVC	53
Tabel 4.15.	Perbandingan level tegangan dalam kondisi base case dan pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali	54
Tabel 4.16.	Perbandingan rugi-rugi daya (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC	55
Tabel 4.17.	Profil tegangan kondisi real	56
Tabel 4.18.	Perhitungan rugi-rugi daya kondisi real	57
Tabel 4.19.	Penentuan dan kapasitas SVC pada sistem 150 kV Bali kondisi real	57
Tabel 4.20.	Profil tegangan setelah pemasangan SVC	59
Tabel 4.21.	Perhitungan rugi-rugi saluran setelah pemasangan SVC	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, kebutuhan sistem tenaga listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk dan industri. Dalam hal ini pengembangan dan pembangunan pembangkit-pembangkit baru serta saluran transmisi sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan *loadability* yang terus meningkat. Tetapi hal itu ditentukan berdasarkan pertimbangan lingkungan dan faktor ekonomi. Selain biaya yang sangat mahal, proses pembangunan saluran transmisi baru juga memerlukan waktu yang sangat lama^[1]. Sehingga muncul suatu alternatif untuk memaksimalkan pemanfaatan saluran transmisi, yaitu dengan menggunakan peralatan *Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS)*^[2].

Konsep FACTS device diperkenalkan oleh *Electric Power Research Institute (EPRI)* pada akhir tahun 1980. Dimana peralatan FACTS device ini dapat meningkatkan kapasitas sistem transmisi dan mengontrol aliran daya (*load flow*) secara flexibel^[3]. Disisi lain FACTS device juga dapat mengurangi biaya pembangkit energi listrik dan meningkatkan kestabilan tegangan terhadap kondisi peralihan (*transient*)^{[4][5]}.

Dari beberapa type peralatan FACTS device, *Static Var Compensator (SVC)* secara luas sudah digunakan diseluruh dunia, termasuk di Indonesia sendiri yang sudah diterapkan di GI Jember. Berdasarkan standart PLN, nilai tegangan yang diizinkan pada suatu sistem tenaga listrik berkisar antara 0,95 sampai 1,05 Pu dari tegangan nominalnya^[6]. SVC dapat mempertahankan stabilitas tegangan tetap konstan pada nilai nominalnya dengan cara menginjeksikan daya reaktif yang dapat dikontrol kedalam sistem. Pemasangan SVC pada satu titik atau beberapa tempat dapat meningkatkan nilai profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya (*losses*) pada sistem tenaga listrik^[7].

Maka dari itu, penulisan skripsi ini akan membahas mengenai penempatan dan penentuan kapasitas optimal *Static Var Compensator (SVC)* untuk meningkat

profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya pada sistem 150 kV Bali dengan menggunakan metode Algoritma genetika pada *software ETAP Power Station*.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menentukan penempatan dan kapasitas optimal *static var compensator* (SVC) untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya pada sistem 150 kV Bali sesuai dengan pengujian sistem standart *IEEE* 14-bus?
2. Bagaimana kinerja sistem 150 kV Bali setelah diterapkan *static var compensator* (SVC) untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya?

Dari permasalahan di atas maka skripsi ini berjudul : **Analisis Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal *Static Var Compensator* (SVC) untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Penurunan Rugi-rugi Daya pada Sistem 150 kV Bali**

1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas, maka tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Menguji sistem standart *IEEE* 14-bus sebagai kasus dasar dalam menentukan penempatan dan kapasitas optimal *static var compensator* (SVC) untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya.
 2. Mencrapkan *static var compensator* (SVC) pada sistem 150 kV Bali dengan menentukan penempatan dan kapasitas optimal *static var compensator* (SVC) untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya.
-

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak menyimpang dari pokok perumusan masalah dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan menggunakan *Software ETAP Power Station*.
2. Fungsi objektif yang digunakan untuk menghitung nilai profil tegangan dan rugi-rugi daya adalah program aliran daya (*load flow*) dengan metode Newton-Raphson.
3. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan adalah dengan menggunakan metode Algoritma Genetika pada *tool OCP*.
4. Tidak membahas faktor biaya.

1.5. Sistematika Penelitian

Sistematika yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Kajian literatur

Kajian literatur yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan. Studi literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, beberapa user manual peralatan dan dari nara sumber yang kompeten.

2. Pengumpulan data.

Bentuk data yang digunakan adalah :

- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini berupa *single line diagram* pada sistem 150 kV Bali.
- Data kuantitatif, yaitu berupa data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka guna mempermudah proses pengerjaan skripsi yaitu data beban, data saluran, dan data trafo

3. Pemodelan dan Simulasi

Pemodelan pada sistem 150 kV Bali ini dilakukan menggunakan *software ETAP Power Station* dalam bentuk *single line diagram*. Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya dan *optimal capacitor placement*.

4. Analisa Data

Dari hasil perhitungan / simulasi, selanjutnya dilakukan analisa data yang akan digunakan untuk melakukan perbaikan sebagai rekomendasi pada sistem 150 kV Bali.

5. Kesimpulan

Kesimpulan ini berisi poin-poin dari permasalahan yang telah dianalisa. Selain itu diberikan juga saran atau rekomendasi terkait dengan hal yang telah dianalisa.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan skripsi ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori sistem tenaga listrik, saluran transmisi tenaga listrik, jatuh tegangan, rugi-rugi saluran, dan SVC.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai metode yang digunakan.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA HASIL

Bab ini menjelaskan mengenai analisa sistem aliran daya dan penempatan optimal *Static Var Compensator* (SVC) pada sistem 150 kV Bali.

BAB V : KESIMPUNAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

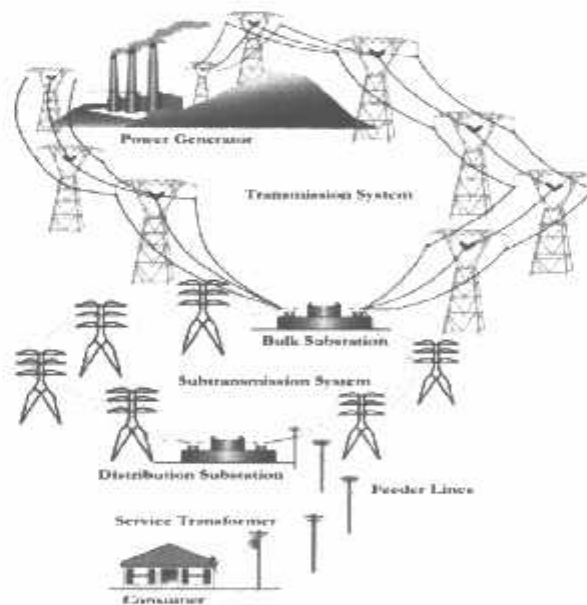
KAJIAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan umum

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem interkoneksi yang kompleks yang berhubungan dengan peralatan dan komponen-komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian sub sistem, antara lain :

- a. Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut sebagai produsen energi.
- b. Sistem transmisi : berperan sebagai penyalur daya listrik dari suatu pembangkit ke bagian sistem distribusi.
- c. Sistem distribusi dan beban : berperan sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi.



Gambar 2.1. Skema penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban

Pada sistem tenaga listrik modern yang terdiri dari multi mesin, jaringan transmisi yang terinterkoneksi yang panjang, serta meliputi areal bus beban yang luas dengan berbagai karakteristik tipe beban yang berbeda-beda, hal tersebut memposisikan kondisi sistem tenaga yang kompleks dan rumit. Bila terjadi perubahan kondisi operasional peningkatan beban berpengaruh kepada magnitude tegangan (*voltage instability*) yang tidak dapat dikendalikan, maka akan ikut mempengaruhi performansi stabilitas sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Solusi untuk mengembalikan magnitude tegangan sistem pada kondisi *steady state* dibutuhkan peralatan pembantu (*compensator*) seperti :

1. FACTS Device.
2. On Load Tap Charging (OLTC) Transformer
3. Generator.

2.2. Pemodelan Sistem Tenaga Listrik^{[18][21]}

Pemodelan sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai suatu sistem jaringan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat listrik seperti : generator, transformator, saluran transmisi, dan beban yang saling berhubungan serta membentuk suatu sistem.

a. Pemodelan Generator^[21]

Generator dimodelkan dengan sumber daya aktif (MW) tertentu dan tegangan terminal yang konstan jika limit pembangkitan daya reaktif tidak dilanggar. Pada bus referensi (*slack bus*), generator dinyatakan dengan tegangan dan sudut fasa yang tetap. Yang mana secara matematis persamaan daya aktif dan daya reaktif pada generator dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_g = \frac{V_t E_q}{X_d} \sin \delta + \frac{V_t^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$Q_g = \frac{V_t E_q}{X_d} \cos \delta - V_t^2 \left(\frac{\cos^2 \delta}{X_d} + \frac{\sin^2 \delta}{X_q} \right) \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : P_g dan Q_g = Daya aktif dan reaktif yang dihantarkan terminal Generator

V_t	=	Tegangan terminal generator
δ	=	Sudut fasa generator
E_q	=	Tegangan internal generator
X_d dan X_q	=	Reaktansi sinkron

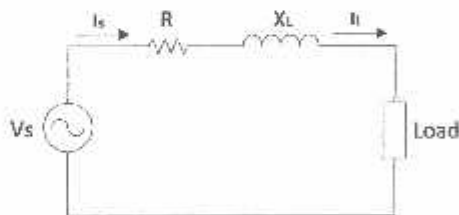
b. Pemodelan Transformator Daya^[21]

Pada trafo daya, arus melalui reaktansi magnetisasi (X_m) dan rugi inti besi (R_m) jauh lebih kecil dibandingkan dengan arus beban, sehingga kata lain sirkuit eksitasi pada trafo daya dapat diabaikan, sehingga dimodelkan sebagai impedansi Z . Dalam suatu sistem tenaga seiring diinginkan tegangan berada dalam batas-batas tertentu. Untuk itu diperlukan suatu transformator dengan posisi tap dapat diubah. Transformator oto dan transformator dua belitan (*two winding transformer*). Agar pengaturan tegangan dapat lebih baik biasanya pengaturan posisi tap dilakukan di sisi tegangan tinggi.

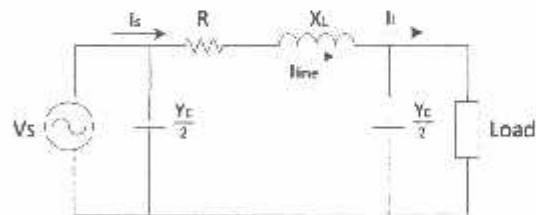
c. Pemodelan Saluran Transmisi^{[18][21]}

Saluran transmisi di representasikan sesuai dengan kelas transmisi. Representasi saluran transmisi berdasarkan jarak terbagi atas 3 bagian, yaitu :

1. Transmisi pendek ($l < 80 \text{ km} / 50 \text{ mil}$)
2. Transmisi menengah ($80 \text{ km} / 50 \text{ mil} < l < 240 \text{ km} / 150 \text{ mil}$)
3. Transmisi panjang ($l > 240 \text{ km} / 150 \text{ mil}$)



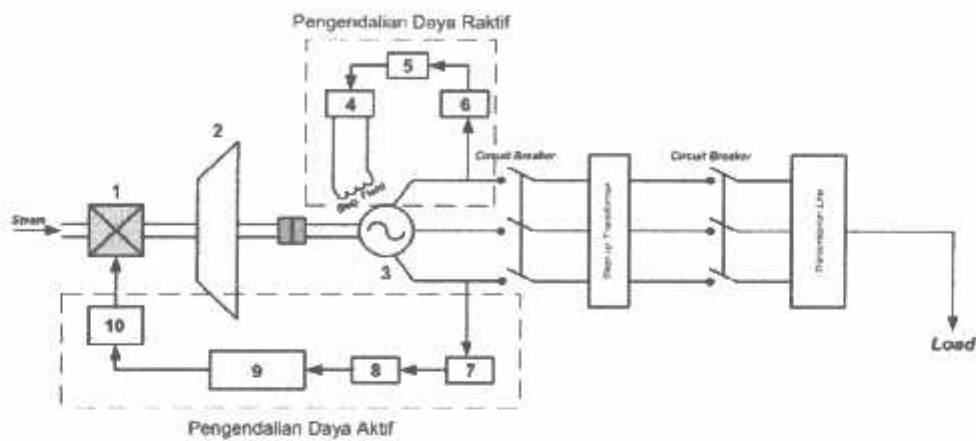
Gambar 2.2.
Rangkaian ekuivalen saluran transmisi pendek



Gambar 2.3.
Rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah dan panjang

Pada saluran transmisi pendek, memiliki panjang saluran kurang dari 80 km (50 mil) yang diasumsikan bahwa nilai kapasitansi dapat diabaikan dan hanya memperhitungkan nilai resistansi (R) dan reaktansi induktif (X_L). Dengan diasumsikan dalam kondisi yang seimbang (balanced), saluran transmisi dapat di

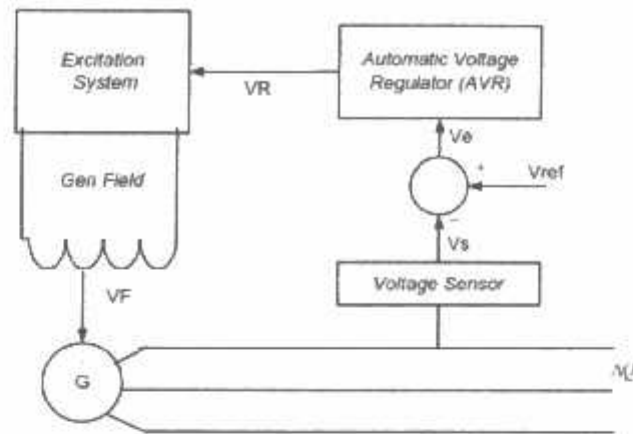
dan sisi beban. Peralatan kontrol untuk pembangkitan biasanya digunakan untuk mengatur suplai daya aktif dan reaktif. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa pengendalian daya reaktif berhubungan dengan pengendalian tegangan.



Gambar 2.4. Skematik Pengendalian daya reaktif

- Keterangan :
1. Katup (valve)
 2. Turbin
 3. Generator Sinkron
 4. Sistem Eksitasi
 5. Automatic Voltage Regulator
 6. Sensor Tegangan.
 7. Sensor frekuensi
 8. Load frekuensi control
 9. governor
 10. valve control mecanism

Berdasarkan gambar 2.4 diatas, dengan mengambil bagian pengendalian daya reaktifnya yaitu pada sistem eksitasi dapat mengatur nilai profil tegangan. Dimana tegangan diatur berdasarkan aliran daya reaktif yang didapatkan dari sistem penguatan medan elektrik. Berikut pengendalian daya reaktif pada generator :



Gambar 2.5. Skematif pengendalian daya reaktif

Sehingga hubungan daya reaktif dengan tegangan dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$E^2 = (V + \Delta V)^2 + \delta V^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$E^2 = (V + IR \cos \varphi + IX \sin \varphi)^2 + (IX \cos \varphi - IR \sin \varphi)^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Karena :

$$P = VI \cos \varphi \text{ dan } Q = VI \sin \varphi \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : E = Tegangan induksi (EMF) dalam volt

V = Tegangan keluaran generator dibeban (volt)

R = Resistansi saluran (Ohm)

X = Reaktansi induktif saluran (Ohm)

I = Arus beban (ampere)

P = Daya aktif (watt)

Q = Daya Reaktif (Var)

Maka :

$$E^2 = \left(V + \frac{PR}{V} + \frac{QX}{V} \right)^2 + \left(\frac{QX}{V} + \frac{PR}{V} \right)^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan demikian :

$$\Delta V = \frac{PR}{V} + \frac{QX}{V} \dots\dots\dots (2.7)$$

saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi ini memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya serta tegangan yang dikirim kepada sisi beban (konsumen). Nilai tegangan yang melebihi batas toleransi dapat menyebabkan tidak optimalnya kerja dari peralatan disisi konsumen. Secara umum besar rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$P_{Loss} = \sqrt{3} \times I^2 R \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

- Dimana :
- P_{Loss} = rugi-rugi pada saluran (Watt)
 - R = resistansi saluran per fasa (Ohm)
 - I = arus yang mengalir per fasa (Ampere)

2.5. Jatuh Tegangan (*Voltage Drop*)⁽¹⁷⁾

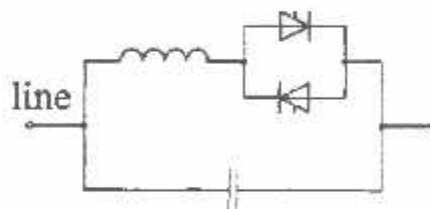
Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan tinggi masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar Rl semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan adalah 5% dari tegangan nominalnya.

2.6. Pemodelan FACTS (*Flexible AC Transmission System*)^[11]

2.6.1. TCSC (*Thyristor Controlled Series Compensator*)

Thyristor Controlled Series Compensator (TCSC) merupakan salah satu bagian dari FACTS Devices yang digunakan untuk meningkatkan transfer daya dan kestabilan sistem. Berdasarkan gambar 2.6, TCSC ini bisa memiliki salah satu dari dua kemungkinan karakteristik yaitu induktif dan kapasitif. Masing-masing untuk mengurangi atau menambah reaktansi pada garis XL. Dengan tiga elemen penghubung paralel yaitu kapasitif, induktif dan jenis kabel, maka TCSC dapat bernilai nol. Kapasitif dan induktansi merupakan variabel dan nilai kapasitansi dan induktansi adalah fungsi reaktan dari saluran dimana alat tersebut ditempatkan.

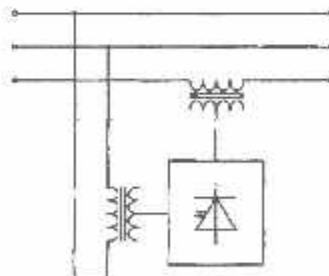


Gambar 2.6. Thyristor Controlled Series Capacitor

Untuk menghindari resonansi, hanya satu dari tiga elemen sebagai fungsi waktu. Nilai maksimum pada kapasitansi ditetapkan $-0,8 X_L$. Sedangkan untuk induktansi nilai maksimumnya adalah $0,2 X_L$.

2.6.2. TCPST (*Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer*)

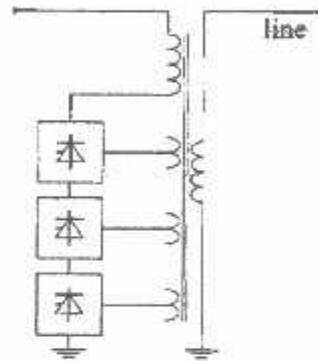
Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer adalah peralatan FACTS yang digunakan untuk menambahkan komponen kuadrat yang berlaku pada tegangan bus dengan cara menambahkan atau mengurangi sudut fasanya. Alat ini mempunyai model dari phase shifter dengan impedansi seri dalam keadaan nol. Sudut fasanya diatur pada kisaran -5° sampai $+5^\circ$. Nilai nol juga memungkinkan untuk TCPST.



Gambar 2.7. Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer

2.6.3. TCVR (*Thyristor Controlled Voltage Regulator*)

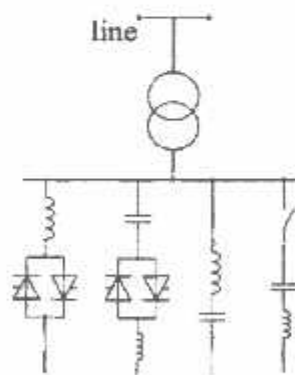
Thyristor Controlled Voltage Regulator beroperasi dengan memasukkan tegangan fasa pada tegangan bus utama sehingga merubah besarnya tegangan. Model kontrol ini bisa menggunakan perubahan tegangan variabel tanpa impedansi seri. Adanya perubahan nilai dengan menggunakan perbandingan $V1/V2$. Perbandingan tersebut untuk menentukan penambahan perubahan bentuk dan nilainya yaitu dari 0,9 sampai 1,1 (1,0 tidak sesuai untuk penambahan perubahan bentuk).



Gambar 2.8. Thyristor Controlled Voltage Regulator

2.6.4. SVC (*Static Var Compensator*)

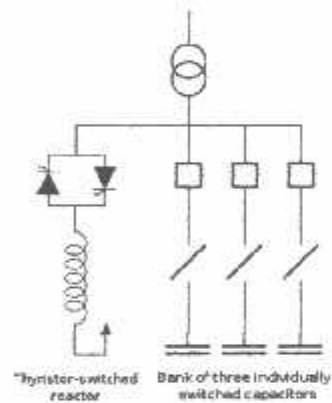
SVC mempunyai dua karakteristik yaitu induktif dan kapasitif. Induktif digunakan untuk menyerap daya reaktif, sedangkan pada kapasitif digunakan untuk menyuplai daya reaktif. Model SVC dengan dua elemen penghubung paralel kapasitif dan induktif bis memberikan nilai karakteristik oleh injeksi daya reaktif atau menyerap tegangan dari 1 pu nilainya antara -100 Mvar dan 100 Mvar.



Gambar 2.9. SVC (*Static Var Compensator*)

2.7. Static Var Compensator (SVC)^[13]

Static Var Compensator atau disebut SVC adalah salah satu peralatan FACTS Device (*Flexible AC Transmission System*) yang terdiri dari komponen reaktor dengan mengatur besar kompensasi daya reaktif induktif dan kapasitor sebagai sumber daya reaktif, serta dilengkapi peralatan elektronika daya sebagai *device switching*. Secara garis besar fungsi dari SVC yaitu mempertahankan (*controller*) stabilitas tegangan tetap konstan pada nilai nominalnya, yaitu jika sistem beban reaktif kapasitif (*leading*), SVC akan menaikkan daya reaktor untuk mengurangi VAR dari sistem sehingga tegangan sistem turun. Pada kondisi reaktif induktif (*lagging*), SVC akan mengurangi daya reaktor untuk menaikkan VAR dari sistem sehingga tegangan sistem akan naik.



Gambar 2.10. Diagram konfigurasi SVC

(<http://ilmulistrik.com/wp-content/uploads/2013/11/003019.jpg>)

2.8. Fungsi SVC^[13]

Kebutuhan daya reaktif pada sistem dapat dipasok oleh unit pembangkit, sistem transmisi, reaktor dan kapasitor. Karena kebutuhan daya reaktif pada sistem bervariasi yang disebabkan oleh perubahan beban, komposisi unit pembangkit yang beroperasi, perubahan konfigurasi jaringan, hal ini berdampak pada bervariasi level tegangan pada gardu induk. Pada umumnya gardu-gardu induk yang berada jauh dari pembangkit akan mengalami penurunan level tegangan yang paling besar, oleh sebab itu diperlukan sistem kompensasi daya reaktif yang dapat mengikuti perubahan tegangan tersebut.

SVC dapat dengan cepat memberikan supply daya reaktif yang diperlukan dari sistem sehingga besar tegangan pada gardu induk dapat dipertahankan sesuai dengan standar yang diizinkan. Kestabilan tegangan pada gardu induk akan meningkatkan kualitas tegangan yang sampai ke konsumen, mengurangi losses (rugi-rugi daya) dan juga dapat meningkatkan kemampuan penghantar untuk mengalirkan arus.

Secara lebih rinci fungsi SVC (*Static Var Compensator*) adalah :

- a. Meningkatkan kapasitas sistem transmisi dan distribusi.
- b. Kontrol tegangan
- c. Reaktif control power / reaktif kontrol aliran daya
- d. Penurunan dan pembatasan frekuensi *overvoltage power* disebabkan *load rejection*.
- e. Memperbaiki stabilitas jaringan AC
- f. Mencegah terjadinya ketidakstabilan tegangan.

SVC yang berada di gardu induk terdiri dari empat bank *fixed capacitor* perfasa yang dipararel dengan sebuah reaktor utama yang dikendalikan oleh *thyristor*. Pada SVC tersebut juga terpasang tiga buah reaktor yang dipasang secara seri dengan kapasitor bank yang berfungsi sebagai filter harmonik.

Jenis reaktor yang terpasang adalah air core dan jenis kapasitor yang terpasang adalah jenis elektrolit. Pengaturan daya reaktif dilakukan dengan mengontrol besarnya MVAR pada reaktor melalui pengaturan sudut penyulutan pada *thyristor*. Besarnya sudut penyulutan ini tergantung dari variasi tegangan pada gardu induk dengan kata lain semakin besar MVAR reaktif yang dibutuhkan maka sudut penyulutan akan semakin kecil. Karena kontrol sudut penyulutan ini dilakukan secara elektronik maka pengaturan tegangan dapat dilakukan secara lebih halus dan cepat.

Static Var Compensator (SVC) terdiri dari komponen *fixed capacitor* (FC) yang terhubung pararel dengan *thyristor controlled reactor* (TCR). Kontrol sudut penyalaan *thyristor* memungkinkan *Static Var Compensator* untuk memiliki kecepatan respon yang hampir seketika. Hal ini digunakan secara luas untuk menyalurkan daya reaktif dan menyediakan *support* regulasi tegangan dengan

cepat. Selain itu SVC juga dipakai untuk meningkatkan batas stabilitas sistem dan mengurangi osilasi daya.

2.9. Prinsip Kerja SVC^{[12][13]}

Prinsip kerja dari *Static Var Compensator* (SVC) adalah dengan mengatur sudut penyalaan *thyristor*. Sudut pelayanan *thyristor* akan mengatur keluaran daya reaktif dari *Static Var Compensator* (SVC). Nilai tegangan sistem merupakan input bagi pengendali yang kemudian akan mengatur sudut pelayanan *thyristor*, dengan demikian SVC akan memberikan kompensasi daya reaktif yang sesuai dengan kebutuhan beban. SVC adalah pembangkit/beban VAR statis yang tersambung shunt dimana outputnya diatur untuk pertukaran arus induktif atau kapasitif dengan tujuan untuk menjaga atau mengontrol sistem daya yang dapat divariasi. TCR (*Thyristor Controlled Reactor*) pada frekuensi fundamental dapat diperlakukan sebagaimana induktansi variabel

$$X_V = X_L \frac{\pi}{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana, X_V adalah reaktansi variabel SVC sedangkan X_L adalah reaktansi yang disebabkan oleh frekuensi fundamental tanpa kontrol thyristor dan α adalah sudut penyulutan sehingga impedansi ekuivalen total dari kontroler dapat dinyatakan dalam :

$$X_e = X_c \frac{\pi/rx}{\sin 2\alpha - 2\alpha + \pi \left(2 - \frac{1}{rx}\right)} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

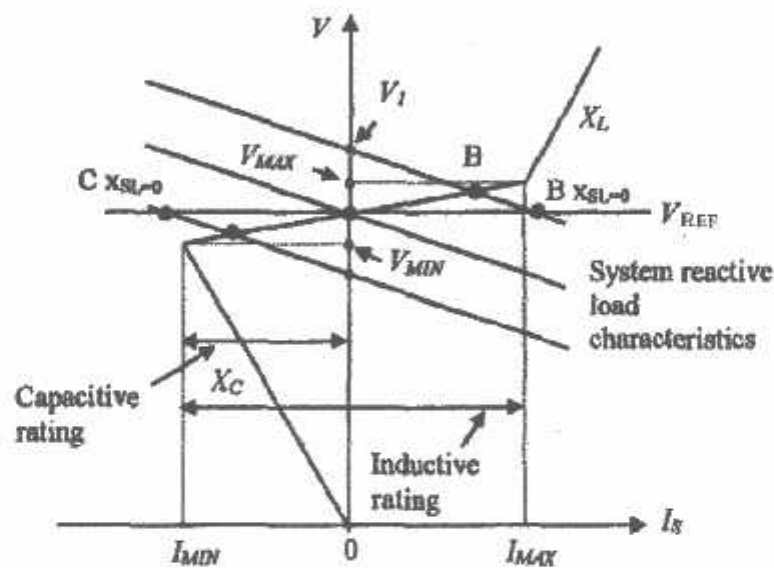
Nilai $rx = X_C / X_L$ adalah batas kontroler diberikan oleh batas sudut penyulutan yang bernilai tetap sesuai dengan desain. Hukum kontrol *steady state* tipikal SVC yang terdapat pada karakteristik V-I gambar 2.11 adalah

$$V = V_{ref} + V_{SL} I \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana V dan I adalah magnitudo tegangan dan arus rms dan V_{ref} adalah tegangan referensi. Nilai tipikal untuk slope X_{SL} adalah 2 s.d 5%, terhadap basis

SVC; nilai tersebut diperlukan untuk menghindari melewati batas dari variasi tegangan bus yang kecil. Nilai tipikal kisaran tegangan yang dikontrol $\pm 5\%$ dari V_{ref} . Pada batas kapasitif, SVC menjadi kapasitor shunt. Pada batas induktif, SVC menjadi reaktor shunt (arus atau daya reaktif juga bisa dibatasi). Parameter SVC harus ditentukan dengan persyaratan kompensasi. Dengan kapasitas SVC Q_{SVC} dan tegangan bus V_{BUS} , nilai dari kapasitansi dan induktansi TCR adalah

$$X_C = \frac{V_{bus}^2}{Q_{SVC}} \text{ dan } X_L = \frac{X_C}{2} \quad \dots\dots\dots (2.20)$$



Gambar 2.11. Karakteristik V-I SVC dalam keadaan *steady state*

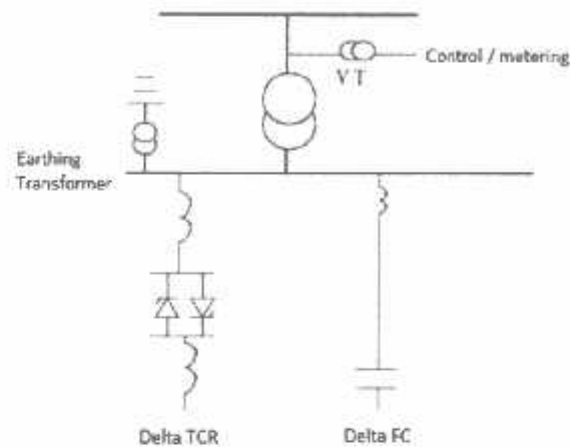
2.10. Jenis SVC Berdasarkan Kontrolnya^{[12][14]}

Secara umum jenis SVC yang digunakan berdasarkan kontrolnya terbagi menjadi tiga, yaitu :

- a. SVC menggunakan TCR dan *fixed Capacitor (FC)*

Fixed Capacitor bank terhubung ke sistem melalui step down transformator. Rating pada reaktor dipilih yang lebih besar ratingnya dari kapasitor dengan jumlah yang diberikan maksimum lagging vars yang akan diserap dari sistem. Dengan mengubah firing angle dari thyristor akan mengontrol reaktor dari 90° menjadi 180° , maka sifat kompensasi akan berubah dari lagging ke

leading. Kerugian dari konfigurasi ini adalah harmonik yang dihasilkan karena besarnya partial conduction dari reaktor dibawah kondisi operasi sinusoidal steady-state normal ketika SVC menyerap zero MVar.

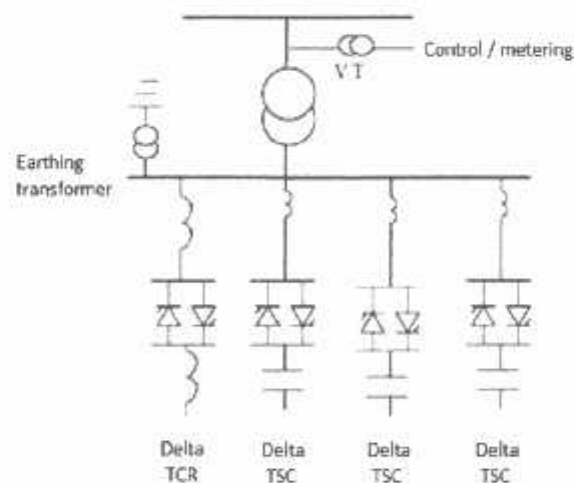


Gambar 2.12. SVC menggunakan TCR dan FC

(<http://ilmulistrik.com/jenis-svc-berdasarkan-kontrol.html>)

b. SVC menggunakan TCR dan *Thyristor Switched Capacitor (TSC)*

Kompensator jenis ini berguna untuk mengurangi losses pada kondisi beroperasi dan menjaga kinerja agar lebih baik saat gangguan sistem yang besar. Pada gambar 2.13 menunjukkan pengaturan dari SVC dari satu TCR yang diparalel dengan beberapa bank TSC sehingga akan mengurangi harmonik yang dihasilkan reaktor.

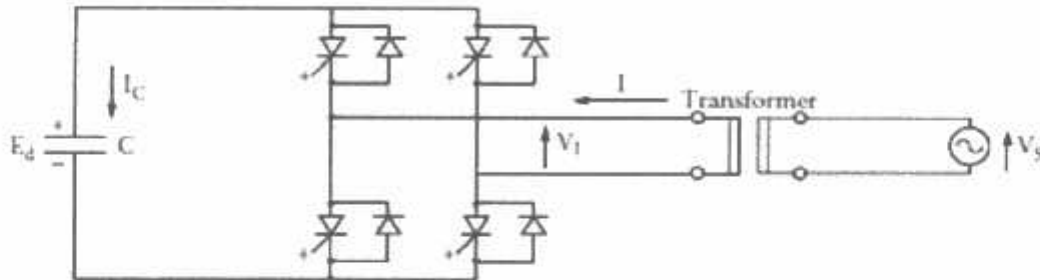


Gambar 2.13. SVC menggunakan TCR dan TSC

(<http://ilmulistrik.com/jenis-svc-berdasarkan-kontrol.html>)

c. SVC menggunakan *Forced Commutation Inverters*

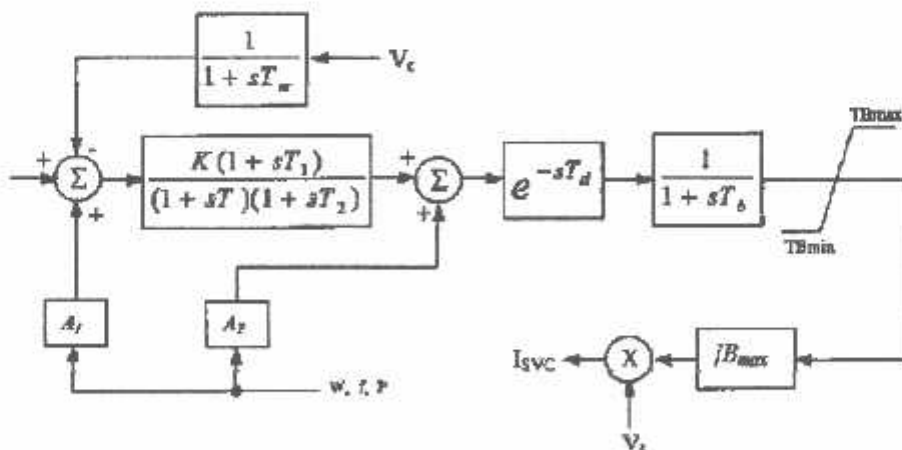
SVC ini terdiri dari satu inverter (sumber konverter tegangan dc misalnya VSC) menggunakan *gare turn-off (GTO) thyristor*. Untuk inverters ini, sumber dc dapat berupa batere atau kapasitor yang tegangan terminalnya dapat ditinggikan atau diturunkan oleh pengontrol inverter.



Gambar 2.14. SVC yang menggunakan *Selt-Commutated Inverters*
(<http://ilmulistrik.com/jenis-svc-berdasarkan-kontrol.html>)

Inverter ini dihubungkan ke system supply melalui reaktansi secara bergantian dan output trafo. Ketiga tegangan inverter V_i sama dengan tegangan system, SVC akan floating. Ketika V_i lebih besar dari tegangan sistem, SVC akan bertindak sebagai kapasitor, dan jika V_i kurang dari tegangan sistem, SVC akan bertindak sebagai induktor. Dengan menggunakan beberapa inverter dengan sudut fasa berbeda operasi yang diinginkan dapat dicapai.

d. Rangkaian *SVC* pada *software ETAP Power Station*



Dimana : K = Voltage regulator gain (p.u)
 $A1$ = Additional control signal gain (p.u)
 $A2$ = Additional control signal gain (p.u)
 T = Voltage regulator time constant (sec)
 T_m = Measurement time constant (sec)
 T_b = Thyristor phase control time constant (sec)
 T_d = Thyristor phase control delay (sec)
 $T1$ = Voltage regulator time constant (sec)
 $T2$ = Voltage regulator time constant (sec)
 T_{Bmax} = Maximum susceptance limit (p.u)
 T_{Bmin} = Minimum susceptance limit (p.u)

2.11. Aliran Daya (Load Flow)^[15]

Aliran daya atau disebut *load flow* merupakan studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak (*steady state*). Studi aliran daya juga memberikan informasi guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkit maupun pembebanan. Didalam menganalisis juga memerlukan informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat (*critical*).

Studi aliran daya merupakan studi yang paling penting dalam perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik serta menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada. Studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem dimasa-masa yang akan datang. Karena seiring dengan bertambahnya konsumen akan kebutuhan tenaga listrik, maka akan selalu terjadi perubahan beban, perubahan unit-unit pembangkit, dan perubahan saluran transmisi. Didalam studi aliran daya, bus-bus terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *Slack bus* atau *swing bus* atau bus referensi, *Voltage controller bus* atau bus generator (PV), dan *Load bus* atau bus beban (PQ), yang mana dapat didefinisikan sebagai berikut :

- **Slack bus (Bus referensi)**

Pada bus ini, rating tegangan $|v|$ dan sudut fasa tegangan δ sudah ditentukan besarnya sementara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) didapatkan

dari perhitungan. Biasanya nilai $|v|$ adalah 1 pu, sedangkan sudut fasa tegangan bernilai nol, karena fasor tegangan dari bus dipakai sebagai referensi.

- **Voltage controller bus (Bus generator)**

Pada bus ini hanya terdapat daya pembangkit dimana $|v|$ diatur menggunakan regulator tegangan (AVR) dan P diatur dengan governor. Sehingga untuk bus ini P dan $|v|$ diketahui. Sementara daya reaktif (Q) dan sudut fasa (δ) didapatkan dari hasil perhitungan.

- **Load bus (Bus beban)**

Pada bus ini hanya terdapat kebutuhan daya untuk memenuhi kebutuhan beban yang mana daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) sudah diketahui, sementara nilai tegangan $|v|$ dan sudut fasa (δ) berubah-ubah menurut kebutuhan beban. Oleh karena itu, nilai tegangan $|v|$ dan sudut fasa (δ) harus ditentukan berdasarkan hasil perhitungan.

2.11.1. Persamaan Aliran Daya (Load Flow)

Persamaan aliran daya secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.16. Saluran transmisi dapat digambarkan dengan model π yang mana impedansi-impedansinya telah dirubah menjadi admitansi-admitansi per unit pada *base* / dasar MVA. Aplikasi hukum arus kirchhoff pada bus diberikan dalam :

$$\begin{aligned} I_i &= y_{10}V_i + y_{11}(V_i - V_1) + y_{12}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ &= (y_{10} + y_{11} + y_{12} + \dots + y_{in})V_i - y_{11}V_1 - y_{12}V_2 - \dots - y_{in}V_n \end{aligned} \quad (2.21)$$

Atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad \dots \dots \dots (2.22)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah :

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad \dots \dots \dots (2.23)$$

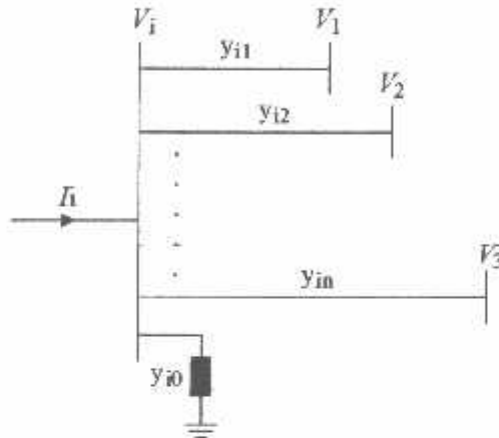
Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad \dots \dots \dots (2.24)$$

Substitusi untuk I_i pada persamaan (2-22), hasilnya :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

Dari hubungan diatas formulasi perhitungan aliran daya dalam sistem tenaga diselesaikan dengan teknik iterasi.

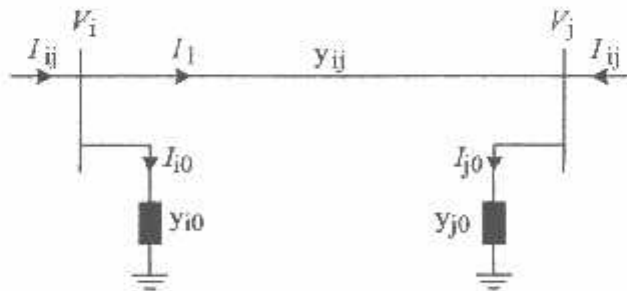


Gambar 2.15. Tipikal bus dari sistem tenaga

2.11.2. Aliran Daya dan Rugi-Rugi Daya Pada Saluran

Pada perhitungan aliran daya dan rugi-rugi daya pada saluran dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

$$I_{ij} = I_1 + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad \dots\dots\dots (2.26)$$



Gambar 2.16. Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya dan rugi-rugi daya pada saluran

Aliran arus I_{ji} yang diukur pada bus j dan ditandai positif dalam arah $j \rightarrow i$ yang ditunjukkan oleh :

$$I_{ji} = -I_o + I_{jo} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{jo}V_j \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Daya kompleks S_{ij} dari bus i sampai j dan S_{ji} dari bus j sampai i adalah :

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i(V_i^* - V_j^*)y_{ij}^* + V_i V_i^* y_{io}^* \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* = V_j(V_j^* - V_i^*)y_{ij}^* + V_j V_j^* y_{jo}^* \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Rugi-rugi daya pada saluran $i - j$ merupakan penjumlahan aljabar dari aliran daya dari persamaan (2.28) dan (2.29), yaitu :

$$S_{L,ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

2.11.3. Aliran Daya dengan Metode Newton-Raphson

Dalam metode Newton-Raphson jumlah iterasi yang digunakan untuk melakukan perhitungan ditentukan berdasarkan ukuran sistem. Yang mana dalam metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Dari gambar sebelumnya 2.16 arus yang memasuki bus i dapat dicari dengan persamaan (2.22). Persamaan tersebut dapat ditulis ulang menjadi :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

Dengan bentuk polar, yaitu :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} \delta_j \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

Daya kompleks pada bus i adalah :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

Substitusi dari Persamaan (2.32) untuk I_i ke dalam Persamaan (2.33) menjadi persamaan :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

Dari Persamaan (2.34) dapat diketahui Persamaan daya aktif (2.35) dan Persamaan daya reaktif (2.36).

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| \cos (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| \sin (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad \dots\dots\dots (2.36)$$

Persamaan (2.35) dan (2.36) merupakan langkah awal perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* dengan membentuk persamaan aljabar *nonlinier* dengan variabel sendiri. Besarnya setiap variabel dinyatakan dalam satuan per unit dan untuk sudut fasa dinyatakan dalam satuan radian. Persamaan (2.35) dan (2.36) dikembangkan dari deret Taylor seperti persamaan berikut ini:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta V_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta V_n^{(k)} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.37)$$

Matriks Jacobian memberikan perbandingan antara perubahan tegangan pada sudut tegangan $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan besarnya tegangan $\Delta |V_i^{(k)}|$ dengan perubahan daya aktif ($\Delta P_i^{(k)}$) dan daya reaktif ($\Delta Q_i^{(k)}$).

Setelah matrik Jacobian dimasukkan kedalam Persamaan (2.38) maka nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ dapat dicari dengan menginverskan matrik Jacobian seperti persamaan berikut :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{\text{sch}} - P_i^{(k)} \quad \dots\dots\dots (2.47)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{\text{sch}} - Q_i^{(k)} \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

Setelah nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ diketahui nilainya maka nilai $\Delta \delta_i^{(k+1)}$ dan $V_i^{(k+1)}$ dapat dicari dengan menggunakan nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ kedalam Persamaan berikut :

$$\Delta \delta_i^{(k+1)} = \Delta \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad \dots\dots\dots (2.49)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad \dots\dots\dots (2.50)$$

Nilai $\Delta \delta_i^{(k+1)}$ dan $V_i^{(k+1)}$ merupakan hasil dari perhitungan iterasi pertama. Nilai ini digunakan kembali untuk perhitungan iterasi ke-2 dengan cara memasukkan nilai ini kedalam Persamaan (2.35) dan (2.36) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya.

Perhitungan aliran daya pada iterasi ke-2 mempunyai nilai $k = 1$. Iterasi perhitungan aliran daya dapat dilakukan sampai iterasi ke-n. Perhitungan selesai apabila nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ mencapai kovergensi atau $|V_i^{(k+1)} - V_i^{(k)}| \leq \epsilon$.

2.12. Strategi Penempatan dan Kapasitas Optimal^[16]

2.12.1. Penempatan Optimal Kapasitor

Penempatan optimal kapasitor pada sistem tenaga listrik memiliki banyak variable termasuk kapasitas kapasitor, penempatan optimal, fungsi biaya, tegangan dan harmonisa. Dimana dalam menentukan penempatan dan kapasitas optimal, jenis kapasitor dapat disesuaikan berdasarkan kondisi dilapangan. Namun mengingat variabel-variabel tersebut, membuat penempatan optimal

menjadi sangat rumit. Sehingga untuk menyederhanakan analisis, jenis kapasitor dapat diasumsikan sebagai berikut :

1. Sistem dalam kondisi seimbang (*balanced*)
2. Semua jenis beban dianggap konstan

2.12.2. Kapasitas Kapasitor

Dalam menentukan kapasitas kapasitor, kapasitas yang digunakan dimulai berdasarkan standart kapasitas terkecil dari kapasitor dan kelipatannya. Sehingga berdasarkan standart tersebut, kapasitas kapasitor dapat dijadikan sebagai variabel discrete.

2.12.3. Fungsi Objektif

Tujuan dari permasalahan penempatan kapasitor adalah untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi total rugi-rugi daya pada sistem tenaga yang terpasang. Fungsi objektif didapatkan dari dua istilah. Yang pertama adalah penempatan kapasitor dan yang kedua adalah total rugi-rugi daya. Fungsi objektif yang terkait dengan penempatan kapasitor terdiri dari total rugi-rugi daya dan kapasitas kapasitor. Secara umum permasalahan penempatan dan kapasitas optimal kapasitor dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\min = P_{Loss} + \sum_{j=1}^J Q_j^c \quad \dots\dots\dots (2.51)$$

Subject to :

$$V_{min} \leq |V_j| \leq V_{max} \quad \dots\dots\dots (2.52)$$

$$Q_j^c \leq Q_{max}^c \quad \dots\dots\dots (2.53)$$

Dimana :

P_{Loss} = Total rugi-rugi daya

J = Jumlah Bus

Q_j^c = Penempatan kapasitas kapasitor pada bus j

V_j = Tegangan rms pada bus j

- V_{\min} = Tegangan minimum yang diizinkan (p.u.)
 V_{\max} = Tegangan maksimum yang diizinkan (p.u.)
 Q_{\max}^c = Kapasitas maksimum kapasitor yang diizinkan
 Q_0^c = Kapasitas minimum kapasitor bank

2.12.4. Kendala Oprasional

Tegangan pada feeder atau bus diminta untuk tetap berada pada batasan yang ditentukan setelah penambahan kapasitor pada feeder atau bus. Tetapi kendala tegangan dapat diperhitungkan dengan menentukan batas atas dan batas bawah dari besarnya tegangan.

2.13. Algoritma Genetika (GA)

Genetik Algorithm (GA) merupakan metode adiptif yang diaplikasikan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Pada penulisan skripsi ini hanya difokuskan pada mencari solusi optimal saja. GA sangat berguna dan efisien untuk masalah dengan karakteristik sebagai berikut :

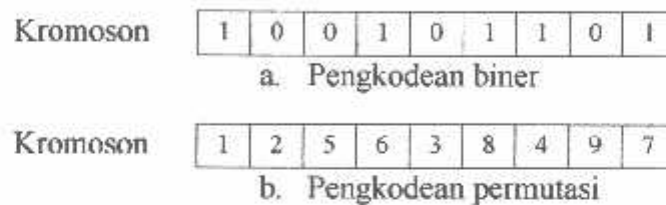
1. Ruang masalah sangat besar, kompleks dan sulit dipahami.
2. Tidak ada pengetahuan yang menandai untuk mempresentasikan masalah kedalam ruang pencarian yang lebih sempit.
3. Tidak tersedianya analisis matematika yang memadai.
4. Metode-metode konvensional sudah tidak mampu lagi untuk menyelesaikannya.

Dalam metode *genetic algorithm*, ada sekumpulan individu (populasi) untuk suatu permasalahan, dalam hal ini dapat diperhitungkan aliran daya dinyatakan dalam bentuk bilangan real yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom.

Populasi dibentuk dari pembangkitan secara acak dan selanjutnya dipilih melalui prosedur operasi genetika yang terdiri dari seleksi *crossover*, dan mutasi. Hasil dari mutasi dievaluasi menggunakan fungsi *fitness* untuk menentukan kromosom mana yang terpilih dilakukan proses perulangan sehingga mencapai nilai tertentu pada suatu kriteria berhenti yang telah ditetapkan sebelumnya (dapat berupa suatu nilai tertentu pada generasi tertentu).

2.13.1. Pengkodean

Pada proses *Genetic Algorithm* mengasumsikan sebuah populasi untuk sebuah persoalan dimungkinkan dengan mewakili satu set parameter. Parameter-parameter ini dinamakan gen nilai-nilai (representasi) yang bersatu membentuk string (kromosom). Selanjutnya beberapa kromosom sejenis berkumpul membentuk populasi. Dari sebuah populasi tersebut, *genetic algorithm* mulai melakukan pencarian. Ilustrasi pengkodean dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.17. Pengkodean dalam *Genetic Algorithm*

Satu hal mendasar *Genetic Algorithm* bekerja pada daerah pengkodean dan solusi. Operasi genetika (pindah silang dan mutasi) bekerja pada daerah pengkodean, sedangkan proses evaluasi dan proses seleksi bekerja pada daerah solusi. Setiap konfigurasi yang memungkinkan (lokasi dan nilai) SVC mewakili suatu individu secara umum genetic algorithm dibentuk oleh serangkaian kromosom yang ditandai dengan X_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$). Setiap elemen dalam kromosom adalah variabel string disebut gen berisi allele. Variabel ini dinyatakan dalam bentuk bilangan biner, real atau abjad. Pengkodean string biner merupakan pendekatan klasik yang digunakan dalam penelitian *genetic algorithm* sederhana.

2.13.2. Nilai Fitness

Nilai fitness menyatakan seberapa baik nilai dari suatu individu atau solusi yang didapatkan. Di dalam evolusi alam, individu yang bernilai fitness tinggi yang akan bertahan hidup. Sedangkan individu yang bernilai fitness rendah akan mati. Dalam masalah optimasi, jika solusi yang dicari adalah memaksimalkan sebuah fungsi h (dikenal dengan masalah maksimal), maka nilai fitness yang digunakan adalah nilai fungsi h tersebut, yakni $f=h$ (di mana f adalah nilai fitness). Tetapi jika masalahnya adalah meminimalkan fungsi h (masalah

minimasi), maka fungsi f tidak bisa digunakan secara langsung dikarenakan adanya aturan bahwa individu yang bernilai fitness tinggi akan mampu bertahan hidup pada generasi berikutnya.

2.13.3. Reproduksi

Reproduksi adalah proses pemilihan individu untuk berpindah menuju generasi baru menurut nilai fitnessnya. Metode seleksi alam yang digunakan adalah *roulette wheel*. Sesuai dengan namanya, metode ini menirukan permainan *roulette-wheel* dimana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda roulette secara proporsional yang memiliki nilai fitness yang lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom bernilai fitness rendah. Untuk mencegah terjadinya konvergensi pada optimum lokal, maka dilakukan penskalaan fitness, sehingga fitness berada pada $[f_{\max}-f_{\min}]$ sebagai berikut :

$$f_i = \frac{1}{N} \left(\eta^+ - (\eta^+ - \eta^-) \times \frac{i-1}{N-1} \right) \dots\dots\dots (2.52)$$

- Dimana : f_i = Nilai fitness individu ke- i
 N = Ukuran populasi
 η^+ = Nilai fitness maksimum
 η^- = Nilai fitness minimum

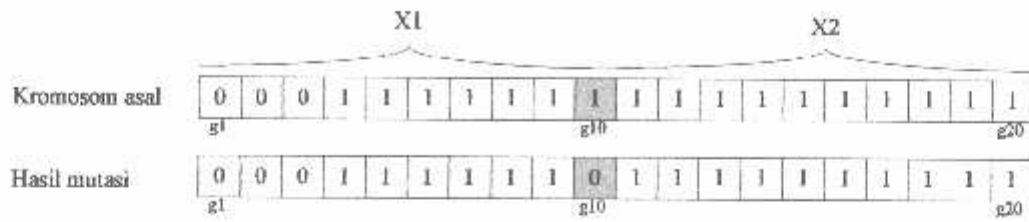
2.13.4. Crossover

Crossover (kawin silang) merupakan proses mengkombinasikan dua individu untuk memperoleh individu-individu baru yang diharapkan mempunyai fitness lebih baik. Titik crossover ditentukan secara random. Gen baru yang lebih panjang dipertahankan sebagai bagian dari individu baru, sedangkan sisanya dipertukarkan.

2.13.5. Mutasi

Mutasi dilakukan pada semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_{mut} yang ditentukan maka gen

tersebut dirubah menjadi nilai kebalikannya (dalam *binary encoding*, 0 diubah menjadi 1, dan 1 menjadi 0).



Gambar 2.18. Proses mutasi pada algoritma genetika

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1. Metode yang digunakan

Dalam analisis penempatan dan penentuan kapasitas optimal *static var compensator* (SVC) untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya, penelitian ini menggunakan standart *IEEE* sebagai titik acuan dalam proses pelaksanaan dan pengerjaannya. Pengujian dan penelitian ini dimulai dengan survey data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) APB Bali. Data tersebut diambil pada tanggal 21 Oktober 2014. Dengan data yang diperoleh maka dapat dilakukan simulasi sistem 150 kV Bali menggunakan *software ETAP Power Station*. Simulasi yang dapat dilakukan berupa aliran daya atau *Load Flow*, yang mana untuk mengetahui profil tegangan, daya aktif, daya reaktif dan rugi-rugi yang terjadi pada sistem 150 kV Bali. Setelah melakukan studi aliran daya maka dapat diketahui kondisi-kondisi bus atau gardu induk yang mengalami penurunan tegangan (*under voltage*). Apabila terdapat kondisi-kondisi bus yang mengalami penurunan tegangan dibawah margin yang diijinkan ($0,95 < V_{pu} < 1,05$) maka dapat dilakukan perbaikan profil tegangan dengan menentukan penempatan dan kapasitas optimal SVC menggunakan *tool Optimal Capacitor Placement* (OCP) dengan menggunakan 2 kasus yaitu pada kasus 1 menggunakan 1 SVC dan pada kasus 2 menggunakan 2 SVC.

3.2. *Software ETAP Power Station*

ETAP merupakan *software* full grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. ETAP dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara *off line* dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi *system real time*, optimasi, manajemen energi sistem dan simulasi *intelligent load shedding*. ETAP didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi sistem tenaga listrik baik di sisi konsumen industri maupun untuk menganalisa performa sistem di sisi *utility*. *Software* ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan AC dan DC (*AC and DC networks*), desain

jaringan kabel (*cable raceways*), *grid* pentanahan (*ground grid*), GIS, desain panel, *arc-flash*, koordinasi peralatan proteksi (*protective device coordination/selectivity*), dan AC/ DC control sistem diagram. (D.William, and Jr.Stevenson 1990)

ETAP *Power Station* juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan. Software ini bekerja berdasarkan plant (*project*). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. Misalnya generator, data beban, data saluran, dll. Sebuah plant terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektris yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap *plant* harus menyediakan data *base* untuk keperluan itu.

ETAP *Power Station* dapat digunakan untuk menggambarkan *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisis/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor *starting*, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *Optimal Capacitor Placement*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *ETAP Power Station* adalah: (D.William, and Jr.Stevenson 1990)

- **One Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
 - **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisis.
 - **Standar yang dipakai**, biasanya mengacu pada standar *IEC* atau *ANSI*, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
 - **Study Case**, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisis.
 - Kelengkapan data dari setiap elemen/komponen/peralatan listrik pada sistem yang akan dianalisis akan sangat membantu hasil simulasi/analisis dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.
-



Gambar 3.1. Tampilan program *ETAP Power Station*

3.3. Metode Aliran Daya (*Loadflow*)

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya dengan membentuk persamaan aljabar non linier, maka perhitungan aliran daya dapat ditentukan dengan melakukan perbandingan antara perubahan tegangan pada sudut tegangan $\Delta\delta_i^{(k)}$ dan besarnya tegangan $\Delta|V_i^{(k)}|$ dengan perubahan daya aktif ($\Delta P_i^{(k)}$) dan daya reaktif ($\Delta Q_i^{(k)}$). Secara matematis persamaan aliran daya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.18)$$

Dimana : ΔP adalah Nilai daya aktif (MW)

ΔQ adalah Nilai daya reaktif (Mvar)

3.4. Metode Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC^[16]

Etap menggunakan algoritma genetika untuk menentukan kapasitas dan penempatan kapasitor optimal. Algoritma genetika adalah teknik optimasi berdasarkan teori seleksi alam. Mulai *genetic algorithm* dengan generasi solusi dengan keanekaragaman untuk mewakili karakteristik dari ruang pencarian secara

keseluruhan. Dengan mutasi dan crossover, karakteristik yang baik dan yang dibawah untuk generasi berikutnya, solusi optimal dapat dicapai melalui generasi berulang.

Tujuan dari penempatan kapasitor yang optimal dapat dipresentasikan secara matematis yaitu sebagai berikut :

$$\min = P_{Loss} + \sum_{j=1}^J Q_j^c \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

Subject to :

$$V_{\min} \leq |V_j| \leq V_{\max} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

$$Q_j^c \leq Q_{\max}^c \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

Dimana :

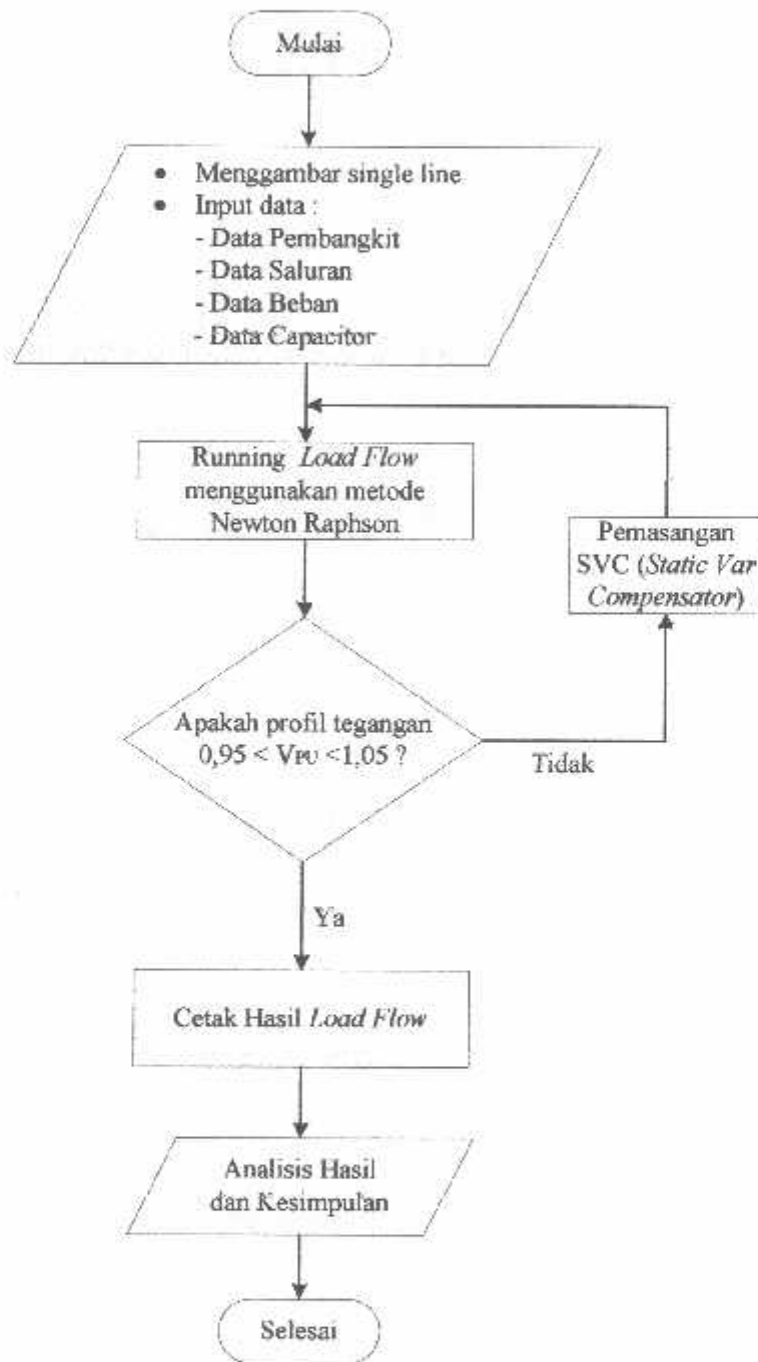
- P_{Loss} = Total rugi-rugi daya
 - J = Jumlah Bus
 - Q_j^c = Penempatan kapasitas kapasitor pada bus j
 - V_j = Tegangan rms pada bus j
 - V_{\min} = Tegangan minimum yang diizinkan (p.u.)
 - V_{\max} = Tegangan maksimum yang diizinkan (p.u.)
 - Q_{\max}^c = Kapasitas maksimum kapasitor yang diizinkan
 - Q_0^c = Kapasitas minimum kapasitor bank
-

3.5. Algoritma Simulasi pada *Software ETAP Power Station*

1. Mulai
 2. Menggambar *single line*
 3. Input data : Data generator, data saluran, data beban.
 4. Menjalankan simulasi aliran daya (*Load Flow*) dengan menggunakan Metode *Newton Raphson*
 5. Mengecek apakah tegangan pada sistem telah pada batasan yang ditentukan yaitu $0,95 \text{ p.u} \leq V \leq 1,05 \text{ p.u}$
 - a. "Ya" : Cek hasil simulasi dan analisis data
 - b. "Tidak" : Lakukan proses simulasi *Optimal Capacitor Placement (OCP)* hingga menemukan bus mana saja yang menjadi letak optimal buat penempatan kapasitor yang kemudian nilai kapasitor digantikan oleh Static Var Compencator (SVC). Setelah proses *OCP* selesai dan telah dipasang SVC, kembali ke proses *Load Flow* untuk menganalisis keadaan sistem setelah dipasang *SVC*.
 6. Setelah proses simulasi *Load Flow* selesai dan tegangan telah pada batasan yang ditentukan, kemudian cetak hasil simulasi dan analisis data.
 7. Selesai.
-

3.6. Flowchart Penyelesaian Masalah

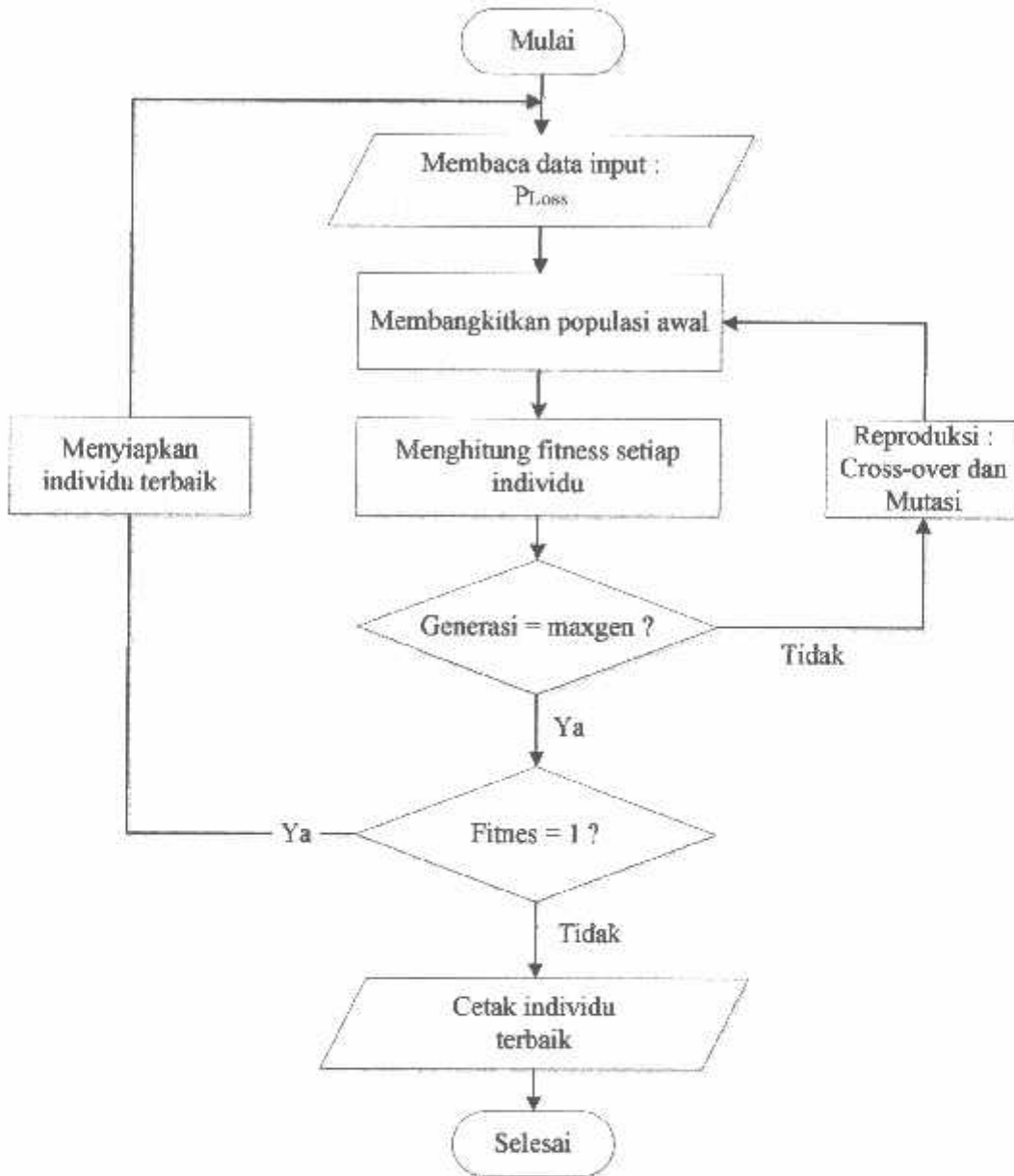
Dibawah ini adalah *flowchart* penyelesaian masalah yang terjadi pada sistem 150 kV Bali untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya.



Gambar 3.2 Flow chart penyelesaian masalah

3.7. Flowchart Strategi Optimasi

Berikut ini merupakan *flowchart* strategi optimasi untuk mendapatkan penempatan dan besar kapasitas optimal *static var compensator* pada sistem 150 kV Bali.

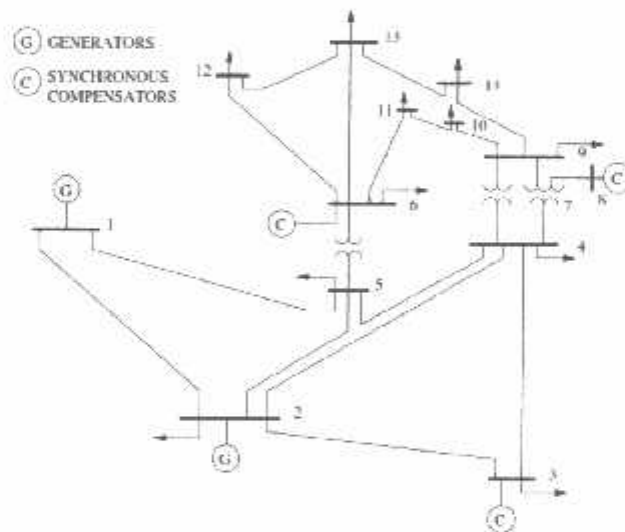


Gambar 3.3 *Flow chart* strategi optimasi

BAB IV HASIL DAN ANALISIS HASIL

4.1. Sistem IEEE 14-bus

IEEE 14-BUS merupakan penelitian yang menggunakan program *UWPFLOW* dan *PST* untuk mendapatkan kurva PV pada sistem, dan analisis *eigenvalue* untuk mempelajari kinerja pada sistem. Dalam sistem *IEEE 14-bus* ini, SVC juga ditambahkan kedalam sistem sebagai pengaturan kontrol yang menyuntikkan daya reaktif ke dalam sistem. Yang mana tujuan kontrol dari SVC sebagai pemeliharaan kestabilan kondisi *steady state* dan dinamika voltase dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi dan berbeban tinggi (*heavily loaded*). Berikut ini merupakan pengujian sistem *IEEE 14-bus* sebagai kasus dasar dan pembandingan dalam mempelajari sistem optimasi pada sistem tenaga. Yang mana hal ini dapat diterapkan pada sistem 150 kV 15-bus di Pulau Bali.



Gambar 4.1. Single line sistem IEEE 14 Bus

Berdasarkan data (lampiran) dan single line diatas maka dapat dilakukan analisis aliran daya untuk mengetahui keadaan sistem dalam kondisi *base case* yaitu dengan melepas (*off*) semua sumber daya reaktif yang berada pada sistem IEEE 14 Bus. Berikut ini merupakan hasil profil tegangan dan rugi-rugi daya yang didapat dari perhitungan aliran daya pada sistem *IEEE 14-bus* dalam kondisi *basecase*.

Tabel 4.1. Profil tegangan dalam kondisi *base case* pada sistem *IEEE* 14-bus

<i>IEEE</i> 14-bus		
No	ID	V (p.u.)
1.	Bus 1	1,0382
2.	Bus 2	1,0200
3.	Bus 3	0,9488
4.	Bus 4	0,9614
5.	Bus 5	0,9718
6.	Bus 6	0,9642
7.	Bus 7	0,9595
8.	Bus 8	0,9595
9.	Bus 9	0,9537
10.	Bus 10	0,9481
11.	Bus 11	0,9525
12.	Bus 12	0,9498
13.	Bus 13	0,9453
14.	Bus 14	0,9326

Tabel 4.2. Rugi-rugi daya (MW) dalam kondisi *base case* pada sistem *IEEE* 14-bus

ID	Bus dari	Bus ke	P_{Loss} (MW)
T1	4	7	0,003
T2	4	9	0,081
T3	5	6	0,115
Z1	1	2	4,682
Z2	1	5	2,711
Z3	2	3	2,205
Z4	2	4	1,630
Z5	2	5	0,914
Z6	3	4	0,353
Z7	4	5	0,451
Z8	7	8	0
Z9	6	11	0,063
Z10	6	12	0,071
Z11	6	13	0,213
Z12	7	9	0
Z13	9	10	0,013
Z14	9	14	0,103
Z15	10	11	0,017
Z16	12	13	0,006
Z17	13	14	0,058

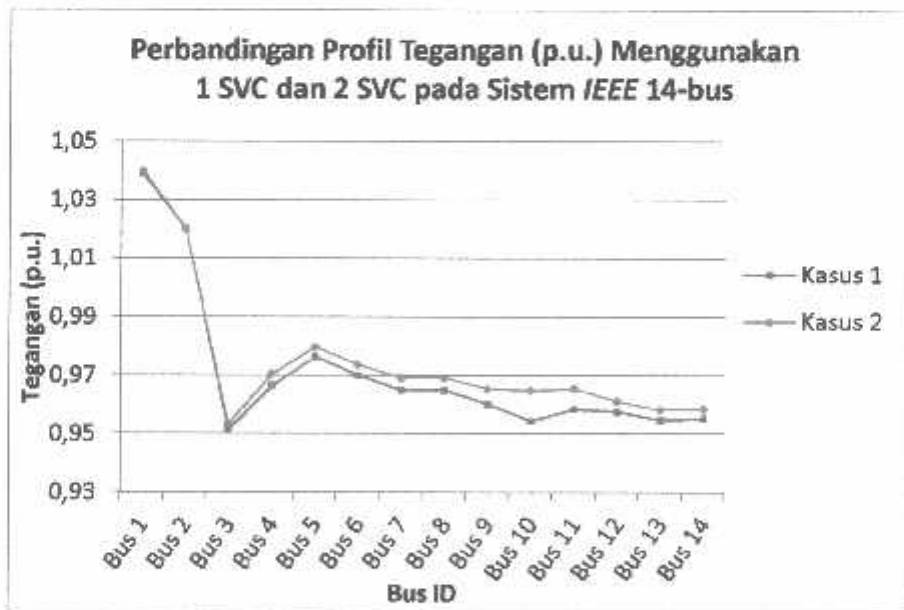
Berdasarkan hasil *loadflow* dalam kondisi *base case* diatas dan telah diketahui terjadi pelanggaran tegangan diluar margin yang diizinkan yaitu 0,95 p.u. sampai 1,05 p.u. maka dapat dilakukan perbaikan profil tegangan. Dalam melakukan perbaikan profil tegangan, penulis menggunakan analisis *optimal capacitor placement* (OCP) untuk mendapatkan penempatan dan kapasitas

optimal SVC. Dalam menentukan penempatan dan kapasitas SVC, penulis menggunakan dua kasus, yaitu pada kasus 1 menggunakan 1 SVC dan pada kasus 2 menggunakan 2 SVC. Dari hasil pengujian didapatkan hasil sebagai berikut :

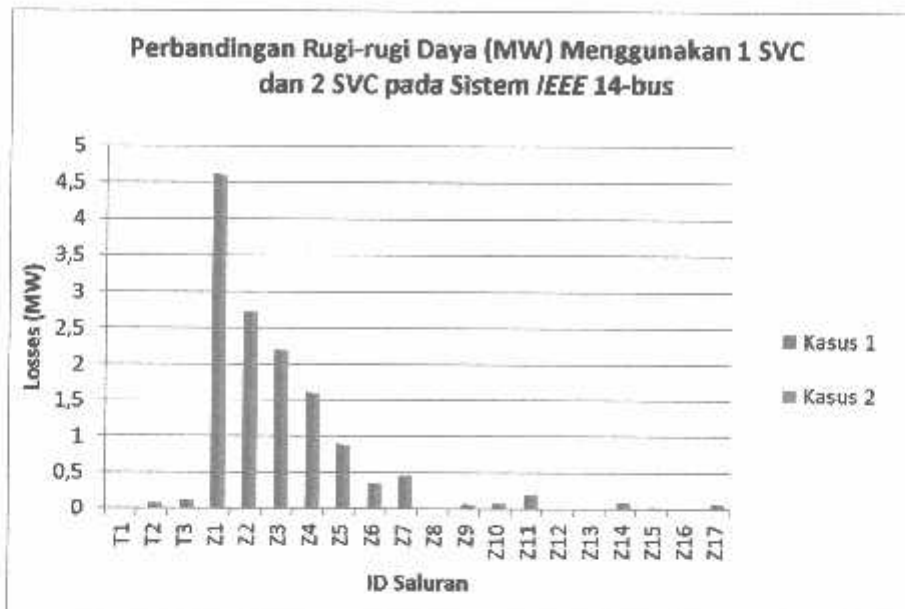
Tabel 4.3. Penentuan penempatan dan kapasitas SVC pada sistem IEEE 14 Bus

IEEE 14-bus					
Kasus	Lokasi Bus	Jumlah SVC	Total Q_c (Mvar)	P_{Loss} (MW)	Q_{Loss} (Mvar)
Base case	-	-	-	13,693	20,922
Kasus 1	14	1	10,8	13,591	20,479
Kasus 2	14, 13	2	21,6	13,538	20,154
	14, 10	2	21,6	13,511	20,090
	13, 12	2	21,6	13,583	20,209

Dari hasil analisis OCP, dapat diketahui bahwa penempatan dan kapasitas optimal SVC terdapat pada kasus 1 yaitu bus 14 dengan jumlah 1 SVC dan kapasitas Q_c paling minimum. Sedangkan pada kasus 2 dinilai kurang efisien, dikarenakan untuk dapat meningkatkan profil tegangan dan meminimalisir rugi-rugi daya membutuhkan kapasitas 2 kali lebih besar dibandingkan pada kasus 1. Hal ini dapat dibuktikan terhadap perubahan level tegangan (gambar 4.2) dan rugi-rugi daya (gambar 4.3) dengan menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan 2 SVC (Kasus 2).



Gambar 4.2. Perbandingan level tegangan menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan 2 SVC (Kasus 2).



Gambar 4.3. Perbandingan Rugi-rugi Daya Aktif (MW) pada Sistem IEEE 14-bus

Setelah diketahui penempatan dan kapasitas optimal *static var compensator* (SVC) maka dapat dilakukan pemasangan SVC pada bus yang sudah ditentukan, yaitu bus 14 dengan kapasitas 10,8 Mvar. Berikut ini hasil profil tegangan dan rugi-rugi daya sesudah pemasangan SVC pada sistem IEEE 14-bus.

Tabel 4.4. Profil tegangan sesudah pemasangan SVC pada sistem IEEE 14-bus

IEEE 14-bus		
No	ID	V (p.u.)
1.	Bus 1	1,0391
2.	Bus 2	1,0200
3.	Bus 3	0,9514
4.	Bus 4	0,9665
5.	Bus 5	0,9765
6.	Bus 6	0,9700
7.	Bus 7	0,9649
8.	Bus 8	0,9649
9.	Bus 9	0,9602
10.	Bus 10	0,9544
11.	Bus 11	0,9585
12.	Bus 12	0,9575
13.	Bus 13	0,9547
14.	Bus 14	0,9552

Tabel 4.5. Profil tegangan sesudah pemasangan SVC pada sistem IEEE 14-bus

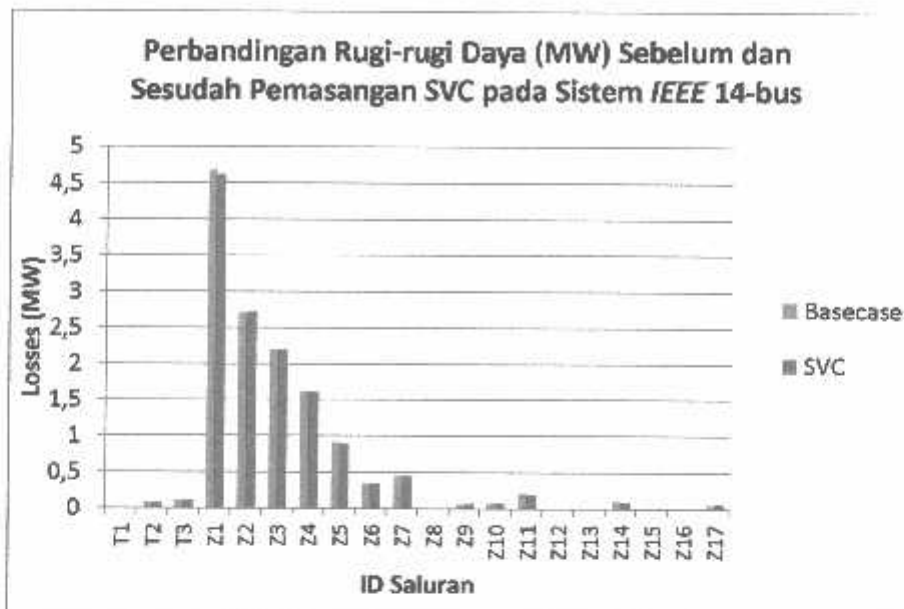
ID	Bus dari	Bus ke	P_{Loss} (MW)
T1	4	7	0,003
T2	4	9	0,074

T3	5	6	0,111
Z1	1	2	4,625
Z2	1	5	2,727
Z3	2	3	2,203
Z4	2	4	1,611
Z5	2	5	0,891
Z6	3	4	0,348
Z7	4	5	0,455
Z8	7	8	0
Z9	6	11	0,063
Z10	6	12	0,068
Z11	6	13	0,204
Z12	7	9	0
Z13	9	10	0,014
Z14	9	14	0,095
Z15	10	11	0,017
Z16	12	13	0,005
Z17	13	14	0,074

Dari hasil pengujian sistem *IEEE* 14-bus ini, maka dapat dibuktikan bahwa setelah pemasangan SVC dapat meningkatkan profil tegangan hingga berada pada margin yang diizinkan yaitu 0,95 p.u. sampai 1,05 p.u. serta dapat mengurangi rugi-rugi daya dari 13,693 MW dan 20,922 MVar menjadi 13,591 MW dan 20,483 MVar. Berikut ini perbandingan profil tegangan dan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah pemasangan SVC pada sistem *IEEE* 14-bus.



Gambar 4.4. Perbandingan level tegangan (p.u.) sebelum dan sesudah pemasangan SVC (kasus 1)



Gambar 4.5. Perbandingan rugi-rugi daya (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC (kasus 1)

4.2. Sistem 150 kV Bali

Sistem 150 kV Bali merupakan sistem tenaga listrik yang memiliki pola pembebanan yang tinggi. Hal ini dapat dilihat berdasarkan data sheet yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Area Pengaturan Beban Bali. Mengingat kebutuhan beban yang tinggi, energi listrik menjadi permasalahan yang serius. Sedangkan pada saat ini persediaan energi listrik dipulau Bali hanya memiliki kapasitas 562,5 MW (PLTG Gilimanuk, 130 MW; PLTGU Pamaron, 90 MW; PLTG/PLTD Pesanggaran, 342,5 MW) dan juga dengan pasokan 180 MW dari Pulau Jawa. Dengan beban puncak listrik di Bali sebesar 758,7 MW (rekor beban tertinggi 758,7 MW (21/10/2014)). Melihat kondisi ini, sistem 150 kV Bali sedang menghadapi krisis energi listrik. Apabila salah satu pembangkit mengalami black out, maka dapat dipastikan pulau Bali akan mengalami pemadaman bergilir. Berikut ini adalah data sheet pola pembangkitan dan pembebanan yang terjadi pada sistem 150 kV Bali. Yang mana data-data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4, 4.5 dan 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6. Data Pembangkit Sistem Bali

SUB SISTEM BALI	DATA SHEET APB BALI	
	MW	MVAR
PLTG GLNUK	129,4	54,0
PLTG PRON	79,4	21,0
PLTD BOO PMRON	0,0	0,0
PLTG PSGRN	69,3	16,6
PLTD E 10 MW BALI PSGRN	9,0	1,4
PLTD A 30 MW BOO PSGRN	28,3	6,0
PLTD B 50 MW BOT PSGRN	13,0	4,2
PLTD C 50 MW APEC PSGRN	45,6	6,8
PLTD D 45 MW BALI PSGRN	42,0	5,8
PLTD F 10 MW BALI PSGRN	40,7	17,0
KAPASITOR	-	300
PEMBANGKIT BALI & SC	456,7	132,8
TRANSFER JAWA - BALI	302,0	-127,0
DISTRIBUSI BALI	758,7	305,8

Tabel 4.7. Data Beban Sistem Bali

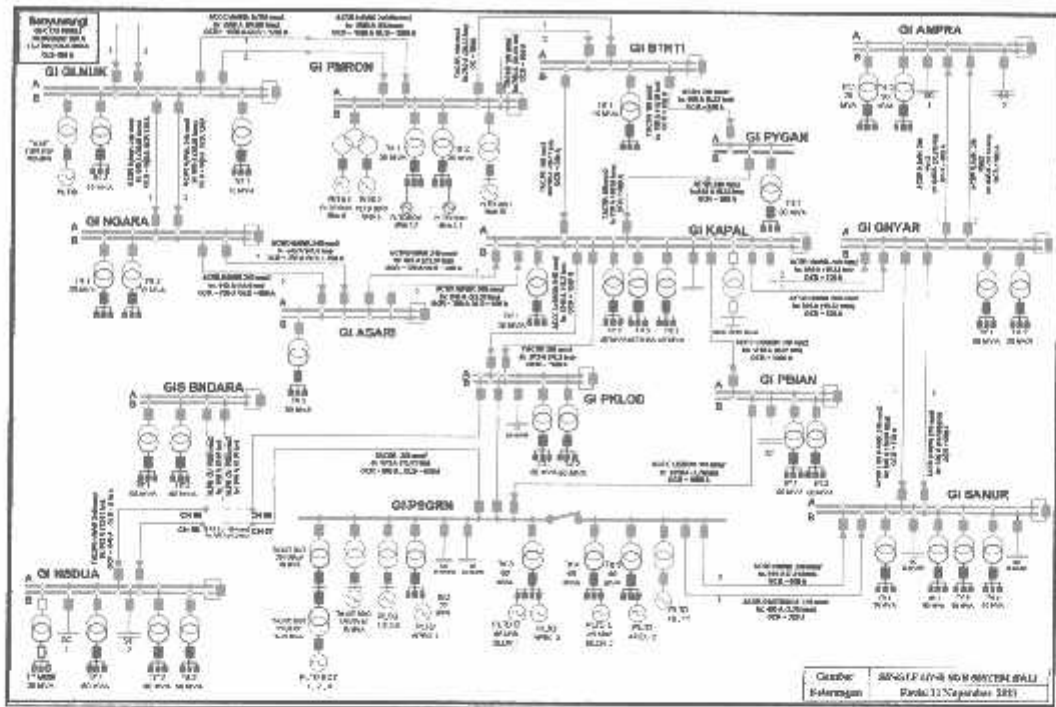
ID	LOAD 150/20 KV	DATA SHEET APB BALI	
		MW	MVAR
GLNUK	Trafo 1-10MVA	4,6	0,9
	Trafo 2-10MVA	5,3	1,4
NGARA	Trafo 1-30MVA	9,9	2,4
	Trafo 2-30MVA	10,7	2,2
ASARI	Trafo 1-20MVA	11,7	2,3
	Trafo 2-30MVA	3,1	-0,2
PMRON	Trafo 1-30MVA	23,8	5,4
	Trafo 2-30MVA	21,3	3,2
BTRTI	Trafo 1-16MVA	6,8	1,0
	Trafo 2-15MVA	2,2	0,1
PNGAN	Trafo 1-30MVA	26,9	9,6
	Trafo 2-30MVA	3,3	-0,4
KAPAL	Trafo 1-20MVA	17,1	4,9
	Trafo 2-30MVA	27,0	7,7
	Trafo 3-60MVA	29,9	7,9
	Trafo 4-60MVA	25,0	7,2
GNYAR	Trafo 1-60MVA	38,3	14,9
	Trafo 2-30MVA	20,2	8,0
AMPRA	Trafo 1-20MVA	12,8	4,2
	Trafo 2-30MVA	11,4	3,8
SANUR	Trafo 1-30MVA	8,5	2,4
	Trafo 2-60MVA	13,7	4,3
	Trafo 3-60MVA	31,7	10,1
	Trafo 4-60MVA	17,8	5,4
PBIAN	Trafo 1-60MVA	39,8	15,7
	Trafo 2-60MVA	25,3	7,9
PKLOD	Trafo 1-60MVA	32,5	9,3
	Trafo 2-60MVA	33,4	9,6
	Trafo 3-60MVA	10,8	3,6
BNDRA	Trafo 1-60MVA	16,9	4,6

NSDUA	Trafo 2-60MVA	11,0	0,8
	Trafo 1-60MVA	18,0	5,6
	Trafo 2-60MVA	28,0	6,7
	Trafo 3-60MVA	25,0	6,0
PSGRN	Trafo 3-60MVA	26,9	11,4
	Trafo 4-60MVA	22,7	31,3
	Trafo 5-60MVA	35,3	13,3

Tabel 4.8. Data Saluran Sistem Bali

Dari	Ke	Sirkuit	Jarak (Km)	Jenis Konduktor
GLNUK	NGARA	1	43,69	ACSR HAWK
GLNUK	NGARA	2	43,69	ACSR HAWK
GLNUK	PMRON	1	75,9	ACCC HAWK/ACSR HWK
GLNUK	PMRON	2	75,9	ACCC HAWK/ACSR HWK
NGARA	ASARI	1	44,23	ACSR HAWK
NGARA	ASARI	2	44,23	ACSR HAWK
ASARI	KAPAL	1	23	ACSR HAWK
ASARI	KAPAL	2	23	ACSR HAWK
KAPAL	BTRITI	1	38,15	TACSR
KAPAL	PYGAN	1	26,69	TACSR
KAPAL	GNYAR	1	19,22	ACSR HAWK
KAPAL	GNYAR	2	19,22	ACSR HAWK
KAPAL	PKLOD	1	11,2	ACCC LISBON
KAPAL	PKLOD	2	11,2	ACSR HAWK
KAPAL	PBIAN	1	9,97	ACCC LISBON
GNYAR	SANUR	1	16,26	ACSR HAWK
GNYAR	SANUR	2	16,38	ACSR HAWK
GNYAR	AMPRA	1	33,76	ACSR HAWK
GNYAR	AMPRA	2	33,76	ACSR HAWK
SANUR	PSGRN	1	7,74	ACSR PARTRIDGE
SANUR	PSGRN	2	7,75	ACSR HAWK
PSGRN	NSDUA	1	13,41	TACSR
PSGRN	NSDUA	1	1,2	XLPE (CU)
PKLOD	BNDRA	1	11,13	TACSR
PKLOD	BNDRA	1	2,58	XLPE (CU)
BNDRA	NSDUA	1	7,12	TACSR
BNDRA	NSDUA	1	2,044	XLPE (CU)
PMRON	BTRITI	1	20,43	TACSR
PMRON	BTRITI	2	20,43	TACSR
PBIAN	PSGRN	1	7,6	ACCC LISBON
PKLOD	PSGRN	1	6,53	ACCC LISBON
BTRITI	PYGAN	1	27,14	TACSR

Dari data-data diatas maka dapat dilakkukan analisis aliran daya dalam kondisi *base case* pada sistem 150 kV Bali yaitu dengan melepas (*off*) semua sumber daya reaktif yang terdapat pada sistem 150 kV Bali. Berikut ini merupakan single line diagram untuk analisis aliran daya pada sistem 150 kV Bali.



Gambar 4.6. Single line sistem 150 kV Bali

Pada gambar diatas, sistem 150 kV Bali terdiri dari 1 bus slack, 2 Bus generator, dan 12 bus beban. Yang mana bus tersebut dapat dijabarkan pada tabel berikut.

Tabel 4.9. Type Bus pada Sistem 150 kV Bali

No	Bus ID	Bus Type
1.	GI AMPRA	3
2.	GI ASARI	3
3.	GI BTRTI	3
4.	GI GLNUK	1
5.	GI GNYAR	3
6.	GI KAPAL	3
7.	GI NGARA	3
8.	GI NSDUA	3
9.	GI PBIAN	3
10.	GI PKLÖD	3
11.	GI PMRON	2
12.	GI PSGRN	2
13.	GI PYGAN	3
14.	GI SANUR	3
15.	GIS BNDARA	3

Pada tabel 4.7. dapat diketahui bahwa Bus type 1 merupakan Bus Slack, Bus type 2 merupakan Bus Generator dan Bus type 3 merupakan Bus Beban.

4.3. Analisis Profil Tegangan dan Rugi-rugi Daya Pada Sistem 150 kV Bali dalam Kondisi *Base case*

Dari hasil perhitungan aliran daya (*loadflow*) dalam kondisi *base case* yaitu dengan melepas (*off*) semua sumber daya reaktif pada sistem 150 kV Bali, dapat diketahui bahwa pada sistem 150 kV Bali terdapat bus yang mengalami kondisi *under voltage* atau dibawah 0,95 p.u, yang mana dapat dilihat pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10. Profil Tegangan kondisi *base case*

No	Bus ID	Voltage (p.u.)
1.	GI AMPRA	0,9373
2.	GI ASARI	0,9523
3.	GI BRTI	0,9691
4.	GI GLNUK	1
5.	GI GNYAR	0,9418
6.	GI KAPAL	0,9451
7.	GI NGARA	0,9720
8.	GI NSDUA	0,9439
9.	GI PBIAN	0,9465
10.	GI PKLOD	0,9458
11.	GI PMRON	0,9854
12.	GI PSGRN	0,9530
13.	GI PYGAN	0,9538
14.	GI SANUR	0,9468
15.	GIS BNDARA	0,9435

Pada bus yang berwarna merah diatas merupakan bus yang mengalami pelanggaran tegangan diluar margin yang sudah ditentukan, yaitu pada GI Ampira sebesar 0,9373 p.u, GI Gnyar sebesar 0,9418 p.u, GI Kapal sebesar 0,9451 p.u, GI Nsdua sebesar 0,9439 p.u, GI Pbian sebesar 0,9465 p.u, GI Pklod 0,9458 p.u, GI Sanur sebesar 0,9468 p.u, dan GIS Bndara sebesar 0,9435 p.u. Berikut ini merupakan hasil perhitungan rugi-rugi daya dalam kondisi *base case* :

Tabel 4.11. Perhitungan rugi-rugi daya kondisi *base case*

ID	P_{Loss} (MW)	Q_{Loss} (Mvar)
ASARI - KAPAL	3,180	5,908
BNDRA - NSDUA	0,019	0,033
BRTI - PNGAN	1,745	2,077
GNYAR - AMPRA	0,075	0,140
GNYAR - SANUR	0,134	0,250
GLNUK - NGARA	8,222	15,280

GLNUK – PMRON	7,274	13,306
KAPAL – BTRTI	3,643	3,863
KAPAL – GNYAR	0,452	0,840
KAPAL – PBIAN	0,378	0,571
KAPAL – PYGAN	1,151	1,221
KAPAL – PKLOD	0,643	0,992
NGARA – ASARI	6,994	12,996
PBIAN – PSGRN	0,307	0,462
PMRON – BTRTI	4,076	4,322
PSGRN - NSDUA	0,367	0,595
PKLOD – BNDRA	0,147	0,245
PKLOD – PSGRN	0,429	0,646
SANUR - PSGRN	0,380	0,561

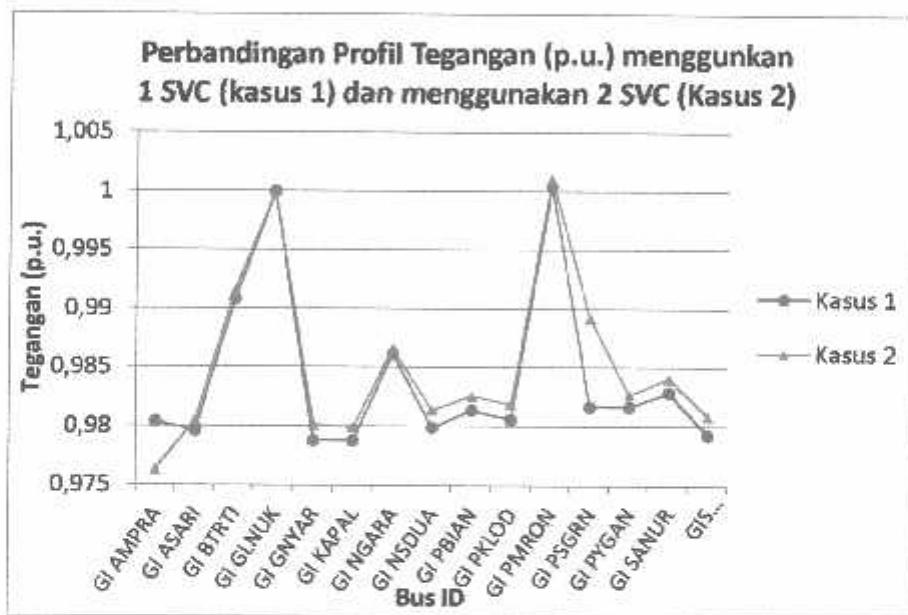
4.4. Analisis Penempatan dan Kapasitas Optimal SVC pada Sistem 150 kV Bali

Dari hasil perhitungan aliran daya dalam kondisi *base case* pada sistem 150 kV Bali, terdapat bus yang mengalami pelanggaran tegangan diluar margin yang diizinkan yaitu 0,95 p.u. sampai 1,05 p.u. yang terdapat pada GI Ampra, GI Gnyar, GI Kapal, GI Nsdua, GI Pbian, GI Pklod, GI Sanur, dan GIS Bndara. Maka dari itu dengan cara yang sama (pada pengujian sebelumnya yaitu sistem *IEEE 14-bus*) dapat dilakukan analisis *optimal capacitor placement* untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya dengan menggunakan dua kasus yaitu pada kasus 1 menggunakan 1 SVC dan pada kasus 2 menggunakan 2 SVC guna mengetahui penempatan dan kapasitas optimal SVC pada sistem 150 kV Bali. Berikut hasil penempatan dan kapasitas optimal SVC yang didapat dari perhitungan *loadflow* OCP pada sistem 150 kV Bali.

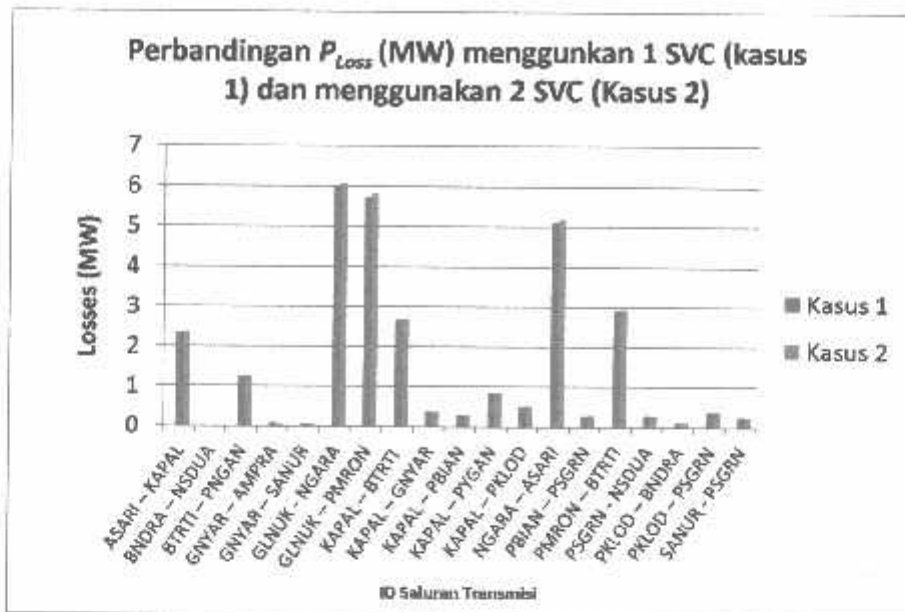
Tabel 4.12. Penentuan penempatan dan kapasitas SVC pada sistem 150 kV Bali

Sistem 150 kV Bali					
Kasus	Lokasi Bus	Jumlah Bus	Total Q_c (Mvar)	P_{Loss} (MW)	Q_{Loss} (Mvar)
<i>Base case</i>	-	-	-	42,820	80,232
Kasus 1	Ampra	1	64,8	49,652	91,634
	Bndara	1	97,2	53,630	97,927
	Gnyar	1	75,6	50,377	92,762
	Kapal	1	97,2	51,648	94,716
	Nsdua	1	97,2	53,870	98,307
	Pklod	1	97,2	52,821	96,599
	Sanur	1	86,4	52,225	96,735
Kasus 2	Gnyar, Bndara	2	75,6	50,390	92,771
	Kapal, Bndara	2	97,2	51,784	94,936

Berdasarkan hasil perhitungan *loadflow* OCP, dapat diketahui bahwa pada sistem 150 kV Bali penempatan dan kapasitas optimal SVC terdapat pada kasus 1 yaitu Bus GI Ampra dengan jumlah 1 SVC dan kapasitas Q_c paling minimum yaitu 64,8 MVar. Sedangkan pada kasus 2 dinilai kurang efisien dikarenakan untuk dapat meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya memerlukan kapasitas daya reaktif lebih besar dibandingkan dengan kasus 1. Yang mana hal ini dapat dibuktikan berdasarkan perubahan level tegangan (gambar 4.7) dan rugi-rugi daya (gambar 4.8) setelah dilakukan pemasangan SVC.



Gambar 4.7. Perbandingan profil tegangan menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan menggunakan 2 SVC (Kasus 2)



Gambar 4.8. Perbandingan Rugi-rugi Daya (MW) menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan menggunakan 2 SVC (Kasus 2)

4.5. Analisis Profil Tegangan dan Rugi-rugi Daya Pada Sistem 150 kV Bali Setelah Pemasangan SVC

Setelah melakukan analisis sistem 150 kV Bali dalam kondisi *base case* dan telah didapatkan penempatan dan kapasitas optimal SVC, maka dapat dilakukan pemasangan SVC untuk memperbaiki profil tegangan dan rugi-rugi daya. Berikut kinerja sistem 150 kV Bali setelah dilakukan pemasangan SVC ditinjau dari profil tegangan dan rugi-rugi dayanya.

Tabel 4.13. Profil tegangan setelah pemasangan SVC

No	Bus ID	Voltage (p.u.)
1.	GI AMPRA	0,9971
2.	GI ASARI	0,988
3.	GI BTRTI	0,9957
4.	GI GLNUK	1
5.	GI GNYAR	0,9911
6.	GI KAPAL	0,9900
7.	GI NGARA	0,9898
8.	GI NSDUA	0,9936
9.	GI PBIAN	0,9910
10.	GI PKLOD	0,9924
11.	GI PMRON	1,0027
12.	GI PSGRN	0,9965
13.	GI PYGAN	0,9893
14.	GI SANUR	0,9934
15.	GIS BNDARA	0,9921

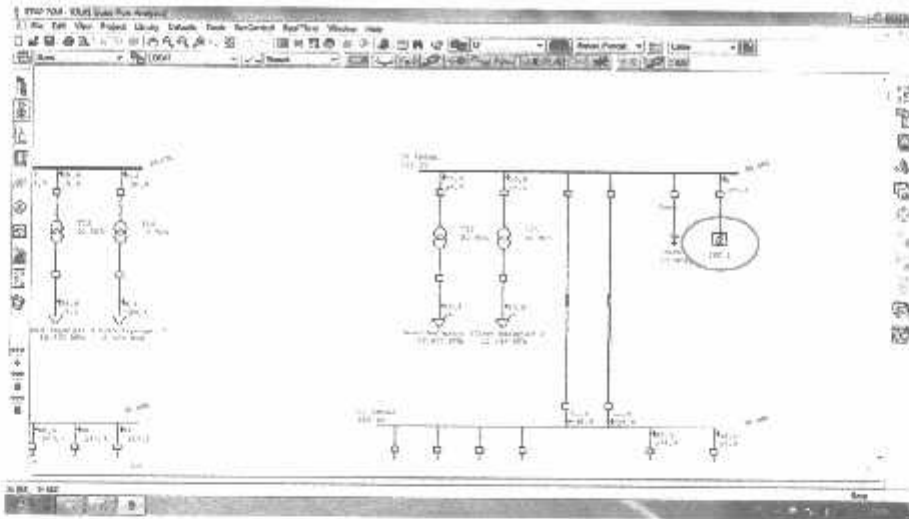
Tabel 4.14. Perhitungan Rugi-rugi saluran setelah pemasangan SVC

ID	P_{Loss} (MW)	Q_{Loss} (Mvar)
ASARI – KAPAL	2,346	5,218
BNDRA – NSDUA	0,015	0,031
BTRTI – PNGAN	1,242	1,833
GNYAR – AMPRA	0,080	0,177
GNYAR – SANUR	0,071	0,159
GLNUK – NGARA	5,988	13,316
GLNUK – PMRON	5,724	12,292
KAPAL – BTRTI	2,675	3,543
KAPAL – GNYAR	0,372	0,826
KAPAL – PBIAN	0,309	0,538
KAPAL – PYGAN	0,860	1,139
KAPAL – PKLOD	0,509	0,917
NGARA – ASARI	5,120	11,386
PBIAN – PSGRN	0,276	0,481
PMRON – BTRTI	2,930	3,880
PSGRN – NSDUA	0,283	0,543
PKLOD – BNDRA	0,108	0,213
PKLOD – PSGRN	0,389	0,677
SANUR – PSGRN	0,257	0,450

Dari hasil analisis, dapat diketahui bahwa setelah pemasangan SVC dapat meningkatkan profil tegangan hingga berada pada margin yang diizinkan yaitu pada pada GI Ampra dari 0,9373 p.u. menjadi 0,9971 p.u, GI Gnyar dari 0,9418 p.u menjadi 0,9911 p.u, GI Kapal dari 0,9451 p.u menjadi 0,9900 p.u, GI Nsdua dari 0,9439 p.u menjadi 0,9936 p.u, GI Pbian dari 0,9465 p.u menjadi 0,9910 p.u, GI Pklod dari 0,9458 p.u menjadi 0,9924 p.u, GI Sanur dari 0,9468 p.u menjadi 0,9934 p.u, dan GIS Bndara dari 0,9535 p.u menjadi 0,9921 p.u. Serta dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi dari 42,820 MW dan 80,232 MVar menjadi 32,514 MW dan 72,204 MVar.

4.6. Penempatan SVC pada *Software ETAP Power Station*

Berikut ini hasil pemasangan SVC pada *software ETAP Power Station* di Bus GI Ampra dengan kapasitas SVC sebesar 64,8 MVar untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya pada sistem 150 kV Bali.



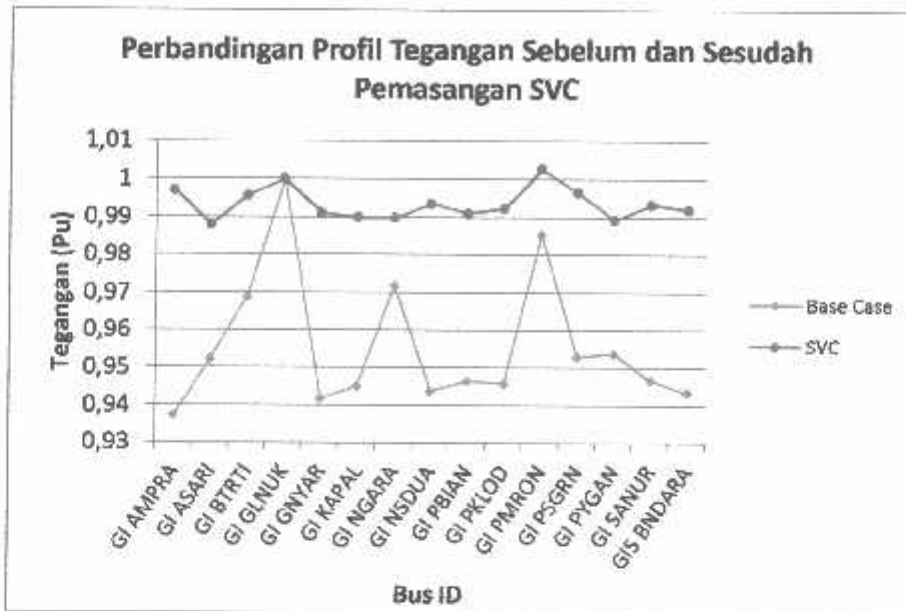
Gambar 4.9. Pemasangan SVC pada Bus GI Ampira

4.7. Analisis Perbandingan Kondisi *Base case* dan Pemasangan SVC

Untuk mengetahui perubahan level tegangan dalam kondisi *base case* dan pemasangan SVC, maka pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.10 dapat memberikan gambaran bahwa injeksi daya reaktif yang disuplai dari *static var compensator* (SVC) sangat berpengaruh terhadap kenaikan level tegangan, serta dapat mengurangi rugi-rugi daya pada sistem 150 kV Bali.

Tabel 4.15. Perbandingan level tegangan dalam kondisi *base case* dan pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali.

No	Bus ID	Tegangan (Pu)	
		Base Case	SVC
1	GI AMPRA	0,9373	0,9804
2	GI ASARI	0,9523	0,9796
3	GI BRTI	0,9691	0,9908
4	GI GLNUK	1	1
5	GI GNYAR	0,9418	0,9788
6	GI KAPAL	0,9451	0,9788
7	GI NGARA	0,9720	0,9862
8	GI NSDUA	0,9439	0,9799
9	GI PBIAN	0,9465	0,9814
10	GI PKLOD	0,9458	0,9806
11	GI PMRON	0,9854	1,0005
12	GI PSGRN	0,9530	0,9817
13	GI PYGAN	0,9538	0,9817
14	GI SANUR	0,9468	0,9829
15	GIS BNDARA	0,9435	0,9793

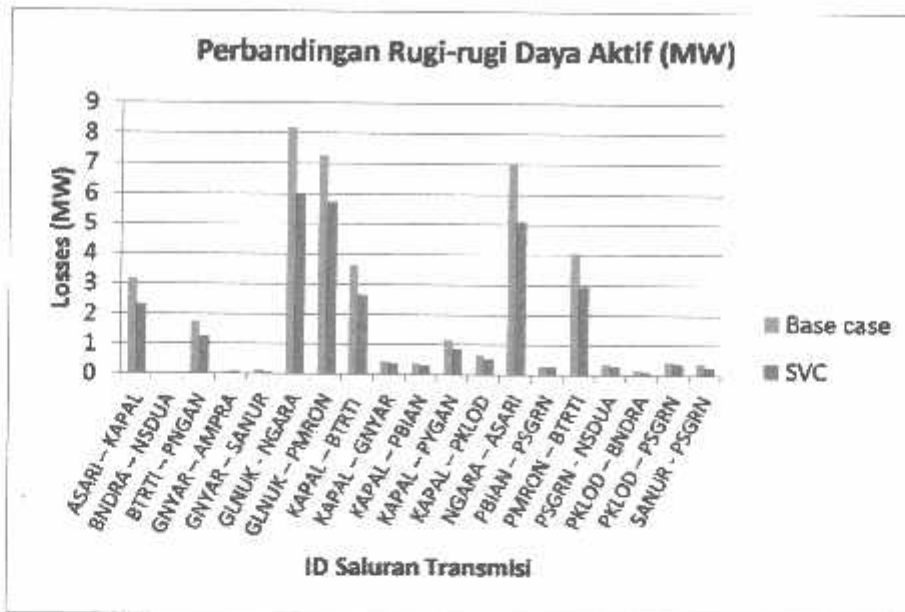


Gambar 4.10. Perbandingan level tegangan dalam kondisi *base case* dan pemasangan SVC (kasus1) pada sistem 150 kV Bali.

Berikut ini merupakan perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) dalam kondisi *base case* dan pemasangan SVC.

Tabel 4.16. Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC

ID	P_{Loss} (MW)	
	<i>Base case</i>	<i>SVC</i>
ASARI – KAPAL	3,180	2,346
BNDRA – NSDUA	0,019	0,015
BTRTI – PYGAN	1,745	1,242
GNYAR – AMPRA	0,075	0,080
GNYAR – SANUR	0,134	0,071
GLNUK - NGARA	8,222	5,988
GLNUK – PMRON	7,274	5,724
KAPAL – BTRTI	3,643	2,675
KAPAL – GNYAR	0,452	0,372
KAPAL – PBIAN	0,378	0,309
KAPAL – PYGAN	1,151	0,860
KAPAL – PKLOD	0,643	0,509
NGARA – ASARI	6,994	5,120
PBIAN – PSGRN	0,307	0,276
PMRON – BTRTI	4,076	2,930
PSGRN – NSDUA	0,367	0,283
PKLOD – BNDRA	0,147	0,108
PKLOD – PSGRN	0,429	0,389
SANUR - PSGRN	0,380	0,257



Gambar 4.11. Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC (kasus 1) pada sistem 150 kV Bali.

4.8. Analisis Sistem 150 kV Bali Kondisi Real

Dalam kondisi real pada sistem 150 kV Bali terdapat beberapa sumber daya reaktif yang terinterkoneksi pada sistem yaitu pada GI Ampira, GI Gnyar, GI Kapal, GI Pklod, GI Sanur, GI Psgrn, dan GI Nsddua dengan kapasitas total daya reaktif sebesar 300 MVar. Sehingga dari perhitungan aliran daya didapatkan profil tegangan dan rugi-rugi daya dalam kondisi real sebagai berikut :

Tabel 4.17. Profil tegangan kondisi real

No	Bus ID	Voltage (p.u.)
1.	GI AMPRA	0,9546
2.	GI ASARI	0,9571
3.	GI BTRTI	0,9707
4.	GI GLNUK	1
5.	GI GNYAR	0,9497
6.	GI KAPAL	0,9514
7.	GI NGARA	0,9742
8.	GI NSDUA	0,9513
9.	GI PBIAN	0,9503
10.	GI PKLOD	0,9517
11.	GI PMRON	0,9850
12.	GI PSGRN	0,9549
13.	GI PYGAN	0,9575
14.	GI SANUR	0,9515
15.	GIS BNDARA	0,9503

Tabel 4.18. Perhitungan rugi-rugi daya kondisi real

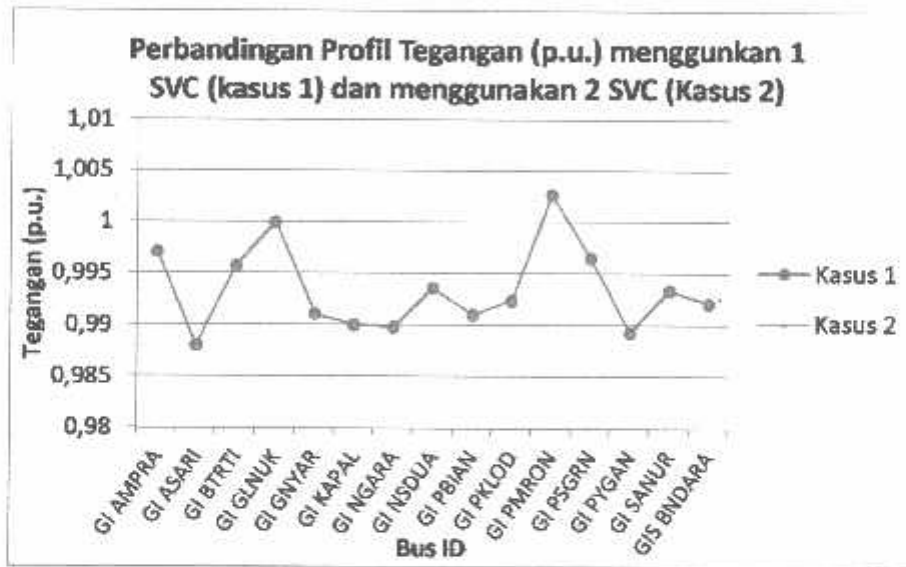
ID	P_{Loss} (MW)	Q_{Loss} (Mvar)
ASARI – KAPAL	3,384	6,288
BNDRA – NSDUA	0,030	0,051
BTRTI – PNGAN	1,816	2,161
GNYAR – AMPRA	0,230	0,428
GNYAR – SANUR	0,016	0,030
GLNUK - NGARA	8,632	16,044
GLNUK – PMRON	7,338	13,424
KAPAL – BTRTI	3,914	4,151
KAPAL – GNYAR	0,498	0,924
KAPAL – PBIAN	0,252	0,379
KAPAL – PYGAN	1,289	1,367
KAPAL – PKLOD	0,612	0,946
NGARA – ASARI	7,398	13,748
PBIAN – PSGRN	0,144	0,216
PMRON – BTRTI	4,248	4,542
PSGRN - NSDUA	0,288	0,454
PKLOD – BNDRA	0,159	0,264
PKLOD – PSGRN	0,069	0,105
SANUR - PSGRN	0,210	0,311

Berdasarkan hasil *loadflow* dalam kondisi real diatas, diketahui terjadi pelanggaran tegangan diluar margin yang diizinkan yaitu 0,95 p.u. sampai 1,05 p.u., maka dapat dilakukan perbaikan profil tegangan yaitu dengan menggunakan analisis *optimal capacitor placement* (OCP) untuk mendapatkan penempatan dan kapasitas optimal *static var compensator* (SVC). Dalam menentukan penempatan dan kapasitas SVC, penulis menggunakan dua kasus, yaitu pada kasus 1 menggunakan 1 SVC dan pada kasus 2 menggunakan 2 SVC. Dari hasil pengujian didapatkan hasil sebagai berikut :

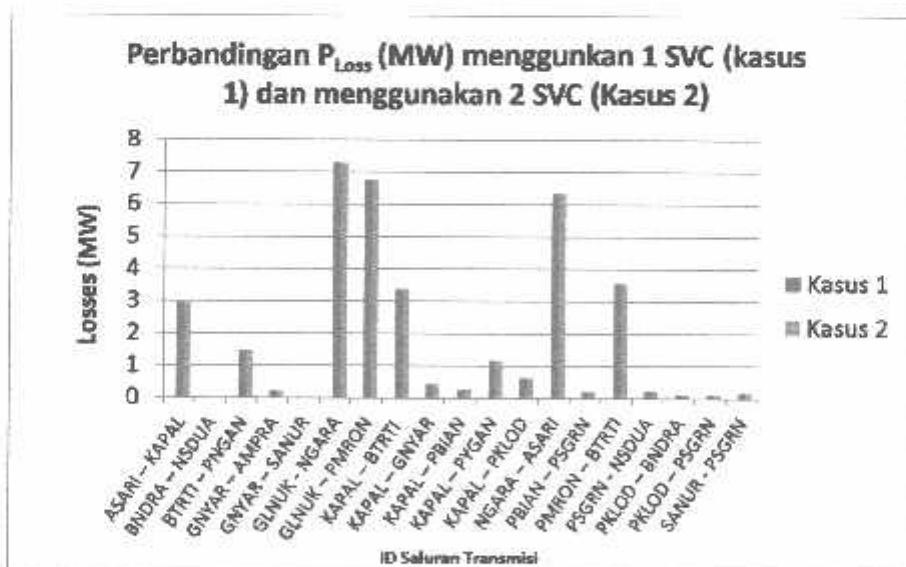
Tabel 4.19. Penentuan penempatan dan kapasitas SVC pada sistem 150 kV Bali kondisi real.

Sistem 150 kV Bali					
Kasus	Lokasi Bus	Jumlah Bus	Total Q_c (Mvar)	P_{Loss} (MW)	Q_{Loss} (Mvar)
Base case	-	-	-	43,045	77,785
Kasus 1	Kapal	1	45,9	43,037	77,377
	Gnyar	1	35,7	42,132	75,892
	Pbian	1	40,8	42,743	76,872
Kasus 2	Gnyar, Bndara	2	35,7	42,163	75,931
	Pbian, Bndara	2	40,8	42,766	76,911
	Pklod, Bndara	2	40,8	42,999	77,285

Dari hasil perhitungan *loadflow* OCP kondisi real, dapat diketahui bahwa pada sistem 150 kV Bali penempatan dan kapasitas optimal SVC terdapat pada kasus 1 yaitu Bus GI Gnyar dengan jumlah 1 SVC dan kapasitas Q_c paling minimum yaitu 35,7 MVar. Sedangkan pada kasus 2 dinilai kurang efisien dikarenakan dengan kapasitas yang sama, rugi-rugi yang direduksi lebih sedikit dibandingkan dengan kasus 1. Hal ini dapat dibuktikan berdasarkan perubahan level tegangan dan rugi-rugi daya setelah dilakukan pemasangan SVC.



Gambar 4.12. Perbandingan profil tegangan menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan menggunakan 2 SVC (Kasus 2)



Gambar 4.13. Perbandingan Rugi-rugi Daya (MW) menggunakan 1 SVC (kasus 1) dan menggunakan 2 SVC (Kasus 2)

Setelah diketahui penempatan dan kapasitas optimal *static var compensator* (SVC) maka dapat dilakukan pemasangan SVC pada bus yang sudah ditentukan, yaitu bus GI Gnyar dengan kapasitas 35,7 MVar. Berikut ini hasil profil tegangan dan rugi-rugi daya sesudah pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali .

Tabel 4.20. Profil tegangan setelah pemasangan SVC

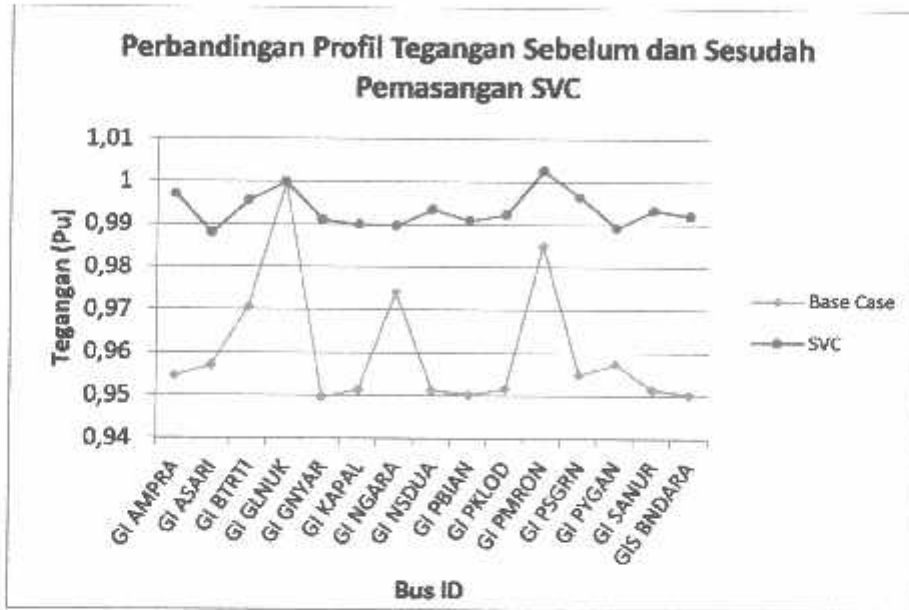
No	Bus ID	Voltage (p.u.)
1.	GI AMPRA	0,9971
2.	GI ASARI	0,988
3.	GI BTRTI	0,9957
4.	GI GLNUK	1
5.	GI GNYAR	0,9911
6.	GI KAPAL	0,99
7.	GI NGARA	0,9898
8.	GI NSDUA	0,9936
9.	GI PBIAN	0,991
10.	GI PKLOD	0,9924
11.	GI PMRON	1,0027
12.	GI PSGRN	0,9965
13.	GI PYGAN	0,9893
14.	GI SANUR	0,9934
15.	GIS BNDARA	0,9921

Tabel 4.21. Perhitungan Rugi-rugi saluran setelah pemasangan SVC

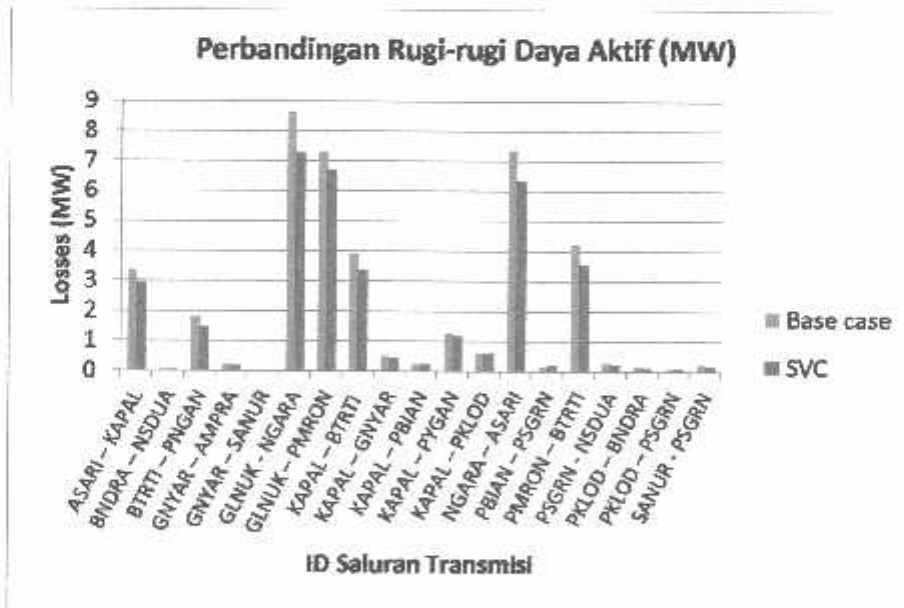
ID	P_{Loss} (MW)	Q_{Loss} (Mvar)
ASARI – KAPAL	2,952	6,566
BNDRA – NSDUA	0,033	0,066
BTRTI – PNGAN	1,483	2,189
GNYAR – AMPRA	0,206	0,458
GNYAR – SANUR	0,023	0,051
GLNUK – NGARA	7,284	16,200
GLNUK – PMRON	6,742	14,484
KAPAL – BTRTI	3,390	4,489
KAPAL – GNYAR	0,452	1,004
KAPAL – PBIAN	0,254	0,443
KAPAL – PYGAN	1,168	1,547
KAPAL – PKLOD	0,624	1,127
NGARA – ASARI	6,344	14,108
PBIAN – PSGRN	0,190	0,332
PMRON – BTRTI	3,556	4,710
PSGRN – NSDUA	0,225	0,431
PKLOD – BNDRA	0,135	0,266
PKLOD – PSGRN	0,112	0,195
SANUR – PSGRN	0,164	0,287

Dari hasil analisa, dapat diketahui bahwa setelah pemasangan SVC dapat meningkatkan profil tegangan pada GI Gnyar yang sebelumnya dalam kondisi

under voltage 0,9497 p.u. menjadi kondisi normal 0,9909 p.u. dan dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi dari 43,045 MW dan 77,785 Mvar menjadi 37,598 MW dan 79,872 Mvar.



Gambar 4.14. Perbandingan level tegangan dalam kondisi real dan pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali.



Gambar 4.15. Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dengan diperolehnya hasil analisis penempatan dan kapasitas optimal *Static Var Compensator* (SVC) dengan menggunakan metode algoritma genetika pada *software ETAP Power Station* maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil pengujian sistem standart *IEEE* 14-bus, penempatan dan penentuan kapasitas optimal SVC dilakukan menggunakan tool *optimal capacitor placement* (OCP) dengan menerapkan metode algoritma genetika yaitu dengan menggunakan 2 kasus. Pada kasus 1 menggunakan 1 SVC dan kasus 2 menggunakan 2 SVC. Dari hasil pengujian sistem *IEEE* 14-bus dapat diketahui bahwa penempatan dan kapasitas optimal SVC terdapat pada kasus 1 yaitu bus 14 dengan jumlah 1 SVC dan kapasitas Q_c paling minimum. Sedangkan pada kasus 2 dinilai kurang efisien, dikarekan untuk dapat meningkatkan profil tegangan dan meminimalisir rugi-rugi daya membutuhkan kapasitas 2 kali lebih besar dibandingkan pada kasus 1. Yang mana setelah pemasangan SVC dapat meningkatkan profil tegangan hingga berada pada margin yang diizinkan yaitu 0,95 p.u sampai 1,05 p.u, serta dapat mengurangi rugi-rugi daya dari 13,693 MW dan 20,922 Mvar menjadi 13,591 MW dan 20,483 Mvar.
2. Berdasarkan pengujian pada kasus dasar yaitu system *IEEE* 14-bus, maka dengan cara yang sama dapat diterapkan pada sistem 150 kV Bali yaitu penentuan penempatan dan kapasitas optimal SVC menggunakan 2 kasus. Pada kasus 1 menggunakan 1 SVC dan kasus 2 menggunakan 2 SVC. Dari hasil analisis system 150 kV Bali, penempatan dan kapasitas optimal SVC terdapat pada kasus 1 yaitu Bus GI Ampira dengan jumlah 1 SVC dan kapasitas Q_c paling minimum yaitu 64,8 MVar. Sedangkan pada kasus 2 dinilai kurang efisien, dikarenakan untuk dapat meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya memerlukan kapasitas daya reaktif lebih besar dibandingkan dengan kasus 1. Setelah dilakukan pemasangan SVC kinerja sistem 150 kV Bali menjadi lebih baik dan dapat

memaksimalkan kapasitas sistem transmisi serta mengontrol aliran daya. Yang mana dengan pemasangan SVC dapat meningkatkan profil tegangan hingga berada pada margin yang diizinkan yaitu pada pada GI Ampra dari 0,9373 p.u. menjadi 0,9971 p.u, GI Gnyar dari 0,9418 p.u menjadi 0,9911 p.u, GI Kapal dari 0,9451 p.u menjadi 0,9900 p.u, GI Nsdua dari 0,9439 p.u menjadi 0,9936 p.u, GI Pbian dari 0,9465 p.u menjadi 0,9910 p.u, GI Pklod dari 0,9458 p.u menjadi 0,9924 p.u, GI Sanur dari 0,9468 p.u menjadi 0,9934 p.u, dan GIS Bndara dari 0,9535 p.u menjadi 0,9921 p.u. Serta dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi dari 42,820 MW dan 80,232 MVar menjadi 32,514 MW dan 72,204 MVar.

5.2. Saran

Sistem tenaga listrik di Indonesia khususnya di pulau Bali masih sangat perlu untuk meningkatkan kualitas tegangan yang dijabarkan dalam penelitian ini. Penggunaan *Static Var Compensator* (SVC) merupakan solusi yang praktis dan aman dalam meningkatkan kualitas tegangan, karena tidak menutup kemungkinan untuk beberapa tahun yang akan datang kebutuhan beban listrik dipulau bali juga akan bertambah. Sehingga dengan pemasangan SVC akan dapat meningkatkan kualitas tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya supaya tidak merugikan konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Hingorani. "Power electronic in electrical utilities : role of power electronics in future power system", in Proc 1988 IEEE, Vol. 76 No, 4 April 1998, pp.481-482.1988.
 - [2] N. P. Padehly, M. A. A. Moamen, "Power flow and solution with multiple and multi-type FACTS Devices", Electric Power System Research 74, 2005, pp. 341-351.2005.
 - [3] M. Saravanan, S. M. R. Slochanal, P. Venkatesh, P.S. Abraham, "Application of PSO Technique for Optimal Location of FACTS Devices Considering System Loadability and Cost of Installation", in Proc 2005 7th Internasional Power Engineering Conference (IPEC). Pp. 716-712 Vol. 2. 2005
 - [4] A. Hernandez, M. A. Rodriguez, E. Torres, P. Eguia, "A Review and Comparison of FACTS Optimal Placement for Solving Transmission System Issues", Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ), No. 11, March 2013.
 - [5] M. Amroune, A. Bourzami, and T. Bouktir, "Improvement of Transient Stability Margin in Power System with Integrated Wind Generation Using the SVC", 13th Internasional conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering, December 17-19, 2012, Monastir, Tunisia.
 - [6] SPLN. 1995. "Tegangan-Tegangan Standart". No.1, Agustus
 - [7] Jumaat Siti Amey, Musirin Ismail, Othman Muhammad Murtadha, Mokhlis Hazlie. 2012. "Optimal Placement and Sizing of Multiple FACTS Devices Installation". IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), December 2nd-5th, Kinabalu Sabah Malaysia.
 - [8] Tailor Dhaval N, Bhalja Bhavesh, Makawana Vijay. 2012. "Roll of PSS and SVC for improving the Transient Stability of Power System". International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), ISSN : 2249-8958, Volume-1, Issue-3, February
 - [9] Nagrath I. J., Kothari D. P. 2011. "Modern Power System Analysis". New Dwlhi :Tata McGraw-Hill
 - [10] Benedict E., Collins T., Gotham D., Hoffman S., Karipides D., Pekarek S., and Ramabhadran R. 1992. "Losses In Electric Power Systems". ECE Technical Report. Paper 266.
-

- [11] Acha Enrique, Fuerte Claudio R, Ambriz Hugo, Angeles Cesar. 2004. *"FACTS-Modelling and Simulation in Power Networks"*. John Wiley & Sons, Ltd. England
- [12] Kamarposhti Mehrdad Ahmadi, and Alinezhad Mostafa. 2009. *"Comparison of SVC and STATCOM in Static Voltage Stability Margin Enhancement"*. International Science Index, Vol. 3, No. 2. February
- [13] Ambriz Perez H, Acha E, and Fuerte Esquivel C. R. 2000. *"Advanced SVC Models for Newton-Raphson Load Flow and Newton Optimal Power Flow Studies"*. IEEE Transaction on Power System, Vol. 15, No. 1, February
- [14] Mathur R. Mohan, Varma Rajiv K. 2002. *"Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission System"*. Wiley Interscience.
- [15] Cekdin Cekmas. 2007. *"Sistem Tenaga Listrik"*. Andi : Yogyakarta. Hal 4-11.
- [16] Sayed Ahmad Galal, and Youssef Hosam K. M. *"Optimal Capacitor Placement on Interconnected Distribution System in Presence of Nonlinear Load Using Genetic Algorithms"*. Electric power and machine Dept. Cairo Universty, Egypt.
- [17] Arismunandar Artono, dan Kuwahara Susumu. 1993. *"Teknik Tenaga Listrik"*. Abadi : Jakarta.
- [18] Yamayee, Z.A. and Bala, J.I. Jr., *Electromechanical Energy Devices and Power Systems*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1994.
- [19] PT PLN (Persero) APB Bali. 2014. *"Logsheet APB Bali"*. GI Kapal Bali.
- [20] Kodsí Sameh Kamel Mena, and Canizares Claudio A. 2003. *"Modeling and Simulation Of IEEE 14 Bus System With FACTS Controllers"*.
- [21] Kundur, Prabha. 1994. *"Power System Stability and Control"*. Mc Graw-Hill Inc.
-

LAMPIRAN



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

T. BNI (PERSERO) MALANG
BANK N'AGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : ACHMAD ZAINUL ABIDIN
2. NIM : 1112007
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **ANALISIS PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL *STATIC VAR COMPENSATOR* (SVC) UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM 150 KV BALI**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Rabu
Tanggal : 18 Februari 2015
Dengan Nilai : **85,5 (A)**

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

(M. Ibrahim Ashari, ST, MT.)

NIP.P.1030100358

Sekretaris Majelis Penguji

(Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT.)

NIP. P. 1030100361

Anggota Penguji

Penguji I

(Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE.)

NIP. Y. 1018500108

Penguji II

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.)

NIP. Y. 1018800189



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari/Tanggal : Rabu, 18 Februari 2015

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : ACHMAD ZAINUL ABIDIN
NIM : 1112007
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : **Analisis Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal *Static Var Compensator* (SVC) Untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Penurunan Rugi-rugi Daya pada Sistem 150 kV Bali**

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Alasan <i>loadflow</i> menggunakan metode Newton-Raphson.	<i>Ben</i>
2.	Pada <i>flowchart</i> strategi optimasi mengatur lokasi SVC dihilangkan.	<i>Ben</i>
3.	Pada <i>base case</i> di <i>loadflow</i> dengan melepas kapasitor.	<i>Ben</i>

Dosen Penguji II

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.
NIP. Y. 1018800189

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.
NIP. 19610531992021001

Dosen Pembimbing II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 1038900209



MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI

SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2014-2015

Nama : Achmad Zainul Abidin
Nim : 1112007
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2014 – 2015
Judul : Analisis Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal *Static Var Compensator* (SVC) Untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Penurunan Rugi-rugi Daya pada Sistem 150 KV Bali

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	29-10-2014	Penjelasan <i>study case</i> dan analisis data <i>loadflow</i>	
2	20-11-2014	Chek hasil <i>loadflow</i> sistem 150 kV Bali dan bandingkan dengan standart yang benar	
3	04-12-2014	Buat simulasi untuk sistem standart <i>IEEE</i> 14-bus	
4	12-12-2014	Kapasitas dan atau jumlah SVC ditingkatkan untuk memperbaiki performasi sistem	
5	06-01-2015	Chek penempatan SVC pada masing-masing bus kadidat baik pada real maupun standart	
6	20-01-2015	Perbaiki tata tulis	
7	26-01-2015	Perbaiki makalah seminar hasil	
8	02-02-2015	Buat tabel OCP untuk setiap bus 1 SVC dan 2 SVC menurut optimasi pada ETAP	
9	12-02-2015	Perbaiki tata tulis dan ditambahkan teori optimasi. ACC laporan skripsi.	

Malang, Maret 2015

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT

NIP. 196105031992021001

Form.S-4b



MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI

SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2014-2015

Nama : Achmad Zainul Abidin
Nim : 1112007
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2014 – 2015
Judul : Analisis Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal *Static Var Compensator* (SVC) Untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Penurunan Rugi-rugi Daya pada Sistem 150 KV Bali

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	30-10-2014	Bimbingan laporan skripsi Bab 1 dan Bab 2	
2	06-11-2014	Konsultasi <i>single line</i> sistem 150 kV Bali pada <i>software</i> ETAP Power Station.	
3	20-11-2014	Bimbingan hasil <i>loadflow</i> sistem 150 kV Bali	
4	05-12-2014	Bimbingan hasil <i>loadflow</i> sistem standart IEEE 14-bus	
5	06-01-2015	Bimbingan makalah seminar progres	
6	14-01-2015	Bimbingan laporan skripsi Bab 3	
7	21-01-2015	Bimbingan hasil <i>loadflow</i> sesudah pemasangan SVC pada sistem 150 kV Bali dan IEEE 14-bus	
8	04-02-2015	Bimbingan laporan skripsi Bab 4 dan Bab 5	
9	12-02-2015	Bimbingan Abstrak dan ACC laporan skripsi	

Malang, Maret 2015

Dosen Pembimbing


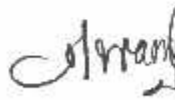

Ir. Teguh Herbasuki, MT

NIP.Y. 1038900209

Form.S-4b



**BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1**

KONSENTRASI		T. ENERGI LISTRIK		
1.	Nama Mahasiswa	ACHMAD ZAINUL ABIDIN	NIM	1112007
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
	Pelaksanaan	08 Desember 2014		
3.	Judul Skripsi	ANALISIS PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM 150 KV BAL		
4.	Perubahan Judul		
5.	Catatan : <u>BISA DILANJUT !</u>			
	6.	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p style="text-align: center;">Mengetahui, Ketua Jurusan</p>  <p style="text-align: center;"><u>M. Ibrahim Ashari, ST, MT</u></p> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> <p>Disetujui, Dosen Pembimbing</p> </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <p>Pembimbing I</p>  <p>Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT</p> </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <p>Pembimbing II</p>  <p>Ir. Teguh Herbasuki, MT</p> </div> </div>		



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik**

1.	Nim	: 1112007	
2.	Nama	: ACHMAD ZAINUL ABIDIN	
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik	
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat
	2 Oktober 2014	09:00	III.1.5
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISIS PENEMPATAN OPTIMAL DAN KAPASITAS STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM BALI 70 KV DAN 150 KV	
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	Analisis Penempatan dan Penentuan Kapasitas optimal SVC utk. memp. profil tegangan dan penurunan rugi daya pd sistem 150kV Bali	
7.	Catatan :		
8.	Catatan :		
	Persetujuan judul Skripsi		
	Disetujui, Dosen Keahlian I (.....)	Disetujui, Dosen Keahlian II (.....)	Disetujui, Dosen Keahlian III (.....)
	Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 M. Ibrahim Ashari, ST, MT NIP. P 1030100358	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs	
Pembimbing I (.....)		Pembimbing II (.....)	



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : ACHMAD ZAINUL ABIDIN
 N I M : 1112007
 Semester : VII (Tujuh)
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-I
 Konsentrasi : **TEKNIK ENERGI LISTRIK**
TEKNIK ELEKTRONIKA
TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA
TEKNIK KOMPUTER
TEKNIK TELEKOMUNIKASI
 Alamat : Jl. A. Yani, 171 Karangreates - Sumberpucung - Malang

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat SKRIPSI Tingkat Sarjana. Untuk melengkapi permohonan tersenut, bersama ini kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan- persyaratan pengambilan SKRIPSI adalah sebagai berikut:

- | | |
|--|---------|
| 1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya | (.....) |
| 2. Telah lulus dan menyerahkan laporan Praktek Kerja | (.....) |
| 3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya | (.....) |
| 4. Telah menempuh matakuliah > 134 sks dengan IPK > 2 dan tidak ada nilai E | (.....) |
| 5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar Skripsi yang diadakan Jurusan | (.....) |
| 6. Memenuhi persyaratan administrasi | (.....) |

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenarannya data tersebut diatas
Recording Teknik Elektro S-I

[Signature]
 (.....)

Malang, 1 September.....2014
Pemohon

[Signature]
 (Achmad Zainul A.....)

Disetujui
Ketua Prodi Teknik Elektro S-I

[Signature]
M. Ibrahim Ashari, ST, MT
 NIP. P. 1030100358

Mengetahui
Dosen Wali

[Signature]
 (.....)
TEGUH H.

Catatan:

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Prodi T. elektro S-I

1. $(11 \frac{517-57}{134} = 3,86)$
 2
 3



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

3NI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65146
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-255/EL-FTI/2014 21 Oktober 2014
Lapiran : -
Perihal : **Survey Pengambilan Data Skripsi**

Kepada : Yth. **Manajer PT. PLN (Persero) APB Bali**
di – Denpasar, Bali

Dengan hormat,
Bersama ini kami mohon kebijaksanaan Bapak/Ibu agar mahasiswa kami dari Progam Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang dapat diijinkan untuk melakukan survey dalam rangka pengambilan data skripsi pada tanggal 21 Oktober s.d. 25 November 2014.

Mahasiswa tersebut adalah :

No	Nama	NIM
1.	Achmad Zainul Abidin	1112007

Dengan judul skripsi yaitu :

**ANALISIS PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL
STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) UNTUK MEMPERBAIKI
PROFIL TEGANGAN DAN PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA
SISTEM 150 KV BALI**

Sehingga data yang kami butuhkan :

- Data Pembangkit (Generator)
- Data Transformator
- Data Saluran (Transmisi)
- Data Beban Puncak (Pukul 18.00 WIB)
- Data Beban Nominal (Pukul 15.00 WIB)
- Data Aliran Daya (*Load flow*)
- Single Line Sistem Bali 150 KV

Demikian atas perhatian dan kebijaksanaanya kami ucapkan terimakasih.



Ketua
Bagian Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT

NIP.P. 1030100358



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

PT-BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km 2 Telp. (0341) 417638 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-241/EL-FTI/2014

Lampiran : -

Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa

Nama : **ACHMAD ZAINUL ABIDIN**

Nim : **1112007**

Fakultas : **Teknologi Industri**

Program Studi : **Teknik Elektro S-1**

Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

" Semester Ganjil Tahun Akademik 2014-2015 "

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT

NIP.P 1030100358



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-241/EL-FTI/2014

Temporality : -

Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Teguh Herbasuki, MT**
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa

Nama : **ACHMAD ZAINUL ABIDIN**
Nim : **1112007**
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

" Semester Ganjil Tahun Akademik 2014-2015 "

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terimakasih.



Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, S.T., MT

NIP. P. 1030100358

THE ANTI-PLAGIARISM SCANNER THAT'S ACCURATE, EASY AND FREE!



Viper THE ANTI-PLAGIARISM SCANNER

Discover the plagiarism checker that is the most accurate and easy to use. It will help you find out if your work is original or if it has been copied from other sources. It's the only way to ensure your work is 100% original.

Follow us on [Twitter](#)

Like us on [Facebook](#)

Files to Scan

Filename	Category	Word Count (Approximate)	Unique Words	Queries	Plagiarism (%)	Scan Time	Status	Progress	Print	Delete
1112007.d_	Engineering	3532	826	253	753	1	00:25:34: Finished	100%		



Add Stop All Settings Generate Reports

Need help? [Click here for info.](#)

Please select the country that is nearest to your location - we may be able to use local servers to speed up your scan
Indonesia

Scanning in progress: 1 / 1

Found Documents

Location	Title	Words Matched	Match (%)	Unique Words Matched	Unique Match (%)
http://public.itb.ac.id/public/ITS-Undergraduate-10437-Chapter1.pdf	BAB I PENDAHULUAN	25	25	25	100

Original Document

ANALISIS PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM 150 KV BALI Achmad Zainul Abidin
Dosen pembimbing : Dr. Eng. Ir. I Made Wardana, MT 1), Ir. Teguh Herbasuki, MT2) Jurusan Teknik Elektro S-1, Institut Teknologi Nasional MalangE-mail : achmad.zainul.abidin@gmail.com
Abstrak:Kebutuhan beban listrik yang terus meningkat dan seiring perkembangan elektronika daya yang semakin pesat, menyebabkan Flakible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices banyak digunakan dalam sistem tenaga. Pada penelitian ini salah satu

Found Text [http://public.itb.ac.id/public/ITS-Undergraduate-10437-Chapter1.pdf](#)

BAB I PENDAHULUAN 1.1 Latar Belakang Dalam beberapa tahun terakhir operasi sistem tenaga listrik modern sedang menghadapi banyak tantangan dalam kaitannya dengan deregulasi dan restrukturisasi industri tenaga listrik. Permintaan tenaga listrik terus meningkat secara tetap, sedangkan di sisi lain perluasan pembangkit tenaga listrik dan pembangunan saluran transmisi baru untuk meningkatkan loadability Jaring listrik sudah sangat terbatas. Hal ini dikarenakan, untuk pemasangan fasilitas dan peralatan sistem tenaga listrik yang baru, ditentukan berdasarkan pertimbangan lingkungan dan faktor ekonomi. Selain biayanya mahal, pembuatan saluran



Appendix A

IEEE 14-BUS TEST SYSTEM

Table A.1: Exciter data

Exciter no.	1	2	3	4	5
K_A	200	20	20	20	20
T_A	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
T_B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T_c	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V_{Rmax}	7.32	4.38	4.38	6.81	6.81
V_{Rmin}	0.00	0.00	0.00	1.395	1.395
K_E	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
T_E	0.19	1.98	1.98	0.70	0.70
K_F	0.0012	0.001	0.001	0.001	0.001
T_F	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Table A.2: Generator data

Generator bus no.	1	2	3	4	5
MVA	615	60	60	25	25
x_l (p.u.)	0.2396	0.00	0.00	0.134	0.134
r_a (p.u.)	0.00	0.0031	0.0031	0.0014	0.0041
x_d (p.u.)	0.8979	1.05	1.05	1.25	1.25
x'_d (p.u.)	0.2995	0.1850	0.1850	0.232	0.232
x''_d (p.u.)	0.23	0.13	0.13	0.12	0.12
T'_{do}	7.4	6.1	6.1	4.75	4.75
T''_{do}	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06
x_q (p.u.)	0.646	0.98	0.98	1.22	1.22
x'_q (p.u.)	0.646	0.36	0.36	0.715	0.715
x''_q (p.u.)	0.4	0.13	0.13	0.12	0.12
T'_{qo}	0.00	0.3	0.3	1.5	1.5
T''_{qo}	0.033	0.099	0.099	0.21	0.21
H	5.148	6.54	6.54	5.06	5.06
D	2	2	2	2	2

Table A.3: Bus data

Bus No.	P Generated (p.u.)	Q Generated (p.u.)	P Load (p.u.)	Q Load (p.u.)	Bus Type*	Q Generated max.(p.u.)	Q Generated min.(p.u.)
1	2.32	0.00	0.00	0.00	2	10.0	-10.0
2	0.4	-0.424	0.2170	0.1270	1	0.5	-0.4
3	0.00	0.00	0.9420	0.1900	2	0.4	0.00
4	0.00	0.00	0.4780	0.00	3	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.0760	0.0160	3	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.1120	0.0750	2	0.24	-0.06
7	0.00	0.00	0.00	0.00	3	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	2	0.24	-0.06
9	0.00	0.00	0.2950	0.1660	3	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.0900	0.0580	3	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.0350	0.0180	3	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.0610	0.0160	3	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.1350	0.0580	3	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.1490	0.0500	3	0.00	0.00

*Bus Type: (1) swing bus, (2) generator bus (PV bus), and (3) load bus (PQ bus)

Table A.4: Line Data

From Bus	To Bus	Resistance (p.u.)	Reactance (p.u)	Line charging (p.u.)	tap ratio
1	2	0.01938	0.05917	0.0528	1
1	5	0.05403	0.22304	0.0492	1
2	3	0.04699	0.19797	0.0438	1
2	4	0.05811	0.17632	0.0374	1
2	5	0.05695	0.17388	0.034	1
3	4	0.06701	0.17103	0.0346	1
4	5	0.01335	0.04211	0.0128	1
4	7	0.00	0.20912	0.00	0.978
4	9	0.00	0.55618	0.00	0.969
5	6	0.00	0.25202	0.00	0.932
6	11	0.09498	0.1989	0.00	1
6	12	0.12291	0.25581	0.00	1
6	13	0.06615	0.13027	0.00	1
7	8	0.00	0.17615	0.00	1
7	9	0.00	0.11001	0.00	1
9	10	0.03181	0.08450	0.00	1
9	14	0.12711	0.27038	0.00	1
10	11	0.08205	0.19207	0.00	1
12	13	0.22092	0.19988	0.00	1
13	14	0.17093	0.34802	0.00	1



LOGSHEET APB BALI

DISPATCHER APB BALI	
JAM	NAMA
08.00 ~ 15.00	Achmad Budhiman
	I Putu Andhi Lucky Prastya
15.00 ~ 21.00	I Nyoman Karyawan
	Putra Mahesa Padari
21.00 ~ 08.00	Gede Noben
	Putra Mahesa Padari

Pkl 14:04 - 16:49 Wlta Klt Bali yg operasi di buat maksimum , info : Roby Dispatcher P3B
Pkl 17:48 - 21:44 Wlta Klt Bali di buat maksimum , info : Irvan Dispatcher P3B

INFO TERKINI :

- >> Trafo 2 GI Ndadu diupgrade dari 20 MVA (Unisku) menjadi 60 MVA (Powai) tgl 23-26 April 2012
- >> Trafo 2 GI NEGARA diupgrade dari 15 MVA menjadi 30 MVA , ENERGIZE PERTAMA TGL 12 APRIL 2013 , Pembebanan TGL 13 APRIL 2013
- >> Trafo 2 GI BTRTI 15 MVA , Pembebanan TGL 07 Maret 2014.

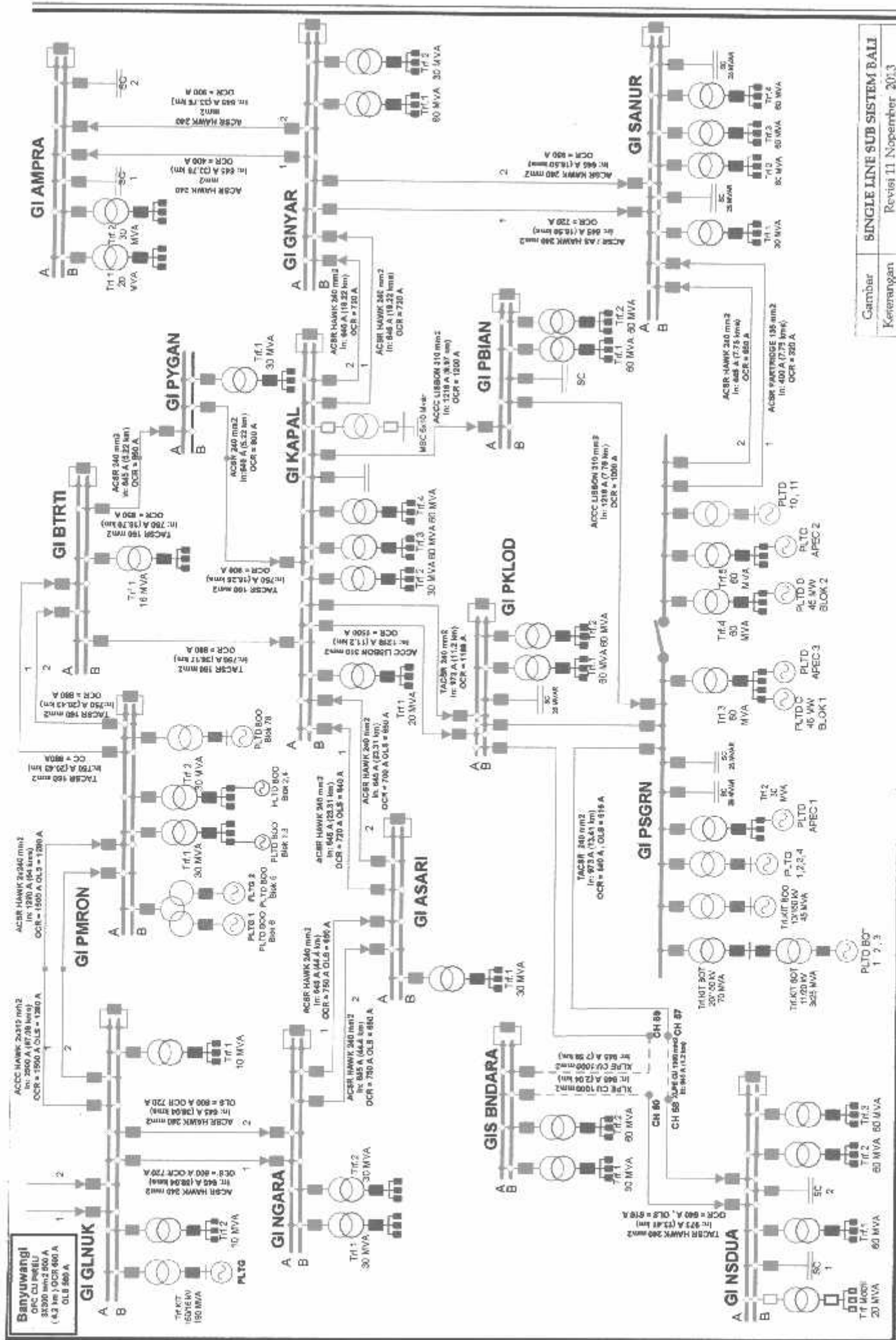
*Info. Manager : Bilamana terjadi gangguan Trafo : Supaya sms gangguan disertai dengan beban sebelum Trip
(Dapat dilihat di monitor scada : Klik Anchval , klik B3Table, klik TA pilih GI, klik 20, klik Bay, pilih MvMax30m, klik Appy..
Maka akan terlihat beban Trafonyu (MW, Mvar)*

USER : BARCO5
PASSWORD : userBARCO5!@
New PSW : Barco5!@34, per tgl. 12-09-2014

PAGI
SIANG
MALAM
Achmad Budhiman
Ade Ahmad
Gede Noben
I Nyoman Karyawan
IN Swastana
I Putu Andhi Lucky Prastya
I Putu Hardy Heriyawan
Mas' Ud
Muhammad Fauzi
Putra Mahesa Padari

DAFTAR ISI

1. Rencana Operasi Harian
2. Catatan Pemeliharaan dan Penyaluran
3. Realisasi Beban Pembangkitan
4. Realisasi Beban Penyaluran
5. Grafik Rencana dan Realisasi Beban
6. Panduan Manuver
7. Catatan Switching
8. Beban Padam
9. Gangguan Peralatan Kotor



Gambar **SINGLE LINE SUB SISTEM BALI**
 Keterangan
 Revisi 11 Nopember 2013

SUB SISTEM BALI	BEBAN PUNCAK SIANG						BEBAN PUNCAK MALAM					
	HARI INI			TERTINGGI : 14 OKTOBER 2014			HARI INI			TERTINGGI : 16 OKTOBER 2014		
	JAM	MW	MVAR	JAM	MW	MVAR	JAM	MW	MVAR	JAM	MW	MVAR
PLTG GILUK	14,00	119,4	27,0	14,30	119,4	59,0	19,00	128,4	54,0	19,00	99,4	43,0
PLTG PMRON	14,00	29,7	7,0	14,30	0,0	0,0	19,00	79,4	21,0	19,00	79,4	20,0
PLTD BOO PMRON	14,00	0,0	0,0	14,30	0,0	0,0	19,00	0,0	0,0	19,00	0,0	0,0
PLTG PSGRN	14,00	67,4	9,2	14,30	53,3	13,5	19,00	69,3	16,6	19,00	68,7	9,1
PLTD E 10 MW BALI PSGRN	14,00	8,8	1,4	14,30	9,0	1,4	19,00	9,0	1,4	19,00	0,0	0,0
PLTD A 30 MW BOO PSGRN	14,00	19,3	4,0	14,30	28,3	6,0	19,00	26,3	6,0	19,00	28,0	6,0
PLTD B 50 MW BOT PSGRN	14,00	0,0	0,0	14,30	0,0	0,0	19,00	13,0	4,2	19,00	13,5	4,5
PLTD C 50 MW APEC PSGRN	14,00	47,6	6,8	14,30	43,9	6,2	19,00	45,6	6,8	19,00	45,9	7,0
PLTD D 45 MW BALI PSGRN	14,00	40,1	4,5	14,30	39,9	5,4	19,00	42,0	5,8	19,00	42,6	4,7
PLTD F 10 MW BALI PSGRN	14,00	41,2	17,2	14,30	41,9	17,6	19,00	40,7	17,0	19,00	44,5	18,4
KAPASITOR	14,00	-	300,0	14,30	-	329,0	19,00	-	300,0	19,00	-	325,0
PEMBANGKITAN BALI & SC	14,00	379,5	77,1	14,30	335,7	109,1	19,00	496,7	192,8	19,00	422,0	112,7
TRANSFER JAWA ~ BALI	14,00	318,0	-92,0	14,30	352,0	-105,0	19,00	302,0	-127,0	19,00	326,0	-148,0
DISTRIBUSI BALI	14,00	691,5	285,1	14,30	687,7	329,1	19,00	758,7	305,8	19,00	757,0	291,1

DATA 1
11:00

BEBAN TRAF0 & PENGHANTAR

GLNJK	Trafo 1 - 10MVA	Trafo 2 - 10MVA	MW	MVAR	MEGARA 1,2	MW	MVAR
	3,3	4,6	0,9	1,7		220,0	46,8
NGARA	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	7,6	2,8			
	3,6	2,3					
ASARI	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 30MVA	10,9	4,3			
	1,9	0,0					
PMRON	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	18,4	5,8		18,4	5,72
	17,3	4,4				17,28	4,38
BTRTI	Trafo 1 - 16MVA	Trafo 2 - 15MVA	4,2	1,2			
	1,2	0,2					
PNGAN	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	22,2	9,8	BATURTTI	75,9	24,5
KAPAL	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 20MVA	15,6	5,4	GIANYAR 1,2	59,3	17,0
	18,7	7,6			PEMESTUTAN KELOD	90,3	27,4
	27,0	7,9			KAPASITOR		50
	19,1	7,1					
GNYAR	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 30MVA	28,4	13,5			
	11,7	6,0					
AMPRA	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 30MVA	8,5	4,4	KAPASITOR		50
	8,2	4,1					
SANUR	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	9,8	2,4	KAPASITOR		25
	13,7	4,3					
	30,7	13,2					
	16,8	5,4					
PBLAN	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	29,5	12,3	KAPASITOR		
	24,7	8,8					
PKLOD	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	31,7	9,3	BANDARA	43,5	17,8
	30,9	8,7			KAPASITOR		50
	10,1	3,8					
BNDRA	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	15,1	4,7			
	11,0	0,8					
NSDUA	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	18,0	5,6	KAPASITOR		50
	28,9	6,9					
	23,0	6,0					
PSGRN	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA			KAPASITOR		75
	26,0	11,9					
	22,7	8,3					
	36,2	15,1					
TOTAL	616 MW	215 MVAR					
REG	682 MW	266 MVAR	7,584463107				300 MK
LOSS	31 MW	51 MVAR					

2.70

DATA 2
14:00

BEBAN TRAF0 & PENGHANTAR

GLNJK	Trafo 1 - 10MVA	Trafo 2 - 10MVA	MW	MVAR	MEGARA 1,2	MW	MVAR
	3,6	5,1	1,0	1,9		226,0	46,8
NGARA	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	8,1	3,0			
	8,9	2,5					
ASARI	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 30MVA	8,5	2,7			
	1,9	0,0					
PMRON	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	19,2	6,1		19,23	6,07
	18,0	4,8				18,02	4,78
BTRTI	Trafo 1 - 16MVA	Trafo 2 - 15MVA	4,2	1,2			
	1,3	0,2					
PNGAN	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	22,6	10,3	BATURTTI	83,8	24,3
KAPAL	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 20MVA	15,7	5,8	GIANYAR 1,2	66,2	16,5
	22,2	8,7			PEMESTUTAN KELOD	98,3	27,9
	27,6	7,9			KAPASITOR		50
	19,2	7,3					
GNYAR	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 30MVA	27,0	12,5			
	15,5	8,3					
AMPRA	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 30MVA	8,5	4,4	KAPASITOR		50
	8,5	4,2					
SANUR	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 60MVA	9,8	3,4	KAPASITOR		25
	15,7	4,3					
	31,7	10,3					
	16,8	5,4					
PBLAN	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	36,9	15,6	KAPASITOR		
	24,7	8,6					
PKLOD	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	31,4	9,1	BANDARA	44,5	17,3
	31,9	9,1			KAPASITOR		50
	9,9	9,9					
BNDRA	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	15,5	4,8			
	11,1	0,8					
NSDUA	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	19,0	5,6	KAPASITOR		50
	27,1	6,8					
	23,0	6,0					
PSGRN	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA			KAPASITOR		75
	26,1	11,5					
	21,9	8,4					
	39,8	13,3					
TOTAL	617 MW	226 MVAR					
REG	682 MW	285 MVAR	7,699442393				300 MK
LOSS	55 MW	59 MVAR					

2.87

DATA 3
14:30

BEBAN TRAF0 & PENGHANTAR

GLNJK	Trafo 1 - 10MVA	Trafo 2 - 10MVA	MW	MVAR	MEGARA 1,2	MW	MVAR
	3,5	5,1	1,0	1,9		226,0	46,8
NGARA	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	8,0	2,9			
	9,0	2,5					
ASARI	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 30MVA	8,5	2,7			
	1,9	0,0					
PMRON	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	19,1	6,0		19,1	6,0
	17,7	4,7				17,67	4,73
BTRTI	Trafo 1 - 16MVA	Trafo 2 - 15MVA	4,3	1,1			
	1,3	0,2					
PNGAN	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA	20,3	9,1	BATURTTI	83,4	24,3
KAPAL	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 20MVA	15,4	5,5	GIANYAR 1,2	66,2	16,5
	22,3	8,7			PEMESTUTAN KELOD	98,3	27,9
	27,7	7,9			KAPASITOR		50
	19,3	7,2					
GNYAR	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 30MVA	29,1	14,3			
	15,4	8,3					
AMPRA	Trafo 1 - 20MVA	Trafo 2 - 30MVA	8,5	4,4	KAPASITOR		50
	8,5	4,2					
SANUR	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 60MVA	9,5	3,4	KAPASITOR		25
	15,7	4,3					
	31,7	10,3					
	16,8	5,4					
PBLAN	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	37,1	15,6	KAPASITOR		
	24,7	8,6					
PKLOD	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	31,4	9,0	BANDARA	45,0	17,3
	32,1	9,0			KAPASITOR		50
	10,0	10,0					
BNDRA	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	15,7	4,7			
	11,1	0,8					
NSDUA	Trafo 1 - 60MVA	Trafo 2 - 60MVA	18,0	5,6	KAPASITOR		50
	27,3	7,0					
	23,0	6,0					
PSGRN	Trafo 1 - 30MVA	Trafo 2 - 30MVA			KAPASITOR		75
	27,8	12,3					
	21,1	7,8					
	36,1	15,1					
TOTAL	636 MW	226 MVAR					
REG	686 MW	286 MVAR	7,699442393				300 MK
LOSS	51 MW	60 MVAR					

2.71

DATA 1
19:00

BEBAN TRAF0 & PENGHANTAR

GLMUK	Trafo 1 - 10MVA	MW	MVAR	HEGARA 1,2	MW	MVAR
	Trafo 2 - 10MVA	4,6	0,9		234,0	-38,3
		5,3	1,4			
NGARA	Trafo 1 - 30MVA	9,9	2,4			
	Trafo 2 - 30MVA	10,7	2,2			
ASARI	Trafo 1 - 20MVA	11,7	2,3			
	Trafo 2 - 20MVA	3,1	-0,2			
PMIRON	Trafo 1 - 30MVA	23,8	5,4		23,80	5,39
	Trafo 2 - 30MVA	21,3	3,2		21,08	3,3
BTRTI	Trafo 1 - 15MVA	6,8	1,0			
	Trafo 2 - 15MVA	2,2	0,1			
PNGAN	Trafo 1 - 30MVA	26,9	9,6		95,5	30,0
	Trafo 2 - 30MVA	3,3	-0,4			
KAPAL	Trafo 1 - 20MVA	17,1	4,9		76,8	45,6
	Trafo 2 - 30MVA	27,0	7,1		92,0	-79,3
	Trafo 3 - 60MVA	19,9	7,9			50
	Trafo 4 - 60MVA	15,0	7,2			
GNYAR	Trafo 1 - 60MVA	18,3	14,9			
	Trafo 2 - 30MVA	20,2	8,0			
AMPRA	Trafo 1 - 20MVA	12,8	4,2			50
	Trafo 2 - 30MVA	11,4	3,8			
SAHUR	Trafo 1 - 30MVA	8,8	2,4			25
	Trafo 2 - 60MVA	13,7	4,3			
	Trafo 3 - 60MVA	11,7	10,1			
	Trafo 4 - 60MVA	17,8	5,4			
PBLAN	Trafo 1 - 60MVA	15,7	15,7			
	Trafo 2 - 60MVA	15,3	7,9			
PKLOD	Trafo 1 - 60MVA	14,5	9,3		46,9	10,3
	Trafo 2 - 60MVA	13,4	9,6			50
	Trafo 3 - 60MVA	10,8	3,6			
BNDRA	Trafo 1 - 60MVA	16,9	4,6			
	Trafo 2 - 60MVA	11,0	0,8			
NSDUA	Trafo 1 - 60MVA	18,0	5,6			50
	Trafo 2 - 60MVA	28,0	6,7			
	Trafo 3 - 60MVA	25,0	6,0			
P6GRN	Trafo 1 - 30MVA					75
	Trafo 2 - 30MVA					
	Trafo 3 - 60MVA	26,9	11,4		28,08	3,47
	Trafo 4 - 60MVA	22,7	11,3		4,88	3,92
	Trafo 5 - 60MVA	35,3	13,3		21,06	11,09
TOTAL		708 MW	234 MVAR			
REG		799 MW	306 MVAR			300 MK
LOSS		50 MW	71 MVAR			

2,56

DATA 2
19:30

BEBAN TRAF0 & PENGHANTAR

GLMUK	Trafo 1 - 10MVA	MW	MVAR	HEGARA 1,2	MW	MVAR
	Trafo 2 - 10MVA	4,7	0,9		234,0	-49,0
		5,3	1,5			
NGARA	Trafo 1 - 30MVA	9,9	2,3			
	Trafo 2 - 30MVA	10,5	2,1			
ASARI	Trafo 1 - 20MVA	11,7	2,3			
	Trafo 2 - 30MVA	3,2	-0,2			
PMIRON	Trafo 1 - 30MVA	24,0	5,4		23,80	5,39
	Trafo 2 - 30MVA	21,3	3,2		21,08	3,3
BTRTI	Trafo 1 - 15MVA	6,8	1,0			
	Trafo 2 - 15MVA	2,3	0,1			
PNGAN	Trafo 1 - 30MVA	25,9	9,2		95,6	32,8
	Trafo 2 - 30MVA	3,3	-0,4			
KAPAL	Trafo 1 - 20MVA	17,1	4,9		76,8	52,5
	Trafo 2 - 30MVA	26,5	7,3		94,1	-85,4
	Trafo 3 - 60MVA	25,4	7,3			50
	Trafo 4 - 60MVA	24,3	6,8			
GNYAR	Trafo 1 - 60MVA	18,3	13,4			
	Trafo 2 - 30MVA	20,2	8,0			
AMPRA	Trafo 1 - 20MVA	12,8	4,2			50
	Trafo 2 - 30MVA	11,4	3,8			
SAHUR	Trafo 1 - 30MVA	8,8	2,4			25
	Trafo 2 - 60MVA	13,7	4,3			
	Trafo 3 - 60MVA	11,7	10,1			
	Trafo 4 - 60MVA	17,8	5,4			
PBLAN	Trafo 1 - 60MVA	15,7	15,3			
	Trafo 2 - 60MVA	15,2	7,8			
PKLOD	Trafo 1 - 60MVA	14,5	9,3		44,5	-19,0
	Trafo 2 - 60MVA	13,0	9,3			50
	Trafo 3 - 60MVA	10,8	3,7			
BNDRA	Trafo 1 - 60MVA	17,0	4,6			
	Trafo 2 - 60MVA	10,9	0,8			
NSDUA	Trafo 1 - 60MVA	17,0	5,5			50
	Trafo 2 - 60MVA	27,9	6,3			
	Trafo 3 - 60MVA	25,0	6,0			
P6GRN	Trafo 1 - 30MVA					75
	Trafo 2 - 30MVA					
	Trafo 3 - 60MVA	28,2	11,6		28,08	3,47
	Trafo 4 - 60MVA	22,7	7,8		4,88	3,92
	Trafo 5 - 60MVA	36,2	13,3		21,04	11,09
TOTAL		705 MW	195 MVAR			
REG		752 MW	282 MVAR			300 MK
LOSS		47 MW	97 MVAR			

2,46

DATA 3
20:00

BEBAN TRAF0 & PENGHANTAR

GLMUK	Trafo 1 - 10MVA	MW	MVAR	HEGARA 1,2	MW	MVAR
	Trafo 2 - 10MVA	4,5	0,9		234,0	-49,0
		5,1	1,5			
NGARA	Trafo 1 - 30MVA	9,6	2,3			
	Trafo 2 - 30MVA	10,3	2,1			
ASARI	Trafo 1 - 20MVA	11,7	2,3			
	Trafo 2 - 30MVA	3,1	-0,2			
PMIRON	Trafo 1 - 30MVA	23,5	5,4		23,51	5,39
	Trafo 2 - 30MVA	21,1	3,2		21,17	3,3
BTRTI	Trafo 1 - 15MVA	6,5	1,0			
	Trafo 2 - 15MVA	2,2	0,1			
PNGAN	Trafo 1 - 30MVA	25,1	9,2		92,8	32,8
	Trafo 2 - 30MVA	3,3	-0,4			
KAPAL	Trafo 1 - 20MVA	16,8	4,9		75,8	52,5
	Trafo 2 - 30MVA	26,4	7,3		91,3	-85,4
	Trafo 3 - 60MVA	29,2	7,3			50
	Trafo 4 - 60MVA	23,8	6,8			
GNYAR	Trafo 1 - 60MVA	18,3	13,4			
	Trafo 2 - 30MVA	20,2	8,0			
AMPRA	Trafo 1 - 20MVA	12,8	4,2			50
	Trafo 2 - 30MVA	11,4	3,8			
SAHUR	Trafo 1 - 30MVA	8,5	2,4			25
	Trafo 2 - 60MVA	13,2	4,3			
	Trafo 3 - 60MVA	11,7	10,1			
	Trafo 4 - 60MVA	17,8	5,4			
PBLAN	Trafo 1 - 60MVA	15,2	15,3			
	Trafo 2 - 60MVA	15,1	7,8			
PKLOD	Trafo 1 - 60MVA	14,9	8,9		44,0	-19,0
	Trafo 2 - 60MVA	13,6	9,3			50
	Trafo 3 - 60MVA	10,4	3,7			
BNDRA	Trafo 1 - 60MVA	16,8	4,5			
	Trafo 2 - 60MVA	10,2	0,8			
NSDUA	Trafo 1 - 60MVA	17,0	5,5			50
	Trafo 2 - 60MVA	27,3	6,3			
	Trafo 3 - 60MVA	25,0	6,0			
P6GRN	Trafo 1 - 30MVA					75
	Trafo 2 - 30MVA					
	Trafo 3 - 60MVA	28,2	8,1		28,08	3,47
	Trafo 4 - 60MVA	22,7	1,6		4,88	3,92
	Trafo 5 - 60MVA	35,3	13,3		21,04	11,09
TOTAL		699 MW	179 MVAR			
REG		744 MW	282 MVAR			300 MK
LOSS		45 MW	103 MVAR			

2,35

**DEKLARASI KEMAMPUAN TRANSMISI UNTUK POLA PEMBEBANAN SISTEM
BULAN : SEPTEMBER 2014**

No	PENGHANTAR			DATA PENGHANTAR					SETTING OCR		KESIAPAN AKTUAL		KETERANGAN PENYEBAB DERATING	RENCANA PERBAIKAN	
	Dari	ke	Sakit	Teg (kV)	Jarak (Km)	Jenis Konduktor	Q (mm ²)	nom (A)	Dari (A)	ke (A)	(A)	(%)			
11			4	150	1,1	17	389	21	100	110	110	100	100		
1	CH GUNUK	CH KIPNG	I	150	5,92	GRC 3PHASA	700	520	640	540	570	100		Operasi Bay baru 01 Juni 2014	
2	CH GUNUK	CH KIPNS	II	150	5,92	GRC 3PHASA	300	520	640	660	570	100			
3	CH GUNUK	CH KIPNG	III	150	3,296	XLPE (CU)	300/400	500	600	600	500	100			
4	CH GUNUK	CH GUNUK	III	150	1,992	XLPE (CU)	300/400	500	600	600	500	100		Operasi Bay baru 10 Juni 2014	
5	CH GUNUK	CH KIPNG	IV	150	4,28	XLPE (CU)	300/400	500	600	600	500	100			
6	CH GUNUK	CH GUNUK	IV	150	1,96	XLPE (CU)	300/400	500	600	600	500	100			
5	GUNUK	NGARA	I	150	43,69	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100	N-1 Tidak Terpenuhi (Pengaliran Sistem)		
6	GUNUK	NGARA	II	150	43,69	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100	N-1 Tidak Terpenuhi (Pengaliran Sistem)		
7	GUNUK	PIMRON	I	150	75,9	29ALCC 1580N /	28310 /	1218 /	1200 /	1600	1290	100		Operasi sbb Updateng 28.01.2014 (10.15.11)	
8	GUNUK	PIMRON	II	150	75,9	29ALCC 1580N /	28310 /	1218 /	1200 /	1600	1290	100		Operasi sbb Updateng 11.08.2012 (10.15.11)	
9	NGARA	ASARI	I	150	44,23	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
10	NGARA	ASARI	II	150	44,23	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
11	ASARI	KAPAL	I	150	24	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
12	ASARI	KAPAL	II	150	24	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
13	KAPAL	BTRITI	I	150	38,15	TACSR	160	750	880	880	750	100		Operasi sbb Updateng 14.02.2014	
14	KAPAL	PYGAN	I	150	26,69	TACSR	192/240	750/930	884	900	750/930	100		17.07.2014 dilakukan Revisiting Proses OCR di G-1 Kapal dari RIKM menjadi 884 & di G-2 Kapal dari RIKM menjadi 900A	
15	KAPAL	GUNYAR	I	150	19,22	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
16	KAPAL	GUNYAR	II	150	19,22	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
17	KAPAL	PELOD	I	150	11,2	ACCU 1580N	310	1218	1200	1400	1218	100			
18	KAPAL	PELOD	II	150	11,2	TACSR	240	645	720	720	645	100			
19	KAPAL	PUBAN	I	150	9,92	ACCU 1580N	330	645	720	720	645	100			
20	GUNYAR	SANUR	I	150	16,26	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100		Operasi sbb Updateng 10.04.2006	
21	GUNYAR	SANUR	II	150	16,26	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
22	GUNYAR	AMPYAR	I	150	18,76	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
23	GUNYAR	AMPYAR	II	150	18,76	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			
24	SANUR	PAGURN	I	150	7,73	ACSR PARER 104	135	300	340	340	300	100			
25	SANUR	PAGURN	II	150	7,73	ACSR HAWK	240	645	720	720	645	100			

A. H. 33/14

**DEKLARASI KEMAMPUAN TRANSMISI UNTUK POLA PEMBEBANAN SISTEM
BULAN : SEPTEMBER 2014**

No	PENGHANTAR			DATA PENGHANTAR			SETTING DCR		KESIAPAN AKTUAL		KETERANGAN PENYEBAB DERATING	RENCANA PERBAIKAN	
	Dan	Ke	Sirkuit	Teg (kV)	Jarak (km)	Jenis Konduktor	Q (mm ²)	Inom (A)	Dari (A)	Ke (A)			(A)
26	PSGRN	NSDUA	I	150	13,41	TACSR	240	973	560	760	975	100	Operasi stlh UpRating 28-07-2011 (Konduktor Eks. (I) Srby Seafau)
27	PSGRN	NSDUA	I	150	1,7	KLPT (CU)	1000	445			945	100	Operasi stlh UpRating 05-07-2013
	PKLOD	BNDRA	I	150	11,11	TACSR	240	974	980,4	980	973	100	
	PKLOD	BNDRA	I	150	2,58	KLPT (CU)	1000	445			945	100	Operasi stlh UpRating 06-07-2013
28	BNDRA	NSDUA	I	150	7,17	TACSR	240	973	950	460	975	100	
	BNDRA	NSDUA	I	150	2,044	KLPT (CU)	1000	445			945	100	Operasi stlh UpRating 25-05-2004
29	PMRON	BTR(I)	I	150	20,41	TACSR	160	720	880	880	720	100	Operasi stlh UpRating 25-05-2004
30	PMRON	BTR(I)	II	150	20,41	TACSR	160	720	880	880	720	100	Operasi stlh UpRating 05-05-2004
31	PKLAI	PSGRN	I	150	7,6	ACCELISBDM	310	1218	1200	950	1218	100	17-07-2014 dilakukan Resetting Proteksi DCR di G1 Bets dan 840A menjadi 700A & di G1
32	PKLAI	PSGRN	I	150	6,51	ACCELISBDM	310	1218	1000	700	1218	100	Pegangan 500A menjadi 200A
33	BTR(I)	PKGAN		150	2,714	TACSR	160/240	750/920	900	900	750/920	100	
TOTAL													

KETERANGAN

1. Tg 17-07-2014 dilakukan Resetting Proteksi DCR M111 (Polev) kapal Pagan di G1 Kapal dari 800A menjadi 800A & di G1 Pegangan 800A menjadi 800A
2. Tg 17-07-2014 dilakukan Resetting Proteksi DCR M111 (Polev) Bm Pagan di G1 Bms dari 800A menjadi 900A & di G1 Pegangan 800A menjadi 900A

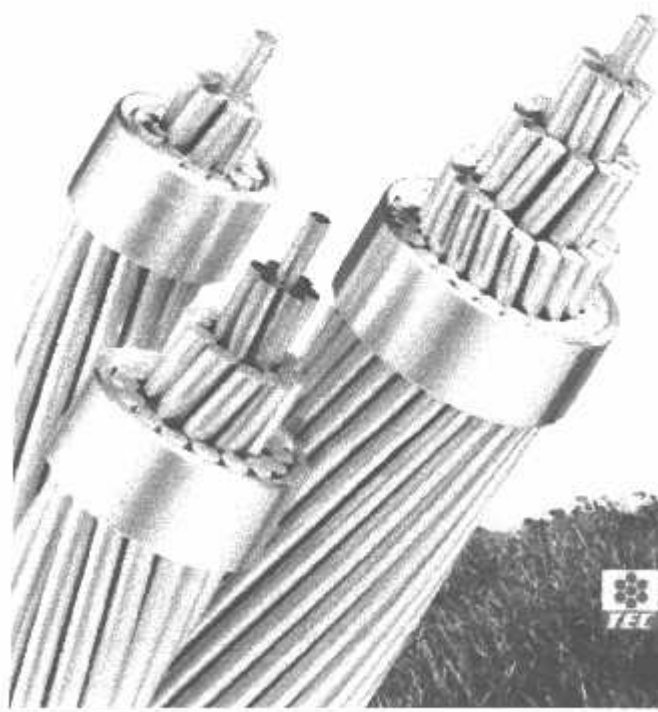
Dempas, 24 September 2014

AKWA (M111) & M112

 BESMER HANDI



OVERHEAD ELECTRICAL ALUMINUM CONDUCTORS



Taihan Electric Wire opening up the happier
world and more enriched future



 **TAIHAN**
TEC ELECTRIC WIRE CO., LTD



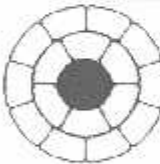
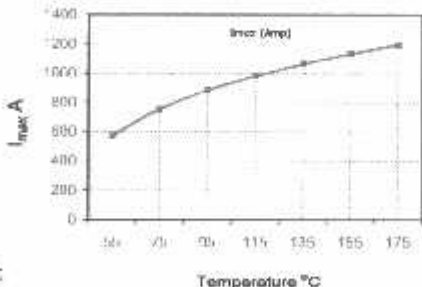
ENERGY EFFICIENT HIGH CURRENT OH CONDUCTORS

TECHNICAL DATA SHEET



Midal Cables Ltd

Concentric Lay Stranded Trapezoidal Conductor : HAWK

Conductor Type & Code ACCC - Hawk (611 kcmil/310 mm ²)	
Nominal equivalent Aluminum Area	630.2 kcmil
Cross Sectional Area - Aluminum	610.94 kcmil
Cross Sectional Area - CTC Core	0.062 sq.in
Total Area of Cross Section- conductor	0.541 sq.in
Overall Diameter of Conductor	0.857 in
Mass per Unit length - Aluminum	575 lb/kft
Mass per Unit length - Core	51 lb/kft
Mass per unit length - Conductor	626 lb/kft
Rated Strength of the Conductor *	23205 lbf
Maximum DC Resistance at 20°C (68°F)	0.1477 Ω/mile
Lay ratio - Outer layer of Aluminum wires : Min.10 Max.13 - Inner layer of Aluminum wires : Min.10 Max.16	Lay Direction of outer layer Right Hand Surface finish Standard or Non Specular
Preferred Lay of outer layer 9.432 in	Max. single length /Drum 8010 ft (2440 m)
Stranding configuration No. & Diameter of CTC Core No. of Aluminum Layers No. & equivalent Dia. of Trapezoidal wires in first layer No. & equivalent Dia. of Trapezoidal wires in second layer	1 x 0.2799 in 2 N ^o 6 x 0.195 in 10 x 0.196 in
Individual Aluminum wires Minimum conductivity 63 %IACS ASTM minimum Tensile Strength 8.5 ksi Composite Core Conductivity Nil Rated Breaking Load 19290 lbf	 Trapezoidal Wires height: 0.144 in. Area : Layer-1 0.0298 sq.in Layer-2 0.0301 sq.in
Coefficient of thermal expansion above thermal knee point 1.61 x10 ⁻⁶ /°C below thermal knee point 19.09 x10 ⁻⁶ /°C	Modulus of elasticity above thermal knee point 17.2 Msi below thermal knee point 10.7 Msi
Max. allowable continuous operating temp. (surface) 175 °C (347°F) Rated ampacity at max. temperature ^ 1197 Amp. AC Resistance at max. operating temp. 0.2406 Ω/mile Calculated max. ampacity at 120 Deg.C ^ 1006 Amp. Calculated AC Resistance at 120 Deg.C 0.20793 Ω/mile Geometric Mean Radius(GMR) 0.334 in Inductive Reactance @1ft. radius at 60Hz 0.4348 Ω/mile Capacitive Reactance @1ft. radius at 60Hz 0.09877 MΩ.mile * Ampacity calculated at : 25 Deg.C ambient, wind velocity 7ft/sec solar radiation: 92W/sq.ft emissivity coefficient: 0.5 & absorptivity: 0.5	
* Extreme Load Safety Strength of Conductor –20860 lbf (Applicable if sustained load over 80% RTS expected for prolonged periods. For further information please refer to ACCC Technical note TN-750-001.)	

General Specification Standard : ASTM B 857

Document version : Preliminary

Manufactured under license from CTC CABLE CORPORATION



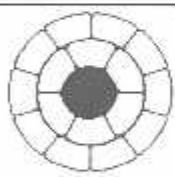
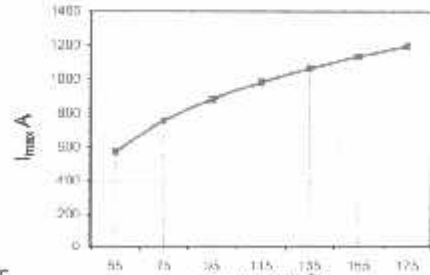
ENERGY EFFICIENT HIGH CURRENT OH CONDUCTORS

TECHNICAL DATA SHEET



Midal Cables Ltd

Concentric Lay Stranded Trapezoidal Conductor : LISBON

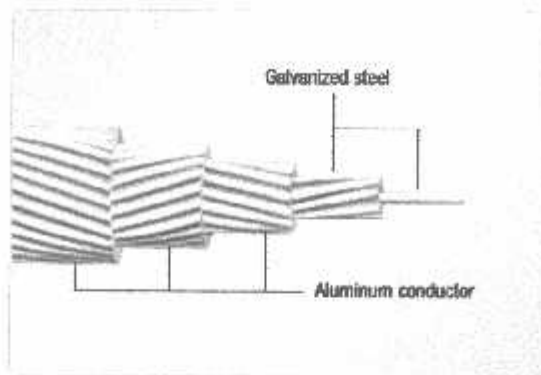
Conductor Type & Code ACCC - Lisbon (ACCC 325 mm ²)	
Nominal equivalent Aluminum Area	319,32 sq.mm
Cross Sectional Area - Aluminum	309,56 sq.mm
Cross Sectional Area - CTC Core	39,7 sq.mm
Total Area of Cross Section	349,27 sq.mm
Overall Diameter of Conductor	21,78 mm
Mass per Unit length - Aluminum	855 kg/km
Mass per Unit length - Core	76 kg/km
Mass per unit length - Conductor	931 kg/km
Rated Strength of the Conductor *	103,21 kN*
Maximum DC Resistance at 20°C	0,0918 Ω/km
Lay ratio - Outer layer of Aluminum wires : Min.10 Max.13 - Inner layer of Aluminum wires : Min.10 Max.16	Lay Direction of outer layer Right Hand Surface finish Standard or Non Specular
Prefered Lay of outer layer 240 mm	Max. single length /Drum 2440 m
Stranding configuration No. & Diameter of CTC Core No. of Aluminum Layers No. & equivalent Dia. of Trapezoidal wires in first layer No. & equivalent Dia. of Trapezoidal wires in second layer	1 x 7,11 mm 2 N ⁰ 6 x 4,95 mm 10 x 4,97 mm
Individual Aluminum wires Minimum conductivity 63 %IACS ASTM minimum Tensile Strength 58,6 MPa Composite Core Conductivity Nil Rated Breaking Load 85,8 kN	 Trapezoidal Wires height 3,57 mm Area : Layer-1 19,25 sqmm Layer-2 19,41 sqmm
Coefficient of thermal expansion above thermal knee point 1,61 x10 ⁻⁶ /°C below thermal knee point 19,09 x10 ⁻⁶ /°C	Modulus of elasticity above thermal knee point 118,5 GPa below thermal knee point 73,8 GPa
Max. allowable continuous operating temp. (surface) 175°C Rated current at max. temperature ^ 1197 Amp. AC Resistance at max. operating temp. 0,14944 Ω/ km Calculated max. current at 120 Deg.C ^ 1006 Amp. Calculated AC Resistance at 120 Deg.C 0,12915 Ω/km Geometric Mean Radius(GMR) 8,48 mm Inductive Reactance @0,3m radius at 50Hz 0,22505 Ω/km Capacitive Reactance @0,3m radius at 50Hz 0,19083 MΩ.km * Current calculated at 25 Deg.C ambient, wind velocity 0,6m/s solar radiation: 1000W/sq.m emissivity coefficient: 0,5 & absorptivity: 0,5 * Extreme Load Safety Strength of Conductor =93 kN (Applicable if sustained load over 80% RTS expected for prolonged periods. For further information please refer to ACCC. Technical note TN-750-001.)	

General Specification Standard : ASTM B 857

Document version : Preliminary

Manufactured under license from CTC CABLE CORPORATION

TACSR Thermal-resistant Aluminum - alloy Conductor Steel Reinforced



Application

This standard covers aluminum-alloy stranded conductors steel reinforced which could withstand high tensile load to be used mainly for overhead transmission lines, overhead distribution lines.

Construction

The center wire or wires are of galvanized steel and the outer layer or layers of aluminum-alloy.

Standards

Conforms to TEC, JEC 3406

(Table 5)

Nominal Cross Sectional Area (mm ²)	No. and Dia. of Strands (No./mm)		Min. Tensile Load (kgf)	Reference						
	Al-alloy	St		Calculated Cross Sectional Area (mm ²)		Outside Dia. (mm)		Weight (kg/km)	Electric Resistance (Ω/km, 20 °C)	Standard Length (m)
				Al-alloy	St	Al-alloy	St			
160	30/2.6	7/2.6	6,970	159.3	37.16	18.2	7.8	732.8	0.185	2,000
240	30/3.2	7/3.2	10,210	241.3	56.29	22.4	9.6	1,110	0.122	2,000
330	26/4.0	7/3.1	10,950	326.8	52.84	25.3	9.3	1,320	0.0904	1,600
410	26/4.5	7/3.5	13,910	413.4	67.35	28.5	10.5	1,673	0.0714	1,300
480	45/3.7	7/2.47	11,260	483.8	33.54	29.61	7.41	1,599	0.0610	2,000
610	54/3.8	7/3.8	18,350	612.4	79.38	34.2	11.4	2,320	0.0481	1,600
680	45/4.4	7/2.9	15,590	684.5	46.24	35.1	8.7	2,260	0.0431	1,400
810	45/4.8	7/3.2	18,450	814.5	56.29	38.4	9.6	2,700	0.0363	1,200

Smooth Body ACSR(Taihan Standard)

(Table 6)

Nominal Cross Sectional Area (mm ²)	Construction		Outside Dia. (mm)	Min. Tensile Strength (kgf/mm ²)	Reference					
	Al (No./shape)	St (No./mm)			Weight (kg/km)			Electric Resistance (Ω/km, 20 °C)	Hard-drawn Copper Equiv. Area (mm ²)	Standard Length (m)
					Al	St	Total			
12	6/SB	1/1.6	4.4	460	33.04	15.69	48.73	2.40	3.2mm	-
19	6/SB	1/2.0	5.5	698	52.33	24.51	76.84	1.52	4.0mm	900
25	6/SB	1/2.3	6.3	907	68.89	32.41	101.3	1.15	14	900
32	6/SB	1/2.6	7.2	1,140	88.09	41.41	129.5	0.901	5.0mm	900
58	6/SB	1/3.5	9.7	1,980	159.7	75.04	234.7	0.497	28	600
95	6/SB	1/3.5	12.0	2,510	261.7	75.04	336.7	0.303	60	300
120	6/SB	1/4.2	13.6	3,300	330.5	108.0	438.5	0.240	80	300

SB : Smooth body

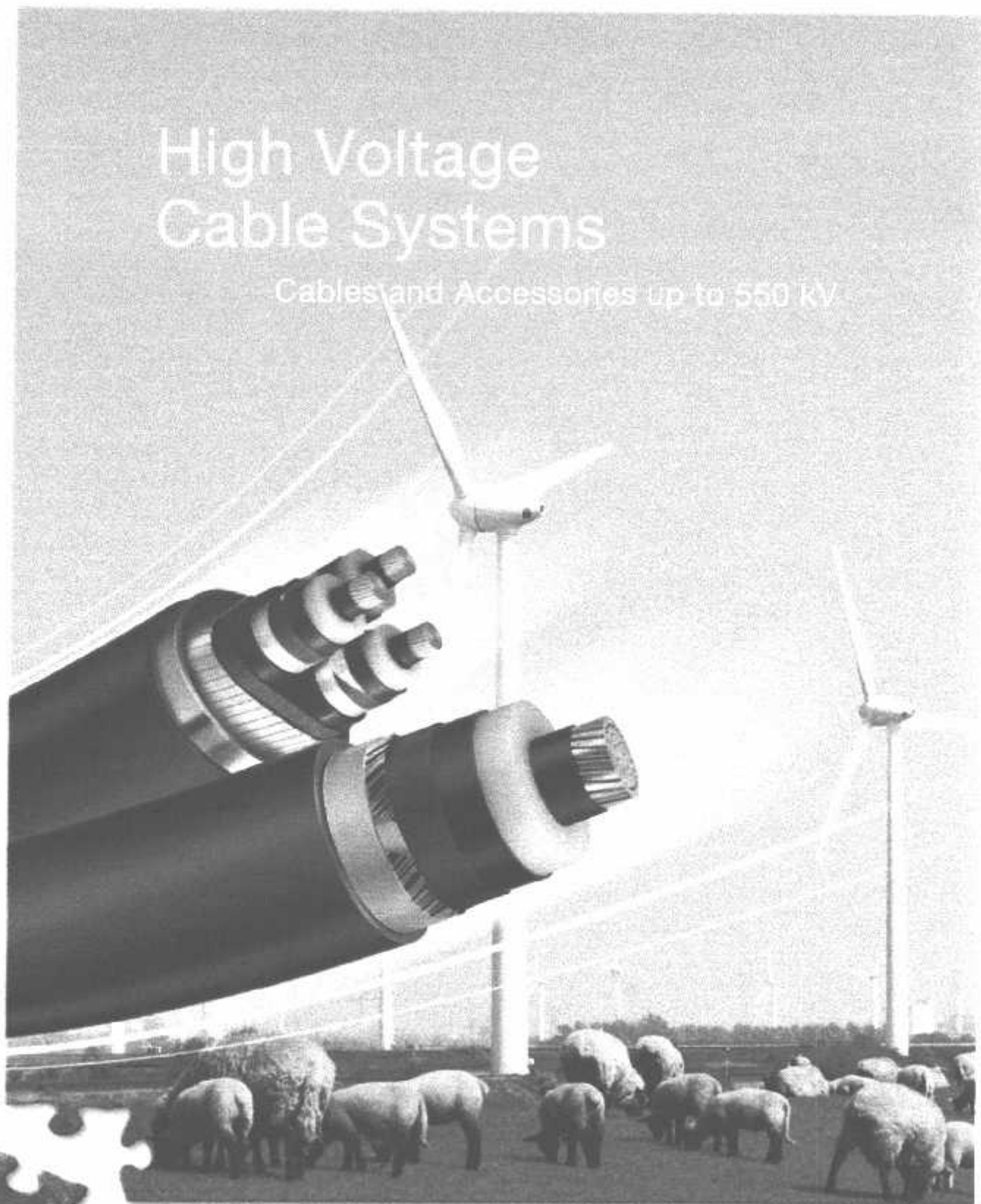
Anti-corrosion ACSR : ACSR-LZ, ACSR-MZ, ACSR-HZ(Taihan Standard)

(Table 7)

Nominal Cross Sectional Area (mm ²)	No. and Dia. of Strands (No./mm)		Max. Tensile Load (kgf)	Reference								
	Al	St		Calculated Cross Sectional Area (mm ²)		Outside Dia. (mm)		Weight (kg/km)			Electric Resistance (Ω/km, 20 °C)	Standard Length (m)
				Al	St	Al	St	Light	Medium	Heavy		
120	30/2.3	7/2.3	5,550	124.7	29.09	16.1	6.9	580.9	593.6	616.7	0.233	1,200
160	30/2.6	7/2.6	6,900	159.3	37.16	18.2	7.8	742.0	758.2	787.7	0.182	2,000
200	30/2.9	7/2.9	8,620	198.2	46.24	20.3	8.7	923.1	943.4	980.0	0.147	2,000
240	30/3.2	7/3.2	10,210	241.3	56.29	22.4	9.6	1,124	1,149	1,193	0.120	1,800
330	26/4.0	7/3.1	10,930	326.8	52.84	25.3	9.3	1,333	1,367	1,430	0.0888	1,300
410	26/4.5	7/3.5	13,890	413.4	67.35	28.5	10.5	1,690	1,733	1,813	0.0702	1,000
520	54/3.5	7/3.5	15,600	519.5	67.35	31.5	10.5	1,996	2,059	2,132	0.0559	1,400
610	54/3.8	7/3.8	18,150	612.4	79.38	34.2	11.4	2,340	2,426	2,513	0.0474	1,200

High Voltage Cable Systems

Cables and Accessories up to 550 kV



Completing the picture

NEW

versheath

extruded polyethylene sheath is provided as the standard solution. With respect to its excellent mechanical strength it is the optimum for buried cables. If required, a conductive layer can be provided on the outside. For special applications different sheathing material may be used, optimized for the purpose.

abling and Armouring

For the conventional pipe type cables as well as for the CityCable, laying-up of the three cores and provision of the strong steel armour is an essential feature. Therefore, kt cables disposes also of the appropriate machinery to carry out these production steps.

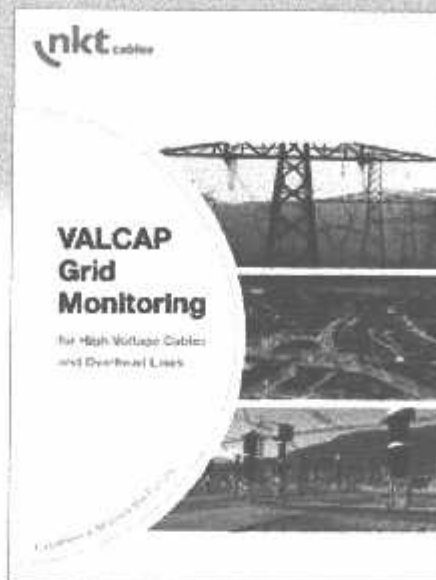
Integration of Optical Fibres and VALCAP Grid Monitoring

For distributed temperature measurement optical fibres can be integrated for both, three core and single core cables.

Today ampacity of your grid is restricted by thermal limits based on fixed and standardized parameters with high safety margins. It is not possible to control grids dynamically and in real time.

With VALCAP you can maximize the efficiency of your existing grid; continuous temperature monitoring and evaluation of the actual environment conditions along power cables and overhead lines allow you to decide precisely how much load your grid can transport safely.

you get information of expected future loads, for every day and every hour. So you can pro-actively manage the energy load transmission of your grid.



And VALCAP will even do more for you: With its intelligent software companion ADAPPRO

For more information please request the brochure "VALCAP Grid Monitoring".

Single Core XLPE Cables with Copper Wire Screen and APL Sheath



These cables can be supplied in the standard design, i.e. with insulation thickness as already used for several decades.

Due to improvements in material and manufacture it was possible not only to develop XLPE cables for extra-high voltage, but also to reduce the insulation thickness of the established high voltage cables. The effects are smaller dimensions and weights, both enabling longer supply lengths on standard drums, resulting in a smaller number of joints which in turn means less installation work and less disturbance due to open joint bays. Overall, a significant cost saving is achieved with the XLPE cables of advanced design.

Based on experience gained from tests and long-term service, further tables present data of cables with optimized design.

32 kV Single Core XLPE Cables with Copper Wire Screen and APL Sheath (Standard Design)

type (A)2XS(FL)2Y 1 x RM/50 76/132 kV with stranded compacted conductor (RM)

Dimensions/Cross Sections		mm ²	165	240	300	400	500	630	800
Conductor, Cu or Al, round, stranded, Ø	approx.	mm	16,1	18,3	20,7	23,4	26,5	30,0	34,2
XLPE insulation	nom.	mm	22,0	20,0	19,0	18,0	18,0	18,0	16,0
Screen, copper wire, cross section	nom.	mm ²	50	50	50	50	50	50	50
Outer diameter	approx.	mm	74	72	72	74	77	81	82
Cable weight (Cu/Al)	approx.	kg/m	6,0/4,4	6,2/4,3	6,8/4,5	7,7/5,2	8,8/5,7	10,3/6,4	11,7/6,8
Permissible pulling force (Cu/Al)	max.	kN	9,3/5,6	12/7,2	15/9,0	20/12	25/15	32/19	40/24
Bending radius during laying	min.	m	1,85	1,80	1,80	1,85	1,90	2,00	2,05
at terminations	min.	m	1,10	1,10	1,10	1,10	1,15	1,20	1,20
Electrical Data									
Cu conductor DC resistance at 20°C	max.	Ω/km	0,0991	0,0754	0,0601	0,0470	0,0366	0,0283	0,0221
Al conductor	max.	Ω/km	0,164	0,125	0,100	0,0778	0,0605	0,0469	0,0367
Cu conductor AC resistance at 90°C	approx.	Ω/km	0,127	0,0973	0,0781	0,0618	0,0492	0,0393	0,0326
Al conductor	approx.	Ω/km	0,211	0,161	0,129	0,101	0,0791	0,0622	0,0500
Field strength at U ₀ at conductor screen	approx.	kV/mm	6,9	6,9	5,9	6,8	6,5	6,3	6,6
at core screen	approx.	kV/mm	2,0	2,3	2,5	2,8	2,9	3,0	3,5
Capacitance per core	approx.	µF/km	0,107	0,121	0,134	0,151	0,163	0,177	0,212
Inductance	approx.	mH/km	0,49	0,46	0,44	0,42	0,40	0,39	0,36
Current Ratings/Power Ratings (continuous load)									
			trefoil installation						
Cu conductor cables	1 circuit	A/MVA	368/84	420/96	469/107	525/120	586/134	649/148	706/161
	2 circuits	A/MVA	314/72	358/82	398/91	444/102	493/113	545/125	591/135
Al conductor cables	1 circuit	A/MVA	289/66	332/76	371/85	420/96	474/108	533/122	591/135
	2 circuits	A/MVA	246/56	282/64	315/72	356/81	400/91	448/102	495/113

type (A)2XS(FL)2Y 1 x RMS/50 76/132 kV with segmental conductor (RMS)

Dimensions/Cross Sections		mm ²	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2500
Conductor, round, stranded, segmental, Ø	approx.	mm	39,0	42,0	45,3	48,5	51,3	54,3	60,9
XLPE insulation	nom.	mm	16,0	15,0	15,0	15,0	14,0	14,0	14,0
Screen, copper wire, cross section	nom.	mm ²	110	110	110	110	110	110	110
Outer diameter	approx.	mm	93	94	98	101	102	106	113
Cable weight (Cu/Al)	approx.	kg/m	15/9,1	17/9,7	19/10	21/11	23/12	25/13	30/15
Permissible pulling force (Cu/Al)	max.	kN	50/30	60/36	70/42	80/48	90/54	100/60	125/75
Bending radius during laying	min.	m	2,30	2,35	2,45	2,50	2,55	2,65	2,80
at terminations	min.	m	1,40	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,70
Electrical Data									
Cu conductor DC resistance at 20°C	max.	Ω/km	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,0101	0,0090	0,0072
Al conductor	max.	Ω/km	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0165	0,0149	0,0119
Cu conductor AC resistance at 90°C	approx.	Ω/km	0,0232	0,0201	0,0175	0,0156	0,0142	0,0129	0,0109
Al conductor	approx.	Ω/km	0,0375	0,0319	0,0275	0,0240	0,0213	0,0193	0,0156
Field strength at U ₀ at conductor screen	approx.	kV/mm	6,3	6,5	6,5	6,4	6,7	6,6	6,5
at core screen	approx.	kV/mm	3,7	4,0	4,1	4,1	4,5	4,5	4,6
Capacitance per core	approx.	µF/km	0,245	0,271	0,286	0,301	0,332	0,346	0,378
Inductance	approx.	mH/km	0,56	0,55	0,53	0,52	0,51	0,50	0,47
Current Ratings/Power Ratings (continuous load)									
			flat installation						
Cu conductor cables	1 circuit	A/MVA	999/228	1074/246	1155/264	1226/280	1265/294	1346/308	1465/335
	2 circuits	A/MVA	852/195	915/209	984/225	1043/238	1091/249	1144/262	1244/284
Al conductor cables	1 circuit	A/MVA	791/181	859/196	929/212	997/228	1058/242	1114/255	1244/284
	2 circuits	A/MVA	675/154	732/167	791/181	849/194	900/206	947/217	1057/242