

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



**ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF  
DENGAN METODE *NETWORK EQUIVALENS-EXPERT*  
SYSTEM PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV SUB - SISTEM  
PAITON - BALI**

**SKRIPSI**

*Disusun oleh;*  
**NUR WIDIARTO**  
00.12.127

**SEPTEMBER 2006**



SECTION - 1000

SECTION  
1000 - 1000  
SECTION - 1000

SECTION - 1000

SECTION - 1000

SECTION 1000 - 1000  
SECTION 1000 - 1000  
SECTION 1000 - 1000  
SECTION 1000 - 1000

SECTION 1000 - 1000  
SECTION 1000 - 1000  
SECTION 1000 - 1000  
SECTION 1000 - 1000

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF  
DENGAN METODE *NETWORK EQUIVALENS-EXPERT SYSTEM*  
PADA SALURAN TRANSMISI 150KV SUB - SISTEM  
PAITON - BALI**

**SKRIPSI**

*Disusun Guna Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat  
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

**NUR WIDIARTO  
NIM. 00.12.127**



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Ir.F Yudi Limpraptono, MT**  
NIP.Y.103 950 0274

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing

**Ir.Teguh Herbasuki,MT**  
NIP.Y.103 890 0209

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

## ABSTRAKSI

### ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF DENGAN METODE *NETWORK EQUIVALENS – EXPERT SYSTEM* PADA SALURAN TRANSMISI 150KV SUB - SISTEM PAITON - BALI

(Nur Widiarto, Nim. 00.12127, Teknik Elektro Energi Listrik S-1)  
(Dosen Pembimbing : Ir.Teguh Herbasuki,MT.)

**Kata Kunci:** voltage-reactive power control by network equivalens, expert system,sensitivity matrix.

Adanya persoalan dalam menghadapi kebutuhan daya listrik yang tidak tetap dari waktu ke waktu, sehingga menimbulkan permasalahan yaitu bagaimana mengoperasikan suatu sistem tenaga listrik yang selalu dapat memenuhi permintaan daya pada setiap saat dengan kualitas baik. Oleh karena itu perlu adanya suatu kontrol tegangan/daya reaktif pada suatu sistem tenaga listrik sehingga daya yang dibangkitkan cukup untuk memasok beban ditambah rugi-rugi daya pada saluran transmisi.

Skripsi ini menganalisa kontrol tegangan/daya reaktif dengan metode Network equivqlens-expert system. Hasil dari analisa tersebut nantinya dapat digunakan sebagai salah satu acuan dalam perbaikan tegangan, terutama mengenai konsultasi pengaturan kontrol tegangan/daya reaktif. Input dari program ini adalah data pembangkitan /pembebanan dan data saluran transmisi 150 kV sub system Paiton-Bali, sedangkan hasil akhir dari program ini yaitu hasil perhitungan aliran daya, tegangan, sudut fasa tiap-tiap bus dan total rugi-rugi pada saluran transmisi.

Analisa dilakukan dengan bantuan program komputer dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi versi 7.0 dan telah sukses dicoba pada Sub sistem 150 kV Paiton-Bali yang terdiri dari 26 bus, dimana telah berhasil mengatasi pelanggaran tegangan pada batas yang diijinkan yaitu  $(0,95pu \leq V \leq 1,05)$

## **KATA PENGANTAR**

Dengan rahmat Allah SWT, dan mengucapkan syukur kehadirat-Nya atas karunia yang dilimpahkan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul

**“ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF DENGAN METODE *NETWORK EQUIVALENS – EXPERT SYSTEM* PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV SUB SISTEM PAITON-BALI“.**

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang dalam menempuh sekaligus mengakhiri pendidikan pada jenjang S-1 pada Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu saran dan kritik membangun sangat saya harapkan.

Atas segala bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusun skripsi ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada;

1. TUHAN Yang Maha Esa. atas Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga terselesaikannya skripsi ini dengan lancar.
2. Bapak Prof.Dr. Ir.Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
3. Bapak Ir. F Yudi Limpraptono, MT, selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro ITN Malang.
4. Bapak Ir. Teguh Herbasuki,MT selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen jurusan Teknik Elektro Energi Listrik.
6. Bapak dan Ibuku, juga keluargaku yang selalu mendoakan dan mencurahkan segenap kasih sayang serta dukungan finansialnya.

7. Teman-teman di jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang, khususnya angkatan 2000, serta anak-anak di kontrakan lama dan baru.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya saya mengharapkan skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi rekan mahasiswa khususnya Jurusan Teknik Elektro.

Malang, September 2006

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Metodologi .....	3
1.6. Sistematika Pembahasan .....	4
1.7. Relevansi .....	5
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	6
2.1. Sistem Tenaga Listrik .....	6
2.2. Saluran Transmisi .....	6
2.3. Konstanta Pada Saluran Transmisi.....	7
2.3.1. Resistansi .....	7

2.3.2.	Induktansi .....	8
2.3.3.	Kapasitansi .....	8
2.4.	Tegangan Transmisi .....	8
2.5.	Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik .....	9
2.6.	Sistem Per-Unit .....	10
2.6.1.	Mengubah Dasar Sistem Per-Unit.....	11
2.7.	Daya Reaktif.....	12
2.8.	Pengaruh Daya Reaktif Terhadap Tegangan.....	13
2.9.	Pengaturan Tegangan dan Daya Reaktif.....	15
2.9.1.	Pengaturan Eksitasi Generator .....	15
2.9.2.	Pengaturan Dengan Peralatan Kompensasi Daya Reaktif .....	16
2.9.2.1.	Kapasitor Shunt .....	17
2.9.2.2.	Reaktor Shunt.....	18
<b>BAB III PERANCANGAN PROGRAM SIMULASI .....</b>		<b>21</b>
3.1.	Analisa Aliran Daya .....	22
3.1.1.	Analisa Aliran Daya Dengan Metode Newton-Rhapson .....	22
3.1.2.	Klasifikasi Bus .....	27
3.2.	Sensitivitas .....	29
3.2.1.	Klasifikasi Variabel Sistem-sistem Tenaga Listrik.....	29
3.2.2.	Matrik Jacobian Dan Sensitivitas.....	31
3.2.3.	Analisa Sensitivitas .....	33
3.3.	Teori Dasar Pengaturan Tegangan Dan Daya Reaktif Dengan Menggunakan Metode Network Equivalens - Expert System .....	36



3.4.	Perumusan Kontrol Tegangan Dan Daya Reaktif Dengan Menggunakan Metode Network Equivalens - Expert System .....	36
3.4.1.	Metode Pohon Sensitivitas.....	26
3.4.2.	Jaringan Equivalen Keadaan Tetap.....	39
3.4.3.	Expert System (sistim Pakar) .....	42
3.4.3.1.	DataBase dan Dasar Pengetahuan .....	42
3.4.3.2.	Mesin Inferensi.....	43
<b>BAB IV</b>	<b>SIMULASI DAN ANALISA .....</b>	<b>40</b>
4.1.	Program Komputer Kontrol Daya Reaktif Dan Tegangan Menggunakan Metode Network Equivalens - Expert System .....	45
4.1.1.	Algoritma Program .....	45
4.1.2.	<i>Flowchart</i> Program .....	48
4.2.	Diagram Segaris Dan Penomoran Bus Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sub Sistem Paiton-Bali .....	51
4.3.	Data Pembangkitan dan Pembebanan 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali .....	53
4.4.	Data Saluran Transmisi 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali .....	55
4.5.	Prosedur Pelaksanaan Program Perhitungan .....	57
4.6.	Analisa Data dan Hasil Perhitungan Optimasi Daya Reaktif Menggunakan Metode Network Equivalens - Expert System Pada Saluran Transmisi 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali .....	63
4.6.1.	Hasil Perhitungan Sebelum Konsultasi .....	63
4.6.2.	Hasil Perhitungan Matrik Sensitivitas .....	65
4.6.3.	Hasil Perhitungan Setelah Konsultasi .....	66

4.7.	Perbandingan Hasil Perhitungan Sebelum dan Setelah Konsultasi Daya Reaktif Menggunakan Network Equivalens - Expert System.....	62
4.7.1.	Perbandingan Tingkat Tegangan dan Sudut Tegangan Pada Tiap Bus .....	67
4.7.2.	Perbandingan Pembangkitan Daya Aktif Dan Reaktif Sebelum Dan Sesudah Konsultasi Pada Setiap Bus .....	69
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1.	Kesimpulan .....	71
5.2.	Saran.....	72

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Rangkaian Ekuivalen Saluran Transmisi .....	6
Gambar 2.2.	Representasi Segitiga Daya.....	8
Gambar 2.3.	Aliran Daya Melalui Saluran Pendek.....	13
Gambar 2.4.	Perubahan Tegangan Sebagai Fungsi Aliran Daya Reaktif .....	14
Gambar 2.5.	Eksitasi Generator .....	16
Gambar 2.6.	Kapasitor Pada Simpul Beban.....	17
Gambar 2.7.	Rangkaian Ekuivalen Pemasangan Kapasitor Dalam Bentuk Thevenin ...	17
Gambar 2.8.	Diagram Kapasitor Sebelum Dihubungkan Dengan Saklar Tertutup.....	18
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian-Penelitian Mengenai Pengontrolan Tegangan dan VAR .....	37
Gambar 3.2.	Pohon Sensitivitas Untuk Pengontrolan Tegangan.....	39
Gambar 4.1.	<i>Flowchart</i> Perhitungan Aliran Daya Metode <i>Newton Rapshon</i> .....	48
Gambar 4.2.	<i>Flowchart</i> Perhitungan Faktor Sensitivitas.....	49
Gambar 4.3.	<i>Flowchart</i> Perhitungan Kontrol Tegangan/Daya Reaktif Dengan Metode Network Equivalens - Expert System.....	50
Gambar 4.4.	Diagram Segaris Jaringan Sistem Transmisi Listrik 150 kV Paiton-Bali .....	51
Gambar 4.5.	Tampilan Utama Program.....	57
Gambar 4.6.	Tampilan Masukan Data .....	57
Gambar 4.7.	Tampilan Data Bus.....	58

Gambar 4.8. Tampilan Data Saluran .....	58
Gambar 4.9. Tampilan Data Pembebanan .....	59
Gambar 4.10. Tampilan Limit Alat Kontrol .....	59
Gambar 4.11. Tampilan Kondisi Awal (Sebelum Konsultasi) .....	60
Gambar 4.12. Tampilan <i>Expert System</i> (Sebelum dan Sesudah Konsultasi).....	60
Gambar 4.13. Tampilan Sensitivitas .....	61
Gambar 4.14. Tampilan Hasil <i>Load flow</i> (Sebelum Konsultasi) .....	61
Gambar 4.15. Tampilan Hasil <i>Load flow</i> (Setelah Konsultasi) .....	62
Gambar 4.16. Tampilan Hasil Akhir dari Konsultasi Program <i>Expert System</i> .....	62

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1.	Penomoran Bus 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali.....	52
Tabel 4.2.	Data Pembangkitan dan Pembebanan 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali .....	54
Tabel 4.3.	Data Saluran Transmisi 150 kV sub Sistem Paiton dan Bali .....	56
Tabel 4.4.	Hasil Perhitungan Tegangan, Sudut Tegangan, Pembangkitan dan Pembebanan Sebelum Konsultasi .....	63
Tabel 4.5.	Total Pembangkitan, Pembebanan dan Rugi-rugi Saluran Sebelum Konsultasi .....	64
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan Matrik Sensitivitas .....	65
Tabel 4.7.	Hasil Perhitungan Tegangan, Sudut Tegangan, Pembangkitan dan Pembebanan Setelah Konsultasi .....	66
Tabel 4.8.	Total Pembangkitan, Pembebanan dan Rugi-rugi Saluran Setelah Konsultasi .....	67
Tabel 4.9.	Perbandingan Tingkat Tegangan dan Sudut Tegangan Pada Tiap Bus .....	68
Tabel 4.10.	Perbandingan Pembangkitan Daya Aktif DanReaktif Sebelun dan Setelah Konsultasi Pada Tiap Bus .....	69

## **DAFTAR GRAFIK**

<b>Grafik 4.1. Besar Tegangan Pada Tiap Simpul pada Kondisi Sebelum Konsultasi</b>	
<b>Dengan Expert System</b>	<b>64</b>
<b>Grafik 4.2. Besar Tegangan Pada Tiap Simpul pada Kondisi Setelah Konsultasi</b>	
<b>Dengan Expert System</b>	<b>67</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari – hari energi listrik memegang peranan yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan manusia. Untuk itu dalam penyediaan tenaga listrik perlu adanya suatu perencanaan operasi sistem tenaga listrik yang efisien dan handal untuk meminimalisasi rugi – rugi daya dan agar profil tegangan tetap terjaga. Dan variabel yang terkait langsung adalah pengaturan tegangan dan pengaturan daya reaktif. Untuk mendapatkan tegangan yang sesuai dengan batas – batas yang diinginkan sistem daya di lengkapi dengan banyak alat pengontrol tegangan seperti generator, trafo pengubah tap, kapasitor / reactor shunt, kondenser sinkron, dan static var kompensator. Baik pada beban yang bervariasi atau perubahan konfigurasi pada jaringan, kontrol *real time* dengan alat pengontrol sangat dibutuhkan untuk mengurangi permasalahan yang disebabkan oleh gangguan. Sasaran yang utama dari pengontrolan daya reaktif adalah

1. Untuk meningkatkan profil tegangan.
2. Untuk meminimalisasi rugi – rugi sistem.

Pada metode *Network equivalents – Expert system* menyajikan sebuah aplikasi jaringan ekuivalen keadaan tetap dan sistem pakar untuk pengontrolan tegangan dan daya reaktif (VAR) dalam sistem daya skala besar. Teknik penyamaan jaringan keadaan tetap digunakan untuk menyusun subsistem “tiga tingkatan” yang mampu untuk memecahkan masalah kerusakan tegangan. Sebuah

sistem pakar menggunakan metode pohon sensitivitas untuk memilih tetapan tindakan kontrol yang optimal agar dapat mengurangi masalah tegangan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Variasi tegangan yang besar pada bus akibat dari variasi pembebanan daya yang besar menyebabkan perubahan aliran daya pada tiap saluran. Dan perubahan aliran daya yang besar akan menimbulkan rugi-rugi daya yang besar pula. Untuk itu perlu adanya pengaturan tegangan dan daya reaktif pada saluran untuk menjaga kestabilan pelayanan sistem tenaga listrik. Mengingat pentingnya kestabilan pelayanan sistem tenaga listrik tersebut maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengatasi perubahan tegangan dan daya reaktif pada sistem tenaga listrik agar tegangan tetap stabil pada harga yang ditentukan ?
2. Bagaimana peranan *Network Equivalens – Expert System* untuk mengatur tegangan dan daya reaktif pada saluran transmisi 150 kV Sub Sistem Paiton-Bali.

## **1.3. Tujuan Pembahasan**

1. Menganalisa terjadinya pelanggaran tegangan dan menentukan langkah – langkah yang diambil untuk mengatasi pelanggaran tersebut sampai semua pelanggaran dapat diatasi.
2. Menganalisa penggunaan *Network Equivalens – Expert System* untuk pengaturan tegangan dan daya reaktif pada saluran transmisi 150 kV sub sistem Paiton-Bali.



#### 1.4. Batasan Masalah

Dalam pembahasan skripsi ini permasalahan yang akan dibahas dibatasi pada :

1. Analisa pengaturan tegangan / daya reaktif pada saluran transmisi 150 kV subsitem Paiton-Bali dengan menggunakan metode *Network Equivalens – Expert System*.
2. Dibatasi pada pengaturan dengan perubahan tegangan terminal generator dan kompensasi daya reaktif.
3. Tidak membahas peralatan yang digunakan untuk pengaturan tegangan dan daya reaktif.
4. Data yang diambil sebagai analisa hanya satu data pada saat beban puncak pada tanggal 7 januari 2006 pukul 19.30 WIB.
5. Tidak membahas pengaruh kontrol terhadap alat proteksi.
6. Tidak membahas pengaruh masalah ekonomis.

#### 1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Studi literatur dari buku, makalah, jurnal ilmiah yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan.
2. Mengumpulkan data sebagai acuan dalam melengkapi parameter - parameter yang digunakan untuk menghitung dan menganalisa masalah diantaranya untuk memperbaiki tegangan, serta mengurangi rugi-rugi saluran transmisi.
3. Pembuatan program *Network Equivalens – Expert System*.
4. Pembuatan program simulasi.

5. Membuat evaluasi untuk menyimpulkan hasil analisa penggunaan *Network Equivalens – Expert System* untuk pengaturan tegangan dan daya reaktif pada saluran transmisi 150 kV sub sistem Paiton-Bali.
6. Penyusunan buku sebagai laporan tugas akhir.

### **1.6. Sistematika Pembahasan**

Untuk penulisan tugas akhir ini diperlukan sistematika pembahasan untuk memperjelas dan memperinci isi serta arah penulisan tugas akhir. Adapun sistematika tersebut terdiri dari lima bab yaitu :

#### **BAB I : Pendahuluan**

Pada bab ini membahas pendahuluan yang berisi latar belakang, batasan masalah, metodeologi, sistematika pembahasan, tujuan dan relevansi.

#### **BAB II : Dasar Teori**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai teori dari aliran daya beserta komponen – komponen pembangkitan dan penyalurannya serta kendali yang mengendalikannya.

#### **BAB III : Perancangan Program Simulasi**

Peran perancangan program simulasi disini akan membahas perancangan pembuatan program dari pengaturan tegangan / daya reaktif dengan metode *Network Equivalens – Expert System* yang disimulasikan dengan sistem tenaga listrik.

#### **BAB IV : Simulasi dan Analisa**

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisa *Network Equivalens – Expert System* untuk kontrol tegangan dan daya reaktif pada saluran transmisi 150 kV sub sistem Paiton-Bali

## BAB V : Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan proses pada tugas akhir.

### 1.7. Relevansi

Dengan adanya studi pengembangan pengaturan tegangan / daya reaktif dengan menggunakan metode *Network Equivalens – Expert System* ini dapat diterapkan pada sistem tenaga listrik.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem beban. Setiap bagian dari sistem tersebut dibagi menjadi beberapa komponen yang saling berhubungan. Sistem pembangkit umumnya terletak jauh dari tempat dimana energi listrik itu digunakan atau pusat – pusat beban (*load centers*). Karena itu, tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat – kawat transmisi.

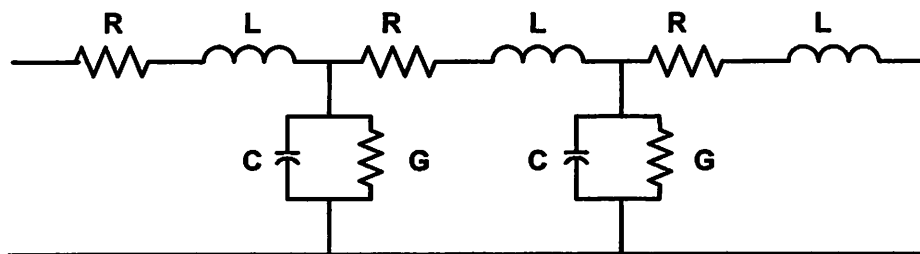
#### **2.1. Sistem Tenaga Listrik**

Menurut jenis arusnya dikenal sistem arus bolak – balik (AC) dan sistem arus searah (DC) . Di dalam sistem AC kenaikan dan penurunan tegangan mudah dilakukan yaitu dengan menggunakan transformator. Itulah sebabnya maka sampai sekarang ini saluran transmisi di dunia sebagian besar adalah saluran AC. Di dalam sistem AC ada sistem satu fasa dan tiga fasa. Di Indonesia sistem yang digunakan adalah sistem tiga fasa karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan sistem satu fasa. Kelebihannya yaitu daya yang dibangkitkan lebih besar nilai sesaatnya konstan dan medan putarnya mudah diadakan.

#### **2.2. Saluran Transmisi**

Saluran transmisi tenaga listrik mempunyai empat parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai bagian dari suatu sistem tenaga listrik yaitu resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi yang dinamakan konstanta saluran (*line konstan*). Keempat parameter saluran tersebut

tersebar merata disepanjang saluran transmisi. Nilai – nilai dari parameter tersebut sangat tergantung pada panjang saluran.



Gambar 2.1

Rangkaian ekivalen Saluran transmisi

Sumber : Ir. I Made Wartana, "Transmisi Daya Arus Bolak-balik," diktat Kuliah ITN Malang.

Untuk mempresentasikan suatu saluran transmisi secara umum kedalam bentuk rangkaian setaranya, resistansi (R) dan induktansi (L) dinyatakan sebagai impedansi seri, sedangkan kapasitansi (C) dan konduktansi (G) dinyatakan sebagai admitansi *shunt* (simpang). Rangkaian ekivalen saluran transmisi secara umum dapat dilihat pada gambar diatas.

## 2.3. Konstanta Pada Saluran Transmisi

### 2.3.1. Resistansi

Resistansi pada sebuah penghantar sebanding dengan panjang kawat dan terbalik dengan luas penampangnya, hal ini dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

$$R = \rho \frac{l}{A} \Omega \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : R = Resistansi saluran (ohm)

$\rho$  = Resistivitas saluran (ohm-m)

$l$  = Panjang saluran (m)

A = Luas penampang ( $m^2$ )

### 2.3.2. Induktansi

Induktansi rata – rata per fasa adalah :

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \text{ H/m} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :  $D_{eq}$  = Jarak rata – rata geometris penghantar

$D_s$  = Radius rata – rata geometris penghantar

### 2.3.3. Kapasitansi

Kapasitansi antara dua penghantar pada saluran dua kawat didefinisikan sebagai muatan pada penghantar itu per unit beda potensial diantara keduanya. Akibat beda potensial antara penghantar (konduktor) dapat diambil persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{q}{v} \text{ F/m} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :  $q$  = Muatan pada saluran (C/m)

$V$  = Beda potensial antara kedua penghantar (Volt)

### 2.4. Tegangan Transmisi

Untuk daya yang sama, daya guna penyaluran akan naik apabila tegangan transmisi dinaikan. Oleh karena itu, pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan, biaya peralatan untuk tegangan tertentu, serta tegangan yang sekarang ada dan yang akan direncanakan. Penentuan tegangan juga harus dilihat dari segi standarisasi peralatan yang ada. Penentuan tegangan merupakan bagian dari perencanaan sistem secara keseluruhan.

Di Indonesia, telah menyeragamkan tegangan pada saluran transmisi sebagai berikut :

Tegangan nominal (kv) : 30 – 66 – 150 – 220 – 380 – 500

Tegangan maksimum perlengkapan (kv) : 36 – 72.5 – 170 – 245 – 420 – 525

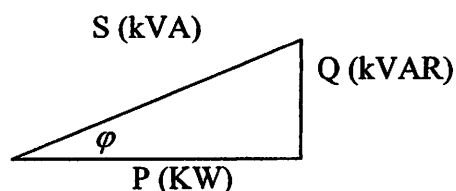
Tegangan nominal 30 kv hanya diperkenankan untuk daerah asuhan (tertentu) dimana tegangan distrisbusi primer 20 kv tidak diperkenankan.

## 2.5. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik, pembangkit – pembangkit tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik kepada pelanggan sesuai dengan permintaan beban listrik yang ada. Dan hal yang harus diperhatikan adalah sistem yang tetap konstan, dalam hal ini tegangan dan frekuensi harus tetap konstan karena berhubungan dengan daya. Daya listrik yang di bangkitkan dikenal dengan istilah:

- Daya aktif adalah daya terpakai, yaitu daya yang dapat dikonversikan ke bentuk lain (KW).
- Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban – beban induktif (KVAR).
- Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif (KVA).

Selain diatas dikenal juga istilah faktor daya ( *power faktor*) atau  $\cos\phi$  faktor daya adalah merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya semu yang dalam bentuk vektor dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2  
Reprentasi segitiga daya

Sumber : William D. Stevenson 1996, "Anlisis sistem Tenaga Listrik," Edisi IV Erlangga

Hubungan antara ketiganya dapat ditunjukkan dengan persamaan matematika sebagai berikut :

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi$$

$$S = V \times I$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$= \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

## 2.6. Sitem Per-Unit

Untuk memudahkan proses perhitungan, dalam sistem tenaga listrik digunakan sistem Per-Unit (pu).

$$\text{Besaran per-Unit} = \frac{\text{Besaran sebenarnya}}{\text{Besaran dasar}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Rumus-rumus yang digunakan untuk penentuan arus dasar dan impedansi dasar adalah :

- Untuk data 1 fasa

Arus dasar

$$I_d = \frac{\text{kVA dasar 1 fasa}}{\text{kV dasar L-N}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Impedansi dasar

$$Z_d = \frac{(\text{kV dasar L-N})^2 \times 10^{-3}}{\text{kVA dasar 1 fasa}} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Z_d = \frac{(\text{kV dasar L-N})^2}{\text{MVA dasar 1 fasa}} \dots\dots\dots(2.7)$$

- Untuk data 3 fasa

Arus dasar



$$I_d = \frac{\text{kVA dasar 3 fasa}}{\sqrt{3} \text{ kV dasar L-L}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Impedansi dasar

$$Z_d = \frac{(\text{kV dasar L-L})^2 \times 10^{-3}}{\text{kVA dasar 3 fasa}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Z_d = \frac{(\text{kV dasar L-L})^2}{\text{kVA dasar 3 fasa}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dalam persamaan diatas nilai-nilai besaran diberikan untuk rangkaian satu fasa. Jadi tegangannya adalah tegangan antara fasa dengan tanah dan daya setiap fasa.

Setelah besaran-besaran dasar ditentukan maka besaran-besaran itu dinormalisasikan terhadap besaran dasar. Dengan demikian impedansi per satuan dari suatu elemen rangkaian didefinisikan sebagai berikut :

$$Z = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } Z(\Omega)}{\text{Impedansi dasar } Z_d} \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.6.1. Mengubah Dasar Sistem Per-Unit

Kadang-kadang impedansi per-unit untuk suatu komponen dari suatu sistem dinyatakan menurut dasar yang berbeda dengan dasar yang dipilih untuk bagian dari sistem dimana komponen tersebut berada. Karena semua impedansi dari bagian manapun dari suatu sistem harus dinyatakan dengan dasar impedansi yang sama, maka dalam perhitungannya kita perlu mempunyai cara untuk dapat mengubah impedansi per-unit dari suatu dasar ke dasar yang lain. Dengan mensubtitusikan impedansi dasar yang diberikan dalam persamaan (2.7) dan (2.10) ke dalam persamaan (2.11) maka diperoleh :

$$Z = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } Z(\Omega) \cdot (\text{MVA dasar})}{(\text{Impedansi dasar ,kV})^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Persamaan (2.12) memperlihatkan bahwa impedansi per-unit berbanding lurus dengan MVA dasar serta berbanding terbalik dengan kuadrat tegangan dasar. Untuk mengubah dari impedansi per-unit menurut suatu dasar yang menjadi impedansi per-unit menurut suatu dasar yang baru, dapat dipakai persamaan berikut :

$$Z_{baru} \text{ per - unit} = Z_{diberikan} \text{ per - unit} \left( \frac{kV_{diberikan} \text{ dasar}}{kV_{baru} \text{ dasar}} \right)^2 \times \left( \frac{MVA_{baru} \text{ dasar}}{MVA_{diberikan}} \right) \dots (2.13)$$

Persamaan ini tidak ada hubungannya dengan pemindahan nilai impedansi dalam ohm dari salah satu sisi transformator ke sisi yang lain.

## 2.7. Daya Reaktif

Kita mengenal dua macam daya reaktif yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya listrik yang dibutuhkan kapasitor, kapasitansi kawat transmisi tegangan tinggi dan lainnya. Dari uraian diatas daya reaktif ini tidak menghasilkan kerja, tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif.

Daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat – alat induksi seperti motor induksi, transformator dan sebagainya. Tanpa daya reaktif induktif ini daya tidak dapat ditransfer kesisi sekunder dalam suatu trafo atau melalui celah udara pada motor listrik.

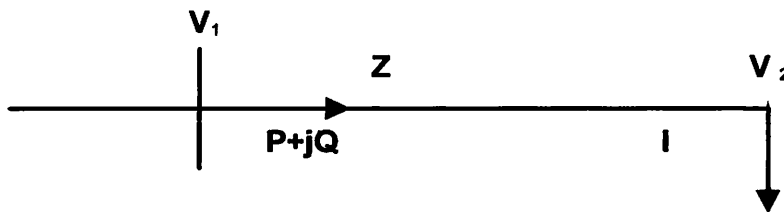
Keseimbangan daya reaktif dalam pembangkitan harus dijaga karena hal ini akan mempengaruhi harga tegangan yang harus dijaga pada batas – batas tertentu dari harga nominalnya. Misalkan pada peralihan dari keadaan beban

tinggi ke beban rendah ada suatu kecenderungan tegangan sistem akan naik. Hal ini harus diperbaiki dengan mengatur tap trafo, menurunkan penguatan generator atau menghubungkan dengan reaktor atau kapasitor.

## 2.8. Pengaruh Daya Reaktif Terhadap Tegangan

Keseimbangan daya reaktif yang dihasilkan dan digunakan harus dapat dipertahankan agar tidak terjadi perubahan tegangan. Bila besaran tegangan ini mengalami perubahan, maka daya reaktif pada simpul tersebut tidak dapat dipertahankan lagi. Ini perlu aliran daya reaktif pada sistem.

Dari gambar 2-3 dibawah ini terlihat bahwa pembangkit memberikan daya sebesar  $P + jQ$  ke beban. Misalkan  $R$  dianggap jauh lebih kecil dari  $X$ , maka resistansi saluran dapat diabaikan. Sehingga impedansi saluran dituliskan  $Z = jX$ .



Gambar 2.3

Aliran daya Melalui saluran Pendek

Sumber : William D. Stevenson 1996, "Analisis sistem Tenaga Listrik," Edisi IV Erlangga

Jatuh tegangan yang terjadi sepanjang saluran disebabkan oleh adanya impedansi sehingga hubungan yang terjadi :

$$V_2 = V_1 - I.Z \dots\dots\dots(2.14)$$

Karena daya yang mengalir pada simpul I adalah  $P + jQ$ , maka :

$$I = \frac{p + jQ}{V_1^*}$$

Jika  $V_1$  dipilih sebagai referensi dan dianggap mempunyai sudut nol maka persamaan menjadi :

$$I = \frac{P - jQ}{V_1} \dots\dots\dots(2.15)$$

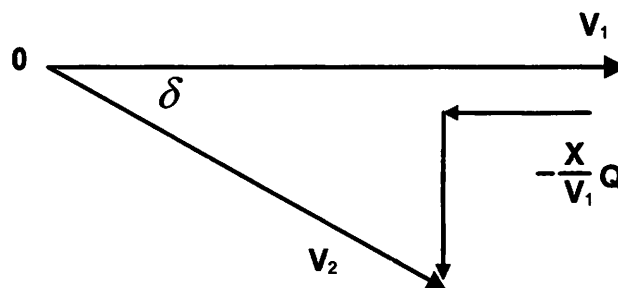
Substitusi persamaan (2-14) ke persamaan (2-15) diperoleh :

$$V_2 = V_1 - \left( \frac{P - jQ}{V_1} \cdot Z \right)$$

$$V_2 = V_1 - \left( \frac{jXP}{V_1} + \frac{XQ}{V_1} \right)$$

$$V_2 = V_1 - \frac{XQ}{V_1} - j \frac{X}{V_1} P \dots\dots\dots(2.16)$$

Persamaan diatas dapat dilihat dalam bentuk gambar sebagai berikut :



Gambar 2.3

Perubahan Tegangan Sebagai Fungsi aliran Daya Reaktif

Sumber : William D. Stevenson 1996, "Anlisis sistem Tenaga Listrik," Edisi IV Erlangga

Dari persamaan diatas dapat dijelaskan :

1. Perubahan daya aktif  $\Delta P$  pada dasarnya hanya mempengaruhi sudut fasa tegangan sedangkan magnitute tegangan hampir tidak berubah.
2. Perubahan daya reaktif  $\Delta Q$  pada dasarnya hanya mempengaruhi magnitute tegangan [V] dan hampir tidak berpengaruh pada sudut fasa tegangan.

## 2.9. Pengaturan Tegangan dan Daya Reaktif

Pengaturan tegangan pada dasarnya adalah pengaturan daya reaktif pada saluran dan simpul. Sehingga untuk mempertahankan tegangan didalam batas operasi yang diinginkan perlu keseimbangan daya reaktif pada simpul tersebut.

Sebagaimana diketahui masalah tegangan dapat diakibatkan oleh pelanggaran batas atas maupun batas bawah. Jika terlalu banyak beban daya reaktif induktif (positif), misalnya pada daerah industri, maka tegangan simpul yang terlalu rendah akan jadi masalah. Ini dapat diatasi dengan memasang kapasitor shunt, *Static Var Compensation* dan sebagainya. Sebaliknya pada saat beban ringan karena pengaruh kapasitansi shunt dari saluran transmisi, maka akan ada kelebihan daya reaktif pada saluran sehingga tegangan simpul terlalu tinggi. Hal ini dapat diatasi dengan memasang kapasitor shunt, *Static Var Compensation* dan sebagainya.

Dengan menginjeksikan daya reaktif kedalam sistem, pengatur – pengatur baik untuk mengatur pembangkitan maupun aliran daya reaktif. Dengan cara ini profil tegangan simpul yang diinginkan dapat diperoleh.

### 2.9.1. Pengaturan Eksitasi Generator

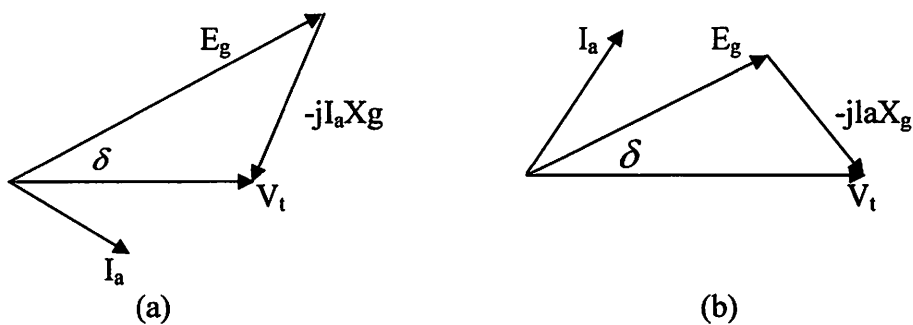
Pengaturan eksitasi generator mempunyai fungsi utama mengatur tegangan pada sisi terima didalam suatu harga yang telah ditetapkan dengan mengirimkan sejumlah daya reaktif. Tegangan terminal generator dapat berubah sesuai dengan perubahan eksitasi generator.

Jika suatu generator dihubungkan kesuatu sistem tenaga yang sangat besar, maka tegangan terminal generator  $V_t$  relatif konstan meskipun ada perubahan eksitasi generator. Simpul tempat generator itu dihubungkan disebut simpul tak

terhingga (*infinite bus*). Jika masukan daya aktif ke sistem  $P = |V_t| |I_a| \cos \theta$  konstan dan dengan mengubah – ubah eksitasi untuk mengubah  $|E_g|$  yang tinggi dan yang rendah, diagram pashornya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Sudut  $\delta$  dinamakan sudut daya dari generator, eksitasi yang normal didefinisikan sebagai berikut :

$$|E_g| \cos \delta = V_t \dots\dots\dots(2.17)$$



Gambar 2.5  
Eksitasi Generator

Sumber : William D. Stevenson 1996, "Analisis sistem Tenaga Listrik," Edisi IV Erlangga

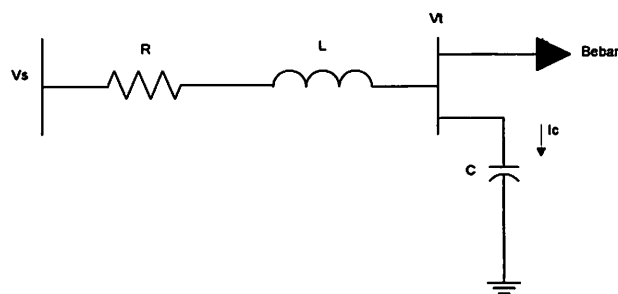
Untuk keadaan pada gambar 2-5 (a) generator terlalu diperkuat (*over excited*) dan mencatu arus tertinggal *lagging* ke sistem. Gambar 2-5 (b) adalah generator yang kurang diperkuat (*under excited*) yang mencatu arus mendahului (*leading*) ke sistem. Generator ini menyerap daya reaktif dari sistem.

### 2.9.2. Pengaturan Dengan Peralatan Kompensasi Daya Reaktif

Rendahnya faktor daya beban mengakibatkan naiknya kebutuhan daya reaktif dan arus saluran. Karena itu diperlukan peralatan yang dapat mengkompensasi kebutuhan daya reaktif ini, baik *lagging* maupun *leading*. Kapasitor shunt digunakan untuk sirkit faktor daya *lagging* sedang reaktor shunt untuk sirkit *leading*.

### 2.9.2.1. Kapasitor Shunt

Pada dasarnya kapasitor suatu alat untuk mencatu daya reaktif pada titik pemasangannya. Dengan pemasangan kapasitor secara paralel pada sisi terima seperti pada gambar 2-6, rugi – rugi tegangan dan rugi – rugi lain pada saluran berkurang dan tegangan pada titik tersebut akan naik. Kapasitor – kapasitor shunt dapat dihubungkan secara tetap, tetapi sebagai pengatur tegangan dapat juga dihubungkan dan diputuskan dari sistem melalui saklar sesuai dengan perubahan – perubahan permintaan tegangan dan daya reaktif.

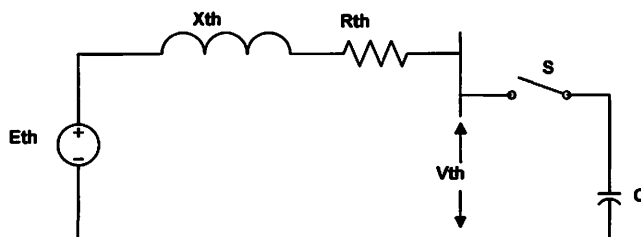


Gambar 2.6

#### Kapasitor Pada Simpul Beban

Sumber : William D. Stevenson 1996, "Anlisis sistem Tenaga Listrik," Edisi IV Erlangga

Jika pada suatu simpul tertentu dipasang kapasitor, kenaikan tegangan pada simpul dapat ditentukan dengan dalil thevenin.



Gambar 2.7

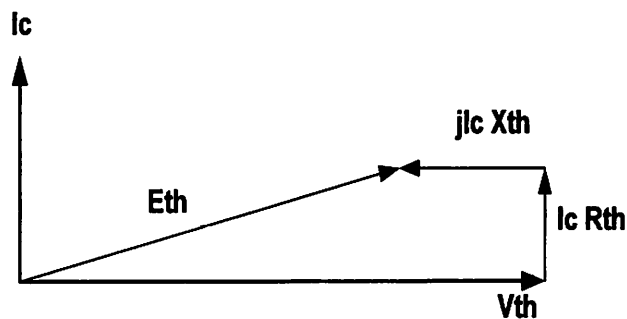
#### Rangkaian Ekuivalen Pemasangan Kapasitor Dalam Bentuk Thevenin

Sumber : William D. Stevenson 1996, "Anlisis sistem Tenaga Listrik," Edisi IV Erlangga  
 Pada kapasitor belum terhubung (saklar terbuka),  $V_t = E_{th}$ . Jika saklar S ditutup

maka akan mengalir arus kapasitif sebesar :

$$I_c = \frac{E_{th}}{Z_{th} - jX_c} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dagram phasornya diperlihatkan pada gambar 2 – 8, dimana terlihat bahwa kenaikan  $V_t$  yang disebabkan oleh penambahan kapasitor hampir sama dengan  $j|I_c|X_{th}$ .



Gambar 2.8

Diagram Kapasitor Sebelum dihubungkan Dengan saklar tertutup

Sumber : William D. Stevenson 1996, "Analisis Sistem Tenaga Listrik," Edisi IV Erlangga

Untuk menentukan rating VAR dari kapasitor yang dibutuhkan dapat diperoleh dengan memperhitungkan daya reaktif beban.

### 2.9.2.2. Reaktor Shunt

Pada saluran transmisi panjang pengaruh kapasitansi pada saluran dapat menimbulkan arus pengisian (*line charging*) yang cukup besar. Bila ada pengaturan gejala ini sangat menguntungkan karena saat beban puncak kebutuhan daya reaktif cukup besar, sehingga kebutuhan daya reaktif ini dapat dipenuhi oleh saluran transmisi itu sendiri.

Sebaliknya pada saat beban ringan arus pengisian ini dapat menyebabkan kelebihan daya reaktif pada sistem yang menyebabkan kenaikan tegangan pada



saluran transmisi. Untuk menyerap kelebihan daya reaktif kapasitif pada sistem ini dapat digunakan reaktor shunt yang berupa suatu kumparan dan dipasang paralel dengan sistem.

Untuk tujuan mengatur aliran daya reaktif, pada umumnya reaktor ini dikombinasikan dengan kapasitor sehingga kombinasi ini mempunyai kemampuan untuk membangkitkan atau menyerap daya reaktif dari sistem. Dari persamaan saluran transmisi panjang diperoleh :

$$V_s = V_r \cosh \gamma l + I_r Z_c \sinh \gamma l \dots\dots\dots (2.19)$$

Pada beban nol, harga  $I_r$  sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian persamaan diatas menjadi :

$$V_s = V_{r0} \cosh \gamma l \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

$V_{r0}$  = tegangan sisi terima pada sisi nol

$$\gamma l = (\alpha + j\beta)l$$

Karena arus mengalir pada saluran sangat kecil, maka rugi – rugi daya  $I^2R$  dapat diabaikan ( $\alpha = 0$ ), sehingga :

$$V_s = V_{r0} \cosh \beta l \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{1}{f\sqrt{LC}}$$

$\lambda$  = Panjang gelombang

$v$  = Cepat rambat gelombang

$f$  = Frekuensi gelombang tegangan

Jadi :

$$V_s = V_m \cosh (2\lambda f \sqrt{LC} l) \dots\dots\dots (2.22)$$

Dari persamaan diatas dapat dijelaskan bahwa jika susceptansi kapasitif saluran dikompensasi dengan reaktor shunt, maka harga  $\cosh (2\lambda f \sqrt{LC} l)$  akan naik. Dengan demikian kenaikan tegangan disisi terima dapat dikurangi.

### **BAB III**

#### **PERANCANGAN PROGRAM SIMULASI**

Dalam penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan, tegangan yang konstan merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi. Oleh karena itu masalah pengaturan tegangan merupakan masalah operasi sistem tenaga listrik yang perlu mendapatkan penanganan tersendiri. Pengaturan tegangan erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem.

Sistem tenaga listrik terdiri dari banyak gardu induk maupun pusat listrik. Dalam setiap gardu induk maupun pusat tenaga listrik terdapat simpul (bus). Tegangan dari simpul gardu induk dan tegangan dari simpul di pusat listrik bersama – sama membentuk profil tegangan sistem. Pengaturan tegangan dipengaruhi oleh :

- a. Arus penguat generator.
- b. Daya reaktif beban.
- c. Daya reaktif yang terdapat dalam sistem (selain generator), misalnya dari kondensator dan reaktor.
- d. Posisi tap trafo.

Mengatur tegangan pada suatu titik (simpul) dalam sistem akan lebih mudah apabila di titik tersebut ada sumber daya reaktif yang bisa diatur, hal ini juga merupakan hal yang berbeda dengan pengaturan frekuensi, karena frekuensi dapat diatur dengan mengatur sumber daya nyata dimana saja dalam sistem. Pada skripsi ini hanya dibatasi pada kontrol tegangan dan daya reaktif menggunakan metode *Network Equivalens – Expert System* pada saluran transmisi.

### 3.1. Analisa aliran Daya

Analisa aliran daya perlu dilakukan dalam melayani kebutuhan beban dan pengoperasian sistem tenaga listrik, agar sistem tenaga listrik tersebut dapat dioperasikan baik memenuhi persyaratan teknis maupun ekonomis. Didalam analisa daya dilakukan perhitungan tegangan, arus, daya dan daya reaktif yang terdapat dalam berbagai titik pada suatu jaringan tenaga listrik pada keadaan pengoperasian normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan terjadi dimasa yang akan datang. Analisa aliran daya sangat penting dalam perencanaan perkembangan suatu sistem untuk masa yang akan datang.

Di dalam analisa aliran daya terdapat tiga jenis variabel yaitu :

1. Variabel bebas yang diatur, misalnya  $|V|$  dan  $\delta$  pada bus beban atau  $\delta$  dan  $Q$  pada bus generator.
2. Variabel tidak bebas (yang mengatur) misalnya  $P$  dan  $|V|$  pada bus generator.
3. Variabel yang tidak dapat diatur (parameter tetap), misalnya kebutuhan konsumen.

#### 3.1.1. Persamaan Aliran daya Dengan Metode Newton – Rhapson

Dalam menyelesaikan persamaan aliran daya metode yang umum digunakan adalah Newton – Rhapson karena metode ini mempunyai waktu hitung yang lebih cepat dalam mencapai konvergensi atau membutuhkan jumlah iterasi yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan metode lain. Penyelesaian aliran daya dengan menggunakan metode *Newton – Rhapson* dibentuk berdasarkan matriks admitsnsi simpul ( $Y_{bus}$ ) yang mana admitansi simpul dibuat dengan prosedur yang langsung dan sederhana.

Dengan membalikkan matrik impedansi rel  $Y_{bus}$  dan menamakan matriks yang dihasilkan matrik impedansi rel  $Z_{bus}$ . Menurut definisi :

$$Z_{bus} = Y_{bus}^{-1} \dots\dots\dots(3.1)$$

Untuk dapat memahami pentingnya bermacam – macam impedansi pada matriks tersebut secara fisik, kita akan membandingkan dengan admitansi simpul. Hal ini dapat kita lakukan dengan melihat persamaan pada suatu simpul tertentu.

$$I = Y_{bus} V \dots\dots\dots(3.2)$$

Dari simpul 2 dari tiga simpul yang berdiri bebas, kita mempunyai

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22} V_2 + Y_{23} V_3 \dots\dots\dots (3.3)$$

Admitansi sendiri pada simpul 2 adalah

$$Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{V_1=V_3=0} \dots\dots\dots(3.4)$$

Secara sistematis persamaan aliran daya metode Newton – Rhapsod dapat menggunakan koordinat rectanguler, koordinat polar atau bentuk hibrid (gabungan antara bentuk kompleks dengan bentuk polar). Dalam pembahasan ini digunakan bentuk polar.

Hubungan antara simpul  $I_p$  dan tegangan simpul  $V_q$  pada suatu jaringan dengan n simpul dapat ditulis :

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \dots\dots\dots(3.5)$$

Injeksi daya pada simpul p adalah :

$$S_p = P_p + jQ_p = V_p I_p^* \dots\dots\dots(3.6)$$

$$= V_p \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* V_q^* \dots\dots\dots(3.7)$$

Penyelesaian aliran daya Newton – Rhapson menggunakan persamaan bentuk polar adalah :

$$V_p = |V_p| e^{j\delta_p}$$

$$V_p^* = |V_p| e^{-j\delta_p} \quad Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q V_{pq}| \text{Sin}(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

$$Y_{pq}^* = |Y_{pq}| e^{-j\delta_{pq}}$$

Maka persamaan injeksi daya pada simpul P dapat ditulis :

$$P_p + jQ_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| e^{(j\delta_p - \delta_q - \delta_{pq})} \dots\dots\dots (3.8)$$

Selanjutnya daya nyata dan daya reaktif dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q V_{pq}| \text{Cos}(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \dots\dots\dots (3.9)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q V_{pq}| \text{Sin}(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \dots\dots\dots (3.10)$$

Persamaan diatas akan menghasilkan suatu kumpulan persamaan serempak (simultan) yang tidak linear untuk setiap sistem tenaga listrik. Untuk magnitudo tegangan  $|V|$  dan sudut phasa ( $\delta$ ) disetiap simpul dapat selesaikan dengan persamaan aliran daya (3.9) dan (3.10) yang dilinearkan dengan metode Newton – Rhapson seperti persamaan dibawah ini :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.11)$$

Dimana:

$\Delta P$  = Selisih injeksi daya aktif dengan penjumlahan aliran daya aktif tiap transmisi yang menghubungkan simpul dengan  $|V|$  yang didapat dari perhitungan iterasi ke-k.

$\Delta Q$  = Selisih injeksi daya reaktif dengan penjumlahan aliran daya reaktif tiap transmisi yang menghubungkan simpul dengan  $|V|$  yang didapat dari perhitungan iterasi ke-k.

$\Delta \delta$  = Vektor koreksi sudut fasa tegangan.

$\Delta |V|$  = Vektor koreksi magnitude tegangan.

H, L, M, N adalah elemen – elemen off-diagonal dan dari sub-matriks Jacobian yang dibentuk dengan mendiferensialkan persamaan – persamaan (3.9) dan (3.10),

dimana :

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} ; \quad N_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial |V_q|} ; \quad M_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} ; \quad L_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|}$$

Rumus dari elemen matriks Jacobian adalah :

Untuk H adalah :

$$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} = |V_p V_q V_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_p} = - \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

Untuk N adalah

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_q|} = |V_p V_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_p|} = 2|V_p V_{pq}| \cos \theta_{pp} + \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

Untuk M adalah :

$$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} = |V_p V_q V_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_p} = -\sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

Untuk L adalah

$$\frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|} = |V_p Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_p|} = 2|V_p V_{pq}| \sin \theta_{pp} + \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

Untuk selisih daya, maka pertama ditentukan harga awal dari tegangan simpul dan sudut fasanya. Kemudian daya aktif dan daya reaktif dihitung dengan menggunakan persamaan (3.9) dan (3.10). Selisih daya antara daya yang telah ditentukan dengan daya hasil perhitungan ini merupakan perubahan daya yang terjadi pada simpul.

$$\Delta p = -P_G + P_L - P_p \dots\dots\dots (3.12)$$

$$\Delta Q = -Q_G + Q_L - Q_p \dots\dots\dots (3.13)$$

Magnitude tegangan dan sudut fasa yang diasumsikan ( $|V_p|$  dan  $\delta_p$ ) serta selisih daya yang dihitung ( $\Delta P_p$  dan  $\Delta Q_p$ ) digunakan untuk memperoleh elemen elemen matriks Jacobian. Persamaan (3.11) digunakan untuk menghitung vektor koreksi magnitude tegangan ( $\Delta |V|$ ) dan sudut fasa tegangan ( $\Delta \delta$ ) yang baru.



$$|V|^{k+1} = |V|^k + \Delta|V|^k$$

$$\delta^{k+1} = \delta^k + \Delta\delta^k$$

Proses perhitungan akan berulang sampai selisih daya aktif ( $\Delta P$ ) dan daya reaktif ( $\Delta Q$ ) antara yang dijadwalkan dan yang dihitung untuk semua simpul mendekati nilai toleransi atau proses perhitungan iterasi mencapai konvergen.

### 3.1.2. Klasifikasi Bus

Tujuan analisa daya pada sistem tenaga listrik adalah untuk menghitung besar magnitude tegangan  $|V|$  dan sudut fasa tegangan  $\delta$  pada semua bus, sehingga dengan diketahuinya parameter – parameter tersebut akan dapat dihitung besar daya yang mengalir pada saluran transmisi beserta rugi – ruginya.

Pada setiap bus pada jaringan terdapat parameter – parameter sebagai berikut :

- Injeksi netto daya nyata, dinyatakan dengan P satuannya Megawatt (MW).
- Injeksi netto daya reaktif, dinyatakan dengan Q satuannya Mega Volt Ampere Reaktif (MVAR).
- Besar magnitude tegangan mempunyai simbol  $|V|$  dengan satuan kiloVolt (kV).
- Sudut fasa tegangan mempunyai simbol  $\delta$  dengan satuan radian.

Dengan analisa aliran daya, pada setiap bus perlu diketahui dua parameter dari keseluruhan empat parameter yang diperhitungkan. Dengan melihat kedua parameter yang diketahui, setiap bus diklasifikasikan menjadi 3 yaitu :

### 1. Bus Beban (*load bus*)

Daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) diketahui dimana pada bus ini hanya terdapat kebutuhan daya untuk beban, sementara  $|V|$  dan  $\delta$  berubah – ubah sesuai kebutuhan.

### 2. Bus Generator

Bus ini hanya terdapat daya pembangkitan dimana tegangan diatur menggunakan regulator tegangan dan P diatur dengan Governor. Sehingga untuk bus ini, P dan  $|V|$  diketahui. Sementara Q (daya reaktif) dan  $\delta$  (sudut fasa) dicari. Harga daya reaktif Q mempunyai nilai – nilai yang bervariasi tetapi masih dalam batas – batas tertentu. Dalam perhitungan iterasinya, bila nilai – nilai Q kembali memenuhi batas – batas yang ditentukan maka bus tersebut diubah kembali menjadi bus generator.

### 3. Bus Slack

Pada sistem tenaga listrik jumlah daya yang dibangkitkan harus sama dengan jumlah daya permintaan ditambah kerugian pada saluran transmisi. Jika kerugian transmisi belum dapat ditentukan sebelumnya, maka jumlah daya pembangkit belum dapat ditentukan. Oleh karena itu digunakan metode dimana salah satu bus generator dipakai untuk memenuhi tiap daya tambahan sesuai dengan kebutuhan diluar parameter yang ditentukan untuk bus – bus generator lainnya guna mengimbangi beban sistem ditambah kerugian saluran transmisi. Hal ini diberikan karena kerugian daya pada saluran transmisi baru bisa ditentukan setelah proses perhitungan pada bus – bus selesai dilakukan. Pada bus slack ini tegangan  $|V|$  dan sudut fasa  $\delta$  sudah ditentukan besarnya, sementara daya aktif P dan daya reaktif Q dihitung. Sedangkan sudut fasa

tegangan berharga nol, karena pada bus ini fasor tegangan dari bus dipakai sebagai referensi.

### 3.2. Sensitivitas

Pada perencanaan dan perancangan sistem tenaga listrik, penting untuk mengetahui pengaruh perubahan beberapa variabel sistem terhadap performance sistem. Apabila terjadi perubahan pada harga suatu variabel terhadap variabel yang lain, ketergantungan antara variabel – variabel tersebut dapat ditentukan dengan apa yang dinamakan analisa sensitivitas.

Sensitivitas didefinisikan sebagai perbandingan dari perubahan (deviasi) variabel tak bebas terhadap perubahan variabel bebas  $\left( \frac{\Delta X}{\Delta U} \right)$ .

Dalam operasi sistem tenaga listrik, menggambarkan hubungan sebab akibat variabel-variabel sistem sangat membutuhkan analisa sensitivitas. Dengan analisa sensitivitas tersebut dapat diketahui variabel mana yang perubahannya paling berpengaruh pada perubahan variabel yang lain dan besarnya perubahan yang terjadi pada variabel yang berpengaruh tersebut. Dalam pengaturan sistem tenaga listrik, hal yang demikian sangat penting khususnya pengaturan tegangan dan daya reaktif.

#### 3.2.1. Klasifikasi Variabel Sistem-sistem Tenaga Listrik

Bila  $P_p$  dan  $Q_p$  adalah daya input aktif dan reaktif pada sispul P, dan :

$$P_p = P_{GP} - P_{DP}$$

$$Q_p = Q_{GP} - Q_{DP}$$

Maka dapat ditulis bentuk persamaan mismatch daya metode Newton Rhapson sebagai berikut:

$$\sum_{q=1}^n |V_p - V_q - Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) - P_{GP} + P_{DP} = 0 \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\sum_{q=1}^n |V_p - V_q - Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) - P_{GP} + P_{DP} = 0 \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana  $P_{GP}$  dan  $Q_{GP}$  adalah pembangkitan daya aktif dan reaktif pada simpul P, sedang  $P_{DP}$  dan  $Q_{DP}$  adalah konsumsi daya aktif dan reaktif pada simpul P ( $P = 1, 2, \dots, n$ ).

Variabel-variabel yang menyusun kedua persamaan diatas dapat dikelompokkan menjadi tiga golongan, yaitu :

1. Variabel kontrol (variabel yang mengatur), adalah variabel yang dipergunakan untuk mengatur operasi sistem. Variabel kontrol disebut juga variabel bebas karena sifatnya yang tidak tergantung pada variabel lain. Variabel yang termasuk kelompok ini adalah :
  - a. Pembangkit daya aktif dan reaktif pada simpul slack.
  - b. Sudut fasa tegangan dan pembangkitan daya reaktif pada simpul generator.
  - c. Sudut fasa dan magnitude tegangan pada simpul beban.
2. Variabel keadaan (variabel yang diatur), adalah variabel yang tergantung pada kondisi sistem serta kebutuhan konsumen. Variabel keadaan disebut juga variabel tak bebas. Yang termasuk variabel tak keadaan adalah :
  - a. Magnitude tegangan dan sudut fasa tegangan dari simpul slack.
  - b. Magnitude tegangan dan pembangkitan daya aktif dari simpul generator.
2. Parameter tetap (variabel tak dapat diatur), adalah variabel yang ditentukan oleh kebutuhan konsumen. Yang termasuk dalam golongan ini adalah semua daya aktif dan reaktif yang dikonsumsi pada simpul-simpul slack, generator maupun beban.

Jika  $U$  adalah variabel kontrol,  $X$  adalah variabel keadaan (tak bebas), dan  $P$  adalah parameter tetap, maka persamaan mismatch daya dapat ditulis dalam bentuk yang ringkas seperti :

$$F_P(X,U,P) = 1,2,\dots,2n \dots \dots \dots (3.16)$$

Dimana  $F_P$  menunjukkan  $2n$  persamaan mismatch daya seperti yang diperlihatkan pada persamaan (3.16).

### 3.2.2. Matrik Jacobian Dan Sensitivitas

Analisa sensitivitas didasarkan pada penyelesaian daya Newton Rhapson. Keuntungan metode ini adalah diperolehnya matrik jacobian yang dijadikan dasar penyusunan matrik sensitivitas.

Pada analisa sensitivitas, variabel keadaan pada simpul beban slack dan simpul generator juga diperhatikan disamping variabel keadaan pada simpul beban. Sehingga penentuan elemen-elemen jacobian sensitivitasnya tidak hanya dipengaruhi oleh  $|V|$  dan  $\delta$ , tetapi juga oleh  $P$  dan  $Q$ . Karena itu terdapat perbedaan nilai pada elemen-elemen tertentu antara matrik jacobian Newton Rhapson dan matrik jacobian dan matrik sensitivitas  $F_x$ .

Berbeda dengan analisa sensitivitas, matrik jacobian pada penyelesaian aliran daya Newton Rhapson dibentuk dengan menganggap bahwa semua simpul sistem adalah simpul beban. Sehingga variabel keadaan pada semua simpul adalah sama, yaitu sudut fasa dan magnitude tegangan. Dengan demikian elemen-elemen matrik jacobianya diperoleh dengan menurunkan persamaan aliran daya terhadap  $|V|$  dan  $\delta$ . Elemen-elemen tersebut adalah  $H,N,M,L$ .

Variabel-variabel tetap pada simpul slack adalah  $P$  dan  $Q$ . Maka elemen-elemen jacobian dari simpul slack hanya muncul pada penurunan mismatch daya

terhadap variabel-variabel keadaan dari simpul yang sama. Penurunan mismatch daya aktif terhadap P menghasilkan elemen berharga -1, sedangkan terhadap Q menghasilkan elemen berharga 0. sebaliknya penurunan mismatch daya reaktif terhadap P menghasilkan elemen berharga 0, sedang penurunan terhadap Q menghasilkan elemen berharga -1.

Pada simpul generator, variabel-variabel keadaannya adalah  $\delta$  dan Q. Dari penurunan mismatch daya aktif terhadap  $\delta$  dihasilkan elemen H. Sedang dari mismatch daya reaktif dihasilkan M. Dari penurunan mismatch daya aktif terhadap Q dihasilkan elemen berharga 0, sedang dari mismatch daya reaktif dihasilkan elemen -1 pada simpul yang sama.

Untuk simpul beban, variabel keadaannya adalah  $\delta$  dan  $|V|$  oleh karena itu elemen-elemen matrik  $F_x$  diperoleh dengan penurunan mismatch daya aktif terhadap  $\delta$  dan  $|V|$  dihasilkan elemen H dan N. Sedang penurunan daya reaktifnya dihasilkan elemen M dan L.

Pada simpul generator variabel kontrol yang ada adalah P dan  $|V|$ . Karena daya aktif yang dihasilkan adalah tetap, maka hanya dapat dilakukan pengaturan dengan  $|V|$ . Dengan demikian elemen matrik  $F_U$  yang dihasilkan pada simpul generator adalah N dan L.

Matrik  $F_U$  dibentuk dengan cara yang sama seperti pada pembentukan matrik  $F_x$ . Pada simpul slack, variabel kontrol yang ada adalah  $\delta$  dan  $|V|$ . Tetapi karena sudut fasa tegangannya dipakai sebagai referensi maka pengaturan hanya dilakukan dengan  $|V|$ . Penurunan mismatch daya aktif dan reaktif menghasilkan elemen-elemen N dan L.

Sebaliknya pada simpul beban tidak terdapat variabel kontrol, karena variabel  $P$  dan  $Q$  merupakan parameter tetap (variabel yang tidak dapat diatur). Akan tetapi jika pada suatu simpul beban dipasang suatu sumber daya reaktif seperti kapasitor shunt, reaktor shunt atau kondensator sinkron maka simpul beban tersebut mempunyai satu variabel kontrol yaitu  $Q$ . Dengan demikian penurunan mismatch daya aktif dan reaktif terhadap  $Q$  menghasilkan elemen berharga 0 dan -1.

Pada pembentukan matrik  $F_P$  karena yang termasuk parameter tetap adalah semua kebutuhan daya baik daya aktif maupun daya reaktif pada semua simpul, maka penurunan mismatch daya aktif terhadap  $P$  menghasilkan elemen berharga 1, sedang terhadap  $Q$  berharga 0. sebaliknya penurunan mismatch daya reaktif terhadap  $P$  menghasilkan elemen berharga 0 sedang terhadap  $Q$  berharga 1.

Matrik jacobian sensitivitas  $F_X$  dan  $F_P$  berdimensi  $2n \times 2n$ , dimana  $n$  adalah jumlah simpul sistem. Sedangkan matrik  $F_U$  berdimensi  $2n \times 2m$ , dimana  $m$  dapat berubah tergantung jumlah variabel kontrol yang dipilih.

Setelah  $F_X, F_U,$  dan  $F_P$  serta inversnya diperoleh, dapat dihitung besar perubahan variabel keadaan yang disebabkan oleh perubahan variabel kontrol maupun oleh berubahnya kebutuhan daya.

### 3.2.3. Analisa sensitivitas

Bila  $Y = F(x_i)$  adalah suatu fungsi rangkaian dan  $x$  menyatakan parameter fisis yang berhubungan dengan rangkain itu, sensitivitas dari fungsi rangkaian  $y$  terhadap perubahan  $x_i$  asalka semua perubahan itu kecil secara matematis dapat

$$\text{ditulis sebagai : } Sx_i = \frac{\partial y}{\partial x_i} \dots\dots\dots(3.17)$$

Untuk memperoleh  $Sx_i$  dilakukan analisa rangkaian dengan nilai nominal dari  $x_1, x_2, \dots, x_n$  seperti yang diuraikan dibawah ini.

Dianggap bahwa kondisi operasi sistem dalam keadaan tetap (*Steady-State*). Untuk harga – harga nominal  $X_0, U_0$  dan  $P_0$  dalam keadaan ini dapat dinyatakan sebagai fungsi yang terdiri dari Variabel – Variabel yang diatur, variabel pengganggu, dan variabel pengatur persamaan ini dapat ditulis :

$$F(X_0, U_0, P_0) = 0 \dots\dots\dots (3.18)$$

Bila vektor variabel  $U$  dan variabel  $P$  mengalami perubahan sebesar  $\Delta U$  dan  $\Delta P$  dari harga nominalnya maka vektor variabel tak bebas akan berubah dari  $X_0$  menjadi  $X_0 + \Delta X$ , agar sistem itu tetap dalam keadaan keseimbangan yang secara matematis memenuhi persamaan (3.18), dan dapat dinyatakan dengan :

$$F(X_0 + \Delta X, U_0 + \Delta U, P_0 + \Delta P) = 0 \dots\dots\dots (3.19)$$

$$= F(X_0, U_0, P_0) + F_X \Delta X + F_U \Delta U + F_P \Delta P \dots\dots\dots (3.20)$$

Mengingat sistem dalam keseimbangan sebelum perubahan – perubahan itu terjadi maka persamaan (3.20) menjadi :

$$F_X \Delta X + F_U \Delta U + F_P \Delta P = 0 \dots\dots\dots (3.21)$$

Dimana  $F_X, F_U, F_P$  adalah elemen – elemen matriks jacobian. Kemudian elemen – elemen tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_X = \frac{\partial F}{\partial X} \Big|_{X_0, U_0, P_0} \dots\dots\dots (3.22)$$

$$F_U = \frac{\partial F}{\partial U} \Big|_{X_0, U_0, P_0} \dots\dots\dots (3.23)$$

$$F_P = \frac{\partial F}{\partial P} \Big|_{X_0, U_0, P_0} \dots\dots\dots (3.24)$$



$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial X_1} & \frac{\partial F_1}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial P_{2n}} \\ \frac{\partial F_2}{\partial X_1} & \frac{\partial F_2}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial F_2}{\partial X_{2n}} \\ \frac{\partial F_{2n}}{\partial X_1} & \frac{\partial F_{2n}}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial F_{2n}}{\partial X_{2n}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta X_2 \\ \Delta X_{2n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial U_1} & \frac{\partial F_1}{\partial U_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial U_{2n}} \\ \frac{\partial F_2}{\partial U_1} & \frac{\partial F_2}{\partial U_2} & \dots & \frac{\partial F_2}{\partial U_{2n}} \\ \frac{\partial F_{2n}}{\partial U_1} & \frac{\partial F_{2n}}{\partial U_2} & \dots & \frac{\partial F_{2n}}{\partial U_{2n}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \\ \Delta U_{2n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial P_1} & \frac{\partial F_1}{\partial P_2} & \dots \\ \frac{\partial F_2}{\partial P_1} & \frac{\partial F_2}{\partial P_2} & \dots \\ \frac{\partial F_{2n}}{\partial P_1} & \frac{\partial F_{2n}}{\partial P_2} & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Secara singkat dapat ditulis:

$[F_X] [X] + [F_U] [U] + [F_P] [\Delta P] = 0$ ; Dimana:  $[F_X]$ ,  $[F_L]$ ,  $[F_P]$  adalah matriks jacobian. Dan  $[X]$ ,  $[U]$ ,  $[P]$  adalah vektor *increment* dari variabel yang diatur X, variabel pengatur P dan variabel Pengganggu U.

Agar variabel yang diatur merupakan hasil pengaturan dinyatakan secara eksplisit, untuk itu perlu dirubah sebagai berikut:

$$\Delta X = -F_X^{-1} \cdot F_U \Delta U - F_X^{-1} \cdot F_P \Delta P \quad (3.26)$$

Selanjutnya :

$$S_U = -F_X^{-1} \cdot F_U \quad (3.27)$$

$$S_P = -F_X^{-1} \cdot F_P \quad (3.28)$$

Maka sensitivitas dari variabel tak bebas terhadap perubahan variabel kontrol  $\Delta U$  dan perubahan parameter tetap  $\Delta P$  dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$\Delta X = S_U \cdot \Delta U + S_P \cdot \Delta P \quad (3.29)$$

Apabila hanya terjadi perubahan nilai pada variabel kontrol maka  $\Delta P=0$ , dengan demikian hanya perlu menurunkan persamaan mismatch daya terhadap variabel-variabel kontrol.

Persamaan sensitivitas untuk keadaan ini adalah:

$$\Delta X = S_U \cdot \Delta U \dots\dots\dots (3.30)$$

### **3.3. Teori Dasar Pengaturan Tegangan dan Daya Reaktif Dengan Menggunakan Metode *Network Equivalens – Expert System*.**

Pada metode *Network equivalens – Expert System* ini menyajikan sebuah aplikasi jaringan ekuivalen keadaan tetap dan sistem pakar untuk pengontrolan tegangan dan daya reaktif (VAR) dalam sistem daya skala besar. Teknik penyamaan jaringan keadaan tetap digunakan untuk menyusun sub sistem “tiga tingkatan” yang mampu untuk memecahkan masalah kerusakan tegangan. Sebuah sistem pakar menggunakan metode pohon sensitivitas untuk memilih tetapan tindakan kontrol yang optimal agar dapat mengurangi masalah tegangan.

Hasil-hasil simulasi menunjukkan keuntungan dari pendekatan ini sebagai berikut :

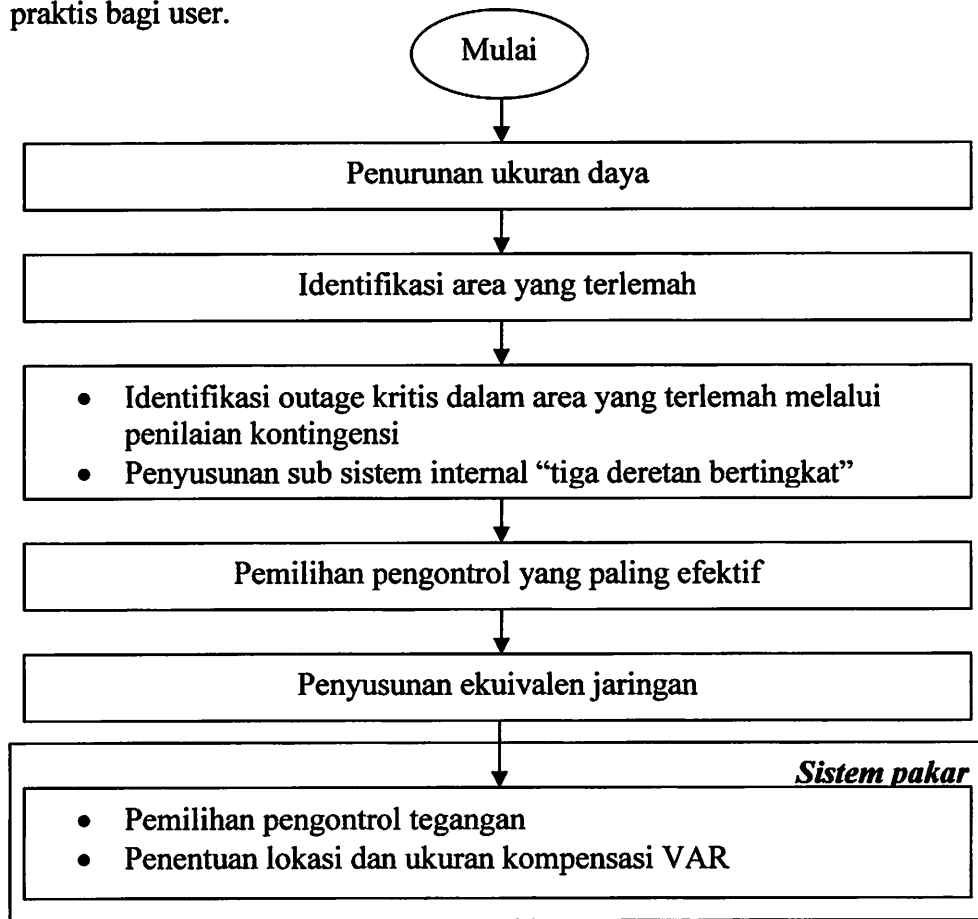
- (1) Teknik Network Equivalen keadaan tetap dan teknik “tiga tingkatan” agar dapat mengurangi ukuran sistem daya dan menghilangkan alat pengontrol tegangan yang kurang efektif, dan selanjutnya dapat meningkatkan performa perhitungan.
- (2) Teknik Expert system untuk memberikan rangkaian tindakan kontrol.

### **3.4. Perumusan Kontrol Tegangan – Daya Reaktif Dengan Metode *Network Equivalens – Expert System 150kV Sub Sistem Paiton-Bali***

#### **3.4.1. Metode Pohon Sensitivitas**

Gambar 3.1 menunjukkan gambar diagram alir dari pendekatan yang diusulkan untuk penelitian – penelitian pengontrolan tegangan dan VAR. Masalah pengontrolan VAR dan tegangan dapat diatasi dengan menggunakan:

- Teknik penyamaan jaringan keadaan tetap dan “tiga tingkatan” agar dapat mengurangi ukuran sistem daya dan menghilangkan alat-alat pengontrolan tegangan yang kurang efektif, dan selanjutnya dapat meningkatkan performa perhitungan.
- Teknik sistem pakar untuk memberikan rangkaian tindakan kontrol yang praktis bagi user.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian-penelitian mengenai pengontrolan tegangan dan VAR

Sumber : IEEE Trans. On Power System Vol.12 no.4 November 1997

Dalam kondisi keadaan tetap, hubungan-hubungan aliran daya dapat diperkirakan dengan memisahkan persamaan-persamaan pada aliran daya aktif dan reaktif:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.31)$$

Berdasarkan atas sifat pemisahan, besaran tegangan bus dapat dipertahankan dalam batas-batas tertentu dengan mengontrol injeksi VAR dalam sistem daya.

Dalam sistem daya, variasi-variasi permintaan daya dan perubahan konfigurasi jaringan bisa menimbulkan kerusakan tegangan. Pengaruh dari faktor –faktor ini dapat dikurangi dengan menyesuaikan seting pengontrol. Hal ini meliputi penggunaan transformer perubah tap dan pendorong tegangan, dan juga alokasi sumber-sumber VAR yang sesuai seperti kapasitor statis dan kondensor sinkron.

Pengontrol memiliki batas-batas atas dan bawah. Batas untuk tap transformer, tegangan generator, dan sumber-sumber VAR shunt yang dapat dirubah dapat disajikan seperti di bawah ini:

$$n_{ij}^{\min} \leq n_{ij} \leq n_{ij}^{\max} \dots\dots\dots (3.32)$$

$$Q_G^{\min} \leq Q_G \leq Q_G^{\max} \dots\dots\dots (3.33)$$

$$D_i^{\min} \leq D_i \leq D_i^{\max} \dots\dots\dots (3.34)$$

Dimana  $n_{ij}^{\max}$ ,  $n_{ij}^{\min}$  dan  $n_{ij}$  adalah setting posisi tap arus maksimun dan minimum (rasio putaran) dari transformer diantara bus  $i$  dan  $j$ ;  $Q_G^{\max}$ ,  $Q_G^{\min}$ , dan  $Q_G$  adalah batas maksimum, minimum dan nilai pengoprasian output daya reaktif dari generator pada bus  $G$ ;  $D_i^{\max}$ ,  $D_i^{\min}$ , dan  $D_i$  adalah batas-batas VAR maksimum dan minimum dan output arus VAR dari sumber VAR shunt yang dapat dirubah pada bus  $i$ .

Pengontrol-pengontrol diatas dapat merubah “nilainya baik secara berkelanjutan maupun secara tahap demi tahap”. Di samping itu, pengontrol-pengontrol tersebut adalah pengontrol-pengontrol yang tidak efektif, oleh karena

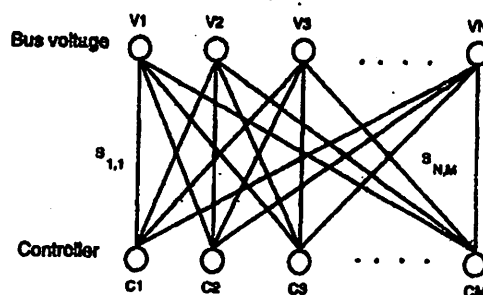
penyesuaian yang diperlukan adalah berbeda untuk masing-masing alat pengontrolan.

Metode pohon sensitivitas dapat digunakan untuk menemukan pengontrol yang paling efektif untuk situasi-situasi tertentu. Metode ini memberikan sebuah hubungan antara tegangan bus dan pengontrol.

Matrik sensitivitas yang menghubungkan perubahan dalam variabel-variabel terkontrol,  $\Delta X$ , akan merubah pengontrol.  $\Delta U$ , dinyatakan dengan:

$$[\Delta X] = [S][\Delta U] \dots \dots \dots (3.35)$$

Untuk sistim daya bus N dengan pengontrol M, hubungan antara bus dan pengontrol tegangan ditunjukkan pada gambar 3.2, dimana  $S_{i,k}$  adalah faktor-faktor sensitivitas antara pengontrol dan beban tegangan bus. Hal ini bisa terlihat bahwa penyesuaian tegangan pada beberapa bus dapat dicapai dengan menggunakan beberapa pengontrol. Juga dicatat bahwa perubahan setting beberapa pengontrol bisa menghasilkan perubahan beberapa tegangan bus.



Gambar 3.2. Pohon Sensitivitas untuk Pengontrolan Tegangan  
Sumber : IEEE Trans. On Power System Vol.12 no.4 November 1997

### 3.4.2. Jaringan Ekuivalen Keadaan Tetap

Sejumlah teknik telah dikembangkan untuk menyusun jaringan ekuivalen. Sebagian besar dari teknik ini menggunakan hasil-hasil yang diperoleh melalui analisis aliran beban bagian dasar, dan oleh karena itu, teknik-teknik tersebut

mampu untuk memberikan pemecahan masalah yang tepat untuk kasus ini saja. Di samping itu, tehnik penyamaan klasik tidak dapat memberikan suatu metode untuk penilaian dukungan reaktif dari area-area yang disamakan. Namun, seringkali dalam praktek pengoperasian, jumlah VAR yang besar harus ditujukan pada sub sistem internal dari area-area eksternal yang disamakan. Oleh karena itu, masalahnya sekarang adalah bagaimana untuk mengidentifikasi bagian sistem yang disamakan yang mampu untuk memberikan dukungan VAR yang memadai, dan juga memberikan hasil-hasil yang memuaskan (cukup erat dengan hasil-hasil sistem yang tidak dikurangi untuk kondisi outage kontingensi).

Kerusakan tegangan sering terjadi dalam bagian sistem daya yang biasanya tertutup pada lokasi kontingensi. Oleh karena itu, bagian sistem yang paling dipengaruhi dapat dinyatakan sebagai area studi internal dan bagian lainnya yang sedikit dipengaruhi dinyatakan sebagai area eksternal yang dapat diberikan dengan sedikit detail, dan bahkan dihilangkan. Namun, agar dapat memperoleh hasil-hasil yang lebih baik, maka zona penyangga juga seharusnya dilibatkan dalam pengurangan sistem. Jadi, pengontrol-pengontrol yang dapat digunakan dalam zona penyangga untuk dukungan VAR seharusnya dipertimbangkan sejajar dengan ketersediaan sub sistem internal ini. Adalah agak jelas bahwa pemecahan masalah yang lebih tepat dapat diperoleh apabila sejumlah besar pengontrol dipertimbangkan dalam zona penyangga. Algoritma berikut ini dapat digunakan dalam menyusun jaringan ekuivalen dari sebuah sistem daya untuk penelitian-penelitian pengontrolan tegangan dan VAR.

*Tahap 1* : Mengurangi ukuran sistem dengan menggabungkan elemen-elemen yang paralel (misalnya, generator, transformer, dan saluran) dan menghilangkan semua “kekosongan” pada bus.

*Tahap 2* : Memecahkan masalah aliran daya AC untuk bagian dasar pengurangan sistem agar dapat mendapatkan nilai-nilai awal dari tegangan bus dan injeksi daya, dan mengidentifikasi area yang terlemah dalam sistem.

*Tahap 3* : Mengidentifikasi outage kontingensi yang kritis pada area yang terlemah, dan kemudian membangun sub sistem internal “tiga tingkatan” disekitar outage kontingensi yang kritis dengan menggunakan konsep deretan bertingkat konsentris. Sub sistem “tiga tingkatan” meliputi bus-bus berikut ini:

- Bus-bus deretan bertingkat pertama dihubungkan secara langsung dengan komponen outage kontingensi.
- Bus-bus deretan bertingkat kedua dihubungkan secara langsung dengan bus-bus deretan bertingkat pertama.
- Bus-bus deretan bertingkat ketiga dihubungkan secara langsung dengan bus-bus deretan bertingkat kedua.

*Tahap 4* : Meliputi pengontrol yang paling efektif dari area-area eksternal didalam zona penyangga. Metode penilaian dapat digunakan untuk memilih pengontrol-pengontrol yang paling efektif.

*Tahap 5* : Membangun jaringan ekuivalen keadaan tetap untuk bagian sistem lainnya dengan menggunakan injeksi bagian dasar. Ekuivalen ini dapat diperoleh dengan menggantikan injeksi daya reaktif dan injeksi daya aktif konstan pra kontingensi melalui batas bus-bus dan menciptakan saluran transmisi yang fiktif diantara penahan bus-bus dalam area-area eksternal.

*Tahap 6* : Menyusun jaringan ekuivalen dengan menggabungkan sub sistem “tiga tingkatan”, sub sistem eksternal, dan zona penyangga.

### **3.4.3. Expert System (Sistem Pakar)**

Sistem pakar telah dikembangkan berdasarkan kerangka sistem VP-EXPERT dan diimplementasikan pada personal komputer IBM. Sistem ini berinteraksi dengan paket analisis aliran daya, analisis sensitivitas jaringan, dan program-program eksternal lainnya dan data base.

#### **3.4.3.1. Database dan Dasar Pengetahuan**

Sistem pakar menggunakan data-data berikut ini:

- Batas-batas tegangan atas dan bawah pada masing-masing bus
- Batas-batas atas dan bawah dari masing-masing pengontrol
- Faktor-faktor sensitivitas untuk masing-masing beban bus dan pengontrol

Catatan bahwa faktor-faktor sensitivitas berubah-ubah menurut kondisi pengoperasian sistem yang berbeda.

Apabila sebuah tegangan bus melebihi batas-batas yang ditentukannya, baik batas atas maupun batas bawah, tindakan umum yang dilakukan oleh operator sistem adalah merubah penyimpanan kapasitor, menyesuaikan posisi tap dari perubah tap transformer atau merubah tegangan bus generator agar dapat menyimpan profil tegangan yang normal.

Apabila terjadi tegangan yang rendah pada beban bus, sebuah penyimpanan kapasitor atau kondensor sinkron dapat memberikan VAR tambahan untuk sistem daya sehingga akan mningkatkan tegangan bus. Perubah tap dapat menyesuaikan rasio putaran transformer dan selanjutnya dapat meningkatkan besaran tegangan sekunder. Namun, sebagai akibat dari tegangan



sekunder yang lebih tinggi, maka permintaan daya reaktif total juga akan meningkat.

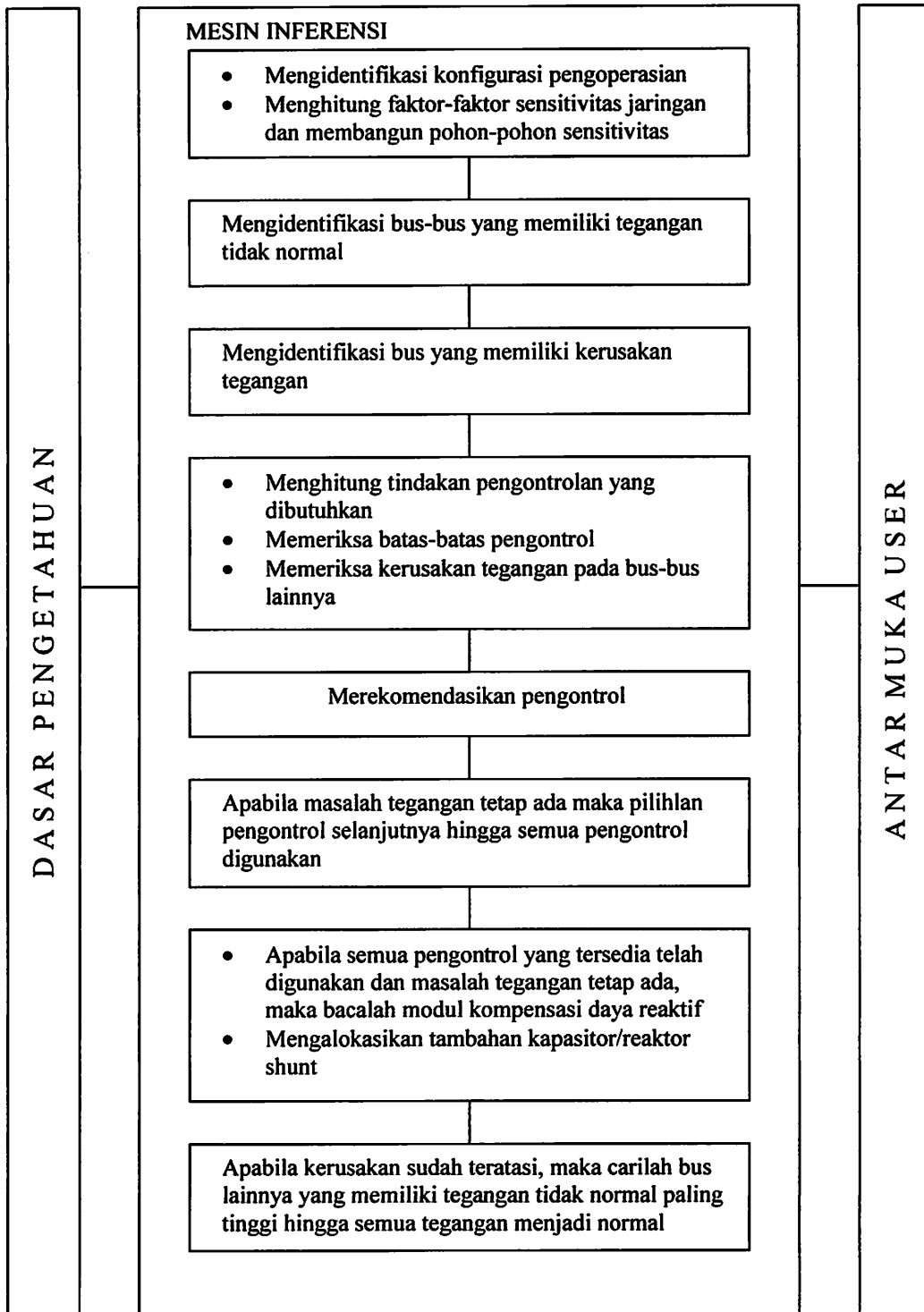
Aturan-aturan empiris dan heuristik yang ditetapkan pada kecerdasan buatan diimplementasikan dalam dasar pengetahuan dari sistem pakar yang dikembangkan. Proses penarikan kesimpulan melibatkan penggunaan tehnik pohon sensitivitas.

Catatan bahwa kadang-kadang sebuah masalah tegangan yang rendah tidak dapat diatasi dengan menyesuaikan sumber-sumber VAR yang ada. Dalam kasus semacam ini, kapasitansi shunt dapat ditambahkan pada sistem dan masalahnya dirumuskan.

#### **3.4.3.2. Mesin Inferensi**

Mesin inferensi adalah pusat dari sistem pakar. Tujuan utamanya adalah untuk menghubungkan aturan-aturan yang diberikan dalam dasar pengetahuan dan input-input kondisi oleh user dengan data yang disimpan pada database agar dapat memecahkan masalah.

Sketsa dari strategi pencarian solusi sistem pakar ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. strategi pencarian solusi sistem pakar  
 Sumber : IEEE Trans. On Power System Vol.12 no.4 November 1997

## BAB IV

### SIMULASI DAN ANALISA

#### 4.1. Program Komputer Kontrol Daya Reaktif Dan Tegangan dengan menggunakan metode *Network Equivalens – Expert System* :

Dalam penyelesaian masalah kontrol tegangan dan daya reaktif ini maka diperlukan bantuan program komputer dalam perhitungan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang akurat.

Program komputer dalam skripsi ini dijalankan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 7.0 yang diaplikasikan pada komputer.

##### 4.1.1. Algoritma Program

Algoritma aliran daya dengan metode *Newton Rapshon* adalah sebagai berikut :

1. Bentuk matriks admitansi bus :  $[Y_{bus}]$
2. Penetapan harga awal tegangan dan sudut fasa untuk semua bus kecuali bus slack  $[V_i(0), \delta(0)]$
3. Menentukan nomor iterasi awal,  $k=0$
4. Menghitung injeksi daya aktif dan reaktif pada setiap bus dengan persamaan kecuali bus slack
5. Menghitung selisih daya yang dijadwalkan dengan injeksi daya bus dari perhitungan
6. Menentukan perubahan maksimum pada daya aktif dan daya reaktif
7. Membandingkan apakah selisih daya sudah sama atau lebih kecil dari  $\epsilon$

8. Jika “ya” hitung daya aktif dan reaktif, tegangan dan sudut fasa tegangan pada setiap bus, serta aliran daya pada saluran dan perhitungan selesai, jika “tidak” lanjutkan ke langkah berikutnya
9. Membentuk elemen matriks Jacobian
10. Menghitung faktor koreksi tegangan dan sudut fasa setiap bus kecuali bus slack dan bus generator
11. Menghitung nilai tegangan dan sudut fasa yang baru
12. Mengganti nilai sudut fasa yang lama dengan sudut fasa yang baru, tegangan yang lama dengan tegangan yang baru
13. Perhitungan dilanjutkan ke langkah 4 dengan nilai iterasi yang baru sampai hasil yang didapatkan konvergen.

Algoritma program untuk menentukan faktor sensitivitas adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan inputan data beban yang meliputi tegangan ( $V$ ), sudut fasa tegangan ( $\delta$ ), daya aktif ( $P$ ), daya reaktif ( $Q$ ) dan data impedansi saluran.
2. Lakukan proses *load flow Newton Raphson*.
3. Hitung faktor sensitivitas
4. Berhenti.

Algoritma program kontrol Tegangan dan Daya reaktif dengan menggunakan metode *Network Equivalens – Expert System*:

1. Membaca data saluran, data pembebanan, data batas tegangan tiap bus dan batas kerja kontrol tegangan.
2. Berdasarkan data saluran diatas, dibentuk matriks admitansi simpul ( $Y_{bus}$ ).
3. Menghitung aliran daya system dengan metode Newton Rhapson.
4. Diperiksa apakah tegangan system sudah berada pada batas-batas yang diijinkan ( $0,95 \leq |V| \leq 1,05$ ). Jika sudah berada pada batasnya maka akan ditampilkan saran expert system. Jika berada diluar batas (terjadi pelanggaran) maka dilanjutkan ke langkah 5.
5. Memformulasikan variable dari sistem tenaga listrik.
6. Membentuk matrik  $F_x$  dengan matrik  $F_u$ .

$$F_x = \frac{\partial F}{\partial X} |_{x_0, u_0, p_0}$$

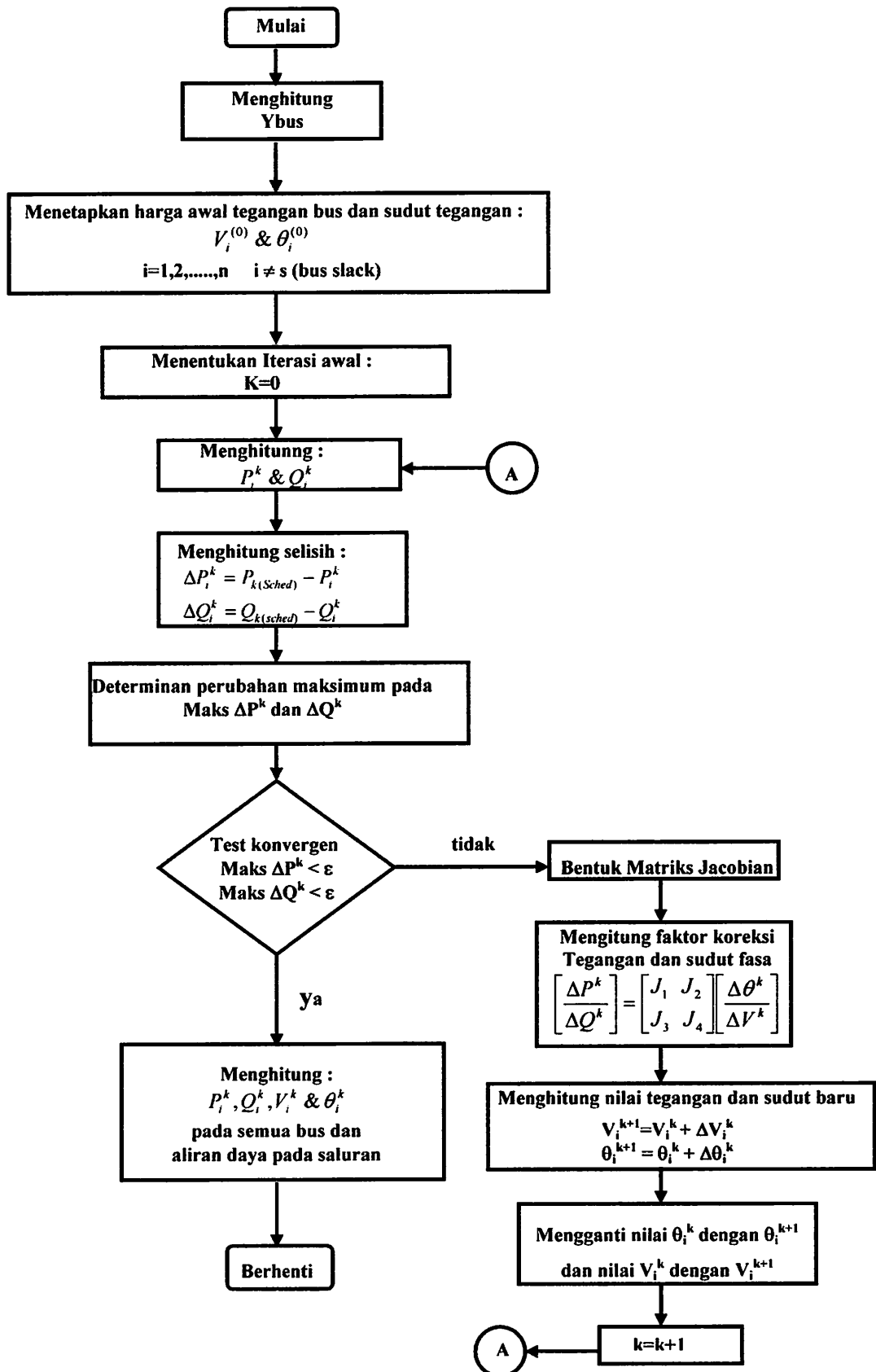
$$F_u = \frac{\partial F}{\partial U} |_{x_0, u_0, p_0}$$

7. Menghitung matrik sensitivitas  $S_u$ , dengan mengalikan negatif dari invers matriks  $F_x$  dengan matrik  $F_u$ .
8. Merumuskan hubungan sensitivitas antara tindakan kontrol dengan variabel yang diatur.

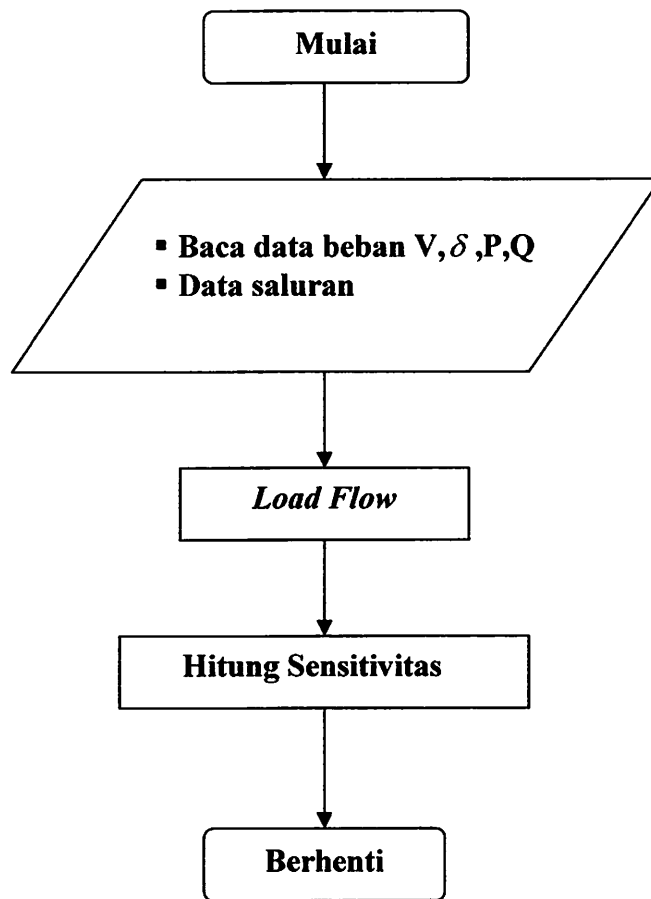
$$\Delta X = S_u \Delta U$$

9. Mencari variabel kontrol yang paling efektif untuk mengatasi pelanggaran tegangan berdasarkan rumusan yang dihasilkan pada langkah 8.
10. Menghitung besar perubahan variabel kontrol yang diperlukan.
11. Diperiksa apakah besar perubahan variabel kontrol masih berada pada batas yang diijinkan, Jika melebihi batas yang diijinkan maka mencari alternatif kontrol lain. Jika tidak melebihi batas maka dilakukan studi aliran daya (kembali ke langkah 3)

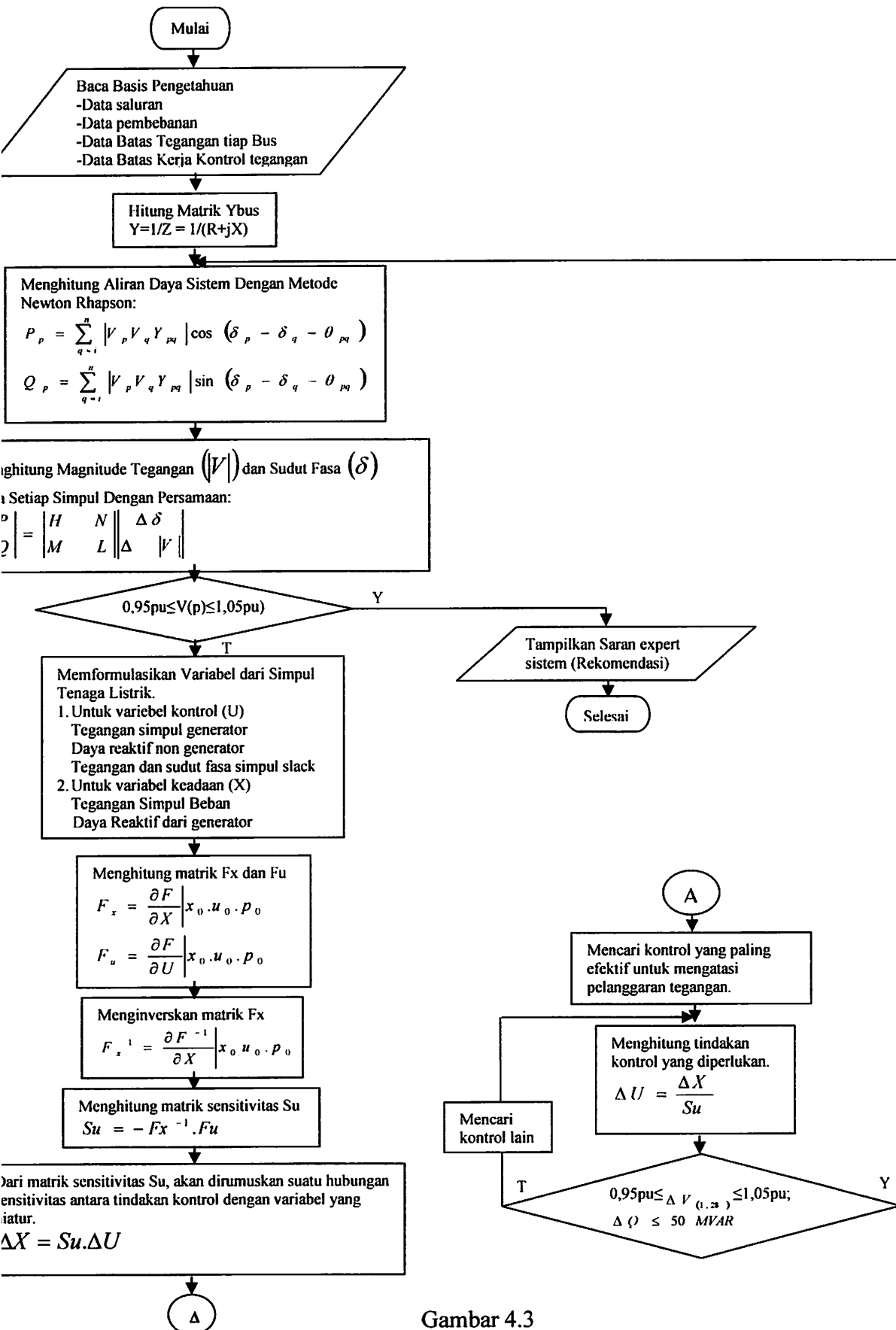
## 4.1.2. Flow Chart Program



Gambar 4.1 Flowchart Perhitungan Aliran Daya Metode Newton Rapshon



Gambar 4.2  
*Flowchart* Perhitungan Faktor Sensitivitas



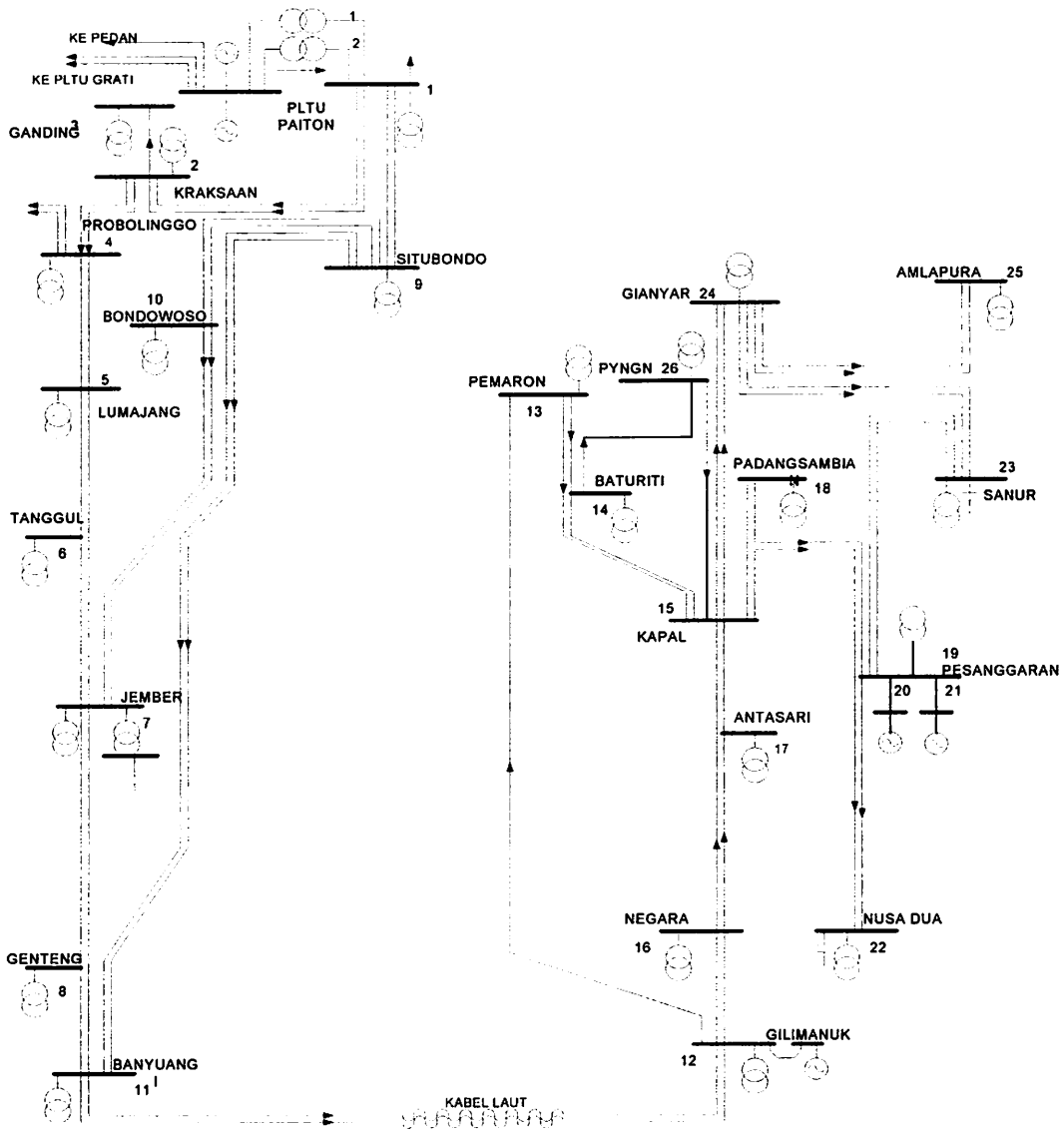
Gambar 4.3  
Flowchart Perhitungan Kontrol Tegangan /Daya Reaktif Dengan Metode  
Network Equivalents – Exspert System



## 4.2. Diagram Segaris Dan Penomoran Bus Jaringan Sistem Tenaga Listrik

### Sub Sistem 150 kV Paiton-Bali

GAMBAR  
SALURAN TRANSMISI 150 KV SUB SISTEM  
PAITON DAN BALI



Sumber : PT. PLN (persero) P3B Jawa-Bali

Gambar 4.4  
Diagram Segaris Jaringan Sistem Tenaga Listrik  
Sub Sistem 150 kV Paiton-Bali

Tabel 4.1  
Penomoran Bus 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali

No. Bus	Nama Bus
1	PAITON
2	KRAKSAAN
3	GENDING
4	PROBOLINGGO
5	LUMAJANG
6	TANGGUL
7	JEMBER
8	GENTENG
9	SITUBONDO
10	BONDOWOSO
11	BANYUWANGI
12	GILIMANUK
13	NEGARA
14	ANTASARI
15	KAPAL
16	BATURITI
17	PEMARON
18	PADANG SAMBIAN
19	PESANGGARAN
20	PLTD PESANGGARAN
21	PLTG PESANGGARAN
22	NUSA DUA
23	SANUR
24	GIANYAR
25	AMLAPURA
26	PANAYANGAN

### 4.3. Data Pembangkitan dan Pembebanan 150 kV Sub Sistem Paiton dan

#### Bali

Berdasarkan data pada referensi (5) maka dilakukan pengolahan data untuk mengubah dasar tegangan ke dalam pu. Serta perhitungan  $P_{load}$  dan  $Q_{load}$ .

Pada bus nomer 1, maka

$$\text{Tegangan dasar} = 150 \text{ kV}$$

$$\text{Tegangan sebenarnya} = 153,6 \text{ kV}$$

$$\text{Tegangan pu} = \frac{\text{Tegangan sebenarnya}}{\text{Tegangan dasar}}$$

$$\text{Tegangan pu} = \frac{153,6}{150} = 1,024$$

$$P_{beban} = 16 + 48,4 = 64 \text{ MW}$$

$$Q_{beban} = 6,5 \text{ MVAR}$$

Tabel 4.2  
 Data Pembangkitan dan Pembebanan  
 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali  
 Tanggal 7 Januari 2006, Pukul : 19:30 WIB

No	Nama Bus	Tegangan (pu)	Pgenerator (MW)	Qgenerator (MVAR)	Pload (MW)	Qload (MVAR)	Tipe
1	PAITON	1,024	-	-	64	6,5	1
2	KRAKSAN	-	-	-	14	5	3
3	GENDING	-	-	-	19,2	19,6	3
4	PROBOLINGGO	-	-	-	37,9	16	3
5	LUMAJANG	-	-	-	36,7	15	3
6	TANGGUL	-	-	-	27	10	3
7	JEMBER	-	-	40	65,5	28	3
8	GENTENG	-	-	-	40,5	20	3
9	SITUBONDO	-	-	-	23	4,5	3
10	BONDOWOSO	-	-	-	18	6,5	3
11	BANYUWANGI	-	-	-	36	14	3
12	GILIMANUK	0,986	99,9	-	6,2	2,0	2
13	NEGARA	-	-	-	10,8	4,5	3
14	ANTASARI	-	-	-	5,6	2,6	3
15	KAPAL	-	-	50	55,4	16,9	3
16	BATURITI	-	-	-	4,5	0,9	3
17	PEMARON	-	-	-	24	7,5	3
18	PDG SAMBIAN	-	-	-	31,2	12,5	3
19	PESANGGARAN	-	-	-	73,3	28,3	3
20	PLTD PSGRAN	0,93	22,0	-	-	-	2
21	PLTG PSGRAN	0,93	68,0	-	-	-	2
22	NUSADUA	-	-	25	45,5	15,9	3
23	SANUR	-	-	25	46,8	14,8	3
24	GIANYAR	-	-	-	31,6	10,9	3
25	AMLAPURA	-	-	-	12,3	6,0	3
26	PANAYANGAN	-	-	-	11,7	3,1	3

Ket: 1 : bus slack  
 2 : bus generator  
 3 : bus beban

#### 4.4. Data Saluran Transmisi 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali

Pada sub sistem Paiton Bali terdiri dari 26 bus dan 36 saluran transmisi, dalam hal ini saluran transmisi yang dibahas adalah saluran transmisi 150 kV.

Berdasarkan pada referensi (5), maka dilakukan pengolahan data untuk saluran dengan jumlah sirkit 2, sebagai contoh pada hubungan saluran 1-2 dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{0,0105 \times 0,0105}{0,0105 + 0,0105} = \frac{1,1025 \times 10^{-4}}{0,021} = 0,0053 pu$$

$$X = \frac{X_1 \times X_2}{X_1 + X_2} = \frac{0,0359 \times 0,0359}{0,0359 + 0,0359} = \frac{1,2888 \times 10^{-3}}{0,0718} = 0,0179 pu$$

$$B = \frac{B_1 \times B_2}{B_1 + B_2} = \frac{0,0130 \times 0,0130}{0,0130 + 0,0130} = \frac{1,69 \times 10^{-4}}{0,026} = 0,0065 pu$$

Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan seperti langkah diatas, sehingga didapatkan hasil seperti berikut :

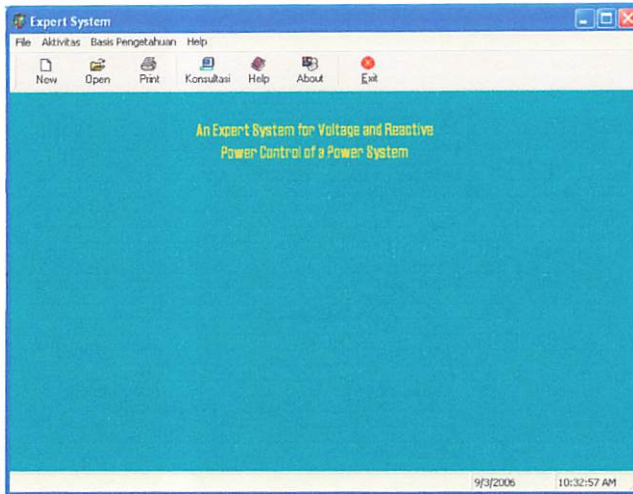
Tabel 4.3  
Data Saluran Transmisi 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali

No	Hubungan Bus	Jumlah Sirkuit	R (pu)	X (pu)	B (pu)
1	1 – 2	2	0,0053	0,0179	0,0065
2	1 – 9	2	0,0048	0,0346	0,0251
3	2 – 3	1	0,01	0,0340	0,0123
4	2 – 4	2	0,0079	0,0269	0,0097
5	4 – 5	2	0,0135	0,0460	0,0166
6	5 – 6	1	0,0167	0,0571	0,0206
7	5 – 7	1	0,0315	0,1077	0,0389
8	6 – 7	1	0,0148	0,0506	0,0183
9	7 – 8	1	0,0337	0,1151	0,0415
10	7 – 10	2	0,0104	0,0353	0,0128
11	7 – 11	1	0,0430	0,1469	0,0530
12	8 – 11	1	0,0177	0,0604	0,0218
13	9 – 10	2	0,0091	0,0310	0,0112
14	9 – 11	2	0,0966	0,0457	0,0340
15	11 – 12	2	0,0016	0,0035	-
16	12 – 13	2	0,0116	0,0034	0,0124
17	12 – 17	1	0,0399	0,1314	0,0502
18	13 – 14	1	0,0270	0,0783	0,0288
19	13 – 15	1	0,0412	0,1194	0,0439
20	14 – 15	1	0,0142	0,0411	0,0151
21	15 – 16	1	0,0362	0,0693	0,0240
22	15 – 17	1	0,0556	0,1054	0,0369
23	15 – 18	1	0,0105	0,0304	0,0112
24	15 – 19	1	0,0105	0,0304	0,0112
25	15 – 22	1	0,0293	0,0561	0,0195
26	15 – 24	2	0,0059	0,0170	0,0063
27	15 – 26	1	0,0132	0,0383	0,0141
28	16 – 17	1	0,0194	0,0371	0,0129
29	16 – 26	1	0,0171	0,0494	0,0182
30	18 – 19	1	0,0045	0,0130	0,0048
31	19 – 20	1	0,0020	0,0244	-
32	19 – 21	1	0,0020	0,0056	-
33	19 – 22	1	0,0127	0,0243	0,0084
34	19 – 23	2	0,0037	0,0070	0,0025
35	23 – 24	2	0,0078	0,0149	0,0052
36	24 – 25	2	0,0103	0,0298	0,0110

#### 4.5. Prosedur Pelaksanaan Program Perhitungan

Prosedur menjalankan program perhitungan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 7.0 dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Tampilan utama dari program.



Gambar 4.5  
Tampilan Utama Program

2. Tekan open untuk membuka data yang sudah tersimpan.



Gambar 4.6  
Tampilan Masukan Data

3. Kemudian tekan open untuk membuka data

Tampilan Basis Pengetahuan

Data File | Saluran | Pembebanan | Limit Alat Control

Detail File

Jumlah Bus: 26

Jumlah Saluran: 36

Tegangan Dasar: 150 kV

Daya Dasar: 100 MVA

Impedansi: pu

Edit Data | Next | Close

Gambar 4.7  
Tampilan Data Bus

4. Kemudian tekan tombol data saluran

Tampilan Basis Pengetahuan

Data File | Saluran | Pembebanan | Limit Alat Control

Ho	Asal	Tujuan	R	X	LC	TR
1	1	2	0.0053	0.0179	0.013	0
2	1	9	0.0477	0.0346	0.0502	0
3	2	3	0.01	0.034	0.0062	0
4	2	4	0.0079	0.0269	0.0194	0
5	4	5	0.0135	0.046	0.0332	0
6	5	6	0.0167	0.0571	0.0103	0
7	5	7	0.0315	0.1077	0.0194	0
8	6	7	0.0148	0.0506	0.0092	0
9	7	8	0.0337	0.0151	0.0208	0
10	7	10	0.0104	0.0353	0.0255	0
11	7	11	0.043	0.1469	0.0263	0

Sheet1

Edit Data | Next | Close

Gambar 4.8  
Tampilan Data Saluran



5. Kemudian tekan data pembebanan

No	V pu	Sudut deg	P gen	Q gen	P load	Q load	Type
1	1.03	0	0	0	64	6.5	
2	1	0	0	0	14	5	
3	1	0	0	0	19.2	19.6	
4	1	0	0	0	37.9	16	
5	1	0	0	0	36.7	15	
6	1	0	0	0	27	10	
7	1	0	0	40	65.5	28	
8	1	0	0	0	40.5	20	
9	1	0	0	0	23	4.5	
10	1	0	0	0	18	6.5	

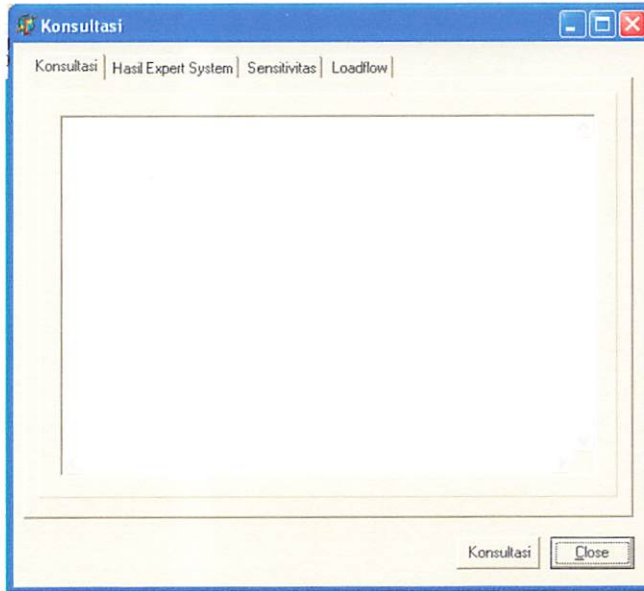
Gambar 4.9  
Tampilan Data Pembebanan

6. Tekan limit Alat Control untuk mengetahui batas atas maupun bawah dari kontrol tersebut.

No	Bus	Alat Control	Limit Control	
			Lower	Upper
1	7	Capacitor	0	50
2	12	Generator	-100	100
3	15	Capacitor	0	100
4	20	Generator	-60	50
5	21	Generator	-75	75
6	22	Capacitor	0	50
7	23	Capacitor	0	50

Gambar 4.10  
Tampilan Lmit Alat Control

7. Tekan next kemudian muncul tampilan konsultasi, kemudian tekan Konsultasi



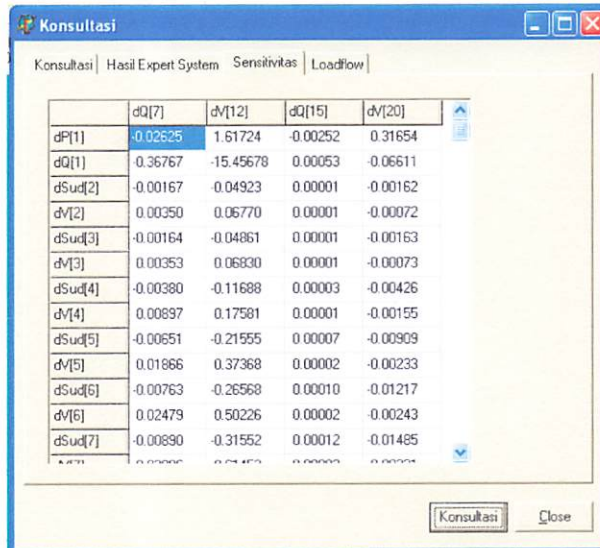
Gambar 4.11  
Tampilan Kondisi Awal Sebelum Konsultasi

8. Setelah tekan tombol konsultasi, kemudian tekan tombol Hasil Expert System, untuk mengetahui Tegangan Bus sebelum dan sesudah Konsultasi.

Tegangan Bus sebelum Konsultasi			Tegangan Bus setelah konsultasi		
Bus	Tegangan [pu]	Sudut [derajat]	Bus	Tegangan [pu]	Sudut [derajat]
1	1.030	0.000	1	1.030	0.000
2	1.008	-2.284	2	1.010	-2.375
3	1.000	-2.548	3	1.001	-2.637
4	0.986	-5.450	4	0.991	-5.666
5	0.964	-10.151	5	0.974	-10.554
6	0.957	-12.750	6	0.971	-13.251
7	0.961	-14.285	7	0.978	-14.881
8	0.947	-15.845	8	0.967	-16.623
9	0.936	-11.067	9	0.950	-11.887
10	0.946	-12.774	10	0.961	-13.486
11	0.987	-17.212	11	1.014	-18.000
12	0.990	-17.748	12	1.019	-18.560
13	0.975	-21.413	13	1.013	-22.165

Gambar 4.12  
Tampilan Hasil Expert System, Tegangan Bus Sebelum dan Sesudah Konsultasi

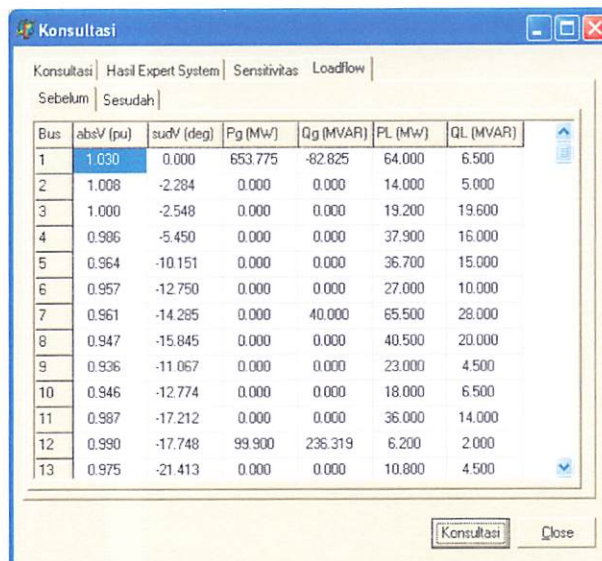
9. Tekan tombol *Sensitivitas*, untuk mengetahui faktor sensitivitas dari pengganti kerugian tegangan.



	dQ[7]	dV[12]	dQ[15]	dV[20]
dP[1]	-0.02625	1.61724	-0.00252	0.31654
dQ[1]	0.36767	-15.45678	0.00053	-0.06611
dSud[2]	-0.00167	0.04923	0.00001	-0.00162
dV[2]	0.00350	0.06770	0.00001	-0.00072
dSud[3]	-0.00164	-0.04861	0.00001	-0.00163
dV[3]	0.00353	0.06830	0.00001	-0.00073
dSud[4]	-0.00380	-0.11688	0.00003	-0.00426
dV[4]	0.00897	0.17581	0.00001	-0.00155
dSud[5]	-0.00651	-0.21555	0.00007	-0.00909
dV[5]	0.01866	0.37368	0.00002	-0.00233
dSud[6]	-0.00763	-0.26568	0.00010	-0.01217
dV[6]	0.02479	0.50226	0.00002	-0.00243
dSud[7]	-0.00890	-0.31552	0.00012	-0.01485

Gambar 4.13  
Tampilan Sensitivitas

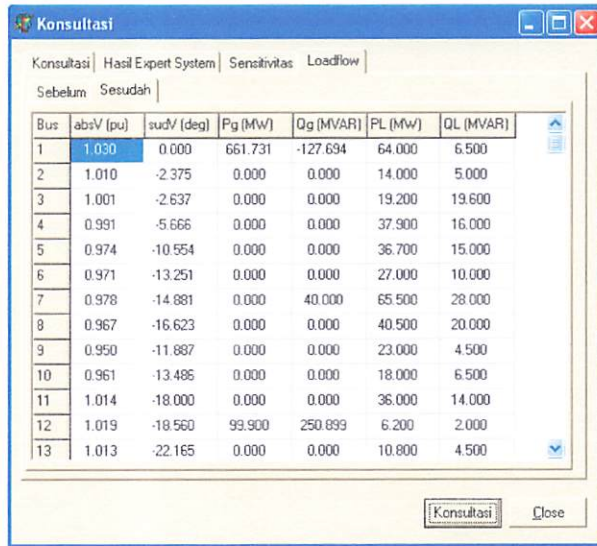
10. Tekan *LoadFlow*, untuk mengetahui Kondisi Aliran Daya Sebelum Konsultasi



Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	PL (MW)	QL (MVAR)
1	1.030	0.000	653.775	-82.825	64.000	6.500
2	1.008	-2.284	0.000	0.000	14.000	5.000
3	1.000	-2.548	0.000	0.000	19.200	19.600
4	0.986	-5.450	0.000	0.000	37.900	16.000
5	0.964	-10.151	0.000	0.000	36.700	15.000
6	0.957	-12.750	0.000	0.000	27.000	10.000
7	0.961	-14.295	0.000	40.000	65.500	28.000
8	0.947	-15.845	0.000	0.000	40.500	20.000
9	0.936	-11.067	0.000	0.000	23.000	4.500
10	0.946	-12.774	0.000	0.000	18.000	6.500
11	0.987	-17.212	0.000	0.000	36.000	14.000
12	0.990	-17.748	99.900	236.319	6.200	2.000
13	0.975	-21.413	0.000	0.000	10.800	4.500

Gambar 4.14  
Tampilan *Loadflow* Sebelum Konsultasi

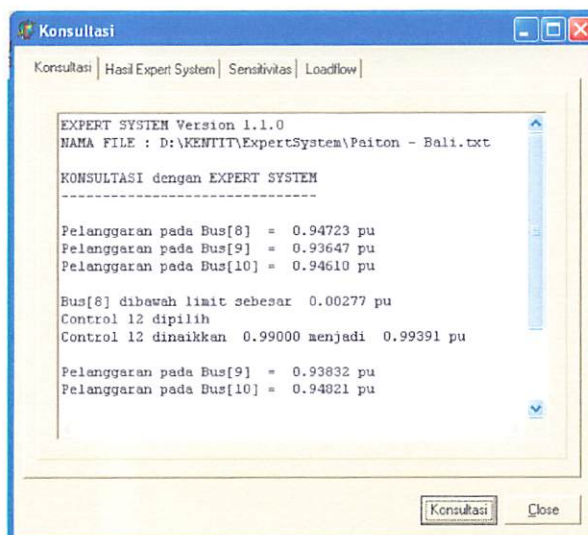
11. Kemudian tekan *LoadFlow*, untuk mengetahui Kondisi Aliran Daya Sesudah Konsultasi



Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	PL (MW)	QL (MVAR)
1	1.030	0.000	661.731	-127.694	64.000	6.500
2	1.010	-2.375	0.000	0.000	14.000	5.000
3	1.001	-2.637	0.000	0.000	19.200	19.600
4	0.991	-5.666	0.000	0.000	37.900	16.000
5	0.974	-10.554	0.000	0.000	36.700	15.000
6	0.971	-13.251	0.000	0.000	27.000	10.000
7	0.978	-14.881	0.000	40.000	65.500	28.000
8	0.967	-16.623	0.000	0.000	40.500	20.000
9	0.950	-11.887	0.000	0.000	23.000	4.500
10	0.961	-13.486	0.000	0.000	18.000	6.500
11	1.014	-18.000	0.000	0.000	36.000	14.000
12	1.019	-18.560	99.900	250.899	6.200	2.000
13	1.013	-22.165	0.000	0.000	10.800	4.500

Gambar 4.15  
Tampilan hasil *Load Flow* pada kondisi Sesudah Konsultasi

12. Kemudian tekan tombol *Konsultasi*, untuk melihat Hasil Konsultasi yang diberikan oleh Program *Expert System*



```

Konsultasi | Hasil Expert System | Sensitivitas | Loadflow |
Sebelum | Sesudah |
-----
EXPERT SYSTEM Version 1.1.0
NAMA FILE : D:\KEMITIT\ExpertSystem\Paition - Bali.txt

KONSULTASI dengan EXPERT SYSTEM
-----

Pelanggaran pada Bus[8] = 0.94723 pu
Pelanggaran pada Bus[9] = 0.93647 pu
Pelanggaran pada Bus[10] = 0.94610 pu

Bus[8] dibawah limit sebesar 0.00277 pu
Control 12 dipilih
Control 12 dinaikkan 0.99000 menjadi 0.99391 pu

Pelanggaran pada Bus[9] = 0.93832 pu
Pelanggaran pada Bus[10] = 0.94821 pu
  
```

Gambar 4.16  
Tampilan Hasil Akhir dari Konsultasi Program *Expert System*

#### 4.6. Hasil dan Analisis Hasil Perhitungan Konsultasi Tegangan Daya Reaktif Menggunakan Metode *Network Equivalens – Expert System* Pada Saluran Transmisi 150 kV Sub Sistem Paiton dan Bali

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, variasi tegangan yang diizinkan adalah sebesar  $5\% \leq V \leq 5\%$  dari harga nominalnya (  $0.95 \text{ pu} - 1.05 \text{ pu}$  ). Bila harga tegangan melebihi atau turun dari batas ini, maka sistem ini dinyatakan dalam keadaan darurat. Keadaan demikian tidak boleh dibiarkan, karena dapat mengganggu kelangsungan penyaluran tenaga listrik. Oleh karena itu diperlukan tindakan pengaturan guna mengembalikan harga tegangan kebatas normalnya.

##### 4.6.1. Hasil Perhitungan Sebelum Konsultasi

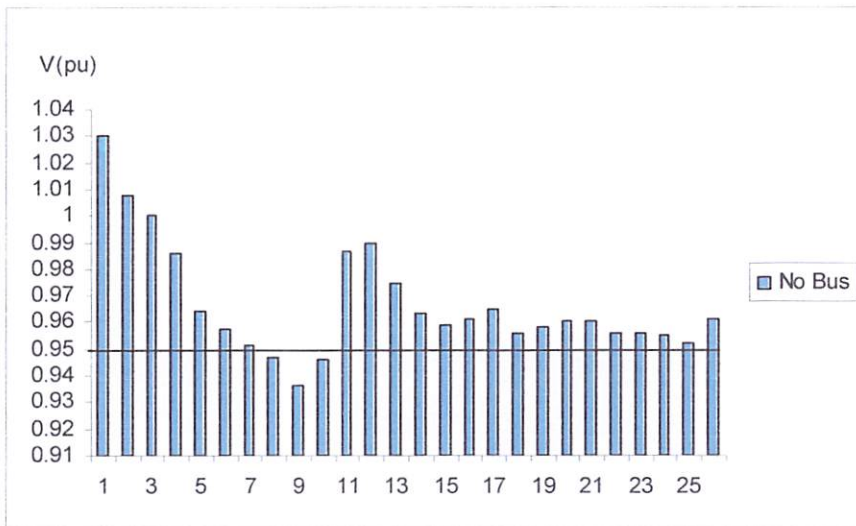
Tabel 4.4

Hasil Perhitungan Tegangan, Sudut Tegangan, Pembangkitan Dan Pembebanan Sebelum Konsultasi

No. Bus	Tegangan (pu)	Sudut Tegangan (deg)	Pembangkitan		Pembebanan	
			Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	1,030	0,00000	653,775	-82,825	64,000	6,500
2	1,008	-2,284	0,000	0,000	14,000	5,000
3	1,000	-2,548	0,000	0,000	19,200	19,600
4	0,986	-5,450	0,000	0,000	37,900	16,000
5	0,964	-10,151	0,000	0,000	36,700	15,000
6	0,957	-12,750	0,000	0,000	27,000	10,000
7	0,951	-14,285	0,000	40,000	65,500	28,000
8	0,947	-15,845	0,000	0,000	40,500	20,000
9	0,936	-11,067	0,000	0,000	23,000	4,500
10	0,946	-12,774	0,000	0,000	18,200	6,500
11	0,987	-17,212	0,000	0,000	36,000	14,000
12	0,990	-17,748	99,900	236,319	6,200	2,000
13	0,975	-21,413	0,000	0,000	10,800	4,500
14	0,963	-25,604	0,000	0,000	5,600	2,400
15	0,959	-27,698	0,000	50,000	55,400	16,900
16	0,961	-26,643	0,000	0,000	4,500	0,900
17	0,965	-25,598	0,000	0,000	24,000	7,500
18	0,956	-28,306	0,000	0,000	31,200	12,500
19	0,958	-28,347	0,000	0,000	73,300	28,300
20	0,960	-28,333	22,000	36,575	0,000	0,000
21	0,960	-28,125	68,000	12,431	0,000	0,000
22	0,956	-28,563	0,000	25,000	45,500	15,900
23	0,956	-28,494	0,000	25,000	46,800	14,800
24	0,955	-28,311	0,000	0,000	31,600	10,900
25	0,952	-28,516	0,000	0,000	12,300	6,000
26	0,961	-27,133	0,000	0,000	11,700	3,100

Tabel 4.5  
Total Pembangkitan, Pembebanan dan Rugi-rugi Saluran Sebelum Konsultasi

Pembangkitan		Pembebanan		Rugi-rugi	
Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
843,675	342,5	740,7	270,8	102,775	71,7



Grafik 4.1  
Besarnya Tegangan Pada Tiap Simpul Pada Kondisi Sebelum Konsultasi Dengan Program Expert System

## 4.6.2. Hasil Perhitungan Matrik Sensitivitas

Tabel 4.6  
Hasil Perhitungan Matrik Sensitivitas

	dV(7)	dV(12)	dV(15)	dV(20)
dP(1)	-0.02625	1.61724	-0.00252	0.31654
dQ(1)	-0.36737	-15.45678	0.00053	-0.06611
dSud(2)	-0.00167	-0.04923	0.00001	-0.00162
dV(2)	0.00350	0.06770	0.00001	-0.00072
dSud(3)	-0.00164	-0.04861	0.00001	-0.00163
dV(3)	0.00353	0.06830	0.00001	-0.00073
dSud(4)	-0.00380	-0.11688	0.00003	-0.00426
dV(4)	0.00897	0.17581	0.00001	-0.00155
dSud(5)	-0.00651	-0.21555	0.00007	-0.00909
dV(5)	0.01866	0.37368	0.00002	-0.00233
dSud(6)	-0.00763	-0.26568	0.00010	-0.01217
dV(6)	0.02479	0.50226	0.00002	-0.00243
dSud(7)	-0.00890	-0.31552	0.00012	-0.01485
dV(7)	0.03006	0.61452	0.00002	-0.00231
dSud(8)	-0.00223	-0.41922	0.00014	-0.01775
dV(8)	0.02340	0.70801	0.00003	-0.00318
dSud(9)	-0.00348	-0.45959	0.00011	-0.01324
dV(9)	0.00928	0.45958	0.00004	-0.00509
dSud(10)	-0.00622	-0.38981	0.00011	-0.01407
dV(10)	0.01897	0.54189	0.00003	-0.00382
dSud(11)	0.00355	-0.41448	0.00017	-0.02185
dV(11)	0.00186	0.95476	0.00000	-0.00027
dSud(12)	0.00481	-0.42690	0.00018	-0.02281
dQ(12)	-0.71101	30.77875	-0.17454	-7.63043
dSud(13)	0.00481	-0.19973	-0.00092	-0.07565
dV(13)	-0.00000	0.73131	0.00389	0.16226
dSud(14)	0.00481	0.02236	-0.00160	-0.11184
dV(14)	-0.00000	0.38340	0.00860	0.35925
dSud(15)	0.00481	0.11796	-0.00171	-0.12066
dV(15)	-0.00000	0.18921	0.01108	0.46384
dSud(16)	0.00481	0.03184	-0.00121	-0.09698
dV(16)	-0.00000	0.31952	0.00946	0.39601
dSud(17)	0.00481	-0.03271	-0.00094	-0.08326
dV(17)	-0.00000	0.41533	0.00818	0.34262
dSud(18)	0.00481	0.16764	0.00120	-0.13446
dV(18)	-0.00000	0.08372	0.00490	0.51963
dSud(19)	0.00481	0.18822	0.00241	-0.14448
dV(19)	-0.00000	0.03669	0.00215	-0.54248
dSud(20)	0.00481	0.20562	0.00343	-0.36303
dQ(20)	-0.00000	-8.00375	-0.46884	100.29645
dSud(21)	0.00481	0.20173	0.00330	0.05532
dQ(21)	-0.00000	-6.28076	-0.36791	-92.86849
dSud(22)	0.00481	0.16290	0.00093	-0.12674
dV(22)	-0.00000	0.09670	0.00566	0.51305
dSud(23)	0.00481	0.17648	0.00172	-0.13544
dV(23)	-0.00000	0.06447	0.00378	0.52961
dSud(24)	0.00481	0.15012	0.00018	-0.12549
dV(24)	-0.00000	0.12344	0.00723	0.50084
dSud(25)	0.00481	0.15099	0.00023	-0.12197
dV(25)	-0.00000	0.12394	0.00736	0.50287
dSud(26)	0.00481	0.02789	0.00093	-0.08562
dV(26)	-0.00000	0.02569	0.01001	0.41954

### 4.6.3. Hasil Perhitungan Setelah Konsultasi

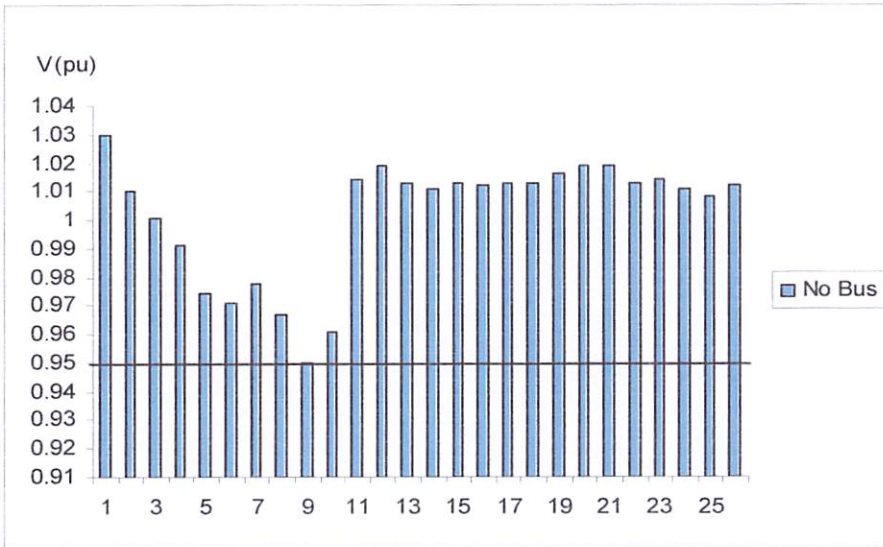
Tabel 4.7  
Hasil Perhitungan Tegangan, Sudut Tegangan, Pembangkitan Dan  
Pembebanan Setelah Konsultasi

No. Bus	Tegangan (pu)	Sudut Tegangan (deg)	Pembangkitan		Pembebanan	
			Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	1,030	-0,000	656,731	-82,825	64,000	6,500
2	1,010	-2,375	0,000	0,000	14,000	5,000
3	1,001	-2,367	0,000	0,000	19,200	19,600
4	0,991	-5,666	0,000	0,000	37,900	16,000
5	0,974	-10,554	0,000	0,000	36,700	15,000
6	0,971	-13,251	0,000	0,000	27,000	10,000
7	0,978	-14,881	0,000	40,000	65,500	28,000
8	0,967	-16,623	0,000	0,000	40,500	20,000
9	0,950	-11,887	0,000	0,000	23,000	4,500
10	0,961	-13,486	0,000	0,000	18,000	6,500
11	1,014	-18,000	0,000	0,000	36,000	14,000
12	1,019	-18,560	99,900	250,899	6,200	2,000
13	1,013	-22,165	0,000	0,000	10,800	4,500
14	1,011	-26,207	0,000	0,000	5,600	2,400
15	1,013	-28,199	0,000	50,000	55,400	16,900
16	1,012	-27,147	0,000	0,000	4,500	0,900
17	1,013	-26,125	0,000	0,000	24,000	7,500
18	1,013	-28,806	0,000	0,000	31,200	12,500
19	1,016	-28,869	0,000	0,000	73,300	28,300
20	1,019	-28,879	22,000	57,151	0,000	0,000
21	1,019	-28,690	68,000	28,567	0,000	0,000
22	1,013	-29,028	0,000	25,000	45,500	15,900
23	1,014	-28,984	0,000	25,000	46,800	14,800
24	1,011	-28,788	0,000	0,000	31,600	10,900
25	1,008	-28,973	0,000	0,000	12,300	6,000
26	1,012	-27,578	0,000	0,000	11,700	3,100



Tabel 4.8  
Total Pembangkitan, Pembebanan dan Rugi-rugi Saluran Setelah Konsultasi

Pembangkitan		Pembebanan		Rugi-rugi	
Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
846,631	338,923	740,7	270,8	105,931	68,123



Grafik 4.1  
Besarnya Tegangan Pada Tiap Simpul Pada Kondisi Setelah Konsultasi Dengan Program Expert System

#### 4.7. Perbandingan Hasil Perhitungan Sebelum dan Setelah Konsultasi Daya Reaktif Menggunakan Metode *Network Equivalens – Expert System*

Dari semua hasil perhitungan diatas maka bisa dibuat tabel-tabel perbandingan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

##### 4.7.1. Perbandingan Tingkat Tegangan dan Sudut Tegangan Pada Tiap Bus

Berikut ini adalah tabel perbandingan tingkat tegangan dan sudut tegangan pada tiap bus :

Tabel 4.9  
Perbandingan Tingkat Tegangan dan Sudut Tegangan Pada Tiap Bus

No.	Sebelum Konsultasi		Sesudah Konsultasi	
	Tegangan (pu)	Sudut Tegangan (deg)	Tegangan (pu)	Sudut Tegangan (deg)
1	1,030	0,000	1,030	0,000
2	1,008	-2,284	1,010	-2,375
3	1,000	-2,548	1,001	-2,637
4	0,986	-5,450	0,991	-5,666
5	0,964	-10,151	0,991	-10,554
6	0,957	-12,750	0,974	-13,251
7	0,961	-14,285	0,978	-14,881
8	0,947	-15,845	0,967	-16,623
9	0,936	-11,067	0,950	-11,887
10	0,946	-12,774	0,961	-13,486
11	0,987	-17,212	1,014	-18,000
12	0,996	-17,748	1,019	-18,560
13	0,975	-21,413	1,013	-22,165
14	0,963	-25,604	1,011	-26,207
15	0,959	-27,698	1,013	-28,199
16	0,961	-26,643	1,012	-27,147
17	0,961	-25,598	1,013	-26,125
18	0,965	-28,306	1,013	-28,803
19	0,958	-28,347	1,016	-28,869
20	0,960	-28,333	1,019	-28,879
21	0,960	-28,125	1,019	-28,690
22	0,956	-28,563	1,013	-29,028
23	0,956	-28,494	1,014	-28,984
24	0,955	-28,311	1,011	-28,788
25	0,952	-28,156	1,008	-28,973
26	0,961	-27,133	1,012	-27,579

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa tegangan pada tiap bus setelah dilakukan konsultasi masih dalam batas yang diijinkan yaitu antara -5% sampai +5% dari tegangan nominal. Sedangkan sudut tegangan setelah konsultasi menjadi lebih baik.

#### 4.7.2. Perbandingan Pembangkitan Daya Aktif dan Reaktif Sebelum dan Setelah Konsultasi Pada Tiap Bus

Berikut ini adalah tabel perbandingan pembangkitan daya aktif dan reaktif sebelum dan setelah optimasi pada tiap bus

Tabel 4.10  
Perbandingan Pembangkitan Daya Aktif dan Reaktif Sebelum dan Setelah Konsultasi Pada Tiap Bus

No.	Sebelum Konsultasi		Sesudah Konsultasi	
	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVar)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVar)
1	653,775	-82,825	656,731	-137,694
2	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	40,000	0,000	40,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,000	0,000	0,000	0,000
12	99,900	236,319	99,900	250,899
13	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000	50,000
16	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,000	0,000	0,000	0,000
18	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,000	0,000	0,000	0,000
20	22,000	36,575	22,000	57,151
21	68,000	12,431	68,000	28,567
22	0,000	25,000	0,000	25,000
23	0,000	25,000	0,000	25,000
24	0,000	0,000	0,000	0,000
25	0,000	0,000	0,000	0,000
26	0,000	0,000	0,000	0,000

Hasil saran Expert System dapat dilihat didawah ini :

### **KONSULTASI dengan EXPERT SYSTEM**

---

**Pelanggaran pada Bus (8) = 0.94723 pu**

**Pelanggaran pada Bus (9) = 0.93647 pu**

**Pelanggaran pada Bus (10) = 0.94610 pu**

**Bus (8) dibawah limit sebesar 0.00227 pu**

**Control 12 dipilih**

**Control 12 dinaikkan 0.99000 menjadi 0.99939 pu**

**Pelanggaran pada Bus (9) = 0.93832 pu**

**Pelanggaran pada Bus (10) = 0.94821 pu**

**Bus (9) dibawah limit sebesar 0.01168 pu**

**Control 12 dipilih**

**Control 12 dinaikkan 0.99391 menjadi 1.01867 pu**

**Seluruh pelanggaran telah diatasi.**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

1. Setelah dianalisa dengan menggunakan aliran daya Newton – Rhapson berdasarkan data beban puncak sistem 150 kV Paiton-Bali pada tanggal 7 Januari 2006 pukul 19.30 WIB terdapat 3 bus yang mengalami pelanggaran tegangan karena nilainya berada dibawah batas minimum tegangan yang diijinkan yaitu  $0.95 \text{ pu} \leq 1.05 \text{ pu}$  ( $\pm 5\%$ ). Bus – bus tersebut adalah bus Genteng, Situbondo, Bondowoso yang masing-masing 5.2%, 6.3% ,5.3% dibawah tegangan nominalnya. Sedangkan rugi-rugi totalnya  $102.775 + j 71.7 \text{ MVA}$ .
2. Dengan analisa sensitivitas kontrol 12 dipilih secara bertahap untuk menaikkan tegangannya menjadi 1.01867 pu karena kontrol 12 memiliki nilai sensitivitas paling tinggi.
3. Dengan analisa Expert System seluruh pelanggaran tegangan dapat diatasi atau tegangan berada pada batas yang diijinkan ( $0.95 \text{ pu} \leq V \leq 1.05 \text{ pu}$ ), dan pada tabel 4.5 (total pembangkitan, pembebanan, rugi-rugi saluran setelah konsultasi) jumlah rugi-rugi mengalami sedikit kenaikan yaitu ( $105.931 + j 68.123 \text{ MVA}$ ). Dibanding pada tabel 4.5 yang rugi-rugi totalnya yaitu ( $102.775 + j 771.7$ ).

## 5.2. Saran

1. Selain untuk menganalisa masalah pengaturan tegangan dan daya reaktif, penggunaan Expert System perlu juga dikembangkan untuk studi-studi yang berhubungan dengan penyaluran daya yang ekonomis dan masalah optimasi.
2. Untuk menguji kemampuan Expert System yang telah dibahas perlu dilakukan pengujian-pengujian lagi dengan berbagai banyak bus, saluran, dan pembebanan, sehingga efektifitas metode ini dapat digunakan untuk aplikasi pengaturan tegangan dan daya reaktif dalam berbagai studi kasus sistem tenaga listrik.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Tan loc lee, M. Negnevitsky, M. piekutowski, "***Network Equivalentents and Expert System Application for Voltage and VAR Control in Large Scale Power System***", IEEE Trans. On Power system, Vol. 12, No. 4, November 1997, pp 1440-1445.
2. William D. Stevenson, "***Analisis Sistem Tenaga Listrik***", Edisi keempat penerbit Erlangga, 1996.
3. Djiteng Marsudi. Ir, "***Operasi system Tenaga Listrik***", Balai Penerbit dan Humas ISTN, 1990.
4. Zuhail, "***Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika daya***", PT. Gramedia Utama, 1995, Jakarta.
5. PT. PLN (PERSERO) P3B Region Jawa Timur Dan Bali, "***Evaluasi Operasi Sistem Tenaga Listrik Jawa Timur Dan Bali***", Januari 2006
6. Sulasno. Ir, "***Analisis Sistem Tenaga Elektrik***", Penerbit Satya Wacana, 1993, Semarang.

# LAMPIRAN





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
KONSENTRASI ENERGI LISTRIK

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**

Nama : NUR WIDIARTO  
N.I.M : 00.12.127  
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO  
Konsentrasi : ENERGI LISTRIK  
Judul Skripsi : **ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF  
DENGAN METODE NETWORK EQUIVALENS-EXPERT  
SYSTEM PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV SUB -  
SISTEM PAITON - BALI**

Dipertahankan dihadapan majelis penguji jenjang strata satu (S-1),

Hari : Kamis

Tanggal : 21 September 2006

Nilai : 78,7 (B+)



Ketua

Ir. Mochtar Asroni, MSME  
NIP.Y. 101 810 0036

Panitia Ujian

Sekretaris

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP.Y. 103 950 0274

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. Eko Nurcahyo  
NIP.Y. 102 870 0172

Penguji II

Ir. Taufik Hidayat, MT  
NIP.Y. 101 870 0151



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Kamis  
Tanggal : 21 September 2006

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :


Nama : NUR WIDIARTO  
NIM : 00.12.127  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Judul Skripsi : **ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF DENGAN METODE NETWORK EQUIVALENS - EXPERT SYSTEM PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV SUB-SISTEM PAITON - BALI**

Perbaikan meliputi:

No	Materi Perbaikan	Keterangan
1.	Tambahkan rumusan perhitungan untuk menjadi pu Parameter (V,R,X,B)	<i>Alh</i>
2.	Data saluran transmisi Paiton Bali	<i>Alh</i>
3.	Tambahkan definisi sensitivitas	<i>Alh</i>
4.	Kesimpulan 3 diambil dari tabel berapa	<i>Alh</i>

### Anggota Penguji

Penguji Pertama

  
**(Ir. Eko Nurcahyo)**  
NIP.Y. 102 870 072

Penguji Kedua

  
**(Ir. Taufik Hidayat, MT)**  
NIP.Y. 101 870 00151

Dosen Pembimbing

  
**Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
NIP.Y.103 890 0209



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
KONSENTRASI ENERGI LISTRIK

## LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : NUR WIDIARTO  
N.I.M : 00.12.127  
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO  
Konsentrasi : ENERGI LISTRIK  
Judul Skripsi : ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN  
DAYA REAKTIF DENGAN METODE  
NETWORK EQUIVALENS - EXPERT  
SYSTEM PADA SALURAN TRANSMISI 150  
kV SUB - SISTEM PAITON - BALI

Tanggal Mengajukan : 23 Juni 2006  
Tanggal Menyelesaikan : 23 Desember 2006  
Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT.  
Telah Dievaluasi dengan Nilai : 78.75

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP.Y. 103 950 0274

Diperiksa dan Disetujui,  
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT.  
NIP.Y. 103 890 0209



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : NUR WIDIARTO  
Nim : 00.12.127  
Masa Bimbingan : 23 Juni 2006 s/d 23 Desember 2006  
Judul Skripsi : ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF  
DENGAN METODE NETWORK EQUIVALENS – EXPERT  
SYSTEM PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV SUB SISTEM  
PAITON-BALI

No	Tanggal	Uraian	Paraf pembimbing
1	30/06/06	Konsultasi bab I & II	
2	12/07/06	Revisi bab I	
3	26/07/06	Konsultasi bab III	
4	07/08/06	Konsultasi bab IV	
5	28/08/06	Revisi bab IV	
6	30/08/06	Konsultasi bab V	
7	06/09/06	Konsultasi makalah	
8	12/09/06	Acc seminar	
9	18/09/06	Acc ujian	
10			

Malang,  
Dosen Pembimbing

Ir. TEGUH HERBASUKI, MT  
Nip.P : 1038900209



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

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

NI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

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

Malang, 28 Juni 2006

Nomor : ITN-1506/I.TA/2/06  
Lampiran : satu lembar  
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. TEGUH HERBASUKI, MT**  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
di -  
Malang

Dengan Hormat,  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi melalui seminar proposal yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : NUR WIDIARTO  
Nim : 0012127  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro  
Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

Dengan ini pembimbingan skripsi tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada saudara/l selama masa waktu **6 (enam) bulan** terhitung mulai tanggal:

23 Juni 2006 s/d 23 Des. 2006

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro.  
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang kami ucapkan terima kasih



Ketua  
Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Lanpraptono, MT  
Nip. Y. 1039500274

Tindakan :

1. Mahasiswa yang bersangkutan
2. Arsip.

Form. S-4a



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

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

IN (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

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

Nomor : ITN- 1728 /III.TA/2/06  
Lampiran : -  
Perihal : Survey

Malang, 5 Juni 2006

Kepada : Yth. Pimpinan  
PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur - Bali  
Jl.Suningrat No. 45 Taman  
Di - Sidoarjo

Bersama ini dengan hormat kami mohon kebijaksanaan Saudara agar Mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik dapat diijinkan untuk melaksanakan survey pada perusahaan yang saudara pimpin untuk mendapatkan data - data guna penyusunan Skripsi dengan Judul : **Analisa Kontrol Tegangan Dan Daya reaktif Dengan Metode Network Equivalent Expert System Pada Saluran Transmisi 150 KV Sub Sistem Paiton - Bali**

Mahasiswa tersebut Adalah :

Nur Widiarto Nim. 00.12.127

Adapun lamanya Survey adalah : 7 Hari

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



**DEKAN**  
Fakultas Teknologi Industri

**Dr. Mochtar Asroni, MSME**  
Nip. Y.1018100036



**PT PLN (PERSERO)**  
**PENYALURAN DAN PUSAT PENGATUR BEBAN JAWA BALI**  
**REGION JAWA TIMUR & BALI**

Jalan Suningrat No. 45 Taman Sidoarjo 61257

Telpon : (031) 7882113, 7882114

Faksimile : (031) 7882578, 7881024

Website : www.pln-jawa-bali.co.id

E-mail : region4@pln-jawa-bali.co.id

Nomor : 123 /330/RJTB/2006.  
Surat Sdr. No. : ITN-1728/III.TA/2/2006.  
Lampiran : 1 (satu) lampiran.  
Perihal : Ijin Survey/ Pengambilan Data.

25 JUL 2006

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Teknik.  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
Di

MALANG

Menunjuk surat Saudara nomor : ITN-1728/III.TA/2/2006 tanggal 05 Juni 2006 perihal : Survey/ Permintaan Data, dengan ini diberitahukan bahwa kami tidak keberatan untuk memberikan ijin kepada Mahasiswa Saudara, bernama :

• NUR WIDIARTO

Nim : 00.12.172

Untuk melakukan Pengambilan Data pada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali Bidang OPHAR, dengan persyaratan sebagai berikut :

1. Mahasiswa tersebut diatas supaya mengisi dan menanda tangani Surat Pernyataan 1 (satu) lembar bermeterai Rp. 6.000,-
2. Mahasiswa yang bersangkutan agar mematuhi peraturan/ketentuan yang berlaku di PT. PLN (PERSERO) sehingga faktor-faktor kerahasiaan harus benar-benar diutamakan.
3. Semua biaya perjalanan, penginapan, makan dan lain sebagainya tidak menjadi tanggungan PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali.
4. Buku Laporan Kerja Praktek Mahasiswa tersebut agar dikirimkan kepada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali 1 (satu) buah.
5. Untuk informasi lebih lanjut dapat menghubungi PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali Cq. Bidang SDM & ADMINISTRASI.

Demikian harap maklum dan terima kasih atas perhatian saudara.



Tembusan Yth. :

1. M.SDMO PLN P3B.
2. MOPHAR PLN P3B RJTB.
3. Sdr. Nur Widiarto
4. AsMan Operasi



## PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : MUR WIDIARTO  
NIM : 01012127  
Semester : 12  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik  
Alamat : JL. GASAYAMA Gg I 739 JJ

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

Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

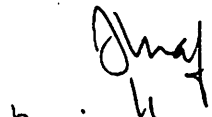
1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah  $\geq 134$  sks dengan IPK  $\geq 2$  dan tidak ada nilai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


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

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas  
Recording Teknik Elektro

Malang, .....2006

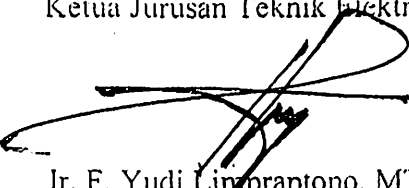
Pemohon


  
(.....)

  
(MUR WIDIARTO)  
(.....)

Disetujui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Mengetahui  
Dosen Wali

  
Ir. F. Yudi Linpraptono, MT  
NIP. P. 1039500274

a/n   
(.....P. Joyo P. .... MT.....)

Catatan :

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1

1. IPK  $\frac{370}{138} = 2.68$
2. ....
3. - 6 praktikum



Lampiran : 1 (satu) berkas  
**Pembimbing skripsi**

Kepada : Yth. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nur widiaro  
Nim : 00.12.127  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping \*), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposol terlampir) :

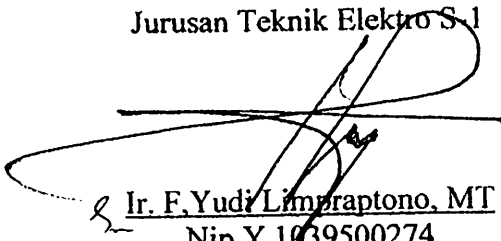
ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF DENGAN METODE NETWORK EQUIVALENS – EXPERT SYSTEM PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV SUB SISTEM PAITON-BALI

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, 26 mei 2006

Ketua  
Jurusan Teknik Elektro S-1

  
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
Nip. Y 1039500274

Hormat kami,



Nur Widiarto

\*) coret yang tidak perlu

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2  
MALANG

---

**PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIBINGAN SKRIPSI**

---

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Nur Widiarto  
Nim : 00.12.127  
Semester : 12  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

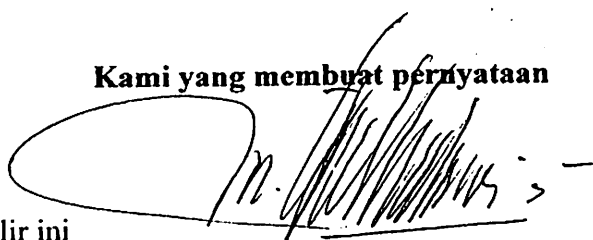
Dengan ini Menyatakan bersedia / ~~tidak bersedia~~ \*) Membimbing Skripsi  
dari mahasiswa, dengan judul :

ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF DENGAN  
METODE NETWORK EQUIVALENS-EXPERT SYSTEM PADA  
SALURAN TRANSMISI 150 KV SUB-SISTEM PAITON BALI.

Demikian surat Pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan  
seperlunya.

Malang, 26 mei 2006

**Kami yang membuat pernyataan**



Ir Teguh Herbasuki, MT  
NIP. P 1038900209

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini  
Diserahkan mahasiswa yang  
bersangkutan kepada jurusan  
untuk diproses lebih lanjut.

\*) coret yang tidak perlu

Form S-3b



## BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: KUF WIDIARTO	Nim: 0012127
2.	Keterangan	Tanggal
	Pelaksanaan	23 - 6 - 2006
Waktu		
Tempat		
Ruang:		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang**)		
3.	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik	<input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen
	<input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi	<input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer
	<input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	<input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi
	<input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	<input type="checkbox"/> h. lainnya .....
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISA KONTROL TEGANGAN DAN DAYA REAKTIF DENGAN METODE NETWORK EQUIVALENS - EXPERT SISTEM PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV SUB-SISTEM PALTOM-BALI
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	
6.	Catatan:	~: Ditambahkan flow chart Expert System. ~: Tujuan disesuaikan. ~: Load Flow menggunakan Newton - Raphson.
Catatan:		
Persetujuan Judul Skripsi		
7.	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II
Mengetahui, Ketua Jurusan.		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT NIP. P. 1039500274		

Perhatian:

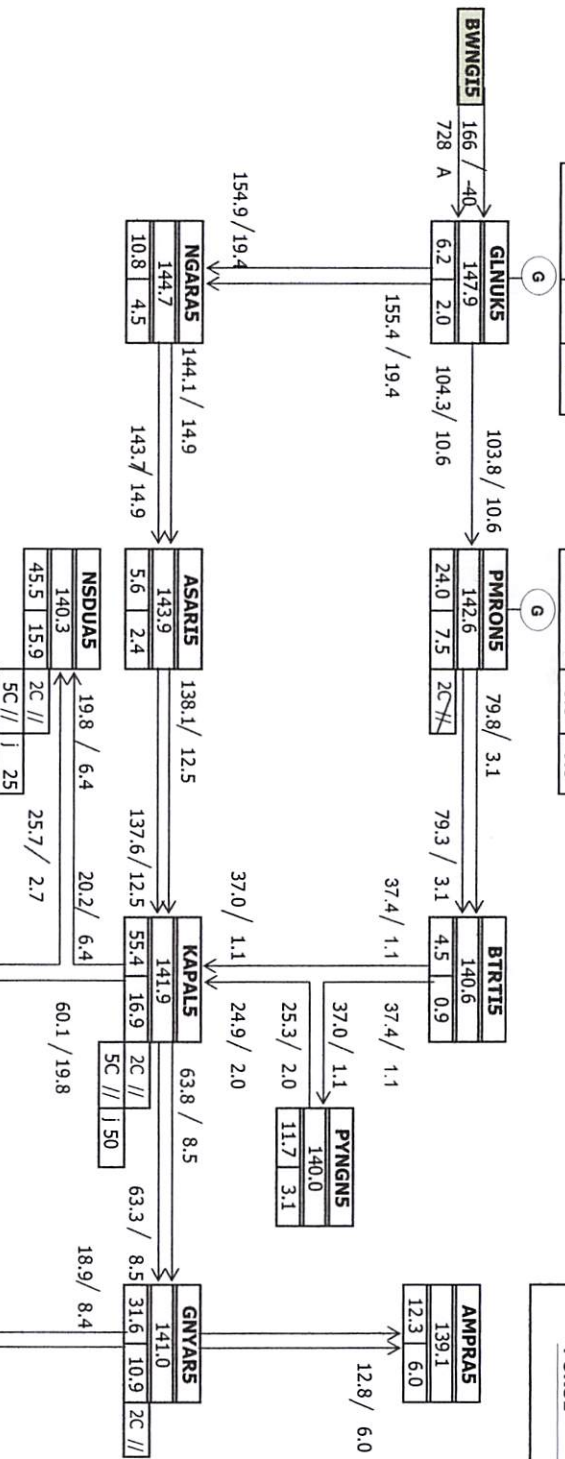
1. Keterangan: \*) Coret yang tidak perlu  
 \*\*) dilingkari a, b, c, ..... atau g sesuai bidang keahlian

# SINGLE LINE DIAGRAM

PLTG 1 & 2 : 99.9 72.0

PLTG 1 & 2 : 0.0 0.0

SABTU, 07 JANUARI 2008  
PUKUL : 20.00 WITA

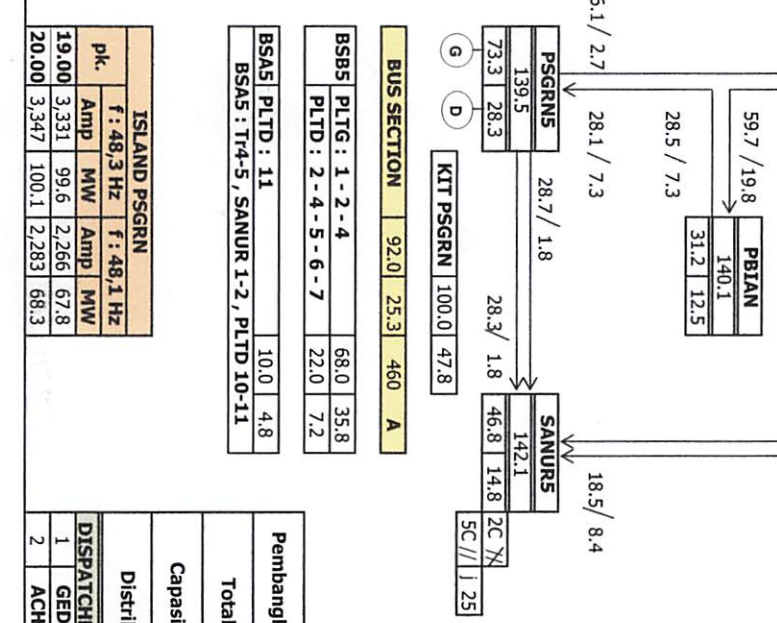


OIS 150kV GLNUK - BWINGI				
WAKTU	PK. 19.00	PK. 20.00	PK. 21.00	PK. 22.00
G I	AMP	MW	AMP	MW
1 SEC KAPAL	1,026	30.7	1,073	32.1
1 SEC PMRON	280	8.4	304	9.1
1 SEC NGARA	0	0.0	0	0.0
1 SEC GNYAR	120	3.6	136	4.1
4 SEC KAPAL	140	4.2	148	4.4
4 SEC NSDUA	922	27.6	927	27.7
5 SEC PMRON	48	1.4	56	1.7
5 SEC PSGRN	1,635	48.9	1,649	49.3
SUB TOTAL SEC	1,426	42.6	1,513	45.2
SUB TOTAL4 SEC	1,062	31.8	1,075	32.1
SUB TOTALS SEC	1,683	50.3	1,705	51.0
TOTAL	4,171	124.7	4,293	128.4

UFR TERPASANG Island Glnuk				
WAKTU	PK. 19.00	PK. 20.00	PK. 21.00	PK. 22.00
FREK	AMP	MW	AMP	MW
48.6 Hz	414	12.4	451	13.5
48.4 Hz	330	9.9	341	10.2
48.3 Hz	2361	70.6	2,465	73.7
TOTAL	3,105	92.8	3,257	97.4

UFR 48,3 Hz terpasang Island PSGRN				
WAKTU	PK. 19.00	PK. 20.00	PK. 21.00	PK. 22.00
G I	AMP	MW	AMP	MW
PSGRN	0	0.0	0	0.0
NSDUA	115	3.4	114	3.4

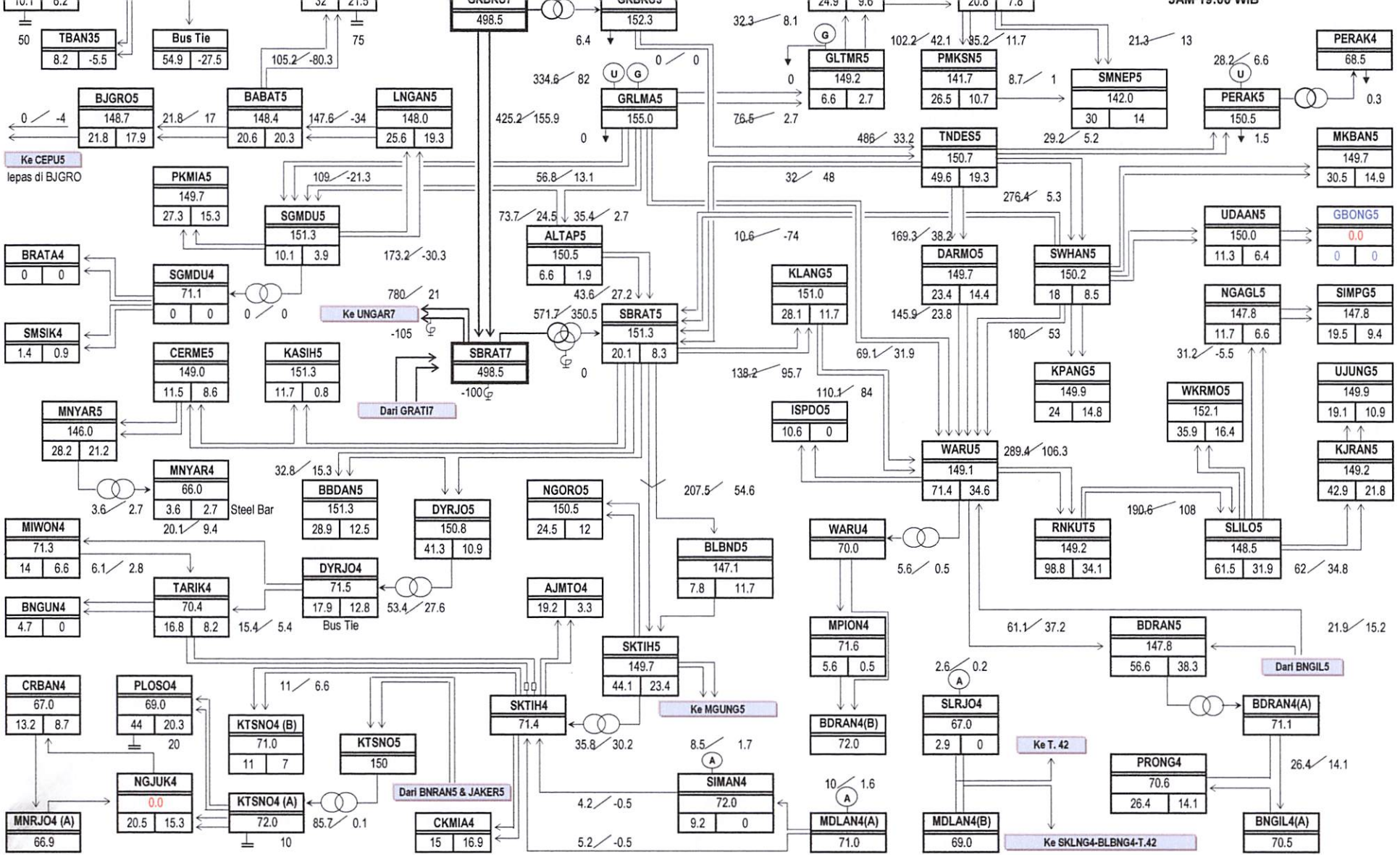
PUKUL : 20.00 WITA					PUKUL : 19.30 wita Traflo 150/20kV						
LOKASI	TRF	TEG	TAP	MW	MVAR	LOKASI	TRF	20kV-150kV	MW	MVAR	
GLNUK	1	20.5	14	6.2	2.0	GLNUK	1	20.5	147.9	6.0	2.0
NGARA	1	-	-	-	-	NGARA	1	-	144.7	-	-
ASARI	1	20.5	13	5.6	2.4	ASARI	1	20.5	143.6	5.7	2.5
PMRON	1	20.6	15	7.3	2.9	PMRON	1	20.5	142.4	7.4	2.9
BTRTI	1	20.5	14	4.5	0.9	BTRTI	1	20.4	140.5	4.7	1.0
KAPAL	1	20.1	17	15.6	0.7	KAPAL	1	20.1	15.6	0.7	-
GNVAR	1	20.5	16	12.8	4.3	GNVAR	1	20.5	140.6	12.9	4.2
AMPRA	1	20.5	15	7.4	3.6	AMPRA	1	20.5	138.9	7.4	3.6
SANUR	1	20.4	15	12.8	1.4	SANUR	1	20.3	13.5	1.4	-
PSGRN	3	20.4	17	7.8	3.3	PSGRN	3	20.3	7.9	3.3	-
NSDUA	5	20.5	15	35.9	13.3	NSDUA	5	20.5	139.5	29.6	11.7
PBIAN	1	20.3	15	31.2	12.5	PBIAN	1	20.3	139.8	30.4	13.3
PNGAN	1	20.5	14	11.7	3.1	PNGAN	1	20.5	139.8	12.1	4.2



ISLAND PSGRN	
f: 48,3 Hz	f: 48,1 Hz
pk. Amp	MW
19.00	3,331
20.00	3,347

DISPATCHER : PK. 15.00 ~ 21.00	
1	2
GEDE NOBEN	ACH. BUDHIMAN



**Penyaluran Terbuka Normal**

- |                                  |                             |                            |                           |   |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---|
| GI Sktih pht 70 kV Tarik-1,2     | GI Mnrjo Koppel Bus 150 kV  | GI Gdtan Koppel Bus 150 kV | GI Ktsno Koppel Bus 70 kV | - |
| GI Blbng pht 70 kV Pilhan-1,2    | GI Mnrjo Koppel Bus 70 kV   | GI Pnrng Koppel Bus 70 kV  | -                         | - |
| GI Skrjo pht 70 kV Bngil-Bilng-2 | GIS Bngil Koppel Bus 150 kV | GI Tlgrng Koppel Bus 70 kV | -                         | - |

**CATATAN :**

Beban Pembangkit = netto  
P.S hanya untuk diketahui.

Dari SRGEN5

Dari SKTIH5



**DATA REGION 4  
PAITON BALI**



DATA KARAKTERISTIK TRANSMISI UPT & SRB

Jml Stakit	Dati	Ke	No. Stakit	Data Pengantar		I nom (Amp)	Tap CT Dati Ke	Tap WT Dati Ke	R (Ohm)	X (Ohm)	B (MVA)	R (Ohm)	X (Ohm)	B (Ohm)	Z art (Ohm)	Z base (Ohm)	Z pu (Ohm)	R pu (Ohm)	X pu (Ohm)	B pu (Ohm)	Days (MVA)
				Teg (kV)	Jarak (km)																
				(1)	(2)				(3)	(4)	(5)	(6) $\times(7)^2$	(7) $\times(8)$	(8) $\times(9)^2$	(9) $\times(10)^2$	(10) $\times(11)$	(11) $\times(12)$	(12) $\times(13)$	(13) $\times(14)^2$	(14) $\times(15)^2 \times 0,1975$	(15) $\times(16) \times 1,732/1000$

6. UPT Probolinggo

1	PITON7	GRAT17	1	500	88.393	GANNET	4,929,8	2800	2000	2000	0,0251	0,2808	4,0490	2,2179	24,8123	357,7818	24,8113	2,500,000	0,0100	0,0089	0,0072	2,424,5000
1	BNG15	GOTAN5	1	150	18.805	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	1,9695	6,7270	47,9447	7,0984	225,0000	0,0312	0,0288	0,0108	192,2520
1	BNG15	GOTAN5	2	150	18.805	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	1,9695	6,7270	47,9447	7,0984	225,0000	0,0312	0,0289	0,0108	192,2520
1	BNG15	BDRAN5	1	150	9.800	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	1,1468	3,9229	27,9594	4,0876	225,0000	0,0182	0,0051	0,0093	192,2520
1	BNG15	WARJUS	1	150	9.800	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	1,1468	3,9229	27,9594	4,0876	225,0000	0,0182	0,0051	0,0093	192,2520
1	BNG15	LWAM05	1	150	34.880	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	4,0645	13,8824	98,9420	14,4652	225,0000	0,0643	0,0181	0,0223	192,2520
1	BNG15	BLK0N5	1	150	27.770	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,2807	4,0203	3,2546	11,1163	79,2278	11,5850	225,0000	0,0515	0,0145	0,0178	192,2520
1	BNG15	PIER5	2	150	5.150	ACSR, ZEBRA	2 x 435 mm <sup>2</sup>	1620	2000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	1,9931	1,4456	20,7045	2,4621	225,0000	0,0109	0,0089	0,0047	420,8760
1	BNG15	PIER5	2	150	6.200	ACSR, ZEBRA	2 x 435 mm <sup>2</sup>	1620	2000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	2,3994	1,7403	24,9259	2,9641	225,0000	0,0132	0,0107	0,0077	420,8760
1	BNG15	BCKR05	1	150	6.200	ACSR, ZEBRA	2 x 435 mm <sup>2</sup>	1620	1000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	2,3994	1,7403	24,9259	2,9641	225,0000	0,0132	0,0107	0,0077	420,8760
1	BNG15	BCKR05	2	150	6.200	ACSR, ZEBRA	2 x 435 mm <sup>2</sup>	1620	1000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	2,3994	1,7403	24,9259	2,9641	225,0000	0,0132	0,0107	0,0077	420,8760
1	GOTAN5	RJOS05	2	150	10.487	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	800	0,1172	0,4003	2,8530	1,2291	4,1979	29,9194	4,3742	225,0000	0,0194	0,0055	0,0087	192,2520
1	GOTAN5	RJOS05	2	150	10.487	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	800	0,1172	0,4003	2,8530	1,2291	4,1979	29,9194	4,3742	225,0000	0,0194	0,0055	0,0087	192,2520
1	PIER5	GRAT15	1	150	30.000	TACSR	410 mm <sup>2</sup>	1620	1000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	11,6100	8,4210	120,6990	14,2424	225,0000	0,0637	0,0516	0,0271	192,2520
1	PBLG05	GOTAN5	1	150	33.827	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	1000	0,1172	0,4003	2,8530	3,9645	13,5409	96,5084	14,1084	225,0000	0,0627	0,0176	0,0602	192,2520
1	PBLG05	GOTAN5	2	150	33.827	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	1000	0,1172	0,4003	2,8530	3,9645	13,5409	96,5084	14,1084	225,0000	0,0627	0,0176	0,0602	192,2520
1	PBLG05	LANG5	1	150	51.692	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	600	600	0,1172	0,4003	2,8530	6,0583	20,6923	147,4773	21,5610	225,0000	0,0958	0,0289	0,0332	192,2520
1	PBLG05	LANG5	2	150	51.692	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	600	600	0,1172	0,4003	2,8530	6,0583	20,6923	147,4773	21,5610	225,0000	0,0958	0,0289	0,0332	192,2520
1	KRSAN5	PBLG05	2	150	30.229	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	3,5440	12,1047	86,2719	12,6128	225,0000	0,0581	0,0158	0,0194	192,2520
1	KRSAN5	PBLG05	2	150	30.229	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	3,5440	12,1047	86,2719	12,6128	225,0000	0,0581	0,0158	0,0194	192,2520
1	KRSAN5	GDNIN5	1	150	19.137	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	400	0,1172	0,4003	2,8530	2,2429	7,6605	54,5979	7,9821	225,0000	0,0355	0,0100	0,0340	192,2520
1	KRSAN5	GDNIN5	1	150	20.204	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	2,3679	8,0877	57,6420	8,4272	225,0000	0,0375	0,0105	0,0339	192,2520
1	PITON5	KRSAN5	2	150	20.204	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	2,3679	8,0877	57,6420	8,4272	225,0000	0,0375	0,0105	0,0339	192,2520
1	PITON5	KRSAN5	2	150	20.204	ACSR, AW	330 mm <sup>2</sup>	740	1000	1000	0,1172	0,4003	2,8530	2,3679	8,0877	57,6420	8,4272	225,0000	0,0375	0,0105	0,0339	192,2520
1	PITON5	STED05	2	150	55.433	ACSR, ZEBRA	2 x 435 mm <sup>2</sup>	1600	2000	2000	0,3870	0,2807	4,0203	21,4526	15,5600	222,8573	26,5015	225,0000	0,1178	0,0953	0,0502	415,6600
1	PITON5	STED05	2	150	55.433	ACSR, ZEBRA	2 x 435 mm <sup>2</sup>	1600	2000	2000	0,3870	0,2807	4,0203	21,4526	15,5600	222,8573	26,5015	225,0000	0,1178	0,0953	0,0502	415,6600
1	BNG14	PDAM4	1	70	9.700	ACSR, OSTRICH	300 MCM	440	250	400	0,2175	0,3871	2,9560	2,1098	3,7549	28,6732	4,3070	49,0000	0,0879	0,0451	0,0786	53,3458
1	BNG14	PDAM4	2	70	9.700	ACSR, OSTRICH	300 MCM	440	250	400	0,2175	0,3871	2,9560	2,1098	3,7549	28,6732	4,3070	49,0000	0,0879	0,0451	0,0786	53,3458
1	BNG14	BDRAM4	2	70	11.700	ACSR, PIPER	300 MCM	440	400	400	0,2180	0,3868	2,9560	2,5906	4,5150	34,6905	5,1857	49,0000	0,1058	0,0521	0,0921	53,3458
1	BNG14	PRONG4	1	70	11.700	ACSR, PIPER	300 MCM	440	400	400	0,2180	0,3868	2,9560	2,5906	4,5150	34,6905	5,1857	49,0000	0,1058	0,0521	0,0921	53,3458
1	BNG14	BLANG4	1	70	40.000	ACSR, PIGEON	300 AWG	300	200	200	0,3886	0,3584	3,2020	15,4640	14,3380	128,0800	21,0869	49,0000	0,4303	0,3156	0,2926	38,3720
1	BNG14	BLANG4	2	70	40.000	ACSR, PIGEON	300 AWG	300	200	200	0,3886	0,3584	3,2020	15,4640	14,3380	128,0800	21,0869	49,0000	0,4303	0,3156	0,2926	38,3720
1	GRAT15	GOTAN5	2	150	18.500	TACSR	410 mm <sup>2</sup>	1620	1000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	7,1655	5,1830	74,3756	8,8445	225,0000	0,0393	0,0318	0,0221	420,8760
1	GRAT15	GOTAN5	2	150	18.500	TACSR	410 mm <sup>2</sup>	1620	1000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	7,1655	5,1830	74,3756	8,8445	225,0000	0,0393	0,0318	0,0221	420,8760
1	GOTAN5	PIER5	1	150	10.743	TACSR	410 mm <sup>2</sup>	1620	1000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	4,4575	3,0156	43,1801	45,1350	225,0000	0,0228	0,0185	0,0134	420,8760
1	GOTAN5	PIER5	1	150	10.743	TACSR	410 mm <sup>2</sup>	1620	1000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	4,4575	3,0156	43,1801	45,1350	225,0000	0,0228	0,0185	0,0134	420,8760
1	GOTAN5	PIER5	2	150	11.590	TACSR	410 mm <sup>2</sup>	1620	1000	1000	0,3870	0,2807	4,0203	4,4565	3,2281	46,2335	45,4979	225,0000	0,0244	0,0188	0,0144	420,8760

TAHUN OPERASI	Keterangan
	MVA base = 100 150 kV = 0,1975 70 kV = 4,163

--	--

DATA KARAKTERISTIK TRANSMISI UPT & SRB

Jml Strak	Darl	Ko	No. Strak	Teg (kV)		Jarak (Km)		Data Pengantar		Jenis	INom (Amp)	Teg GT		Teg WT		R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (ph/km)	R (ohm)	X (ohm)	B (ohm)	Z act (ohm)	Z base (ohm)	Z pu (ohm)	R pu (ohm)	X pu (ohm)	B pu (ohm)	Dgpa (kVA)
				1	2	1	2	1	2			1	2															
				(1)		(2)										(3)	(4)	(5)	(6)=(2)X(3)	(7)=(2)X(4)	(8)=(2)X(5)	(9)=(akar (6) <sup>2</sup> + (7) <sup>2</sup> )	(10)=(1)-(11)	(11)=(9)/(10)	(12)=(8)-(10)	(13)=(7)-(10)	(14)=(8)/(kV <sup>2</sup> )X(10,1975	(15)=(1)X(A)X1,732X1000

7. UPT Jember

1	PBLG05	LUANGS	1	150	51692	ACSR DOVE	330 mm <sup>2</sup>	740	600	600	800	800	0.1172	0.4003	2.8530	6.0583	20.6923	147.4773	21.5610	225.0000	0.0958	0.0289	0.0920	0.0332	192.2520	
1	PBLG05	LUANGS	2	150	51692	ACSR DOVE	330 mm <sup>2</sup>	740	600	600	800	800	0.1172	0.4003	2.8530	6.0583	20.6923	147.4773	21.5610	225.0000	0.0958	0.0289	0.0920	0.0332	192.2520	
1	LUANGS	TGULU5	1	150	32.080	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	800	1250	1250	0.1172	0.4003	2.8530	7.7999	12.8416	13.3807	0.0571	0.0296	0.0296	0.0296	0.0571	0.0296	192.2520	
1	LUANGS	JABERS	1	150	60.530	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	800	1250	800	0.1172	0.4003	2.8530	7.0941	24.2302	25.2473	0.0515	0.0296	0.0389	0.0389	0.0515	0.0296	192.2520	
1	TGULU5	JABERS	1	150	28.450	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	1000	600	800	1250	800	0.1172	0.4003	2.8530	3.3343	11.3985	81.1679	11.8866	0.0527	0.0148	0.0163	0.0163	0.0527	192.2520	
1	JABERS	BNWNGS	1	150	82.595	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	740	600	600	800	800	0.1172	0.4003	2.8530	9.6801	33.0628	34.4507	0.1531	0.0596	0.0590	0.0590	0.1531	0.0596	192.2520	
1	JABERS	GTENG5	1	150	64.708	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	1000	1250	1250	0.1172	0.4003	2.8530	7.5839	25.9026	184.6119	26.9900	0.1200	0.0415	0.0415	0.0415	0.1200	0.0415	192.2520
1	BDWNS05	JABERS	1	150	39.662	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	800	800	800	0.1172	0.4003	2.8530	4.6484	15.8767	16.5432	0.0735	0.0207	0.0207	0.0207	0.0735	0.0207	192.2520	
1	BDWNS05	JABERS	2	150	39.662	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	800	800	800	0.1172	0.4003	2.8530	4.6484	15.8767	16.5432	0.0735	0.0207	0.0207	0.0207	0.0735	0.0207	192.2520	
1	STBDO5	PITONS	1	150	55.433	ACSR ZEBRA	2 x 435 mm <sup>2</sup>	1620	2000	2000	1250	1250	0.3870	0.2807	4.0203	21.4526	15.5600	26.5015	0.1178	0.0853	0.0853	0.0853	0.1178	0.0853	420.8760	
1	STBDO5	PITONS	2	150	55.433	ACSR ZEBRA	2 x 435 mm <sup>2</sup>	1620	2000	2000	1250	1250	0.3870	0.2807	4.0203	21.4526	15.5600	26.5015	0.1178	0.0853	0.0853	0.0853	0.1178	0.0853	420.8760	
1	STBDO5	BDWNS05	1	150	34.786	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	800	800	800	0.1172	0.4003	2.8530	4.0769	13.9248	99.2445	14.5094	0.0845	0.0181	0.0181	0.0181	0.0845	0.0181	192.2520
1	STBDO5	BDWNS05	2	150	34.786	ACSR AW	330 mm <sup>2</sup>	740	800	800	800	800	0.1172	0.4003	2.8530	4.0769	13.9248	99.2445	14.5094	0.0845	0.0181	0.0181	0.0181	0.0845	0.0181	192.2520
1	STBDO5	BNWNGS	1	150	74.200	ACSR DOVE	2 x 340 mm <sup>2</sup>	1200	800	800	1600	1600	0.0586	0.2815	4.0740	4.3481	20.8873	302.2908	21.3351	0.0948	0.0193	0.0193	0.0193	0.0948	0.0193	311.7600
1	STBDO5	BNWNGS	2	150	74.200	ACSR DOVE	2 x 340 mm <sup>2</sup>	1200	800	800	1600	1600	0.0586	0.2815	4.0740	4.3481	20.8873	302.2908	21.3351	0.0948	0.0193	0.0193	0.0193	0.0948	0.0193	311.7600
1	GTENG5	BNWNGS	1	150	33.950	ACSR DOVE	330 mm <sup>2</sup>	1000	600	600	1250	800	0.1172	0.4003	2.8530	3.9789	13.5902	96.8594	14.1607	0.0629	0.0177	0.0177	0.0177	0.0629	0.0177	192.2520
1	BNWNGS	KTRPGS	1	150	7.990	ACSR HAWK	477 MM	655	600	800	800	800	0.1370	0.3966	2.8800	1.0946	3.1888	23.0112	3.3526	0.0149	0.0049	0.0049	0.0049	0.0149	0.0049	170.1690
1	BNWNGS	KTR-GLM	1	150	4.829	OSS	300 mm <sup>2</sup>	500	600	800	800	800	0.0870	0.1310	73.0000	0.3999	0.5857	326.3830	0.7031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	129.9000
1	BNWNGS	KTR-GLM	1	150	7.990	ACSR HAWK	477 MM	655	600	800	800	800	0.1370	0.3966	2.8800	1.0946	3.1888	23.0112	3.3526	0.0149	0.0049	0.0049	0.0049	0.0149	0.0049	170.1690
1	BNWNGS	KTR-GLM	2	150	4.389	SUBMARINE CABLE	300 mm <sup>2</sup>	500	600	800	800	800	0.0870	0.1310	73.0000	0.3916	0.5750	320.3970	0.6902	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	129.9000
1	BNWNGS	KTR-GLM	II (10)	150	4.280	OSS	300 mm <sup>2</sup>	465	600	800	800	800	0.0870	0.1310	73.0000	0.3916	0.5750	320.3970	0.6902	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	129.9000

TAHUN OPERASI	Keterangan
	MVA base = 100 150 kV = 0,1975 70 kV = 4,163
	Kabel laut Kabel laut rusak  Op. tgl 03-03-2000 Kabel laut rusak

DATA KARAKTERISTIK TRANSMISI UPT & SRB

Jml Srtik	Dart	Ko	No. Srtik	Teg (kV)	Jarak (km)	Data Penghantar		I Nom (Amp)	Teg CT Dart	Teg WT Ko	R (Ohm/km)	X (Ohm/km)	B (MVA/km)	R (Ohm)	X (Ohm)	B (Ohm)	Z sed (Ohm)	Z base (Ohm)	Z pu (Ohm)	R pu (Ohm)	X pu (Ohm)	B pu (Ohm)	Daya (MVA)
						Jenis	Jenis																
				(1)	(2)						(3)	(4)	(5)	(6) $(2 \times 2) \times (2)$	(7) $(2 \times 2) \times (4)$	(8) $(2 \times 2) \times (5)$	(9) $(2 \times \text{akar } (5)^2 + (7)^2)$	(10) $(1) \times (1) \times 100$	(11) $(1) \times (9) \times (10)$	(12) $(1) \times (3) \times (5) \times (2)$	(13) $(1) \times (7) \times (5)$	(14) $(5) \times (kV)^2 \times 0,1975$	(15) $(1) \times (kV) \times 1,732 \times 1000$

Sub Region Bali

1	GLNJK5	CH GLNJK	1	150	1,720	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	0,2356	0,6822	4,9536	0,7217	225,0000	0,0032	0,0010	0,0030	0,0011	167,5710	
1	GLNJK5	CH GLNJK	2	150	1,720	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	0,2356	0,6822	4,9536	0,7217	225,0000	0,0032	0,0010	0,0030	0,0011	167,5710	
1	CH GLNJK	CH KTRNG	1	150	4,200	OFC	3 x 300 mm <sup>2</sup>	462	800	800	0,0870	0,1310	73,0000	0,3554	0,5502	308,6000	0,6605	225,0000	0,0029	0,0016	0,0024	0,0016	120,0278	
1	CH GLNJK	CH KTRNG	2	150	4,200	OFC	3 x 300 mm <sup>2</sup>	462	800	800	0,0870	0,1310	73,0000	0,3554	0,5502	308,6000	0,6605	225,0000	0,0029	0,0016	0,0024	0,0016	120,0278	
1	GLNJK5	NGARAS	1	150	38,040	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	5,2115	15,0867	109,5552	15,9814	225,0000	0,0709	0,0232	0,0371	0,0247	167,5710	
1	GLNJK5	NGARAS	2	150	38,040	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	5,2115	15,0867	109,5552	15,9814	225,0000	0,0709	0,0232	0,0371	0,0247	167,5710	
1	GLNJK5	NGARAS	1	150	75,990	ACSR, HAWK	2 x 477 MCM	1290	800	800	0,0685	0,2045	2,7880	5,1992	15,5216	211,6092	16,3692	225,0000	0,0728	0,0231	0,0371	0,0247	167,5710	
1	NGARAS	ASARIS	1	150	44,400	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	6,0828	17,6090	127,8720	18,6300	225,0000	0,0828	0,0270	0,0783	0,0288	167,5710	
1	NGARAS	ASARIS	2	150	44,400	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	6,0828	17,6090	127,8720	18,6300	225,0000	0,0828	0,0270	0,0783	0,0288	167,5710	
1	KAPALS	ANSRIS	1	150	23,310	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	3,1935	9,2447	67,1328	9,7808	225,0000	0,0435	0,0142	0,0441	0,0151	167,5710	
1	KAPALS	ANSRIS	2	150	23,310	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	3,1935	9,2447	67,1328	9,7808	225,0000	0,0435	0,0142	0,0441	0,0151	167,5710	
1	KAPALS	GNVARS	1	150	19,210	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	2,6318	7,6187	55,3248	8,0604	225,0000	0,0358	0,0117	0,0339	0,0125	167,5710	
1	KAPALS	GNVARS	2	150	19,210	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	800	0,1370	0,3966	2,8800	2,6318	7,6187	55,3248	8,0604	225,0000	0,0358	0,0117	0,0339	0,0125	167,5710	
1	KAPALS	NSDUAS	1	150	20,910	ACSR, PARTIDGE	135 mm <sup>2</sup>	400	400	400	0,2136	0,4080	2,7660	4,4664	8,5313	67,8371	9,6297	225,0000	0,0428	0,0189	0,0379	0,0130	103,9200	
1	KAPALS	NSDUAS	1	150	0,960	OLEO XLPE	3 x 240 mm <sup>2</sup>	400	400	400	0,0870	0,1320	73,0000	0,0835	0,1267	70,8800	0,1518	0,0100	15,1768	8,3520	0,0232	0,0573	0,0247	103,9200
1	KAPALS	BRTIS	1	150	38,170	TACSR	160 mm <sup>2</sup>	400	800	800	0,1370	0,3970	2,8800	5,2293	15,1535	109,9296	16,0304	225,0000	0,0712	0,0232	0,0573	0,0247	103,9200	
1	KAPALS	BRTIS	1	150	21,700	TACSR	160 mm <sup>2</sup>	400	800	800	0,1370	0,3970	2,8800	2,9729	8,6149	62,4960	9,1134	225,0000	0,0405	0,0132	0,0383	0,0144	103,9200	
1	BRTIS	PNGANS	1	150	28,010	TACSR	160 mm <sup>2</sup>	400	800	800	0,1370	0,3970	2,8800	3,8374	11,1200	80,6888	11,7635	225,0000	0,0523	0,0171	0,0494	0,0182	103,9200	
1	BRTIS	PNGANS	1	150	16,500	ACSR, PARTIDGE	135 mm <sup>2</sup>	400	200	1000	0,2136	0,4080	2,7660	3,5244	6,7320	45,6390	7,5888	225,0000	0,0338	0,0157	0,0289	0,0103	103,9200	
1	GNVARS	SAWURS	1	150	16,380	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	1000	0,1370	0,3970	2,8800	2,2441	6,5029	47,1744	6,8792	225,0000	0,0306	0,0100	0,0289	0,0106	167,5710	
1	GNVARS	SAWURS	2	150	16,380	ACSR, HAWK	477 MCM	645	800	1000	0,1370	0,3970	2,8800	2,2441	6,5029	47,1744	6,8792	225,0000	0,0306	0,0100	0,0289	0,0106	167,5710	
1	GNVARS	AMPRAS	1	150	33,780	ACSR, HAWK	477 MCM	645	400	1000	0,1370	0,3966	2,8800	4,6251	13,3892	97,2288	14,1656	225,0000	0,0630	0,0206	0,0595	0,0219	167,5710	
1	GNVARS	AMPRAS	2	150	33,780	ACSR, HAWK	477 MCM	645	400	1000	0,1370	0,3966	2,8800	4,6251	13,3892	97,2288	14,1656	225,0000	0,0630	0,0206	0,0595	0,0219	167,5710	
1	SAWURS	PGRANS	1	150	7,750	ACSR, PARTIDGE	135 mm <sup>2</sup>	400	400	400	0,2136	0,4080	2,7660	1,0618	3,0788	21,4088	3,2548	225,0000	0,0145	0,0047	0,0137	0,0050	103,9200	
1	SAWURS	PGRANS	2	150	7,750	ACSR, HAWK	477 MCM	400	1000	1000	0,1370	0,3970	2,8800	1,0618	3,0788	21,4088	3,2548	225,0000	0,0145	0,0047	0,0137	0,0050	103,9200	
1	NSDUAS	PGRANS	1	150	13,410	ACSR, HAWK	477 MCM	400	200	200	0,2136	0,4080	2,7660	2,8844	5,4713	6,1157	6,1157	225,0000	0,0274	0,0183	0,0350	0,0120	103,9200	
1	NSDUAS	PGRANS	1	150	1,200	XLPE	3 x 240 mm <sup>2</sup>	400	200	200	0,0870	0,1320	73,0000	0,1044	0,1584	87,8000	0,1897	225,0000	18,9710	10,4400	0,0183	0,0350	0,0120	103,9200
1	BRTIS	PARONS	1	150	19,280	ACSR, PARTIDGE	135 mm <sup>2</sup>	400	400	200	0,2136	0,4080	2,7660	4,1182	7,8662	53,3265	8,8790	225,0000	0,0395	0,0183	0,0350	0,0120	103,9200	
1	BRTIS	PARONS	2	150	19,280	ACSR, PARTIDGE	135 mm <sup>2</sup>	400	400	200	0,2136	0,4080	2,7660	4,1182	7,8662	53,3265	8,8790	225,0000	0,0395	0,0183	0,0350	0,0120	103,9200	
1	KAPALS	PEBANS	1	150	9,120	ACSR, HAWK	477 MCM	645	400	1000	0,1370	0,3966	2,8800	1,2494	3,6170	26,2656	3,8267	225,0000	0,0170	0,0056	0,0181	0,0059	167,5710	
1	PEBANS	PEBANS	1	150	7,800	ACSR, HAWK	477 MCM	645	400	1000	0,1370	0,3966	2,8800	1,0412	3,0142	21,8880	3,1889	225,0000	0,0142	0,0046	0,0134	0,0049	167,5710	

TAHUN OPERASI	Keterangan:
	MVA base = 100 150 kV = 0,1975 70 kV = 4,163

--	--

THE STUDENT  
RECORD BOOK

```

unit Sensitivits;

interface

uses Komplex,UnitMath,NewtonRaphson;

Procedure Bentuk_Sensitivitas(N,Nu:byte;Kz:iArr1;Beban,Lc,Tr:Arr2;Z:CArr2;
                             var SU:Arr2);

implementation

Procedure Jaqobian_H(N,i,j,Ka,La:byte;V:CArr1;Y:CArr2;
                    var FXA:Arr2);
var k:byte;
    Sum:double;
begin
    Sum:=0;
    if j<>i then
        begin
            FXA[Ka,La]:=CxRe(V[i])*CxRe(V[j])*CxRe(Y[i,j])*
                Sin(CxIm(V[i])-CxIm(V[j])-CxIm(Y[i,j]));
        end
    else
        begin
            for k:=1 to N do
                begin
                    if k<>i then
                        begin
                            Sum:=Sum+CxRe(V[i])*CxRe(V[k])*CxRe(Y[i,k])*
                                Sin(CxIm(V[i])-CxIm(V[k])-CxIm(Y[i,k]));
                        end
                    end;
            FXA[Ka,La]:=-Sum;
        end;
    end;

Procedure Jaqobian_N(N,i,j,Ka,La:byte;V:CArr1;Y:CArr2;
                    var FXA:Arr2);
var k:byte;
    Sum:double;
begin
    Sum:=0;
    if j<>i then
        begin
            FXA[Ka,La]:=CxRe(V[i])*CxRe(Y[i,j])*
                Cos(CxIm(V[i])-CxIm(V[j])-CxIm(Y[i,j]));
        end
    else
        begin
            for k:=1 to N do
                begin
                    if k<>i then
                        begin
                            Sum:=Sum+CxRe(V[k])*CxRe(Y[i,k])*
                                Cos(CxIm(V[i])-CxIm(V[k])-CxIm(Y[i,k]));
                        end;
                    end;
            FXA[Ka,La]:=2*CxRe(V[i])*CxRe(Y[i,i])*
                Cos(-CxIm(Y[i,i]))+Sum;
        end;
    end;

Procedure Jaqobian_J(N,i,j,Ka,La:byte;V:CArr1;Y:CArr2;
                    var FXA:Arr2);
var k:byte;
    Sum:double;
begin
    Sum:=0;

```



```

if j<>i then
begin
  FXA[Ka,La]:=(-1)*CxRe(V[i])*CxRe(V[j])*CxRe(Y[i,j])*
    Cos(CxIm(V[i])-CxIm(V[j])-CxIm(Y[i,j]));
end
else
begin
  for k:=1 to N do
  begin
    if k<>i then
    begin
      Sum:=Sum+CxRe(V[i])*CxRe(V[k])*CxRe(Y[i,k])*
        Cos(CxIm(V[i])-CxIm(V[k])-CxIm(Y[i,k]));
    end;
  end;
  FXA[Ka,La]:=Sum;
end;
end;

Procedure Jaqobian_L(N,i,j,Ka,La:byte;V:Carr1;Y:Carr2;
  var FXA:Arr2);
var k:byte;
  Sum:double;
begin
  Sum:=0;
  if j<>i then
  begin
    FXA[Ka,La]:=CxRe(V[i])*CxRe(Y[i,j])*
      Sin(CxIm(V[i])-CxIm(V[j])-CxIm(Y[i,j]));
  end
  else
  begin
    for k:=1 to N do
    begin
      if k<>i then
      begin
        Sum:=Sum+CxRe(V[k])*CxRe(Y[i,k])*
          Sin(CxIm(V[i])-CxIm(V[k])-CxIm(Y[i,k]));
      end;
    end;
    FXA[Ka,La]:=2*CxRe(V[i])*CxRe(Y[i,i])*Sin(-CxIm(Y[i,i]))+Sum;
  end;
end;

Procedure Bentuk_FX(N:byte;V:Carr1;Y:Carr2;Typ:Arr1;
  var FXS:Arr2);
var i,j,Ka,La:byte;
begin
  Ka:=0;
  for i:=1 to N do
  begin
    Ka:=Ka+1;
    La:=0;
    for j:=1 to N do
    begin
      if Typ[j]=1 then
      begin
        La:=La+1;
        if j=i then
        begin
          FXS[Ka,La]:=-1;
        end
        else
        begin
          FXS[Ka,La]:=0;
        end;
        La:=La+1;
        FXS[Ka,La]:=0;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

end
else if Typ[j]=2 then
begin
  La:=La+1;
  Jaqobian_H(N,i,j,Ka,La,V,Y,FXS);
  La:=La+1;
  FXS[Ka,La]:=0;
end
else if Typ[j]=3 then
begin
  La:=La+1;
  Jaqobian_H(N,i,j,Ka,La,V,Y,FXS);
  La:=La+1;
  Jaqobian_N(N,i,j,Ka,La,V,Y,FXS);
end
end;
Ka:=Ka+1;
La:=0;
for j:=1 to N do
begin
  if Typ[j]=1 then
  begin
    La:=La+1;
    FXS[Ka,La]:=0;
    La:=La+1;
    if j=i then
    begin
      FXS[Ka,La]:=-1;
    end
    else
    begin
      FXS[Ka,La]:=0;
    end;
  end
  else if Typ[j]=2 then
  begin
    La:=La+1;
    Jaqobian_J(N,i,j,Ka,La,V,Y,FXS);
    La:=La+1;
    if j=i then
    begin
      FXS[Ka,La]:=-1;
    end
    else
    begin
      FXS[Ka,La]:=0;
    end;
  end
  else If Typ[j]=3 then
  begin
    La:=La+1;
    Jaqobian_J(N,i,j,Ka,La,V,Y,FXS);
    La:=La+1;
    Jaqobian_L(N,i,j,Ka,La,V,Y,FXS);
  end;
end;
end;
end;

Procedure Bentuk_FU(N,Nu:byte;V:CArr1;Y:CArr2;Typ:Arr1;Kz:iArr1;
var FUS:Arr2);
var i,j,k,Ka,La:byte;
begin
  Ka:=0;
  for i:= 1 to N do
  begin
    Ka:=Ka+1;
    La:=0;

```

```

for k:=1 to Nu do
begin
  j:=Kz[k];
  if Typ[j]=1 then
  begin
    La:=La+1;
    Jaqobian_N(N,i,j,Ka,La,V,Y,FUS);
  end
  else if Typ[j]=2 then
  begin
    La:=La+1;
    Jaqobian_N(N,i,j,Ka,La,V,Y,FUS);
  end
  else if Typ[j]=3 then
  begin
    La:=La+1;
    FUS[Ka,La]:=0;
  end;
end;
Ka:=Ka+1;
La:=0;
for k:=1 to Nu do
begin
  j:=Kz[k];
  if Typ[j]=1 then
  begin
    La:=La+1;
    Jaqobian_L(N,i,j,Ka,La,V,Y,FUS);
  end
  else if Typ[j]=2 then
  begin
    La:=La+1;
    Jaqobian_L(N,i,j,Ka,La,V,Y,FUS);
  end
  else if Typ[j]=3 then
  begin
    La:=La+1;
    If j=i then
    begin
      FUS[Ka,La]:=-1;
    end
    else
    begin
      FUS[Ka,La]:=0;
    end;
  end;
end;
end;
end;
end;

Procedure Bentuk_Y_Polar(N:byte;
                          var Y:CArr2);
var i,j:byte;
    a,b:double;
begin
  for i:=1 to N do
  begin
    for j:=1 to N do
    begin
      if CxIm(Y[i,j])<>0 then
      begin
        a:=sqrt(sqr(CxRe(Y[i,j]))+sqr(CxIm(Y[i,j])));
        b:=arctan(Abs(CxIm(Y[i,j])/CxRe(Y[i,j])));
        if (CxRe(Y[i,j])>0) and (CxIm(Y[i,j])>0) then
        begin
          b:=b;
        end
        else if (CxRe(Y[i,j])<0) and (CxIm(Y[i,j])>0) then

```

```

begin
  b:=Pi-b;
end
else if (CxRe(Y[i,j])<0) and (CxIm(Y[i,j])<0) then
begin
  b:=Pi+b;
end
else if (CxRe(Y[i,j])>0) and (CxIm(Y[i,j])<0) then
begin
  b:=2*Pi-b;
end;
Y[i,j]:=complex(a,b);
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

Procedure Bentuk_Sensitivitas(N,Nu:byte;Kz:iArr1;Beban,Lc,Tr:Arr2;Z:CArr2;
var SU:Arr2);

```

```

var i,Na:byte;
    Cap,Typ:Arr1;
    FXS,inFXS,FUS:Arr2;
    V:CArr1;
    Y:CArr2;
    a,b:double;
begin
  Na:=N*2;
  SetLength(Cap,N+1);
  SetLength(Typ,N+1);
  SetLength(FXS,Na+1,Na+1);
  SetLength(inFXS,Na+1,Na+1);
  SetLength(FUS,Na+1,Nu+1);
  SetLength(SU,Na+1,Nu+1);
  SetLength(V,N+1);
  SetLength(Y,N+1,N+1);
  for i:=1 to N do
begin
  a:=sqrt(sqr(Beban[i,1])+sqr(Beban[i,2]));
  b:=arctan(Beban[i,2]/Beban[i,1]);
  V[i]:=complex(a,b);
  Typ[i]:=Beban[i,7];
  Cap[i]:=Beban[i,8];
end;
Admitansi(N,Z,Lc,Tr,Cap,Y);
Bentuk_Y_Polar(N,Y);
Bentuk_FX(N,V,Y,Typ,FXS);
Bentuk_FU(N,Nu,V,Y,Typ,Kz,FUS);
InversMatrik(Na,FXS,inFXS);
MatrikNegatif(Na,inFXS);
KaliMatrik(Na,Na,Nu,inFXS,FUS,SU);
end;

end.

```



```

    end;
end;
for i:=1 to N do
begin
    for j:=1 to N do
    begin
        if Tr[i,j]<>0 then
        begin
            Tr[i,j]:=1/Tr[i,j];
            Suma:=CxRe(Y[i,i])-CxRe(Ca[i,j]);
            Sumb:=CxIm(Y[i,i])-CxIm(Ca[i,j]);
            Y[i,i]:=complex(Suma, Sumb);
            Suma:=CxRe(Y[i,i])+(CxRe(Ca[i,j])*sqr(Tr[i,j]));
            Sumb:=CxIm(Y[i,i])+(CxIm(Ca[i,j])*sqr(Tr[i,j]));
            Y[i,i]:=complex(Suma, Sumb);
            Suma:=Tr[i,j]*CxRe(Y[i,j]);
            Sumb:=Tr[i,j]*CxIm(Y[i,j]);
            Y[i,j]:=complex(Suma, Sumb);
            Y[j,i]:=Y[i,j];
        end;
    end;
end;
for i:=1 to N do
begin
    if Cap[i]<>0 then
    begin
        Sumb:=CxIm(Y[i,i])+Cap[i];
        Y[i,i]:=complex(CxRe(Y[i,i]), Sumb);
    end;
end;
end;

Procedure MismatchDaya(N:integer;V,Sg,SL:Carr1;Typ,Vf:Arr1;
                       Y:Carr2;Pbase:double;
                       var Max:double;
                       var MPQ:Arr2);

var i,j,Ia,Id,La:integer;
    Sum,Temp:double;
begin
    Id:=(N-1)*2;
    Ia:=(N-1)*2+1;
    La:=0;
    Max:=0;
    for i:=1 to N do
    begin
        if Typ[i]<>1 then
        begin
            La:=La+1;
            Sum:=0;
            for j:=1 to N do
            begin
                Sum:=Sum+(CxRe(V[i])*CxRe(V[j])*CxRe(Y[i,j])+
                    CxIm(V[j])*-CxIm(Y[i,j]))+
                    CxIm(V[i])*CxIm(V[j])*CxRe(Y[i,j])-
                    CxRe(V[j])*-CxIm(Y[i,j]));
            end;
            MPQ[La, Ia]:=CxRe(Sg[i])/Pbase-CxRe(SL[i])/Pbase-Sum;
        end;
    end;
end;
La:=N-1;
for i:=1 to N do
begin
    if Typ[i]=3 then
    begin
        La:=La+1;
        Sum:=0;
        for j:=1 to N do
        begin

```

```

        Sum:=Sum+(CxIm(V[i])*(CxRe(V[j])*CxRe(Y[i,j])+
            CxIm(V[j])*-CxIm(Y[i,j]))-
            CxRe(V[i])*(CxIm(V[j])*CxRe(Y[i,j])-
            CxRe(V[j])*-CxIm(Y[i,j]))));
    end;
    MPQ[La, Ia]:=CxIm(Sg[i])/Pbase-CxIm(SL[i])/Pbase-Sum;
end
else if Typ[i]=2 then
begin
    La:=La+1;
    MPQ[La, Ia]:=sqr(Vf[i])-(sqr(CxRe(V[i]))+sqr(CxIm(V[i])));
end;
end;
for i:=1 to Id do
begin
    Temp:=abs(MPQ[i, Ia]);
    if Temp>=Max then Max:=Temp;
end;
end;
end;

Procedure ArusBus(N:integer;V:CArr1;Typ:Arr1;Y:CArr2;
    var Ir:CArr1);
var i,j:integer;
    SumA, SumB:double;
begin
    for i:=1 to N do
    begin
        if Typ[i]=3 then
        begin
            SumA:=0;
            SumB:=0;
            for j:=1 to N do
            begin
                if j<>i then
                begin
                    SumA:=SumA+(CxRe(V[j])*CxRe(Y[i,j])+CxIm(V[j])*-CxIm(Y[i,j]));
                    SumB:=SumB+(CxIm(V[j])*CxRe(Y[i,j])-CxRe(V[j])*-CxIm(Y[i,j]));
                end;
            end;
            SumA:=CxRe(V[i])*CxRe(Y[i,i])+CxIm(V[i])*-CxIm(Y[i,i])+SumA;
            SumB:=CxIm(V[i])*CxRe(Y[i,i])-CxRe(V[i])*-CxIm(Y[i,i])+SumB;
            Ir[i]:=complex(SumA, SumB);
        end;
    end;
end;
end;

Procedure JaqobianH(N:integer;V, Ir:CArr1;Typ:Arr1;Y:CArr2;
    var MPQ:Arr2);
var i,j,Ka,La:integer;
begin
    Ka:=0;
    for i:=1 to N do
    begin
        if Typ[i]<>1 then
        begin
            Ka:=Ka+1;
            La:=0;
            for j:=1 to N do
            begin
                if Typ[j]<>1 then
                begin
                    La:=La+1;
                    if j<>i then
                    begin
                        MPQ[Ka, La]:=CxRe(V[i])*CxRe(Y[i,j])-CxIm(V[i])*-CxIm(Y[i,j]);
                    end
                    else
                    begin

```





```

else if Typ[i]=2 then
begin
Ka:=Ka+1;
La:=0;
for j:=1 to N do
begin
if Typ[j]<>1 then
begin
if j=i then
begin
La:=La+1;
MPQ[Ka,La]:=2*CxRe(V[i]);
end
else
begin
La:=La+1;
MPQ[Ka,La]:=0;
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

Procedure JaqobianN(N:integer;V,Ir:CArr1;Typ:Arr1;Y:CArr2;
var MPQ:Arr2);

```

```

var i,j,Ka,La:integer;
begin
Ka:=N-1;
for i:=1 to N do
begin
if Typ[i]=3 then
begin
Ka:=Ka+1;
La:=N-1;
for j:=1 to N do
begin
if Typ[j]<>1 then
begin
La:=La+1;
if j<>i then
begin
MPQ[Ka,La]:=-CxRe(V[i])*CxRe(Y[i,j])+CxIm(V[i])*-CxIm(Y[i,j]);
end
else
begin
MPQ[Ka,La]:=(-CxRe(V[i])*CxRe(Y[i,j])+CxIm(V[i])*
-CxIm(Y[i,j]))+CxRe(Ir[i]);
end;
end;
end;
end
end
else if Typ[i]=2 then
begin
Ka:=Ka+1;
La:=N-1;
for j:=1 to N do
begin
if Typ[j]<>1 then
begin
if j=i then
begin
La:=La+1;
MPQ[Ka,La]:=2*CxIm(V[i]);
end
else
begin
La:=La+1;

```

```

        MPQ[Ka,La]:=0;
    end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

Procedure GantiTeg(N:integer;Typ, YE:Arr1;
    var V:CArr1);

```

```

var i,Ka,La:integer;
    a,b:double;
begin
    Ka:=0;
    La:=N-1;
    for i:=1 to N do
    begin
        if Typ[i]<>1 then
        begin
            Ka:=Ka+1;
            La:=La+1;
            a:=CxRe(V[i])+YE[Ka];
            b:=CxIm(V[i])+YE[La];
            V[i]:=complex(a,b);
        end;
    end;
end;

```

```

Procedure AlirDaya(N:integer;V:CArr1;Y:CArr2;Lc:Arr2;Pbase:double;
    var AlirS:CArr2);

```

```

var i,j:integer;
    a,b:double;
    temp1,temp2,temp3:TComplex;
begin
    for i:=1 to N do
    begin
        for j:=1 to N do
        begin
            if CxIm(Y[i,j])<>0 then
            begin
                temp1:=CxKurang(V[i],V[j]);
                temp2:=CxConjg(V[i]);
                temp1:=CxKali(temp1,temp2);
                temp2:=CxNegatif(Y[i,j]);
                temp3:=CxKali(temp1,temp2);
                temp1:=CxConjg(V[i]);
                temp1:=CxKali(temp1,V[i]);
                temp2:=complex(0,Lc[i,j]);
                temp1:=CxKali(temp1,temp2);
                a:=(CxRe(temp3)+CxRe(temp1))*Pbase;
                b:=-(CxIm(temp3)+CxIm(temp1))*Pbase;
                AlirS[i,j]:=complex(a,b);
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

Procedure DayaReaktif(N:integer;V,SL:CArr1;Typ:Arr1;Y:CArr2;Pbase:double;
    var Sg:CArr1);

```

```

var i,j:integer;
    Sum,a:double;
begin
    for i:=1 to N do
    begin
        Sum:=0;
        if Typ[i]=2 then
        begin
            for j:=1 to N do

```

```

begin
  Sum:=Sum+(CxIm(V[i])*(CxRe(V[j])*CxRe(Y[i,j])+CxIm(V[j])*
    -CxIm(Y[i,j]))-CxRe(V[i])*(CxIm(V[j])*CxRe(Y[i,j])
    -CxRe(V[j])*-CxIm(Y[i,j]))));
end;
a:=Sum*Pbase+CxIm(SL[i]);
Sg[i]:=complex(CxRe(Sg[i]),a);
end;
end;
end;

```

```

Procedure DayaSlack(N:integer;SL:Carr1;Typ:Arr1;AlirS:Carr2;
  var Sg:Carr1);

```

```

var i,j:integer;
  a,b,SumA,SumB:double;
begin
  for i:=1 to N do
  begin
    SumA:=0;
    SumB:=0;
    if Typ[i]=1 then
    begin
      for j:=1 to N do
      begin
        if j<>i then
        begin
          if CxRe(AlirS[i,j])<>0 then
          begin
            SumA:=SumA+CxRe(AlirS[i,j]);
            SumB:=SumB+CxIm(AlirS[i,j]);
          end;
        end;
      end;
      a:=SumA+CxRe(SL[i]);
      b:=SumB+CxIm(SL[i]);
      Sg[i]:=complex(a,b);
    end;
  end;
end;
end;

```

```

Procedure ArusSaluran(N:integer;Y:Carr2;Lc:Arr2;V:Carr1;
  var IsL:Carr2);

```

```

var i,j:integer;
  Temp1,Temp2,Temp3:TComplex;
begin
  SetLength(IsL,N+1,N+1);
  for i:=1 to N do
  begin
    for j:=1 to N do
    begin
      Lc[j,i]:=Lc[i,j];
    end;
  end;
  for i:=1 to N do
  begin
    for j:=1 to N do
    begin
      if CxIm(Y[i,j])<>0 then
      begin
        Temp1:=CxKurang(V[i],V[j]);
        Y[i,j]:=CxNegatif(Y[i,j]);
        Temp1:=CxKali(Temp1,Y[i,j]);
        Temp2:=V[i];
        Temp3:=complex(0,Lc[i,j]);
        Temp2:=CxKali(Temp2,Temp3);
        IsL[i,j]:=Cxtambah(Temp1,Temp2);
      end;
    end;
  end;
end;
end;

```

```

end;
end;

Procedure TegSaluran(N:integer;V:Carr1;Z,IsL:Carr2;
                    var Vs:Carr2;
                    var uV:Arr2);

var i,j:integer;
    AbsV:double;
    dV:TComplex;
begin
    SetLength(Vs,N+1,N+1);
    SetLength(uV,N+1,N+1);
    for i:=1 to N do
    begin
        for j:=1 to N do
        begin
            if CxIm(Z[i,j])<>0 then
            begin
                if CxRe(IsL[i,j])>0 then
                begin
                    dV:=CxKali(IsL[i,j],Z[i,j]);
                    Vs[i,j]:=CxKurang(V[i],dV);
                    AbsV:=CxAbs(Vs[i,j]);
                    if (AbsV<0.9) or (AbsV>1.05) then
                    begin
                        uv[i,j]:=0;
                    end
                    else if (AbsV>=0.9) and (AbsV<1) then
                    begin
                        uv[i,j]:=(AbsV-0.9)/0.1;
                    end
                    else if (AbsV>=1) and (AbsV<=1.05) then
                    begin
                        uv[i,j]:=(1.05-AbsV)/0.05;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;
end;
end;
end;

```

```

Procedure NewtonRaphson1(N:integer;Z:Carr2;LC,TR:Arr2;Pbase:double;
                        var iterasi:integer;
                        var Beban:Arr2;
                        var AlirS,IsL,Vs:Carr2;
                        var uv:Arr2);

var i,Ia,Id:integer;
    Typ,Cap,Vf,YE:Arr1;
    MPQ:Arr2;
    V,Sg,SL,Ir:Carr1;
    Y:Carr2;
    Max:double;
    Label Awal,Keluar;
begin
    Id:=(N-1)*2;
    Ia:=(N-1)*2+1;
    SetLength(V,N+1);
    SetLength(Sg,N+1);
    SetLength(SL,N+1);
    SetLength(Typ,N+1);
    SetLength(Cap,N+1);
    SetLength(Ir,N+1);
    SetLength(Vf,N+1);
    SetLength(YE,Id+1);
    SetLength(Y,N+1,N+1);
    SetLength(AlirS,N+1,N+1);
    SetLength(MPQ,Id+1,Ia+1);
    for i:=1 to N do

```

```

begin
  V[i]:=complex(Beban[i,1],Beban[i,2]);
  Sg[i]:=complex(Beban[i,3],Beban[i,4]);
  SL[i]:=complex(Beban[i,5],Beban[i,6]);
  Typ[i]:=Beban[i,7];
  Cap[i]:=Beban[i,8];
  if Typ[i]=2 then
  begin
    Vf[i]:=Beban[i,1];
  end;
end;
iterasi:=0;
Admitansi(N,Z,LC,TR,Cap,Y);
Awal:
MismatchDaya(N,V,Sg,SL,Typ,Vf,Y,Pbase,Max,MPQ);
if Max<=0.0001 then goto Keluar;
if iterasi=15 then
begin
  goto Keluar;
end;
ArusBus(N,V,Typ,Y,Ir);
JaqobianH(N,V,Ir,Typ,Y,MPQ);
JaqobianL(N,V,Ir,Typ,Y,MPQ);
JaqobianM(N,V,Ir,Typ,Y,MPQ);
JaqobianN(N,V,Ir,Typ,Y,MPQ);
EllGauss(Id,Ia,MPQ,YE);
GantiTeg(N,Typ,YE,V);
iterasi:=iterasi+1;
goto Awal;
Keluar:
AlirDaya(N,V,Y,Lc,Pbase,AlirS);
Dayareaktif(N,V,SL,Typ,Y,Pbase,Sg);
DayaSlack(N,SL,Typ,AlirS,Sg);
ArusSaluran(N,Y,Lc,V,IsL);
TegSaluran(N,V,Z,IsL,Vs,uv);
for i:=1 to N do
begin
  Beban[i,1]:=CxRe(V[i]);
  Beban[i,2]:=CxIm(V[i]);
  Beban[i,3]:=CxRe(Sg[i]);
  Beban[i,4]:=CxIm(Sg[i]);
end;
end;
end.

```

```

unit SensitivityTree;

interface

uses Komplex,NewtonRaphson,Sensitivits,UnitFile,
    Classes,SysUtils,UnitMath;

Procedure ExpertResult(var Pesan:TStrings;
    var SU,Beban1,Beban2:Arr2;
    var V1,V2,Sd1,Sd2:Arr1);

implementation

Procedure SortControl(Nc,Stat:byte;
    var Sens:Arr1);

var i,j:byte;
    temp:double;
begin
    SetLength(Sens,Nc+1);
    for i:=1 to Nc do
        begin
            Sens[i]:=SU[stat*2,i];
        end;
    for i:=1 to Nc-1 do
        begin
            for j:=i to Nc do
                begin
                    if Sens[i]<Sens[j] then
                        begin
                            temp:=Sens[i];
                            Sens[i]:=Sens[j];
                            Sens[j]:=temp;
                        end;
                end;
            end;
        end;
    end;

Procedure Cekteg(PraV:Arr1;
    var Fault:iArr1;
    var Aman:boolean);

var i:byte;
begin
    SetLength(Fault,N+1);
    Aman:=true;
    for i:=1 to N do
        begin
            if (PraV[i]>Beban[i,9]) or (PraV[i]<Beban[i,10]) then
                begin
                    Fault[i]:=i;
                    Aman:=false;
                end;
            end;
        end;
    end;

Procedure FindBestContAct(Stat,Ulang:byte;Kz:iArr1;Sens:Arr1;SU:Arr2;
    var Opt,Control:byte);

var i:byte;
begin
    Control:=0;
    Opt:=0;
    for i:=1 to Nc do
        begin
            if Sens[Ulang]=SU[Stat*2,i] then
                begin
                    Opt:=i;
                end;
            end;
        end;
    Control:=Kz[Opt];

```

```

end;

Procedure FindValContAct (Stat, Opt, Control:byte; PraV:Arr1;
                        var ValCon, AddCon:double;
                        var CekControl:boolean);
begin
  CekControl:=true;
  if PraV[Stat]>Beban[Stat,9] then
  begin
    ValCon:=(Beban[Stat,9]-PraV[Stat])/SU[Stat*2,Opt];
  end
  else if PraV[Stat]<Beban[Stat,10] then
  begin
    ValCon:=(Beban[Stat,10]-PraV[Stat])/SU[Stat*2,Opt];
  end;
  //temp:=FloatToStrF(ValCon, ffNumber, 10, 6);
  //ValCon:=StrToFloat(temp);
  if Beban[Control,7]=2 then
  begin
    AddCon:=PraV[Control]+ValCon;
  end
  else if Beban[Control,7]=3 then
  begin
    AddCon:=Beban[Control,4]+ValCon*Pbase;
  end;
  if AddCon>Cup[Opt] then
  begin
    AddCon:=Cup[Opt];
    CekControl:=False;
  end
  else if AddCon<Clow[Opt] then
  begin
    AddCon:=Clow[Opt];
    CekControl:=False;
  end;
end;

Procedure CekTegLain (Opt:byte; ValCon, AddCon:double;
                    var PraV:Arr1;
                    var Aman:boolean);

var i:byte;
    dV:Arr1;
begin
  SetLength(dV, N+1);
  Aman:=true;
  for i:=1 to N do
  begin
    if Beban[i,7]=2 then
    begin
      PraV[i]:=AddCon;
    end
    else if Beban[i,7]=3 then
    begin
      dV[i]:=SU[i*2,Opt]*ValCon;
      if PraV[i]>Beban[i,9] then
      begin
        Aman:=false;
      end;
    end;
  end;
  if Aman=true then
  begin
    for i:=1 to N do
    begin
      PraV[i]:=dV[i]+PraV[i]
    end;
  end;
end;
end;

```







```

end;
NewtonRaphson1(N,Z,Lc,Tr,Pbase,iterasi,Beban,AlirS,IsL,Vs,uv);
SetLength(Beban1,N+1,8+1);
for i:=1 to N do
begin
  for j:=1 to 8 do
  begin
    Beban1[i,j]:=Beban[i,j];
  end;
end;
Bentuk_Sensitivitas(N,Nc,Kz,Beban,Lc,Tr,Z,SU);
for i:=1 to N do
begin
  V1[i]:=sqrt(sqr(Beban[i,1])+sqr(Beban[i,2]));
  Sd1[i]:=arcTan(Beban[i,2]/Beban[i,1])*180/pi;
  PraV[i]:=V1[i];
end;
Rekur:=0;
Rekursi(PraV,Rekur,Pesan);
if Rekur=10 then
begin
  Pesan.Add('Expert System tidak dapat mengatasi pelanggaran')
end
else
begin
  for i:=1 to N do
  begin
    for j:=1 to 8 do
    begin
      Beban[i,j]:=tmpBeban[i,j];
    end;
  end;
  for i:=1 to N do
  begin
    if Beban[i,7]<>3 then
    begin
      Beban[i,1]:=PraV[i];
      Beban[i,2]:=0;
    end;
  end;
  NewtonRaphson1(N,Z,Lc,Tr,Pbase,iterasi,Beban,AlirS,IsL,Vs,uv);
  SetLength(Beban2,N+1,8+1);
  for i:=1 to N do
  begin
    for j:=1 to 8 do
    begin
      Beban2[i,j]:=Beban[i,j];
    end;
  end;
  for i:=1 to N do
  begin
    V2[i]:=sqrt(sqr(Beban[i,1])+sqr(Beban[i,2]));
    Sd2[i]:=arcTan(Beban[i,2]/Beban[i,1])*180/pi;
  end;
  Pesan.Add('Seluruh pelanggaran telah diatasi');
end;
end;
end.

```