

**PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA SISTEM PENYULANG PUJON GI  
SENGKALING DENGAN STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**FAZA AZMI HIDAYAT**

**NIM. 125060307111039**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2017**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



LEMBAR PENGESAHAN

**PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA SISTEM PENYULANG  
PUJON GI SENGKALING DENGAN STATIC VAR COMPENSATOR  
(SVC)**

**SKRIPSI**

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**FAZA AZMI HIDAYAT  
NIM. 125060307111039**

Jurnal ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
Pada tanggal 31 Januari 2017

**Dosen Pembimbing I**

**Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP. 19730520 200801 1 013**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir.Unggul Wibawa,M.Sc.**  
**NIP.19630106 198802 1 001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP. 19741203 200012 1 001**

JUDUL SKRIPSI :

PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA SISTEM PENYULANG PUJON GI  
SENGKALING DENGAN *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)*

Nama Mahasiswa : Faza Azmi Hidayat

NIM : 125060307111039

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Hadi Suyono,S.T.,M.T.,Ph.D.

Anggota : Ir.Unggul Wibawa,M.Sc.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr.Rini Nur Hasanah,S.T.,M.Sc.

Dosen Penguji 2 : Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.

Dosen Penguji 3 : Ir. Hery Purnomo, M.T.

Tanggal Ujian : 27 Januari 2017

SK Penguji : No. 173/UN10.F07/SK/2017



Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penulusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang,  
Mahasiswa



Faza Azmi Hidayat  
NIM. 125060307111039



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat, karunia serta hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Perbaikan Profil Tegangan Pada Sistem Penyulang Pujon GI Sengkaling dengan *Static VAR Compensator (SVC)*” ini. Tak lupa penulis sampaikan shalawat serta salam terhadap junjungan kita Nabi Muhammad Saw.

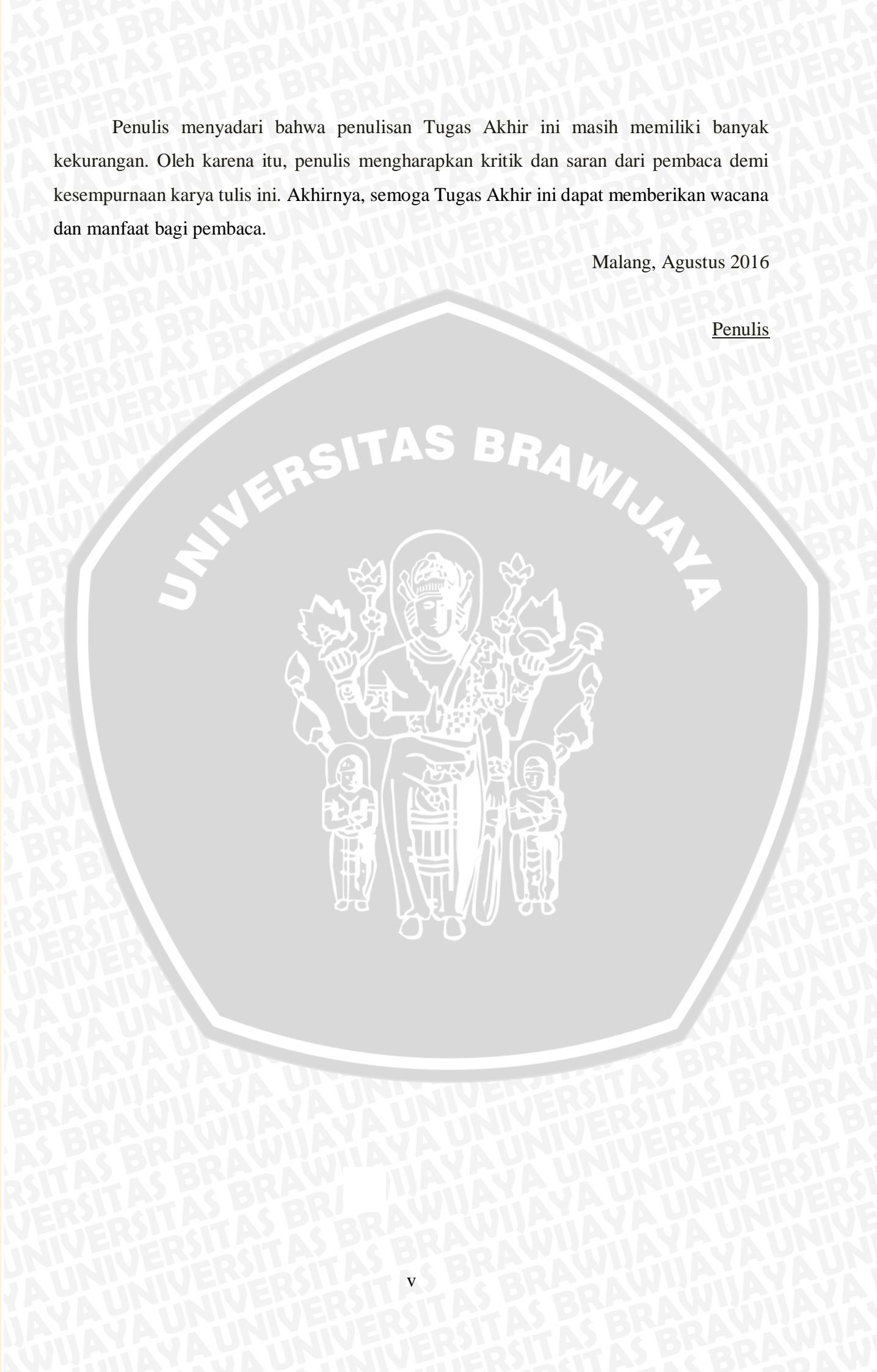
Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan terwujud tanpa adanya dukungan, bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT., dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan penulis kesempatan menuntut ilmu di Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan selaku dosen pembimbing skripsi yang dengan sabar memberikan banyak pengarahan dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro.
5. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
6. Bapak Ir.Unggul Wibawa, M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi yang dengan sabar memberikan banyak pengarahan dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Keluarga yang tercinta Bapak Taufik,Ibu Ilza,kakak dan adik saya atas segala perhatian,memberikan semangat dan kasih sayang, dan doanya yang tidak ada akhir.
8. Bapak Lauhil Hayusman S.T.,M.T. yang membantu dan mengajari saya program ETAP sehingga skripsi ini dapat selesai.
9. Keluarga besar Konsentrasi Teknik Energi Elektrik (Power 2012) dan Voltage 2012 yang telah menemani dan saling mendukung selama menjalani perkuliahan.
10. Teman-teman Travel Hero,Swandudes,Sawojajar Adventure,Logica Creative yang telah memberikan semangat,pengertian dan doanya.
11. Dan semua pihak yang telah membantu dan selalu memberikan suntikan semangat dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi kesempurnaan karya tulis ini. Akhirnya, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan wacana dan manfaat bagi pembaca.

Malang, Agustus 2016

Penulis



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## SUMMARY

The load growth over the time is increasing, should be followed by enough and reliable supply of electrical power . The distribution of electrical power is a problem that often appear, because the distance from the served load is spread,away from the plant and preference the medium voltage network load is inductive.

To solve the problem of voltage drop and power losses at a feeder can be done with the installation of SVC (Static VAR Compensator). Static Var Compensator (SVC) is an tool that can be used to reduce power losses, improve power flow and increase the voltage of system.In this paper, the installation of SVC simulated using ETAP software.

The Simulation of SVC installation at feeder Pujon have succeeded to increase the voltage.With SVC capacity  $Q = 1842 \text{ kVAR}$  installation at bus 46,the initial condition of feeder Pujon have 26 % bus from total 101 bus with voltage below 18 kV which lowest bus voltage is  $V = 0,8942 \text{ pu}$ . After the simulation installation SVC at bus 46 done in ETAP software , the lowest bus voltage  $V = 0,8942$  can increase becomes  $V = 0,9102$  and power losses decrease from  $P = 354,818 \text{ kW}$  dan  $Q = 169,936 \text{ kVAR}$  becomes  $P = 264,54 \text{ kW}$  dan  $Q = 101,187\text{kVAR}$ .

Keywords-Voltage drop, power losses,SVC (Static VAR Compensator).

## RINGKASAN

Pertumbuhan beban semakin lama semakin bertambah, harus diikuti dengan penyediaan daya listrik yang cukup dan handal. Pendistribusian daya listrik merupakan suatu permasalahan yang sering muncul, karena jarak dari beban yang dilayani tersebar, jauh dari pusat pembangkit dan kecenderungan jaringan tegangan menengah bebannya bersifat induktif.

Untuk mengatasi masalah susut tegangan dan susut daya pada sebuah penyulang dapat dilakukan dengan pemasangan *SVC (Static VAR Compensator)*. *Static Var Compensator (SVC)* adalah suatu peralatan yang dapat digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan aliran daya dan meningkatkan profil tegangan sistem. Pada penulisan ini, pemasangan *SVC* pada penyulang Pujon akan disimulasikan dengan menggunakan *software ETAP*.

Simulasi Pemasangan *SVC* pada penyulang Pujon berhasil menaikkan tegangan. Dengan kapasitas *SVC* sebesar  $Q = 1842 \text{ kVAR}$  yang dipasang pada bus 46, penyulang Pujon yang awalnya terdapat sekitar 26 % dari total 101 bus dengan tegangan dibawah 18 kV dimana tegangan bus terendah adalah  $V = 0,8942 \text{ pu}$ . Setelah dilakukan simulasi pemasangan *SVC* pada bus 46 menggunakan *software ETAP*, tegangan bus terendah  $V = 0,8942 \text{ pu}$  menjadi  $V = 0,9102 \text{ pu}$  dan rugi-rugi daya menurun dari  $P = 354,818 \text{ kW}$  dan  $Q = 169,936 \text{ kVAR}$  menjadi  $P = 264,54 \text{ kW}$  dan  $Q = 101,187 \text{ kVAR}$ .

Kata kunci : Susut Tegangan, Susut daya, *SVC (Static VAR Compensator)*.



**DAFTAR ISI**

<u>PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI</u>	i
<u>KATA PENGANTAR</u>	iv
<u>SUMMMARY</u>	vi
<u>RINGKASAN</u>	vii
<u>Daftar Gambar</u>	viii
<u>Daftar Tabel</u>	ix
<u>BAB I</u>	1
<u>PENDAHULUAN</u>	1
1.1 <u>Latar Belakang</u>	1
1.2 <u>Rumusan Masalah</u>	2
1.3 <u>Identifikasi Masalah</u>	2
1.4 <u>Tujuan Penelitian</u>	3
1.5 <u>Manfaat Penelitian</u>	3
1.6 <u>Sistematika Pembahasan</u>	3
<u>BAB II</u>	5
<u>TINJAUAN PUSTAKA</u>	5
2.1 <u>Sistem Distribusi</u>	5
2.1.1 <u>Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM)</u>	5
2.1.2 <u>Jaringan Tegangan Rendah (JTR)</u>	9
2.2 <u>Static Var Compensator (SVC)</u>	10
2.2.1 <u>Konfigurasi SVC</u>	11
2.2.2 <u>Prinsip kerja SVC</u>	13
2.2.3 <u>Sistem Kontrol SVC</u>	14
2.2.4 <u>Bagian-bagian SVC</u>	15
2.2.5 <u>Penentuan Kapasitas Static VAR Compensator (SVC)</u>	19
2.3 <u>Load Flow Analysis</u>	20
2.4 <u>Daya pada Sistem Tenaga listrik</u>	22
<u>METODE PENELITIAN</u>	25
3.1 <u>Software ETAP Power Station</u>	25
3.2 <u>Optimal Capacitor Placement (OCP)</u>	26
3.3 <u>Alur Penelitian</u>	26
<u>BAB IV</u>	31
<u>PEMBAHASAN</u>	31
4.1 <u>Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20kV GI Sengkaling Penyulang Pujon</u>	31

<u>4.2</u>	<u>Data Panjang Saluran Penyulang Pujon</u>	33
<u>4.3</u>	<u>Data Spesifikasi Saluran</u>	34
<u>4.4</u>	<u>Perhitungan Impedansi Saluran</u>	34
<u>4.5</u>	<u>Perhitungan Pembebatan Sistem 20 kV Penyulang Pujon</u>	35
<u>4.6</u>	<u>Analisis Aliran Daya Pada GI Sengkaling Penyulang Pujon</u>	37
<u>4.8</u>	<u>Hasil Simulasi dan Analisis</u>	41
<u><b>BAB V</b></u>		49
	<u><b>KESIMPULAN DAN SARAN</b></u>	49
<u>5.1</u>	<u>Kesimpulan</u>	49
<u>5.2</u>	<u>Saran</u>	49
	<u><b>DAFTAR PUSTAKA</b></u>	51
	<u><b>LAMPIRAN</b></u>	53



**Daftar Gambar**

Gambar 2. 1 Konfigurasi jaringan radial .....	6
Gambar 2. 2 Konfigurasi jaringan hantar penghubung .....	7
Gambar 2. 3 Konfigurasi jaringan loop .....	7
Gambar 2. 4 Konfigurasi jaringan spindle .....	8
Gambar 2. 5 Konfigurasi sistem jaringan kluster.....	9
Gambar 2. 6 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan pelanggan .....	10
Gambar 2. 7 Konfigurasi SVC jenis FC-TCR .....	12
Gambar 2. 8 Konfigurasi SVC Jenis TSC-TCR.....	13
Gambar 2. 9 Konfigurasi SVC .....	14
Gambar 2. 10 Sistem kontrol SVC .....	15
Gambar 2. 11 Thyristor valve tower.....	15
Gambar 2. 12 Reaktor.....	17
Gambar 2. 13 Kapasitor .....	17
Gambar 2. 14 Cooling system.....	18
Gambar 2. 15 Perbaikan Faktor Daya .....	19
Gambar 2. 16 Segitiga daya .....	23
Gambar 3. 1 Alur penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Alur menentukan letak dan kapasitas SVC.....	29
Gambar 4.1 Single line diagram penyulang pujon .....	32
Gambar 4.2 Pemodelan single line diagram penyulang pujon di software ETAP .....	38
Gambar 4.3 Grafik Kondisi Tegangan <i>Base Case</i> .....	40
Gambar 4.4 Hasil Simulasi OCP pada bus 46 .....	41
.Gambar 4.5 Hasil Simulasi OCP pada Bus 74 .....	42
Gambar 4.6 Hasil Simulasi Penempatan SVC pada <i>Software ETAP</i> .....	43
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC.....	45
Gambar 4.8 Diagram Perbandingan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC.....	47

## Daftar Tabel

Tabel 4. 1 Data Panjang Saluran.....	33
Tabel 4.2 Data Spesifikasi Kabel Saluran.....	34
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Impedansi Saluran .....	35
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Pembebanan.....	36
Tabel 4.5 Profil Tegangan kondisi base case .....	39
Tabel 4.6 Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC .....	44
Tabel 4.7 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif dan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC.....	46
Tabel 4.8 Perbandingan Daya Pembangkit dan Pembebanan Pada Sistem Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC.....	47





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat berpengaruh bagi kehidupan orang banyak. Diperlukan sebuah sistem tenaga listrik yang baik untuk dapat terus menjamin ketersediaan energi listrik. Sistem tenaga listrik adalah salah satu dari alat-alat untuk mengubah dan memindahkan energi yang mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia. Dalam penyediaan energi listrik tersebut harus dapat menjamin ketersediannya dalam jumlah yang cukup, kontinyu, harga yang wajar, dan memiliki kualitas yang baik (Stevenson, 1996:1).

Pertumbuhan beban dari waktu ke waktu semakin bertambah, harus diikuti dengan penyediaan daya listrik yang cukup dan handal. Pendistribusian daya listrik merupakan suatu permasalahan yang sering timbul, karena jarak dari beban yang dilayani tersebar, jauh dari pusat pembangkit dan kecenderungan jaringan tegangan menengah bebannya bersifat induktif (Erviana dkk, 2012:1).

Sistem yang tegangannya terletak antara 20 kV dan 500 kV sering memerlukan Reaktor pada saat beban rendah dan diperlukan Kapasitor statis pada saat beban tinggi. Variasi beban yang fluktuatif selama 24 jam, memerlukan pemasangan peralatan yang dapat menanggulangi permasalahan tersebut (Djiteteng, 1990).

*Static Var Compensator (SVC)* adalah salah satu peralatan kompensasi yang dapat menghasilkan dan menyerap daya reaktif melalui kontrol sudut penyalakan (*firing angle*) *Thyristor* (Manju & Subbiah, 2013:190). Kour dan Brar pada Tahun 2012 dalam penelitiannya menyatakan bahwa *Static Var Compensator (SVC)* adalah suatu peralatan yang dapat digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan aliran daya dan meningkatkan profil tegangan sistem.

Jaringan distribusi mempunyai perantara yang penting dalam suatu sistem tenaga listrik. Jaringan distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari gardu - gardu induk ke pusat - pusat beban. Saluran distribusi yang panjang akan mengakibatkan penurunan kualitas

daya yang terkirim. Rugi - rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi pada saluran distribusi menjadi penyebab penurunan kualitas daya yang diterima konsumen. Untuk itu perlu diketahui berapa besarnya rugi - rugi daya,dan jatuh tegangan yang terjadi pada saluran distribusi dengan mengambil objek kasus sistem distribusi penyulang Pujon.Dimana pesatnya pengembangan pariwisata yang ada dikota batu serta pembangunan tempat hiburan,hotel,tempat makan dan perumahan baru yang tentunya akan menyebabkan pertumbuhan beban jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.Dengan pengambilan data - data arus, tegangan dan daya yang terdapat pada penyulang Pujon maka dapat dilakukan perhitungan rugi - rugi daya,dan jatuh tegangan pada saluran 20 kV sistem distribusi tersebut.

Penyulang Pujon merupakan salah satu penulang terpanjang yang berada pada Rayon Sengkaling.Panjang saluran mencapai 62,865 kms dengan beban total yang dipikul  $I = 5,401 \text{ MVA}$ .Akibat dari panjangnya saluran,terjadi penurunan tegangan (drop voltage)diujung saluran,yaitu  $V = 0,8942 \text{ kV}$  (Data PT.PLN 2016). Penurunan tegangan tersebut dibawah standart Permen ESDM no. 3 Tahun 2007 bahwa tegangan minimal setiap bus pada jaringan 20 kV adalah 18 kV atau 0,9 pu.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh pemasangan *Static Var Compensator (SVC)* terhadap profil tegangan.
- b. Berapa nilai kapasitas *Static Var Compensator (SVC)* yang tepat agar penurunan tegangan dapat diatasi.
- c. Bagaimana pengaruh pemasangan *Static VAR Compensator (SVC)* terhadap rugi-rugi tegangan.

## 1.3 Identifikasi Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:

- a. Pembahasan hanya terfokus pada penurunan tegangan (*under voltage*) tidak membahas kenaikan tegangan dan *interruption* (pemutusan).
- b. Penentuan letak dan kapasitas *SVC* menggunakan perhitungan *Optimal Capacitor Placement (OCP)*, fasilitas yang dimiliki *software ETAP*.



- c. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari PT. PLN Rayon Sengkaling yakni Gardu Induk (G.I) Sengkaling dan Penyulang Pujon.
- d. Tidak membahas aspek ekonomis dari pemasangan SVC.
- e. Pemodelan sistem daya dan simulasi dilakukan dengan *software ETAP Power Station 12.6.0*.
- f. Tidak membahas tentang metode GA (Genetik Alogaritma)

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui profil tegangan setelah pemasangan SVC dan menentukan nilai kapasitas SVC

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan yang telah dijelaskan diatas, maka penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

- a. Manfaat teoritis, dapat memperkaya konsep atau teori yang menyokong perkembangan ilmu pengetahuan kelistrikan, khususnya yang terkait dengan kualitas tegangan serta peralatan kompensasi tegangan salah satunya yakni *Static Var Compensator (SVC)*.
- b. Manfaat praktis, dapat memberikan masukan ke PT. PLN mengenai cara untuk mengurangi penurunan tegangan menggunakan *Static Var Compensator (SVC)*.
- c. Bagi penulis, dengan penelitian ini diharapkan penulis mampu mengerti, memahami, mengimplementasikan serta menyimpulkan hasil penelitiannya secara ilmiah mengenai komponen-komponen serta parameter-parameter yang mempengaruhi terjadinya penurunan kualitas tegangan dan peralatan kompensasinya yakni SVC.

#### **1.6 Sistematika Pembahasan**

##### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi tentang pendahuluan yang menguraikan latar belakang, rumusan masalah, identifikasi masalah, tujuan penulisan, manfaat, dan sistematika pembahasan.

##### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang Landasan teori.

**BAB III : METODE PENELITIAN**

Berisi tentang Metode dan Program yang digunakan

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang analisis data rugi rugi tegangan dan jatuh tegangan pada sistem distribusi PT.PLN Rayon Sengkaling

**BAB V : KESIMPULAN**

Menguraikan kesimpulan yang diperoleh dan analisis data hasil pengujian yang dikembangkan dalam tugas akhir ini serta saran-saran untuk pengujian lebih lanjut.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari Sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah sebagai pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi (Djiteng, 1990:1).

Pada saluran transmisi (150 kV & 70 kV), tegangan diturunkan menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer, dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah yaitu 220 V/380 V. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan (Djiteng, 1990:13).

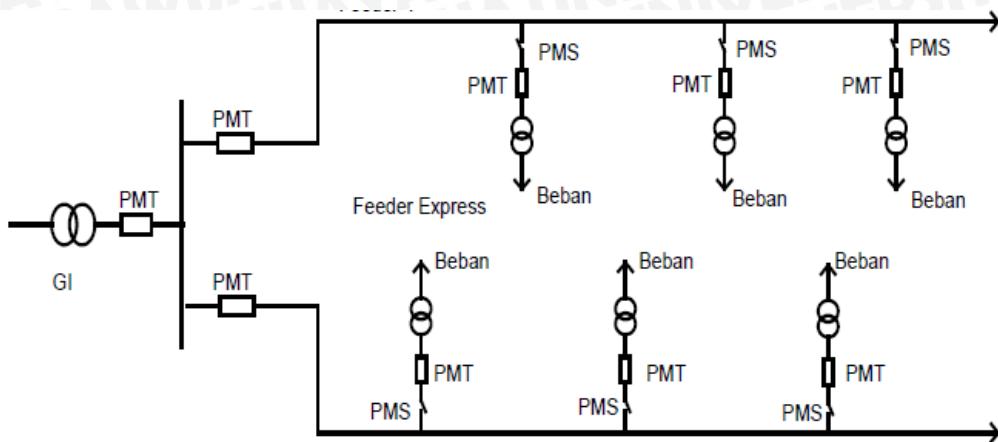
Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer (20 kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20 kV sering disebut Distribusi Tegangan Menengah dan jaringan distribusi 380/220V disebut jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah 380/220V (Djiteng, 1990:13).

##### 2.1.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM)

Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (Primer 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie line*), Jaringan Lingkaran (*loop*), Jaringan *Spindel* dan sistem Gugus (*kluster*).

### a. Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola seperti Gambar 2.1 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



Gambar 2. 1 Konfigurasi jaringan radial

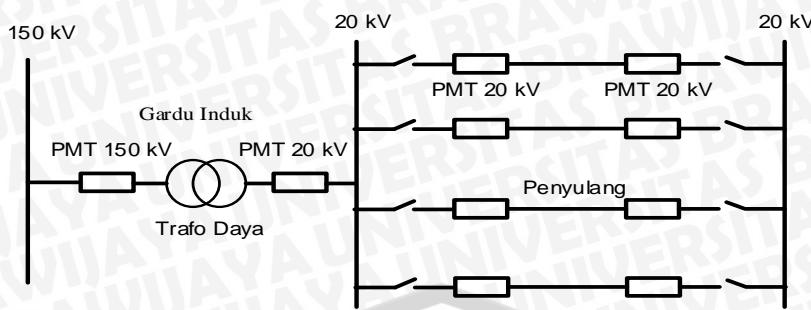
Sumber : (Tanjung Abrar, 2012)

Konfigurasi jaringan radial tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakkan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibandingkan sistem yang lainnya. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibandingkan dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan,maka seluruh gardu akan ikut padam (Tanjung Abrar, 2012).

### b. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *tie line* seperti Gambar 2.2 digunakan oleh pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandara Udara, Rumah Sakit, dan lainnya).





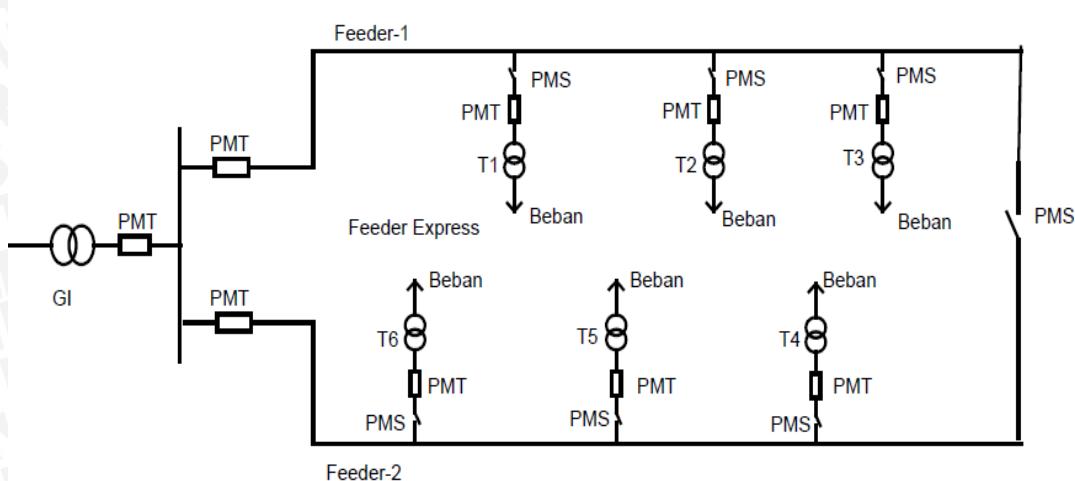
Gambar 2. 2 Konfigurasi jaringan hantar penghubung

Sumber : (Sukmawidjaja Maula, 2008 )

Sistem ini memiliki dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut, sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan dipindah ke penyulang lain (Sukmawidjaja Maula, 2008).

### c. Jaringan Lingkar (*loop*)

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (*loop*) seperti Gambar 2.3 dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik. Pada bagian tengah dari rangkaian dipasang sebuah pemisah saluran (PMS) yang gunanya untuk mengambil alih fungsi penyaluran oleh salah satu sisi penyulang apabila salah satu sisi lainnya mengalami gangguan (Tanjung Abrar,2012).

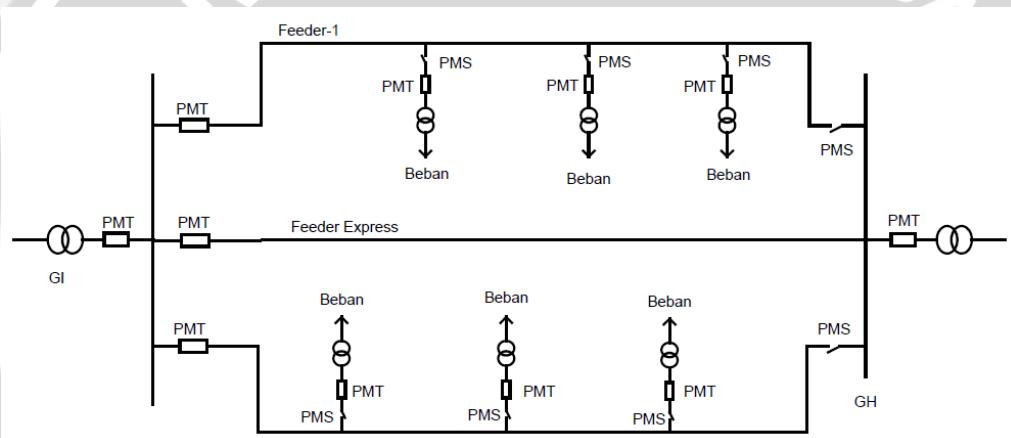


Gambar 2. 3 Konfigurasi jaringan *loop*

Sumber : (Tanjung Abrar,2012)

#### d. Jaringan Spindel

Sistem *spindel* seperti pada Gambar 2.4 adalah suatu pola kombinasi jaringan *Radial* dan *Ring*. *Spindel* terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari gardu induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH). Jaringan *spindel* biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan yang akan dihubungkan oleh gardu hubung. Jaringan *spindel* biasanya digunakan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya ,sistem ini berfungsi sebagai sistem radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).



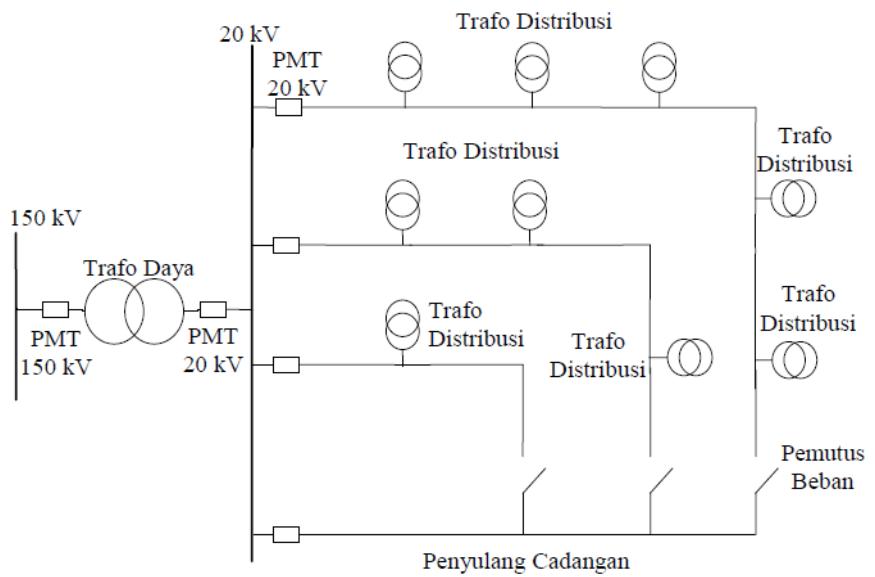
Gambar 2. 4 Konfigurasi jaringan *spindle*

Sumber : (Tanjung Abrar,2012)

Perbedaan konfigurasi jaringan distribusi loop dengan *spindle* yaitu pada konfigurasi loop, besar ukuran penampang saluran penghantar harus mampu untuk memikul seluruh beban, sedangkan pada konfigurasi *spindel*, besar penampang penghantar berdasarkan atas jumlah beban yang paling besar pada saluran utama (Tanjung Abrar,2012).

#### e. Sistem Gugus atau Sistem *Kluster*

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar 2.5 banyak digunakan untuk kota besar yang memiliki kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat saklar pemutus beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.



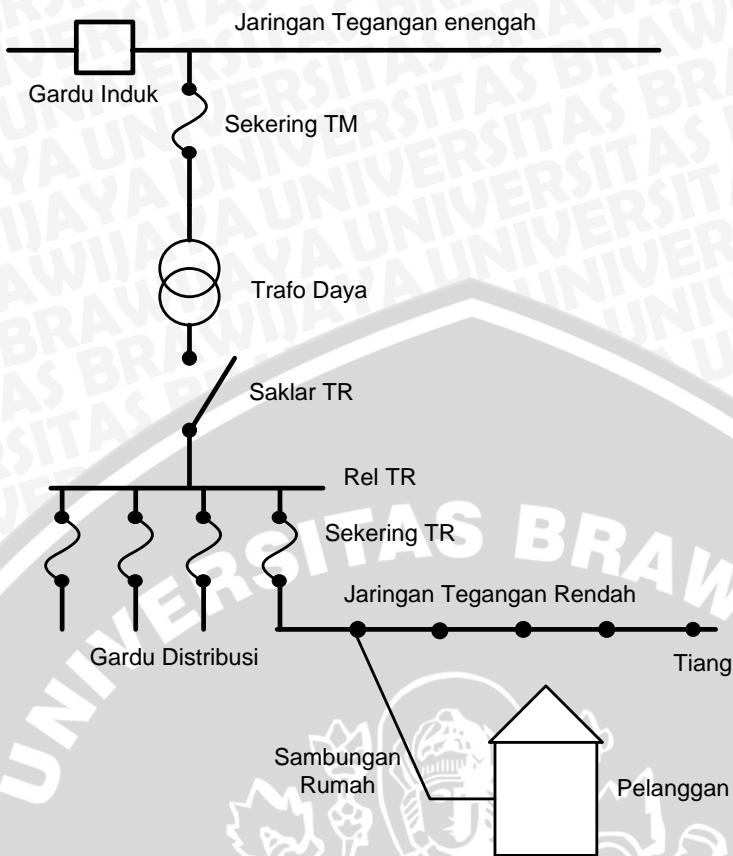
Gambar 2. 5 Konfigurasi sistem jaringan *kluster*

Sumber : (Sukmawidjaja Maula,2008)

Penyulang ini berfungsi apabila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen, maka penyulang cadangan inilah yang mengantikan fungsi suplai ke konsumen (Sukmawidjaja Maula,2008).

### 2.1.2 Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Jaringan tegangan sekunder seperti pada Gambar 2.6 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen. Jaringan tegangan rendah ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini selain berfungsi menerima daya listrik dari Pujon daya (trafo distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya ke konsumen



Gambar 2. 6 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan pelanggan

Sumber : (Djiteng,1990:3)

## 2.2 Static Var Compensator (SVC)

*Static Var Compensator* adalah sumber daya reaktif yang dapat diatur besarnya dan merupakan alat yang pengembangannya termasuk mutakhir. Dikatakan *static* pada SVC karena tidak ada satupun komponen pada SVC yang berputar/bergerak (secara mekanik). Generator dapat pula dipakai sebagai sumber daya reaktif dengan jalan mengatur arus penguat medan magnetnya. Apabila hanya diperlukan daya reaktif saja untuk suatu simpul dalam sistem tenaga listrik, maka penggunaan generator sebagai sumber daya reaktif tidaklah ekonomis. Sebagai sumber daya reaktif dapat dipakai:

- Kondensator sinkron.
- Kondensator statis.
- Static Var Compensator*.

Dalam pengaturan daya reaktif kadang-kadang diperlukan pengambilan daya reaktif dalam sistem. Hal ini dapat dilakukan oleh Kondensator Sinkron dengan mengecilkan arus penguat medan magnetnya. Juga dapat dilakukan dengan *Static Var Compensator* dengan

jalan mengatur penyalanya. Kondensator statis hanya dapat memberikan daya reaktif kedalam sistem. Alat statis yang mengambil daya reaktif adalah Reaktor, sehingga dalam praktek banyak dipakai Reaktor apabila diperlukan pengambilan daya reaktif. Makin tinggi tegangan sistem, makin banyak daya reaktif dihasilkan oleh sistem itu sendiri sebagai akibat besarnya nilai kapasitansi isolasi. Oleh karenanya pada sistem tegangan ekstra tinggi, misalnya sistem 500 kV seringkali dipakai Reaktor. Sebaliknya pada sistem tegangan menengah misalnya sistem 20 kV dan sistem tegangan rendah, sistem tidak menghasilkan cukup daya reaktif sebagai akibat dari kecilnya nilai kapasitansi isolasi, sehingga di sini diperlukan sumber daya reaktif. Untuk keperluan itu dapat dipakai Kapasitor Statis.

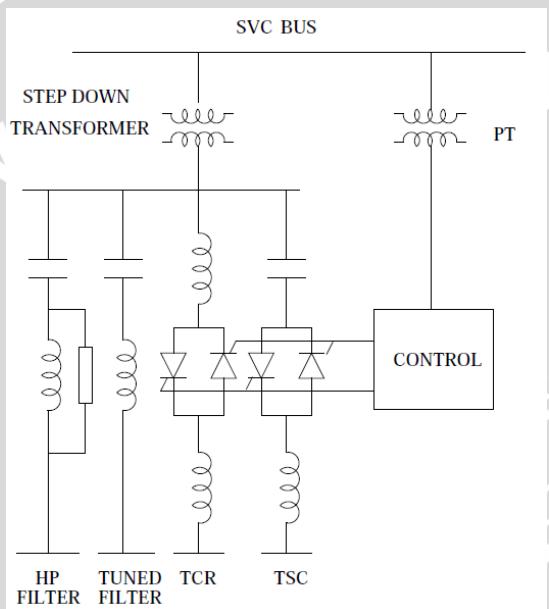
Pada sistem yang tegangannya terletak antara 20 kV dan 500 kV sering diperlukan Reaktor pada saat beban rendah dan diperlukan Kapasitor Statis pada saat beban tinggi. Variasi beban ini bisa berlangsung dalam 24 jam, sehingga perlu dilakukan pemasukan dan pengeluaran Reaktor dan Kapasitor silih berganti dalam 24 jam. Secara operasional hal ini bisa merepotkan dan orang cenderung untuk dapat melakukannya secara otomatis. Untuk dapat melakukannya secara otomatis, sumber daya reaktif harus dapat diatur mulai dari mengambil sampai dengan memberikan daya reaktif ke dalam sistem. sumber daya reaktif yang memenuhi syarat ini hanyalah kondensator sinkron dan *Static Var Compensator*. Kondensator Sinkron, karena dimensinya yang relatif besar dan adanya bagian yang berputar sehingga harganya menjadi mahal praktis tidak dipakai lagi, yang banyak dikembangkan sebagai suumber daya reaktif yang variabel adalah *Static Var Compensator*.

SVC banyak digunakan pada sistem tenaga untuk menjaga stabilitas tegangan dan menaikan faktor daya (Zhong, 2012:149) dengan cara menginjeksikan dan menyerap daya reaktif yang dihubungkan secara paralel dengan sistem tenaga listrik (Manju & Subbiah, 2013:190). SVC terdiri dari *TCR* (*Thyristor Controlled Reactor*), *TCS* (*Thyristor Capacitor Switched*) dan filter yang berfungsi untuk mengatasi besarnya harmonisa yang dihasilkan oleh *TCR* (Dinakaran & Balasundaram, 2013:100).

### 2.2.1 Konfigurasi SVC

- Konfigurasi *Static Var Compensator* (SVC) terdiri dari dua, yaitu:
- Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor* (FC-TCR).

*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  $90^\circ$  menjadi  $180^\circ$ , 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 2.7 menunjukan konfigurasi SVC *FC-TCR* (Padiyar,2007:58).

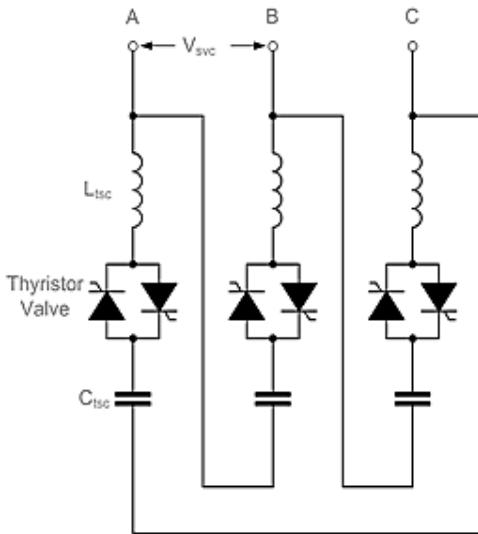


Gambar 2. 7 Konfigurasi SVC jenis FC-TCR

Sumber : (Padiyar,2007:59)

b. *Thyristor Switched Capacitor - Thyristor Controlled Reactor (TSC-TCR)*.

Konfigurasi SVC TSC-TCR lebih flaksibel dibandingakan konfigurasi SVC FC-TCR karena rating reaktor yang kecil sehingga harmonisa yang dihasilkan juga menjadi kecil (Padiyar, 2007:59).

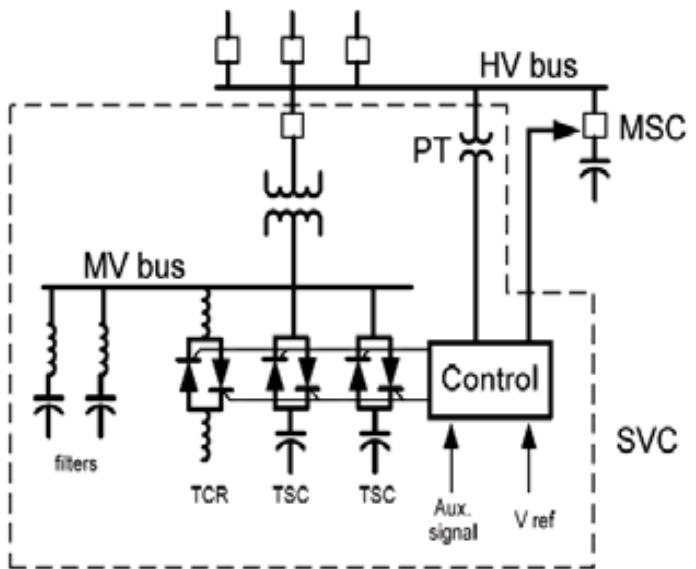


Gambar 2. 8 Konfigurasi SVC Jenis TSC-TCR

Sumber : (Preethi & Sumangala,2013:325)

### 2.2.2 Prinsip kerja SVC

Skematik dari SVC tipe TSC-TCR dapat dilihat pada Gambar 2.9. Prinsip kerja *Static VAR Compensator* (SVC) yaitu dengan cara mengatur sudut penyalaan *thyristor*, sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC. Nilai tegangan sistem merupakan input bagi pengendali, yang kemudian akan mengatur sudut penyalaan *thyristor* (Anwar, Suyono, & Soekotjo, 2012:203). Dengan mengatur sudut penyalaan saklar *thyristor* maka besarnya arus reaktor dapat diatur. Jumlah arus yang diambil SVC adalah  $I_c + I_a$ . Disini  $I_c$  adalah konstanta *fixed capacitor* sedangkan arus yang melalui Reaktor diatur besar kecilnya oleh saklar *thyristor* yang menghasilkan komponen  $I_{a1}$  dan  $I_{a2}$ .  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$ . Masing-masing adalah sudut penyalaan oleh *thyristor* 1 dan *thyristor* 2. Arus total yang melalui SVC adalah  $I_c + I_a$ , dengan demikian dengan memilih nilai reaktor yang tepat dan dengan mengatur dan melalui saklar *thyristor*, arus SVC dapat diatur dari mulai kapasitif sampai reaktif. Dengan demikian SVC dapat diatur agar memberikan atau mengambil daya reaktif dari sistem. Pengaturan besar kecilnya  $I_a$  melalui sudut penyalaan  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  menimbulkan banyak harmonisa ganjil. Yang terbanyak adalah harmonisa ke 3, ke 5 dan ke 7 dengan amplitudo maksimum 13,3%, 5,0% dan 2,5%. Harmonisa merupakan masalah di dalam operasi SVC sehingga diperlukan *filter* atau rangkaian tertentu untuk menekan harmonisa.



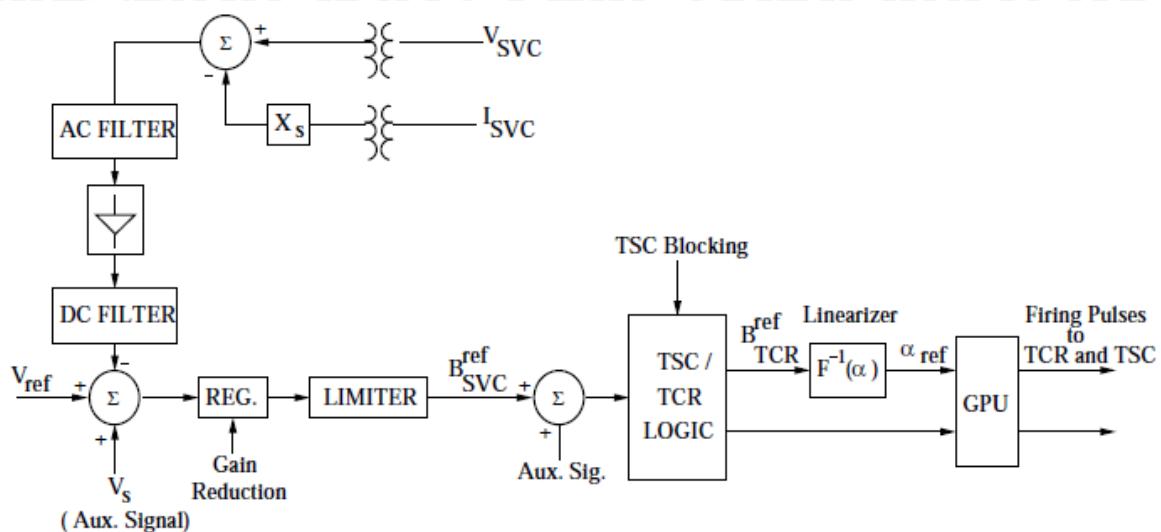
Gambar 2. 9 Konfigurasi SVC

Sumber : (Anwar, Suyono, & Soekotjo, 2012:204)

Komponen yang sangat penting dalam operasi SVC adalah saklar *thyristor* yang harus dapat menyala dan berhenti tepat pada waktunya sesuai dengan sudut penyalaan yang dikehendaki. Saklar *thyristor* hanya mengalirkan arus dalam satu arah, oleh karenanya dipakai dua *thyristor* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Saklar *thyristor* harus mampu memblokir tegangan yang berlawanan dengan arah yang dikehendaki sampai nilai tegangan bernilai beberapa kV (Djiteteng, 1990:499).

### 2.2.3 Sistem Kontrol SVC

Blok diagram sistem kontrol SVC dengan *voltage regulator* dapat dilihat pada Gambar 2.10. Gambar tersebut menunjukkan bahwa terdapat dua sinyal masukan untuk sistem kontrol SVC, yakni sinyal tegangan ( $V_{SVC}$ ) dan sinyal arus ( $I_{SVC}$ ) yang diperoleh dari potensial transformator (PT) dan *Current transformer* (CT). AC Filter pada dasarnya merupakan *filter* yang digunakan untuk menghilangkan komponen sinyal frekuensi yang timbul pada bus SVC. (Padiyar, 2007:68).



Gambar 2. 10 Sistem kontrol SVC

Sumber : (Padiyar,2007:68)

#### 2.2.4 Bagian-bagian SVC

SVC terdiri dari empat komponen yaitu:

- Thyristor valve tower*

*Thyristor valve tower* adalah bagian dari *TCR* yang berfungsi untuk mengatur sudut penyulutan ketika tegangan dari transmisinya berada pada besaran kontrolnya (PT.PLN,2014:6).



Gambar 2. 11 Thyristor valve tower

Sumber : (PT. PLN, 2014 :6)

**b. Reaktor**

*Reaktor* dapat merupakan peralatan utama atau berupa peralatan yang terintegrasi pada suatu sistem distribusi maupun transmisi. Reaktor merupakan peralatan utama jika pemasangannya tidak menjadi bagian dari peralatan lainnya, misalnya reaktor pembatas arus (*current limiting reactors*), reaktor paralel (*shunt reactor/steady-state reactive compensation*) dan lain-lain. Reaktor merupakan peralatan terintegrasi jika reaktor tersebut merupakan bagian dari suatu peralatan dengan unjuk kerja tertentu, misalnya reaktor surja hubung kapasitor paralel (*shunt-capacitor-switching reactor*), reaktor peluah kapasitor (*capacitor discharge reactor*), reaktor penyaring (*filter reactor*) dan lain-lain. Aplikasi pemasangan reaktor dalam sistem tenaga listrik pada prinsipnya untuk membentuk suatu reaktansi induktif dengan tujuan tertentu. Beberapa tujuan tersebut diantaranya adalah membatasi arus gangguan (*fault-current limiting*), membatasi arus magnetisasi (*inrush-current limiting*) pada motor dan kapasitor, menyaring harmonisa (*harmonic filtering*), mengkompensasi VAR (*var compensation*), mengurangi arus *ripple* (*reduction of ripple currents*), mencegah masuknya daya pembawa signal (*blocking of power-line carrier*), pentahanan titik netral (*neutral grounding reactor*), peredam surja transient (*damping of switching transient*), pengurang *flicker* (*flicker reduction*) pada aplikasi tanur listrik, *circuit detuning*, penyeimbang beban (*load balancing*) dan *power conditioning*. Untuk mempermudah identifikasi, pada umumnya penamaan reaktor disesuaikan dengan tujuan pemasangannya atau lokasi dimana peralatan tersebut terpasang (PT. PLN, 2014:7)



Gambar 2. 12 Reaktor

Sumber : (PT. PLN, 2014:7)

c. *Kapasitor*

Bank kapasitor (*capacitor banks*) adalah peralatan yang digunakan untuk memperbaiki kualitas pasokan energi listrik antara lain memperbaiki mutu tegangan di sisi beban, memperbaiki faktor daya ( $\cos \varphi$ ) dan mengurangi rugi-rugi transmisi. Kekurangan dari pemakaian bank kapasitor adalah menimbulkan harmonisa pada proses *switching* dan memerlukan desain khusus PMT atau *switching controller* (PT. PLN, 2014:7).



Gambar 2. 13 Kapasitor

Sumber : ( PT. PLN, 2014:8)

#### d. Cooling System

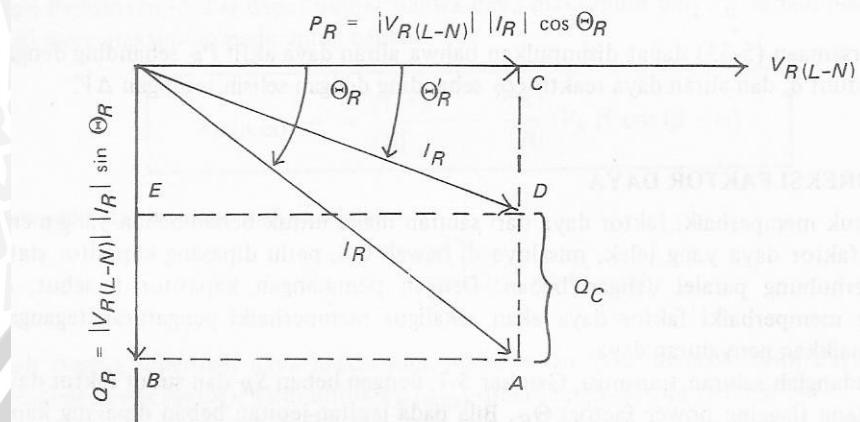
*Cooling system* dibutuhkan untuk memindah panas dari *thyristor* dan resistor pada rangkaian RC. Setiap *thyristor* mempunyai *drop* tegangan, oleh karena itu diperlukan pendingin untuk menghilangkan panas dalam jumlah besar 95% panas yang dihasilkan dihilangkan oleh *cooling system*, sisanya 5% menyebar ke udara. Proses kerja *cooling system* yaitu air yang dingin dipompa menuju *valve tower* ketika terjadi panas tinggi. Dari *valve tower*, air panas mengalir ke *dry type heat exchanger* yang dipasang pada bagian atas *container*. Di *heat exchanger*, air akan menjadi dingin karena dikipas. Setelah keluar dari *heat exchanger* air yang telah dingin tadi kembali ke pompa dan proses tersebut akan terjadi lagi. *Cooling system* membutuhkan pemeliharaan regular untuk menjaga agar tidak terjadi masalah. Seminggu sekali visual dan *audible inspection* harus dilakukan (dengan menggunakan lembar pemeliharaan). Harus diperiksa telah terjadi kebocoran atau tidak (air pada lantai) pada *cooling system* tersebut. Level air pada pemuaian tank harus dikontrol (PT. PLN, 2014:8).



Gambar 2. 14 Cooling system  
Sumber : (PT. PLN, 2014:8)

### 2.2.5 Penentuan Kapasitas Static VAR Compensator (SVC)

Penentuan Kapasitas SVC (*Static Var Compensator*) Berdasarkan teori, indikasi bus yang berkandidat sebagai tempat pemasangan SVC (*Static Var Compensator*) adalah bus yang memiliki profil tegangan dibawah tegangan yang diizinkan, yaitu turun melebihi 10% dari tegangan nominal.



Gambar 2. 15 Perbaikan Faktor Daya  
Sumber : (Hutauruk,1996:120)

Dari Gambar 2.15 dapat dituliskan :

kVAR sebelum SVC (*Static VAR Compensator*)

$$CA = P_R \tan \theta_R \quad (2.1)$$

kVAR yang diinginkan besarkan PF=0,999

$$CD = P_R \tan \theta'_R \quad (2.2)$$

Berdasarkan persamaan (2.1) dan persamaan (2.2) maka nilai Q dengan persamaan (2.3) dibawah berikut :

$$AD = Q_C = P_R(\tan \theta_R - P_R \tan \theta'_R) \quad (2.3)$$

Bila \$I\_C\$ arus pada kapasitor :

$$I_C = \omega C V_R \quad (2.4)$$

Jadi Daya Reaktif Kapasitor adalah :

$$Q_C = V_R I_C = \omega C V_R^2 \quad (2.5)$$

Maka didapat besar kapasitor :

$$C = \frac{Q}{\omega V_R^2} \quad (2.6)$$



### 2.3 Load Flow Analysis

*Load Flow Analysis* adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi untuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebahan. Analisis ini juga memerlukan informasi *load flow* dalam kondisi normal maupun darat (Cekmas,2007:1)

Masalah *load flow* dapat diselesaikan dengan metode *Newton-Raphson* menggunakan sejumlah persamaan nonliniear untuk menyatakan daya aktif dan reaktif. Dalam motede ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Persamaan daya pada suatu bus  $i$  dapat ditulis: (Cekmas,2007:8)

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.7)$$

Persamaan di atas bila ditulis dalam bentuk polar adalah:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.8)$$

Daya kompleks pada bus  $i$  adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.9)$$

Subsitusi dari persamaan (2.8) untuk  $I_i$  ke dalam persamaan (2.9) menghasilkan:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.10)$$

Pisahkan bagian real dan imajiner:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.11)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.12)$$

Dimana :  $I_i$  = Arus Pada Bus i (A)

$Y_{ij}$  = Matriks Admitansi bus i dan j

$V_i$  = Tegangan Pada i (V)

$\delta$  = Sudut Fasa Tegangan

$V_j$  = Tegangan Pada j (V)

$\theta_{ij}$  = Sudut Fasa Matriks Admitansi  $Y_{ij}$

Persamaan (2.11) dan (2.12) membentuk persamaan aljabar nonlinier dengan variabel sendiri.. Besarnya setiap variabel dinyatakan dalam satuan per unit dan untuk sudut fasa dinyatakan dalam satuan radian. Daya aktif dan reaktif adalah diketahui sedangkan besar



tegangan dan sudut fasa tegangan tidak diketahui untuk semua bus kecuali pada *slack bus* dimana besar tegangannya diketahui dan dijaga konstan. Matrik *Jacobian* memberikan perbandingan liniear antara perubahan pada sudut tegangan  $\Delta\delta_i^{(k)}$  dan besarnya tegangan  $\Delta|V_i^{(k)}|$  dengan sedikit perubahan pada daya aktif  $(\Delta P_i^{(k)})$  dan daya reaktif  $(\Delta Q_i^{(k)})$ . Dalam bentuk singkat dapat ditulis seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Banyaknya elemen matrik *jacobian* dari persamaan (2.13) ditentukan dengan  $(2n - 2 - m)x(2n - 2 - m)$  dengan  $n$  adalah banyaknya bus pada sistem, sedangkan  $m$  adalah banyaknya *voltage-controlled buses* pada sistem.  $J_1$  diperoleh dari  $(n - 1)x(n - 1)$ ,  $J_2$  diperoleh dari  $(n - 1)x(n - 1 - m)$ ,  $J_3$  diperoleh dari  $(n - 1 - m)x(n - 1)$  dan  $J_4$  diperoleh dari  $(n - 1 - m)x(n - 1 - m)$ .

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_1$  adalah:

Untuk  $j \neq 1$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq 1} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.15)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_2$  adalah:

Untuk  $j \neq 1$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ij}| \cos \theta_{ij} + \sum_{j \neq 1} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.17)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_3$  adalah:

Untuk  $j \neq 1$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq 1} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.19)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_4$  adalah:

Untuk  $j \neq 1$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq 1} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.21)$$

Perhitungan baru untuk sudut fasa dan tegangan bus adalah:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.22)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.23)$$

## 2.4 Daya pada Sistem Tenaga listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt. Daya dalam watt yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat adalah hasil kali jatuh tegangan diantara beban dalam volt dengan arus yang mengalir dalam beban tersebut dalam amper. Dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC) tiga fasa, ada tiga jenis daya yang dikenal, yaitu (Sankran, 2002:141)

### a. Daya aktif (*active power*)

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan:

$$P_{1Fasa} = V_f I_f \cos \varphi \quad (2.24)$$

$$P_{3Fasa} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \quad (2.25)$$

dimana:  $V_L$  = tegangan antar fasa (Volt).

$V_f$  = tegangan fasa-netral (Volt).

$I_L$  = arus antar fasa (Amper).

$I_f$  = arus fasa-netral (Amper).

$P$  = daya aktif (Watt).

### b. Daya reaktif (*reactive power*)

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif (VAR).

Persamaan daya reaktif adalah :

$$Q_{1Fasa} = V_f I_f \sin \varphi \quad (2.26)$$

$$Q_{3Fasa} = \sqrt{3} V_L I_L \sin \varphi \quad (2.27)$$

dimana:  $V_L$  = tegangan antar fasa (Volt).

$V_f$  = tegangan fasa-netral (Volt).

$I_f$  = arus fasa-netral (Amper).

$Q$  = daya reaktif (VAR).

$I_L$  = arus antar fasa (Amper).



2. Daya semu (*apparent power*)

Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

$$S = P + jQ \quad (2.28)$$

dimana:  $P$  = daya aktif (Watt).

$Q$  = daya reaktif (VAR).

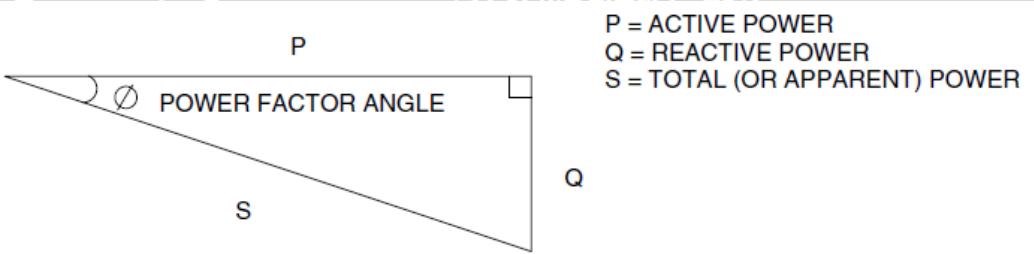
$S$  = daya semu (VA).

3. Faktor daya (*power factor*)

Faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata ( $P$ ) dan daya semu ( $S$ ), dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata}(W)}{\text{Daya Semu}(VA)} \quad (2.29)$$

Untuk daya sendiri dibentuk oleh dua komponen, daya nyata ( $P$ ) dan komponen daya reaktif ( $Q$ ). Hubungan ini dapat digambarkan dalam diagram vektor berikut:



Gambar 2. 16 Segitiga daya

Sumber : (Sankran,2002:142)

dari persamaan (2.23) dijabarkan menjadi:

$$\begin{aligned}
 \cos \varphi &= \frac{P}{S} = \frac{P}{P + jQ} = \frac{W}{VA} \\
 W &= VA \cos \varphi \\
 VAR &= VA \sin \varphi = W \tan \varphi \\
 \tan \varphi &= \frac{VAR}{W}
 \end{aligned} \quad (2.30)$$

dimana:  $\cos \varphi$  = faktor daya.

$P$  = daya nyata (Watt).

$S$  = daya semu (VA).

$Q$  = daya reaktif (VAR).



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



### 3.1 Software ETAP Power Station

*ETAP* singkatan dari “*Electric Transient Analysis Program*” adalah program aplikasi yang digunakan untuk melakukan pengujian dan analisis sistem tenaga listrik. Pengujian dan analisis sistem tenaga listrik yang dilakukan meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. *ETAP* dapat membantu seorang *engineer* untuk memodelkan sistem tenaga listrik ke dalam bentuk diagram satu garis (*single line diagram*) untuk berbagai keperluan analisis, seperti *load flow analysis*, hubung singkat, pengasutan motor, harmonisa, stabilitas peralihan, koordinasi proteksi dsb. Standar yang digunakan untuk memodelkan komponen-komponen sistem tenaga listrik mengacu pada dua standar internasional, yaitu standar *IEC* (*International Electrotechnical Commission*) dan standar *ANSI* (*American National Standards Institute*). Pemodelan komponen-komponen sistem tenaga listrik dapat diedit langsung dari diagram satu garis dimana kelengkapan data tiap-tiap komponen tenaga listrik yang dimodelkan mempengaruhi hasil analisis yang dilakukan, semakin lengkap data yang dimasukan semakin valid hasil yang akan diperoleh.

*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 system 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* pentahanan (*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)

- a) **One Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- b) **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.
- c) **Standar yang dipakai**, biasanya mengacu pada standar *IEC* atau *ANSI*, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- d) **Study Case**, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisis.
- e) Kelengkapan data dari setiap elemen/komponen/peralatan listrik pada sistem yang akan dianalisis akan sangat membantu hasil simulasi/analisis dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.

### 3.2 *Optimal Capacitor Placement (OCP)*

*Optimal Capacitor Placement (OCP)* adalah salah satu fitur yang terdapat didalam program *ETAP* yang digunakan untuk mengoptimasi kapasitas kapasitor dan menentukan letak kapasitor yang nantinya akan dipasang pada bus yang kritis. *Optimal Capacitor Placement (OCP)* memakai metode Genetik Alogaritma,dimana teknik optimasi didasarkan teori seleksi alam .

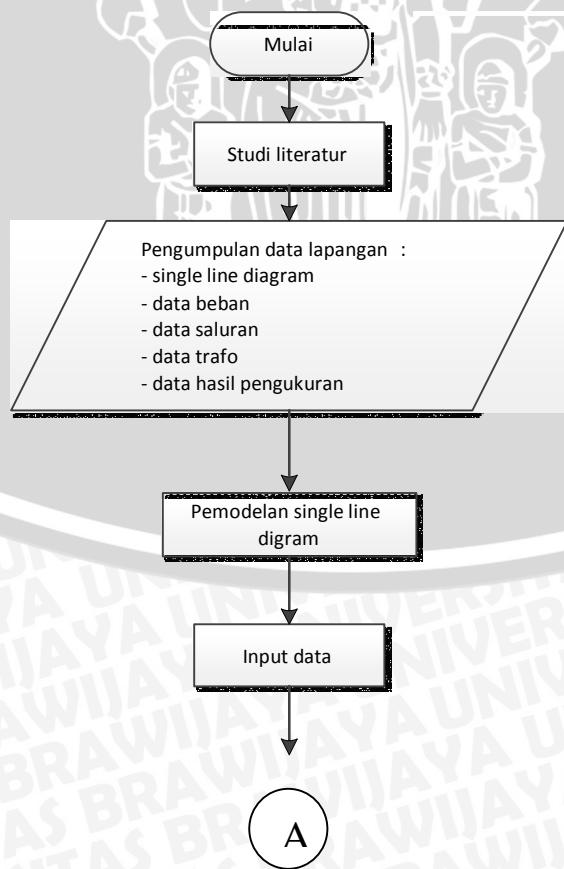
### 3.3 *Alur Penelitian*

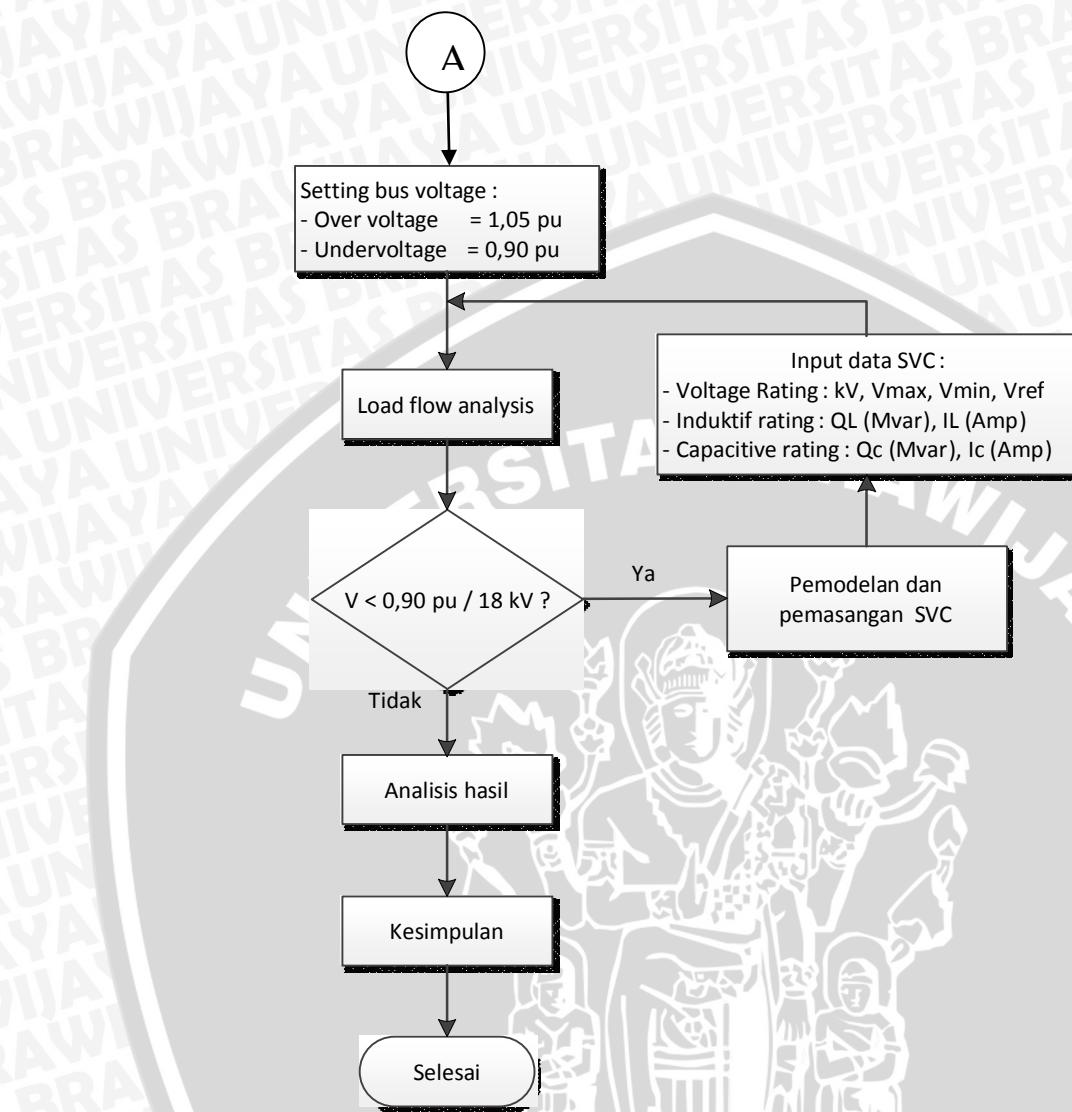
Penelitian ini dilakukan secara bertahap, alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1. Penelitian dimulai dengan studi literatur baik jurnal maupun buku tentang sistem dan keandalan jaringan distribusi 20 kV, yang mencakup sistem jaringan distribusi, karakteristik



jaringan distribusi, klasifikasi jaringan distribusi, macam-macam daya dan faktor-faktor yang mempengaruhi rugi-rugi tegangan pada penyulang.

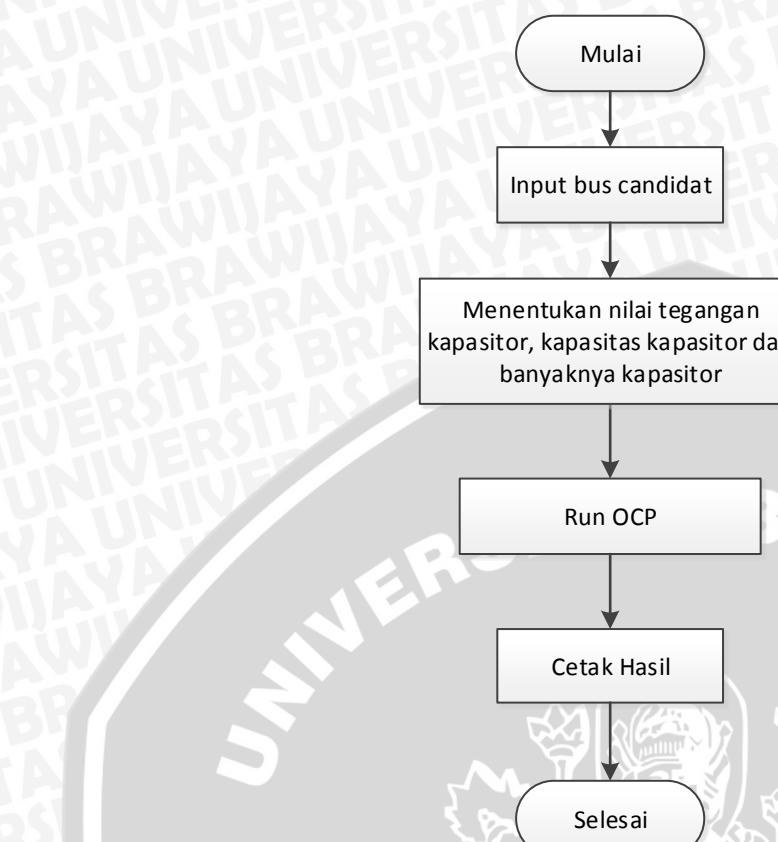
Pengumpulan data dilakukan di Gardu Induk Sengkaling dan Penyulang Pujon Rayon Sengkaling, data-data yang dikumpulkan berupa data *single line diagram*, data *power grid*, data trafo, data saluran (jenis kabel, panjang kabel, luas penampang), data beban, data pengukuran tegangan dan data pengukuran beban (data sekunder). Kemudian dilakukan verifikasi data, analisis aliran daya (*load flow analysis*) yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik sistem kelistrikan Penyulang Pujon, setelah diketahui karakteristik sistem kelistrikan apabila terjadi penurunan tegangan di bawah batas yang diatur dalam permen ESDM no. 3 Tahun 2007 bahwa tegangan minimal setiap bus pada jaringan 20 kV adalah tidak lebih dari 5% atau tidak kurang dari 10% ( $V = 1,05 \text{ pu}$  atau  $V = 21 \text{ kV}$  untuk tegangan naik dan  $V = 0,9 \text{ pu}$  atau  $V = 18 \text{ kV}$  untuk tegangan turun). Selanjutnya dilakukan pemodelan dan pemasangan *Static Var Compensator (SVC)*. Perhitungan rating kapasitas SVC meliputi rating tagangan SVC, rating induktif ( $Q_L$ ), rating kapasitif ( $Q_c$ ) yang tepat untuk menangulangi permasalahan tersebut menggunakan fasilitas *Optimal Capacitor Placement (OCP)*





Gambar 3. 1 Alur penelitian

Gambar 3.2 menunjukan alur untuk menentukan letak dan kapasitas SVC yang akan digunakan untuk memperbaiki profil tegangan. Dimulai dengan memasukan bus-bus candidat. Bus candidat adalah bus-bus yang mengalami penurunan tegangan dibawah standar yang diijinkan. Selanjutnya menentukan nilai maksimal tegangan kapasitor, kapasitas kapasitor dan jumlah (bank) kapasitor. *Running OCP*, hasil *running OCP* akan menampilkan nilai letak dan kapasitas SVC yang tepat untuk menangulangi permasalahan penurunan tegangan.



Gambar 3. 2 Alur menentukan letak dan kapasitas SVC



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



## BAB IV

### PEMBAHASAN

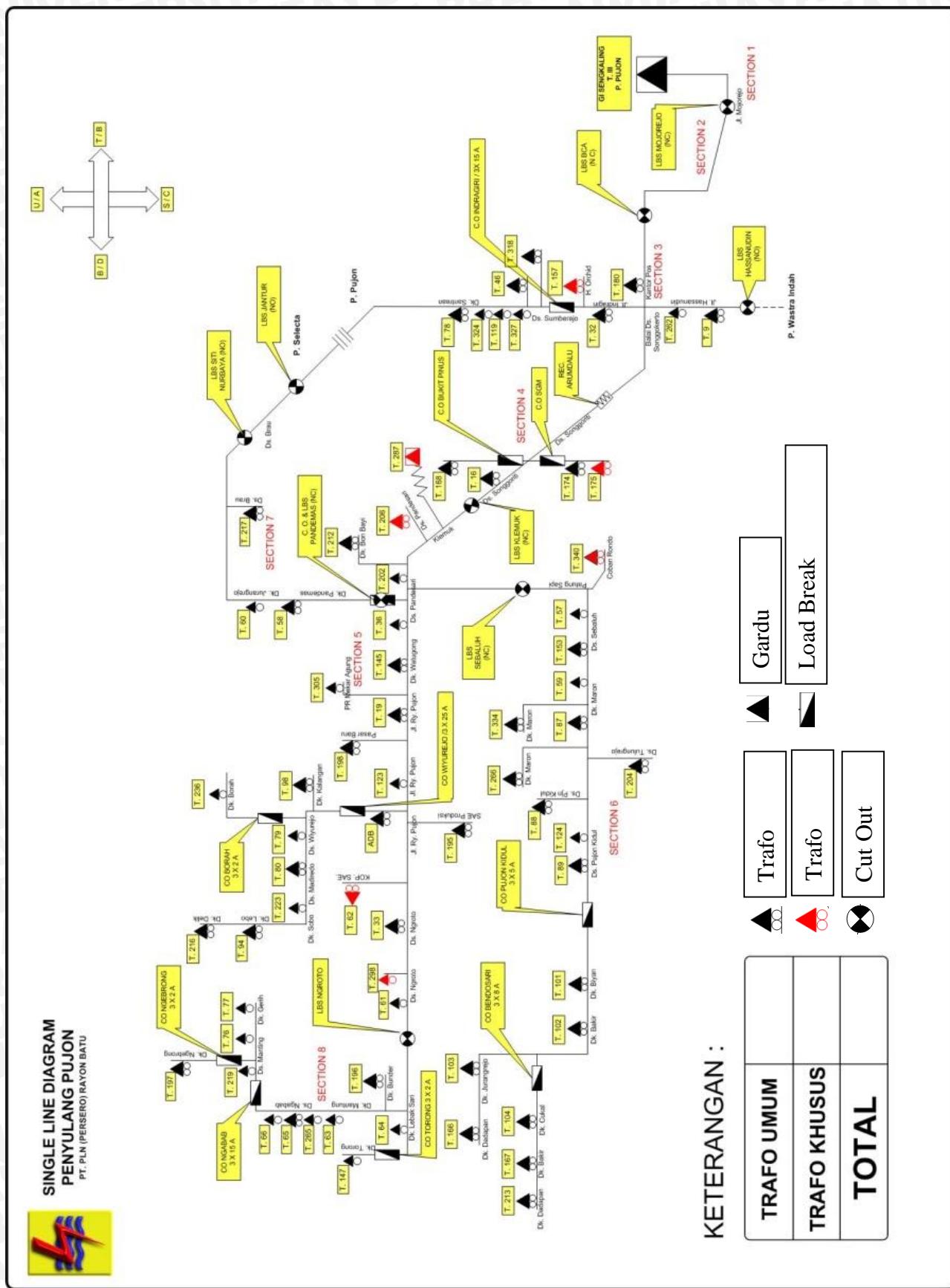
#### 4.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20kV GI Sengkaling Penyulang Pujon.

Dalam perhitungan aliran daya (*loadflow*) data yang diambil dari GI Sengkaling Malang yang melayani 12 buah penyulang dengan 2 buah trafo yang masing-masing 150/20kV-30MVA dan 150/20kV-60MVA, namun pada skripsi ini hanya menganalisis penyulang Pujon saja.

Sistem distribusi radial penyulang Pujon memakai tegangan 20 kV dan daya 30 MVA, untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya (*loadflow*) terlebih dahulu menggambar *single line diagram* yang sudah ditetapkan sesuai dengan gambar 4.1 yang akan dianalisis.

Selanjutnya bus yang diklasifikasikan yaitu busbar GI Sengkaling diasumsikan sebagai *slack bus*, sedangkan bus yang lain bus yang sepanjang saluran radial diasumsikan sebagai *load bus*. Dalam hal ini tidak ada bus generator karena sepanjang saluran tidak terdapat pembangkitan.

Penyulang Pujon sendiri memiliki 83 Trafo yang terbagi atas 76 trafo umum yang digunakan untuk pelayanan bersama dan 7 trafo khusus yang digunakan untuk pelayanan sendiri. Penyulang Pujon dibagi atas 8 *section* dimana setiap *section* memiliki *LBS (Load Break Circuit)* yang digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan beban pada masing-masing *section* agar mempermudah untuk perawatan/perbaikan jaringan apabila ada gangguan pada setiap *section*. Pada Penyulang Pujon juga terdapat CO (*Cut Out*) yang berfungsi sebagai alat pengaman jaringan apabila terjadi arus lebih.



Gambar 4.1 Single line diagram penyulang pujon

Gambar 4.1 adalah *single line diagram* penyulang pujon yang diberikan oleh PT. PLN yang nantinya akan dibuat pemodelan single line diagram pada *software ETAP*.

## 4.2 Data Panjang Saluran Penyulang Pujon

Penyulang pujon memiliki potensi untuk jatuh tegangan karena memiliki saluran yang panjang dan pertumbuhan beban pada setiap tahunnya selalu meningkat akibat banyaknya hotel, rumah dan tempat wisata yang baru. Saluran distribusi penyulang pujon memiliki panjang total SUTM 62,865 kms dan merupakan saluran terpanjang yang berada di GI Sengkaling. Data jenis kabel dan panjang saluran didapatkan dari PLN Rayon Sengkaling.

Tabel 4. 1 Data Panjang Saluran

No	Bus		Panjang (ms)
	Dari	Ke	
1	1	2	580,3
2	2	3	1432,6
3	3	4	863,9
4	4	5	85,4
5	4	6	683,3
6	6	7	2082,8
7	7	8	154,4
8	8	9	414,5
9	9	10	896,5
10	10	11	463,5
11	11	12	452,0
12	12	13	1424,5
13	12	14	1233,0
14	7	15	1244,8
15	15	16	90,5
16	16	17	20,4
17	15	18	338,0
18	18	19	182,2
19	18	20	402,8
20	18	21	304,3

Data panjang saluran penyulang ditunjukkan pada tabel 4.1 menggunakan tegangan 20 kV sebagai tegangan dasar dimana nantinya dibutuhkan untuk data input pada pemodelan *single line diagram* pada *software ETAP*. Tabel 4.1 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

### 4.3 Data Spesifikasi Saluran

Jaringan distribusi Penyulang Pujon menggunakan kabel saluran udara dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.2 Data Spesifikasi Kabel Saluran

Jenis Konduktor	Penampang nominal ( $\text{mm}^2$ )	Impedansi saluran ( $\Omega/\text{km}$ )
AAAC	150	0.2162+j0.3305
AAAC	120	0.2688+j0.3376
AAAC	70	0.4608+j0.3572
AAAC	50	0.6452+j0.3678
AAAC	35	0.9217+j0.3790

Tabel 4.2 menunjukkan jenis kabel saluran yang dipakai oleh penyulang pujon dengan spesifikasinya yang nantinya akan dibutuhkan untuk input data pada pemodelan *single line diagram* pada *software ETAP*.

### 4.4 Perhitungan Impedansi Saluran

Dari data spesifikasi kabel saluran pada tabel 4.1, diketahui penyulang pujon menggunakan jenis kabel AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) dengan penampang nominal  $150 \text{ mm}^2$  dan impedansi saluran  $0,2162+j0,3305 \text{ } (\Omega/\text{km})$ . Berikut contoh perhitungan impedansi saluran yang dilakukan pada bus 1 ke bus 2

Diketahui jarak dari bus 1 ke bus 2 =  $580,3 \text{ m} = 580 \times 10^{-3} = 0,5803 \text{ km}$

Untuk mencari R

$$R = 0,5803 \times 0,2162 = 0,1255 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Untuk mencari X

$$X = 0,5803 \times 0,3305 = 0,1918 \text{ } \Omega/\text{km}.$$

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Impedansi Saluran

No	Bus		Panjang (ms)	Impedansi Saluran	
	Dari	Ke		R (ohm)	X (ohm)
1	1	2	580,3	0,1255	0,1918
2	2	3	1432,6	0,3097	0,4735
3	3	4	863,9	0,1868	0,2855
4	4	5	85,4	0,0185	0,0282
5	4	6	683,3	0,1477	0,2258
6	6	7	2082,8	0,4503	0,6884
7	7	8	154,4	0,0334	0,0510
8	8	9	414,5	0,0896	0,1370
9	9	10	896,5	0,1938	0,2963
10	10	11	463,5	0,1002	0,1532
11	11	12	452,0	0,0977	0,1494
12	12	13	1424,5	0,3080	0,4708
13	12	14	1233,0	0,2666	0,4075
14	7	15	1244,8	0,2691	0,4114
15	15	16	90,5	0,0196	0,0299
16	16	17	20,4	0,0044	0,0067
17	15	18	338,0	0,0731	0,1117
18	18	19	182,2	0,0490	0,0615
19	18	20	402,8	0,1083	0,1360
20	18	21	304,3	0,0658	0,1006

Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil perhitungan dengan cara yang sama pada contoh diatas untuk mengetahui impedansi pada setiap saluran yang nantinya data tersebut dimasukkan sebagai input data. Tabel 4.3 selengkapnya dapat dilihat dilampiran.

#### 4.5 Perhitungan Pembebanan Sistem 20 kV Penyalang Pujon

Pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi pada lampiran, dimana besarnya beban pada masing-masing fasa diasumsikan seimbang. Jika besarnya pembebanan adalah nol, maka pada bus tidak terdapat trafo distribusi tetapi hanya

merupakan simpul. Pada tahap ini rugi-rugi yang terjadi pada trafo distribusi diabaikan. Mengingat bahwa tidak dilakukan pengukuran faktor daya pada jaringan, maka pada perhitungan ini diasumsikan harga faktor daya sebesar 0,86 (sesuai dengan permen ESDM). Dibawah ini diberikan contoh perhitungan pembebanan pada bus 2.

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Trafo} &= 160 \text{ kVA} \\ \text{Beban gardu} &= 31 \% \\ \text{Pembebanan} &= 160 \times 31 \% = 49 \text{ kVA}\end{aligned}$$

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Pembebanan

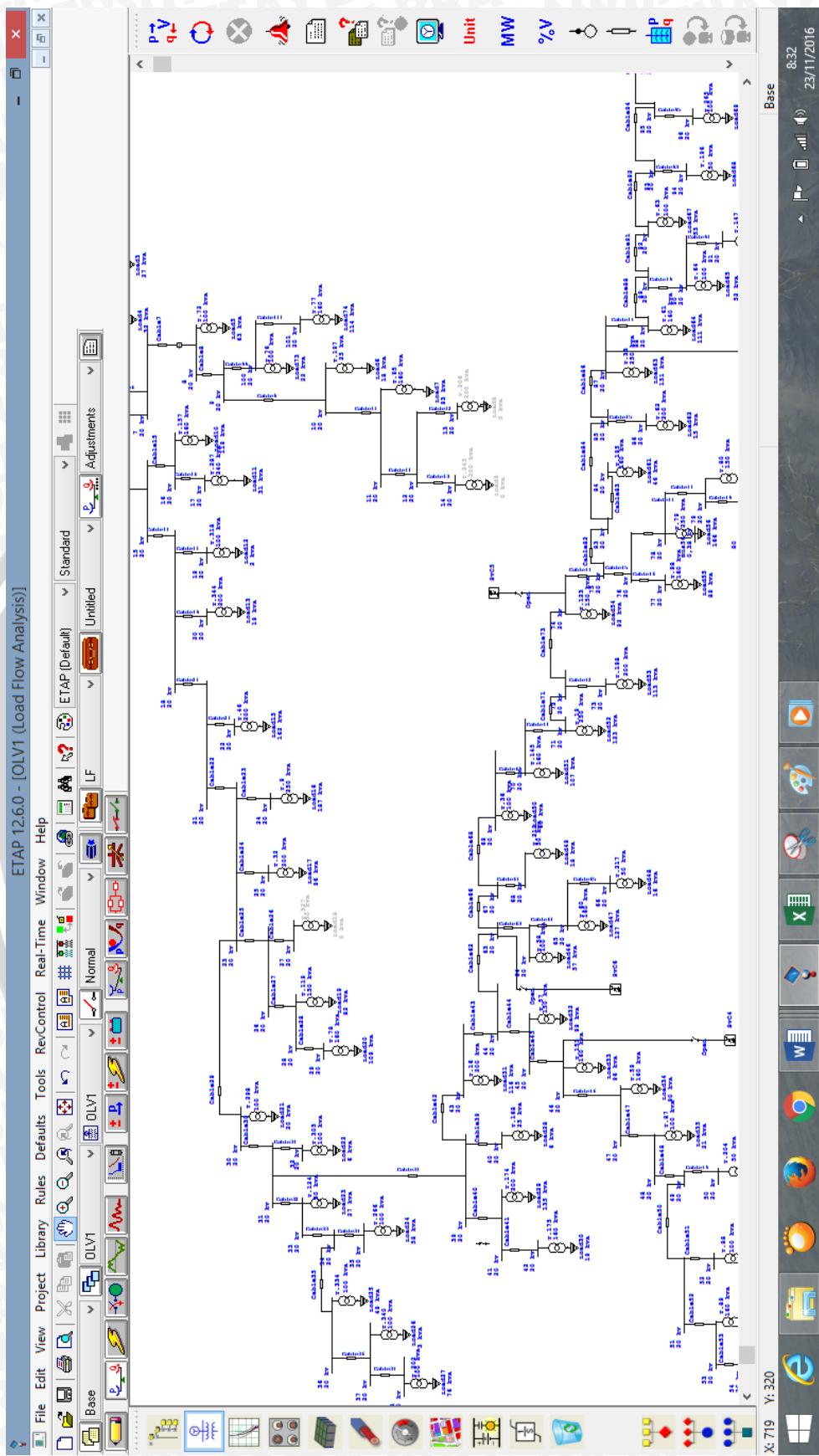
No	Gardu	Alamat	Daya Trafo (kVA)	Daya Pengukuran (kVA)	Daya Pengukuran (%)
1	9	JL. Hasanudin	250	187	75
2	16	Songgoriti	200	116	58
3	19	JL.Raya Pujon	250	123	49
4	25	Jl. Trunojoyo	75	30	40
5	30	Ds. Songgoriti	160	0	0
6	31	JL. Sudiro	100	32	32
7	32	Jl. Indragiri	200	96	48
8	33	Ngroto pujon	250	151	60
9	36	Ds. Pandesari	100	60	60
10	46	Ds. Sumberejo	200	162	81
11	57	DK.Sebaluh	150	99	66
12	58	Dk. Pandemas	100	57	57
13	59	DK. MARON	160	90	56
14	60	DK. JURANGREJO	160	127	79
15	61	Dk. Ngroto	160	111	69
16	62	KOP SAE PUJON	200	15	8
17	63	Dk. Mantung	100	53	53
18	64	Dk. Lebaksari	100	52	52
19	65	Dk. Ngabab	160	124	78
20	66	Dk. Ngabab	100	60	60

Tabel 4.4 menunjukkan daya pengukuran beban pada setiap gardu pada penyulang Pujon,dimana daya pengukuran tersebut akan dipakai sebagai input data untuk me dan pada tabel terdapat hasil perhitungan dengan cara yang sama seperti pada contoh diatas . Table 4.4 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.6 Analisis Aliran Daya Pada GI Sengkaling Penyulang Pujon

Untuk menganalisis aliran daya terlebih dahulu dilakukan pemodelan single line diagram seperti pada Gambar 4.2.Setelah data panjang saluran,data luas penampang,data jenis kabel,data impedansi dan data beban yang sudah didapat dimasukkan sebagai input data untuk menganalisis aliran daya (*load flow*) dengan menggunakan *software ETAP power station* dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik sistem pada GI Sengkaling Penyulang Pujon yaitu tegangan pada masing masing bus dan besar rugi-rugi dayanya.Setelah diketahui karakteristik penyulang pujon pada kondisi *base case* (kondisi sebelum pemasangan SVC) maka kita dapat mengetahui bus mana saja yang nantinya mengalami masalah jatuh tegangan.





Gambar 4.2 Pemodelan single line diagram penyulang pujon di software ETAP

Gambar 4.2 adalah pemodelan single line diagram yang telah dibuat pada *software ETAP*. Pemodelan *single line* diagram tersebut nantinya akan membantu untuk mengetahui karakteristik penyulang pujon.

#### 4.7 Analisis Profil Tegangan Pada Sistem 20 kV Pujon dalam Kondisi Base case

Level tegangan pada setiap bus sudah diatur dalam permen ESDM no. 3 Tahun 2007 bahwa tegangan minimal setiap bus pada jaringan 20 kV adalah 18 kV atau 0,9 pu. Dimana level tegangan tersebut dipakai sebagai standart minimal pada penelitian ini.

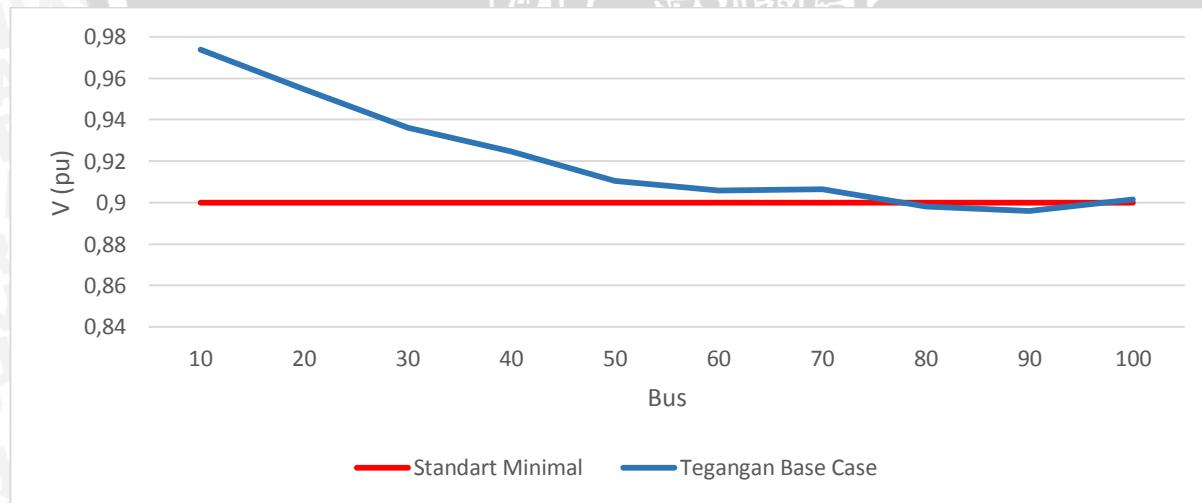
Tabel 4.5 Profil Tegangan kondisi base case

Bus ID	Tegangan Kondisi <i>Base Case</i>	
	Pu	kV
70	0,9022	18,044
71	0,9008	18,016
72	0,9008	18,016
73	0,9007	18,014
74	0,8983	17,966
75	0,8980	17,960
76	0,8968	17,936
77	0,8968	17,936
78	0,8965	17,930
79	0,8963	17,926
80	0,8961	17,922
81	0,8959	17,918
82	0,8957	17,914
83	0,8966	17,932
84	0,8966	17,932
85	0,8964	17,928
86	0,8964	17,928
87	0,8962	17,924
88	0,8957	17,914
89	0,8952	17,904
90	0,8952	17,904
91	0,8952	17,904

Bus ID	Tegangan Kondisi <i>Base Case</i>	
	Pu	kV
92	0,8951	17,902
93	0,8947	17,894
94	0,8946	17,892
95	0,8945	17,890
96	0,8945	17,890
97	0,8944	17,888
98	0,8942	17,884
99	0,8942	17,884
100	0,9622	19,244
101	0,9622	19,244

— Kondisi Tegangan Kritis

Tabel 4.5 menunjukkan hasil studi aliran daya menggunakan metode *Newton Raphson* pada kondisi *base case*, dimana pada bus 74 s.d bus 99 mengalami penurunan tegangan (kondisi tegangan kritis) atau kondisi dibawah level tegangan yang ditentukan dalam penelitian ini, yaitu 18 kV atau 0,9 pu.



Gambar 4.3 Grafik Kondisi Tegangan *Base Case*

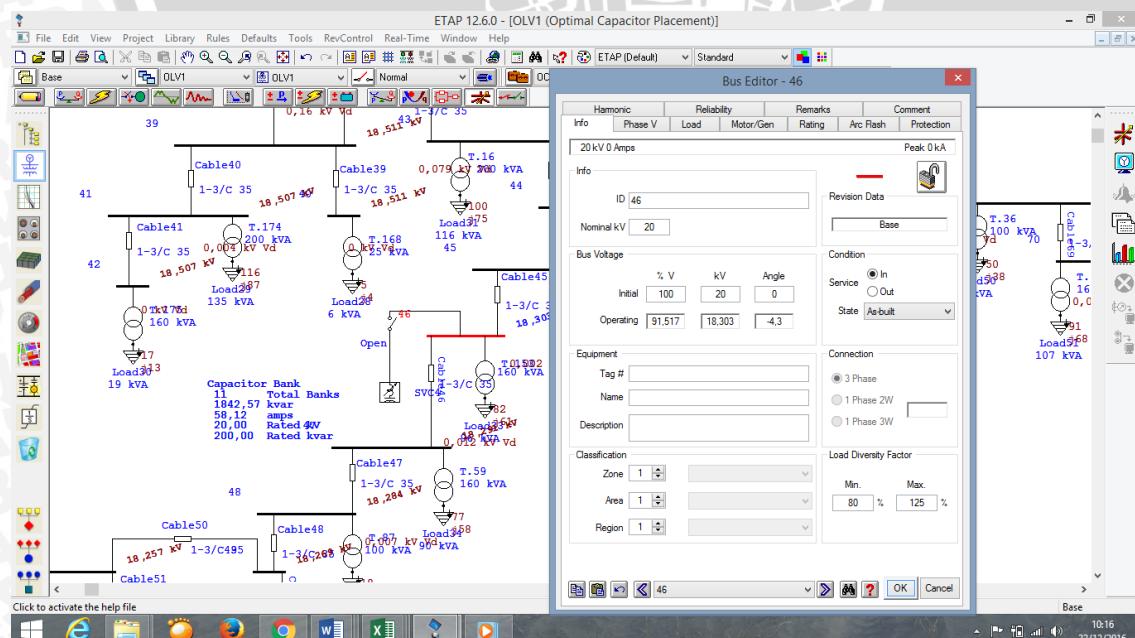
Dari gambar 4.3 dapat terlihat penurunan tegangan bus semakin jauh dari sumber semakin menurun yang terlihat jelas pada grafik. Terlihat mulai dari bus 70 tegangan mulai jatuh hingga beberapa bus setelahnya berada pada kondisi tegangan dibawah 0,9 pu atau

berada dibawah standart minimal tegangan yang sudah ditentukan dalam penelitian ini (18 kV atau 0,9 pu).

Setelah dilakukan *load flow* dan diketahui bus-bus yang mengalami penurunan tegangan, maka data hasil *load flow* tersebut digunakan sebagai data masukan dalam menentukan letak dan lokasi penempatan *Static Var Compensator (SVC)* dengan menggunakan fasilitas yang dimiliki oleh *software ETAP* yaitu *Optimal Placement Capacitor (OCP)*. Dimana nantinya *OCP* akan membantu untuk mengetahui dimana letak pemasangan *SVC* dan besar kapasitas yang dibutuhkan untuk menanggulangi jatuh tegangan pada penyulang Pujon. Masukkan bus-bus yang kritis menjadi kandidat untuk input *OCP*. Setelah itu kita *running* fitur *OCP* tersebut, kemudian setelah *running OCP* selesai, maka *OCP* akan menunjukkan bus mana yang bisa digunakan untuk memperbaiki sistem dan besar kapasitasnya akan tertera pada bus tersebut yang bisa kita lihat pada Pemodelan *Single Line Diagram* yang kita buat. Setelah itu analisis dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi sebelum dilakukan pemasangan *SVC* dan sesudah dilakukan pemasangan *SVC* pada bus-bus kritis yang mengalami penurunan tegangan (*under voltage*).

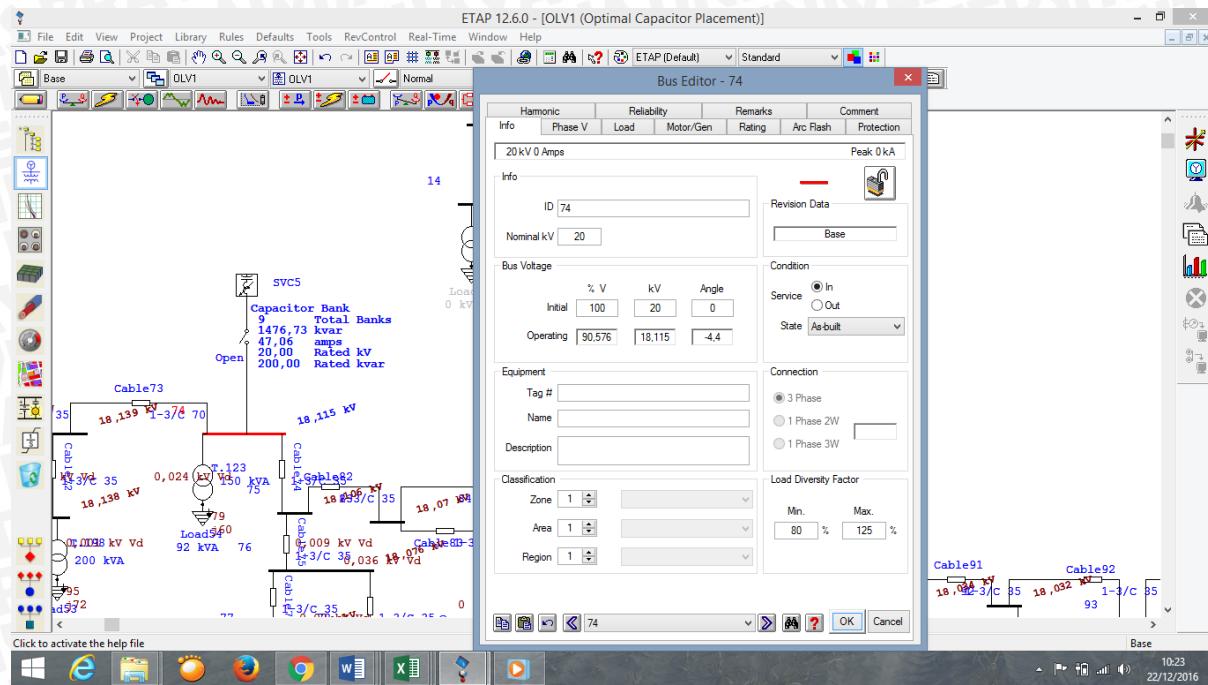
#### 4.8 Hasil Simulasi dan Analisis

Hasil analisis penentuan letak dan kapasitas *SVC* menggunakan *OCP* menyimpulkan bahwa, untuk menanggulangi permasalahan penurunan tegangan (*under voltage*) di *bus-bus* yang kritis pada Penyulang Pujon terdapat 2 kandidat *capacitor* dengan kapasitas sebesar  $Q = 1842$  kVAR pada *bus 46* dan  $Q = 1476$  kVAR pada *bus 74* yang akan disimulasikan satu persatu untuk mendapatkan besar kapasitas *SVC* dan letak *SVC* yang sangat optimal.



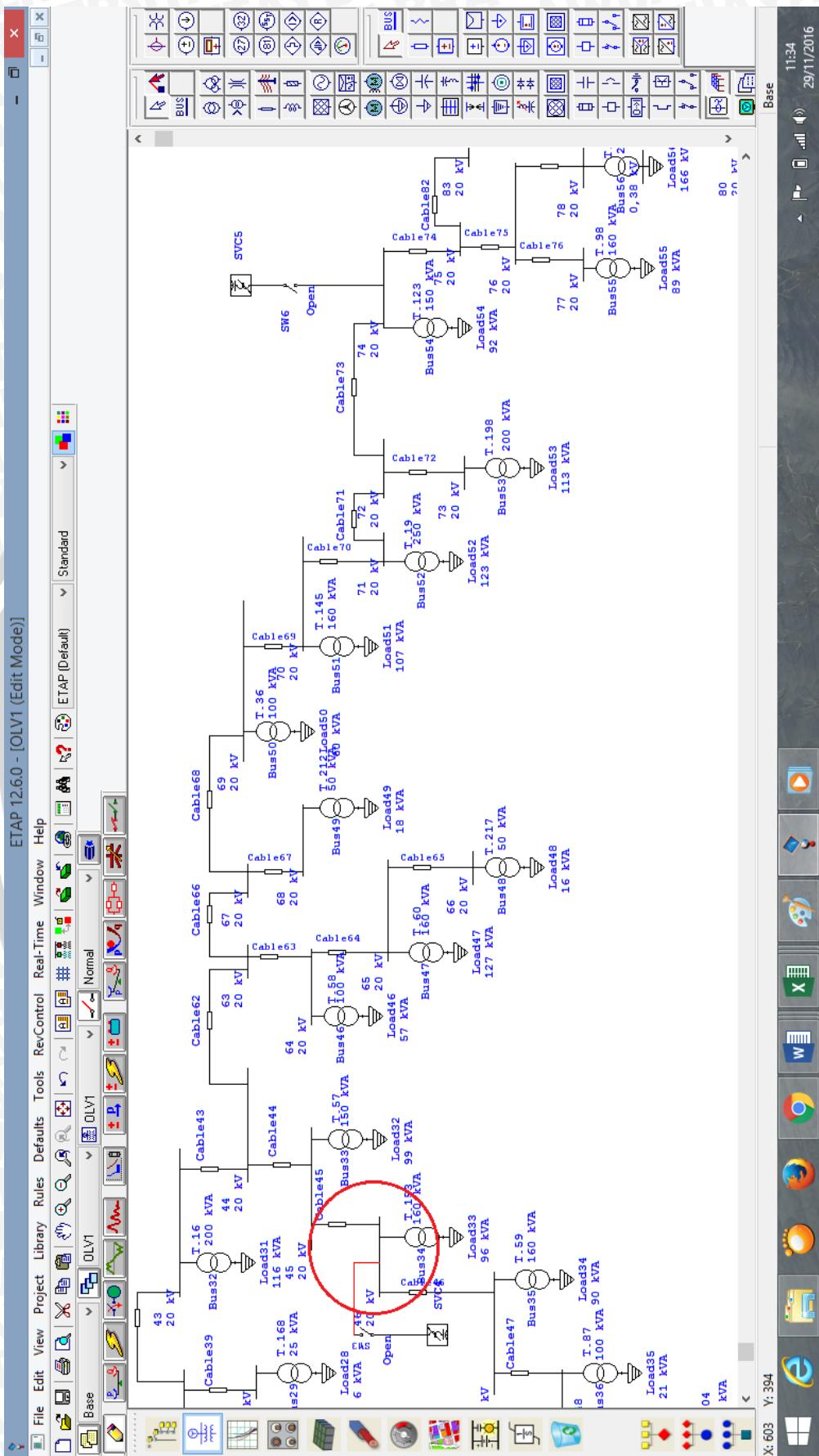
Gambar 4.4 Hasil Simulasi OCP pada bus 46

Gambar 4.4 menunjukkan hasil simulasi *OCP* dengan kapasitas  $Q = 1842$  kVAR pada bus 46. Dimana tegangan pada bus 46 yang awalnya  $V = 0,8942$  pu, setelah dilakukan pemasangan *SVC* meningkat menjadi  $V = 0,9102$  pu. Rugi-rugi daya aktif sebelum dilakukan pemasangan *SVC*  $P = 354,818$  kW dan  $Q = 169,936$  kVAR menjadi  $P = 264,54$  kW dan  $Q = 101,187$  kVAR.



.Gambar 4.5 Hasil Simulasi OCP pada Bus 74

Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi *OCP* (*Optimal Capacitor Placement*) dengan besar kapasitas  $Q = 1476$  kVAR pada bus 74. Dimana tegangan pada bus 74 yang awalnya  $V = 0,8942$  pu, setelah dilakukan pemasangan *SVC* meningkat menjadi  $V = 0,9052$  pu. Rugi-rugi daya aktif sebelum dilakukan pemasangan *SVC*  $P = 354,818$  kW dan  $Q = 169,936$  kVAR menjadi  $P = 273,469$  kW dan  $Q = 103,001$  kVAR.



Gambar 4.6 Hasil Simulasi Penempatan SVC pada Software ETAP

Gambar 4.6 menunjukkan tempat peletakan SVC pada pemodelan *single line* diagram pada *software ETAP* dimana setelah dilakukan simulasi pemasangan SVC dengan data  $Q = 1842$  kVAR pada *bus* 46 dan  $Q = 1476$  kVAR pada *bus* 74, maka diperoleh hasil yang sangat optimal apabila SVC dipasang pada *bus* 46 dengan kapasitas  $Q = 1842$  kVAR untuk mengatasi masalah jatuh tegangan yang berada pada Penyulang Pujon.

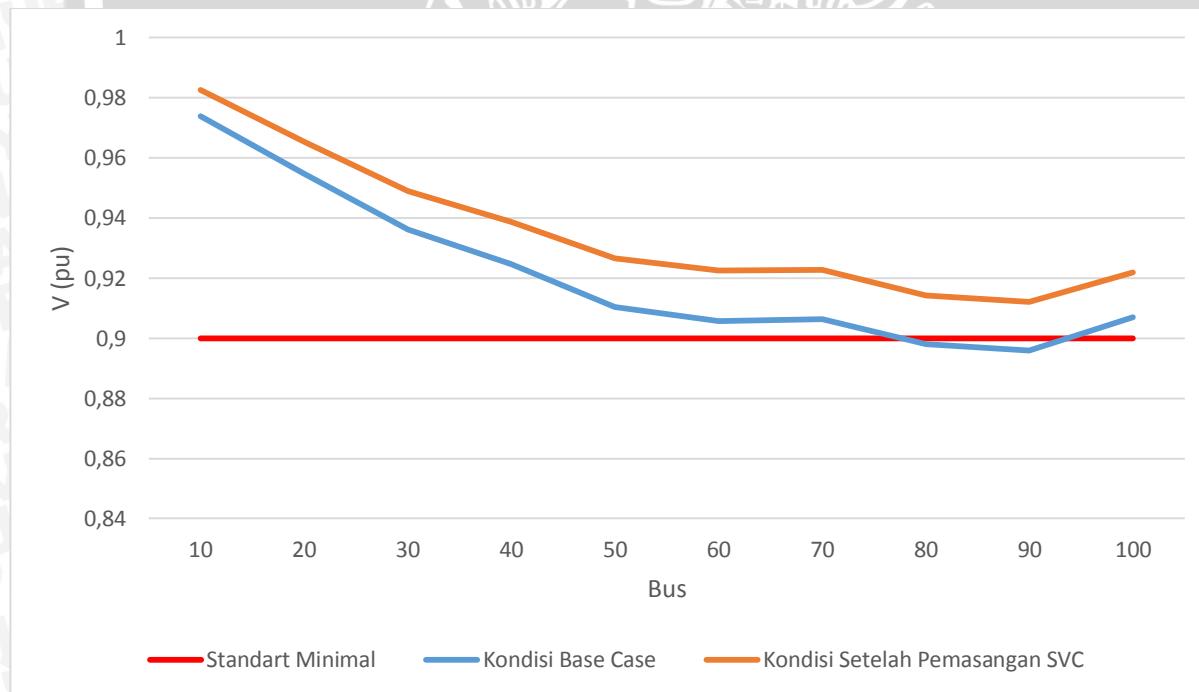
Tabel 4.6 Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC

Bus ID	Tegangan Kondisi Base Case		Tegangan Sesudah Pemasangan SVC	
	pu	kV	pu	kV
70	0,9022	18,044	0,9183	18,366
71	0,9008	18,016	0,9169	18,338
72	0,9008	18,016	0,9169	18,338
73	0,9007	18,014	0,9168	18,336
74	0,8983	17,966	0,9144	18,288
75	0,8980	17,960	0,9140	18,280
76	0,8968	17,936	0,9129	18,258
77	0,8968	17,936	0,9128	18,256
78	0,8965	17,930	0,9126	18,252
79	0,8963	17,926	0,9124	18,248
80	0,8961	17,922	0,9122	18,244
81	0,8959	17,918	0,9119	18,238
82	0,8957	17,914	0,9117	18,234
83	0,8966	17,932	0,9126	18,252
84	0,8966	17,932	0,9126	18,252
85	0,8964	17,928	0,9124	18,248
86	0,8964	17,928	0,9124	18,248
87	0,8962	17,924	0,9122	18,244
88	0,8957	17,914	0,9118	18,236
89	0,8952	17,904	0,9112	18,224
90	0,8952	17,904	0,9112	18,224
91	0,8952	17,904	0,9112	18,224
92	0,8951	17,902	0,9111	18,222
93	0,8947	17,894	0,9107	18,214

Bus ID	Tegangan Kondisi Base Case		Tegangan Sesudah Pemasangan SVC	
	pu	kV	pu	kV
94	0,8946	17,892	0,9106	18,212
95	0,8945	17,890	0,9105	18,210
96	0,8945	17,890	0,9105	18,210
97	0,8944	17,888	0,9104	18,208
98	0,8942	17,884	0,9102	18,204
99	0,8942	17,884	0,9102	18,204
100	0,9622	19,244	0,9722	19,444
101	0,9622	19,244	0,9722	19,444

■ : Kondisi kritis

Pada Tabel 4.6 Tegangan dibeberapa bus awalnya berada dalam kondisi kritis (dibawah standart minimal tegangan yang ditetapkan dalam penelitian ini yaitu 0,9 pu) mengalami kenaikan atau perbaikan setelah pemasangan SVC. Tegangan yang awalnya  $V = 0,8942$  pu naik menjadi  $V = 0,9102$  pu. Tabel 4.6 selengkapnya dapat dilihat dilampiran.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC

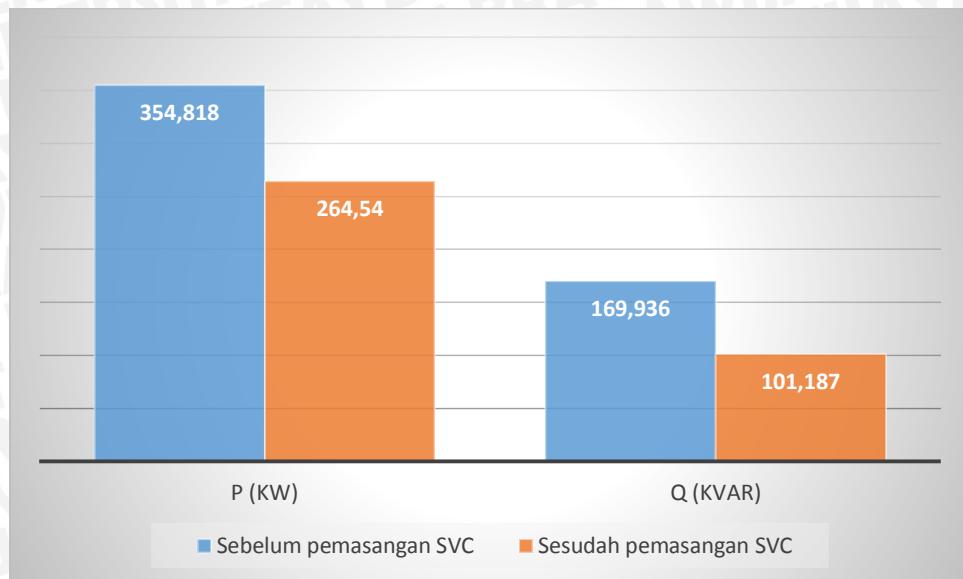
Pada Gambar 4.7 terlihat perbandingan sebelum pemasangan SVC dan sesudah pemasangan SVC. Setelah dipasang SVC, semua nilai tegangan meningkat. Bus-bus yang awalnya berada pada kondisinya kritis atau dibawah 0,9 pu (standart minimal tegangan yang

telah ditetapkan) meningkat. Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa pemasangan SVC sangat berpengaruh untuk mengatasi jatuh tegangan.

Tabel 4.7 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif dan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC

No	Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi-Rugi Daya Reaktif (kVar)	
	Dari	Ke	Tanpa SVC	Dengan SVC	Tanpa SVC	Dengan SVC
1	1	2	16,453	12,777	3,306	2,567
2	2	3	20,293	15,718	7,154	5,541
3	3	4	12,015	9,287	4,236	3,274
4	4	5	0	0	0	0
4	4	6	9,377	7,237	3,306	2,551
6	6	7	54,919	42,312	11,033	8,501
7	7	8	0,175	0,177	0,035	0,036
8	8	9	0,040	0,040	0,008	0,008
9	9	10	0,017	0,018	0,003	0,004
10	10	11	0,006	0,006	0,001	0,001
11	11	12	0	0	0	0
12	12	13	0	0	0	0
13	12	14	0	0	0	0
14	7	15	50,565	38,271	10,159	7,689
15	15	16	0,003	0,003	0,001	0,001
16	16	17	0	0	0	0
17	15	18	7,026	5,268	1,412	1,058
18	18	19	0	0	0	0
19	18	20	0	0	0	0
20	18	21	26,795	20,060	5,383	4,030

Setelah dilakukan pemasangan SVC terjadi penurunan rugi-rugi daya aktif maupun daya reaktif seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Perubahan besarnya aliran daya reaktif menghasilkan penurunan rugi-rugi saluran dari  $P = 354,818 \text{ kW}$  dan  $Q = 169,936 \text{ kVAR}$  menjadi  $P = 264,54 \text{ kW}$  dan  $Q = 101,187 \text{ kVAR}$ . Bus-bus yang nilai tegangan semula dibawah  $V = 18 \text{ kV}$  setelah dipasang SVC mengalami kenaikan di atas  $V = 18 \text{ kV}$ . Tabel 4.7 selengkapnya dapat dilihat dilampiran.



Gambar 4.8 Diagram Perbandingan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC

Pada gambar 4.8 menunjukkan terjadinya penurunan rugi rugi aktif sebesar  $P = 354,818 - 169,936 = 184,882$  kW dan penurunan daya reaktif sebesar  $Q = 264,54 - 101,187 = 163,353$  kVAR. Perubahan besarnya aliran daya reaktif juga berpengaruh pada nilai tegangan pada setiap bus.

Tabel 4.8 Perbandingan Daya Pembangkit dan Pembebanan Pada Sistem Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC

Kondisi	Pembangkitan		Pembebanan		Rugi-Rugi		% Rugi-Rugi	
	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)	P	Q
Sebelum Pemasangan SVC	3415,43	2530,00	3060,612	2360,064	354,818	169,936	10,39%	6,71%
Sesudah Pemasangan SVC	3324,72	2461,25	3060,180	2360,064	264,540	101,187	7,73%	4,11%

Pada tabel 4.8 terlihat perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan SVC. Terjadi perubahan terhadap daya pembangkitan menjadi lebih rendah setelah pemasangan SVC dikarenakan tegangan setelah pemasangan SVC lebih baik daripada sebelum pemasangan SVC dan dapat terlihat rugi-rugi daya pada saluran setelah pemasangan SVC menurun dimana apabila rugi-rugi daya turun maka nilai tegangan meningkat.



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan simulasi pemasangan *SVC* pada Penyalang Pujon Rayon Sengkaling, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pemasangan *SVC* pada bus-bus yang mengalami gangguan dapat menaikan profil tegangan diatas nilai tegangan standar yang tentukan.
- b. Penempatan dan kapasitas *SVC* yang tepat untuk memperbaiki profil tegangan yaitu pada bus 46 sebesar 1842 kVAR.
- c. Pemasangan *SVC* dapat mengurangi nilai rugi-rugi saluran dari  $P = 354,818$  kW dan  $Q = 169,936$  kVAR menjadi  $P = 264,54$  kW dan  $Q = 101,187$  kVAR. Perubahan besarnya aliran daya reaktif juga berpengaruh pada nilai tegangan pada setiap bus

#### 5.2 Saran

Berikut adalah beberapa hal yang perlu disarankan untuk keperluan penelitian dan pengembangan lebih lanjut sebagai berikut:

- a. Kajian selanjutnya bisa menggunakan model *SVC Thyristor Switched Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (TSC-TCR)*.
- b. Memperhitungkan aspek ekonomis pemasangan *SVC*.



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar , S., Suyono , H., & Soekotjo, H. (2012). Optimisasi Penempatan SVC untuk Memperbaiki Profil Tegangan dengan Menggunakan Algoritma Genetika. *Jurnal Elektro ELTEK*, 3(1), 203-208.
- Cekmas, C.(2007).*Sistem Tenaga Listrik*.Yogyakarta:Penerbit Andi
- Dinakaran, C., & Balasundaram, G. (2013). Optimum Location of Static Var Compensator (SVC). *Indian Journal of Research*, 2(8).
- Djiteng, M. (1990). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: Balai Penerbit & Humas.
- Erviana, M dkk. (2012). Optimasi Penempatan Dan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Sistem Distribusi Untuk Mereduksi Rugi Daya Menggunakan Particle Swarm Optimization. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Manju, P., & Subbiah, V. (2013). Static Var Compensator: Effect of Fuzzy Controller. *International Journal of Electrical Engineering*, 189-196.
- Padiyar, K. R. (2007). *Facts Controllers In Power Transmission And Distribution*. India: New Age International.
- Preethi, B., dan Sumangala, V. B. (2013). Implementation of Thyristor Switched Capacitor for Reactive Power Compensation at Secondary of Distribution Level Feeders for Voltage Stability Improvement. *International Journal of Engineering Research & Technologi (IJERT)*. Vol. 2.. Hal 322-329
- PT.PLN. (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Kompensasi Daya Reaktif Statik (SVC). Kebayoran Baru Jakarta Selatan.
- Sankran, C. (2002). *Power Quality*. New York: CRC PRESS.
- Stevenson, Jr., & William D. 1990. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan:Balai Penerbit & Humas.
- Sukmadjaja, Maula. 2008. Perhitungan Profil Tegangan Pada Sistem Distribusi Menggunakan Matrix Admitansi dan Matrix Impedansi Bus. *JETRI*, Volume 7, Nomor 2.
- Tanjung, Abrar. 2012. Analisa Sistem DIstribusi 20 kV untuk Memperbaiki Kinerja Sistem Distribusi Menggunakan Electrical Transient Analysis Program.Riau.
- Zhong, Q.C. (2012). Active Capacitors: Concept and Implementation. *International Electrical of Electronic engineering*.





UNIVERSITAS **BRAWIJAYA**



## LAMPIRAN



TABEL 4.1 DATA PANJANG SALURAN

No	Bus		Panjang (ms)
	Dari	Ke	
1	1	2	580,3
2	2	3	1432,6
3	3	4	863,9
4	4	5	85,4
5	4	6	683,3
6	6	7	2082,8
7	7	8	154,4
8	8	9	414,5
9	9	10	896,5
10	10	11	463,5
11	11	12	452,0
12	12	13	1424,5
13	12	14	1233,0
14	7	15	1244,8
15	15	16	90,5
16	16	17	20,4
17	15	18	338,0
18	18	19	182,2
19	18	20	402,8
20	18	21	304,3
21	21	22	293,7
22	21	23	1257,4
23	23	24	406,5
24	23	25	154,2
25	23	26	627,4
26	26	27	6,4
27	26	28	204,2
28	28	29	1145,0



No	Bus		Panjang (ms)
	Dari	Ke	
29	23	30	868,20
30	30	31	141,20
31	31	32	848,80
32	31	33	272,50
33	33	34	1127,05
34	34	35	102,20
35	34	36	496,35
36	36	37	282,50
37	37	38	294,50
38	31	39	943,30
39	39	40	302,31
40	39	41	648,11
41	41	42	105,90
42	39	43	40,50
43	43	44	1653,60
44	44	45	785,20
45	45	46	335,00
46	46	47	793,20
47	47	48	571,00
48	48	49	365,50
49	49	50	729,80
50	49	51	54,10
51	51	52	121,80
52	51	53	940,35
53	53	54	1715,30
54	54	55	1192,70
55	55	56	1123,50
56	56	57	1353,30
57	57	58	1067,10
58	56	59	396,50

No	Bus		Panjang (ms)
	Dari	Ke	
59	59	60	296,80
60	59	61	1093,40
61	61	62	1162,60
62	44	63	497,10
63	63	64	570,40
64	64	65	907,00
65	65	66	1769,80
66	63	67	135,20
67	67	68	821,60
68	67	69	110,15
69	69	70	891,30
70	70	71	603,20
71	71	72	27,30
72	72	73	233,10
73	72	74	258,70
74	74	75	198,10
75	75	76	1538,10
76	76	77	381,43
77	76	78	472,00
78	78	79	449,60
79	79	80	721,40
80	80	81	940,50
81	81	82	1428,30
82	75	83	322,10
83	83	84	186,40
84	83	85	98,50
85	85	86	243,90
86	85	87	205,30
87	87	88	590,30
88	88	89	856,60

No	Bus		Panjang (ms)
	Dari	Ke	
89	89	90	458,30
90	90	91	1162,20
91	89	92	207,40
92	92	93	1061,50
93	93	94	1321,52
94	93	95	385,10
95	95	96	478,30
96	95	97	332,60
97	97	98	1161,50
98	98	99	100,40
99	9	100	785,80
100	100	101	285,30

TABEL 4.2 HASIL PERHITUNGAN IMPEDANSI SALURAN

No	Bus		Panjang	Impedansi Saluran	
	Dari	Ke		R (ohm)	X (ohm)
1	1	2	580,3	0,1255	0,1918
2	2	3	1432,6	0,3097	0,4735
3	3	4	863,9	0,1868	0,2855
4	4	5	85,4	0,0185	0,0282
5	4	6	683,3	0,1477	0,2258
6	6	7	2082,8	0,4503	0,6884
7	7	8	154,4	0,0334	0,051
8	8	9	414,5	0,0896	0,137
9	9	10	896,5	0,1938	0,2963
10	10	11	463,5	0,1002	0,1532
11	11	12	452	0,0977	0,1494
12	12	13	1424,5	0,308	0,4708
13	12	14	1233	0,2666	0,4075
14	7	15	1244,8	0,2691	0,4114
15	15	16	90,5	0,0196	0,0299
16	16	17	20,4	0,0044	0,0067
17	15	18	338	0,0731	0,1117
18	18	19	182,2	0,049	0,0615
19	18	20	402,8	0,1083	0,136
20	18	21	304,3	0,0658	0,1006
21	21	22	293,7	0,079	0,0992
22	21	23	1257,4	0,2719	0,4156
23	23	24	406,5	0,0879	0,1344
24	23	25	154,2	0,0995	0,0567
25	23	26	627,4	0,5783	0,2378
26	26	27	6,4	0,0059	0,0024
27	26	28	204,2	0,1882	0,0774

No	Bus		Panjang	Impedansi Saluran	
	Dari	Ke		R (ohm)	X (ohm)
28	28	29	1145	1,0562	0,4343
29	23	30	868,2	0,1877	0,2869
30	30	31	141,2	0,0305	0,0467
31	31	32	848,8	0,1835	0,2805
32	31	33	272,5	0,1758	0,1002
33	33	34	1127,05	0,7272	0,4145
34	34	35	102,2	0,0659	0,0376
35	34	36	496,35	0,1073	0,164
36	36	37	282,5	0,0611	0,0934
37	37	38	294,5	0,0637	0,0973
38	31	39	943,3	0,039	0,3118
39	39	40	302,31	0,1951	0,1112
40	39	41	648,11	0,1185	0,1812
41	41	42	105,9	0,0229	0,035
42	39	43	40,5	0,0088	0,0134
43	43	44	1653,6	0,3575	0,5465
44	44	45	785,2	0,1698	0,2595
45	45	46	335	0,0726	0,111
46	46	47	793,2	0,1715	0,2622
47	47	48	571	0,1235	0,1887
48	48	49	365,5	0,079	0,1208
49	49	50	729,8	0,1578	0,2412
50	49	51	54,1	0,0117	0,0179
51	51	52	121,8	0,0263	0,0403
52	51	53	940,35	0,2033	0,3108
53	53	54	1715,3	0,7904	0,6127
54	54	55	1192,7	0,5496	0,426
55	55	56	1123,5	0,2429	0,3713
56	56	57	1353,3	0,2926	0,4473

No	Bus		Panjang	Impedansi Saluran	
	Dari	Ke		R (ohm)	X (ohm)
57	57	58	1067,1	0,2307	0,3527
58	56	59	396,5	0,0857	0,131
59	59	60	296,8	0,0642	0,0981
60	59	61	1093,4	0,2364	0,3614
61	61	62	1162,6	0,2514	0,3842
62	44	63	497,1	0,1075	0,1643
63	63	64	570,4	0,1233	0,1885
64	64	65	907	0,1961	0,2998
65	65	66	1769,8	0,3826	0,5849
66	63	67	135,2	0,0292	0,0447
67	67	68	821,6	0,1776	0,2715
68	67	69	110,15	0,0238	0,0364
69	69	70	891,3	0,927	0,2946
70	70	71	603,2	0,1304	0,1994
71	71	72	27,3	0,0059	0,0009
72	72	73	233,1	0,0504	0,077
73	72	74	258,7	0,0559	0,0855
74	74	75	198,1	0,0428	0,0655
75	75	76	1538,1	0,3325	0,5083
76	76	77	381,43	0,0895	0,1261
77	76	78	472	0,1021	0,156
78	78	79	449,6	0,0972	0,1486
79	79	80	721,4	0,156	0,2384
80	80	81	940,5	0,2033	0,3108
81	81	82	1428,3	0,3088	0,4721
82	75	83	322,1	0,0696	0,1065
83	83	84	186,4	0,0403	0,0616
84	83	85	98,5	0,0213	0,326
85	85	86	243,9	0,0527	0,0806

No	Bus		Panjang	Impedansi Saluran	
	Dari	Ke		R (ohm)	X (ohm)
86	85	87	205,3	0,0444	0,0679
87	87	88	590,3	0,1276	0,1951
88	88	89	856,6	0,1852	0,2831
89	89	90	458,3	0,0991	0,1515
90	90	91	1162,2	0,2513	0,3841
91	89	92	207,4	0,0448	0,0686
92	92	93	1061,5	0,225	0,3508
93	93	94	1321,5	0,8527	0,4861
94	93	95	385,1	0,2485	0,1416
95	95	96	478,3	0,3086	0,1759
96	95	97	332,6	0,2146	0,1223
97	97	98	1161,5	0,7494	0,4272
98	98	99	100,4	0,0217	0,0332
99	9	100	785,8	0,507	0,289
100	100	101	285,3	0,1841	0,1049

TABEL 4.4 HASIL PERHITUNGAN PEMBEBANAN

NO	GARDU	ALAMAT	DAYA TRAFO (KVA)	DAYA PENGK (KVA)	DAYA PENGUKURAN (%)
1	9	JL. Hasanudin	250	187	75
2	16	Songgoriti	200	116	58
3	19	JL.Raya Pujon	250	123	49
4	25	Jl. Trunojoyo	75	30	40
5	30	Ds. Songgoriti	160	0	0
6	31	JL. Sudiro	100	32	32
7	32	Jl. Indragiri	200	96	48
8	33	Ngroto pujon	250	151	60
9	36	Ds. Pandesari	100	60	60
10	46	Ds. Sumberejo	200	162	81
11	57	DK.Sebaluh	150	99	66
12	58	Dk. Pandemas	100	57	57
13	59	DK. MARON	160	90	56
14	60	DK. JURANGREJO	160	127	79
15	61	Dk. Ngroto	160	111	69
16	62	KOP SAE PUJON	200	15	8
17	63	Dk. Mantung	100	53	53
18	64	Dk. Lebaksari	100	52	52
19	65	Dk. Ngabab	160	124	78
20	66	Dk. Ngabab	100	60	60
21	76	Ds. Manting	100	22	22
22	77	Dk. Gerih	160	114	71
23	78	Ds.Sumberejo	160	109	68
24	79	Ds. Wiyurejo	250	166	66
25	80	Madiredo	150	79	53
26	87	Dk. Maron	100	21	21
27	88	Ds.Pujon kidul	100	24	24

NO	GARDU	ALAMAT	DAYA TRAFO (KVA)	DAYA PENGK (KVA)	DAYA PENGUKURAN (%)
28	89	Ds. Sukomulyo	160	129	80
29	94	Dk. Lebo	100	66	66
30	98	Dk. Kalangan	160	89	55
31	99	Jl. Flamboyan	100	51	51
32	101	Dk. Biyan	100	48	48
33	102	Dk. Bakir	160	106	67
34	103	Dk. Kedungrejo	100	35	35
35	104	Dk. Cukal	100	54	54
36	119	Sumberejo	150	82	55
37	123	JL. Ry. Pujon	150	92	61
38	124	Ds.Pujon Kidul	50	27	54
39	126	JL. Sudiro	150	111	74
40	129	JL. FLAMBOYAN	160	107	67
41	145	Dk. Watugong	160	107	67
42	147	Torong	50	18	36
43	153	Dk. Sebaluh	160	96	60
44	157	HOTEL ORCHID ( plgn khusus )	160	119	75
45	166	Dk. Trebes	50	28	56
46	167	Dk. Dadapan	50	14	28
47	168	Bukit Pinus	25	6	25
48	174	SONGORITI	200	135	68
49	175	SONGORITI	160	19	12
50	180	Kantor Pos Batu	160	49	31
51	189	Jl. Kasiman	160	75	47
52	195	Kop Sae Produksi	160	46	29
53	196	Dk. Bunder	50	21	42
54	197	Dk.Ngebrong	25	18	70
55	198	Pasar Baru - Pujon	200	113	56

NO	GARDU	ALAMAT	DAYA TRAFO (KVA)	DAYA PENGK (KVA)	DAYA PENGUKURAN (%)
56	200	Ds. Tambuh	50	33	67
57	201	Ds. Tambuh	25	2	7
58	202	Ds. Pandesari	100	76	76
59	204	Dk. Tulungrejo	50	11	21
60	206	Ds. Pandesari	200	0	0
61	212	Dk. Bon Bayi	50	18	37
62	213	Dk. Dadapan	100	48	48
63	216	Dk. Delik	160	105	65
64	217	Ds. Brau	50	16	33
65	218	Ds. Gunungsari	100	51	51
66	219	Ds. Manting	100	57	57
67	223	Dk. Sobo	50	34	68
68	236	Dk. Borah	25	6	25
69	245	HOTEL JAMBU LUWUK ( plgn khusus )	345	220	64
70	262	JL. HASANUDIN	100	38	38
71	265	Ds. Ngabab	100	64	64
72	266	Maron Pujon	100	58	58
73	287	PUJON VIEW ( Plnggn Khusus )	240	31	13
74	298	Jl. Ry. Pujon	100	20	20
75	304	RS. Paru-Paru ( Plnggn Khusus )	250	190	76
76	305	PR. Mekar Agung	100	6	6
77	318	Jl. Indragiri PR.Mutiara Resident ( Blkng Orcid)	100	2	2

NO	GARDU	ALAMAT	DAYA TRAFO (KVA)	DAYA PENGK (KVA)	DAYA PENGUKURAN (%)
78	324	Jl. Indragiri Sisipan ( 78 )	100	27	27
79	327	DS. Sumber Rejo Trafo Baru sisipan 46	50	0	0
80	334	Ds. Maron	100	49	49
81	340	WISATA COBAN RONDO	100	3	3
82	344	HOTEL ORCHID ( plgn khusus )	200	19	9
83	346	Jl. Wiyurejo Ngroto	160	76	48
Beban Total				5401	

TABEL 4.5 PROFIL TEGANGAN KONDISI BASE CASE

Bus ID	Tegangan Kondisi <i>Base Case</i>	
	pu	kV
1	0,9895	19,790
2	0,9858	19,716
3	0,9809	19,618
4	0,9779	19,558
5	0,9779	19,558
6	0,9756	19,512
7	0,9630	19,260
8	0,9625	19,250
9	0,9623	19,246
10	0,9622	19,244
11	0,9621	19,242
12	0,9621	19,242
13	0,9621	19,242
14	0,9621	19,242
15	0,9505	19,010
16	0,9505	19,010
17	0,9505	19,010
18	0,9487	18,974
19	0,9487	18,974
20	0,9487	18,974
21	0,9418	18,836
22	0,9417	18,834
23	0,9354	18,708
24	0,9353	18,706
25	0,9353	18,706
26	0,9353	18,706
27	0,9353	18,706
28	0,9352	18,704

Bus ID	Tegangan Kondisi <i>Base Case</i>	
	pu	kV
29	0,9350	18,700
30	0,9316	18,632
31	0,9266	18,532
32	0,9266	18,532
33	0,9262	18,524
34	0,9260	18,520
35	0,9259	18,518
36	0,9259	18,518
37	0,9258	18,516
38	0,9258	18,516
39	0,9188	18,376
40	0,9188	18,376
41	0,9186	18,372
42	0,9186	18,372
43	0,9148	18,296
44	0,9087	18,174
45	0,9081	18,162
46	0,9078	18,156
47	0,9073	18,146
48	0,9071	18,142
49	0,9065	18,130
50	0,9065	18,130
51	0,9060	18,120
52	0,9060	18,120
53	0,9057	18,114
54	0,9055	18,110
55	0,9053	18,106
63	0,9073	18,146
64	0,9072	18,144

Bus ID	Tegangan Kondisi <i>Base Case</i>	
	pu	kV
65	0,9070	18,140
66	0,9070	18,140
67	0,9070	18,140
68	0,9070	18,140
69	0,9067	18,134
70	0,9022	18,044
71	0,9008	18,016
72	0,9008	18,016
73	0,9007	18,014
74	0,8983	17,966
75	0,8980	17,960
76	0,8968	17,936
77	0,8968	17,936
78	0,8965	17,930
79	0,8963	17,926
80	0,8961	17,922
81	0,8959	17,918
82	0,8957	17,914
83	0,8966	17,932
84	0,8966	17,932
85	0,8964	17,928
86	0,8964	17,928
87	0,8962	17,924
88	0,8957	17,914
89	0,8952	17,904
90	0,8952	17,904
91	0,8952	17,904
92	0,8951	17,902
93	0,8947	17,894

Bus ID	Tegangan Kondisi <i>Base Case</i>	
	pu	kV
94	0,8946	17,892
95	0,8945	17,890
96	0,8945	17,890
97	0,8944	17,888
98	0,8942	17,884
99	0,8942	17,884
100	0,9622	19,244
101	0,9622	19,244



**TABEL 4.6 PERBANDINGAN PROFIL TEGANGAN SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN SVC**

Bus ID	Tegangan Kondisi Base Case		Tegangan Sesudah Pemasangan SVC	
	pu	kV	pu	kV
1	0,9895	19,790	0,9965	19,930
2	0,9858	19,716	0,9932	19,864
3	0,9809	19,618	0,9890	19,780
4	0,9779	19,558	0,9864	19,728
5	0,9779	19,558	0,9864	19,728
6	0,9756	19,512	0,9844	19,688
7	0,9630	19,260	0,9730	19,460
8	0,9625	19,250	0,9725	19,450
9	0,9623	19,246	0,9723	19,446
10	0,9622	19,244	0,9722	19,444
11	0,9621	19,242	0,9721	19,442
12	0,9621	19,242	0,9721	19,442
13	0,9621	19,242	0,9721	19,442
14	0,9621	19,242	0,9721	19,442
15	0,9505	19,010	0,9617	19,234
16	0,9505	19,010	0,9617	19,234
17	0,9505	19,010	0,9617	19,234
18	0,9487	18,974	0,9601	19,202
19	0,9487	18,974	0,9601	19,202
20	0,9487	18,974	0,9601	19,202
21	0,9418	18,836	0,9539	19,078
22	0,9417	18,834	0,9538	19,076
23	0,9354	18,708	0,9482	18,964
24	0,9353	18,706	0,9481	18,962
25	0,9353	18,706	0,9480	18,960
26	0,9353	18,706	0,9480	18,960
27	0,9353	18,706	0,9480	18,960

Bus ID	Tegangan Kondisi Base Case		Tegangan Sesudah Pemasangan SVC	
	pu	kV	pu	kV
28	0,9352	18,704	0,9480	18,960
29	0,9350	18,700	0,9478	18,956
30	0,9316	18,632	0,9448	18,896
31	0,9266	18,532	0,9404	18,808
32	0,9266	18,532	0,9404	18,808
33	0,9262	18,524	0,9401	18,802
34	0,9260	18,520	0,9398	18,796
35	0,9259	18,518	0,9398	18,796
36	0,9259	18,518	0,9397	18,794
37	0,9258	18,516	0,9397	18,794
38	0,9258	18,516	0,9396	18,792
39	0,9188	18,376	0,9336	18,672
40	0,9188	18,376	0,9336	18,672
41	0,9186	18,372	0,9335	18,670
42	0,9186	18,372	0,9335	18,670
43	0,9148	18,296	0,9302	18,604
44	0,9087	18,174	0,9250	18,500
45	0,9081	18,162	0,9248	18,496
46	0,9078	18,156	0,9247	18,494
47	0,9073	18,146	0,9242	18,484
48	0,9071	18,142	0,9240	18,480
49	0,9065	18,130	0,9234	18,468
50	0,9065	18,130	0,9233	18,466
51	0,9060	18,120	0,9229	18,458
52	0,9060	18,120	0,9229	18,458
53	0,9057	18,114	0,9225	18,450
54	0,9055	18,110	0,9224	18,448
55	0,9053	18,106	0,9222	18,444
63	0,9073	18,146	0,9236	18,472

Bus ID	Tegangan Kondisi Base Case		Tegangan Sesudah Pemasangan SVC	
	pu	kV	pu	kV
64	0,9072	18,144	0,9234	18,468
65	0,9070	18,140	0,9232	18,464
66	0,9070	18,140	0,9232	18,464
67	0,9070	18,140	0,9232	18,464
68	0,9070	18,140	0,9232	18,464
69	0,9067	18,134	0,9229	18,458
70	0,9022	18,044	0,9183	18,366
71	0,9008	18,016	0,9169	18,338
72	0,9008	18,016	0,9169	18,338
73	0,9007	18,014	0,9168	18,336
74	0,8983	17,966	0,9144	18,288
75	0,8980	17,960	0,9140	18,280
76	0,8968	17,936	0,9129	18,258
77	0,8968	17,936	0,9128	18,256
78	0,8965	17,93	0,9126	18,252
79	0,8963	17,926	0,9124	18,248
80	0,8961	17,922	0,9122	18,244
81	0,8959	17,918	0,9119	18,238
82	0,8957	17,914	0,9117	18,234
83	0,8966	17,932	0,9126	18,252
84	0,8966	17,932	0,9126	18,252
85	0,8964	17,928	0,9124	18,248
86	0,8964	17,928	0,9124	18,248
87	0,8962	17,924	0,9122	18,244
88	0,8957	17,914	0,9118	18,236
89	0,8952	17,904	0,9112	18,224
90	0,8952	17,904	0,9112	18,224
91	0,8952	17,904	0,9112	18,224
92	0,8951	17,902	0,9111	18,222



Bus ID	Tegangan Kondisi Base Case		Tegangan Sesudah Pemasangan SVC	
	pu	kV	pu	kV
93	0,8947	17,894	0,9107	18,214
94	0,8946	17,892	0,9106	18,212
95	0,8945	17,890	0,9105	18,210
96	0,8945	17,890	0,9105	18,210
97	0,8944	17,888	0,9104	18,208
98	0,8942	17,884	0,9102	18,204
99	0,8942	17,884	0,9102	18,204
100	0,9622	19,244	0,9722	19,444
101	0,9622	19,244	0,9722	19,444



**TABEL 4.7 PERBANDINGAN RUGI-RUGI DAYA AKTIF DAN DAYA REAKTIF  
SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN SVC**

No	Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi-Rugi Daya Reaktif (kVar)	
	Dari	Ke	Tanpa SVC	Dengan SVC	Tanpa SVC	Dengan SVC
1	1	2	16,453	11,389	3,306	2,288
2	2	3	20,293	14,013	7,154	4,940
3	3	4	12,015	8,282	4,236	2,920
4	4	5	0	0	0	0
4	4	6	9,377	6,455	3,306	2,276
6	6	7	54,919	37,748	11,033	7,584
7	7	8	0,175	0,178	0,035	0,036
8	8	9	0,040	0,041	0,008	0,008
9	9	10	0,017	0,018	0,003	0,004
10	10	11	0,006	0,006	0,001	0,001
11	11	12	0	0	0	0
12	12	13	0	0	0	0
13	12	14	0	0	0	0
14	7	15	50,565	34,295	10,159	6,890
15	15	16	0,003	0,003	0,001	0,001
16	16	17	0	0	0	0
17	15	18	7,026	4,737	1,412	0,952
18	18	19	0	0	0	0
19	18	20	0	0	0	0
20	18	21	26,795	18,052	5,383	3,627
21	21	22	0,012	0,012	0,002	0,002
22	21	23	23,620	15,835	4,745	3,181
23	23	24	0,021	0,021	0,004	0,004
24	23	25	0,016	0,016	0,003	0,003
25	23	26	0,034	0,034	0,007	0,007
26	26	27	0	0	0	0
27	26	28	0,011	0,011	0,002	0,002
28	28	29	0,020	0,021	0,004	0,004

No	Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi-Rugi Daya Reaktif (kVar)	
	Dari	Ke	Tanpa SVC	Dengan SVC	Tanpa SVC	Dengan SVC
29	23	30	12,280	8,208	2,467	1,649
30	30	31	15,927	10,649	3,200	2,139
31	31	32	0	0	0	0
32	31	33	0,083	0,085	0,017	0,017
33	33	34	0,056	0,057	0,011	0,012
34	34	35	0,001	0,001	0	0
35	34	36	0,012	0,012	0,002	0,002
36	36	37	0,002	0,002	0	0
37	37	38	0,002	0,002	0	0
38	31	39	23,439	15,778	4,709	3,170
39	39	40	0	0	0	0
40	39	41	0,022	0,023	0,004	0,005
41	41	42	0	0	0	0
42	43	39	11,197	7,621	2,250	1,531
43	43	44	16,321	11,242	3,279	2,259
44	44	45	0,430	3,082	0,086	0,619
45	45	46	0,130	1,371	0,026	0,275
46	46	47	0,205	0,211	0,041	0,042
47	47	48	0,092	0,095	0,018	0,019
48	48	49	0,193	0,199	0,039	0,040
49	49	50	0	0	0	0
50	49	51	0,139	0,143	0,028	0,029
51	51	52	0	0	0	0
52	51	53	0,105	0,109	0,021	0,022
53	53	54	0,021	0,022	0,010	0,010
54	54	55	0,019	0,019	0,004	0,004
55	63	44	2,869	2,961	0,576	0,595
56	63	64	0,034	0,035	0,007	0,007
57	64	65	0,028	0,029	0,006	0,006
58	65	66	0,001	0,001	0	0

No	Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi-Rugi Daya Reaktif (kVar)	
	Dari	Ke	Tanpa SVC	Dengan SVC	Tanpa SVC	Dengan SVC
59	67	63	0,630	0,651	0,127	0,131
60	67	68	0	0	0	0
61	69	67	0,503	0,520	0,101	0,104
62	69	70	8,076	8,339	1,622	1,675
63	70	71	2,270	2,343	0,456	0,471
64	72	71	0,088	0,091	0,018	0,018
65	72	73	0,004	0,004	0,001	0,001
66	74	72	3,470	3,589	0,697	0,721
67	74	75	0,475	0,491	0,095	0,099
68	75	76	0,644	0,666	0,129	0,134
69	76	77	0,004	0,004	0,001	0,001
70	76	78	0,139	0,144	0,028	0,029
71	78	79	0,052	0,054	0,010	0,011
72	79	80	0,044	0,045	0,009	0,009
73	80	81	0,040	0,042	0,008	0,008
74	81	82	0,024	0,025	0,005	0,005
75	83	75	1,073	1,109	0,216	0,223
76	84	83	0,001	0,001	0	0
77	85	83	0,142	0,147	0,029	0,030
78	85	86	0	0	0	0
79	87	85	0,141	0,146	0,028	0,029
80	87	88	0,245	0,254	0,049	0,051
81	89	88	0,221	0,229	0,044	0,046
82	89	90	0,003	0,003	0,001	0,001
83	90	91	0,001	0,001	0	0
84	92	89	0,038	0,039	0,008	0,008
85	93	92	0,140	0,145	0,028	0,029
86	93	94	0,001	0,001	0	0
87	95	93	0,044	0,046	0,009	0,009
88	95	96	0,003	0,003	0,001	0,001

No	Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi-Rugi Daya Reaktif (kVar)	
	Dari	Ke	Tanpa SVC	Dengan SVC	Tanpa SVC	Dengan SVC
89	97	95	0,023	0,024	0,005	0,005
90	97	98	0,023	0,024	0,005	0,005
91	98	99	0	0	0	0
92	9	100	0,023	0,023	0,005	0,005
93	100	101	0,001	0,001	0,001	0,001
94	24	Bus17	2,018	2,074	5,732	5,890
95	43	Bus32	0,788	0,814	0,951	0,983
96	71	Bus52	0,728	0,754	1,028	1,065
97	25	Bus18	0,600	0,617	0,858	0,881
98	87	Bus63	1,312	1,360	2,946	3,052
99	69	Bus50	0,467	0,484	0,858	0,889
100	6	Bus6	0,115	0,117	0,062	0,063
101	22	Bus16	1,740	1,785	2,663	2,732
102	45	Bus33	0,725	0,752	0,801	0,831
103	64	Bus46	0,257	0,266	0,157	0,163
104	47	Bus35	0,577	0,599	0,677	0,702
105	65	Bus47	1,447	1,499	2,953	3,059
106	88	Bus64	0,951	0,986	1,164	1,206
107	86	Bus62	0,015	0,015	0,029	0,030
108	92	Bus67	0,244	0,253	0,178	0,185
109	90	Bus65	0,208	0,216	0,127	0,132
110	97	Bus70	0,887	0,919	1,856	1,923
111	98	Bus71	0,421	0,437	0,451	0,468
112	8	Bus7	0,489	0,499	0,523	0,534
113	100	Bus73	0,108	0,110	0,162	0,165
114	101	Bus74	1,160	1,184	1,972	2,014
115	29	Bus21	1,041	1,070	2,160	2,219
116	78	Bus56	1,565	1,621	3,274	3,392
117	79	Bus57	0,383	0,396	0,306	0,317
118	48	Bus36	0,050	0,052	0,055	0,057

No	Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi-Rugi Daya Reaktif (kVar)	
	Dari	Ke	Tanpa SVC	Dengan SVC	Tanpa SVC	Dengan SVC
119	52	Bus38	0,044	0,045	0,025	0,026
120	53	Bus39	1,317	1,367	2,308	2,394
121	81	Bus59	0,431	0,446	0,396	0,410
122	11	Bus8	0,763	0,779	1,208	1,233
123	77	Bus55	0,555	0,575	0,660	0,684
124	54	Bus40	0,170	0,177	0,096	0,099
125	55	Bus15	0,844	0,875	1,177	1,221
126	28	Bus20	0,920	0,945	1,380	1,418
127	74	Bus54	0,784	0,813	1,401	1,451
128	33	Bus24	0,199	0,205	0,372	0,383
129	70	Bus51	0,664	0,688	0,530	0,550
130	91	Bus66	0,042	0,044	0,021	0,022
131	46	Bus34	0,700	0,727	0,989	1,026
132	16	Bus11	0,794	0,813	0,513	0,525
133	40	Bus29	0,005	0,005	0,001	0,001
134	41	Bus30	1,171	1,209	1,872	1,933
135	42	Bus31	0,009	0,010	0,003	0,003
136	2	Bus4	0,178	0,181	0,157	0,160
137	84	Bus61	0,087	0,090	0,043	0,044
138	94	Bus68	0,034	0,036	0,009	0,010
139	10	Bus2	0,196	0,200	0,473	0,483
140	73	Bus53	0,647	0,670	0,604	0,626
141	38	Bus28	0,028	0,029	0,001	0,001
142	50	Bus37	0,025	0,026	0,023	0,024
143	68	Bus49	0,026	0,027	0,007	0,007
144	82	Bus60	0,873	0,904	1,143	1,185
145	66	Bus48	0,018	0,019	0,004	0,004
146	99	Bus72	0,293	0,304	0,229	0,238
147	80	Bus58	0,090	0,093	0,025	0,025
148	3	Bus3	0,195	0,198	0,232	0,236



No	Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi-Rugi Daya Reaktif (kVar)	
	Dari	Ke	Tanpa SVC	Dengan SVC	Tanpa SVC	Dengan SVC
149	96	Bus69	0,159	0,165	0,043	0,045
150	35	Bus25	0,394	0,406	0,449	0,463
151	17	Bus12	0,061	0,063	0,144	0,147
152	30	Bus22	0,026	0,027	0,012	0,012
153	32	Bus23	0,003	0,003	0,002	0,002
154	19	Bus13	0,001	0,001	0,001	0,001
155	5	Bus5	0,076	0,077	0,056	0,057
156	36	Bus26	0,064	0,066	0,011	0,011
157	37	Bus27	0	0	0	0
158	20	Bus14	0,024	0,025	0,032	0,033
Jumlah Total			354,818	264,540	169,936	101,187

