

# **SKRIPSI**

## **PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK DISTRIBUSI PAKIS MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENDEKATAN FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING**



*Disusun Oleh :*  
**DITO HANANDIYO**  
**00.12.152**

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

**MARET 2009**

---

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK DISTRIBUSI  
PAKIS MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
PENDEKATAN FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING**

**SKRIPSI**

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

*Disusun Oleh:*

**DITO HANANDIYO**

**00.12.152**

**Diperiksa dan disetujui**

**Dosen Pembimbing I**



**Ir. TEGUH HERBASUKI, MT**  
**NIP.Y. 1038900209**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. H. CHOIRUL SHALEH, MT**  
**NIP.Y. 1018800190**

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT**  
**NIP.Y. 1039500274**

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

## ABSTRAKSI

### PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK DISTRIBUSI PAKIS MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENDEKATAN FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING

( Dito Hanandiyo, Nim 00.12.152, Teknik Elektro/T.Energi Listrik S-1 )  
( Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT & Ir. H. Choirul Saleh, MT)

**Kata Kunci** : Sadapan berbeban, status kapasitor shunt, *fuzzy dynamic programming*

Penentuan posisi sadapan berbeban dan status terhubung terputusnya kapasitor shunt merupakan salah satu upaya untuk mengatur tegangan pada sisi sekunder dan memperbaiki factor transformator utama pada saat yang bersamaan. Metode *fuzzy dynamic programming* dengan proses forward *dynamic programming* digunakan untuk menentukan posisi sadapan berbeban pada transformator. Batasan-batasan penyimpangan tegangan sekunder jumlah maksimal pergantian tap dan jumlah status terhubung terputusnya kapasitor shunt digunakan sebagai pertimbangan untuk menentukan hasil yang diinginkan. Dengan menggunakan data P.T PLN (persero) P3B Region Jawa Timur & Bali tepatnya GI Pakis Malang, diperoleh hasil perpindahan Tap sebanyak 26 kali dan tidak ada terhubung terputusnya kapasitor shunt, sehingga rata-rata keluaran tegangan pada sisi sekunder sebesar 0.999917 pu atau 19.99 KV dengan prosentase error 4,53 %



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya memungkinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, **“PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK DISTRIBUSI PAKIS MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENDEKATAN FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING”**.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang guna mengakhiri pendidikan pada jenjang strata satu jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang.

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

1. **Ir. Sidik Noertjahjono, MT**, selaku Dekan FTI ITN Malang.
2. **Ir. F Yudi Limpraptono, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro (S1) ITN Malang.
3. **Ir. Yusuf Ismail Nahkoda, MT**, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro (S1) ITN Malang.
4. **Ir. Teguh Herbasuki, MT**, selaku bapak dan dosen pembimbing I.
5. **Ir. H.Choirul Shaleh, MT**, selaku bapak dan dosen pembimbing II.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi dapat berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro S-1 konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, Februari 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman:</b>
<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> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Pembahasan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metode Pembahasan.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4

## **BAB II PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK DISTRIBUSI**

2.1.	Proses Penyampaian Tenaga Listrik Ke Pelanggan .....	6
2.2.	Masalah-Masalah Operasi Sistem Tenaga Listrik.....	10
2.3.	Hal-Hal Yang Mempengaruhi Pengaturan Tegangan .....	12
2.4.	Pengendalian Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi.....	13
2.4.1.	Pengubah Sadapan Berbeban .....	14
2.4.2.	Kapasitor Shunt .....	18
2.5.	Ketentuan Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi	20

## **BAB III FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING**

3.1.	Konsep Teori Fuzzy .....	24
3.2.	Teori Himpunan Fuzzy .....	26
3.2.1.	Definisi-Definisi Teori Himpunan Fuzzy .....	27
3.2.2.	Operasi Himpunan Fuzzy .....	30
3.3.	Fungsi Keanggotaan Untuk Variable $ \Delta V_2 $ .....	33
3.4.	Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy pf.....	34
3.5.	Fungsi Keanggotaan Untuk Variabel $N_{tap}$ .....	35
3.6.	Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy $N_c$ .....	36
3.7.	Konsep Teori Dynamic programming.....	37
3.8.	Model Matematis Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi.....	39
3.9.	Algoritma Fuzzy Dynamic Programming.....	44

3.10.	Proses Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi Dengan Menggunakan Fuzzy Dynamic Programming.....	46
3.11.	Flowchart Pengaturan Tegangan.....	49

**BAB IV ANALISA MENENTUKAN KAPASITOR YANG OPTIMAL  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20kV TIPE RADIAL GI PAKIS  
PENYULANG TUMPANG**

4.1.	Aplikasi Perhitungan Fuzzy Dynamic Programming.....	51
4.2.	Data.....	52
4.2.1	Data-Data Sistem.....	52
4.3.	Hasil Dan Analisis Hasil.....	56
4.3.1.	Program Komputer Menggunakan Metode <i>Fuzzy Dynamic Programming</i> .....	56
4.4.	Hasil Pemrograman.....	60
4.5.	Tampilan Grafik.....	66

**BAB V KESIMPULAN**

5.1.	Kesimpulan.....	68
5.2.	Saran.....	69

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman :
2.1 Skema Pusat Listrik Yang Dihubungkan Melalui Saluran Transmisi Ke Gardu Induk.....	7
2.2. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan.....	8
2.3. Batas Instalasi PLN Dan Instalasi Pelanggan .....	9
2.4. Sistem tenaga listrik dengan PLTU, sebuah PLTG, Sebuah PLTD, sebuah PLTA dan delapan buah gardu induk (GI).....	9
2.5. Pengubah Sadapan Berbeban Dengan 5 Sakelar.....	15
2.6. Bagan Pengaturan Tegangan Secara Otomatis.....	16
2.7. Diagram Satu Garis Pemasangan Kapasitor Shunt .....	19
2.8. Diagram Satu Garis Gardu Induk Distribusi.....	21
3.1. Fungsi Karakteristik Pada Himpunan Crips Dan Himpunan Fuzzy.....	26
3.2. Inti, Penyokong, Batas Dan Titik Silang Dari Himpunan Fuzzy A.....	29
3.3. Jenis-Jenis Fungsi Keanggotaan.....	30
3.4. Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy $ \Delta V_2 $ .....	33
3.5. Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy Pf.....	34
3.6. Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy $N_{lap}$ .....	35
3.7. Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy $N_c$ .....	36
3.8. Jalur Pencarian Dengan Metode Dynamic Programming.....	38

3.9. Model Matematis Dari Transformator Utama Dengan Pengubah Sadapan Berbeban Dan Kapasitor Shunt.....	39
3.10. Lintasan Pencarian ( <i>Search Path</i> ) Data <i>Fuzzy Dynamic Programming</i> .....	45
4.1. Tampilan Program Utama.....	56
4.2. Tampilan Program Utama.....	57
4.3. Tampilan Program Utama.....	58
4.4. Tampilan Program Utama.....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel :	Halaman :
2-1	Tabel Posisi Dan Kerja ..... 15
4-1.	Kapasitas Daya Dan Tegangan Nominal Transformator Utama..... 52
4-2.	Data Spesifikasi Saluran Penyulang Tumpang.....53
4-3.	Besarnya Kebutuhan Daya Aktif, Daya Reaktif, Tegangan Pada Sisi Primer Dan Tegangan Sekunder Data Pln G.I Pakis Penyulang Tumpang..... 54
4-4.	Besarnya Daya Aktif, Daya Reaktif, Tegangan Sisi Primer Dan Tegangan Pada Sisi Sekunder Data PLN G.I Pakis Dalam Satuan Per unit (Pu)..... 55
4-5.	Hasil Perhitungan Program $V_2$ (Pu) ..... 61
4-6.	Hasil Perhitungan Program $V_2$ (Kv)..... 62
4-7	Hasil konversi tegangan sekunder data PLN dari $v_2$ (pu) menjadi $v_2$ (Kv).....63
4-8.	Perbandingan Antara Hasil FDP Dengan Hasil PLN Selama 24 Jam Dalam bentuk pu.....64
4-9.	Perbandingan Antara Hasil FDP Dengan Hasil PLN Selama 24 Jam Dalam bentuk Kv..... 64
4.10	Perbandingan rata-rata $v_2$ hasil perhitungan FDP dengan $v_2$ data dari PLN..... 59

## DAFTAR GRAFIK

Grafik :	Halaman :
4-1 Perbandingan Hasil FDP Dan Hasil PLN Terhadap Keluaran Sisi Sekunder.....	67

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penyampaian tenaga listrik dari pusat pembangkit kepada pelanggan untuk keperluan rumah tangga komersial maupun industri tidak dapat dipisahkan dari kualitas tegangan yang disampaikan kepada pelanggan. Umumnya peralatan-peralatan listrik untuk keperluan komersial maupun industri telah dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mengkonsumsi tegangan sampai pada suatu batas tertentu. Karena itu diperlukan pengaturan tegangan sehingga penggunaan setiap daya dan tegangan menjadi ekonomis.

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, kendala yang harus dihadapi pada pengaturan tegangan adalah besarnya tegangan di setiap bagian tidak sama. Hal ini disebabkan pengaturan tegangan di suatu tempat dipengaruhi oleh sumber-sumber daya reaktif setempat. Oleh karena itu pengaturan tegangan erat kaitannya dengan daya reaktif dalam sistem.

Pada gardu induk distribusi, pengaturan tegangan dilakukan dengan cara mengatur posisi sadapan pengubahan sadapan beban (On Load Tap Changing – OLTC) yang dilengkapi dengan pengaturan tegangan otomatis dan memasang kapasitor shunt pada sisi sekunder transformator utama dalam gardu induk distribusi.

Untuk itu dibutuhkan suatu metode yang dapat menjaga agar kinerja peralatan-peralatan tersebut tetap ekonomis dengan tetap menjamin kualitas tegangan yang baik.

Pada penulisan skripsi ini penulis mengusulkan pengaturan operasional peralatan-peralatan pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi dengan metode pendekatan *Fuzzy Dynamic Programming* yang digunakan untuk mengatur tegangan dengan menentukan status terhubung / terputusnya kapasitor shunt dan menentukan posisi sadapan berbeban tanpa terpaku pada suatu model matematis tertentu.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan hal tersebut permasalahan yang akan dibahas adalah seberapa besar kemampuan untuk mengatur tegangan pada sisi sekunder dan memperbaiki faktor daya transformator utama pada saat yang bersamaan, melalui penentuan posisi sadapan berbeban dan status terhubung terputusnya kapasitor shunt yang tepat, agar mendapatkan keluaran pada sisi sekunder trafo mendekati keluaran tegangan sisi sekunder ideal. Sehubungan dengan hal tersebut, maka skripsi ini disusun dengan mengambil judul :

**“ PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK DISTRIBUSI  
PAKIS MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
PENDEKATAN FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING ”**

### **1.3 Tujuan Pembahasan**

Tujuan yang diharapkan dari pembahasan skripsi ini adalah untuk mengatur tegangan (memperbaiki profil tegangan) pada gardu induk Pakis penyulang Tumpang 20 Kv dengan menggunakan metode pendekatan *Fuzzy Dynamic Programming* agar dapat menghasilkan tegangan keluaran yang ideal ( $\pm 5\%$  dari tegangan nominal)

### **1.4 Batasan Masalah**

Masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini meliputi masalah pengaturan tegangan pada sistem distribusi akan berhubungan dengan pengaturan operasi peralatan-peralatan pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi.

Mengingat luasnya ruang lingkup pembahasan pengaturan tegangan pada sistem tenaga listrik, terutama pada sistem distribusi, maka perlu dilakukan beberapa pembatasan untuk lebih memudahkan formulasi dan solusi serta memfokuskan masalah yang akan dibahas, antara lain :

- Sistem yang ditinjau adalah dalam keadaan normal (Steady State).
- Pembahasan hanya mencakup pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi Pakis Malang.
- Fungsi obyektif pengaturan tegangan dibagi menjadi dua yaitu tegangan sisi sekunder transformator dan faktor daya transformator, sedangkan tegangan sisi primer transformator tidak dibahas.
- Kriteria pembatasan atau kendala yang digunakan adalah jumlah kerja pengubah sadapan beban dan sakelar kapasitor shunt.

## **BAB II. Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi**

Merupakan teori penunjang yang memberikan penjelasan tentang hal-hal yang mempengaruhi Pengaturan Tegangan, Pengendalian Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi, Pengubahan Sadapan Berbeban, Kapasitor Shunt, Ketentuan Pengaturan Tegangan.

## **Bab III. Fuzzy Dynamic Programming**

Merupakan penjelasan mengenai Teori Himpunan Fuzzy, Operasi Himpunan Fuzzy, Pengambilan Keputusan Fuzzy Serta Aplikasi *Fuzzy Logic* Pada Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi, Konsep Teori *Fuzzy Dynamic Programming*, Proses Pengaturan Tegangan Dengan *Fuzzy Dynamic Programming*, *Flowchart* Perhitungan.

## **Bab IV. Simulasi Dan Analisa Data**

Merupakan aplikasi perhitungan dari *Fuzzy Dynamic Programming*, Data-Data Sistem, Melakukan Perhitungan Dengan Data-Data Gardu Induk Pakis 20 Kv, Hasil Perhitungan Data Pakis, Hasil Perhitungan Dan Tampilan Grafik

## **Bab V. Kesimpulan Dan Saran**

Merupakan penutup dari penulisan akhir, berisi kesimpulan dan saran dari seluruh pembahasan.



## BAB II

# PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK DISTRIBUSI

### 2.1 Proses Penyampaian Tenaga Listrik Ke Pelanggan<sup>[4]</sup>

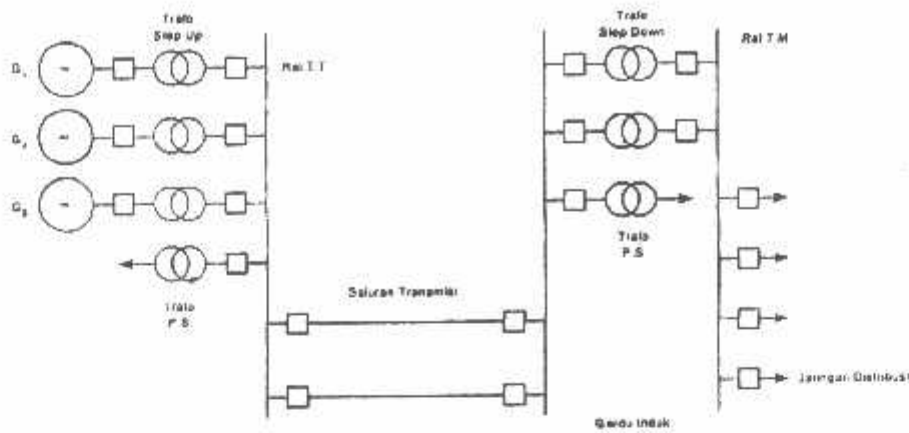
Sistem tenaga listrik merupakan gabungan dari beberapa komponen listrik dengan tujuan merubah energi dari bentuk lain ke energi listrik dan kemudian menyalurkannya dari pusat-pusat pembangkit ke pusat-pusat beban (konsumen).

Sistem tenaga listrik dari tiga komponen utama, yaitu :

1. Pusat pembangkit tenaga listrik
2. Jaringan transmisi tenaga listrik
3. Sistem distribusi tenaga listrik

Energi primer dari alam seperti bahan bakar (minyak bumi, batubara), air, panas bumi, angin dan surya dikonversikan menjadi energi mekanik oleh penggerak mula yang kemudian memutar generator untuk menghasilkan tenaga listrik. Proses ini dilakukan dalam pusat-pusat pembangkit listrik seperti : PLTA, PLTU, PLTG, PLTP, PLTGu, PLTS dan PLTN.

Tenaga listrik yang dibangkitkan dalam pusat-pusat pembangkit listrik terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step-up transformer*) yang ada di pusat listrik kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Hal ini digambarkan pada gambar 2.1. saluran transmisi tinggi di PLN kebanyakan mempunyai tegangan 70 kV, 150kV, dan 500 kV.



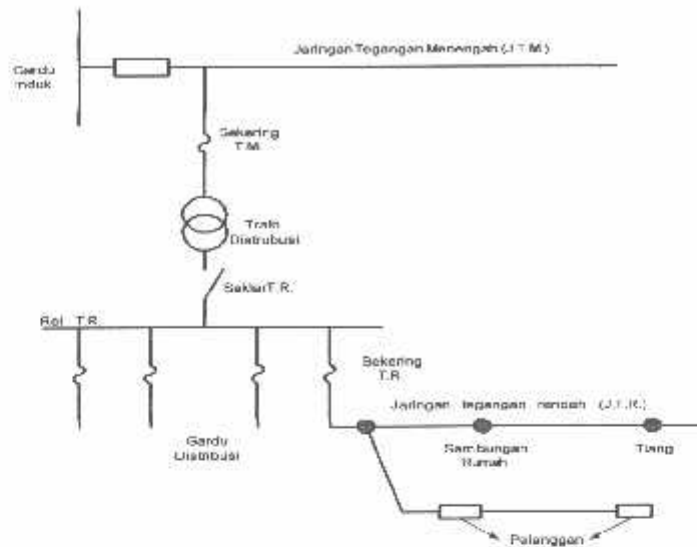
Gambar 2.1.

Skema pusat listrik yang dihubungkan melalui saluran transmisi ke gardu induk<sup>[4]</sup>

Dari gambar 2.1. terlihat bahwa dipusat listrik maupun di gardu induk selalu ada transformator pemakaian sendiri guna melayani keperluan tenaga listrik yang diperlukan dalam pusat listrik maupun gardu induk.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di gardu induk (G.I) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (*step-down transformer*) menjadi tegangan menengah. Tegangan yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV dan 6 kV. Kemudian tenaga listrik disalurkan melalui jaringan tegangan menengah (JTM).

Setelah itu tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 volt atau 220/127 volt, kemudian disalurkan ke rumah-rumah pelanggan PLN melalui sambungan rumah. Hal ini digambarkan pada gambar 2.2

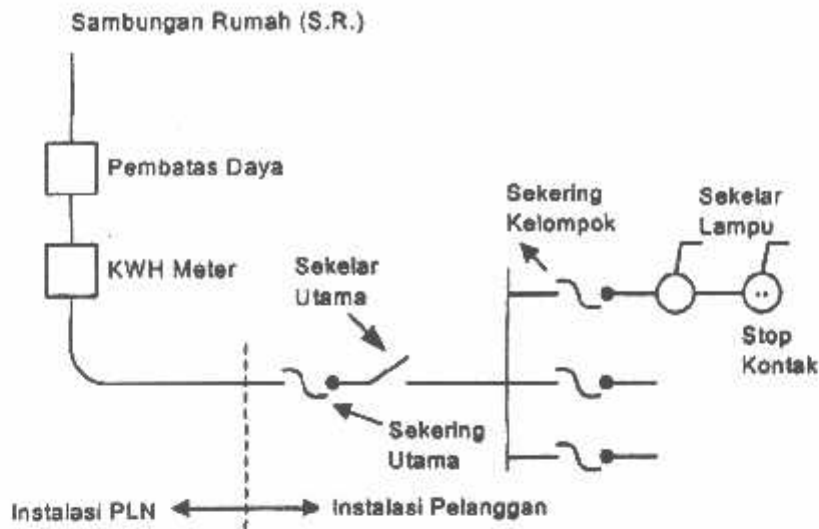


Gambar 2.2.

Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan<sup>[4]</sup>

Setelah tenaga listrik melalui jaringan tegangan menengah (JTM), jaringan tegangan rendah (JTR) dan sambungan rumah (SR), maka tenaga listrik selanjutnya melalui alat pembatas daya dan kWh meter. Rekening listrik pelanggan tergantung kepada daya tersambung serta pemakaian kWh-nya, oleh karenanya PLN memasang pembatas daya dan kWhmeter.

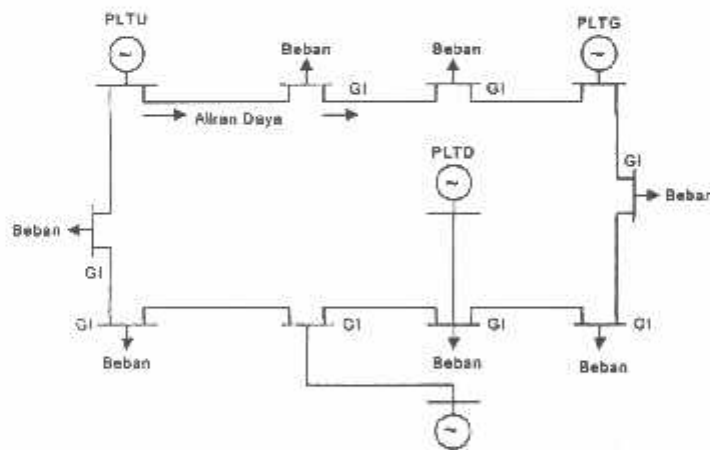
Setelah melalui kWhmeter ,seperti terlihat pada gambar 2.3. tenaga listrik kemudian memasuki instalasi rumah, yaitu instalasi milik pelanggan seperti lampu, setrika, lemari es, pesawat radio, pesawat televisi dan lain-lain.



Gambar 2.3.

Batas instalasi PLN dan instalasi pelanggan <sup>[4]</sup>

Pusat-pusat listrik dan GI satu dengan lainnya dihubungkan oleh saluran transmisi sehingga terbentuk suatu sistem tenaga listrik seperti gambar 2.4. agar tenaga listrik dapat mengalir sesuai dengan kebutuhan (*demand*).



Gambar 2.4.

Sistem tenaga listrik dengan PLTU, sebuah PLTG, sebuah PLTD, sebuah PLTA dan delapan buah gardu induk (GI) <sup>[4]</sup>

Setiap GI sesungguhnya merupakan pusat beban untuk daerah pelanggan tertentu, bebannya berubah-ubah sepanjang waktu sehingga daya yang dibangkitkan pusat-pusat listrik ikut berubah. Perubahan beban dan perubahan pembangkit daya ini menyebabkan aliran daya dalam saluran transmisi dan jaringan distribusi berubah-ubah sepanjang waktu yang turut mempengaruhi mutu dan keandalan yang diukur dengan frekuensi, tegangan dan jumlah gangguan.

## 2.2 Masalah-Masalah Operasi Sistem Tenaga Listrik

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik sering ditemui berbagai masalah. Hal ini disebabkan karena pemakaian tenaga listrik selalu berubah sepanjang waktu, biaya bahan bakar yang relatif tinggi serta kondisi alam dan lingkungan yang sering mengganggu jalannya operasi.

Berbagai masalah pokok yang harus dihadapi dalam pengoperasian sistem tenaga listrik adalah<sup>[4]</sup> :

1. Pengaturan frekuensi dalam sistem

Sistem listrik harus dapat memenuhi kebutuhan (*demand*) akan tenaga listrik dari konsumen sepanjang waktu. Untuk itu daya yang dibangkitkan dalam sistem tenaga listrik harus selalu sama atau mendekati besarnya beban sistem. Hal ini dapat diamati melalui frekuensi sistem.

2. Pemeliharaan peralatan

Peralatan yang beroperasi dalam sistem tenaga listrik perlu dipelihara secara periodik dan harus segera diperbaiki apabila mengalami kerusakan.

### 3. Biaya operasi

Biaya operasi khususnya biaya bahan bakar adalah biaya terbesar dari suatu perusahaan listrik sehingga perlu digunakan teknik-teknik optimasi untuk menekan biaya ini.

### 4. Perkembangan sistem

Beban selalu berubah sepanjang waktu dan juga selalu berkembang seiring dengan perkembangan kegiatan yang tidak dapat dirumuskan secara eksak. Untuk itu perlu pengamatan secara terus-menerus agar dapat diketahui langkah-langkah pengembangan sistem yang harus dilakukan supaya sistem dapat mengikuti perkembangan beban sehingga tidak akan terjadi pemadaman tenaga listrik dalam sistem.

### 5. Gangguan dalam system tenaga listrik

Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah sesuatu yang tidak dapat sepenuhnya dihindari. Pada umumnya penyebab gangguan adalah kondisi alam dan lingkungan seperti petir, angin, dll

### 6. Pengaturan tegangan dalam sistem tenaga

Tegangan merupakan salah satu unsur kualitas penyediaan tenaga listrik dalam sistem. Kualitas tegangan yang diinginkan adalah besarnya tegangan yang digunakan sesuai dengan tegangan yang di desain dari peralatan listrik konsumen, sampai pada batas tertentu.

## 2.4 Pengendalian Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi

Pengendalian tegangan pada gardu induk distribusi di perlukan untuk menjaga agar tegangan distribusi masih dalam batas-batas yang diperbolehkan maka ini berarti tegangan perlu dikendalikan, misalnya menaikkan tegangan bila rendah dan menurunkan tegangan bila tinggi. Ada beberapa cara untuk memperbaiki pengaturan tegangan secara keseluruhan dari GI distribusi, antara lain<sup>[1]</sup>:

1. Memakai alat pengatur tegangan pada gardu induk (GI).
2. Memasang kapasitor parallel (shunt capacitor) pada gardu induk.

Transformator utama dalam gardu induk dilengkapi dengan pengubah sadapan berbeban (On Load Tap Changing = OLTC) yang bekerja secara otomatis terhadap sctiap perubahan beban, sehingga tetap dapat dijaga agar tegangan yang diinginkan dapat tercapai. Bila beban meningkatkan, alat pengatur tegangan ini akan menaikkan tegangan penyulang JTM di GI untuk mengkompensir jatuh tegangan pada saluran distribusinya.

Kapasitor pada umumnya tidak dipasang seri pada saluran JTM, dan pada GI kapasitor dipasang hanya untuk mendapatkan faktor daya yang ekonomis. Biasanya instalasi kendalinya cukup rumit agar sakelarnya dapat berfungsi sebagai sakelar hubung otomatis. Pada hal tertentu, kapasitor yang dilengkapi dengan sakelar hubung otomatis, dapat menggantikan alat pengaturan tegangan tipe pengubahan sadapan berbeban yang konvensional untuk mengatur tagangan pada saluran JTM.

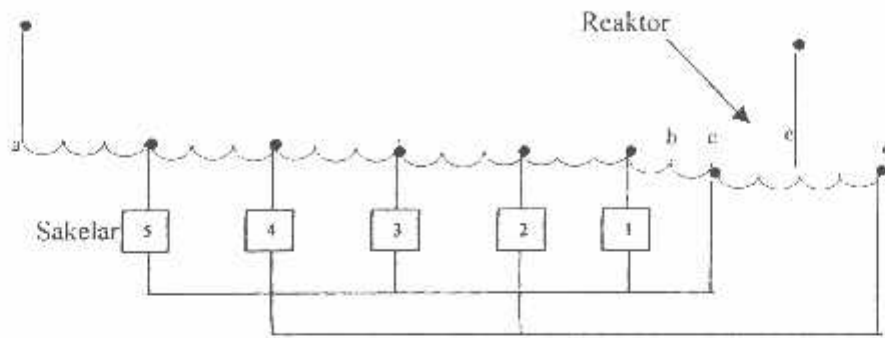
#### 2.4.1 Pengubahan Sadapan Berbeban

Untuk dapat mengendalikan tegangan primer jaringan distribusi dan menjaga tegangan sistem yang sampai pada pelanggan masih memenuhi syarat, sebagian besar GI dilengkapi dengan suatu alat pengatur tegangan. Pada transformator utama di GI yang memasok JTM, dilengkapi dengan pengubah sadapan berbeban, yang dapat mengubah besarnya tegangan tanpa harus memutus sirkuitnya. Sadapan (tap) ini dapat merubah perbandingan dari transformator. Sadapan dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi maupun di sisi tegangan rendah. Pemilihan antara kedua sisi ini didasarkan pada tegangan per lilitan, yang sedapat mungkin konstan. Pada umumnya dipasang pada tegangan tinggi (sisi primer) dengan maksud agar arus yang diputus relatif kecil.

Pada gambar 2.5. terlihat salah satu sirkuitnya dari pengubah sadapan berbeban. Belitan transformator a disadap di lima tempat pada sakelar 1, 2, 3, 4, 5. Disini terdapat autotransformator reaktor cd dengan sadapan ditengah-tengahnya, yaitu titik e. Reaktor ini berfungsi mencegah hubungan singkat dari sadapan sewaktu terjadi peralihan hubungan. Urutan perubahan posisi sadapan secara garis besar dapat terlihat pada gambar 2.5. dengan bantuan table 2.1. Pada posisi pertama, sakelar 1 masuk, arus beban melewati  $\frac{1}{2}$  belitan reaktor cd, yaitu ce. Untuk mengubah sadapan 1 posisi sakelar 2 dimasukkan, sementara sakelar 1 tetap masuk, arus beban terbagi dua arah yang berlawanan masing-masing melalui belitan reaktor cd  $\frac{1}{2}$ , yaitu ce dan de. Pada posisi ini selain arus beban pada reaktor, akan mengalir arus sirkulasi. Langkah perubahan sadapan selanjutnya,



sakelar 1 dibuka, sakelar 2 tetap menutup, sehingga arus beban mengalir pada  $\frac{1}{2}$  belitan de.



Gambar 2.5.

Pengubah sadapan berbeban dengan 5 sakelar<sup>[1]</sup>

Tabel 2.1.

Tabel posisi dan kerja sakelar pada pengubah sadapan berbeban<sup>[1]</sup>

posisi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sakelar 1	0	0							
Sakelar 2		0	0	0					
Sakelar 3				0	0	0			
Sakelar 4						0	0	0	
Sakelar 5								0	0

Perubahan sadapan berbeban dari transformator ini, biasanya digerakkan secara mekanis oleh motor dan dapat juga dilengkapi peralatan yang dapat dikerjakan secara manual, hal ini dimaksudkan untuk berjaga-jaga apabila alat mekanis motornya mengalami gangguan.

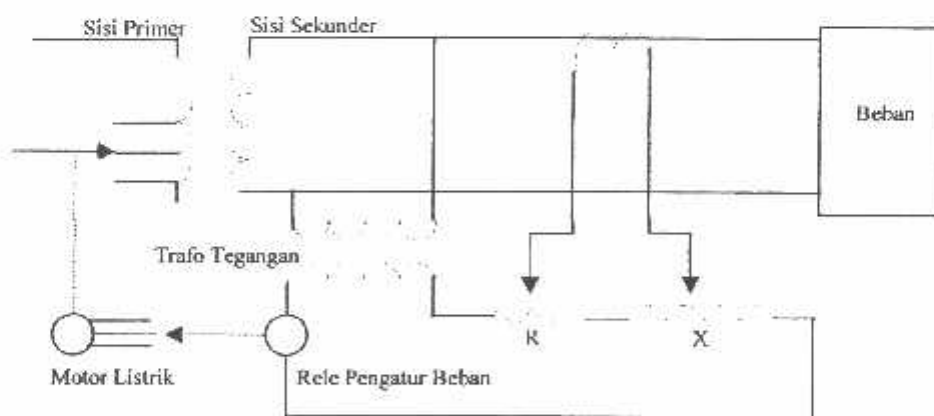
Pengubahan sadapan berbeban ini dapat bekerja secara otomatis dengan menggunakan pengatur tegangan otomatis (*Automatic Voltage Regulator*).

Pengaturan tegangan otomatis ini akan bekerja atas dasar tegangan yang diinderanya, yang pada umumnya pada sisi tegangan rendah (sisi sekunder).

Pengaturan tegangan otomatis ini terdiri pada dasarnya terdiri dari tiga bagian, yaitu<sup>[5]</sup> :

1. Alat pemberi isyarat yang terdiri dari alat untuk mengukur tegangan dan kompensator saluran (*Line Drop Compensator = LDC*) untuk mengukur jatuh tegangan pada kawat penghantar.
2. Alat pembanding, yang membandingkan perbedaan-perbedaan tegangan dengan harga yang dikehendaki. Bila perbedaan ini sudah melebihi suatu harga tertentu, maka keluarlah suatu sinyal yang akan memerintahkan alat ketiga untuk menggerakkan posisi titik sadap
3. Alat ketiga berupa motor listrik yang menggerakkan kontak-kontak sakelar setelah menerima sinyal dari alat kedua.

Secara garis besar pengaturan tegangan otomatis dapat digambarkan pada gambar 2.6. dibawah ini.



Gambar 2.6.

Bagan pengaturan tegangan secara otomatis<sup>[5]</sup>

Tegangan pada beban tergantung dari tegangan pada sisi sekunder transformator dan besarnya jatuh tegangan pada kawat penghantar. Tegangan diukur dengan Transformator Tegangan (TT) sedangkan jatuh tegangan yang berbanding lurus dengan arus beban diukur dengan Transformator Arus (TA).

Dimisalkan bahwa tegangan di sisi sekunder transformator turun. Sisi sekunder dari TT memberi isyarat pada Rele Pengatur Tegangan (RPT) untuk mengerjakan kontak-kontak yang menggerakkan motor pengatur ke arah naiknya tegangan dengan memindahkan kontak sadapan. Naiknya tegangan akan menggerakkan motor pengatur sehingga kontak sadapan bergerak yang mengakibatkan turunnya tegangan.

Jatuh tegangan diukur melalui TA dan naiknya arus mempunyai pengaruh yang sama seperti turunnya tegangan di transformator. Arus di sisi sekunder TA mengalir dalam rangkaian yang terdiri atas tahanan R dan indikator X yang dapat diatur, dan terhubung seri dengan rangkaian RPT. Jatuh tegangan melalui R dan X diatur sehingga berbanding lurus dengan jatuh tegangan yang berbanding lurus dengan tegangan pada beban. Suatu rele waktu dapat dipasang untuk mencegah bekerjanya RPT jika perubahan tegangan hanya berlangsung beberapa saat.

Pengaturan tegangan otomatis ini perlu dijaga agar tidak terlalu sensitif terhadap perubahan tegangan pada sisi sekunder, sehingga pengubah sadapan berbeban tidak terlalu sering bekerja, tetapi cukup menjamin tersedianya tegangan yang baik.

### 2.4.2 Kapasitor Shunt <sup>[5]</sup>

Suatu cara lain yang sangat penting untuk mengatur tegangan ialah penempatan kapasitor shunt (shunt capacitor) pada rel-rel, disepanjang saluran atau pada GI dan pusat beban. Kapasitor shunt adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan saluran dan secara intensif digunakan pada sistem distribusi. Kapasitor shunt mencatu daya reaktif atau arus yang menentang komponen arus beban induktif.

Sebelum dipasang kapasitor shunt pada ujung saluran, jatuh tegangan pada penyulang tersebut dengan faktor daya tertinggal, secara pendekatan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \delta V &= IR \cos \varphi + IX_L \sin \varphi \\ \delta V &= (I \cos \varphi)R + (I \sin \varphi) X_L \\ \delta V &= I_R R + I_X X_L \dots\dots\dots(2.1) \end{aligned}$$

- Dimana
- R = Tahanan total dari sirkuit penyulang ( $\Omega$ )
  - X<sub>L</sub> = Reaktansi induktif total dari penyulang ( $\Omega$ )
  - I<sub>R</sub> = Komponen arus aktif (Amp)
  - I<sub>X</sub> = Komponen arus reaktif (Amp)

Bila kapasitor dipasang pada ujung penerima dari saluran, secara pendekatan jatuh tegangannya menjadi :

$$\delta V = I_R R + I_X X_L - I_C X_C \dots\dots\dots(2.2)$$

Perubahan jatuh tegangan sebelum dan sesudah dipasang kapasitor shunt dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\delta V_C = I_C \cdot X_L \dots\dots\dots(2.3)$$

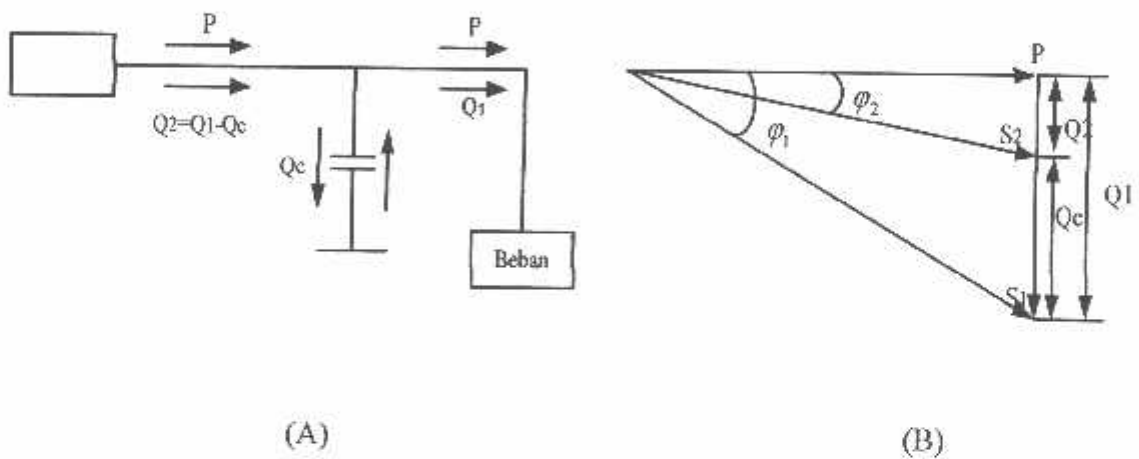
Jadi kenaikan tegangan akibat dipasangnya kapasitor shunt, dalam prosen adalah sebagai berikut :

$$\left(\frac{\delta V_c}{V_f}\right) \times 100\% = (\delta V_c) = \frac{X_L I_C}{V_f} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :  $I_C$  = Arus kapasitor (Amp)

$V_f$  = Tegangan fasa (Volt)

Pemasangan kapasitor shunt dapat digunakan untuk memperbaiki faktor daya, hal ini dapat diperlihatkan pada gambar 2.7. dibawah ini.



Gambar 2.7.

(A) Diagram satu garis pemasangan kapasitor shunt

(B) Diagram phasor perbaiki factor daya [1]

Dimisalkan bahwa beban daya nyatanya sebesar P (kW) dan beban daya reaktifnya sebesar Q (kVAR) serta beban daya semunya  $S_1$  (kVA), dengan faktor daya sebagai berikut :

$$\cos \phi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Bila kapasitor shunt dengan kapasitas  $Q_c$  (kVAR) dipasang pada sisi beban maka faktor dayanya dapat diperbaiki menjadi:

$$\cos \phi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_2^2}} = \frac{P}{S_2} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\cos \phi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Jadi pemasangan kapasitor shunt dapat memperkecil arus saluran yang diperlukan untuk mencatu beban dan mengurangi jatuh tegangan pada saluran serta memperbaiki faktor daya secara bersamaan.

Kapasitor shunt dapat dihubungkan secara tetap (*Fixed Shunt Capacitor*), tetapi sebagai pengatur tegangan dapat juga dihubungkan dan diputuskan dari sistem melalui suatu sakelar secara manual maupun otomatis. Ada beberapa macam tipe kapasitor shunt dengan sakelar-hubung otomatis, tipe yang paling populer adalah sebagai berikut <sup>[1]</sup>:

1. Kapasitor shunt dengan pengendali sakelar-waktu (*Time-Switch Control*)
2. Kapasitor shunt dengan pengendalian tegangan (*Voltage Control*)
3. Kapasitor shunt dengan pengendali tegangan-arus (*Voltage-Current Control*)

## 2.5 Ketentuan Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi

Pada gambar 2.8, terlihat transformator utama dan peralatan proteksi di dalam suatu gardu induk distribusi di antara rel tegangan tinggi pada sisi primer dan rel tegangan menengah pada sisi sekunder. Pada transformator utama



tidak mengakibatkan tegangan sekunder melebihi batas-batas yang diperbolehkan<sup>[2]</sup>.

Pengaturan posisi sadapan untuk menentukan besarnya tegangan jepit transformator utama dapat dilakukan secara otomatis oleh pengaturan tegangan otomatis (AVR) atau secara manual oleh *dispatcher* (pengirim perintah). Begitu juga dengan kapasitor shunt dapat dihubungkan atau diputus secara otomatis atau manual oleh *dispatcher* pada pusat pengaturan beban (P2B) distribusi. Pengaturan posisi sadapan maupun kapasitor shunt harus dilakukan secara terkoordinasi karena penghubungan kapasitor shunt dapat mempengaruhi tegangan dan pergeseran posisi sadapan, yang dapat mempersingkat umur kerja pengubah sadapan beban dan meningkatkan biaya pemeliharaan.

Berdasarkan hal-hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa permasalahan yang harus dihadapi dalam pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi adalah bagaimana mengkoordinasikan kerja pengubah sadapan berbeban dan kapasitor shunt setiap jam dalam satu hari sehingga ketentuan-ketentuan di bawah ini dapat terpenuhi, yaitu :

1. Tegangan pada sisi sekunder harus dapat dipertahankan sedekat mungkin pada nilai setiap jamnya dalam satu hari.
2. Faktor daya pada transformator utama harus dipertahankan semaksimal mungkin.
3. Banyaknya perpindahan posisi sadapan pengubah sadapan berbeban dan penghubungan kapasitor shunt semaksimal mungkin.



Ketentuan-ketentuan di atas merupakan fungsi obyektif dan kriteria pembatas dari pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi

## BAB III

### *FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING*

#### 3.1. Konsep Teori Fuzzy <sup>[2]</sup>

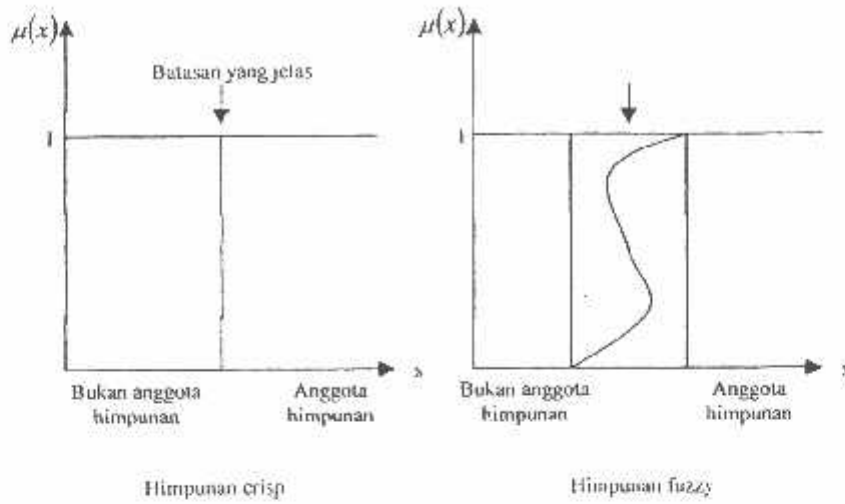
Pemakaian konsep teori fuzzy dilatar belakangi oleh kebutuhan akan suatu metode yang dapat merepresentasikan dan menganalisis fenomena-fenomena di alam nyata yang selalu mengandung sifat ketidak pastian (*uncertainty*) ditinjau dari cara pikir manusia terhadap fenomena-fenomena tersebut. Istilah fuzzy sendiri, bila diterjemahkan secara harfiah kedalam bahasa Indonesia berarti kabur, tidak jelas. Cara-cara manusia dalam berfikir dan bertindak pada dasarnya tidak sekedar bersifat kuantitatif, tetapi lebih bersifat kualitatif. Maksudnya, manusia mengindra keadaan-keadaan disekelilingnya dalam bentuk penggolongan-penggolongan dengan batasan-batasannya. Penggolongan-penggolongan tersebut akan mempengaruhi proses berfikir manusia dalam mengambil keputusan sehubungan dengan fenomena yang dihadapinya. Situasi mengenai cara pandang manusia terhadap lingkungannya tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut secara matematis dengan teori himpunan.

Selama ini himpunan yang telah lama dikenal adalah himpunan konvensional (*set crisp*), yang membagi semesta pembicaraan (*set universal*) menjadi dua kelompok, yaitu anggota semesta pembicaraan dan bukan anggota himpunan semesta pembicaraan berdasarkan fungsi karakteristik yang dimilikinya. Fungsi karakteristik tersebut merupakan logika dua nilai, yaitu 1 (yang menyatakan elemen anggota himpunan) dan 0 (yang menyatakan elemen

bukan himpunan), sebagai contoh kondisi ada arus atau tidak ada arus, hitam atau putih dan sebagainya. Teori ini telah terbukti efektif dalam memecahkan masalah yang memiliki kondisi-kondisi dengan batasan karakteristik yang jelas.

Walupun demikian tidak semua penginderaan manusia terhadap lingkungannya dapat dibedakan dalam dua keadaan saja. Terdapat banyak hal yang perlu dinyatakan dalam kondisi dengan batasan yang tidak jelas, sehingga sulit untuk menentukan keanggotaan atau kondisi tersebut dalam suatu himpunan. Untuk mengatasi masalah ini, digunakanlah teori himpunan fuzzy (*fuzzy set theory*) yang dianggap lebih mampu menggambarkan pola pikir manusia. Teori ini dikembangkan pada tahun 1965 oleh Lotfi Zaedah dari University Of California di Berkeley, dimana teori himpunan fuzzy ini merupakan suatu perluasan teori himpunan konvensional (*crisp*). Dalam himpunan fuzzy, suatu elemen memiliki derajat keanggotaan, dimana derajat keanggotaan tersebut berupa angka riil antara 0 dan 1, ini memungkinkan kondisi dengan batasan tak jelas (kabur). Sebagai contoh abu-abu yang semula tak dapat dimasukkan sebagai hitam atau putih, kini dapat dinyatakan sebagai hitam dengan derajat keanggotaan / derajat kehitaman 0,5 atau nilai lainnya tergantung definisi keanggotaannya.

Untuk lebih jelas mengenai perbedaan antara fungsi karakteristik himpunan crisp dan himpunan fuzzy, dapat dilihat pada gambar 3.1. dibawah ini :



Gambar 3.1.

Fungsi karakteristik pada himpunan crisp dan himpunan fuzzy

### 3.2. Teori Himpunan Fuzzy<sup>[2]</sup>

Himpunan fuzzy adalah himpunan dimana fungsi karakteristiknya adalah fungsi keanggotaan ( $\mu$ ) yang memberikan nilai/derajat keanggotaan bagi setiap elemen himpunan dalam interval  $[0, 1]$ . Untuk semesta pembicaraan  $U$ , fungsi ini memetakan anggota dari  $U$  ke jangkauan nilai keanggotaannya dan ditulis dengan:

$$\mu_A(x) : U \rightarrow [0,1] \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana  $\mu_A(x)$  adalah fungsi keanggotaan dari  $x$  pada himpunan fuzzy  $A$ .

Himpunan fuzzy biasanya dinyatakan dalam suatu himpunan pasangan berurutan, dimana elemen pertama menyatakan anggota dan elemen kedua menyatakan fungsi keanggotaan.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\} \dots\dots\dots(3.2)$$

Untuk semesta pembicaraan yang jumlahnya berhingga (diskrit)  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  maka himpunan fuzzy  $A$  pada semesta pembicaraan  $U$  dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \mu_A(x_n)/x_n$$

Atau

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)/x_i \dots \dots \dots (3.3)$$

Untuk semesta pembicaraan yang jumlah anggotanya tak terhingga (kontinu) maka himpunan fuzzy  $A$  dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$A = \int_U \mu_A(x)/x \dots \dots \dots (3.4)$$

Tanda ‘+’, ‘ $\Sigma$ ’ dan ‘ $\int_U$ ’ menunjukkan operasi gabungan (union), bukan penjumlahan aritmatika dan ‘/’ digunakan untuk menghubungkan suatu elemen dengan nilai keanggotaannya, tidak berhubungan dengan pembagian aritmatika.

### 3.2.1 Definisi-Definisi Teori Himpunan Fuzzy

Dalam teori himpunan fuzzy terdapat beberapa definisi untuk menyatakan sifat-sifat dari himpunan fuzzy, yaitu :

#### 1. Inti (*core*)

Inti dari suatu himpunan fuzzy  $A$  didefinisikan sebagai suatu bagian dari semesta pembicaraan  $U$  yang mempunyai derajat keanggotaan penuh pada himpunan fuzzy  $A$  atau memenuhi syarat  $\mu_A(x) = 1$ , dan dapat ditulis :

$$\text{Core}(A) = \{x \in U \mid \mu_A(x) = 1\}$$

Suatu himpunan fuzzy yang mempunyai minimal satu anggota semesta pembicaraan yang memiliki derajat keanggotaan penuh ( $\mu_A(x) = 1$ ), disebut himpunan fuzzy normal.

## 2. Penyongkong (*support*)

Penyongkong dari suatu himpunan fuzzy  $A$  didefinisikan sebagai suatu bagian dari semesta pembicaraan  $U$  yang mempunyai derajat keanggotaan tidak nol pada himpunan fuzzy  $A$  atau memenuhi syarat  $\mu_A(x) > 0$  dan ditulis :

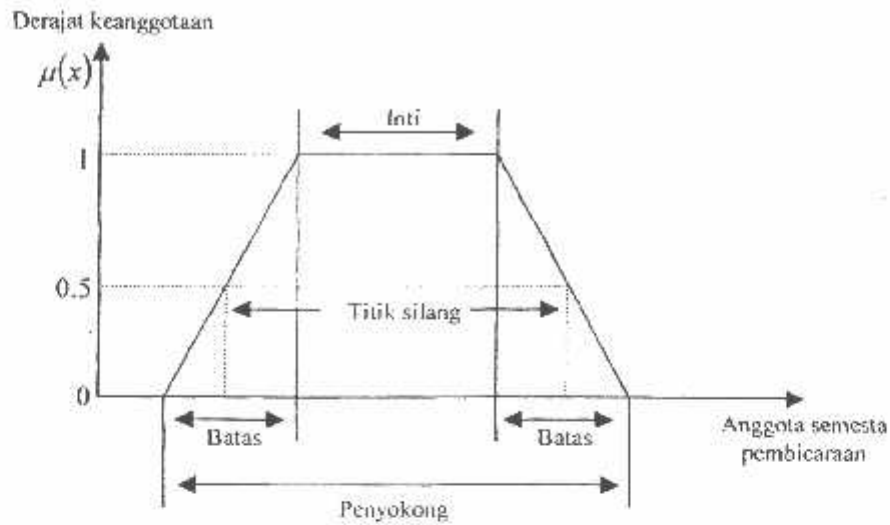
$$\text{Support}(A) = \{x \in U \mid \mu_A(x) > 0\}$$

Secara khusus, suatu penyongkong yang mempunyai anggota semesta pembicaraan dengan derajat keanggotaan  $\mu_A(x) = 0,5$  disebut titik silang (*cross-over points*), dan ditulis :

$$\text{Crossover}(A) = \{x \in U \mid \mu_A(x) = 0,5\}$$

Sedangkan himpunan fuzzy yang hanya memiliki penyongkong tunggal dengan  $\mu_A(x) = 1$  disebut himpunan fuzzy tunggal (*fuzzy singleton*).

Suatu bagian dari semesta pembicaraan yang mempunyai derajat keanggotaan antara nol dan satu  $\{0 < \mu_A(x) < 1\}$  disebut batas (*boundry*) dari himpunan fuzzy  $A$ .



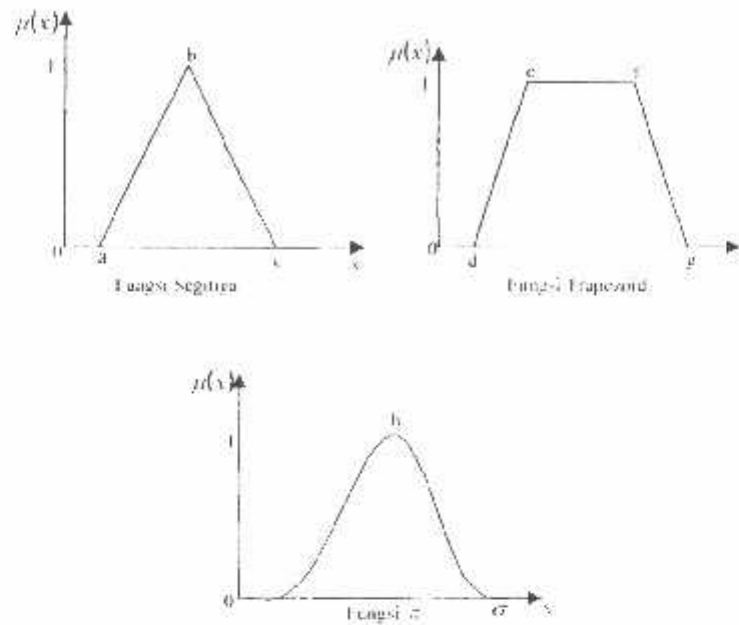
Gambar 3.2.

Inti, penyokong, batas dan titik silang dari himpunan fuzzy A [2]

Telah disebut sebelumnya bahwa fungsi keanggotaan merupakan fungsi karakteristik dari himpunan fuzzy. Fungsi keanggotaan mempunyai peranan yang sangat penting dalam himpunan fuzzy karena semua informasi yang terdapat dalam sebuah himpunan fuzzy ditentukan oleh fungsi keanggotaannya. <sup>suatu himpunan fuzzy</sup> Pendefinisian fungsi keanggotaan adalah dengan cara untuk mempresentasikan

Biasanya pendefinisian fungsi keanggotaan dilakukan secara fungsional. Pendefinisian secara fungsional mudah diadaptasi terhadap keadaan semesta pembicaraan dengan cara mengatur parameter yang menentukan titik kerja dan parameter yang menentukan jangkauan kerja.

Fungsi-fungsi standar dari fungsi keanggotaan yang sering digunakan adalah fungsi segitiga, fungsi trapezoid dan fungsi  $\pi$  (fungsi gaussian). Fungsi-fungsi ini sering digunakan karena mudah dimanipulasi secara matematis.



Gambar 3.3.

### Jenis-jenis fungsi keanggotaan

Parameter ( a, c, d, g,  $\sigma$  ) adalah parameter-parameter yang menentukan jangkauan kerja, sedangkan parameter ( b, e, f, h ) adalah parameter-parameter yang menentukan titik kerja.

### 3.2.2 Operasi Himpunan Fuzzy<sup>[6]</sup>

Operasi dasar himpunan fuzzy pada prinsipnya sama dengan himpunan crisp, yaitu irisan (*intersection*), gabungan (*union*) dan komplemen (*complement*). Ketiga operasi dasar ini pertama kali diungkapkan oleh Zadeh, kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Zimmerman, Yager dan Hamacher.

Misalkan A dan B adalah himpunan-himpunan fuzzy dalam semesta pembicaraan U dengan fungsi keanggotaan berturut-turut didefinisikan oleh  $\mu_A(x)$  dan  $\mu_B(x)$ . Operasi himpunan fuzzy didefinisikan sebagai berikut :



### 1. Gabungan (*union*)

Gabungan dari himpunan fuzzy A dan himpunan fuzzy B adalah suatu himpunan fuzzy yang dinyatakan dengan  $A \cup B$  dan memiliki fungsi keanggotaan yang didefinisikan sebagai :

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad x \in U$$

### 2. Irisan (*intersection*)

Irisan dari himpunan fuzzy A dan himpunan fuzzy B adalah suatu himpunan fuzzy yang dinyatakan dengan  $A \cap B$  dan memiliki fungsi keanggotaan yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad x \in U$$

### 3. Komplemen (*complement*)

Komplemen dari himpunan fuzzy A adalah suatu himpunan fuzzy yang dinyatakan dengan  $A^c$  dan fungsi keanggotaan didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad x \in U$$

### 4. Himpunan bagian (*subset*)

Suatu himpunan fuzzy A dikatakan himpunan bagian dari himpunan fuzzy B jika fungsi keanggotaan untuk tiap elemen yang sama memiliki nilai sedemikian sehingga fungsi keanggotaan terhadap himpunan A lebih kecil daripada fungsi keanggotaan terhadap himpunan B.

$$A \subset B \Rightarrow \mu_A(x) < \mu_B(x) \quad \forall x \in U$$

Operasi tersebut pada prinsipnya adalah sama dengan operasi himpunan matematika, tetapi untuk operasi gabungan A dan B hanya diambil fungsi keanggotaan maksimal, untuk operasi irisan A dan B hanya fungsi keanggotaan

maksimal dan untuk operasi komplemen himpunan fuzzy merupakan selisih antara 1 dan fungsi keanggotaan.

### 3.3 Fungsi Keanggotaan Untuk Variable $|\Delta V_2|^{[2]}$

Karena salah satu tujuan yang diinginkan adalah untuk mempertahankan tegangan skunder  $|\Delta V_2|^{[2]}$  sedekat mungkin dengan suatu nilai tertentu, maka penurunan fungsi keanggotaan  $\mu_{|\Delta V_2|}$  dapat dilihat pada gambar 3.4.

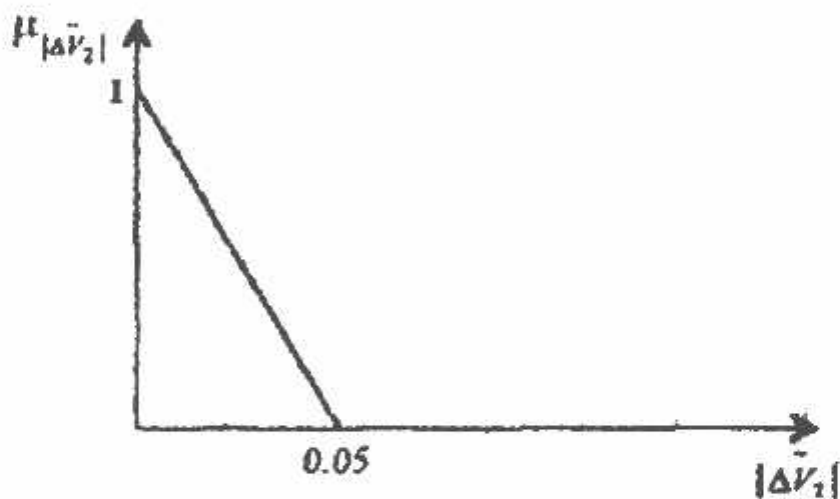
Fungsi keanggotaannya dapat didefinisikan sebagai berikut

$$\mu_{|\Delta V_2|} = \frac{0,05 - \Delta V_2}{0,05} \quad 0 \leq \Delta V_2 \leq 0,05 \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana

$$|\Delta V_2| = |V_{2ideal} - V_{2aktual}|$$

$$|1,0 p.u - V_{2aktual}| \dots\dots\dots(3.6)$$



Gambar 3.4.

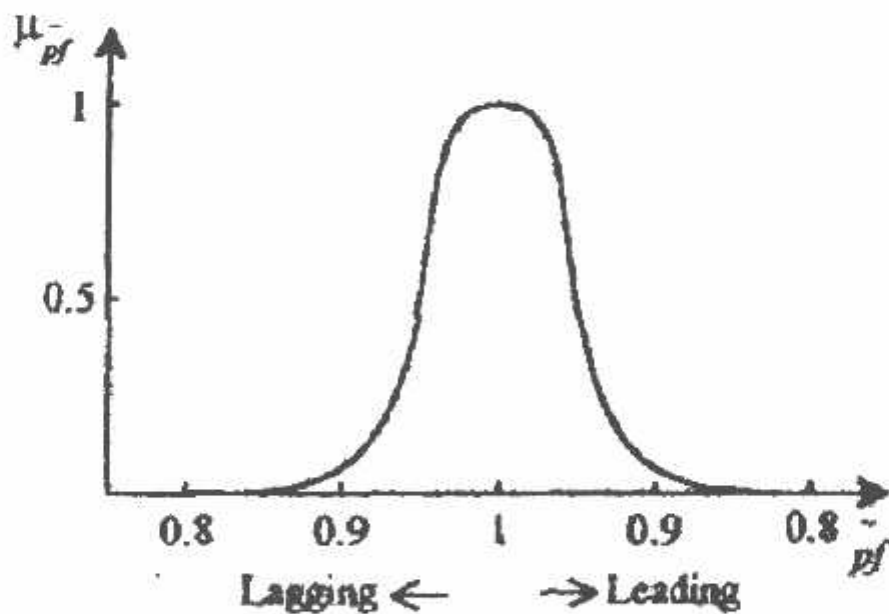
Fungsi keanggotaan untuk variable fuzzy<sup>[2]</sup>

### 3.4. Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy $pf^{(2)}$

Faktor daya transformator utama merupakan suatu cara untuk menentukan apakah kapasitor shunt harus terhubung atau terputus. Apabila factor daya akan menjadi lebih baik setelah kapasitor shunt terhubung, maka akan memberikan nilai keanggotaan yang tinggi. Fungsi keanggotaan untuk factor daya dapat didefinisikan sebagai<sup>[2]</sup>

$$\mu_{pf} = \left[ 1 + \left( \frac{pf - 1}{0,05} \right)^4 \right]^{-1} \quad pf \geq 0 \dots\dots\dots(3.7)$$

Fungsi keanggotaan untuk  $pf$  dapat dilihat pada gambar 3.5. persamaan (3.7) merupakan fungsi keanggotaan yang sama untuk factor daya *lagging* dan factor daya *leading*.



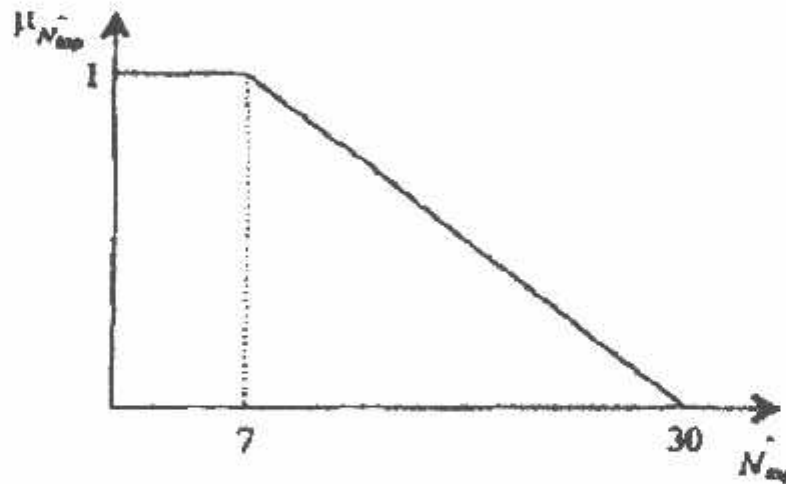
Gambar 3.5.

Fungsi keanggotaan untuk variable fuzzy  $pf^{(2)}$

### 3.5. Fungsi Keanggotaan Untuk Variabel $N_{tap}$ <sup>[2]</sup>

Penurunan fungsi keanggotaan seperti yang terlihat pada Gambar 3.6. merupakan jumlah operasi pergeseran posisi sadapan pengubah sadapan berbeban dalam satu hari. Sebagai catatan, berdasarkan pengalaman operator, rata-rata jumlah pergeseran posisi sadapan dalam satu hari adalah sebanyak 7 kali. Sedangkan batas maksimum jumlah operasi pergeseran posisi sadapan adalah 30kali. Fungsi keanggotaan untuk variable fuzzy  $N_{tap}$  dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_{N_{tap}} = \begin{cases} 1, & , N_{Tap} \leq 7 \\ \frac{30 - N_{Tap}}{30 - 7} & , 7 \leq N_{tap} \leq 30 \end{cases} \dots\dots\dots(3.8)$$



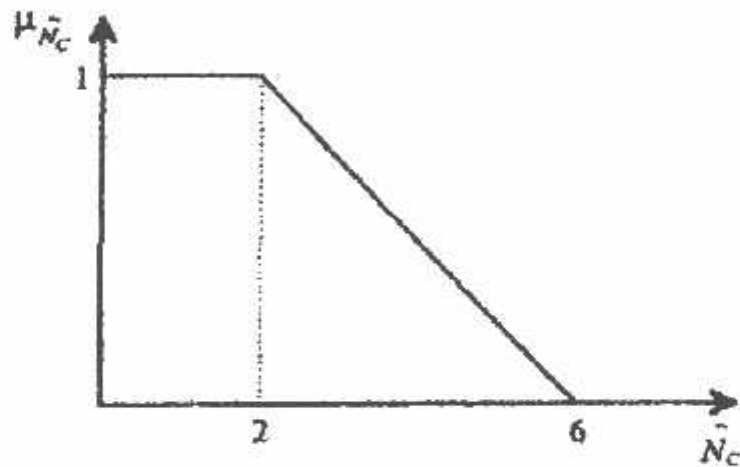
Gambar 3.6

Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy  $N_{tap}$ <sup>[2]</sup>

### 3.6. Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy $N_c$ <sup>[2]</sup>

Jumlah operasi pada kapasitor shunt apabila dibandingkan dengan jumlah operasi pada pengubah sadapan berbeban relatif kecil. Berdasarkan kemampuan praktis, rata-rata kapasitor shunt terhubung sebanyak 2 kali dalam sehari, sedangkan batas maksimumnya adalah 6 kali dalam sehari. Fungsi keanggotaan untuk variable fuzzy  $N_c$  dapat digambarkan pada gambar 3.7. fungsi keanggotaan untuk variable fuzzy  $N_c$  didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{N_c} = \begin{cases} 1, & ,N_c \leq 2 \\ \frac{6-N_c}{6-2}, & ,2 \leq N_c \leq 6 \end{cases} \dots\dots\dots (3.9)$$



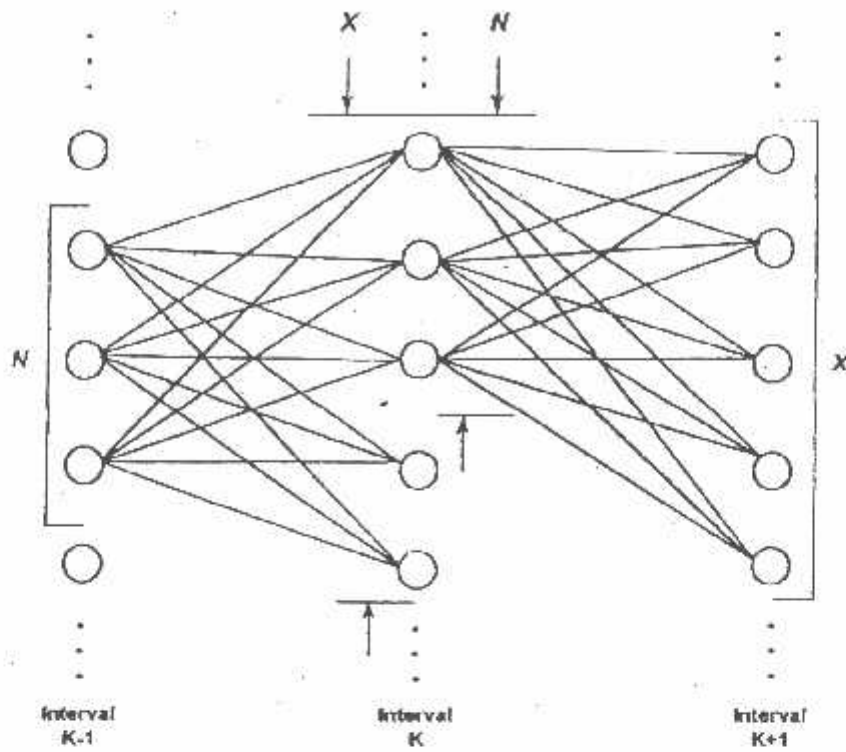
Gambar 3.7

Fungsi Keanggotaan Untuk Variable Fuzzy  $N_c$  <sup>[2]</sup>

### 3.7 Konsep Teori *Dynamic programming*

*Dynamic Programming* merupakan suatu metode untuk mencari pilihan yang optimal diantara beberapa alternatif yang ditempuh, dengan cara melakukan seleksi seluruh keputusan selama kurun waktu optimasi. Proses seleksi dapat dilakukan dengan langkah ke depan (*forward dynamic programming*) atau langkah ke belakang (*backward dynamic programming*). Seleksi tersebut bertujuan untuk menentukan pilihan optimal yang dilakukan secara berulang dan pada setiap langkah ditentukan satu keputusan untuk meminimalkan ruang keputusan selama kurun waktu optimasi. Satu langkah ke depan atau ke belakang dengan menggunakan periode waktu studi disebut *stage*. Setiap *stage* menyatakan satu jam operasi. Pada *Dynamic Programming* kombinasi/keadaan dalam setiap *stage* disebut *state*. Dalam skripsi ini digunakan *Dynamic Programming* dengan langkah ke depan. Pada *Dynamic Programming* dengan langkah ke depan untuk menentukan pilihan optimal dilakukan dari *stage* awal kemudian melakukan pentahapan ke belakang (*back tracking*) dari keadaan terakhir pada *stage* terakhir sampai pada awal *stage*. Penggunaan *fordward dynamic programming* hasilnya direkam pada jam sebelumnya.

Seperti teori-teori matematika lainnya, maka *dynamic programming* dapat difuzzyfikasi. Fuzzyfikasi *dynamic progamming* akan memperlas kemampuan praktis *dynamic programming* kerana fungsi obyektif, kendala dan keputusan dapat dicksprcsikan dalam besaran fuzzy (model pengambilan keputusan fuzzy).



Gambar 3.8.

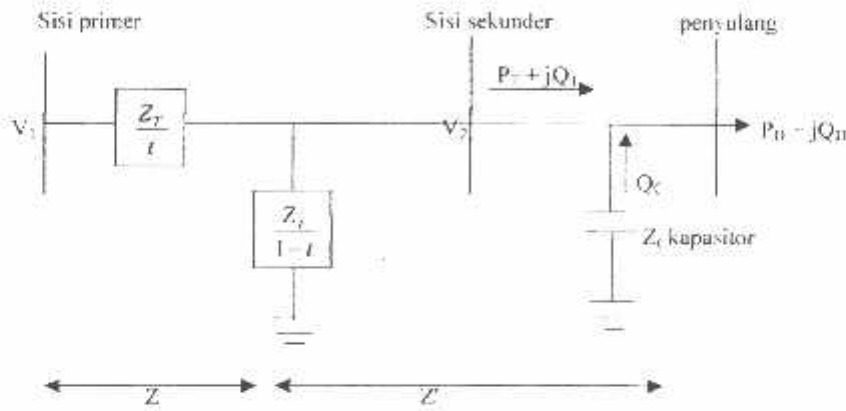
#### Jalur pencarian dengan metode dynamic programming

Pada gambar 3.8 di atas interval k-1, k, dan k disebut *stage*, *stage* terdiri dari beberapa *stage* yaitu kombinasi perubahan tegangan (dilambangkan dengan lingkaran). Antara *stage* yang satu dengan yang lainnya pada interval *stage* yang berbeda dihubungkan dengan suatu jalur (dilambangkan dengan garis penghubung). X adalah banyaknya kondisi (*stage*) yang dicari pada setiap *stage* atau periode, sedangkan N adalah banyaknya jalur untuk disimpan pada setiap *stage*. Metode pemrograman dinamis akan mencari jalur mana yang mempunyai nilai komulatif minimum. Pencarian ini dimulai *stage* pertama hingga *stage* terakhir.



### 3.8. Model Matematis Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi<sup>[21]</sup>

Untuk mengetahui besarnya perubahan tegangan pada saat kapasitor shunt di hubngkan atau diputus dan besarnya rasio tegangan transformator pada saat diperlukan perpindahan posisi sadapan pengubah sadapan berbeban, dapat digambarkan dalam suatu formulasi matematika pada gardu induk distribusi, sebagai berikut :



Gambar 3.9.

Model matematis dari transformator utama dengan pengubah

Sadapan berbeban dan kapasitor shunt<sup>[21]</sup>

- Keterangan :
- $V_1$  : Tegangan primer transformator utama
  - $V_2$  : Tegangan sekunder transformator utama
  - $Z_1$  : Impedansi transformato utama
  - $T$  : Rasio tegangan transformator
  - $P_d$  : Kebutuhan daya nyata dari beban
  - $Q_d$  : Kebutuhan daya reaktif dari beban

Dalam perumusan ini, resistensi transformator utama dan admitansi pemagnetannya diabaikan.

Setelah tegangan primer  $|V_1|$  dan besarnya beban telah diperkirakan, maka ratio tegangan transformator yang ideal  $t_{ideal}$  dapat dihitung untuk mempertahankan tegangan sekunder  $|V_2|$  pada suatu nilai tertentu.

Untuk menghitung besarnya rasio tegangan transformator  $t$  dan tegangan skunder  $|V_2|$ , terlebih dahulu kita tulis persamaan kebutuhan daya nyata (*real power demand*) dan kebutuhan daya reaktif (*reaktif power demand*) sebagai berikut :

$$P_i = P_D (a|V_2|^2 + b|V_2| + c) \dots\dots\dots(3.10)$$

$$Q_L = Q_D (d|V_2|^2 + e|V_2| + f) \dots\dots\dots(3.11)$$

Persamaan  $V_1$  dan  $V_2$  dapat diperluas lagi menjadi:

$$P_D = \frac{|V_1||V_2|}{z} \sin(\angle V_1 - \angle V_2) = \frac{|V_1||V_2|}{z} \sin \theta_{12} \dots\dots\dots(3.12)$$

$$Q_D = -\frac{|V_2|^2}{|Z|} + \left[ \frac{|V_1||V_2|}{|z|} \cos \theta_{12} - \frac{|V_2|^2}{|Z|} \right] \dots\dots\dots(3.13)$$

Substitusikan persamaan (3.12) dan persamaan (3.13) menjadi :

$$\left[ Q_D + \frac{|V_2|^2}{|Z|} \right]^2 = \frac{|V_1|^2 |V_2|^2}{|z|^2} - P^2 D \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana

$$|Z'| = \left[ \frac{1}{|Z|} + \frac{1}{|z|} \right]^{-1} = K |Z_T|$$

$$K = \frac{|Z_C|}{|Z_C| - |Z_T|}$$

Substitusikan (3.10) dan (3.11) ke persamaan (3.14), sehingga di dapat :

$$A|V_2|^2 + B|V_2| + \left| C - (kI)|V_2|^2|V_2|^2 + D|V_2|^2 + E = 0 \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana :

$$A = 1 + 2d(K|Z_T|)Q_D + a^2(K|Z_T|)^2 P^2_D + d^2(K|Z_T|)^2 Q^2_D$$

$$B = 2e(K|Z_T|)Q_D + 2ab(K|Z_T|)^2 P^2_D + 2de(K|Z_T|)^2 Q^2_D$$

$$C = 2f(K|Z_T|)Q_D + (2ac + b^2)(K|Z_T|)^2 P^2_D + (2df + e^2)(K|Z_T|)^2 Q^2_D$$

$$D = 2be(K|Z_T|)^2 P^2_D + 2ef(K|Z_T|)^2 Q^2_D$$

$$E = c^2(K|Z_T|)^2 P^2_D + f^2(K|Z_T|)^2 Q^2_D$$

Sehingga ratio tegangan dari transformator dapat diperoleh dari persamaan (3.16)

$$t = \left\{ \frac{1}{k^2|V_1|^2|V_2|^2} \left[ A|V_2|^4 + B|V_2|^3 + C|V_2|^2 + D|V_2| + E \right] \right\}^{1/2} \dots\dots\dots(3.16)$$

Salah satu objek dari pengaturan tegangan adalah mempertahankan tegangan sekunder  $|V_2|$  sedekat mungkin ke nilai 1.0 p.u walaupun beban sistem  $P_D + jQ_D$  berubah sepanjang waktu. Oleh karena itu, rasio tegangan transformator ideal  $t_{ideal}$  dapat dihitung dengan cara mensubstitusikan  $|V_2| = 1.0$  p.u ke persamaan (3.16). Sebagai catatan hasil perhitungan rasio tegangan transformator ideal  $t_{ideal}$  pada saat nilai  $|V_2|$  disubstitusikan ke persamaan (3.16)

bukan merupakan nilai rasio tegangan transformator aktual  $t_{actual}$  yang diinginkan, karena  $t_{actual}$  berhubungan dengan posisi sadapan pengubah sadapan berbeban TAP dinyatakan sebagai berikut :

$$t_{actual} = 1 + 0,00125xTAP \dots\dots\dots(3.17)$$

Dimana Tap merupakan bilangan bulat {1, 2, 3, ...}

Karena tujuan yang diinginkan adalah mengkoordinasikan kerja antara pengubah sadapan berbeban dan kapasitor shunt setiap jam dalam satu hari maka terlebih dahulu didefinisikan<sup>[2]</sup> :

$X_i = 1$ , pada saat kapasitor shunt terhubung pada jam  $i$

$X_i = 0$ , pada saat kapasitor shunt terputus pada jam  $i$

$TAP_i =$  posisi sadapan pengubah sadapan berbeban pada jam  $i$   
 = suatu bilangan antara -8 dan 8

Diman  $i = 1, 2, 3, \dots, 24$

Fungsi-fungsi obyektif dan criteria-kriteria pembatas dalam ketentuan-ketentuan pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi dapat diformulasikan sebagai berikut:

Tentukan nilai  $V_1$  dan  $V_2$  sehingga fungsi obyektif<sup>[2]</sup> :

$$j = \sum_{i=1}^{24} \mu_{|AV_{2i}|} + \sum_{i=1}^{24} \mu_{Pf_i} + \mu_{N_{aw}} + \mu_{N_C}$$

$$= J_1 + J_2 + \mu_{N_{aw}} + \mu_{N_C} \dots\dots\dots(3.18)$$

Adalah hasil maksimum dari :

$$N_{tap} = \sum_{i=1}^{24} |TAP_i - TAP_{i-1}| \leq 30 \dots\dots\dots(3.19)$$

$$N_C = \sum_{i=1}^{24} |X_i - X_{i-1}| \leq 6 \dots\dots\dots(3.20)$$

$$|V_2^{min}| \leq |V_{2i}| \leq |V_2^{max}| \dots\dots\dots(3.21)$$

$$|pf| \geq 0,8 \dots\dots\dots(3.22)$$

Dimana :

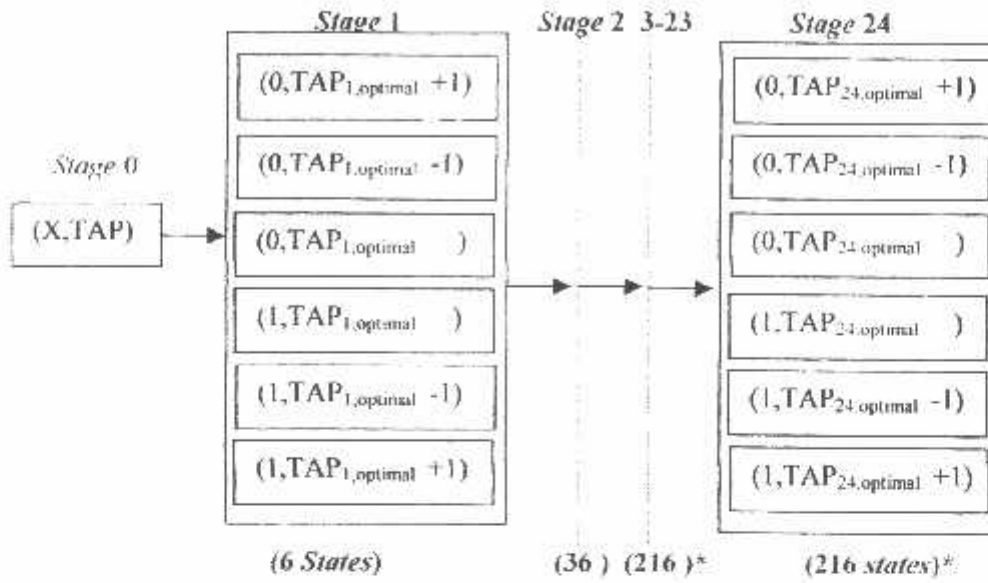
- $\Delta V_2$  : Penyimpangan tegangan sekunder pada jam i
- $\mu_{|\Delta V_2|}$  : Fungsi keanggotaan untuk  $|\Delta V_2|$  pada jam i
- $pf_1$  : Factor daya transformator utama pada jam i
- $\mu_{pf_1}$  : Fungsi keanggotaan pf pada jam i
- $N_{TAP}$  : Jumlah perpindahan posisi sadapan LTC pada satu hari
- $\mu_{N_{TAP}}$  : Fungsi keanggotaan untuk  $N_{TAP}$
- $N_C$  : Jumlah kerja sakelar hubung kapasitor shunt
- $\mu_{N_C}$  : Fungsi keanggotaan untuk  $N_C$
- $|V_2^{min}|$  : Batas terendah tegangan sekunder (0,95 pu)
- $|V_2^{max}|$  : Batas tertinggi tegangan sekunder (1,05 pu)

### 3.9. Algoritma Fuzzy Dynamic Programming

*Fuzzy Dynamic Programming* merupakan suatu metode yang menggabungkan antara metode *fuzzy logic* dengan *Dynamic Programming* yang mampu mengadopsi persamaan yang dimiliki kedua metode tersebut. Dengan persamaan-persamaan matematis dan juga mempunyai fungsi-fungsi keanggotaan, maka dapat ditentukan variable pengatur  $X_i$  dan  $TAP_i$  dapat ditentukan. Sebelumnya periode waktu studi dibagi dalam  $N$  *stage* ( $N=24$ ). Karena hanya terdapat dua kemungkinan untuk  $X_i$  ( $X_i = 1$  atau  $0$ ) dan 17 kemungkinan untuk  $TAP_i$  ( $TAP_i = -8, -7, \dots, 0, \dots, 7, 8$ ) maka terdapat  $(2 \times 17)^4$  *states* dalam ruang keputusan untuk permasalahan pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi. Untuk mengurangi masalah perhitungan, terlebih dahulu ditentukan posisi sadapan optimal  $TAP_{optimal}$  pada setiap *stage*. Hal ini dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan matematis *Dynamic Programming*. Hanya tiga posisi sadapan yang mendekati nilai  $TAP_{optimal}$  yang akan disimpan. Dengan demikian, hanya terdapat dua kemungkinan untuk  $X_i$  dan tiga kemungkinan untuk  $TAP_i$  serta pada setiap *state* dalam satu *stage* akan menghasilkan 6 *state* pada *stage* berikutnya.

Untuk meningkatkan efisiensi dari *Fuzzy Dynamic Programming*, maka jumlah *states* harus dibatasi, mulai dari *stages* 2 hingga *stage* 24 menjadi 36 *states*. Dengan demikian, hanya 36 *states* yang memiliki nilai objektif tertinggi dari 216 ( $- 36 \times 6$ ) *states* yang akan disimpan. Jumlah *states* yang akan disimpan

adalah  $834 (= 6 + 36 \times 23)$  state. Untuk lebih jelas mengenai proses seleksi *Fuzzy Dynamic Programming* dapat dilihat pada gambar 3.10.



Dari stage 3 ke stage 24 hanya 36 states dari 216 states dengan obyektifitas tertinggi yang akan disimpan

Gambar 3.10.

Lintasan Pencarian (*search path*) data

*Fuzzy Dynamic Programming*

Untuk memperoleh pengaturan tegangan dengan fungsi obyektif  $J$  maksimum, suatu algoritma iterasi (pengulangan) dapat digunakan untuk menghitung fungsi obyektif maksimum pada *state*  $l$  pada *stage*  $H$  (jam  $H$ ) formulasi tersebut adalah<sup>[2]</sup> .

$$J(H, L) = \max_{\{K\}} [J(H-1, K) + J_H(H, L)]$$

Dimana

$J(H,L)$  = jumlah fungsi obyektif maksimm pada state (H,L)

$J_{II}(H,L)$  = fungsi obyektif pada state (II,L)

$$= \mu|\Delta V_{2H}| + \mu_{pfl} \quad \text{untuk } H = 1-23$$

$$= \mu|\Delta V_{2H}| + \mu_{pfl} + \mu N_{tap} + \mu N_c \quad \text{untuk } H = 24$$

### 3.10 Proses Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi Dengan Menggunakan *Fuzzy Dynamic Programming*

Dalam pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi dengan menggunakan *fuzzy dynamic programming*, terdiri dari beberapa proses yang meliputi banyak proses. Pada proses pencarian posisi sadapan dan status terhubungnya kapasitor shunt dilakukan pada setiap jam. Terlebih dahulu ditentukan besarnya daya reaktif daya nyata dan tegangan primer setiap jam yang telah diperkirakan dengan menggunakan prakirakan jangka pendek. Kemudian ditentukan dan kondisi yaitu pada saat kapasitor shunt terputus ( $X_s = 0$ ) dan pada saat kapasitor shunt terhubung ( $X_s = 1$ ) lalu dicari rasio tegangan transformator ideal ( $t_{ideal}$ ) untuk masing-masing kondisi, dimana tegangan sekunder merupakan tegangan sekunder yang ingin dipertahankan ( $V_2 = 1.0 pu$ ). lalu tentukan tiga posisi tap ( $TAP_{optimal}, TAP_{optimal} -, TAP_{optimal} +$ ). Sehingga rasio tegangan sekunder actual ( $t_{aktual}$ ) mendekati nilai  $t_{ideal}$ . Nilai  $t_{aktual}$  digunakan mendapatkan tegangan sekunder actual ( $V_{2aktual}$ ). Perbedaan antara tegangan sekunder ideal dengan



tegangan sekunder actual akan menghasilkan penyimpangan tegangan sekunder ( $\Delta V_2$ ).

Sedangkan untuk menentukan status terhubungnya kapasitor shunt. Dicari apakah daya reaktif hasil prakiraan lebih besar maka kapasitor shunt terhubung dan sebaliknya, apabila lebih kecil maka kapasitor shunt terputus. Kemudian dicari nilai factor daya (pf).

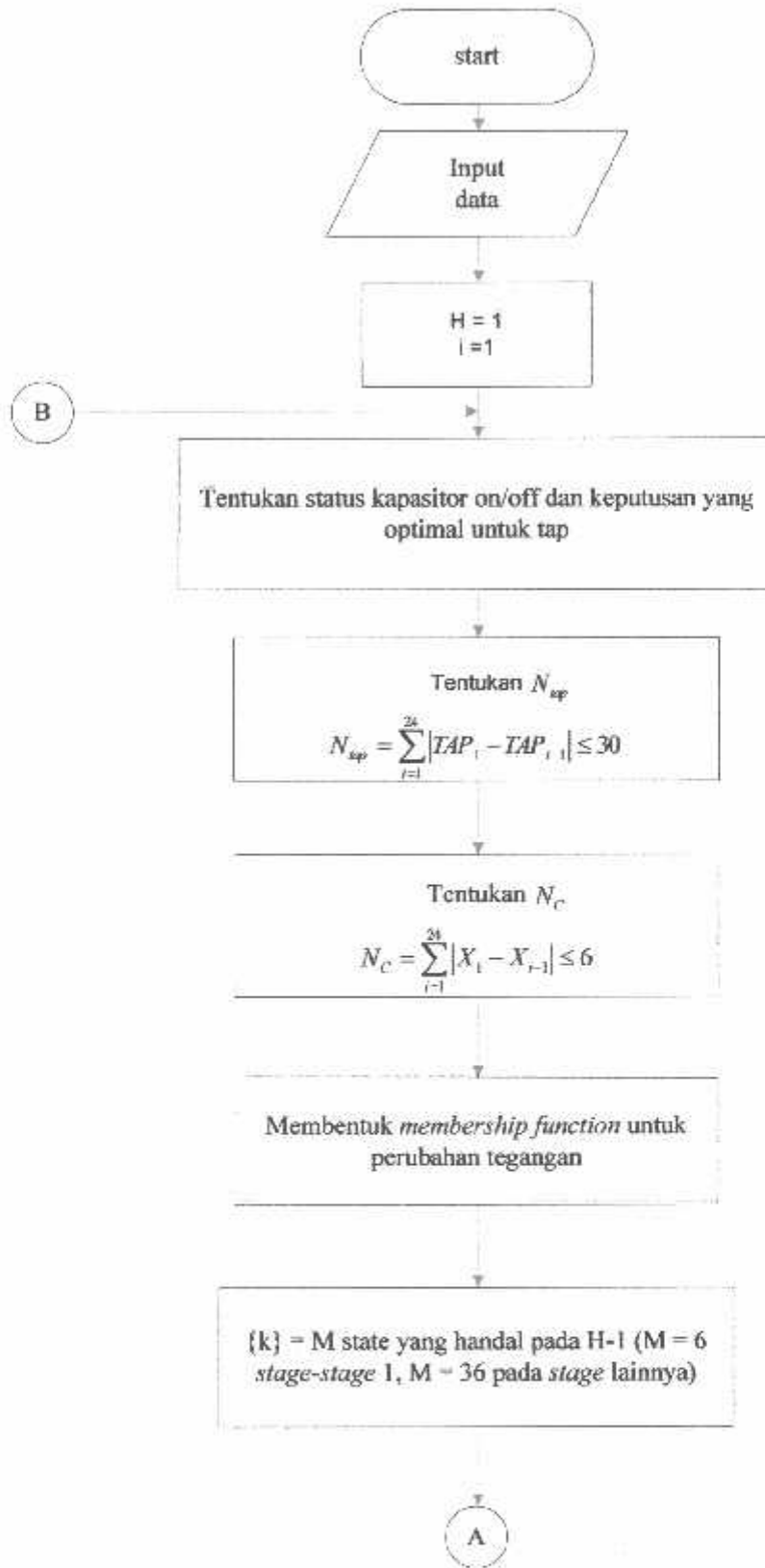
Untuk mengetahui jumlah perpindahan posisi sadapan ( $N_{TAP}$ ) dan penghubung kapasitor shunt ( $N_C$ ) dalam satu hari, posisi sadapan dan status kapasitor shunt setiap jam dalam satu hari harus diketahui terlebih dahulu. Total perpindahan posisi sadapan dapat dihitung dengan menjumlahkan hasil pengurangan posisi sadapan pada suatu jam ( $TAP_j$ ) dengan posisi sadapan pada jam sebelumnya ( $TAP_{j-1}$ ) dari jam 1 hingga 24, proses tersebut juga berlaku untuk mengetahui total penghubungan kapasitor shunt.

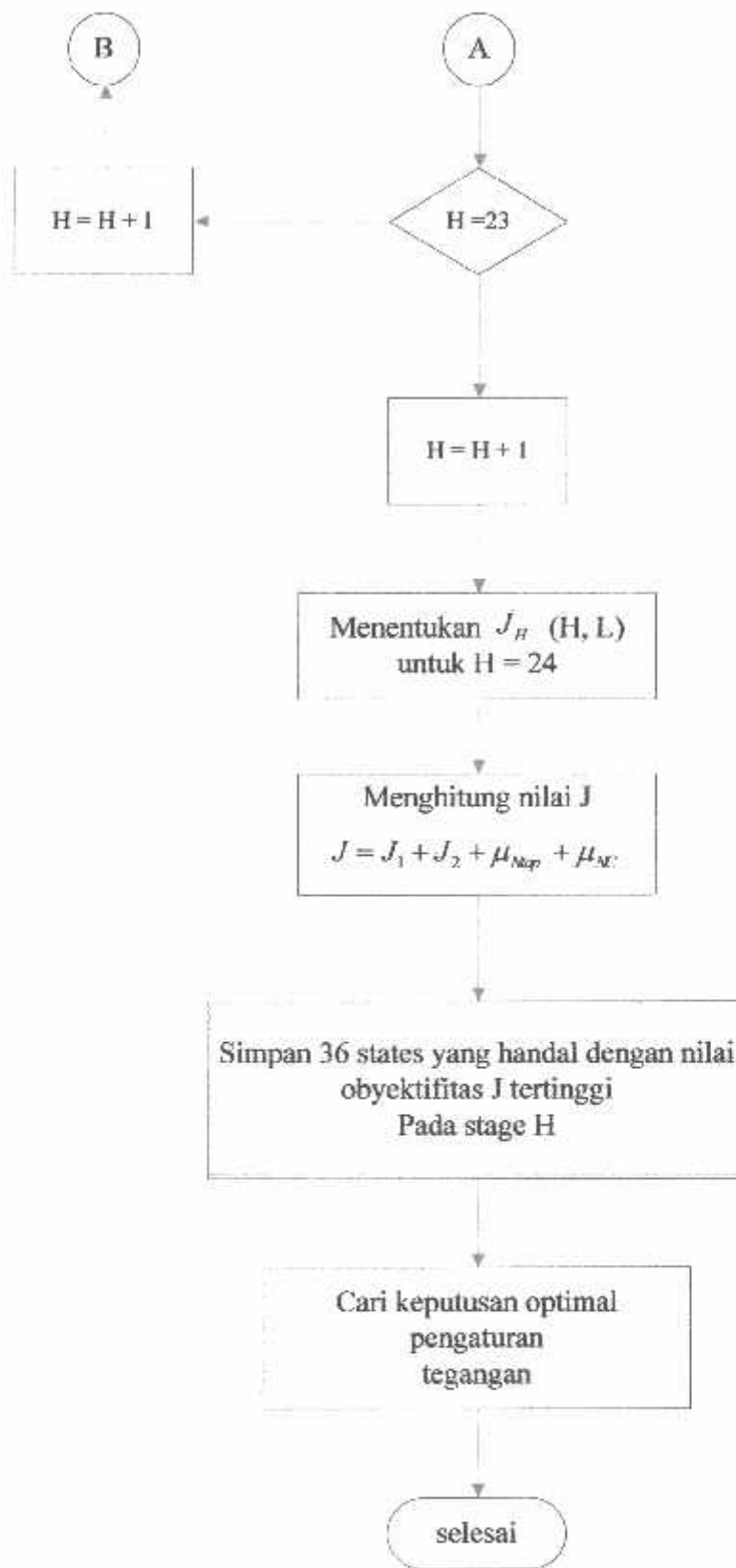
Setelah  $\Delta V_2$ , pf,  $N_{TAP}$  dan  $N_C$  ditentukan, nilai-nilai tersebut ditransformasikan ke dalam ruang himpunan fuzzy, dengan memberikan nilai-nilai keanggotaannya. Dengan nilai-nilai keanggotaan ini, maka kita dapat mencari suatu kondisi dengan nilai obyektifitas tertinggi.

*Fuzzy Dynamic Programming* bertujuan untuk mencari kombinasi antara posisi sadapan dan status kapasitor shunt yang optimum berdasarkan proses optimasi sebelumnya sehingga didapat tegangan sekunder berkualitas baik dan factor daya yang maksimal dari hasil proses pencarian posisi sadapan dan status terhubungnya kapasitor shunt pada keadaan (H,J). *fuzzy dynamic programming*

melakukan pendekatan fuzzy dengan menggunakan variable-variabel fuzzy seperti yang telah dijelaskan dalam bab 3, dan disesuaikan dengan operasi himpunan fuzzy yang digunakan

### 3.11 Flowchart Pengaturan Tegangan





## BAB IV

### SIMULASI DAN ANALISA DATA

#### 4.1 Aplikasi Perhitungan Fuzzy Dynamic Programming

*Fuzzy Dynamic Programming* merupakan suatu metode yang menggabungkan antara metode *fuzzy logic* dengan *dynamic programming* yang mampu mengadopsi persamaan-persamaan yang dimiliki oleh kedua metode tersebut. Dengan ini persamaan-persamaan matematis yang ada dan fungsi-fungsi keanggotaan yang ada, kita dapat menganalisa tegangan pada sisi sekunder dari transformator. Dengan menentukan terlebih dahulu parameter-parameter yang dibutuhkan oleh kedua metode tersebut, seperti fungsi keanggotaan dari *fuzzy logic* itu sendiri, maupun proses seleksi yang akan dilakukan oleh *dynamic programming*.

Sebagai langkah awal dalam menjalankan *Fuzzy Dynamic Programming* untuk pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi, diperlukan data-data seperti besarnya daya aktif, daya reaktif, dan tegangan pada sisi primer transformator utama pada setiap jam dalam satu hari, berdasarkan data yang diperoleh dari gardu induk Pakis penyulang Tumpang trafo 20 kv. Selain itu terdapat data-data tambahan seperti besarnya kapasitas daya dan tegangan nominal transformator utama disertai dengan nilai-nilai impedansi dari transformator dan kapasitor.

## 4.2. Data

Data analisis ini digunakan data saluran distribusi radial Penyulang Tumpang GI Pakis. Data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Distribusi Area Malang UPJ Malang.

### 4.2.1 Data-Data Sistem

Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya terlebih dahulu ditetapkan *single line* diagram yang akan di analisis. *Single line* Penyulang Tumpang dapat dilihat pada lampiran, agar memudahkan perhitungan, maka digunakan sistem per-unit (pu), dimana dasar yang digunakan :

Tabel 4.1.

Kapasitas Daya Dan Tegangan Nominal Transformator Utama<sup>[2]</sup>.

	Kapasitas daya	Tegangan nominal	
	Transformator utama	30 MVA	150 KV

Jaringan distribusi primer GI Pakis menggunakan saluran kabel udara dengan spesifikasi seperti pada tabel 4-2

Impedansi dasar pada trafo Tenaga pada gi pakis penyulang tumpang

Impedansi dasar pada trafo (12,86 %) sisi 20 KV

$$Z_B = \frac{V^2}{P} \times \text{Prosentase Trafo}$$

$$Z_B = \frac{20KV^2}{30MVA} \times 12,86 \%$$

$$=1,715 \text{ Ohm}$$

. Tabel 4-2

Data Spesifikasi Saluran Penyulang Tumpang

Jenis Konduktor	Penampang Nominal (mm)	Impedansi Saluran ( $\Omega/\text{km}$ )	Kuat Hantar Arus (A)
AAAC	150	0.2162+j0.3305	425

Sumber : PT. PLN (Persero) UBD Jatim Area pelayanan Malang

Nilai impedansi untuk transformator ( $Z_T$ ) tersebut adalah 1,715 Ohm.

Sedangkan untuk data tentang Besarnya Kebutuhan Daya Aktif, Daya Reaktif, Tegangan Pada Sisi Primer Dan Tegangan Sekunder Data Pln G.I Pakis Penyulang Tumpang. Dapat dilihat pada tabel 4.3

Untuk merubah daya kedalam daya dengan satuan per-unit sebagai berikut:

$$\text{Daya per unit} = \frac{\text{Daya Antar Saluran}}{\text{Daya Dasar}}$$

Untuk merubah satuan per-unit dengan memakai data dari GI Pakis penyulang Tumpang trafo 20 kv, 425 A

$$\text{Impedansi dasar adalah } \frac{20.000/\sqrt{3}}{425} = 81,5\Omega$$

Dan karena itu besarnya impedansi beban adalah juga 1,0 per unit. Impedansi

$$\text{kawat adalah } Z = 0.2162 + j0.3305 = 0,39\angle 56,8^\circ$$

$$v_{an} = 1,0\angle 0^\circ + 1,0\angle -30^\circ \times 0,39\angle 56,8^\circ$$

$$v_{an} = 1,0\angle 0^\circ + 0,39\angle 26,8^\circ$$

$$v_{an} = 0,35 - j0,18 = 0,39\angle 27,22 \text{ per unit}$$

$$v_{LN} = 0,39 \times \frac{20000}{\sqrt{3}} = 4503,33 \text{ V} = 4,5 \text{ kV}$$

$$v_{LL} = 0,39 \times 20 = 7,8 \text{ kV}$$

Tabel 4.3

Besarnya Kebutuhan Daya Aktif, Daya Reaktif, Tegangan Pada Sisi Primer Dan Tegangan Sekunder Data PLN G.I Pakis Penyulang Tumpang.

Jam Hour	P (Mw)	Q (Mvar)	Tegangan	
			Primer (Kv)	Sekunder (Kv)
0	13.6	4	147	21
1	13	4	147	21
2	12.8	4	147	21
3	12.8	4	145	21
4	13.6	4.6	147	21
5	15.4	2.6	147	20.9
6	14	3.6	148	21
7	12.2	3.2	148	21
8	12	3.6	148	20.8
9	12.5	3.6	148	20.8
10	12.5	3.6	148	20.8
11	12.5	3.6	148	20.8
12	12	3.2	150	21
13	11.8	3.2	150	21
14	12.4	3.4	148	20.8
15	12.6	3.6	148	20.8
16	12.6	3.6	148	20.8
17	16.2	4.6	148	20.8
18	21.6	7	145	20.8
19	20	7	145	20.8
20	21.4	7.4	145	20.8
21	12.4	3.2	147	21
22	13.2	4	147	21
23	13	3.8	148	21



Data-data yang diperoleh seperti besarnya daya aktif, daya reaktif, tegangan pada sisi primer dan tegangan pada sisi sekunder diubah satuannya kedalam Per unit (Pu) terlihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4.

Besarnya Daya Aktif, Daya Reaktif, Tegangan Sisi Primer Dan Tegangan Pada Sisi Sekunder Data PLN G.I Pakis Dalam Satuan Per unit (Pu)

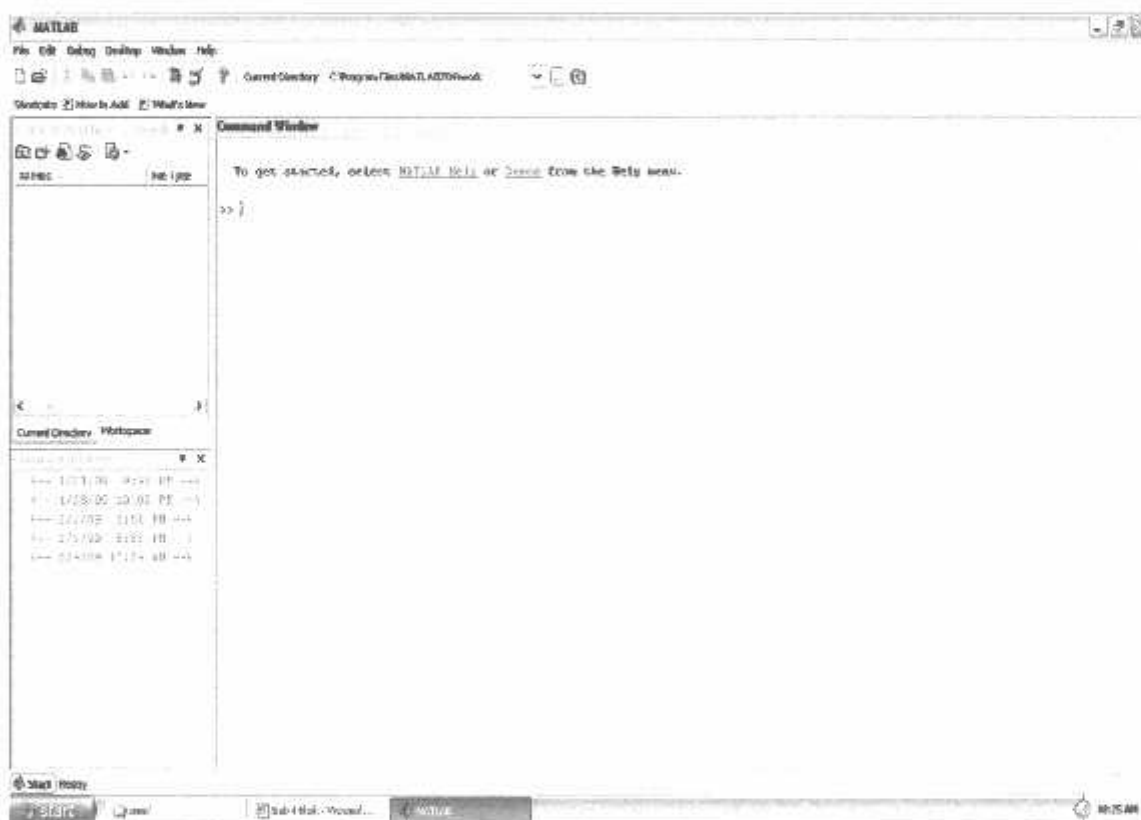
Jam Hour	P (pu)	Q (pu)	Tegangan	
			Primer	Sekunder
00.00	0.68	0.2	7.35	1.05
01.00	0.65	0.2	7.35	1.05
02.00	0.64	0.2	7.35	1.05
03.00	0.64	0.2	7.25	1.05
04.00	0.68	0.23	7.35	1.05
05.00	0.77	0.13	7.35	1.045
06.00	0.7	0.18	7.4	1.05
07.00	0.61	0.16	7.4	1.05
08.00	0.6	0.18	7.4	1.04
09.00	0.625	0.18	7.4	1.04
10.00	0.625	0.18	7.4	1.04
11.00	0.625	0.18	7.4	1.04
12.00	0.6	0.16	7.5	1.05
13.00	0.59	0.16	7.5	1.05
14.00	0.62	0.17	7.4	1.04
15.00	0.63	0.18	7.4	1.04
16.00	0.63	0.18	7.4	1.04
17.00	0.81	0.23	7.4	1.04
18.00	1.08	0.35	7.25	1.04
19.00	1	0.35	7.25	1.04
20.00	1.07	0.37	7.25	1.04
21.00	0.62	0.16	7.35	1.05
22.00	0.66	0.2	7.35	1.05
23.00	0.65	0.19	7.4	1.05

### 4.3. Hasil Dan Analisis Hasil

#### 4.3.1 Program Komputer Menggunakan Metode *Fuzzy Dynamic Programming*

Program dalam skripsi ini dijalankan dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab 7.01 dan diaplikasikan komputer Intel Pentium III dengan prosesor 850 MHz dengan memori 256 Mb. Mengenai jalannya program ikut prosedur program berikut ini :

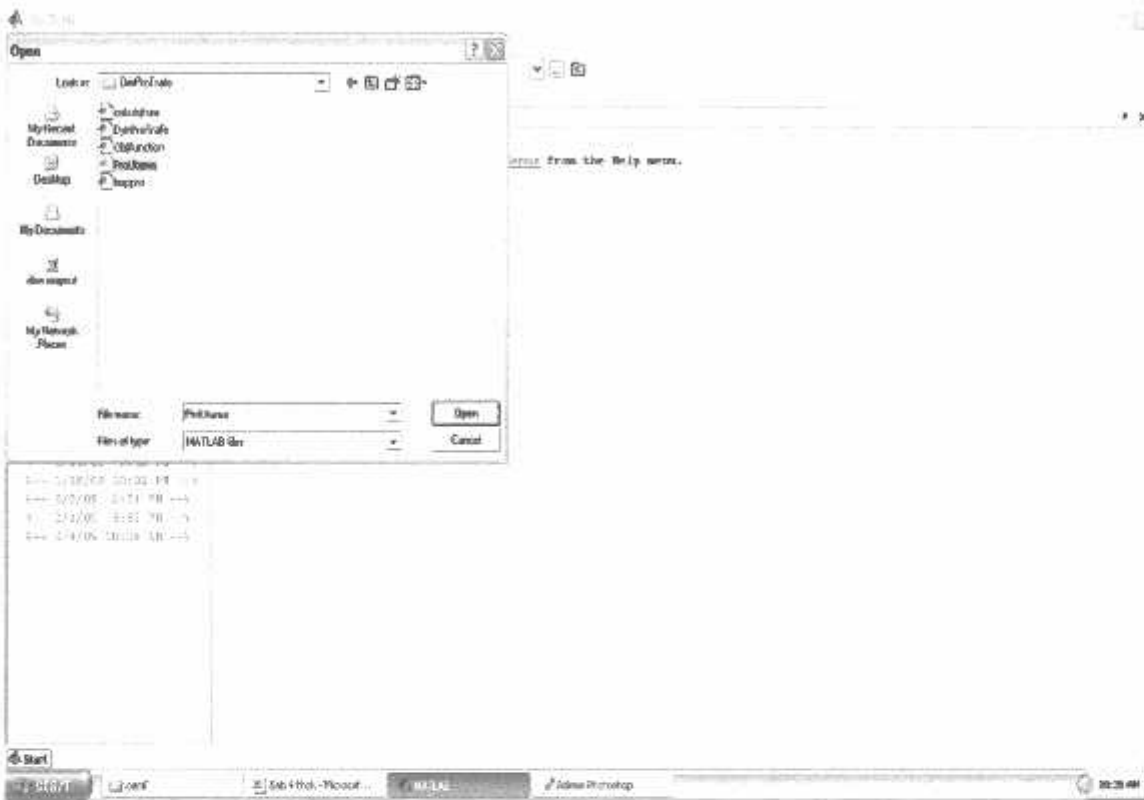
##### 1. Tampilan Utama Dari Program.



Gambar 4-1.

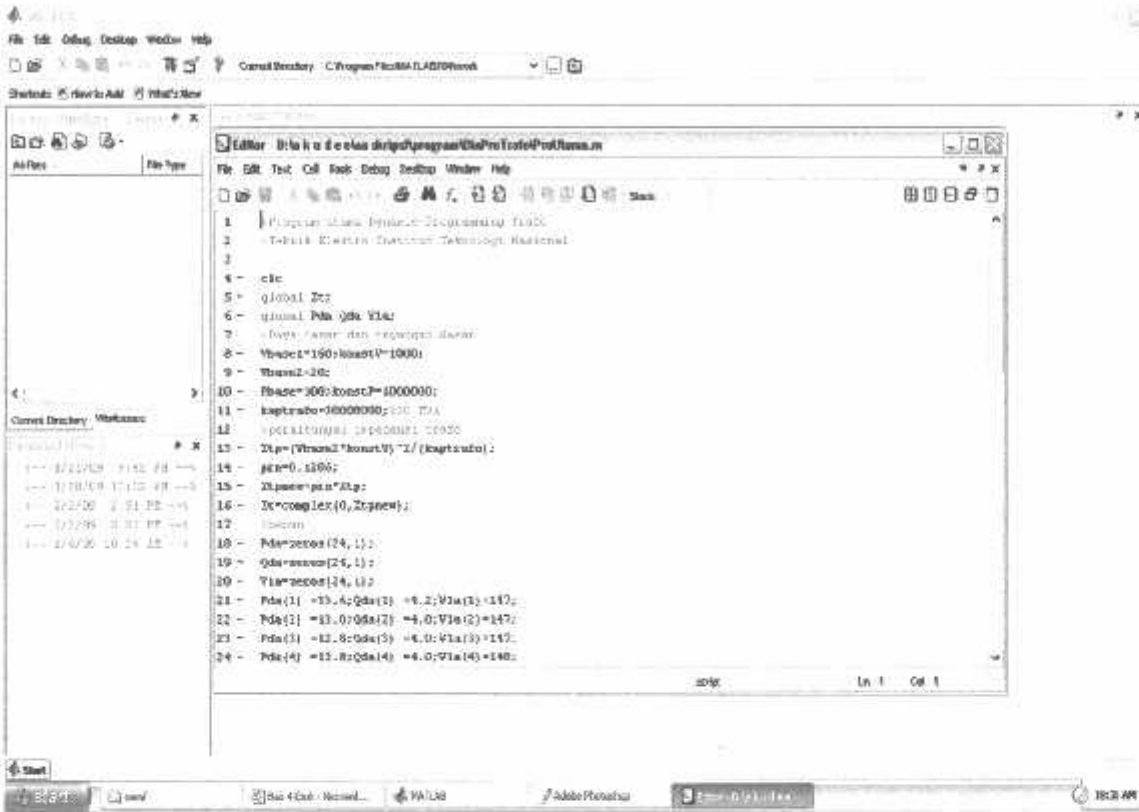
Tampilan Program Utama

**2. Tekan Tombol *Open* Untuk Membuka File Yang Sudah Tersimpan.**



Gambar 4-2,  
Tampilan Program Utama

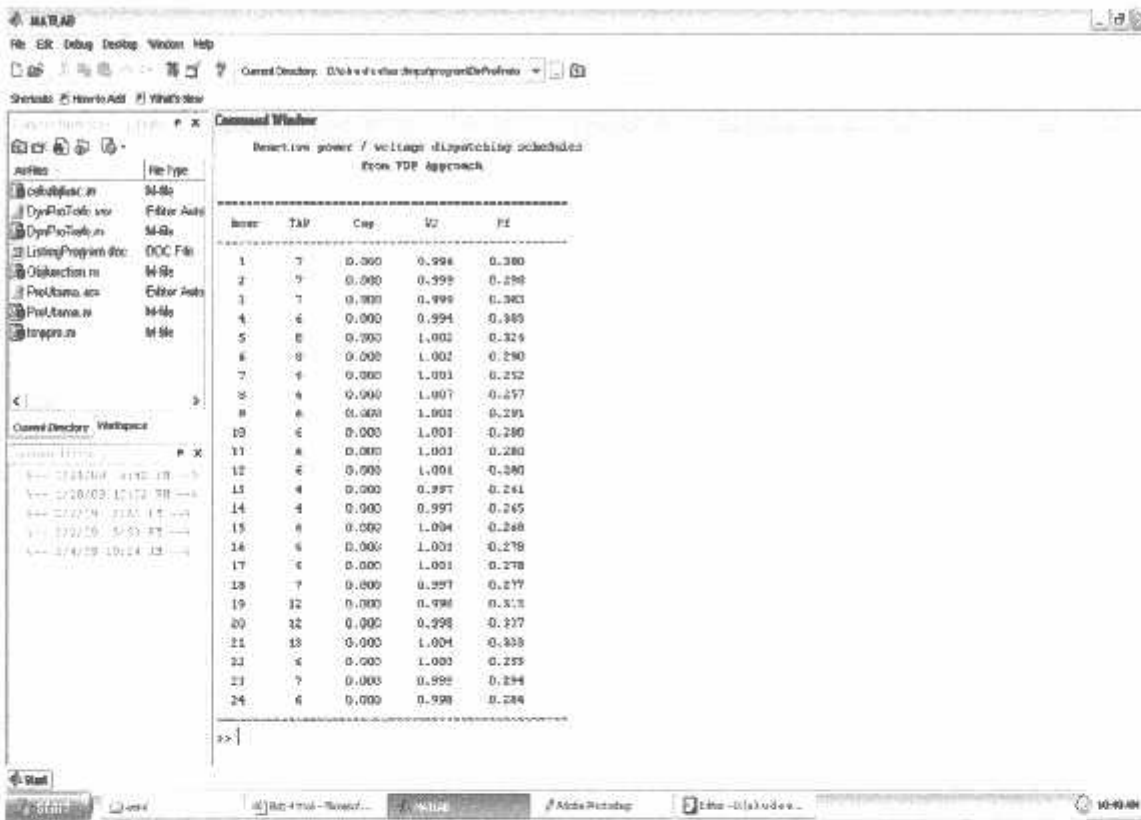
### 3. Kemudian Pilih Proutama



Gambar 4-3.

Tampilan Program Utama

#### 4. Kemudian Tekan Tombol F5 Untuk Menjalankan Program



Gambar 4-4.

#### Tampilan Program Utama

Data pembebanan diambil dari data PT. PLN (Persero), Area Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Jawa-Bali (P3B) Region Jawa Timur Dan Bali tepatnya pada Gardu Induk Pakis penyulang Tumpang Malang Jawa Timur tanggal 1 November 2007. Selama 24 jam yang meliputi daya aktif, daya reaktif, tegangan primer dan tegangan sekunder.

#### 4.4. Hasil Pemrograman

Dari hasil pengaturan tegangan berdasarkan data G.I Pakis penulang Tumpang dapat dilihat bahwa tegangan sekunder berada dalam batasan 0.996 pu (19,92 KV) hingga 1.004 pu (20,08 KV) dengan penyimpangan dari tegangan sekunder ideal (20 KV) sebesar  $\pm 0.008$  pu dan factor daya pada hasil perhitungan pada data G.I pakis penyumpang Tumpang selalu diatas 0.252.

Untuk memperoleh posisi Tap yang optimal pada setiap jamnya kita harus dapat memperlihatkan posisi mana yang idcal untuk pergantian posisi Tap. Ada tiga kemungkinan posisi pergantian tap ( $TAP_{optimal}$ ,  $TAP_{optimal} -$ ,  $TAP_{optimal} +$ ).

Jumlah keseluruhan pergantian tap pada hasil perhitungan sebesar 26 kali ini masih diperbolehkan mengingat batas maksimum pergantian tap sebesar 30 kali. Sedangkan pergantian kapasitor, tidak ada status terhubung-putusnya kapasitor, ini disebabkan karena tegangan keluaran  $V_2$  sudah memenuhi persyaratan. Dalam ketetapan yang ada untuk menentukan terhubung-putusnya kapasitor, dicari apakah daya reaktif hasil data perkiraan beban lebih besar daripada setengah kapasitas kapasitor shunt. Tidak perlu diperhatikan status terhubung-putusnya kapasitor tidak menyebabkan tegangan pada sisi sekunder melebihi batas yang ditentukan.

Seluruh hasil output perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4-5

Hasil Perhitungan Program  $V_2$  (Pu)

Hour	Tap	$V_2$ (Pu)	Pf
01.00	7	0.996	0.3
02.00	7	0.999	0.298
03.00	7	0.999	0.303
04.00	6	0.994	0.303
05.00	8	1.002	0.326
06.00	8	1.002	0.29
07.00	6	1.001	0.252
08.00	6	1.007	0.257
09.00	6	1.001	0.291
10.00	6	1.001	0.28
11.00	6	1.001	0.28
12.00	6	1.001	0.28
13.00	4	0.997	0.261
14.00	4	0.997	0.265
15.00	6	1.004	0.268
16.00	6	1.001	0.278
17.00	6	1.001	0.278
18.00	7	0.997	0.277
19.00	12	0.998	0.313
20.00	12	0.998	0.337
21.00	13	1.004	0.333
22.00	6	1	0.253
23.00	7	0.999	0.294
24.00	6	0.998	0.284

Tabel 4-6

Hasil Perhitungan Program  $V_2$  (Kv)

Hour	Tap	(Kv)	Pf
1	7	19.92	0.3
2	7	19.98	0.298
3	7	19.98	0.303
4	6	19.88	0.303
5	8	20.04	0.326
6	8	20.04	0.29
7	6	20.02	0.252
8	6	20.14	0.257
9	6	20.02	0.291
10	6	20.02	0.28
11	6	20.02	0.28
12	6	20.02	0.28
13	4	19.94	0.261
14	4	19.94	0.265
15	6	20.08	0.268
16	6	20.02	0.278
17	6	20.02	0.278
18	7	19.94	0.277
19	12	19.96	0.313
20	12	19.96	0.337
21	13	20.08	0.333
22	6	20	0.253
23	7	19.98	0.294
24	6	19.96	0.284



Hasil keluaran tegangan pada sisi sekunder diubah satuannya dari per unit (pu) kedalam Kilovolt (Kv), hasil perubahannya, dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7

Hasil Konversi Tegangan Sekunder data PLN dari  $V_2$  (pu) menjadi  $V_2$  (Kv)

Hour	Tap	$V_2$ (Pu)	$V_2$ Kv
1	7	1.05	21
2	7	1.05	21
3	7	1.05	21
4	6	1.05	21
5	8	1.05	21
6	8	1.045	20.9
7	6	1.05	21
8	6	1.05	21
9	6	1.04	20.8
10	6	1.04	20.8
11	6	1.04	20.8
12	6	1.04	20.8
13	4	1.05	21
14	4	1.05	21
15	6	1.04	20.8
16	6	1.04	20.8
17	6	1.04	20.8
18	7	1.04	20.8
19	12	1.04	20.8
20	12	1.04	20.8
21	13	1.04	20.8
22	6	1.05	21
23	7	1.05	21
24	6	1.05	21

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan kita dapat mengetahui perbedaan setiap jam yang dihasilkan oleh *fuzzy dynamic programming* terhadap hasil keluaran yang diperoleh dari PLN. Table 4.8 memperlihatkan hasil perhitungan secara keseluruhan selama 24 jam.

Table 4.8

Perbandingan Antara Hasil FDP Dengan Hasil PLN Selama 24 Jam  
dalam bentuk pu

Hour	$V_2$ FDP	$V_2$ PLN
01.00	0.996	1.05
02.00	0.999	1.05
03.00	0.999	1.05
04.00	0.994	1.05
05.00	1.002	1.05
06.00	1.002	1.045
07.00	1.001	1.05
08.00	1.007	1.05
09.00	1.001	1.04
10.00	1.001	1.04
11.00	1.001	1.04
12.00	1.001	1.04
13.00	0.997	1.05
14.00	0.997	1.05
15.00	1.004	1.04
16.00	1.001	1.04
17.00	1.001	1.04
18.00	0.997	1.04
19.00	0.998	1.04
20.00	0.998	1.04
21.00	1.004	1.04
22.00	1	1.05
23.00	0.999	1.05
24.00	0.998	1.05

Table 4.9

Perbandingan Antara Hasil FDP Dengan Hasil PLN Selama 24 Jam  
dalam bentuk Kv

Hour	FDP	PLN
1	19.92	21
2	19.98	21
3	19.98	21
4	19.88	21
5	20.04	21
6	20.04	20.9
7	20.02	21
8	20.14	21
9	20.02	20.8
10	20.02	20.8
11	20.02	20.8
12	20.02	20.8
13	19.94	21
14	19.94	21
15	20.08	20.8
16	20.02	20.8
17	20.02	20.8
18	19.94	20.8
19	19.96	20.8
20	19.96	20.8
21	20.08	20.8
22	20	21
23	19.98	21
24	19.96	21

#### 4.5 Tampilan Grafik

Pada hasil perbandingan antara keluaran *Fuzzy Dynamic Programming* dengan hasil keluaran PLN terjadi perbedaan yang cukup signifikan, ini disebabkan karena program fuzzy dynamic programming tidak disetting untuk mendekati keluaran yang dihasilkan PLN, tetapi program ini dibuat untuk memperoleh nilai tegangan keluaran pada sisi sekunder trafo ( $V_2$ ) mendekati nilai keluaran per unit yaitu 1 per unit (1 pu), dengan menggunakan aturan-aturan yang telah ditetapkan oleh *Fuzzy Dynamic Programming*, baik dalam hal fungsi keanggotaan (membership function), penentuan status terhubung-terputusnya kapasitor, mengetahui posisi tap yang optimal.

Persentase mutlak kesalahan (*Mean Absolute Percentage Error*) digunakan mempelajari performa dari metode ini, didefinisikan sebagai berikut :

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|hasil(i) - aktual(i)|}{hasil(i)} \times 100\%$$

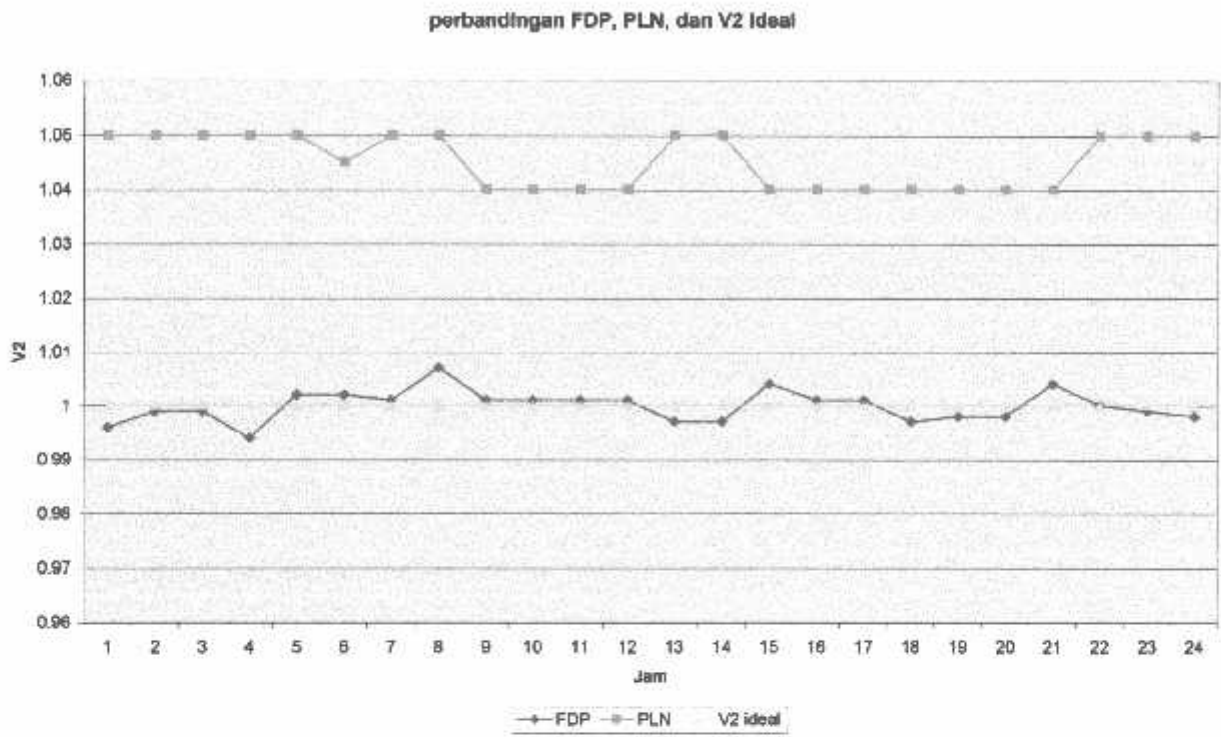
Tabel 4.10

Perbandingan rata-rata  $V_2$  hasil perhitungan FDP dengan  $V_2$  data dari PLN

	$V_2$ FDP	$V_2$ PLN
Hasil rata-rata $V_2$ selama 24 jam	0.999917 pu	1.045208 pu
Prosentase error	4,53%	

Grafik 4.1

Perbandingan hasil FDP dan hasil PLN terhadap keluaran sisi sekunder



## 5.2 Saran-Saran

1. *Fuzzy Dynamic Programming* dapat dikombinasikan dengan metode lainnya seperti jaringan saraf tiruan, dsb. Untuk mempermudah dan mempersingkat waktu perhitungan.
2. Perlu adanya suatu algoritma pentahapan balik (*feedback*) untuk mengantisipasi perubahan tegangan dan daya reaktif yang besar sekali jika metode *Fuzzy Dynamic Programming* ingin diimplementasikan kedalam sistem operasional pengaturan tegangan pada gardu induk distribusi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hasan Bisri, Ir, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Balai penerbit dan Humas IST Bumi Srengseng Indah P. Minggu, Jakarta Selatan, 1996.
  2. Feng Chang Lu & Yuan-Yih Hsu, "Fuzzy Dynamic Programming Approach To Reaktif Power/Voltage Control In Distribution Substantion" *IEEE Trans On Power System*, Vol 12, No 2, May 1997
  3. William. D. Stevenson, Jr., " Analisis System Tenaga Listrik" ,Edisi Keempat penerbit Erlangga,1983.
  4. Djiteng Maesudi, "Operasi System Tenaga Listrik" ,Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta 1990
  5. Djoekardi, Djuhana,"Transformator" (Jakarta, ISTN,1993)
  6. Kuswadi, Son,"Kendali Cerdas" (Intelligent Control),EEPIS PRESS, Surabaya, Indonesia.
  7. Yuan-Yih Hsu & Feng Chang Lu "Reaktif Power/Voltage Control In A Distribution Substation Using Dynamic Programming"; IEEE Proceeding Generation Transmission Distribution, Vol 142, No. 6, PP. 639-645, November 1995.
-

# LAMPIRAN I

1  
2  
3





## **PERSEMBAHAN**

**ASSALAMU'ALAIKUM WR. WB**

**ALHAMDULILLAHIRROBBIL'ALAMIN PERTAMA KALI KAMI UCAPKAN, SEBAGAI PERTANDA SYUKUR KEHADIRAT ALLAH SWT YANG MANA ATAS RAHMAT DAN PERTOLONGANNYA KAMI MAMPU MENYELESAIKAN SKRIPSI INI DENGAN BAIK DAN LANCAR. TAK LUPA KAMI UCAPKAN SHOLAWAT DAN SALAM KEPADA MANUSIA YANG PALING MULIA NABI MUHAMMAD SAW, KARENA ATAS JASA PENGORBANAN BELIAU, KITA UMAT MANUSIA BISA TERBEBAS DARI BELENGGU KEKAFIRAN.**

**TERIMA KASIH DARI HATI YANG TULUS SAYA UCAPKAN UNTUK ABIKU H.A.D. SUDIBYO DAN UMMIKU SEDYANING HESTI. KARENA ATAS SEGALA USAHA, JERIH PAYAH DAN KESABARANNYALAH SAYA MAMPU MENYELESAIKAN JENJANG PERGURUAN TINGGI. DOA KALIANLAH YANG TIADA HENTI DAN SELALU MENCIRINGI DARI SAYA DILAHIRKAN SAMPAI UJUNG NAFAS. TERIMA KASIH SEBESAR-BESARNYA SAYA JUGA UCAPKAN KEPADA KELUARGA KAKAK SAYA DANU PRAMUDITO, ST (KITA AKAN BERPISAH MAS, G SATU KOTA LAGI), MBAK ENDAH HERYANTI (KAPAN FB AN LG) DAN RAFIDA ADZ DZAKIYA (SEMOGA JADI ANAK YANG MEMBANGGAKAN ORANG TUA) DAN KELUARGA ADIK SAYA WAHMAN AHMAL ASYSYAKTRY (KAPAN KUMPUL LAGI DEK), IMANIAR ANJANI (TUNGGU DI SEMARANG Y) DAN NAILY AMALIA ARQAST TSURAYYA ASYASYAKIRI (SEMOGA MAMPU MEMERUHI AMANAT ORANG TUA)**

---

**TERIMA KASIH JUGA SAYA UCAPKAN KEPADA DOSEN PEMBIMBING SAYA IR. TEGUH HERBASUKI, MT DAN IR. H. CHOIRUL SHALEH, MT ATAS BIMBINGAN DAN ILMU YANG TELAH DIBERIKAN SELAMA INI. SPECIAL THANKS KEPADA RIFAH FATHINIYAH, ORANG YANG PALING BERPENGARUH DALAM HIDUPKU, JASANYA, PENERBANANNYA, DAN SEMUA DOA-DOANYA. UNTUK CAH-CAH ARSITEK 02 DAN CAH-CAH BERLINA 05 RUDAL (OJO KERJO AE), MUMIN (MOSOK SUDO 20 TAHUN), CETHOEL (NGOBRA AE CAH CAH), FRESKI (KERJO CUY UFC AN AE), GENDENG (NDANG TA PIR), GONDOL (DOLEN REK SEKALE KALE NANG MALANG), PAK PO (URUNAN MANEH URUNAN MANEH) DAN AZIZ (PIYE KULIAH MU REK?) PESEN BUAT KABEH LEK LANANG AYO NANG OMAHE UNYIL KEK, JUGA BUAT EX WONOGIRI BENI KAPAN RABI KANG, TEWEL FUTSAL IYE? OH YO KOWE TA YOO, WOTO LEK TAK DELOK? KOK MIRIP KARO DELON Y DKK, TEMAN TEMAN SEPERJUANGAN KU SELAMA SKRIPSI IWAN (NDANG DIGARAP LAPORANE) AGUNG (JOK CE-ESAN WAE) DWI, AWAN, EKO, ILHAM, ICON, BAGUS DKK (GOOD LUCK COY), AGUS 00 MAKASIH Y DAH NEMENIN KE SAWOJAJAR, SAMSI 00 TRIMS LOH BANTUAN-BANTUANNYA. UNTUK MAS JAYENG YANG SABAR MAS NGADAPIN AREK-AREK, BU PUDJI DPA NYA MANA HEHEHEHE DAN UNTUK SEMA TEMAN-TEMAN JURUSAN ELECTRO ENERGI LISTRIK 5-1 DARI ANGKATAN 00-04 YANG TIDAK MUNGKIN SAYA SATU PERSATU ATAS PERSAHABATANNYA DAN SEGALA BANTUANNYA SELAMA PEMBUATAN SKRIPSI DAN SELAMA MASA-MASA KULIAH DI ITN TERCINTA...**

**WASSALAMU'ALAIKUM WR. WB**



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

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

PERSEHO MALANG  
: 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

Malang, 01 Juli 2008

nomor : ITN-115/I.TA/2/08  
keperluan : -  
tentang : BIMBINGAN SKRIPSI

kepada : Yth. Sdr. **Ir. TEGUH HERBASUKI, MT**  
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
di  
Malang

Dengan hormat  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi  
Untuk Mahasiswa :

Nama : DITO HANANDIYO  
Nim : 0012152  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya  
kepada Saudara/i selama masa waktu (enam ) 6 bulan, terhitung mulai  
tanggal :

19 Juni 2008 s/d 19 Desember 2008

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan  
terima kasih



Setua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

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

Tembusan Kepada Yth :

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

(PERSERO) MALANG  
K 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

Malang, 01 Juli 2008

nomor : ITN-116/LTA/2/08  
ampiran : -  
perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

kepada : Yth. Sdr. **Ir. H. CHOIRUL SALEH, MT**  
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
di  
Malang

Dengan hormat  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi  
Untuk Mahasiswa :

Nama : DITO HANANDIYO  
Nim : 0012152  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi listrik

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya  
kepada Saudara/i selama masa waktu (enam ) 6 bulan, terhitung mulai  
tanggal :

19 Juni 2008 s/d 19 Desember 2008

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan  
terima kasih



Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

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

Tembusan Kepada Yth.

1. Mahasiswa Yang bersangkutan
2. Arsip

Form. S 4a

: 0341 - 326034 ( Hunting )  
: 211

Facsimile : 0341 - 362046

nomor : **1320 /330/APJ-MLG/2008**  
urutan Sdr.No : **ITN-116/I.TA/2/2008**  
ampiran : -  
perihal : **Ijin Survey**

Malang, **24** Juli 2008

Kepada  
ITN. Malang  
Fakultas Teknologi Industri  
Jl. Raya Karanglo, Km 2  
Di  
**MALANG**

Dengan Hormat,

Menindaklanjuti surat saudara No ITN-116/I.TA/2/2008 Tanggal 2 Juli 2008 perihal tersebut di atas, maka dengan ini kami beritahukan bahwa pada prinsipnya kami tidak keberatan / mengizinkan mahasiswa saudara atas nama :

**Dito Hanandiyo**

**Nim : 00.12.152**

Untuk melaksanakan ijin survey di PT. PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Malang mulai tanggal 4 Agustus 2008 sampai dengan 4 September 2008 dengan catatan PLN hanya memberikan data yang **TIDAK BERSIFAT RAHASIA**.

Sebelumnya diminta agar mahasiswa tersebut mengisi surat pernyataan, dilengkapi dengan pas photo ukuran 3 X 4 Cm di SDM & Administrasi PT. PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Malang.

Demikian agar menjadikan maklum.



Tembusan:

1. Manajer UP, UJ & UPJ, terkait
2. Supervisor terkait



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

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

(PERSERO) MALANG  
K 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- 978 /ILTA-2/2/08  
Lampiran : -  
Perihal : Survey

Malang, 14 Agustus 2008

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 PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur - Bali yang Saudara pimpin untuk mendapatkan data - data guna penyusunan Skripsi dengan Judul : Analisa Penempatan Kapasitor Shunt Untuk Mereduksi Rugi - Rugi Daya Menggunakan Metode Fuzzy Dynamic Programming Pada Gardu Induk Pakis Malang


Mahasiswa tersebut Adalah :

Dito Hanandiyo Nim. 00.12.152

Adapun lamanya Survey adalah : 30 Hari

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

DEKAN  
Fakultas Teknologi Industri



H. Mochtar Asroni, MSME  
Nip. Y. 1018100036



PT. PLN (PERSERO)  
DISTRIBUSI JAWA TIMUR  
AREA PELAYANAN DAN JARINGAN MALANG

JL. JENDRAL BASUKI RAHMAD NO 100 MALANG 65111

Telepon : (0341) 326034 - 03 Facsimile : (0341) 362046  
Kotak Pos : 18 E-mail : plnmilg@pln-jatim.co.id



## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Surat balasan No. / Tgl. : 1320 / 830 / APJ - MLG / 2008  
Nama : DITO HANAUDIYO  
Tempat, tanggal lahir : PONOROGO / 15 JUNI 1982  
Jenis Kelamin : LAKI - LAKI  
Agama : ISLAM  
Alamat Asal : J.L. J.A. SUPRPTO 100 PONOROGO  
Alamat Sekarang : JL. PURUS II A MALANG  
Pendidikan : MAHASISWA  
Nama Sekolah/Universitas : ITN MALANG  
No. Nim / Telp / HP : 00.12.152 / 085755335544

Dengan ini kami menyatakan bahwa :

1. Saya akan mematuhi semua peraturan yang berlaku di PT. PLN (Persero) termasuk larangan melakukan pemotretan data-data spesifikasi peralatan PT. PLN (Persero).
2. Saya akan mematuhi semua petunjuk yang diberikan oleh Pejabat/Pegawai PT. PLN (Persero) yang ditugaskan pembimbing saya.
3. Saya setuju PT. PLN (Persero) tidak menanggung sesuatu apapun bila terjadi kecelakaan yang mungkin menimpa diri saya atau kerugian yang mungkin saya derita atas barang-barang saya pada saat melakukan Training/Praktikum di PT. PLN (Persero) , ruangan, halam
4. Saya sangat menimb
5. Saya le'

\*) Coret yang tidak





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


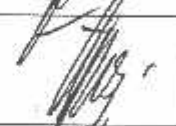





Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/~~Teknik Elektronika~~)

1.	Nama Mahasiswa: DITO HANANDIYO			Nim: 00.12.152
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	23 Juni 2008		Ruang:
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)				
3.	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
	<input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi			
	<input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
	<input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya .....		
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR SHUNT UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING PADA GARDU INDUK BAKIS MALANG		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	.....		
6.	Catatan: .....			
	.....			
Catatan: .....				
.....				
Persetujuan Judul Skripsi				
Disetujui, Dosen		Disetujui		



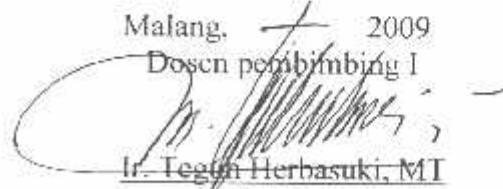
**FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI**

Nama : DITO HANANDIYO  
 Nim : 00.12.152  
 Masa Bimbingan : 21 JUNI 2008 s/d 21 DESEMBER 2008  
 Judul Skripsi : PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK  
 DISTRIBUSI PAKIS MALANG DENGAN  
 MENGGUNAKAN METODE PENDEKATAN FUZZY  
 DYNAMIC PROGRAMMING

Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
30/06/2009	KONSULTASI BAB I & II	
02/02/2009	Revisi Bab I, Tujuan Masalah	
23/02/2009	Konsultasi BAB III & IV	
15/02/2009	Revisi BAB III, Flow chart	
19-02/2009	Revisi BAB IV, Tabel	
20/2/2009	BAB 5, Revisi Kesimpulan	
30/2/2009	ACC MAKALAH	

Malang, 2009

Dosen pembimbing I

  
 Ir. Teguh Herbasuki, MT  
 Nip. Y. 1038900209

## FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : DITO HANANDIYO  
 Nim : 00.12.152  
 Masa Bimbingan : 21 JUNI 2008 s/d 21 DESEMBER 2008  
 Judul Skripsi : PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU INDUK  
 DISTRIBUSI PAKIS MALANG DENGAN  
 MENGGUNAKAN METODE PENDEKATAN FUZZY  
 DYNAMIC PROGRAMMING

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	271208	Pada Bab I Tujuan belum sesuai	es.
2		dengan kesimpulan	
3	050209	Pada Bab II parameter kurang lengkap	es.
4	070209	- Analisa mengenai metode belum	
5		lengkap	es.
6		- Daftar gambar diberi keterangan	
7	080209	Konsultasi Bab V	es.
8		Revisi kesimpulan, Perjelas	
9	120209	ACC MAKALAH	es.
10			

Malang, 2009  
 Dosen pembimbing II

  
Ir. H. Choirul Shaleh, MT  
 Nip. Y. 1018800190

Form. S-4b



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Sabtu  
Tanggal : 14 Maret 2009

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Dito Hanandiyo
2. NIM : 00.12.152
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : Pengaturan Tegangan Pada Gardu Induk Distribusi Pakis Malang Dengan Menggunakan Metode Pendekatan *Fuzzy Dynamic Programming*

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Paraf
1.	Tabel 4.3 kolom tegangan satuannya tidak ada	
2.	Bagaimana proses konversi 1 pu = 20 kv	
3.	Bagaimana menghitung error, cantumkan rumusnya	
4.	Kenapa pada hasil perhitungan memasukkan kapasitor? Padahal tidak ada pengaruhnya (nilai nol)?	

**Anggota Penguji I**

**Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT**  
NIP. 132314400

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
Nip. Y. 1038900209

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. H. Choirul Shaleh, MT**  
Nip. Y. 1018800190



### Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Dibo Hanandiyu  
NIM : 00.12.152  
Perbaikan meliputi :

- Tabel 4.3. kolom tegangan seharusnya tidak ada (tabel 4.4)
- tipe prosesor konversi 1 pu = 20 kv ?
- Angka mengulangi error 1 atau ada rumus  $|V_2 - 1| \times 100\%$  → dari mana ?
- Kenapa ps harus perhitungan menggunakan konstanta ?  
perbedaan tdk ada / konstanta / hitungannya ke ?

Malang 14 Maret 09

  
( Dibo Hanandiyu )



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**Nama Mahasiswa** : DITO HANANDIYO  
**N.I.M.** : 00.12.152  
**Jurusan** : Teknik Elektro S-1  
**Konsentrasi** : Teknik Energi Listrik  
**Judul Skripsi** : PENGATURAN TEGANGAN PADA GARDU  
INDUK DISTRIBUSI PAKIS MALANG DENGAN  
MENGUNAKAN METODE PENDEKATAN  
*FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING*

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


**Hari** : Sabtu  
**Tanggal** : 14 Maret 2009  
**Dengan Nilai** : 75,3 (B+) *fyf*

Panitia Ujian Skripsi



**Ketua Majelis Penguji**

Ir. Sidik Noertjahjono, MT  
NIP. Y. 102 8700 163



**Sekretaris Majelis Penguji**

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP. Y. 103 9500 274


Anggota Penguji

**Penguji Pertama**



Ir. Eko Nurcahyo  
NIP. Y. 102 8700 172

**Penguji Kedua**



Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT  
NIP. 132314400

## **LAMPIRAN II**

---

## FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH TO REACTIVE POWER/VOLTAGE CONTROL IN A DISTRIBUTION SUBSTATION

Feng-Chang Lu

Yuan-Yih Hsu, Senior Member, IEEE

Department of Electrical Engineering  
National Taiwan University  
Taipei, Taiwan

*Abstract*— A fuzzy dynamic programming (FDP) approach is used for solving the reactive power/voltage control problem in a distribution substation. The main purpose is to improve the voltage profile on the secondary bus and restrain reactive power flow into a main transformer at the same time. To reach our objectives, the load tap changer (LTC) newly installed in a main transformer is employed to adjust secondary voltage and the capacitor connected to the secondary bus is employed to compensate the reactive power for the load demands. We first forecast the real and reactive power demands of a main transformer and its primary voltages for the next day. With these forecasting data at hand, an LTC tap position estimation formula that takes the load demands into account is derived to effectively reduce the operational burden for the proposed approach. Practical constraints on bus voltage limits, maximum allowable number of switching operations in a day for the LTC and capacitor and tolerable worst power factor for a main transformer are considered. To demonstrate the usefulness of the proposed approach, reactive power/voltage control at a distribution substation within the service area of Taipei City District Office of Taiwan Power Company is investigated. It is found that a proper dispatching schedule for the LTC and capacitor can be achieved by the proposed approach.

*Keywords*: fuzzy set theory, dynamic programming, voltage control, reactive power control, shunt capacitor, automatic voltage regulator, distribution system, substation automation

### 1. INTRODUCTION

Reactive power/voltage control in a power system received attention in recent years. In the literature, the reactive power/voltage control problem in the transmission and distribution system is usually conducted using optimal power flow program [1-7]. Control variables such as generator outputs, transformer taps, reactors, and capacitors at EHV and HV substations must be optimized in order to minimize voltage variations and transmission losses. On the other hand, reactive power/voltage control at distribution feeders is achieved through the placement of capacitors at proper locations [8-17]. Numerous approaches, such as analytical methods [8,9], dynamic programming [10,11], nonlinear programming [12,13], mixed integer programming [14], artificial neural network [15], expert systems [16], and genetic algorithm [17] have been developed for the planning and location of capacitors along distribution feeders.

In contrast to the numerous works on transmission system and distribution feeders, the reports on reactive power/voltage control of a distribution substation are rather limited [18-20]. In general, the objective of reactive power/voltage control in a distribution substation is to control the voltage on the low-voltage bus as well as the reactive power flow into the main transformer. To achieve this goal, load tap changing (LTC) transformers and mechanically-switched capacitors are usually employed. The LTCs are usually set to hold secondary voltage within a certain deadband around a nominal voltage center tap [19]. When voltage violations are detected, tap movements are executed following a certain time delay. On the other hand, the capacitors are switched on/off according to load [19] or reactive power flow into the main transformer [20]. Under this control strategy, LTCs and capacitors are operated independently to control bus voltages and reactive powers, respectively. Since capacitor switching may affect bus voltage and hence the movements in tap changers, it may happen that the tap changers are moved too often, resulting in a reduction of LTC life expectancy and higher maintenance cost. Therefore, it is essential to coordinate the LTC and capacitor. In [19], a static condenser (STATCON) is implemented in a distribution substation to improve the voltage profile. The LTC and capacitor are coordinated such that the LTC regulates the low-side voltage while the capacitors are switched to regulate the high-side voltage and reactive power flow into the substation. Reduction in tap movements is achieved through the reliance on the STATCON to relieve the LTCs. It is noted that, in [19], only current loading conditions are employed to determine the control strategy for the LTC and capacitors. In the present work, a fuzzy dynamic programming (FDP) approach that takes the practical constraints on secondary bus voltages and power factor of a main transformer and maximum allowable number of switching operations in a day for the LTC and capacitor into account is developed. Coordination of LTC and capacitor is achieved through the maximization of a fuzzy objective function. Note that no additional hardware investment such as STATCON in [19] is needed for the coordination of LTC and capacitor. Only the LTC and capacitor and the data recorded in the substation are used in the proposed approach.

Since most substations in Taipei have been automated so far, substation bus voltages, loads and reactive power flows are available at the distribution and dispatch control center (DDCC) computers. The hourly real and reactive loads of a main transformer and its primary voltages for the next 24 hours can be forecasted using the recorded data [21,22]. With the hourly forecasted data for the next day at hand, it is desirable to determine an optimal reactive power/voltage control strategy for the next 24 hours. In other words, the on/off status of the capacitor and tap positions for the LTC at each hour in the next day must be determined such that the reactive power flow into the main transformer is kept as small as possible and the secondary bus voltage is maintained as close to the specified value as possible at all hours in the day. To achieve this goal, dynamic programming approach is employed in [20] to reach the desired dispatching strategy for the LTC and capacitor.

477-C PWR5. A paper recommended and approved by the Power System Engineering Committee of the IEEE Power Engineering Society for presentation at the 1996 IEEE/PES Summer Meeting, July 28 - August 1, 1996, in Denver, Colorado. Manuscript received December 28, 1994; made available for printing April 23, 1995.



practice, the operators at the distribution and dispatch center tend to use some heuristic rules based on their experience to determine a proper dispatching strategy. For example, the following heuristic rules are followed by the operators at Taiwan Power Company (TPC) to perform reactive power/voltage control at a distribution substation.

The main transformer power factor must be kept as high as possible. The lowest acceptable level is 0.8. This is an important factor used to determine whether the capacitor should be switched on/off.

The secondary bus voltage deviation from the specified value must be maintained as small as possible and must be within  $\pm 5\%$  at any time.

The number of switching operations for LTC tap movements and capacitor circuit breaker in a day must not exceed 30 and 6, respectively. Furthermore, the total number of switching operations should be kept minimal.

Since these heuristic rules are usually expressed in imprecise linguistic expressions, for example, the terms "as high as possible", "as small as possible", and "kept minimal" are used in these rules. However, these linguistic expressions are rather imprecise. To be specific, how small is "as small as possible"? It is obvious that these rules with imprecise linguistic expressions can not be included in the dynamic programming approach in [20] which deals exclusively with mathematical expressions. To model these rules with imprecise linguistic expressions, fuzzy sets [5,7,23] can be used. In [7], fuzzy sets are used to model the uncertainly simple linear framework. Simple heuristics are modeled based on a linear voltage control model. Since the relationship between bus voltage and control variables (capacitors) is highly nonlinear, the linear model in [7] is replaced by a nonlinear model in the present work. To determine a proper dispatching strategy for the nonlinear reactive power/voltage control problem under uncertainty, fuzzy dynamic programming approach [23] is used. Since nonlinear voltage model and heuristic rules with imprecise linguistic terms are taken into account in the dynamic programming approach, it is expected that a proper dispatching strategy for the LTC and capacitor which are acceptable to the operators at the dispatching center can be reached by the proposed approach.

## 2. DESCRIPTION OF THE SYSTEM

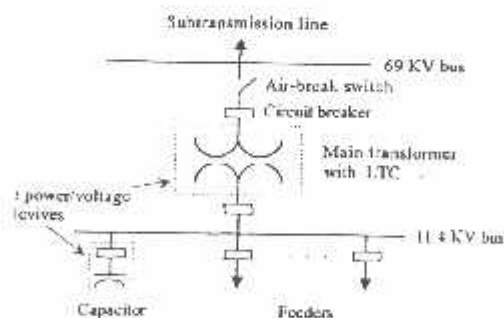


Fig. 1 Part of a 69/11.4 KV distribution substation at TPC

The system under study is part of a 69/11.4 KV distribution substation as shown in Fig. 1. The system comprises a 69 KV

primary bus, an 11.4 KV secondary bus and a main transformer and the associated protective devices in-between. The main transformer is equipped with load tap changer (LTC) to keep the secondary bus voltage nearly its specified value under changing load conditions. This is accomplished with eight taps on each side of nominal setting. In addition, a capacitor is installed at the 11.4 KV secondary bus which supplies power to the distribution feeders. Based on the operating policy of Taiwan Power Company (TPC), the capacitor must be switching on/off according to system reactive power demand such that the reactive power flow into the main transformer is minimized. The basic idea behind this operating policy is that it is not necessary for the distribution substation to take much reactive power from the subtransmission and transmission system if the reactive power flow into each transformer at the substation is kept minimal. The power factor of the substation can be improved and the reactive power flow and losses on the subtransmission and transmission lines can also be reduced.

At present, a software called RPDC (Reactive Power Device Control) is implemented on a CYBER 180 computer to control the LTCs and capacitors automatically in the SCADA system under normal situation at TPC.

Under current TPC operating policy, the capacitor is switching on/off when the lagging/leading reactive power flow into the main transformer exceeds 50% of the capacitor rated capacity. Before the capacitor circuit breaker is operated, the secondary bus voltage after the capacitor is switched is first estimated in order to ensure that the bus voltage will remain within the allowable limit ( $\pm 5\%$  of the specified value). The capacitor is switched only when capacitor switching will not cause voltage limit violations. The secondary bus voltage change due to capacitor switching is estimated by using the following equation

$$\Delta V \text{ (in KV)} = 0.23 \times (Q \text{ value of the capacitor (in MVAR)}) / 6.$$

This is a very rough formula. In fact, the voltage deviation resulting from capacitor switching will be a function of the real and reactive load demand. A nonlinear mathematical model will be given in the next section to estimate bus voltages in a more accurate manner.

## 3. MATHEMATICAL MODEL FOR REACTIVE POWER/VOLTAGE CONTROL PROBLEM

To estimate the voltage change when the capacitor is switched on/off and to find the transformer voltage ratio when the LTC tap movement is needed, the mathematical model for the distribution substation in Fig. 1 is depicted in Fig. 2.

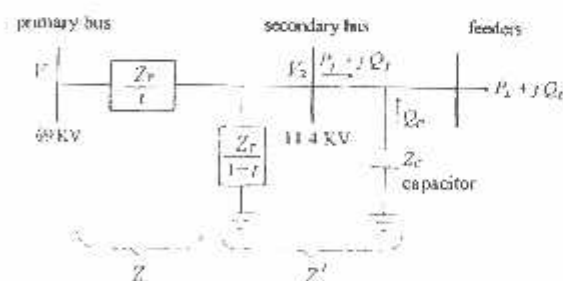


Fig. 2 Mathematical model of a main transformer with LTC and bus capacitor

Note that the following symbols are used in Fig. 2.



- = main transformer primary (69 K V) bus voltage
- = main transformer secondary (11.4 K V) bus voltage
- = main transformer impedance
- = transformer voltage ratio
- = load demand of real power
- = load demand of reactive power

tion, main transformer resistance and its magnetizing reactance are neglected in the present study.

Let the primary bus voltage  $|V_1|$  and the load demands be forecasted, the ideal transformer voltage ratio  $t_{ideal}$  is found in order to keep the secondary bus voltage  $|V_2|$  at a desired value.

In a practical distribution system, the real power and reactive power demands will change as the main transformer primary bus voltage is changed. Three kinds of load models, i.e. constant impedance model, the constant current model and the constant power model, have been proposed to describe the relationship between the load demand and bus voltage. In general, these load demands can be expressed as functions of bus voltage as follows.

$$P_D = a|V_2|^2 + b|V_2| + c \quad (1)$$

$$Q_D = (d|V_2|^2 + e|V_2| + f) \quad (2)$$

In (1) and (2), the real power and reactive power demands when the transformer secondary bus voltage is kept at 1.0 pu are denoted as  $P_D$  and  $Q_D$ . The proportional coefficients for these kinds of load models (constant impedance load, constant current load and constant power load) are expressed as  $(a, b, c)$  and  $(d, e, f)$  for real power demand and reactive power demand, respectively.

To control the tap position of the LTC, we want to find the ideal transformer voltage ratio ( $t$ ) through mathematical analysis. Let's first write down the real power demand and power demand equations from Fig. 2.

$$\frac{|V_1||V_2|}{|Z|} \sin(\angle V_1 - \angle V_2) = \frac{|V_2||I_2|}{|Z|} \sin \theta_{12} \quad (3)$$

$$\left( -\frac{|V_1|^2}{|Z|} + \frac{|V_2||V_2|}{|Z|} \cos \theta_{12} \right) = -\frac{|I_2|^2}{|Z|} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{t} &= \frac{|V_1|}{|Z_1|} - \frac{1}{|Z_2|} \\ &= \frac{|Z_2|}{|Z_1|} \end{aligned}$$

Using (3) and (4), we have

$$\frac{|V_2|^2}{|Z_2|^2} t^2 = \frac{|V_1|^2 |I_2|^2}{|Z_1|^2} - P_D^2 \quad (5)$$

$$= \left( \frac{1}{2t} + \frac{1}{|Z_1|} \right)^2 - K - |Z_T|^2$$

$$\frac{|Z_2|^2}{|Z_1|^2} t^2$$

Using (1) and (2) into (5), we have

$$t^4 + B|V_2|^3 + [C - (K - b)^2]V_2^2 + D|V_2| + E = 0 \quad (6)$$

$$+ 2d(K - |Z_T|)Q_D + a^2(K - |Z_T|)^2P_D^2 + d^2(K - |Z_T|)^2Q_D^2$$

$$B = 2a(K - |Z_T|)Q_D + 2ab(K - |Z_T|)^2P_D^2 + 2de(K - |Z_T|)^2Q_D^2$$

$$C = 2f(K - |Z_T|)Q_D + (2ac + b^2)(K - |Z_T|)^2P_D^2 + (2df + e^2)(K - |Z_T|)^2Q_D^2$$

$$D = 2bc(K - |Z_T|)^2P_D^2 + 2ef(K - |Z_T|)^2Q_D^2$$

$$E = c^2(K - |Z_T|)^2P_D^2 + f^2(K - |Z_T|)^2Q_D^2$$

The transformer voltage ratio  $t$  can be derived from (6)

$$t = \left( \frac{1}{K - |Z_T|} [A|V_2|^3 + B|V_2|^2 + C|V_2| + D] + E \right)^{1/2} \quad (7)$$

Note that the ideal transformer voltage ratio  $t_{ideal}$  computed when the specified  $|V_2|$  is substituted into (7) is not the actual transformer voltage ratio  $t_{actual}$  we want because  $t_{actual}$  is related to LTC tap position  $TAP$  as follows

$$t_{actual} = 1 + 0.0125 \times TAP \quad (8)$$

where  $TAP$  is an integer.

To reach the actual transformer voltage ratio  $t_{actual}$ , we first find an integer  $TAP$  such that  $1 + 0.0125 \times TAP$  is closest to  $t_{ideal}$ . Then  $t_{actual}$  is computed from (8). Finally, the actual  $|V_2|$  that is adjusted by moving LTC tap position can be found by substituting  $t_{actual}$  into (7).

#### 4. THE FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH

With the mathematical model for reactive power/voltage control in Section 3 at hand, we are able to estimate the change in secondary bus voltage due to capacitor switching. We are also able to estimate the desired tap position  $TAP$  using (8). If we use (7) and (8) to reach the desired tap position  $TAP_i$  ( $i = 1, \dots, 24$ ) hour by hour, we will face two major problems. First of all, we need to know in advance the on/off status of the capacitor at each hour. Of course, the capacitor can be dispatched using traditional approach as described in Section 2. However, coordination between capacitor switching and tap movements is impossible in this case. Secondary, it may turn out that the taps are moved too often based on (7) and (8). In fact, the current operating policy of TPC limits the number of tap movements in a day to be less than 30. It is possible that this limit is exceeded when we use (7) and (8) to determine the tap position at each hour. The same consideration may happen to the total switching number of capacitor in a day.

To resolve the difficulty, a fuzzy dynamic programming approach is proposed to find a proper dispatching strategy for capacitor switchings and tap movements such that satisfactory secondary bus voltage profile and main transformer power factor are reached. Hard limits on maximum allowable number of capacitor switchings and tap movements and bounds on secondary bus voltage and main transformer power factor are also imposed.

To formulate the above-mentioned reactive power/voltage control problem in mathematical expressions, let's define

$$X_i = 1, \text{ when capacitor is on at hour } i$$

$$X_i = 0, \text{ when capacitor is off at hour } i$$

In addition, let's define

$V_{2i}$  = secondary bus voltage deviation from the specified value at hour  $i$   
 $\tilde{\mu}_{|V_{2i}|}$  = membership function for  $|V_{2i}|$  at hour  $i$   
 $pf_i$  = main transformer power factor at hour  $i$   
 $\tilde{\mu}_{pf_i}$  = membership function for  $pf$  at hour  $i$   
 $N_{sup}$  = total switching number of LTC in a day  
 $\tilde{\mu}_{N_{sup}}$  = membership function for  $N_{sup}$   
 $N_C$  = total switching number of capacitor in a day  
 $\tilde{\mu}_{N_C}$  = membership function for  $N_C$   
 $TAP_i$  = LTC tap position at hour  $i$   
 $V_{2i}^{min}$  = secondary bus voltage lower limit (0.95 pu)  
 $V_{2i}^{max}$  = secondary bus voltage upper limit (1.05 pu)

where the reactive power/voltage control problem can be cast as an optimization problem over the study period (24

### The reactive power/voltage control problem

find a set of control variables  $X_i$  ( $i = 1, \dots, 24$ ) for the capacitor and  $TAP_i$  ( $i = 1, \dots, 24$ ) for the LTC such that the objective function

$$J = \sum_{i=1}^{24} \mu_{|V_{2i}|} + \sum_{i=1}^{24} \mu_{pf_i} + \mu_{N_{sup}} + \mu_{N_C} \quad (9)$$

$$J = J_1 + J_2 + \mu_{N_{sup}} + \mu_{N_C}$$

minimized subject to

$$|TAP_i - TAP_{i+1}| \leq 30 \quad (10)$$

$$|X_i - X_{i+1}| \leq 6 \quad (11)$$

$$V_{2i}^{min} \leq |V_{2i}| \leq V_{2i}^{max} \quad (12)$$

$$pf_i \geq 0.8 \quad (13)$$

where  $J_1$  is the first term in the objective function and  $J_2$  is the second term. In this work, we want to maintain the secondary bus voltage close to the specified value as possible at all hours in a day. Just as in [5] and [7], the degree of satisfaction with secondary bus voltage is described by a membership function  $\mu_{|V_{2i}|}$  for the fuzzy variable  $|V_{2i}|$ . Detailed discussions on the membership function will be given in section 4.1.

The secondary term  $J_2$  in the objective function reveals that we want to keep the power factor at the main transformer as close to 1 as possible. Again, the membership function  $\mu_{pf_i}$  gives the degree of satisfaction with the power factor. The main reason we put the third term  $\mu_{N_{sup}}$  and fourth term  $\mu_{N_C}$  in the objective function is that we want to have minimal number of transformer tap changes and capacitor switchings.

For the hard limits, we limit the number of tap changes in a day to be less than 30 in (10). We also limit the number of capacitor switchings in a day to be less than 6 in (11). The bounds on secondary bus voltage and main

transformer power factor are described in (12) and (13), respectively.

### 4.1 Membership Functions

#### 4.1.1 Membership function for the fuzzy variable $|V_{2i}|$

Since one of our goals is to keep the secondary bus voltage  $|V_{2i}|$  near specified value, a decreasing membership function  $\mu_{|V_{2i}|}$  as depicted in Fig. 3 is employed.

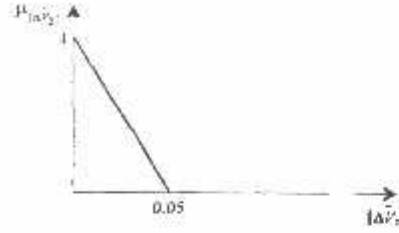


Fig. 3 Membership function for the fuzzy variable  $|V_{2i}|$

#### 4.1.2 Membership function for the fuzzy variable $pf$

The power factor for a main transformer is a good index to determine whether the capacitor should be switched or not. If the power factor will be improved after the capacitor is switched, then a higher membership value should be given. Based on the experience from the operators at TPC, the membership function for power factor is written as

$$\mu_{pf} = [1 + (\frac{pf-1}{0.05})^4]^{-1} \quad pf > 0 \quad (14)$$

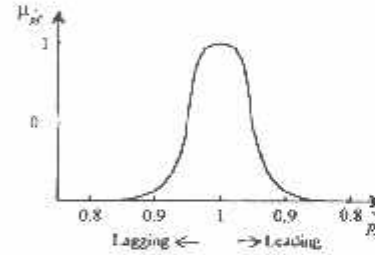


Fig. 4 Membership function for the fuzzy variable  $pf$

The membership function is depicted in Fig. 4. In the present work, the same membership function for lagging power factor and leading power factor is adopted.

#### 4.1.3 Membership function for the fuzzy variable $N_{sup}$

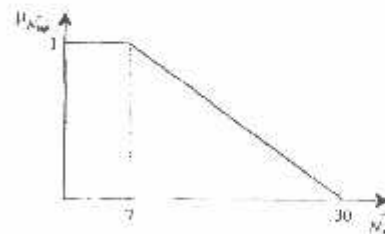


Fig. 5 Membership function for the fuzzy variable  $N_{sup}$

Decreasing membership function as shown in Fig. 5 is

ed for the total number of switching operations for the a day. It is noted that the average number of switching ons in a day for the LTC according to past experience is maximum number of switching operations that is at TPC is 30.

membership function for the fuzzy variable  $N_c$  : total number of switching operations for the capacitor, pared to that for the LTC, is relatively small. According practical requirement, the membership function as d in Fig. 6 is employed.

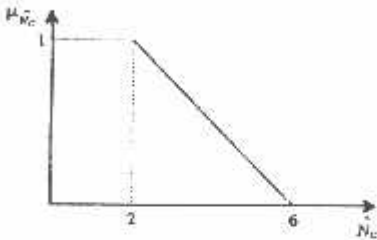


Fig. 6 Membership function for the fuzzy variable  $N_c$ .

Fuzzy Dynamic Programming (FDP) Approach

the mathematical expressions in (9)-(13) and ship functions in Figs. 3-6, we can proceed to ne the desired control variables  $X_i$  ( $i = 1, \dots, 24$ ) for ator and  $TAP_i$  ( $i = 1, \dots, 24$ ) for the LTC. First, the riod is divided into  $N$  stages ( $N=24$  for the present ince there are two possible values for  $X_i$  ( $X_i = 1$  or  $0$ ) re are 17 possible values for  $TAP_i$  ( $TAP_i = -8, -7, \dots, 8$ ) there will be  $(2 \times 17)^{24}$  states in the solution space To reduce the computational burden, we first the optimal tap position  $TAP_{i, optimal}$  at each stage, be done by using the technique mentioned in Section the three tap positions which are closest to  $TAP_{i, optimal}$  d at each stage. In this way, there are two possible  $X_i$  and only three possible values for  $TAP_i$  and each e at a given stage will create only six state nodes at stage. To further improve the efficiency of the FDP i, the maximum size of the state space will be strictly To do this, we restrict the number of states from stage e 24 to 36 states. In other words, only those 36 states highest objective values among the  $216 (= 36 \cdot 6)$  : stored. Since there are six states at the first stage, be  $6 + 36 \cdot 23 = 834$  states in all. ain a reactive power/voltage dispatching schedule imum objective function  $J$ , a recursive algorithm has ved to compute the maximum objective function for stage  $H$  (hour  $H$ ) [11]

$$= \max_{(K)} [J(H-1, K) + J_H(H, L)] \tag{15}$$

$J_H$  = maximum total objective function to arrive at state  $(H, L)$

$J$  = objective function for state  $(H, L)$

$$= \mu_{N_{TC}} + \mu_{N_c} \text{ for } H = 1-23$$

$$= \mu_{N_{TC}} + \mu_{N_c} + \mu_{N_{up}} + \mu_{N_r} \text{ for } H = 24$$

$\{K\}$  = set of feasible states at stage  $H-1$

The overall computational algorithm for the FDP approach is shown by the flow chart in Fig. 7

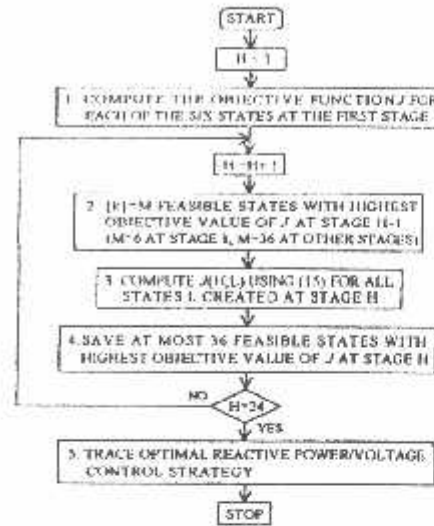


Fig. 7 Flow chart of the fuzzy dynamic programming approach

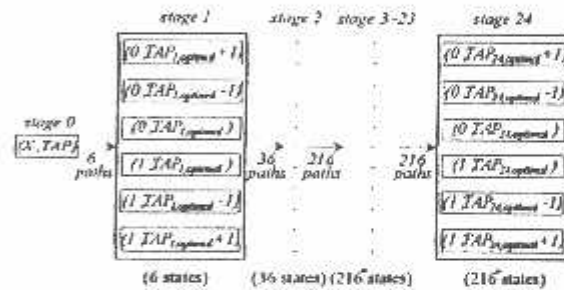


Fig. 8 Search paths for the fuzzy dynamic programming

Note that the solution algorithm for fuzzy dynamic programming approach is basically similar to that of crisp dynamic programming except that the crisp objective function in crisp dynamic programming is replaced by the membership value of reactive power/voltage control decision. A few comments on the flow chart in Fig. 7 are in order. First of all, we compute the objective function for the six states at the first stage in block 1. It was mentioned earlier that we save 6 states at stage 1 while we store 36 states at other stages. In block 2, we define the set of  $M$  states ( $M=6$  for stage 1,  $M=36$  for other stages) stored at the preceding stage (stage  $H-1$ ). Note that each state stored at any stage must be feasible. In other words, only those states which satisfy the constraints in (10)-(13) can be stored. Of course, there may be more than 36 states which are feasible except at stage 1 and stage 2. In block 3, we compute the objective function for all states created at the current stage. Then, in block 4, only those 36 feasible states with highest objective values  $J$  at this stage are stored. The process is repeated until we reach the final stage ( $H=24$ ). It is worth noting that all of the objective values are computed as  $J = J_1 + J_2$  from stage 1 to stage 23 but the final stage

$f_1 + J_2 + \mu_{N_{opt}} + \mu_{N_C}$ . Finally, in block 5, we perform optimization to get the optimal reactive power/voltage dispatching strategy in a day.

Search paths in the FDP approach are depicted in Fig. 2, that only limited states are searched at each stage in order to reduce the computational effort.

### 5. EXAMPLE

The fuzzy dynamic programming (FDP) approach is applied to improve the power factor of one main transformer and the voltage profile at its secondary bus. To demonstrate the efficiency of the proposed method, reactive power/voltage dispatching is performed on NO.1 main transformer at CHENG-CHUNG distribution substation in Taipei, Taiwan. Moreover, the rated capacity and nominal voltage values of the main transformer and capacitor are shown in Table 1. The transformer impedance ( $Z_T$ ) is 0.1223 pu.

Table 1 Main transformer and capacitor ratings

NO.1 main transformer	rated capacity 33.33 MVA	nominal voltage	
		primary 69 KV	secondary 11.95 KV
capacitor	8.4 MVA	11.95 KV	

note: The main transformer is three-phase A-Y connection.  
\*line-line voltage

Due to limited space in this paper, only one example will be used to demonstrate the results for the case of weekdays.

Reactive power/voltage control for Oct. 7, 1994. In the present study, the method in [21,22] is adopted to estimate the hourly loads of a main transformer in a day. Table 2 shows the results from hourly load forecasting. On the other hand, the estimation error of the primary bus voltage ( $V_1$ ) will be reduced slightly for our problem since it is about ten times the secondary bus voltage ( $V_2$ ) (nominal phase voltage). The primary bus voltage is forecasted as the average value of the actual primary voltage in the past month. In fact, it is also found from the results that the primary bus voltages estimated in this manner are very close to actual primary bus voltages.

#### 2. Comparison of Actual data and Forecasted results for study case

hour	$P_{act}$	$P_{pre}$	$Q_{act}$	$Q_{pre}$	$V_{1,act}$	$V_{1,pre}$
1	4.078	4.273	-1.114	-0.894	67.900	66.013
2	3.785	3.975	-1.280	-1.040	68.400	68.163
3	3.632	3.800	-1.287	-1.124	68.600	68.372
4	3.572	3.697	-1.290	-1.164	68.600	68.517
5	3.546	3.628	-1.296	-1.190	68.700	68.419
6	3.581	3.752	-1.345	-1.182	68.700	68.434
7	4.497	4.795	-0.742	-0.529	68.100	67.917
8	6.719	7.068	0.530	0.753	68.600	68.345
9	11.367	11.794	3.244	3.437	69.500	69.442
10	14.479	14.668	5.064	5.073	69.500	69.497
11	15.993	16.381	5.890	6.000	69.500	69.573
12	17.639	17.103	6.592	6.367	70.300	69.902
13	16.499	16.646	6.234	6.052	70.200	69.842
14	15.930	15.903	5.838	5.690	70.000	69.531
15	16.347	16.277	6.857	5.924	70.200	69.708
16	16.476	16.232	6.168	5.375	70.200	69.707
17	16.235	15.786	6.135	5.828	70.700	70.097
18	14.337	13.683	1.993	1.823	69.500	69.373
19	12.322	11.930	4.230	4.136	69.500	69.497
20	10.337	10.660	3.104	3.306	69.500	69.545
21	9.341	9.619	2.603	2.713	70.300	70.056
22	7.695	7.634	1.534	1.457	68.100	68.455
23	5.731	5.724	0.140	0.099	67.900	68.144
24	4.861	4.936	0.653	0.603	67.700	67.300

the satisfactory forecasted data (Table 2) at hand, we

can employ the FDP approach in Section 4 to determine the optimal dispatching schedule for the LTC and capacitor. As we mentioned earlier, three kinds of load models are taken into account in this paper. According to the annual report of TPC, the percentage of three different load models for NO.1 main transformer at CHENG-CHUNG distribution substation under study are summarized in Table 3.

Table 3 The percentage of three different load models for study case

	constant impedance	constant current	constant power
P	0.25	0.61	0.14
Q	2.27	-1.72	0.43

For the purpose of comparison, the resulting reactive power/voltage dispatching schedules from the distribution dispatch and control center (DDCC) of TPC and the proposed FDP approach are summarized in Table 4. It is observed from Table 4 that the secondary bus voltage ( $V_2$ ) controlled by DDCC at many hours are somewhat different from the specified value (6.73 KV per phase) because of improper tap position. It is also observed from Table 4 that the FDP approach really improves the power factor at the main transformer and the secondary bus voltage ( $V_2$ ) at each hour.

Table 4 Reactive power/voltage dispatching schedules from the current method at DDCC of TPC and the proposed FDP approach

hour	$\gamma_{AP}$				$X_i$		$V_i$		power factor		$J_1$		$J_2$	
	C		P		C	P	C	P	C	P	C	P	C	P
	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P
1	-2	-1	0	0	0.9614	1.0010	0.9647	0.9787	0.2273	0.9800	0.8001	0.9083		
2	-2	-1	0	0	0.9600	1.0010	0.9529	0.9671	0.4011	1.9200	1.3594	1.8187		
3	-2	-2	0	0	0.9718	0.9950	0.9425	0.9596	1.8386	2.8200	1.7243	2.5116		
4	-2	-2	0	0	0.9733	0.9970	0.9399	0.9541	1.2037	3.7600	2.0470	2.0968		
5	-2	-1	0	0	0.9747	0.9960	0.9391	0.9508	1.9985	4.6800	2.1597	2.6124		
6	-2	-1	0	0	0.9747	0.9960	0.9446	0.9600	1.4933	5.6000	2.7381	4.3126		
7	-2	-1	0	0	0.9629	0.9980	0.9657	0.9940	2.7594	6.5600	3.7531	5.3224		
8	-2	-1	0	0	0.9629	1.0000	0.9669	0.9944	3.0875	7.5600	4.7531	6.3222		
9	-2	-1	1	0	0.9926	1.0050	0.9261	0.9584	3.8289	8.4600	4.9264	7.0196		
10	-2	-1	1	0	0.9821	0.9990	0.9624	0.9807	4.6212	9.4600	5.9114	7.9891		
11	-2	-1	1	0	0.9866	0.9960	0.9925	0.9916	5.1517	10.3600	6.9109	8.9979		
12	-2	-1	1	0	0.9955	0.9980	0.9951	0.9925	6.1645	11.3200	7.9108	9.9975		
13	-2	-1	1	0	0.9911	0.9990	0.9952	0.9931	7.0862	12.3600	8.9107	10.9971		
14	-2	-1	1	0	0.9881	1.0020	0.9925	0.9897	7.8485	13.2600	9.9107	11.9963		
15	-2	-1	1	0	0.9911	0.9980	0.9940	0.9920	8.6782	14.2200	10.9100	12.9946		
16	-2	-1	1	0	0.9896	0.9980	0.9950	0.9923	9.4677	15.2000	11.9099	13.9940		
17	-2	-1	1	0	0.9926	1.0040	0.9943	0.9940	10.3136	16.1200	12.9097	14.9928		
18	-2	-1	1	0	0.9777	0.9980	0.9830	0.9734	10.8678	17.0800	13.8966	15.9189		
19	-2	-1	1	0	0.9801	1.0020	0.9606	0.9516	11.6301	18.0400	14.8100	16.8508		
20	-2	-2	0	0	0.9629	1.0000	0.9576	0.9535	11.8872	19.0400	15.7771	17.0210		
21	-2	-2	0	0	0.9609	1.0040	0.9620	0.9601	12.2638	19.9600	16.0260	17.7396		
22	-2	-1	0	0	0.9658	0.9990	0.9507	0.9624	12.5796	20.9400	17.0043	18.7246		
23	-2	-1	0	0	0.9658	0.9990	0.9597	0.9599	12.8961	21.9200	18.0043	19.7246		
24	-2	-1	0	0	0.9643	0.9980	0.9809	0.9917	13.1825	22.8900	19.0032	20.7241		

\*current method at DDCC of TPC

†proposed FDP approach

The objective function (9) and the four terms in the objective function from the final results of the current method at DDCC of TPC and the proposed FDP approach are compared in Table 5.

Table 5 Summary of objective functions

	$J_1$	$J_2$	$\mu_{N_{opt}}$	$\mu_{N_C}$	$J$
TPC	13.1829	19.0032	1.0000	1.0000	34.1861
FDP	22.8800	20.7241	0.7832	1.0000	45.3871

Since the membership functions  $\mu_{(V_2)}$ ,  $\mu_{PF}$ ,  $\mu_{N_{opt}}$  and  $\mu_{N_C}$  described in Section 4.1 have been chosen based on operators' recommendations, it is desirable to see how different forms of



ership functions will affect the final results. It is also interesting to know how different weights put on the objective functions will affect the final results. Due to the limited space, detailed analyses are not presented. But it can be concluded from the results of our study that the dispatching schedule is highly changed from that presented in Table 4 when the different membership functions and weights are used.

## 6 DISCUSSIONS

Through the use of fuzzy objective function, the operators' heuristic rules can be incorporated in the proposed fuzzy dynamic programming approach.

The specified voltage on the secondary bus is set to be 6.73 KV per phase at all 24 hours while the feeder nominal phase voltage is 6.58 KV ( $11.4 \text{ KV}/\sqrt{3}$ ). In fact, this is the current practice at TPC because the substation under study supplies power to an urban area with relatively short underground feeders. No significant voltage drop is observed on these underground feeders. However, a higher specified voltage value must be chosen on the secondary bus if the main transformer supplies power to distribution feeders with significant voltage drops such as the overhead lines in rural areas.

The LTC tap position and on/off status of the capacitor at each hour in the next day can be reached by the proposed approach. These reactive power/voltage control strategy can be regarded as a base dispatching strategy determined in advance in operational planning. In real system operation, it may happen that system load varies to a great extent within one hour. In addition, certain emergency conditions may cause load shedding or load transfer. In these cases, the preset tap position may be adjusted using the monitored voltage and load data and (7) and (8).

An observation of Table 2 reveals that the reactive power demand at the main transformer is negative at night (from midnight to 7 a.m.) due to oversized capacitor. To coordinate the reactive power flow between the subtransmission system and main transformer, it may be helpful to employ different membership function for the case with leading power factor from that with lagging power factor.

In the present work, reactive power/voltage control problem is treated only for the LTC and capacitor in a substation. Since feeder automation project is being carried out at certain feeders of TPC, feeder section load data such as real powers, reactive powers, and voltages will be compiled and stored for the automated feeders. With these feeder data at hand, it is straightforward to extend the FDP approach in the present work to cover the dispatch of feeder capacitors. To be specific, two additional terms signifying the degree of satisfaction with feeder voltages and the number of switching operations for feeder capacitors should be included in the objective function of (9).

Two separate terms,  $J_3 = \sum \mu_{|V_{2i}|}$  and  $J_4 = \sum \mu_{p_i}$  are defined in the objective function  $J$  in (9). As shown by the results in Tables 4 and 5, we used  $J_3 + J_4 = \sum \mu_{|V_{2i}|} + \sum \mu_{p_i}$  in  $J$  because we want to keep track

of the accumulated degree of satisfaction for bus voltage and power factor, respectively. An observation of the states stored at every stage of the fuzzy dynamic

programming solution procedure indicates that solution with unacceptable  $\mu_{|V_{2i}|}$  are never stored while some solutions with unacceptable  $\mu_{p_i}$  are stored at early stages. As the solution process goes on, these states with unacceptable  $\mu_{p_i}$  are eventually discarded since only those states with the highest accumulated membership values  $J_3 + J_4$  will be stored. In other words, only those dispatching schedules that have acceptable  $\mu_{|V_{2i}|}$  and  $\mu_{p_i}$  at every stage have a chance to be kept at the last stage of the FDP approach. Of course, the objective function adopted in this work is by no means unique. Other types of objective functions such as the maximum-minimum operator can also be employed.

## 7. CONCLUSIONS

To find a proper dispatching schedule for the on-load tap changer and capacitor such that main transformer secondary bus voltage can be maintained close to the specified value and the power factor for the main transformer can be kept close to unity, a fuzzy dynamic programming approach is presented in this paper. The real and reactive power demands of a main transformer and its primary bus voltage for the next 24 hours are forecasted first. With these forecasted data at hand, a formula that takes the load models into account is derived to estimate optimal LTC tap position based on the on/off status of the capacitor and the specified secondary bus voltage. In the present work, the proportional coefficients for the three kinds of load models are assumed to remain unchanged in a day. To reach the goal of maximizing the fuzzy objective function subject to system constraints, all the control variables including secondary bus voltage deviations, power factor at the main transformer and the total number of switching operations for the LTC and capacitor are normalized to the range from 0 to 1 by using their own membership function. It is concluded from the results that, regardless of the load variations, the secondary bus voltage can be controlled very close to the specified value via the action of LTC while the power factor on the main transformer can be kept close to unity through the switching operations of the capacitor.

## 8. ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their sincere gratitude to Messrs. C.F. Song, T.M. Cheng, Y.T. Wang, L.C. Lin, N.C. Yen, K.H. Chang, C.Y. Wang, H.L. Chang of TPC for providing the valuable system data and dispatch experience. Financial support given to this work by the National Science Council of ROC under contract number NSC83-0404-E002-067 is appreciated. Reviewers' comments are very helpful in revising the manuscript.

## 9 REFERENCES

- [1] C.J. Bridenbaugh, D.A. DiMascio, and R.D'Aquila, "Voltage control improvement through capacitor and transformer tap optimization," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 1, February 1992, pp. 222-227.
- [2] Y.Y. Hsu, K.L. Ho, C.C. Liang, T.S. Lai, K.K. Chen, and B.S. Chang, "Voltage control using a combined integer linear programming and rule-based approach," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 2, May 1992, pp. 744-752.

- [1] J. Hobson, "Network constrained reactive power control using linear programming," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. 99, No. 3, May 1980, pp. 868-877.
- [2] N.K. Tripathi, C.A. Martinez, and S.A. Nirenberg, "Reactive switching simulation in security analysis at Florida Power and Light System control center," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. 104, No. 12, December 1985, pp. 3482-3485.
- [3] R. Yokoyama, T. Nijmura, and Y. Nakanishi, "A coordinated control of voltage and reactive power by heuristic modeling and approximate reasoning," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 8, No. 2, May 1993, pp. 636-645.
- [4] C.C. Liu and K. Tomsovic, "An expert system assisting decision-making of reactive power/voltage control," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 1, No. 3, August 1986, pp. 195-201.
- [5] K. Tomsovic, "A fuzzy linear programming approach to the reactive power/voltage control problem," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 7, No. 1, February 1992, pp. 287-293.
- [6] M.M.A. Salama and A.Y. Chikhani, "A simplified network approach to the VAR control problem for radial distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 8, No. 3, July 1993, pp. 1529-1535.
- [7] M. Kaplan, "Optimization of number, location, size, control type, and control setting of shunt capacitors on radial distribution feeders," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. 103, No. 9, September 1984, pp. 2659-2663.
- [8] J. Duran, "Optimum number, location, and size of shunt capacitors in radial distribution feeders: a dynamic programming approach," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. 87, No. 9, September 1968, pp. 1769-1774.
- [9] Y.Y. Hsu and H.C. Kuo, "Dispatch of capacitors on distribution system using dynamic programming," *IEEE Proceedings, Part C*, Vol. 140, No. 6, November 1993, pp. 433-438.
- [10] J.H. Lee, and J.J. Grainger, "Optimal placement of fixed and switched capacitors on primary distribution feeders," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. 100, No. 1, January 1981, pp. 345-352.
- [11] S. Civanlar, and J.J. Grainger, "Volt/Var control on distribution systems with lateral branches using shunt capacitors and voltage regulators, part 3: The simulation results," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. 104, No. 11, November 1985, pp. 291-3297.
- [12] E. Baran and F.F. Wu, "Optimal capacitor placement on radial distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 4, No. 1, January 1989, pp. 725-734.
- [13] Y.Y. Hsu and C.C. Yang, "A hybrid artificial neural network-dynamic programming approach for feeder capacitor scheduling," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 9, No. 2, May 1994, pp. 1069-1075.
- [14] M.M.A. Salama and A.Y. Chikhani, "An expert system for reactive power control of a distribution system," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 7, No. 2, April 1992, pp. 940-945.
- [15] S. Sundhararajan and A. Pahwa, "Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using a genetic algorithm," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 9, No. 3, August 1994, pp. 1499-1507.
- [16] T. Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1986.
- [17] J.J. Paserba, D.J. Leonard, N.W. Miller, S.T. Naumann, M.G. Lauby, and F.P. Sencer, "Coordination of a distribution level continuously controlled compensation device with existing substation equipment for long term VAR management," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 9, No. 2, April 1994, pp. 1034-1040.
- [18] F.C. Lu and Y.Y. Hsu, "Reactive power/voltage control in a distribution substation using dynamic programming," *IEEE Proceedings, Part C*, Vol. 142, No. 6, November 1995.
- [19] G. Gross and F.D. Galiana, "Short term load forecasting," *Proc. IEEE*, Vol. 75, No. 12, December 1987, pp. 1558-1573.
- [20] K.L. Ho, Y.Y. Hsu, C.C. Liang, T.S. Lai, and K.K. Chen, "Short term load forecasting of Taiwan power system using a knowledge-based expert system," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 5, No. 4, November 1990, pp. 1214-1221.
- [21] C.C. Su, Y.Y. Hsu, "Fuzzy dynamic programming: an application to unit commitment," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 6, No. 3, August 1991, pp. 1231-1237.

**Yuan-Yih Hsu** was born in Taiwan on June 19, 1955. Since 1977, he has been with National Taiwan University, where he is now a professor. He worked at the University of Calgary, Canada, as a postdoctoral fellow and instructor from 1982 to 1983. From 1988 to 1989, he was a visiting scholar at the University of California, Berkeley.

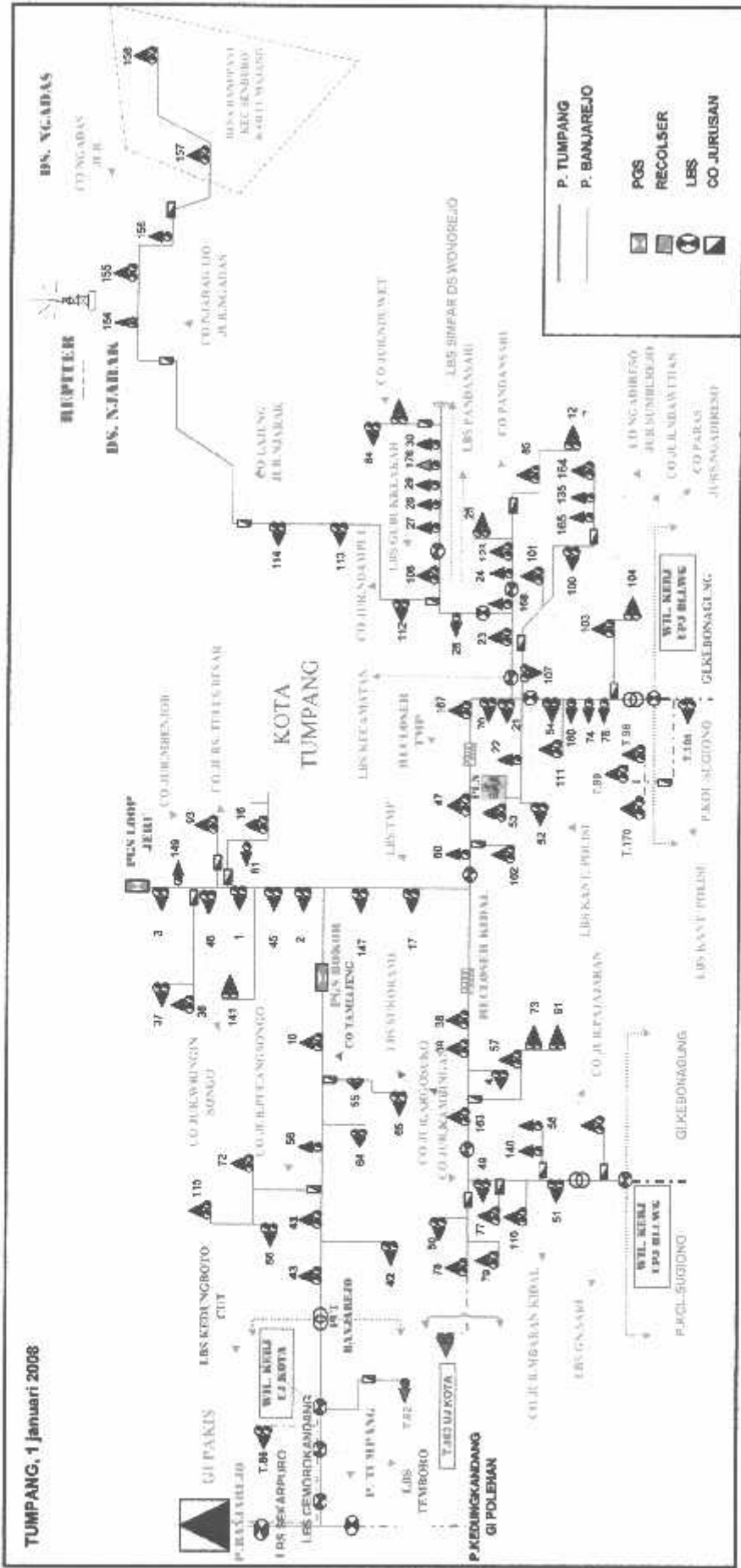
At present, his research interests include power system dynamics and stability analysis, distribution automation, and the application of artificial intelligence to power systems.

He was elected as one of the Ten Outstanding Young Men by the Junior Chamber of Republic of China in 1995.

**Feng-Chang Lu** was born in Tainan, Taiwan on Dec. 1, 1961. He worked for two years as a design and planning engineer in Taiwan Power Company from 1984 to 1986.

He is currently working toward his Ph.D. degree at National Taiwan University, Taipei, under the supervision of Dr. Yuan-Yih Hsu. At present, his research interests include distribution automation, load forecasting, distribution system planning and the application of artificial intelligence to power system.

TUMPANG, 1 Januari 2008



P. TUMPANG  
P. BANJAREJO

PGS  
RECOLISER  
LBS  
CO JURISAN

ED NG ADRESO  
JURUMBLERJO  
CO JURUMANTIAN  
CO PAKS  
JURUSAN ADRESO

WTL KEBU  
EPO BELWU

WTL KEBU  
EPO BELWU

WTL KEBU  
EPO BELWU

WTL KEBU  
EPO BELWU

WTL KEBU  
EPO BELWU

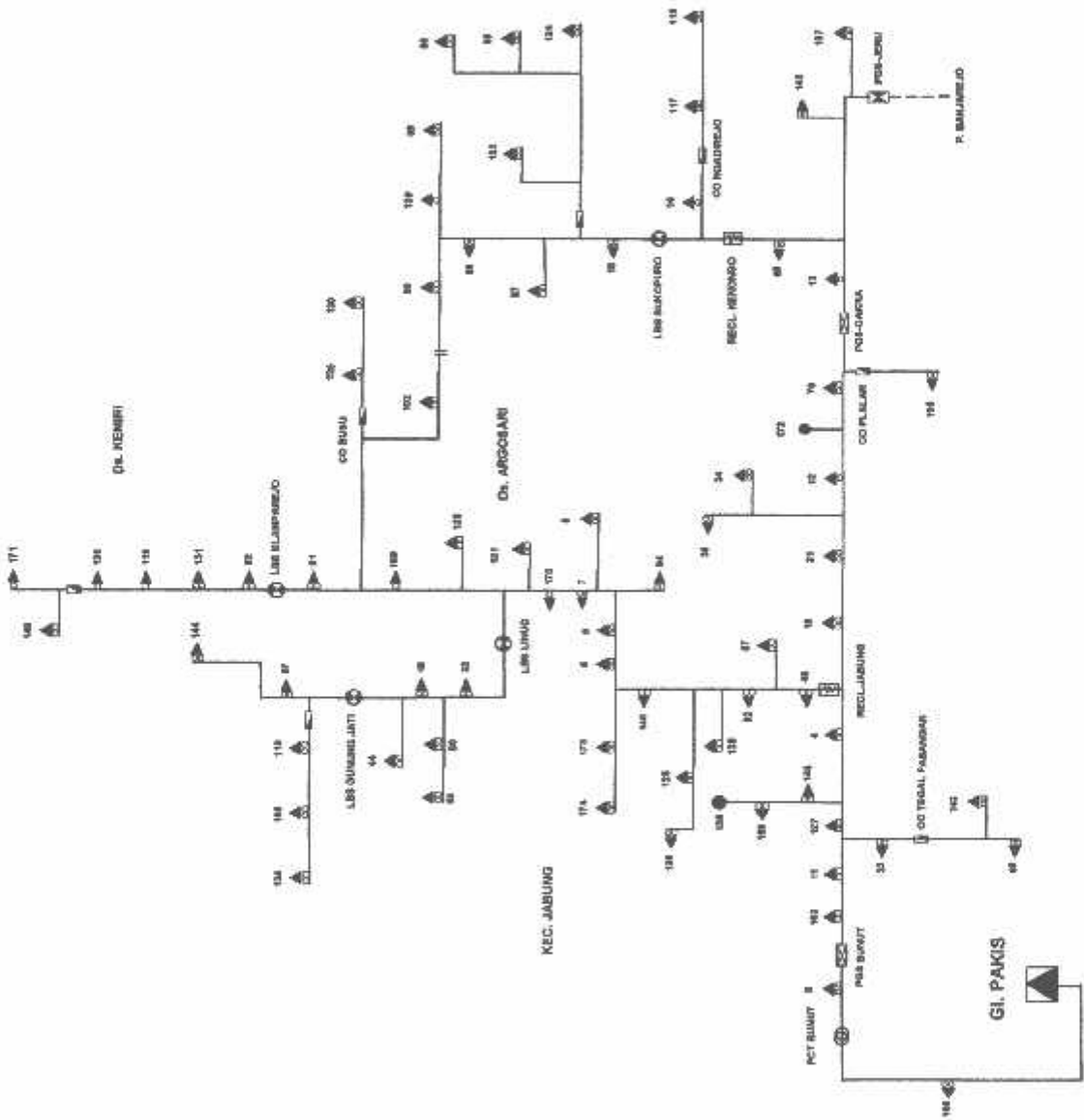
WTL KEBU  
EPO BELWU

WTL KEBU  
EPO BELWU

WTL KEBU  
EPO BELWU





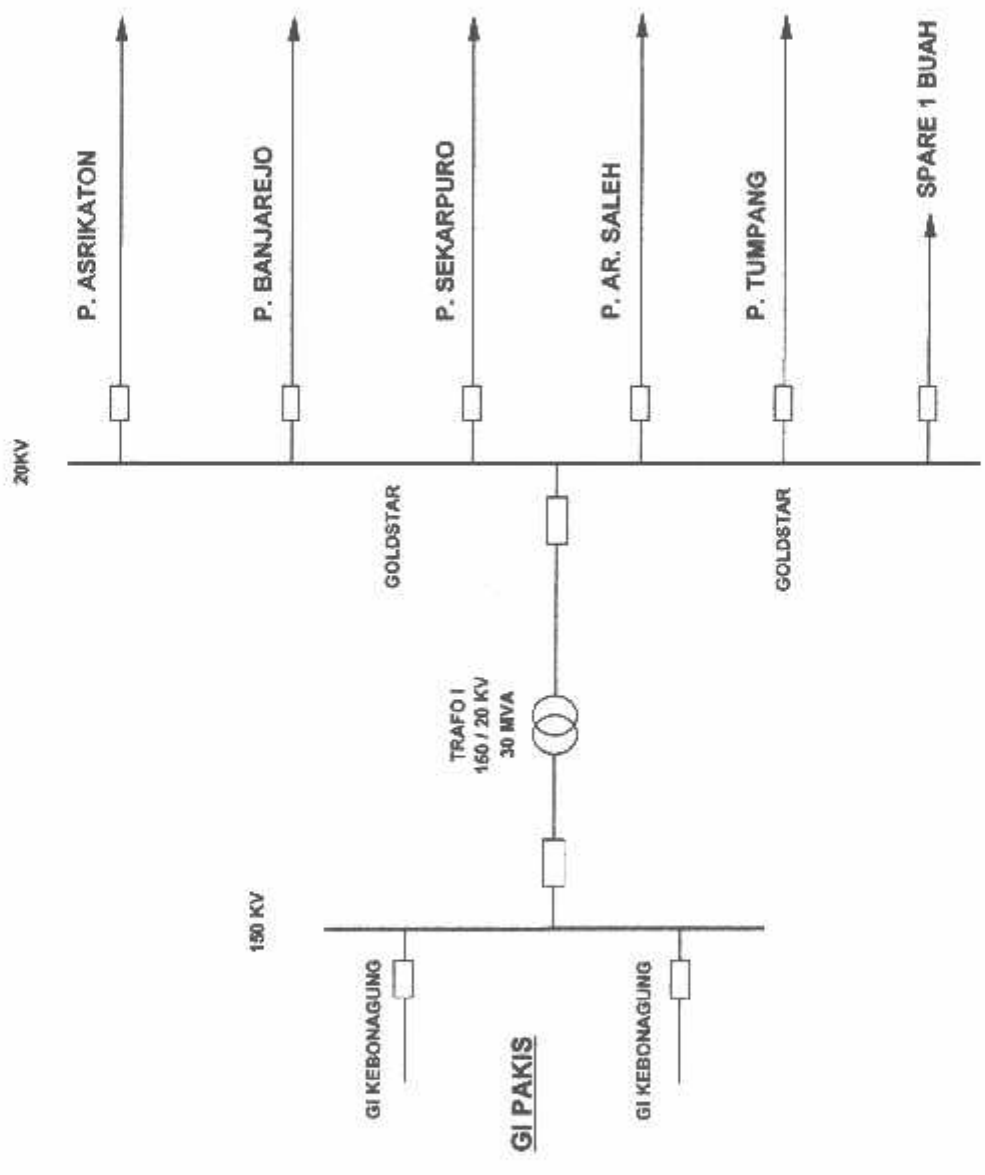


- GI
- PGS
- AVS
- CO
- LBS
- RECL
- SUTM 30 KV
- PCT

		<b>P. ASRIKATON</b> <b>GI. PAKIS</b>	
DRAFTER ...	DESAINER ...	ANUNTO MA ...	DIREKTUR ...







- ⊗ : TRANSFORMATOR
- : PEMUTUS
- : PENYULANG



PT. PLN (PERSERO)  
DISTRIBUSI JATIM  
AP&J MALANG

**SINGLE LINE DIAGRAM  
GARDU INDUK PAKIS**

DISAMBAH	DIPERIKSA	DIBETULKAN
OPERET	ARJANTO, IM	I. SUHARDONO



LOG SHEET PENGOPERASIAN GARDU INDUK PAKIS

Tanggal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Bulan	Jan	Peb	Mart	April	Mei	Juni	Juli	Agt	Sept	Okt	Nov
Bulan / Tahun	Des	Tahun : - 1 NOV 2007									

Jam	TRAFO 1			Tegangan		Daya 30 MVA			Merk TELK			
	Ampere			MW	MWAR	Tegangan KV		Suhu			Pos Tap OLTC	Suhu Ruang
	R	S	T			Prim	Sek	Wind(HV)	Wind(LV)	Oil		
00.00	420	420	420	13.6	4.2	147	21	53	53	48	13	27
01.00	400	400	400	13	4	147	21	52	52	48	13	27
02.00	390	390	390	12.8	4	147	21	51	52	47	13	27
03.00	390	390	390	12.8	4	148	21	51	52	47	13	27
04.00	420	420	420	13.6	4.6	147	21	51	52	47	13	27
05.00	480	480	480	15.4	4.6	147	20.9	51	52	47	13	26
06.00	440	440	440	14	3.6	148	21	52	52	47	13	26
07.00	360	360	360	12.2	3.2	148	21	52	52	47	12	25
08.00	380	360	360	12	3.6	148	20.8	52	52	48	12	26
09.00	380	380	380	12.5	3.6	148	20.8	54	54	48	12	26
10.00	380	380	380	12.5	3.6	148	20.8	56	56	50	12	26
11.00	380	380	380	12.5	3.6	148	20.8	56	56	52	12	27
12.00	360	360	360	12	3.2	150	21	56	56	52	12	27
13.00	350	350	350	11.8	3.2	150	21	56	56	52	12	27
14.00	360	360	360	12.4	3.4	148	20.8	56	56	52	12	27
15.00	390	390	390	12.6	3.6	148	20.8	56	56	50	12	26
16.00	390	390	390	12.6	3.6	148	20.8	54	54	50	12	26
17.00	510	510	510	16.2	4.6	148	20.8	52	53	47	12	28
18.00	660	660	660	21.6	7	145	20.8	58	59	48	14	28
19.00	610	610	610	20	7	145	20.8	59	60	49	14	28
20.00	650	650	650	21.4	7.4	145	20.8	54	54	45	14	27
21.00	360	360	360	12.4	3.2	147	21	54	54	45	13	27
22.00	400	400	400	13.2	4	147	21	52	52	48	13	27
23.00	390	390	390	13	3.8	148	21	52	52	48	13	27

PETUGAS OPERATOR

SHIFT 1

SHIFT 2

1. ....  
 2. ....

1. ....  
 2. ....

Stand Akhir OLTC Tgl. 02 NOV 2007	15191
Stand Awal OLTC Tgl. 01 NOV 2007	15187
Jumlah perubahan OLTC	4

**DATA PEMBEBANAN PENYULANG TUMPANG**

No. Bus	Beban (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Type Bus
1	0,0000	0,00000	0,00000	Slack
2	0,00000	0,00000	0,00000	Load
3	45,68000	30,14803	24,08343	Load
4	97,90000	64,61235	51,57203	Load
5	0,00000	0,00000	0,00000	Load
6	93,53000	61,72822	49,28998	Load
7	56,50000	37,29905	29,79322	Load
8	0,00000	0,00000	0,00000	Load
9	0,00000	0,00000	0,00000	Load
10	47,74000	31,50790	25,14661	Load
11	0,00000	0,00000	0,00000	Load
12	85,89000	58,68895	45,24537	Load
13	22,46000	14,82322	11,83154	Load
14	89,15000	58,83750	46,98268	Load
15	0,00000	0,00000	0,00000	Load
16	64,02000	42,25212	33,72463	Load
17	0,00000	0,00000	0,00000	Load
18	71,28000	47,04360	37,54907	Load
19	103,25000	68,14326	54,39031	Load
20	108,86000	71,84577	57,34556	Load
21	85,54000	56,45496	45,06099	Load
22	0,00000	0,00000	0,00000	Load
23	99,90000	65,93232	52,62559	Load
24	120,51000	79,63457	63,48258	Load
25	0,00000	0,00000	0,00000	Load
26	48,40000	31,94318	25,49628	Load
27	62,64000	41,34134	32,99767	Load
28	0,00000	0,00000	0,00000	Load
29	118,92000	78,46520	62,64500	Load
30	103,92000	68,68545	54,74325	Load
31	0,00000	0,00000	0,00000	Load
32	64,56000	42,60851	34,00909	Load
33	147,49000	97,34091	77,69518	Load
34	0,00000	0,00000	0,00000	Load
35	0,00000	0,00000	0,00000	Load
36	47,95000	31,64619	25,25923	Load
37	62,87000	41,49314	33,11883	Load
38	107,88000	71,19898	56,82932	Load
39	150,90000	99,59146	79,49151	Load
40	95,68000	63,14719	50,40257	Load
41	102,13000	67,40406	53,60032	Load
42	0,00000	0,00000	0,00000	Load
43	87,82000	57,95672	46,26206	Load
44	133,15000	87,87676	70,14111	Load
45	0,00000	0,00000	0,00000	Load
46	73,04000	48,20517	38,47621	Load
47	36,80000	24,26736	19,36560	Load
48	0,00000	0,00000	0,00000	Load
49	91,15000	60,16746	48,01624	Load
50	56,94000	37,57944	29,99501	Load
51	146,20000	96,48954	77,01563	Load

52	0,00000	0,00000	0,00000	Load
53	0,00000	0,00000	0,00000	Load
54	101,01000	86,86480	53,21032	Load
55	0,00000	0,00000	0,00000	Load
56	60,48000	39,91576	31,85962	Load
57	61,11000	40,33157	32,19169	Load
58	89,60000	59,13449	47,19973	Load
59	89,45000	59,03649	47,12071	Load
60	0,00000	0,00000	0,00000	Load
61	30,74000	20,28788	16,19330	Load
62	0,00000	0,00000	0,00000	Load
63	20,83000	13,74745	10,97288	Load
64	0,00000	0,00000	0,00000	Load
65	58,12000	38,42422	30,88929	Load
66	86,32000	56,96975	45,47188	Load
67	137,70000	90,67968	72,53798	Load
68	38,18000	25,19816	20,11256	Load
69	0,00000	0,00000	0,00000	Load
70	33,87000	22,35363	17,84213	Load
71	37,28000	24,80417	19,63846	Load
72	67,80000	44,74886	35,71567	Load
73	80,01000	52,80525	42,14768	Load
74	80,09000	52,80905	42,19003	Load
75	105,12000	69,37743	55,37540	Load
76	0,00000	0,00000	0,00000	Load
77	0,00000	0,00000	0,00000	Load
78	100,33000	66,21611	52,85211	Load
79	0,00000	0,00000	0,00000	Load
80	38,85000	25,64035	20,46551	Load
81	44,90000	29,63324	23,65254	Load
82	112,44000	74,20650	59,23146	Load
83	106,59000	70,34760	56,14977	Load
84	0,00000	0,00000	0,00000	Load

85	30,60000	20,19548	18,11955	Load
86	94,89000	62,62580	48,98841	Load
87	106,34000	71,50257	57,07184	Load
88	51,05000	33,69214	26,89226	Load
89	0,00000	0,00000	0,00000	Load
90	44,10000	29,10526	23,23112	Load
91	43,46000	28,88257	22,89398	Load
92	0,00000	0,00000	0,00000	Load
93	65,63000	43,31469	34,57275	Load
94	25,88000	17,08036	13,83314	Load
95	59,84000	39,49338	31,52268	Load
96	54,15000	35,73809	28,52528	Load
97	0,00000	0,00000	0,00000	Load
98	86,31000	56,96315	45,45861	Load
99	42,95000	28,34828	22,62532	Load
100	35,92000	23,70669	18,62203	Load
101	7,05000	4,65288	3,71382	Load
102	6,13000	4,04570	3,22918	Load
103	106,79000	70,47960	56,25512	Load
104	0,00000	0,00000	0,00000	Load
105	70,07000	46,24502	36,81166	Load
106	57,66000	38,05463	30,37429	Load
107	0,00000	0,00000	0,00000	Load
108	92,86000	61,28803	48,81704	Load
109	129,15000	85,23682	68,03398	Load
110	33,12000	21,88884	17,44704	Load
111	25,06000	16,53818	13,20117	Load
112	0,00000	0,00000	0,00000	Load
113	27,87000	18,38373	14,68143	Load
114	79,79000	52,88086	42,03199	Load
115	56,13000	37,04485	29,56631	Load
116	66,28000	43,74388	34,91518	Load
117	57,81000	38,15383	30,45331	Load
118	0,00000	0,00000	0,00000	Load
119	34,83000	22,85522	18,24248	Load
120	50,88000	33,57994	26,80279	Load
121	64,99000	42,89230	34,23561	Load
122	59,16000	39,04480	31,18448	Load
123	22,08000	14,57243	11,63136	Load
124	36,25000	23,24436	20,14844	Load
125	4,38000	2,89073	2,30731	Load
126	19,87000	13,11387	10,46717	Load
127	33,17000	21,89164	17,47338	Load
128	16,01000	10,56533	8,43379	Load
129	17,64000	11,54210	9,28245	Load



DATA SALURAN

Dari Bus	Ke Bus	Jenis Kabel	Jarak (km)	R(ohm)	X(ohm)
1	2	AAAC 150	1,80414	0,39006	0,59827
2	3	AAAC 150	0,82665	0,17872	0,27321
2	4	AAAC 150	0,65357	0,14130	0,21600
4	5	AAAC 150	0,32118	0,06944	0,10615
5	6	AAAC 150	0,45644	0,08888	0,15085
5	7	AAAC 150	0,61128	0,13216	0,20203
7	8	AAAC 150	0,35097	0,07588	0,11800
8	9	AAAC 150	0,66696	0,14420	0,22043
9	10	AAAC 150	0,41766	0,09030	0,13804
9	11	AAAC 150	0,91795	0,18946	0,30338
11	12	AAAC 150	0,04103	0,00887	0,01356
11	13	AAAC 150	0,41039	0,08873	0,13563
8	14	AAAC 150	0,1754	0,03792	0,05797
14	15	AAAC 150	0,19514	0,04219	0,06446
15	16	AAAC 150	1,10235	0,23833	0,36433
15	17	AAAC 150	0,62622	0,13539	0,20687
17	18	AAAC 150	1,24697	0,26959	0,41212
18	19	AAAC 150	1,05759	0,22865	0,34853
17	20	AAAC 150	1,12091	0,24234	0,37046
20	21	AAAC 150	1,63111	0,35285	0,53908
21	22	AAAC 150	0,38403	0,08303	0,12592
22	23	AAAC 150	0,10687	0,02311	0,03632
23	24	AAAC 150	0,14463	0,03127	0,04790
24	25	AAAC 150	0,21983	0,04753	0,07265
25	26	AAAC 150	0,21553	0,04660	0,07123
25	27	AAAC 150	0,05738	0,01241	0,01896
27	28	AAAC 150	0,09667	0,02090	0,03195
28	29	AAAC 160	0,1432	0,03096	0,04733
29	30	AAAC 150	0,7055	0,15253	0,23317
28	31	AAAC 150	0,09171	0,01983	0,03031
31	32	AAAC 150	5,81678	1,25759	1,92245
31	33	AAAC 150	0,13107	0,02834	0,04332
33	34	AAAC 150	0,28721	0,06209	0,09492
34	35	AAAC 160	1,40329	0,30339	0,46379
35	36	AAAC 150	0,20561	0,04445	0,06795
35	37	AAAC 150	0,6874	0,14862	0,22719
34	38	AAAC 150	0,44708	0,09666	0,14776
38	39	AAAC 150	0,45447	0,09826	0,15020
22	40	AAAC 150	0,3683	0,07963	0,12172
40	41	AAAC 150	0,37527	0,08113	0,12403
41	42	AAAC 150	0,07926	0,01714	0,02620
42	43	AAAC 150	1,36049	0,29414	0,44984
43	44	AAAC 150	1,0827	0,23408	0,35783
44	45	AAAC 150	0,09054	0,01967	0,02992
45	46	AAAC 150	0,13481	0,02915	0,04455
45	47	AAAC 150	0,31916	0,06900	0,10548
47	48	AAAC 150	0,07734	0,01672	0,02556
48	49	AAAC 150	1,98504	0,42917	0,65606
49	50	AAAC 150	0,8712	0,18835	0,28793
50	51	AAAC 150	1,02611	0,22184	0,33913
48	52	AAAC 150	2,27173	0,49115	0,75081

52	53	AAAC 150	0,26156	0,05855	0,08848
53	54	AAAC 150	0,07325	0,01584	0,02421
53	55	AAAC 150	1,88792	0,40817	0,62396
55	56	AAAC 150	1,6756	0,36226	0,55379
55	57	AAAC 150	0,48563	0,10499	0,16050
57	58	AAAC 150	2,1451	0,46377	0,70898
52	59	AAAC 150	0,49853	0,10778	0,16478
59	60	AAAC 150	0,25835	0,05586	0,08538
60	61	AAAC 150	1,62653	0,35188	0,53757
60	62	AAAC 150	0,85873	0,18566	0,28381
62	63	AAAC 150	1,04437	0,22579	0,34516
62	64	AAAC 150	0,2175	0,04702	0,07188
64	65	AAAC 150	0,30139	0,06516	0,09961
64	66	AAAC 150	1,20862	0,26130	0,38945
66	67	AAAC 150	0,21159	0,04575	0,06893
42	68	AAAC 150	0,42204	0,09125	0,13948
68	69	AAAC 150	0,46147	0,08977	0,15252
69	70	AAAC 150	0,59644	0,12895	0,19712
69	71	AAAC 150	0,14444	0,03123	0,04774
71	72	AAAC 150	0,36326	0,07854	0,12008
72	73	AAAC 150	0,06005	0,01298	0,01985
73	74	AAAC 150	1,2255	0,26495	0,40503
74	75	AAAC 150	0,54189	0,11716	0,17909
75	76	AAAC 150	0,53488	0,11684	0,17678
76	77	AAAC 150	0,04909	0,01061	0,01622
77	78	AAAC 150	0,56593	0,12235	0,18704
78	79	AAAC 150	0,90865	0,19645	0,30031
79	80	AAAC 150	0,40073	0,08664	0,13244
79	81	AAAC 150	0,06005	0,01298	0,01985
77	82	AAAC 150	0,21926	0,04740	0,07247
82	83	AAAC 150	0,50759	0,10974	0,16776
83	84	AAAC 150	0,96079	0,20772	0,31754
84	85	AAAC 150	0,5969	0,12905	0,19728

84	86	AAAC 150	1,22914	0,28574	0,40623
86	87	AAAC 150	0,25168	0,05441	0,08318
87	88	AAAC 150	1,93151	0,41759	0,63636
88	89	AAAC 150	0,02097	0,00453	0,00893
89	90	AAAC 150	0,99091	0,21423	0,32750
90	91	AAAC 150	1,41627	0,30620	0,48808
89	92	AAAC 150	0,64097	0,13858	0,21184
92	93	AAAC 150	0,21263	0,04597	0,07027
92	94	AAAC 150	0,38759	0,08380	0,12810
94	95	AAAC 150	0,37838	0,08181	0,12505
77	96	AAAC 150	0,91237	0,19725	0,30154
96	97	AAAC 150	1,10752	0,23945	0,36604
97	98	AAAC 150	1,15876	0,25052	0,38297
97	99	AAAC 150	2,1284	0,46016	0,70344
99	100	AAAC 150	2,04255	0,44180	0,67506
100	101	AAAC 150	1,19628	0,25864	0,39537
101	102	AAAC 150	3,20652	0,69325	1,05975
76	103	AAAC 150	1,35951	0,29393	0,44932
103	104	AAAC 150	0,18837	0,04073	0,06226
104	105	AAAC 150	0,24406	0,05277	0,08066
105	106	AAAC 150	2,54212	0,54961	0,84017
106	107	AAAC 150	0,48657	0,10520	0,16081
107	108	AAAC 150	0,25465	0,05506	0,08417
107	109	AAAC 150	2,00062	0,43253	0,66120
109	110	AAAC 150	1,2041	0,26033	0,39796
104	111	AAAC 150	0,74333	0,16071	0,24567
111	112	AAAC 150	0,88399	0,19112	0,29216
112	113	AAAC 150	0,71388	0,15434	0,23594
113	114	AAAC 150	1,58924	0,34359	0,52524
114	115	AAAC 150	1,10974	0,23993	0,36677
115	116	AAAC 150	1,79788	0,38870	0,59420
116	117	AAAC 150	1,08765	0,23515	0,35947
117	118	AAAC 150	0,43158	0,09331	0,14294
118	119	AAAC 150	3,89207	0,84147	1,28633
118	120	AAAC 150	1,48563	0,32119	0,49100
120	121	AAAC 150	2,2495	0,48634	0,74346
112	122	AAAC 150	1,07319	0,23202	0,35489
122	123	AAAC 150	1,40817	0,30445	0,46540
123	124	AAAC 150	1,90856	0,41263	0,63078
124	125	AAAC 150	8,22295	1,77780	2,71758
125	126	AAAC 150	0,79359	0,17157	0,26228
126	127	AAAC 150	3,11916	0,67436	1,03088
127	128	AAAC 150	6,68201	1,44465	2,20840
128	129	AAAC 150	0,78414	0,16953	0,25916



du Induk : Pakis

**PROTEKSI I**

BATTERY		RECTIFIER	
Merk	: HOPPECKE	Merk	: SAFT NIFE
Model	: FNC 308 L	Type	: 110 TPR 75
No. Seri	: LO 84894	No. Seri	: 5909
Kapasitas	: 264 AH	Teg. Input	: 400 V
Jumlah Sel	: 90	Teg. Output	: 110 V
Jenis Electrolyt	: ALKALIN	Arus Input	: 20,6
Teg. Kerja	: 110 V	Arus Output	: 7,5
Tahun Pembuatan	: 1994	Tahun Pembuatan	: 1994
Tahun Operasi	: 1996	Tahun Operasi	: 1996

**PROTEKSI II**

BATTERY		RECTIFIER	
Merk	: NIFE	Merk	:
Model	: HCP 13	Type	:
No. Seri	: -	No. Seri	:
Kapasitas	: 125 AH	Teg. Input	:
Jumlah Sel	: 88	Teg. Output	:
Jenis Electrolyt	: ALKALIN	Arus Input	:
Teg. Kerja	: 110 V	Arus Output	:
Tahun Pembuatan	: -	Tahun Pembuatan	:
Tahun Operasi	: 1999	Tahun Operasi	:

**PLC**

BATTERY		RECTIFIER	
Merk	: HOPPECKE	Merk	: SAFT NIFE
Model	: FNC 307 L	Type	: 48TPR75
No. Seri	: LO 74794	No. Seri	: 5913
Kapasitas	: 233 AH	Teg. Input	: 400 V
Jumlah Sel	: 39	Teg. Output	: 48 V
Jenis Electrolyt	: ALKALIN	Arus Input	: 9,5
Teg. Kerja	: 48 V	Arus Output	: 7,5
Tahun Pembuatan	: 1994	Tahun Pembuatan	: 1994
Tahun Operasi	: 1996	Tahun Operasi	: 1996

**SCADA**

BATTERY		RECTIFIER	
Merk	: SAFT NIFE	Merk	: SAFT NIFE
Model	: SBL - 90 - 2	Type	: 2BS H 3300 T
No. Seri	: 9411	No. Seri	: C5309 / 7
Kapasitas	: 90 AH	Teg. Input	: 220 V
Jumlah Sel	: 40	Teg. Output	: -
Jenis Electrolyt	: ALKALIN	Arus Input	: -
Teg. Kerja	: 48 V	Arus Output	: -
Tahun Pembuatan	: -	Tahun Pembuatan	: 1990
Tahun Operasi	: 1997	Tahun Operasi	: 1997

**ETERANGAN :**





du Induk : Pakis  
 Bay ( Dist ) : TRAF0 I 150/20 KV - 30 MVA

TRAFO		LA	
o. Trafo	: I	Merk	: BOW THORPE
erk	: TELK	Type	: MBA - 4 - 150
pe	: SALOCR	No. Seri	: N : 701, U = 19, V = 20, W = 21
o. Seri	: 120349 - 8	Arus	: 20 KA
ektor grup	: YNyn0 ( o d 1 )	Tegangan	: 150 KV
rus	: 577 / 866	Burden	: -
ig. Kerja	: 150/20 KV	Insulation	: -
aya	: 30 MVA	Class	: 2
pedansi	: H = 12,86 %, R = 11,83 %, L = 11,33 %	Thn Buatan	: 1994
nis Minyak	: -	Thn Operasi	: 1996
umlah Minyak	: 19950 L		
raf	: -		
n Buatan	: 1995		
n Operasi	: 1996		
PMT 150 KV		PMT 20 KV	
erk	: SIEMENS	Merk	: GOLD STAR
pe	: 3 AQ1	Type	:
l. Seri	: 94 / K350 12626	No. Seri	:
us	: 1250 A	Arus	:
aking current	: 40 KA	Breaking current	:
nis PMT	: GCB	Jenis PMT	:
nis Gas	: SF6	Jenis Gas	:
ngangan	: 170 KV	Tegangan	:
raf	: -	Berat	:
l Buatan	: 1994	Thn Buatan	:
l Operasi	: 1994	Thn Operasi	:
PMS BUS A		PMS BUS B	
erk	: GEC ALSTHOM	Merk	: GEC ALSTHOM
ie	: S2DA	Type	: S2DA
. Seri	: 7014	No. Seri	: 7017
s	: 1250 A	Arus	: 1250 A
s HS	: 40 KA	Arus HS	: 40 KA
angan	: 170 KV	Tegangan	: 170 KV
Buatan	: 1995	Thn Buatan	: 1995
Operasi	: 1996	Thn Operasi	: 1996
CT 150 KV		NGR	
k	: A B B	Merk	: POST GLOVER RESISTOR INC.
e	: I M B D 170 A4	Type	: KY ( 406 )
Seri	: U = 8147126, V = 8147127, W = 8147129	No. Seri	: 41400UG9503
ed Current	: 170 A	Arus	: 28 A
den S1 / S2	: 30 VA	Rated Teg.	: 13800 VOLT
ss	: x 1.0	Rated Current	: -
Buatan	: 1985	Rated Time	: 30 Second
Operasi	: 1996	Resistansi	: 500 Ohm
		Thn Buatan	: -
erpasang & Operasi	3 Buah	Thn Operasi	: 1997







Idu Induk : Pakis  
 Bay : 150 kV Line Kebonagung II

PMT		PMS LINE	
Merk	: SIEMENS	Merk	: GEC ALSTHOM
Spe	: 3AQ1	Type	: S2DAT
No. Seri	: 94 / K 35012665	No. Seri	: 7067
Arus	: 2000 A	Arus HS	: 2000 A
Breaking current	: 40 KA	Arus HS	: 40 KA
Ins PMT	: GCB	Tegangan	: 170 KV
Ins Gas	: SF6	Thn Buatan	: 1995
Tegangan	: 170 KV	Thn Operasi	: 1996
Instalasi	: -		
Thn Buatan	: 1994		
Thn Operasi	: 1996		

PMS BUS A		PMS BUS B	
Merk	: GEC ALSTHOM	Merk	: GEC ALSTHOM
Spe	: S2DA	Type	: S2DA
No. Seri	: 7045	No. Seri	: 7047
Arus	: 2000 A	Arus HS	: 2000 A
Arus HS	: 40 KA	Arus HS	: 40 KA
Tegangan	: 170 KV	Tegangan	: 170 KV
Thn Buatan	: 1995	Thn Buatan	: 1995
Thn Operasi	: 1996	Thn Operasi	: 1996

LA		CT	
Merk	: BOW THORPE	Merk	: A B B
Spe	: MBA 4 - 150	Type	: I M B E 170 A4
No. Seri	: N : 701. U = 30, V = 29, W = 28	No. Seri	: U = 8147079, V = 8147070, W = 8147072
Arus	: 20 KA	Rated Current	: 170 A
Tegangan	: 150 KV	Burden S1 / S2	: 30 VA
Burden	: 50 VA	Class	: x 1.0
Instalasi	: -	Thn Buatan	: 1994
Saluran	: 2	Thn Operasi	: 1996
Thn Buatan	: 1994		
Thn Operasi	: 1996		Jumlah CT Terpasang & Operasi 3 ( Tiga ) Buah

CVT		KETERANGAN :	
Merk	: TRENGH ELECTRIC		
Spe	: TEVP		
No. Seri	: 947172509		
Rated Teg. Prim.	: 154.000 / V3 VOLT		
Rated Teg. Sek.	: 110 V3		
Burden	: 50 VA		
Instalasi	: -		
Saluran	: 3 P		
Thn Buatan	: 1994		
Thn Operasi	: 1996		





rdu Induk	: Pakis
Bay	: 150 kV Line Kebonagung I

PMT		PMS LINE	
merk	: SIEMENS	Merk	: GEC ALSTHOM
ype	: 3AQ1	Type	: S2DAT
o. Serl	: 94 / K 35012641	No. Serl	: 7068
rus	: 2000 A	Arus	: 2000 A
reaking current	: 40 KA	Arus HS	: 40 KA
enis PMT	: GCB	Tegangan	: 170 KV
enis Gas	: SF6	Thn Buatn	: 1995
egangan	: 170 KV	Thn Operasi	: 1996
erat	: -		
tn Buatn	: 1994		
tn Operasi	: 1996		

PMS BUS A		PMS BUS B	
merk	: GEC ALSTHOM	Merk	: GEC ALSTHOM
pe	: S2DA	Type	: S2DA
o. Serl	: 7044	No. Serl	: 7043
rus	: 2000 A	Arus	: 2000 A
rus HS	: 40 KA	Arus HS	: 40 KA
egangan	: 170 KV	Tegangan	: 170 KV
n Buatn	: 1995	Thn Buatn	: 1995
n Operasi	: 1996	Thn Operasi	: 1996

LA		CT	
erk	: BOW THORPE	Merk	: A B B
pe	: MBA 4 - 150	Type	: I M B E 170 A4
o. Serl	: N : 701. U = 24, V = 23, W = 22	No. Serl	: U = 8147077, V = 8147073, W = 8147072
rus	: 20 KA	Rated Current	: 170 A
egangan	: 150 KV	Burden	: 30 VA
rden	: 50 VA	Class	: x 1.0
ulation	: -	Thn Buatn	: 1994
iss	: 2	Thn Operasi	: 1996
tn Buatn	: 1994		
tn Operasi	: 1996	Jumlah CT Terpasang & Operasi 3 ( Tiga ) Buah	

PT / CVT		KETERANGAN :	
rk	: TRENGH ELECTRIC		
pe	: TEVP		
o. Serl	: 947172510		
ted Teg. Prim.	: 154.000 / V3 VOLT		
ted Teg. Sek.	: 110 V3		
rden	: 50 VA		
ulation	: -		
iss	: 3 P		
tn Buatn	: 1994		
tn Operasi	: 1996		

# LISTING PROGRAM



```
%Program utama Dynamic Programming Trafo
%Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional
```

```
clc
global Zt;
global Pda Qda V1a;
%Daya dasar dan tegangan dasar
Vbase1=150;konstV=1000;
Vbase2=20;
Pbase=100;konstP=1000000;
kaptrafo=30000000;%30 MVA
%perhitungan impedansi trafo
Xtp=(Vbase2*konstV)^2/(kaptrafo);
prn=0.1286;
Xtpnew=prn*Xtp;
Zt=complex(0,Xtpnew);
%beban
Pda=zeros(24,1);
Qda=zeros(24,1);
V1a=zeros(24,1);
Pda(1) =13.6;Qda(1) =4.2;V1a(1)=147;
Pda(2) =13.0;Qda(2) =4.0;V1a(2)=147;
Pda(3) =12.8;Qda(3) =4.0;V1a(3)=147;
Pda(4) =12.8;Qda(4) =4.0;V1a(4)=148;
Pda(5) =13.6;Qda(5) =4.6;V1a(5)=147;
Pda(6) =15.4;Qda(6) =4.6;V1a(6)=147;
Pda(7) =14.0;Qda(7) =3.6;V1a(7)=148;
Pda(8) =12.2;Qda(8) =3.2;V1a(8)=148;
Pda(9) =12.0;Qda(9) =3.6;V1a(9)=148;
Pda(10)=12.5;Qda(10)=3.6;V1a(10)=148;
Pda(11)=12.5;Qda(11)=3.6;V1a(11)=148;
Pda(12)=12.5;Qda(12)=3.6;V1a(12)=148;
Pda(13)=12.0;Qda(13)=3.2;V1a(13)=150;
Pda(14)=11.8;Qda(14)=3.2;V1a(14)=150;
Pda(15)=12.4;Qda(15)=3.4;V1a(15)=148;
Pda(16)=12.6;Qda(16)=3.6;V1a(16)=148;
Pda(17)=12.6;Qda(17)=3.6;V1a(17)=148;
Pda(18)=16.2;Qda(18)=4.6;V1a(18)=148;
Pda(19)=21.6;Qda(19)=7.0;V1a(19)=145;
Pda(20)=20.0;Qda(20)=7.0;V1a(20)=145;
Pda(21)=21.4;Qda(21)=7.4;V1a(21)=145;
Pda(22)=12.4;Qda(22)=3.2;V1a(22)=147;
Pda(23)=13.2;Qda(23)=4.0;V1a(23)=147;
Pda(24)=13.0;Qda(24)=3.8;V1a(24)=148;
Pda=Pda/100;
Qda=Qda/100;
V1a=V1a/Vbase1;
global Zc;
Zc=complex(0,0);
global V2spec;
V2spec=1;
njam=24;
ctap=14;
global a b c d e f;
a=0;b=0;c=1;
d=0;e=0;f=1;
[restap, rescap, v2, pf]=DynProTrafo(njam,ctap);
sum=length(restap);
disp(' Reactive power / voltage dispatching schedules');
```

```
disp('          from FDP Approach');
disp(' ');
disp('-----');
disp(' hour      TAP      Cap      V2      Pf      ');
disp('-----');
for i=1:sun
    Sa=[i restap(i) rescap(i) v2(i) pf(i)];
    fprintf(' %3.0f      %3.0f      %8.3f %8.3f %8.3f\n',Sa);
end
disp('-----');
```

```

function [restap, rescap, v2a, pfa]=DynProTrafo(njam, ctap)
for i=1:ctap
    for j=1:njam
        stage(i,j).tap=i;
        stage(i,j).cap=0;
        stage(i,j).ntap=0;
        stage(i,j).ncap=0;
        stage(i,j).fit=0;
        stage(i,j).ia=0;
        stage(i,j).ja=0;
        stage(i,j).stat=1;
        stage(i,j).v2=0;
        stage(i,j).pf=0;
    end
end
stage0.tap=1;
stage0.cap=0;
stage0.ntap=0;
stage0.ncap=0;
stage0.fit=0;
stage0.ia=0;
stage0.ja=0;
stage0.stat=1;
stage0.v2=0;
stage0.pf=0;
%inisial nilai sebenarnya di sini

for j=1:njam
    if j==1
        for i=1:ctap
            if stage(i,j).stat==1

[fit,Ntap,Ncap,absV2,pf]=Objfunction(stage(i,j).tap,stage(i,j).cap,...
                                   j,stage0.tap,stage0.ntap,stage0.ncap,...
                                   stage0.fit);

                stage(i,j).fit=fit;
                stage(i,j).ntap=Ntap;
                stage(i,j).ncap=Ncap;
                stage(i,j).ia=0;
                stage(i,j).ja=0;
                stage(i,j).v2=absV2;
                stage(i,j).pf=pf;
            end
        end
    else
        for i=1:ctap
            fitbest=0;
            Ntapbest=0;
            Ncapbest=0;
            iabest=0;
            jabest=0;
            v2best=0;
            pfbest=0;
            if stage(i,j).stat==1
                for k=1:ctap
                    if stage(k,j-1).stat==1
                        [fit,Ntap,Ncap,absV2,pf]=Objfunction(stage(i,j).tap,...
                                                            stage(i,j).cap,j,stage(k,j-1).tap,...
                                                            stage(k,j-1).ntap,stage(k,j-1).ncap,...

```

---

```

                                stage(k,j-1).fit);
    if fitbest==0
        fitbest=fit;
        Ntapbest=Ntap;
        Ncapbest=Ncap;
        iabest=k;
        jabest=j;
        v2best=absV2;
        pfbest=pf;
    else
        if fit>fitbest
            fitbest=fit;
            Ntapbest=Ntap;
            Ncapbest=Ncap;
            iabest=k;
            jabest=j;
            v2best=absV2;
            pfbest=pf;
        end
    end
end
end
end
end
    stage(i,j).fit=fitbest;
    stage(i,j).ntap=Ntapbest;
    stage(i,j).ncap=Ncapbest;
    stage(i,j).ia=iabest;
    stage(i,j).ja=jabest;
    stage(i,j).v2=v2best;
    stage(i,j).pf=pfbest;
end
end
end
restap=zeros(24,1);
rescap=zeros(24,1);
v2a=zeros(24,1);
pfa=zeros(24,1);
%perbaiki
for j=24:-1:1
    fitbest=0;
    nobest=0;
    for i=1:stap
        if i==1
            fitbest=stage(i,j).fit;
            nobest=i;
        else
            tmpfit=stage(i,j).fit;
            if tmpfit>fitbest
                fitbest=stage(i,j).fit;
                nobest=i;
            end
        end
    end
    v2a(j)=stage(nobest,j).v2;
    pfa(j)=stage(nobest,j).pf;
    restap(j)=stage(nobest,j).tap;
    rescap(j)=stage(nobest,j).cap;
end
%akhir perbaikan

```

```

function [fit,Ntap,Ncap,absV2,pf]=Objfunction(tap, cap, jam, tap0, Ntap0, Ncap0, fit0)
global a b c d e f;
global Zt;
global Pda Qda Vla;
Pd=Pda(jam);
Qd=Qda(jam);
absV1=abs(Vla(jam));
global Zc;
Zca=abs(Zc);
if cap==0
    K=1;
    Ncap=Ncap0;
else
    K=abs(Zc)/(abs(Zc)-abs(Zt));
    Ncap=Ncap0+1;
end
A=1+2*d*(K*abs(Zt))*Qd+a^2*(K*abs(Zt))^2*Pd^2+d^2*(K*abs(Zt))^2*Qd^2;
B=2*e*(K*abs(Zt))*Qd+2*a*b*(K*abs(Zt))^2*Pd^2+2*d*e*(K*abs(Zt))^2*Qd^2;
C=2*f*(K*abs(Zt))*Qd+(2*a*c+b^2)*(K*abs(Zt))^2*Pd^2+(2*d*f+e^2)*(K*abs(Zt))^2*Qd^2;
D=2*b*c*(K*abs(Zt))^2*Pd^2+2*e*f*(K*abs(Zt))^2*Qd^2;
E=c^2*(K*abs(Zt))^2*Pd^2+f^2*(K*abs(Zt))^2*Qd^2;
tp=1+0.0125*tap;
tn=tp^2;
suku4=A;
suku3=B;
suku2=0-tn*K^2*absV1^2;
suku1=D;
suku0=E;
p=[suku4 suku3 suku2 suku1 suku0];
r=roots(p);
absV2=r(2);
pf=atan(Qd/Pd);
global V2spec;
dV2=abs(absV2-V2spec);
Ntap=abs(tap-tap0)+Ntap0;
u1=MfuncdV2(dV2);
u2=Mfuncpf(pf);
u3=MfuncTap(Ntap);
u4=MfuncCap(Ncap);
fit=u1+u2+u3+u4+fit0;
%fit=u1+fit0;

function [mf]=MfuncdV2(dV2)
if dV2<0
    mf=1;
elseif (dV2>=0) && (dV2<=0.05)
    mf=(0.05-dV2)/(0.05-C);
elseif (dV2>0.05)
    mf=0;
end

function [mf]=Mfuncpf(pf)
mf=(1+((pf-1)/0.04)^2)^-1;

function [mf]=MfuncTap(Ntap)
if Ntap<=0
    mf=1;
elseif (Ntap>=1) && (Ntap<=7)
    mf=1;

```

```
elseif (Ntap>=7) && (Ntap<=30)
    mf=(30-Ntap)/(30-7);
elseif Ntap>30
    mf=0;
end
```

```
function [mf]=MfuncCap(Ncap)
if Ncap<=0
    mf=1;
elseif (Ncap>=1) && (Ncap<=2)
    mf=1;
elseif (Ncap>=2) && (Ncap<=6)
    mf=(6-Ncap)/(6-2);
elseif Ncap>6
    mf=0;
end
```

---