

**STUDI PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DAN  
RUGI-RUGI DAYA PADA PENYULANG PUPUR DAN  
BEDAK MENGGUNAKAN BANK KAPASITOR, TRAFO  
PENGUBAH TAP DAN PENGGANTIAN KABEL  
PENYULANG**

**SKRIPSI**

Oleh :

**RESTU DWI CAHYANTO**

**04 03 03 0888**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GANJIL, 2007/2008**

**STUDI PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DAN  
RUGI-RUGI DAYA PADA PENYULANG PUPUR DAN  
BEDAK MENGGUNAKAN BANK KAPASITOR, TRAFO  
PENGUBAH TAP DAN PENGGANTIAN KABEL  
PENYULANG**

**SKRIPSI**

Oleh :

**RESTU DWI CAHYANTO**

**04 03 03 0888**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GANJIL, 2007/2008**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

**STUDI PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA  
PADA PENYULANG PUPUR DAN BEDAK MENGGUNAKAN BANK  
KAPASITOR, TRAFU PENGUBAH TAP DAN PENGGANTIAN KABEL  
PENYULANG**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 7 Januari 2008

Restu Dwi Cahyanto

04 03 03 0888

## **PENGESAHAN**

Skripsi dengan judul :

**STUDI PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA  
PADA PENYULANG PUPUR DAN BEDAK MENGGUNAKAN BANK  
KAPASITOR, TRAFU PENGUBAH TAP DAN PENGGANTIAN KABEL  
PENYULANG**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 4 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, Januari 2008

Dosen pembimbing,

Ir. I Made Ardita MT.

NIP. 131 597 847

## UCAPAN TERIMA KASIH

Rasa syukur saya ucapkan kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat sehat serta rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya mengucapkan terimakasih kepada:

**Ir. I Made Ardita MT.**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

Restu Dwi Cahyanto  
NPM 04 03 03 0888  
Departemen Teknik Elektro

Pembimbing:  
Ir. I Made Ardita MT.

**STUDI PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DAN RUGI-RUGI  
DAYA PADA PENYULANG PUPUR DAN BEDAK MENGGUNAKAN  
BANK KAPASITOR, TRAFU PENGUBAH TAP DAN PENGGANTIAN  
KABEL PENYULANG**

**ABSTRAK**

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan  $\pm 5\%$  dari nilai nominalnya. Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi.

Pada skripsi ini akan dilakukan perbaikan kualitas tegangan pada jaringan distribusi menggunakan trafo pengubah tap dan bank kapasitor yang disertai dengan penggantian kabel penyulang. Proses perbaikan yang pertama dilakukan pada jaringan tegangan menengah dengan mengatur ukuran dan penempatan bank kapasitor yang akan dipasang, agar memberikan nilai perbaikan yang paling optimal. Proses perbaikan yang kedua dilakukan pada jaringan tegangan rendah dengan mengatur set trafo pengubah tap pada gardu distribusi. Sedangkan proses perbaikan yang ketiga dilakukan dengan mengganti kabel penyulang yang telah ada dengan kabel yang nilai resistansinya lebih kecil. Proses perbaikan yang terakhir dilakukan dengan mengkombinasikan ketiga metode tersebut agar didapatkan perbaikan yang paling optimal. Proses perbaikan pada skripsi ini disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0.

Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan perbaikan tegangan dan rugi-rugi daya yang paling optimal dan pada akhirnya dapat digunakan dalam proses perbaikan sesungguhnya.

**Kata kunci : Bank Kapasitor, Trafo Pengubah Tap, Kabel Penyulang,  
Drop Tegangan, Rugi-rugi Daya**

Restu Dwi Cahyanto  
NPM 04 03 03 0888  
Electrical Departemen Engineering

Counsellor  
Ir. I Made Ardita MT.

**STUDY OF VOLTAGE QUALITY AND LOSSES IMPROVEMENT AT PUPUR AND BEDAK FEEDER USE CAPACITOR BANK, TAP-CHANGING TRANSFORMER AND CHANGE FEEDER CABLE**

**ABSTRACT**

A good electrical power system must has a voltage value which not exceed tolerance limit and little loss. The tolerance limit that allowed for a voltage value  $\pm 5\%$  from the nominal value. Constant voltage will optimize performance of electrical tools which used by consumer. Whereas little loss will keep electrical supply appropriate with consumers necessity, and can decrease financial loss that happened during transmission and distribution process.

In this final task will be done the improvement of voltage quality in distribution network use a tap-changing transformer, capacitor bank and replacement the feeder cable. The first improvement was done in middle voltage network by arrange the measure and place of capacitor bank in order can give the optimum improvement. The second improvement is in low voltage network by arrange the tap-changing transformer in distribution substation. Whereas the third improvement was done by change the feeder cable with a cable which resistance is small. The last improvement did by combine all method in order can get the optimum improvement. The improvement process is simulated in software ETAP 4.0.0

From the simulation result we can get the optimum improvement of voltage and power loss. And finally can used in real improvement process.

**Kata kunci : Capacitor Bank, Tap-Changing Transformer, Feeder Cable, Voltage Drop, Losses**

## DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	1
1.3 TUJUAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 METODOLOGI PENULISAN	2
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB 2 JARINGAN DISTRIBUSI, PENGATURAN TEGANGAN DAN PENYELESAIAN ALIRAN DAYA	4
2.1 SISTEM TENAGA LISTRIK	4
2.2 JARINGAN DISTRIBUSI [3]	5
2.2.1 Jaringan Distribusi Konfigurasi Radial	5
2.2.2 Jaringan Distribusi Konfigurasi Lup	6
2.2.3 Jaringan Distribusi Konfigurasi Spindel	7
2.3 JATUH TEGANGAN [2]	7
2.4 RUGI-RUGI DAYA	9

2.4.1 Rugi-rugi saluran	9
2.4.2 Rugi-rugi transformator [4]	10
2.5 PENGATURAN TEGANGAN	11
2.5.1 Trafo pengubah tap	12
2.5.2 Bank kapasitor ( <i>Shunt capacitor</i> )	14
2.5.3 Reaktor <i>shunt</i> [6]	17
2.5.4 Kapasitor seri	19
2.5.5 Kondensor sinkron	20
2.5.6. <i>Static var compensator</i> (SVC)	20
2.6 PENYELESAIAN ALIRAN DAYA	21
2.6.1 Persamaan Simpul	22
2.6.2 Metode Newton-Rhapson [1]	23
2.6.3 Penyelesaian Aliran Daya Menggunakan Metode Newton-Rhapson	

### BAB 3 PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN PADA JARINGAN

DISTRIBUSI	27
3.1 DATA JARINGAN	27
3.2 PERBAIKAN DENGAN PENGGANTIAN KABEL PENYULANG 20 kV	31
3.2.1 Langkah-langkah perbaikan dengan penggantian kabel penyulang 20 kV	31
3.2.2 Uji kehandalan penggantian kabel penyulang 20 kV	32
3.3 PERBAIKAN MENGGUNAKAN BANK KAPASITOR	32
3.3.1 Langkah-langkah perbaikan menggunakan bank kapasitor	33
3.3.2 Uji kehandalan pemasangan bank kapasitor	34
3.4 PERBAIKAN MENGGUNAKAN TRAF0 PENGUBAH TAP	34
3.4.1 Langkah-langkah perbaikan menggunakan trafo pengubah tap	35
3.4.2 Uji kehandalan pengaturan trafo pengubah tap	35

3.5 PERBAIKAN DENGAN PENGGANTIAN KABEL PENYULANG 20 kV, PEMASANGAN BANK KAPASITOR DAN PENGATURAN TRAFO PENGUBAH TAP	36
3.5.1 Langkah-langkah perbaikan dengan kombinasi tiga metode perbaikan	36
3.5.2 Uji kehandalan perbaikan dengan kombinasi tiga metode perbaikan	37
3.6 FASILITAS KERJA	38
 BAB 4 ANALISA	 39
4.1 ANALISA KONDISI AWAL JARINGAN (Beban 100%)	39
4.2 ANALISA PENGGANTIAN KABEL XLPE 300mm <sup>2</sup> (Beban 100%)	40
4.2.1 Analisa Penggantian Kabel Pada Penyulang Pupur	40
4.2.2 Analisa Penggantian Kabel XLPE 300mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	42
4.2.3 Analisa Kehandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	44
4.3 ANALISA PEMASANGAN BANK KAPASITOR (Beban 100%)	47
4.3.1 Analisa Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur	47
4.3.2 Analisa Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	50
4.3.3 Analisa Kehandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	52
4.4 ANALISA PENGATURAN TRAFO PENGUBAH TAP (Beban 100%)	55
4.4.1 Analisa Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur	55
4.4.2 Analisa Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	57

4.4.3 Analisa Keandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	60
4.5 ANALISA KOMBINASI TIGA METODE PERBAIKAN (Beban 100%)	63
4.5.1 Analisa Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur	63
4.5.2 Analisa Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	65
4.5.3 Analisa Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	68
4.6 ANALISA PERBANDINGAN PERBAIKAN DENGAN PENGANTIAN KABEL XLPE 300 mm <sup>2</sup> , PEMASANGAN BANK KAPASITOR, PENGATURAN TAP TRAFU, DAN KOMBINASI TIGA METODE PERBAIKAN	71
BAB 5 KESIMPULAN	75
DAFTAR ACUAN	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	78

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Sistem tenaga listrik [8]	4
<b>Gambar 2.2</b> Diagram satu garis sistem tenaga listrik [3]	5
<b>Gambar 2.3</b> Jaringan distribusi konfigurasi radial [3]	6
<b>Gambar 2.4</b> Jaringan distribusi konfigurasi lup [3]	6
<b>Gambar 2.5</b> Jaringan distribusi konfigurasi spindel [3]	7
<b>Gambar 2.6</b> Diagram fasor transmisi daya ke beban seri [2]	7
<b>Gambar 2.7</b> Skema trafo pengubah tap [2]	13
<b>Gambar 2.8</b> Diagram skematik sistem pengendali <i>on-load tap changing transformer</i> dengan <i>line drop compensation (LDC)</i> [2]	13
<b>Gambar2.9</b> Bank kapasitor terhubung dengan lilitan tersier Transformator [6]	15
<b>Gambar 2.10</b> Bank kapasitor terhubung dengan bus tegangan tinggi [6]	15
<b>Gambar 2.11</b> Diagram fasor arus sebelum dan sesudah pemasangan bank kapasitor	16
<b>Gambar 2.12</b> Diagram fasor transmisi daya sebelum pemasangan bank kapasitor [5]	16
<b>Gambar 2.13</b> Diagram fasor transmisi daya setelah pemasangan bank kapasitor [5]	17
<b>Gambar 2.14</b> Reaktor shunt pada saluran ekstra tinggi terhubung dengan saluran dan bus [6]	18
<b>Gambar 2.15</b> Reaktor shunt terhubung dengan saluran dan transformator [6]	18
<b>Gambar 2.16</b> Reaktor shunt dengan pengubah tap [6]	19
<b>Gambar 2.17</b> Kapasitor seri [7]	20
<b>Gambar 2.18</b> Skema <i>static var system</i> [7]	21
<b>Gambar 2.19</b> Diagram satu garis jaringan distribusi konfigurasi lup [5]	22
<b>Gambar 3.1</b> Diagram satu garis Penyulang Pupur dan Bedak pada GI Cengkareng	30
<b>Gambar 4.1.</b> Jatuh tegangan di sisi tegangan menengah Penyulang Pupur	

pada berbagai kondisi perbaikan (Beban 100%)	72
<b>Gambar 4.2.</b> Jatuh tegangan di sisi tegangan rendah Penyulang Pupur pada berbagai kondisi perbaikan (Beban 100%)	73
<b>Gambar 4.3.</b> Jatuh tegangan di sisi tegangan menengah Penyulang Bedak pada berbagai kondisi perbaikan (Beban 100%)	73
<b>Gambar 4.4.</b> Jatuh tegangan di sisi tegangan rendah Penyulang Bedak pada berbagai kondisi perbaikan (Beban 100%)	74

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Kapasitas dan beban trafo pada Penyulang Pupur	27
<b>Tabel 3.2</b> Kapasitas dan beban trafo pada Penyulang Bedak	27
<b>Tabel 3.3</b> Jenis dan panjang kabel pada Penyulang Pupur	28
<b>Tabel 3.4</b> Jenis dan panjang kabel pada Penyulang Bedak	29
<b>Tabel 4.1</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Kondisi Awal Jaringan	39
<b>Tabel 4.2</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Kondisi Awal Jaringan	40
<b>Tabel 4.3</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Penggantian Kabel XLPE 300mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur	41
<b>Tabel 4.4</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Penggantian Kabel XLPE 300mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur	42
<b>Tabel 4.5</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Penggantian Kabel XLPE 300mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	43
<b>Tabel 4.6</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Penggantian Kabel XLPE 300mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	44
<b>Tabel 4.7</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Kehandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%	45
<b>Tabel 4.8</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Kehandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%	45
<b>Tabel 4.9</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur	

Saat Uji Keandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%	46
<b>Tabel 4.10</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm <sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%	47
<b>Tabel 4.11</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur	48
<b>Tabel 4.12</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur	49
<b>Tabel 4.13</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	51
<b>Tabel 4.14</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	52
<b>Tabel 4.15</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%	52
<b>Tabel 4.16</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%	53
<b>Tabel 4.17</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%	54
<b>Tabel 4.18</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%	54
<b>Tabel 4.19</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur	

Saat Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur	56
<b>Tabel 4.20</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak	
Saat Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur	57
<b>Tabel 4.21</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur	
Saat Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	59
<b>Tabel 4.22</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak	
Saat Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	59
<b>Tabel 4.23</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji	
Kehandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%	60
<b>Tabel 4.24</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji	
Kehandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%	61
<b>Tabel 4.25</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur	
Saat Uji Kehandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%	62
<b>Tabel 4.26</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak	
Saat Uji Kehandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%	62
<b>Tabel 4.27</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur	
Saat Menggunakan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur	64
<b>Tabel 4.28</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak	
Saat Menggunakan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur	64
<b>Tabel 4.29</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Pupur	

Saat Menggunakan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	67
<b>Tabel 4.30</b> Nilai Tegangan dan Drop Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Menggunakan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak	67
<b>Tabel 4.31</b> Nilai tegangan pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%	68
<b>Tabel 4.32</b> Nilai tegangan pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%	69
<b>Tabel 4.33</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%	70
<b>Tabel 4.34</b> Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%	70
<b>Tabel. 4.35</b> Perbandingan Hasil Perbaikan	71

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Kabel

78



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan  $\pm 5\%$  dari nilai nominalnya. Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi.

### **1.2 PERUMUSAN MASALAH**

Proses perbaikan tegangan pada jaringan distribusi dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan, yaitu menggunakan trafo pengubah tap dan bank kapasitor serta dengan melakukan penggantian kabel penyulang.

Perbaikan pada jaringan distribusi tegangan menengah dapat dilakukan dengan menggunakan bank kapasitor yang telah dihitung ukurannya serta diatur penempatannya, sehingga akan didapatkan perbaikan yang paling optimal.

Sedangkan perbaikan pada jaringan distribusi tegangan rendah, dapat dilakukan dengan mengatur set dari trafo pengubah tap yang digunakan.

Selain kedua metode tersebut, perbaikan kualitas tegangan pada jaringan distribusi juga dapat dilakukan dengan melakukan penggantian kabel penyulang pada jaringan distribusi.

Untuk mendapatkan hasil perbaikan yang optimal, kita dapat mengkombinasikan ketiga metode di atas, yaitu dengan melakukan perbaikan pada jaringan tegangan menengah dan rendah disertai dengan penggantian kabel penyulang dengan kabel yang nilai resistansinya lebih kecil. Dengan demikian kualitas tegangan pada jaringan distribusi tetap terjaga baik.

### 1.3 TUJUAN

Skripsi ini bertujuan untuk memberikan solusi terbaik dalam proses perbaikan tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi. Sehingga dengan melakukan proses perbaikan tersebut akan dapat menjaga tegangan tetap bernilai konstan serta dapat mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi.

### 1.4 BATASAN MASALAH

Pada skripsi ini, permasalahan yang akan dibahas dibatasi sebagai berikut:

1. Proses perbaikan tegangan hanya dilakukan pada sisi tegangan menengah dan rendah jaringan distribusi Penyulang Pupur dan Bedak.
2. Perbaikan tegangan dilakukan dengan menggunakan trafo pengubah tap, bank kapasitor dan penggantian kabel penyulang pada jaringan distribusi.
3. Proses perbaikan disimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0
4. Nilai impedansi transformator yang digunakan merupakan nilai tipikal yang telah diberikan oleh perangkat lunak ETAP 4.0.0
5. Beban trafo diasumsikan sebesar 65% dari kapasitas trafo
6. Untuk kondisi *undervoltage*, nilai tegangan *marginal* adalah 95% dan *critical* adalah 90% dari tegangan nominal.
7. Untuk kondisi *overvoltage*, nilai tegangan *marginal* adalah 102% dan *critical* adalah 105% dari tegangan nominal.
8. Faktor daya sistem diasumsikan 0,85 *lagging*
9. Nilai nominal tegangan menengah adalah 20 kV dan tegangan rendah adalah 380 V.

### 1.5 METODOLOGI PENULISAN

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini diselesaikan dengan metode studi literatur dan simulasi. Dimana data-data jaringan distribusi yang telah kita dapatkan, diperhitungkan dan kemudian disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut kita dapat menganalisa permasalahan yang ada, serta menentukan solusi terbaik yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini terdiri dari lima bab, dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

- Bab satu menjelaskan latar belakang, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- Bab dua menjelaskan jaringan distribusi, pengaturan tegangan, dan penyelesaian aliran daya menggunakan metode Newton-Rhapson.
- Bab tiga menjelaskan perbaikan kualitas tegangan pada jaringan distribusi.
- Bab empat menjelaskan tentang analisa perbaikan kualitas tegangan pada jaringan distribusi.
- Bab lima menjelaskan kesimpulan yang dapat diambil dari skripsi ini.

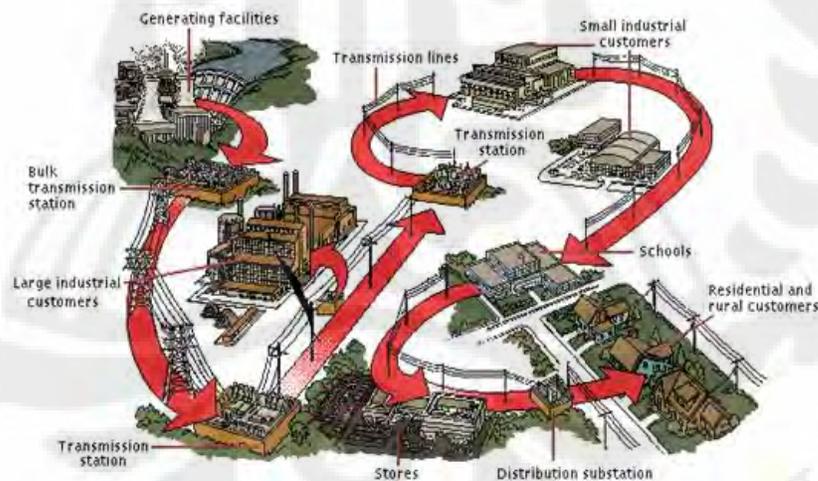
## BAB 2

# JARINGAN DISTRIBUSI, PENGATURAN TEGANGAN DAN PENYELESAIAN ALIRAN DAYA

### 2.1 SISTEM TENAGA LISTRIK

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama, yaitu pembangkitan tenaga listrik, transmisi dan distribusi. Pada pusat listrik dilakukan pembangkitan tenaga listrik dengan cara memanfaatkan generator sinkron.

Tenaga listrik yang telah dihasilkan pada pusat listrik akan ditransmisikan ke beban melalui saluran transmisi. Sebelum ditransmisikan, tegangan dinaikkan dengan menggunakan transformator penaik tegangan (*step-up*) pada pusat listrik. Tegangan tersebut dinaikkan ke level tegangan tinggi (antara 70 kV sampai 150 kV) atau tegangan ekstra tinggi (di atas 150 kV). Saluran transmisi yang digunakan bisa berupa saluran udara maupun kabel tanah. Gambar 2.1 mengilustrasikan proses pembangkitan, transmisi dan distribusi dari pusat listrik sampai ke konsumen.

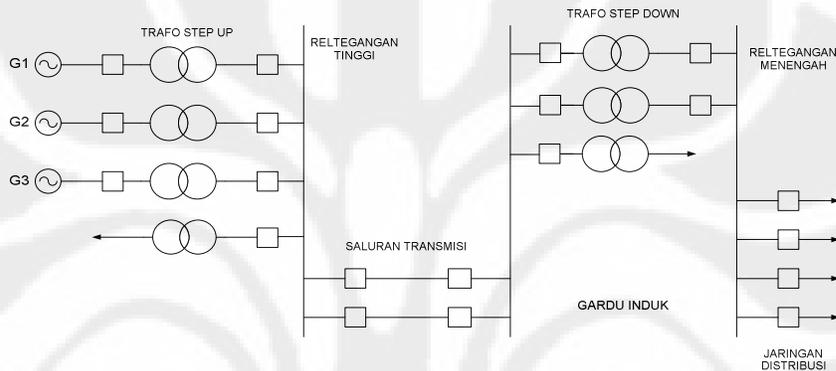


Gambar 2.1. Sistem tenaga listrik [8]

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*step-down*) menjadi tegangan menengah atau disebut tegangan distribusi primer. Tegangan menengah yang

digunakan oleh PLN sebesar 20 kV. Pada level tegangan menengah ini, tenaga listrik dapat langsung digunakan oleh konsumen yang mempunyai daya tersambung besar seperti industri besar.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, kemudian tegangan diturunkan pada gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah 380/220 V yang kemudian disalurkan ke rumah-rumah pelanggan dengan menggunakan jaringan tegangan rendah. Gambar 2.2 menunjukkan diagram satu garis sistem tenaga listrik.



Gambar 2.2. Diagram satu garis sistem tenaga listrik [3]

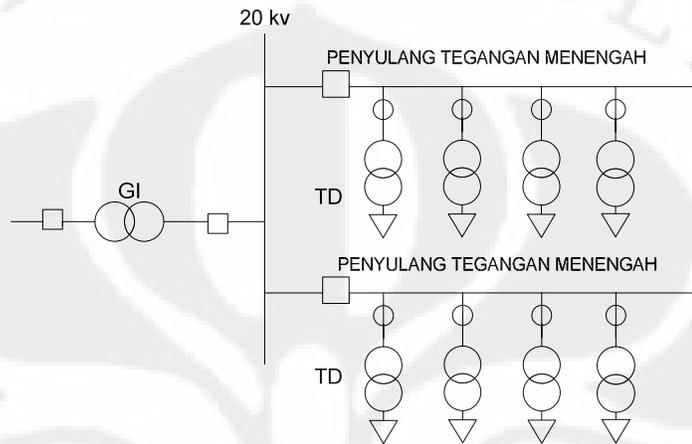
## 2.2 JARINGAN DISTRIBUSI [3]

Jaringan distribusi terdiri dari dua jenis, yaitu jaringan distribusi tegangan menengah dan jaringan distribusi tegangan rendah. Untuk jaringan distribusi tegangan menengah terdapat tiga tipe konfigurasi. Diantaranya, konfigurasi radial, konfigurasi lup dan konfigurasi spindel.

### 2.2.1 Jaringan distribusi konfigurasi radial

Gambar 2.3 menunjukkan jaringan distribusi tegangan menengah berupa konfigurasi radial. Konfigurasi radial merupakan interkoneksi antara gardu distribusi, dimana beberapa gardu distribusi yang terhubung seri disuplai oleh sebuah busbar GI (Gardu Induk). Konfigurasi ini terdiri dari beberapa penyulang yang keluar dari GI dan sumber tegangannya hanya satu arah saja. Dalam penyulang tersebut terdapat gardu-gardu distribusi yang dilengkapi oleh trafo penurun tegangan menjadi tegangan rendah. Konfigurasi ini merupakan jenis

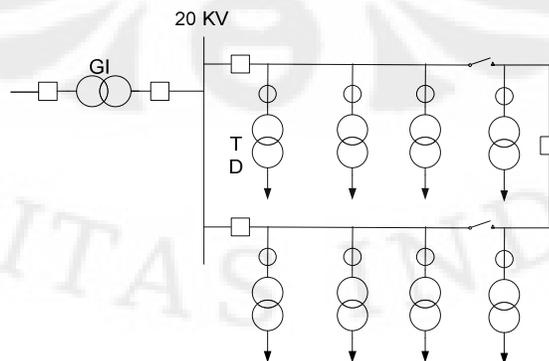
konfigurasi yang paling sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya. Tetapi konfigurasi ini memiliki kelemahan, sebab suplai pada gardu distribusi hanya diperoleh dari satu arah saja. Sehingga jika suplai dari GI mengalami gangguan, maka seluruh penyulang yang disuplai oleh GI tersebut akan mengalami padam.



Gambar 2.3. Jaringan distribusi konfigurasi radial [3]

### 2.2.2 Jaringan distribusi konfigurasi lup

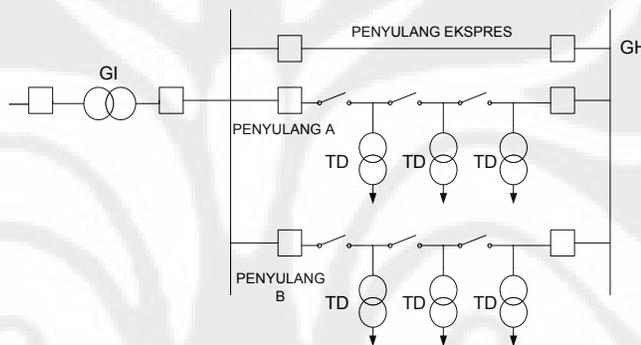
Konfigurasi Lup merupakan interkoneksi antar gardu distribusi yang membentuk suatu lingkaran tertutup (lup). Pada konfigurasi ini bisa terdapat lebih dari satu busbar GI, dan masing-masing penyulangnya membentuk suatu rangkaian tertutup dengan GI. Keuntungan dari konfigurasi lup ini adalah pasokan daya listrik dari GI lebih terjamin. Sebab jika salah satu GI mengalami gangguan maka penyulang akan tetap mendapatkan pasokan dari GI yang lain yang tidak mengalami gangguan. Dan GI yang mengalami gangguan dapat diperbaiki tanpa takut akan mengganggu suplai daya ke gardu distribusi. Gambar 2.4 adalah konfigurasi tipe lup.



Gambar 2.4. Jaringan distribusi konfigurasi lup [3]

### 2.2.3 Jaringan distribusi konfigurasi spindel

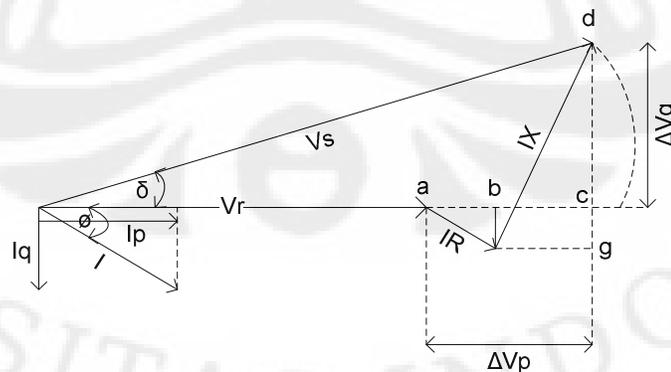
Konfigurasi spindel merupakan hubungan seri antara gardu distribusi yang kedua ujungnya dihubungkan oleh busbar GI dan GH (Gardu Hubung). Yang menjadi ciri khas dari jaringan ini adalah adanya sebuah penyulang ekspres. Penyulang ekspres ini berfungsi sebagai penyulang cadangan yang akan menyuplai daya ke beban saat salah satu penyulang mengalami gangguan. Pada jaringan spindel ini terdapat beberapa penyulang yang disuplai oleh GI dan berakhir pada suatu gardu hubung. Gambar 2.5 adalah jaringan distribusi konfigurasi spindel.



Gambar 2.5. Jaringan distribusi konfigurasi spindel [3]

### 2.3 JATUH TEGANGAN [2]

Penurunan persamaan jatuh tegangan dapat ditentukan dari gambar diagram fasor transmisi daya pada gambar 2.6:



Gambar 2.6. diagram fasor transmisi daya ke beban seri [2]

Umumnya beban yang terdapat pada sistem tenaga listrik bersifat resistif-induktif. Beban tersebut akan menyerap daya aktif dan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Penyerapan daya reaktif yang diakibatkan oleh beban induktif akan menyebabkan timbulnya jatuh tegangan pada tegangan yang disuplai generator. Akibatnya nilai tegangan di sisi penerima akan berbeda dengan nilai tegangan di sisi pengirim. Persamaan jatuh tegangan dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$V_s^2 = (V_r + \Delta V_p)^2 + (\Delta V_q)^2 \quad (2.1)$$

Keterangan:  $V_s$  = tegangan di sisi pengirim

$V_r$  = tegangan di sisi penerima

$\Delta V_p$  = jatuh tegangan

Dimana:

$$\Delta V_p = IR \cos \theta + IX \sin \theta \quad (2.2)$$

dan

$$\Delta V_q = IX \cos \theta - IR \sin \theta \quad (2.3)$$

Sehingga persamaan tegangan di sisi pengirim ( $V_s$ ) menjadi:

$$V_s^2 = (V_r + IR \cos \theta + IX \sin \theta)^2 + (IX \cos \theta - IR \sin \theta)^2 \quad (2.4)$$

Karena nilai  $\Delta V_q = IX \cos \theta - IR \sin \theta$  sangat kecil, maka nilai tersebut dapat diabaikan. Sehingga persamaan  $V_s^2$  menjadi:

$$V_s^2 = (V_r + \Delta V_p)^2 \quad (2.5)$$

$$\Delta V_p = IR \cos \theta + IX \sin \theta \quad (2.6)$$

$$\Delta V_p = R \frac{P}{V_r} + X \frac{Q}{V_r} \quad (2.7)$$

Keterangan:  $R$  = Resistansi saluran

$X$  = Reaktansi saluran

$P$  = Daya aktif yang dikirim ke beban

$Q$  = Daya reaktif yang dikirim ke beban

Dari persamaan (2.7) terlihat, nilai jatuh tegangan ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu daya aktif (P), resistansi dan reaktansi saluran (R dan X) serta daya reaktif (Q). Pengaturan daya aktif erat kaitannya dengan pengaturan frekuensi sistem. Sedangkan pengaturan daya reaktif akan mempengaruhi nilai tegangan. Oleh karena itu dengan melakukan pengaturan nilai daya reaktif kita dapat mengatur nilai tegangan.

## 2.4 RUGI-RUGI DAYA

Dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik seringkali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi daya tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya serta tegangan yang dikirimkan ke sisi pelanggan. Nilai tegangan yang melebihi batas toleransi akan dapat menyebabkan tidak optimalnya kerja dari peralatan listrik di sisi konsumen. Selain itu rugi-rugi daya yang besar akan menimbulkan kerugian finansial di sisi perusahaan pengelola listrik. Berikut adalah penjelasan mengenai rugi-rugi yang terjadi pada jaringan distribusi.

### 2.4.1 Rugi-rugi saluran

Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya. Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat ditulis sebagai berikut:

$$Loss = 3 \times I^2 R \quad (2.8)$$

Dimana,  $Loss$  = rugi-rugi pada saluran (Watt)  
 $R$  = resistansi saluran per fasa (Ohm)  
 $I$  = arus yang mengalir per fasa (Ampere)

Nilai resistansi dari suatu penghantar merupakan penyebab utama rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi. Nilai resistansi dari suatu penghantar

dipengaruhi oleh beberapa parameter. Berikut adalah persamaan resistansi penghantar:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.9)$$

Dimana, R = resistansi saluran (ohm)

$\rho$  = resistivitas bahan penghantar (ohm-meter)

$l$  = panjang penghantar (meter)

A = luas penampang ( $m^2$ )

Dari persamaan di atas terlihat terdapat tiga parameter yang mempengaruhi nilai resistansi suatu penghantar, yaitu panjang penghantar, bahan penghantar dan luas permukaan penghantar.

Panjang dari suatu penghantar tergantung dari jarak distribusi ke pelanggan. Sehingga nilai tersebut tidak dapat diubah secara bebas. Sedangkan resistivitas bahan tergantung dari bahan penghantar yang digunakan. Parameter ini dapat diubah-ubah tergantung dari pemilihan bahan penghantar yang digunakan. Selain itu parameter yang dapat diubah-ubah secara bebas adalah luas penampang dari penghantar. Dimana semakin besar penampang dari suatu penghantar akan mengurangi nilai resistansi saluran. Akan tetapi dalam perubahan luas penampang penghantar harus memperhatikan faktor efisiensinya.

Dengan demikian untuk mengurangi resistansi saluran pada jaringan distribusi, kita dapat mengganti jenis bahan penghantar yang digunakan dengan bahan yang nilai resistivitasnya rendah serta memperbesar luas permukaan penghantar.

#### 2.4.2 Rugi-rugi transformator [4]

Dalam unjuk kerjanya, trafo memiliki rugi-rugi yang harus diperhatikan. Rugi-rugi tersebut adalah:

a. Rugi-rugi Tembaga ( $I^2R$ )

Rugi-rugi tembaga merupakan rugi-rugi yang diakibatkan oleh adanya tahanan resistif yang dimiliki oleh tembaga yang digunakan pada bagian lilitan trafo, baik pada bagian primer maupun sekunder.

b. *Eddy Current* (Arus Eddy)

Rugi-rugi arus eddy merupakan rugi-rugi panas yang terjadi pada bagian inti trafo. Perubahan fluks menyebabkan induksi tegangan pada bagian inti besi trafo dengan cara yang sama seperti pada kawat yang mengelilinginya. Tegangan tersebut menyebabkan arus berputar pada bagian inti trafo. Arus eddy akan mengalir pada bagian inti trafo yang bersifat resistif. Arus eddy akan mendisipasikan energi ke dalam inti besi trafo yang kemudian akan menimbulkan panas.

c. Rugi-rugi *Hysteresis*

Rugi-rugi *hysteresis* merupakan rugi-rugi yang berhubungan dengan pengaturan daerah magnetik pada bagian inti trafo. Dalam pengaturan daerah magnetik tersebut dibutuhkan energi. Akibatnya akan menimbulkan rugi-rugi terhadap daya yang melalui trafo. Rugi-rugi tersebut menimbulkan panas pada bagian inti trafo.

d. Fluks Bocor

Fluks bocor merupakan fluks yang terdapat pada bagian primer maupun sekunder trafo yang lepas dari bagian inti dan kemudian bergerak melalui salah satu lilitan trafo. Fluks lepas tersebut akan menimbulkan *self-inductance* pada lilitan primer dan sekunder trafo.

## 2.5 PENGATURAN TEGANGAN

Dalam penyediaan tenaga listrik, tegangan yang konstan merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi. Pengaturan tegangan erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem. Berbeda dengan frekuensi yang nilainya selalu sama pada semua bagian sistem, tegangan memiliki nilai yang berbeda-beda dalam setiap bagian sistem. Oleh karenanya pengaturan tegangan tidak dapat dilakukan pada satu bagian saja, melainkan harus merata pada bagian-bagian dalam sistem yang mengalami penurunan. Pengaturan tegangan dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

- a) Trafo pengubah tap
- b) Bank kapasitor (*Shunt Capacitor*)
- c) Reaktor *shunt*

- d) Kapasitor seri
- e) Kondensor sinkron
- f) *Static VAR Compensator* (SVC)

### 2.5.1 Trafo pengubah tap

Perbaikan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan berupa penggunaan trafo pengubah tap. Dengan menggunakan trafo pengubah tap kita dapat mengatur rasio lilitan primer dan sekunder trafo. Dengan demikian kita dapat mengatur tegangan keluaran trafo. Hal ini dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a \quad (2.10)$$

Keterangan:  $V_p$  = Tegangan di sisi primer

$V_s$  = Tegangan di sisi sekunder

$N_p$  = Jumlah lilitan primer

$N_s$  = Jumlah lilitan sekunder

$a$  = Rasio lilitan

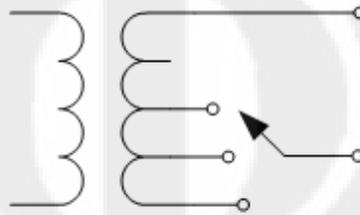
Trafo pengubah tap dapat digunakan di gardu induk maupun pada gardu distribusi tergantung dari perbaikan tegangan yang diinginkan.

Proses perubahan tap trafo itu sendiri ada dua jenis, yaitu perubahan tap positif dan negatif. Biasanya nilai perubahan tap trafo menggunakan ukuran persen (%) dan nilainya bervariasi antara  $\pm 10\%$  sampai  $\pm 15\%$  tergantung dari trafo yang digunakan. Perubahan tap positif akan meningkatkan jumlah lilitan di sisi sekunder, sedangkan tap negatif sebaliknya akan mengurangi jumlah lilitan di sisi sekunder. Trafo pengubah tap biasanya telah memiliki ukuran tap sendiri tergantung dari pabrik yang memproduksinya. Sehingga pengaturan tegangan dengan menggunakan trafo pengubah tap sifatnya terbatas dan tergantung dari jenis trafo pengubah tap yang digunakan. Semakin banyak level perubahan tap yang dimiliki oleh suatu trafo semakin baik pula proses pengaturan tegangan yang dapat dilakukan.

Trafo pengubah tap itu sendiri ada dua macam yaitu *off-load tap changing transformer* dan *under-load tap changing transformer* (ULTC). Trafo dengan

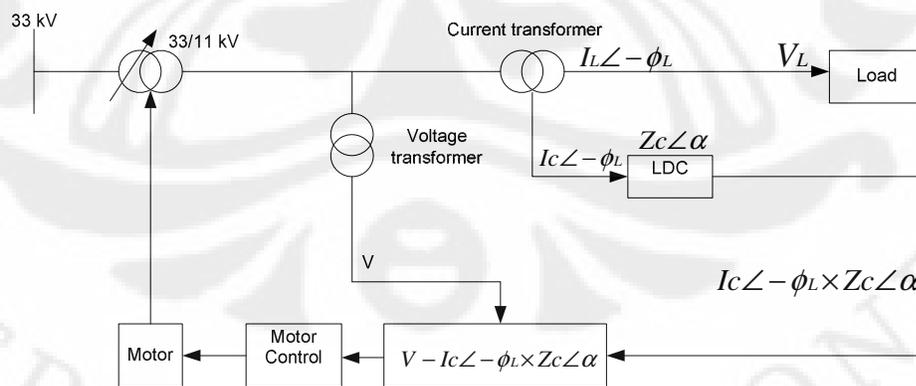
ULTC dapat digunakan secara bervariasi setiap hari, setiap jam, bahkan setiap menit tergantung kondisi system tanpa harus menimbulkan interupsi terhadap suplai daya listrik [7].

Gambar 2.7 merupakan skema trafo pengubah tap, dimana pengubah tap trafo berada pada sisi sekunder.



Gambar 2.7. Skema trafo pengubah tap [2]

Tap trafo itu sendiri dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Perubahan tap trafo secara manual dianggap kurang efisien sebab masih membutuhkan faktor manusia yang harus mengubah posisi tap trafo setiap terjadi penurunan nilai tegangan yang cukup signifikan. Pengaturan tap trafo secara otomatis dilakukan dengan menggunakan pengatur tegangan otomatis, yang akan mengubah posisi tap trafo saat nilai tegangan keluaran trafo mengalami penurunan. Berikut adalah diagram sistem pengendali pada *on-load tap-changing transformer* dengan *line drop compensation* (LDC).



Gambar 2.8. Diagram skematik sistem pengendali *on-load tap-changing transformer* dengan *line drop compensation* (LDC) [2]

Perubahan tegangan yang terdeteksi akan diumpan balik ke pengatur tegangan otomatis yang kemudian akan memerintahkan motor listrik pengubah

tap trafo untuk memindahkan posisi tap trafo ke posisi yang sesuai agar tegangan keluaran trafo kembali konstan. Pengatur tegangan otomatis itu sendiri harus dijaga agar tidak terlalu peka terhadap perubahan tegangan yang terjadi. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur rangkaian umpan baliknya, sehingga trafo pengubah tap tidak sering bekerja tetapi cukup menjaga tersedianya tegangan yang baik.

Misalkan kita akan melakukan perubahan tap pada trafo penurun tegangan (*step down*), dengan mengubah-ubah ukuran tap di sisi sekunder trafo. Jika diinginkan peningkatan tegangan pada bagian sekunder trafo, maka harus dilakukan perubahan tap yang akan menambah jumlah lilitan di sisi sekunder trafo (tap positif). Sehingga nilai tegangan di sisi sekunder akan mengalami peningkatan. Sedangkan untuk kondisi sebaliknya dapat dilakukan dengan cara melakukan perubahan tap yang akan mengurangi jumlah lilitan di sisi sekunder trafo (tap negatif). Dengan demikian nilai tegangan di sisi sekunder akan mengalami penurunan.

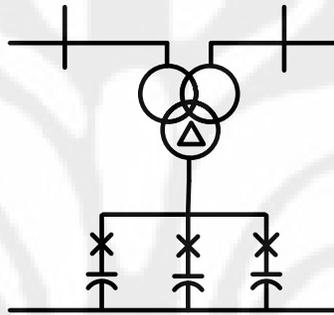
### **2.5.2 Bank kapasitor (*Capacitor shunt*)**

Bank kapasitor digunakan secara luas pada sistem distribusi untuk perbaikan faktor daya dan pengaturan tegangan feeder. Pada saluran transmisi, kapasitor bank berguna untuk mengkompensasi rugi-rugi  $XI^2$  dan memastikan tegangan terjaga pada levelnya pada saat beban penuh.

Beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, yang kemudian akan dapat menimbulkan jatuh tegangan di sisi penerima. Dengan melakukan pemasangan bank kapasitor, beban akan mendapatkan suplai daya reaktif. Kompensasi yang dilakukan oleh bank kapasitor, akan dapat mengurangi penyerapan daya reaktif sistem oleh beban. Dengan demikian jatuh tegangan yang terjadi dapat dikurangi.

Pengaturan tegangan dengan menggunakan bank kapasitor, selain dapat memperbaiki nilai tegangan juga dapat meningkatkan nilai faktor daya. Sebab dengan memasang bank kapasitor, akan dapat mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban. Dengan berkurangnya nilai daya reaktif yang diserap oleh beban, akan dapat meningkatkan nilai faktor daya.

Kapasitor bank dengan switch mekanik (MSCs) dipasang di gardu utama pada area beban. Proses *switching* sering dilakukan secara manual dengan *relay* tegangan untuk melindungi *switch* ketika tegangan melebihi batasnya. Untuk stabilitas tegangan, kapasitor bank berguna untuk mendorong generator terdekat beroperasi dengan faktor daya mendekati satu. Jika dibandingkan dengan SVC, kapasitor bank memiliki keuntungan yaitu biayanya yang murah [7]. Bank kapasitor dengan ukuran yang tepat dapat dihubungkan langsung dengan bus tegangan tinggi atau dengan bagian lilitan tersier transformator. Gambar berikut adalah pemasangan bank kapasitor pada sistem:



Gambar2.9. Bank kapasitor terhubung dengan lilitan tersier transformator [6]



Gambar 2.10. Bank kapasitor terhubung dengan bus tegangan tinggi [6]

Dengan pemasangan bank kapasitor, nilai arus induktif yang mengalir ke beban akan berkurang. Sebab beban mendapatkan suplai daya reaktif dari komponen bank kapasitor. Berikut adalah persamaan arus sebelum dan sesudah pemasangan bank kapasitor:

Sebelum pemasangan bank kapasitor didapatkan persamaan:

$$S = V_s \cdot I^* \quad (2.12)$$

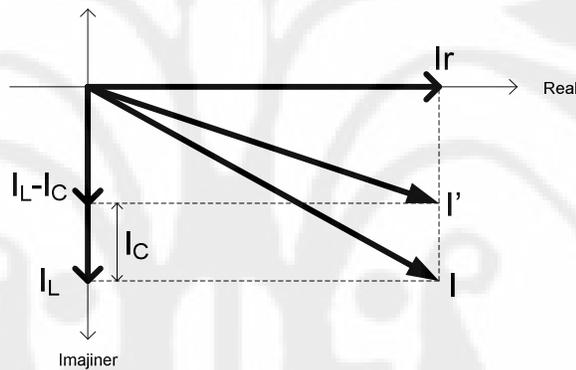
$$I^* = \frac{P + jQ}{V_s} \quad (2.13)$$

$$I = \frac{P - jQ}{V_s^*} \quad (2.14)$$

$$I = \frac{P}{V_s^*} - \frac{jQ}{V_s^*} \quad (2.15)$$

Setelah pemasangan bank kapasitor secara parallel, persamaan arusnya adalah:

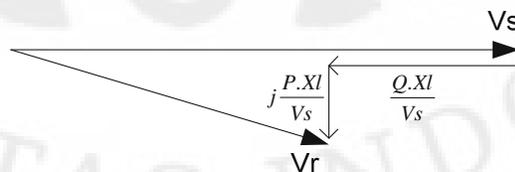
$$I' = \frac{P}{V_s^*} - j \frac{(Q - Q_c)}{V_s^*} \quad (2.16)$$



Gambar 2.11. Diagram fasor arus sebelum dan sesudah pemasangan bank kapasitor

Dari diagram fasor di atas terlihat, dengan memasang bank kapasitor pada beban yang bersifat induktif akan dapat mengurangi besar arus induktif yang mengalir ke beban.

Berikut adalah gambar diagram fasor transmisi daya sebelum dan sesudah pemasangan bank kapasitor.



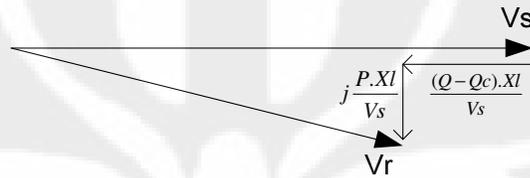
Gambar 2.12. Diagram fasor transmisi daya sebelum pemasangan bank kapasitor [5]

Persamaan tegangan di sisi penerima sebelum diberikan bank kapasitor adalah:

$$V_r = V_s - I(R + jX) \quad (2.17)$$

$$V_r = V_s - \left( \frac{P}{V_s} - j \frac{Q}{V_s} \right) (R + jX) \rightarrow R \ll X \quad (2.18)$$

$$V_r = V_s - j \frac{P.X}{V_s} - \frac{Q.X}{V_s} \quad (2.19)$$



Gambar 2.13. Diagram fasor transmisi daya setelah pemasangan bank kapasitor [5]

Persamaan tegangan di sisi penerima setelah diberikan bank kapasitor adalah:

$$V_r' = V_s - I'(R + jX) \quad (2.20)$$

$$V_r' = V_s - \left( \frac{P}{V_s} - j \frac{(Q - Q_c)}{V_s} \right) (R + jX) \rightarrow R \ll X \quad (2.21)$$

$$V_r' = V_s - j \frac{P.X}{V_s} - \frac{(Q - Q_c).X}{V_s} \quad (2.22)$$

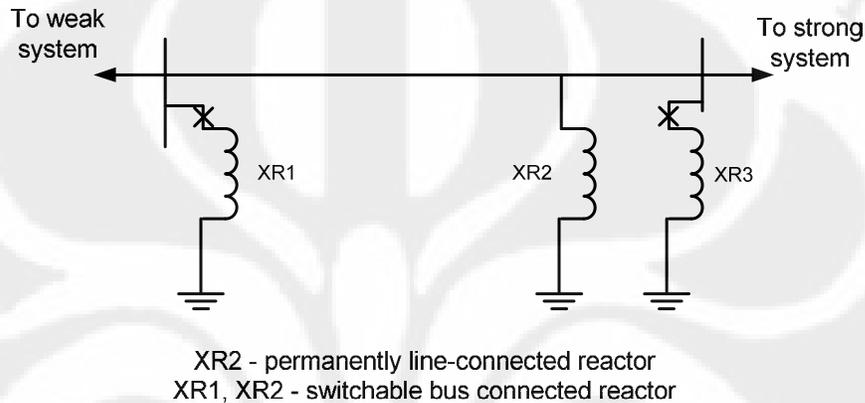
Dari persamaan di atas terlihat dengan menambahkan bank kapasitor ke dalam sistem akan dapat mengurangi konsumsi daya reaktif oleh beban, yang pada akhirnya akan dapat memperbaiki nilai tegangan di sisi penerima.

### 2.5.3 Reaktor shunt [6]

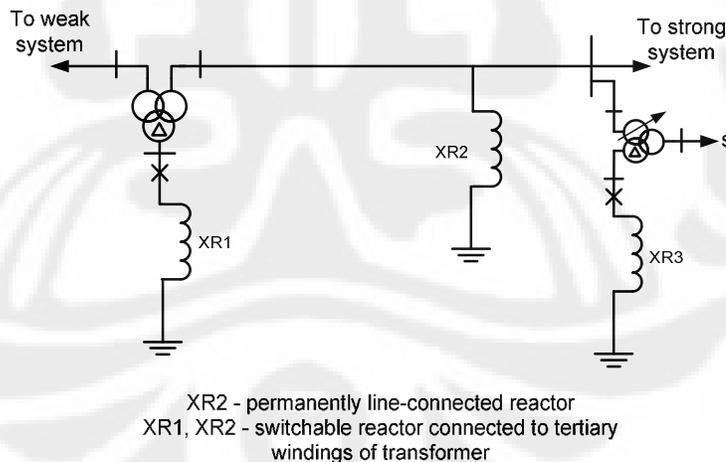
Reaktor shunt digunakan untuk mengkompensasi efek kapasitansi saluran, terutama untuk membatasi kenaikan tegangan pada rangkaian terbuka dan beban ringan. Reaktor shunt biasa dibutuhkan untuk saluran udara tegangan ekstra tinggi (EHV) yang panjangnya lebih dari 200 km. Saluran udara yang lebih pendek juga membutuhkan reaktor shunt jika disuplai dari sistem yang lemah.

Reaktor shunt dipasang secara permanen pada saluran untuk membatasi frekuensi pada saat terjadi tegangan berlebih. Reaktor tambahan juga diperlukan

untuk menjaga nilai tegangan pada saat kondisi beban rendah. Reaktor tambahan tersebut dapat dipasangkan pada bus EHV atau pada bagian lilitan tersier transformator. Pada saat kondisi beban berlebih reaktor harus dilepas dengan memutus *circuit breaker*. Berikut adalah gambar pemasangan reaktor shunt pada suatu saluran.



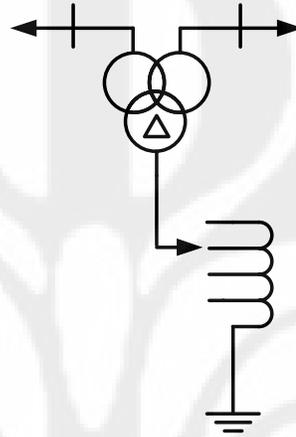
Gambar 2.14. Reaktor shunt pada saluran ekstra tinggi terhubung dengan saluran dan bus [6]



Gambar 2.15. Reaktor shunt terhubung dengan saluran dan transformator [6]

Untuk saluran pendek yang disuplai dari sistem yang kuat, tidak membutuhkan pemasangan reaktor shunt secara permanen. Pada kasus tersebut semua reaktor yang digunakan dapat diputus sambungkan. Selain itu terdapat reaktor dengan pengubah tap yang memberikan fasilitas pengaturan nilai

reaktansi. Dengan fasilitas tersebut kita dapat mengatur besar nilai reaktansi yang akan dihubungkan ke dalam sistem. Konstruksi dari reaktor dengan pengubah tap hampir sama dengan trafo pengubah tap, tetapi memiliki lilitan tunggal pada inti besi dengan *air-gap* dan terbenam dalam minyak. Berikut adalah gambar reaktor shunt dengan pengubah tap.



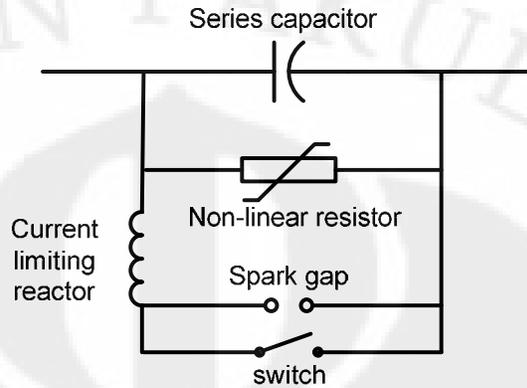
Gambar 2.16. Reaktor shunt dengan pengubah tap [6]

#### 2.5.4 Kapasitor seri

Kapasitor seri dihubungkan secara seri dengan saluran untuk mengkompensasi reaktansi induktif saluran. Kapasitor tersebut akan mengurangi transfer reaktansi antara bus, yang kemudian akan meningkatkan daya maksimum yang ditransmisikan serta akan mengurangi rugi-rugi daya reaktif ( $XI^2$ ). Biasanya kapasitor seri dipasang pada saluran transmisi panjang untuk memperbaiki stabilitas transien. Namun saat ini kapasitor seri juga digunakan pada saluran yang lebih pendek untuk memperbaiki stabilitas tegangan.

Meskipun kapasitor seri tidak biasa digunakan untuk pengaturan tegangan, kapasitor tersebut juga berperan dalam perbaikan pengaturan tegangan dan keseimbangan daya reaktif. Daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor meningkat seiring dengan peningkatan transfer daya. Selain itu kapasitor seri memiliki sifat *self-regulating* yang tidak membutuhkan sistem kontrol dalam pengoperasiannya. Kapasitor seri terdiri dari beberapa komponen, diantaranya

kapasitor, proteksi *spark gap*, metal-oxide varistor (MOV), *bypass switch* dan komponen pengontrol serta pengendali. Berikut adalah gambar kapasitor seri:



Gambar 2.17. Kapasitor seri [7]

### 2.5.5 Kondensator sinkron

Kondensator sinkron merupakan mesin sinkron yang bekerja tanpa *prime mover* dan beban mekanis. Dengan mengatur eksitasinya kita dapat membuat kondensator sinkron menghasilkan atau menyerap daya reaktif. Dengan pengatur tegangan, secara otomatis kondensator sinkron dapat mengatur keluaran daya reaktif untuk menjaga tegangan terminal tetap bernilai konstan. Kondensator sinkron dapat digunakan untuk pengaturan tegangan dan daya reaktif baik pada tingkat transmisi maupun subtransmisi. Biasanya kondensator sinkron dihubungkan dengan bagian lilitan tersier trafo [6].

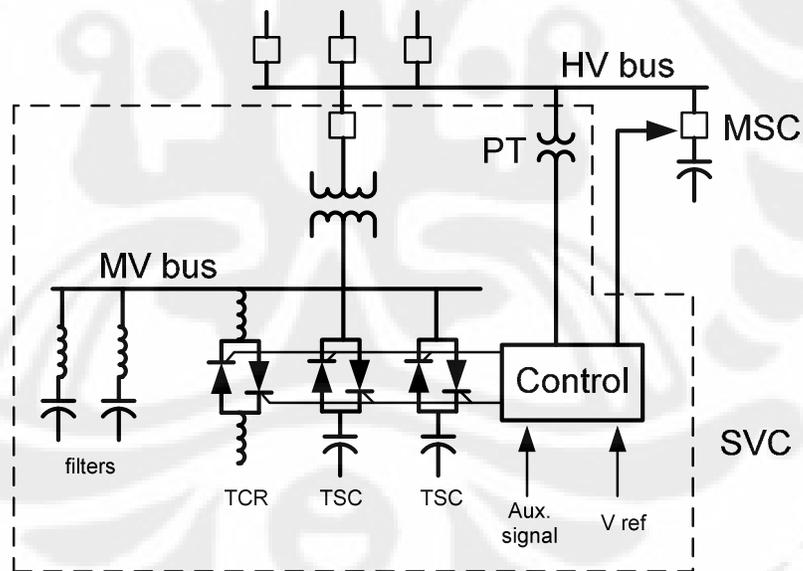
Karena tingginya modal dan biaya operasi, kondensator sinkron tidak kompetitif jika dibandingkan dengan *static VAR compensator (SVC)*. Modal awal dari kondensator sinkron bisa mencapai 20-30% lebih besar jika di bandingkan dengan SVC. Secara teknis kondensator sinkron memiliki keuntungan dibandingkan dengan SVC pada jaringan bertegangan lemah. Dimana pada saat terjadi jatuh tegangan pada jaringan, kondensator sinkron dapat menghasilkan daya reaktif secara cepat (*instantaneous*).

### 2.5.6 Static VAR compensator (SVC)

*Static var compensator (SVC)* merupakan generator statis yang terhubung secara paralel yang keluarannya bervariasi untuk mengontrol parameter-parameter

sistem tenaga listrik. Istilah statis di sini mengindikasikan bahwa SVC tidak seperti kompensator sinkron, dimana SVC tidak memiliki komponen bergerak atau berputar. *Static var system* (SVS) adalah *static var compensator* (SVC) dengan kompensator pengendali *switching* mekanik kapasitor shunt dan reaktor. SVC terdiri dari *thyristor controlled reactor* (TCR), *thyristor switched capacitor* (TSC), dan filter harmonik. Filter harmonic berfungsi untuk mengatasi harmonic yang dihasilkan oleh TCR. Filter bersifat kapasitif pada frekuensi dasar dan bernilai 10% - 30% dari ukuran MVar dari TCR.

Prinsip kerja dari *static var compensator* adalah dengan mengatur sudut penyalan thyristor. Sudut penyalan thyristor akan mengatur keluaran daya reaktif dari *static var compensator*. Nilai tegangan sistem merupakan input bagi pengendali yang kemudian akan mengatur sudut penyalan thyristor. Dengan demikian *static var compensator* akan memberikan kompensasi daya reaktif sesuai dengan kebutuhan sistem. Berikut adalah gambar dari *static var system*:



Gambar 2.18. Skema *static var system* [7]

## 2.6 PENYELESAIAN ALIRAN DAYA

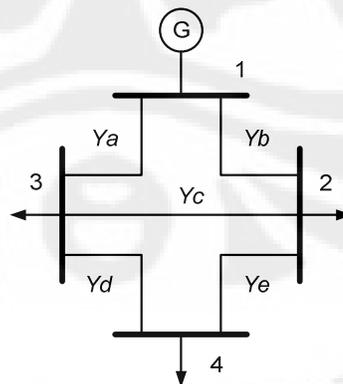
Studi aliran daya memiliki fungsi yang sangat penting dalam merencanakan perluasan sistem tenaga listrik dan menentukan operasi terbaik dari suatu sistem.

Keterangan utama yang diperoleh dari suatu studi aliran beban adalah besar dan sudut fasa tegangan pada setiap rel dan daya nyata serta daya reaktif yang mengalir pada setiap saluran. Berikut adalah penyelesaian aliran daya dengan metode Newton-Rhapson.

### 2.6.1 Persamaan Simpul

Persamaan simpul diperlukan untuk mempermudah kita dalam melakukan penyelesaian suatu aliran daya. Persamaan simpul diperoleh dari nilai impedansi ( $Z$ ) saluran yang terhubung ke bus yang ada pada sistem. Dari nilai impedansi masing-masing saluran tersebut bisa kita dapatkan nilai admitansinya ( $1/Z$ ). Sebagai contoh pada bus1, untuk variabel  $Y_{11}$  menunjukkan total nilai admitansi saluran yang terhubung ke bus 1. Sedangkan Variabel  $Y_{12}$  dan  $Y_{21}$  menunjukkan total nilai admitansi saluran yang terhubung diantara bus 1 dan bus 2. Akan tetapi sebelum dimasukkan ke dalam persamaan matriks, nilai dari variabel  $Y_{12}$  dan  $Y_{21}$  harus dikalikan dengan  $-1$ . Sehingga nantinya akan didapatkan suatu persamaan simpul seperti pada persamaan (2.23). Perhitungan nilai admitansi saluran yang terhubung pada bus lain, sama seperti perhitungan pada bus 1.

Gambar 2.7 adalah contoh bentuk diagram segaris dari jaringan distribusi konfigurasi lup. Pada gambar tersebut terdapat empat buah bus, dimana bus 1 merupakan *swing* bus yang terhubung dengan generator. Sedangkan bus 2, 3 dan 4 adalah bus beban yang terletak pada sisi beban.



Gambar 2.19. Diagram satu garis jaringan distribusi konfigurasi lup [5]

Sesuai dengan pernyataan sebelumnya, maka untuk mempermudah perhitungan aliran daya pada jaringan tersebut, dapat dibuat matriks persamaan simpul yang merepresentasikan nilai admitansi saluran yang terhubung dengan masing-masing bus serta nilai tegangan dan arus pada masing-masing bus. Dari gambar tersebut dapat dibuat persamaan matriksnya sebagai berikut.

$$\begin{array}{llll}
 Y_{11} = Y_a + Y_b & Y_{12} = -Y_b & Y_{13} = -Y_a & Y_{14} = 0 \\
 Y_{21} = -Y_b & Y_{22} = Y_b + Y_c + Y_e & Y_{23} = -Y_c & Y_{24} = -Y_e \\
 Y_{31} = -Y_a & Y_{32} = -Y_c & Y_{33} = Y_a + Y_c + Y_d & Y_{34} = -Y_d \\
 Y_{41} = 0 & Y_{42} = -Y_e & Y_{43} = -Y_d & Y_{44} = Y_d + Y_e
 \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{pmatrix} \quad (2.23)$$

### 2.6.2 Metode Newton-Rhapson [1]

Uraian deret Taylor untuk suatu fungsi dua variabel atau lebih merupakan dasar metode Newton-Rhapson. Misalkan persamaan suatu fungsi dengan dua variabel  $x_1$  dan  $x_2$  yang sama dengan suatu konstanta  $K_1$  yang dinyatakan sebagai:

Dan persamaan kedua

Di mana  $K_1$  dan  $K_2$  adalah konstanta-konstanta.

Kemudian kita perkirakan jawaban persamaan ini sebagai  $x_1^{(0)}$  dan  $x_2^{(0)}$ .

Tanda-tanda (0) menunjukkan bahwa nilai tersebut merupakan perkiraan awal.

Kita tetapkan pula bahwa  $\Delta x_1^{(0)}$  dan  $\Delta x_2^{(0)}$  merupakan nilai-nilai yang harus ditambahkan pada  $x_1^{(0)}$  dan  $x_2^{(0)}$  untuk mendapatkan penyelesaian yang tepat.

Sehingga persamaannya dapat dituliskan menjadi:

$$K_1 = f(x_1, x_2) = f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)})$$

$$K_2 = f(x_1, x_2) = f_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)})$$

Dengan menguraikan persamaan diatas dalam deret Taylor, kita dapat mencari nilai  $\Delta x_1^{(0)}$  dan  $\Delta x_2^{(0)}$ . Berikut adalah persamaannya:

$$K_1 = f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{(0)} + \dots \quad (2.28)$$

$$K_2 = f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_{(0)} + \dots \quad (2.29)$$

Dimana turunan parsial (*partial derivative*) dengan orde lebih dari satu dalam deret suku-suku uraian telah diabaikan. Suku  $[\partial f_1 / \partial x_1]$  menunjukkan bahwa turunan parsial dihitung untuk nilai-nilai  $x_1^{(0)}$  dan  $x_2^{(0)}$ . Suku-suku lain semacam itu dihitung dengan cara yang sama. Kemudian persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matriks menjadi:

$$\begin{bmatrix} K_1 - f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ K_2 - f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{(0)} & \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{(0)} \\ \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_{(0)} & \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_{(0)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Matriks bujur sangkar di atas dinamakan matriks **J** "Jacobian", dimana variabel  $J^{(0)}$ , menunjukkan perkiraan pertama  $x_1^{(0)}$  dan  $x_2^{(0)}$  telah digunakan untuk menghitung nilai turunan parsial dalam angka. Jika kita tentukan  $\Delta K_1^{(0)}$  sebagai nilai  $K_1$  yang ditetapkan dikurangi dengan nilai  $K_1$  yang dihitung. Dan mendefinisikan  $\Delta K_2^{(0)}$  dengan cara yang sama, akan diperoleh:

$$\begin{bmatrix} \Delta K_1^{(0)} \\ \Delta K_2^{(0)} \end{bmatrix} = J^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix}$$

Sehingga dengan mencari nilai inverse dari matriks jacobian, kita dapat menentukan  $\Delta x_1^{(0)}$  dan  $\Delta x_2^{(0)}$ . Tetapi karena uraian deret telah dipotong, penambahan nilai-nilai ini pada perkiraan pertama tidak memberikan jawaban yang benar dan kita harus mencoba memisalkan perkiraan yang baru  $x_1^{(1)}$  dan  $x_2^{(1)}$ , dimana:

$$\begin{aligned} x_1^{(1)} &= x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} \\ x_2^{(1)} &= x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \end{aligned}$$

Selanjutnya ulangi proses itu sampai didapatkan nilai kesalahan yang sangat kecil, sehingga memenuhi persyaratan indeks ketelitian yang telah dipilih.

### 2.6.3 Penyelesaian Aliran Daya Menggunakan Metode Newton-Rhapson

Untuk menerapkan metode Newton-Rhapson pada penyelesaian aliran beban kita dapat menyatakan tegangan rel dan admitansi saluran dalam bentuk polar atau bentuk siku-siku. Misalkan kita akan menggunakan bentuk polar, maka kita dapat menguraikan persamaan berikut:

$$P_k - jQ_k = V_k * \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n$$

Ke dalam unsur nyata dan khayalnya, dimana

$$V_k = |V_k| \angle \delta_k, V_n = |V_n| \angle \delta_n, Y_{kn} = |Y_{kn}| \angle \theta_{kn}$$

Menjadi

$$P_k - jQ_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \angle \theta_{kn} + \delta_n - \delta_k$$

Dari persamaan di atas kita dapat uraikan menjadi

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

Dan

$$Q_k = - \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

Seperti pada metode Gauss-Seidel *swing bus* diabaikan dari penyelesaian iterasi dalam menentukan tegangan, sebab besar tegangan dan sudutnya telah ditentukan. Kita dapat menentukan nilai P dan Q, dimana nilai konstan P dan Q yang ditetapkan adalah sesuai dengan konstanta K dalam persamaan (2.30). Nilai perkiraan besar dan sudut tegangan bersesuaian pula dengan nilai perkiraan  $x_1$  dan  $x_2$  pada persamaan (2.30). Kita gunakan persamaan (2.36) dan (2.37) dan mendefinisikan

$$\Delta P_k = P_{k, spec} - P_{k, calc}$$

$$\Delta Q_k = Q_{k, spec} - Q_{k, calc}$$

Yang bersesuaian dengan nilai  $\Delta K$  dari persamaan (2.31). Subskrip "spec" berarti yang ditetapkan (*specified*) dan "calc" yang dihitung (*calculated*).

Jacobian terdiri dari turunan parsial P dan Q terhadap masing-masing variabel dalam persamaan (2.36) dan (2.37). Unsur-unsur matriks kolom  $\Delta \delta_k^{(0)}$  dan  $\Delta |V_k|^{(0)}$  bersesuaian dengan  $\Delta x_1^{(0)}$  dan  $\Delta x_2^{(0)}$  dan merupakan koreksi yang harus ditambahkan pada perkiraan semula  $\delta_k^{(0)}$  dan  $|V_k|^{(0)}$  untuk mendapatkan nilai baru bagi perhitungan  $\Delta P_k^{(1)}$  dan  $\Delta Q_k^{(1)}$ .

Untuk penyederhanaan kita dapat tuliskan persamaan matriks untuk suatu sistem yang terdiri dari tiga buah bus. Jika bus 1 merupakan *swing bus*, maka perhitungan dimulai pada bus 2. Berikut adalah persamaan matriksnya:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

Unsur jacobian diperoleh dengan membuat turunan parsial dari rumus untuk  $P_k$  dan  $Q_k$  dan memasukkan ke dalamnya tegangan yang diperkirakan untuk iterasi pertama atau yang diperhitungkan dalam iterasi yang terdahulu dan terakhir. Untuk perhitungan pada sistem dengan jumlah bus yang lebih banyak dapat diselesaikan dengan mencari invers dari matriks jacobian. Nilai yang didapatkan untuk  $\Delta \delta_k$  dan  $\Delta |V_k|$  ditambahkan pada nilai terdahulu dari besar dan sudut tegangan untuk mendapatkan nilai baru untuk  $P_{k, calc}^{(1)}$  dan  $Q_{k, calc}^{(1)}$ , untuk memulai iterasi selanjutnya.

## BAB 3

### PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI

#### 3.1 DATA JARINGAN

Jaringan yang digunakan pada skripsi ini merupakan jaringan distribusi 20 kV pada Gardu Induk (GI) Cengkareng. Dimana penyulang yang disimulasikan adalah Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak. Beban trafo pada masing-masing Gardu Distribusi (GD) diasumsikan sebesar 65% dari kapasitas trafo.

Tabel 3.1 Kapasitas dan beban trafo pada Penyulang Pupur

#### P. PUPUR

No.	Gardu	Kapasitas Trafo (kVA)	Beban Trafo	Load kVA
1	KDR1	400	65.00%	260
2	BC333P	400	65.00%	260
3	BC139	2x400	65.00%	520
4	BC109	630	65.00%	410
5	BC262	630	65.00%	410
6	TG481	2x400	65.00%	520
7	CKG2	400	65.00%	260
8	BC260	2x630	65.00%	820
9	BC276	2x1000	65.00%	1300
10	TN164T	400	65.00%	260
11	CKG3	400	65.00%	260
12	BC309	630	65.00%	410
13	BC302	2x630	65.00%	820
14	BC261	1000	65.00%	650
15	BC308	630	65.00%	410
16	BC304	1000	65.00%	650
17	TA125	630	65.00%	410
18	MK263	630	65.00%	410

Tabel 3.2 Kapasitas dan beban trafo pada Penyulang Bedak

#### P. BEDAK

No.	Gardu	Kapasitas Trafo (kVA)	Beban Trafo	Load kVA
1	BC170	1000	65.00%	650
2	BC186	630	65.00%	410
3	BC220	630	65.00%	410
4	BC223	400	65.00%	260
5	BC93	2x630	65.00%	820

6	BC211	400	65.00%	260
7	BC185	400	65.00%	260
8	BC153	630	65.00%	410
9	BC70	3x630	65.00%	1230
10	BC112	630	65.00%	410
11	BC349	630	65.00%	410
12	BC82	2x630	65.00%	820
13	BC85	400	65.00%	260
14	BC130	400	65.00%	260
15	TG352	630	65.00%	410
16	DK231	630	65.00%	410
17	DK228	1000	65.00%	650

Total panjang Penyulang Pupur sebesar 25.750 m, sedangkan Penyulang Bedak sebesar 14.162 m. Jenis dan panjang kabel yang digunakan pada masing-masing penyulang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Jenis dan panjang kabel pada Penyulang Pupur

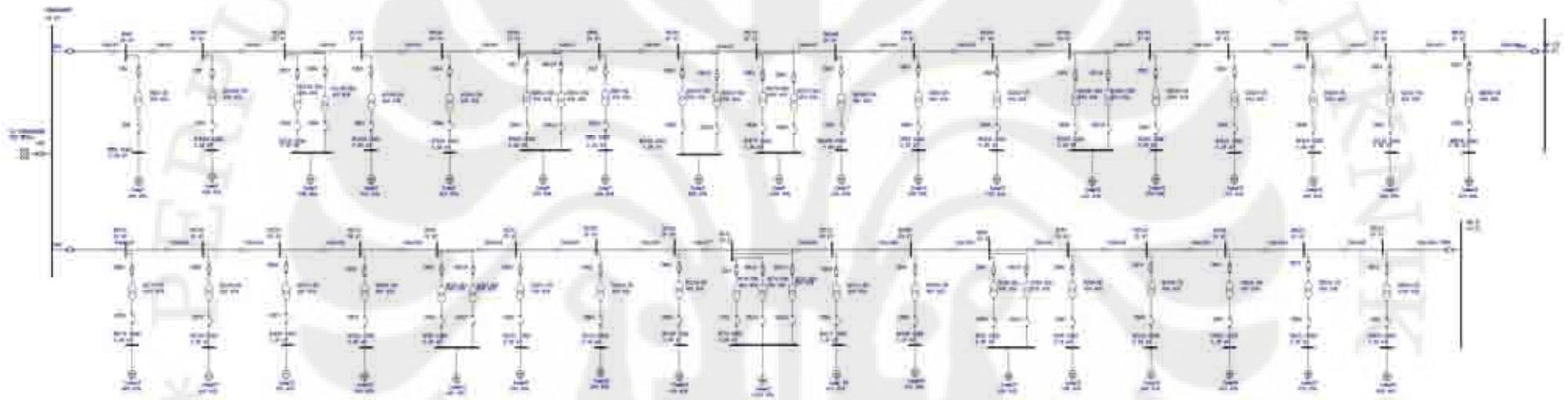
**P. PUPUR**

No.	Nama Penyulang	Dari Gardu	Menuju Gardu	Panjang Kabel (m)	Jenis Kabel	Penampang
1	PUPUR	GI Cengkareng	KDR1	7400	XLPE	240 mm
2	PUPUR	KDR1	BC333P	1000	XLPE	240 mm
3	PUPUR	BC333P	BC139	2294	XLPE	240 mm
4	PUPUR	BC139	BC109	802	XLPE	240 mm
5	PUPUR	BC109	BC262	4788	XLPE	240 mm
6	PUPUR	BC262	TG481	1532	XLPE	240 mm
7	PUPUR	TG481	CKG2	1743	XLPE	240 mm
8	PUPUR	CKG2	BC260	1743	XLPE	240 mm
9	PUPUR	BC260	BC276	911	XLPE	240 mm
10	PUPUR	BC276	TN164T	472	XLPE	240 mm
11	PUPUR	TN164T	CKG3	530	XLPE	240 mm
12	PUPUR	CKG3	BC309	530	XLPE	240 mm
13	PUPUR	BC309	BC302	1176	XLPE	240 mm
14	PUPUR	BC302	BC261	861	XLPE	240 mm
15	PUPUR	BC261	BC308	1190	XLPE	240 mm
16	PUPUR	BC308	BC304	379	XLPE	240 mm
17	PUPUR	BC304	TA125	1274	XLPE	240 mm
18	PUPUR	TA125	MK263	1598	XLPE	240 mm
19	PUPUR	MK263	GH 172	837	XLPE	240 mm

Tabel 3.4 Jenis dan panjang kabel pada Penyulang Bedak

**P. BEDAK**

No.	Nama Penyulang	Dari Gardu	Menuju Gardu	Panjang Kabel (m)	Jenis Kabel	Penampang
1	BEDAK	GI Cengkareng	BC170	5400	XLPE	240 mm
2	BEDAK	BC170	BC186	656	XLPE	240 mm
3	BEDAK	BC186	BC220	339	XLPE	240 mm
4	BEDAK	BC220	BC223	282	XLPE	240 mm
5	BEDAK	BC223	BC93	186	XLPE	240 mm
6	BEDAK	BC93	BC211	281	XLPE	240 mm
7	BEDAK	BC211	BC185	284	TREECORE	150 mm
8	BEDAK	BC185	BC153	256	TREECORE	150mm
9	BEDAK	BC153	BC70	820	XLPE	240 mm
10	BEDAK	BC70	BC112	420	XLPE	240 mm
11	BEDAK	BC112	BC349	59	XLPE	240 mm
12	BEDAK	BC349	BC82	83	XLPE	240 mm
13	BEDAK	BC82	BC85	324	XLPE	240 mm
14	BEDAK	BC85	BC130	901	XLPE	240 mm
15	BEDAK	BC130	TG352	671	XLPE	240 mm
16	BEDAK	TG352	DK231	608	XLPE	240 mm
17	BEDAK	DK231	DK228	735	XLPE	240 mm
18	BEDAK	DK228	GH 37	948	XLPE	240 mm



Gambar 3.1 Diagram satu garis Penyulang Pupur dan Bedak pada GI Cengkareng

### **3.2 PERBAIKAN DENGAN PENGGANTIAN KABEL PENYULANG 20 kV**

Pada metode ini perbaikan kualitas tegangan dilakukan dengan mengganti kabel penyulang yang telah ada dengan kabel penyulang baru. Kabel penyulang yang akan digunakan untuk mengganti kabel lama merupakan kabel penyulang yang nilai impedansinya lebih kecil. Kabel yang akan digunakan sebagai kabel pengganti merupakan kabel tipe XLPE (N2XSEYBY/NA2XSEYBY) dengan luas penampang 300 mm<sup>2</sup>.

#### **3.2.1 Langkah-langkah perbaikan dengan penggantian kabel penyulang 20 kV**

Proses perbaikan akan dilakukan dengan dua langkah penggantian kabel, yaitu:

1. Penggantian kabel pada satu penyulang
2. Penggantian kabel pada dua penyulang

Pada percobaan yang pertama, penggantian kabel hanya dilakukan pada satu penyulang saja. Dimana kabel yang telah ada diganti dengan kabel tipe XLPE 300 mm<sup>2</sup>. Setelah dilakukan penggantian kabel sepanjang satu penyulang, barulah dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus dan rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem.

Untuk percobaan yang kedua, penggantian kabel dilakukan pada dua buah penyulang. Dimana kabel yang telah ada pada kedua penyulang tersebut diganti dengan kabel tipe XLPE 300 mm<sup>2</sup>. Setelah dilakukan penggantian kabel pada kedua buah penyulang tersebut, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi ini pun akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus dan juga rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi.

Dengan membandingkan data hasil simulasi dari kedua metode tersebut, akan diketahui metode yang paling optimal dalam memperbaiki kualitas tegangan pada jaringan distribusi. Metode yang paling optimal merupakan metode yang dapat memperbaiki nilai tegangan pada masing-masing bus semaksimal mungkin. Serta dapat meminimalkan rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi.

### 3.2.2 Uji kehandalan penggantian kabel penyulang 20 kV

Metode perbaikan yang paling optimal harus diuji kehandalannya pada berbagai tingkat pembebanan. Tingkat pembebanan yang akan diberikan pada metode tersebut nilainya bervariasi, yaitu 60% dan 110% dari beban puncak. Sebelum dilakukan simulasi dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0, masing-masing beban pada jaringan distribusi harus diatur terlebih dahulu sesuai dengan tingkat pembebanan yang diinginkan.

Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus pada berbagai tingkat pembebanan. Metode perbaikan yang tidak mengalami tegangan berlebih (*overvoltage*) pada saat kondisi beban ringan (60%) serta memberikan perbaikan tegangan yang optimal pada saat beban tinggi (110%) merupakan metode perbaikan yang akan dipilih.

### 3.3 PERBAIKAN MENGGUNAKAN BANK KAPASITOR

Perbaikan kualitas tegangan dapat dilakukan dengan mengatur daya reaktif yang disuplai ke sistem. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatur daya reaktif tersebut adalah dengan menggunakan bank kapasitor. Pada metode ini, perbaikan kualitas tegangan dilakukan dengan memasang bank kapasitor pada sisi tegangan menengah 20 kV. Jumlah bank kapasitor yang akan digunakan dalam proses perbaikan ini adalah satu untuk masing-masing penyulang. Bank kapasitor yang akan digunakan diperhitungkan terlebih dahulu besarnya, agar dapat memperbaiki faktor daya penyulang menjadi bernilai satu (*unity*).

Dengan mensimulasikan kondisi awal jaringan menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0, akan didapatkan data berupa besar daya aktif dan reaktif serta faktor daya sistem. Dari data tersebut dapat kita perhitungkan besar dari bank kapasitor yang akan digunakan pada masing-masing penyulang, agar faktor daya pada penyulang tersebut bernilai satu (*unity*). Besarnya bank kapasitor yang akan digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta Q_c = P(\tan \phi - \tan \theta) \quad (3.1)$$

Keterangan:

$\Delta Q_c$  = besar bank kapasitor yang akan dipasang (kVAR)

P = besar daya aktif (kW)

$\tan \phi$  = tangen sudut faktor daya awal

$\tan \theta$  = tangen sudut faktor daya yang diinginkan

### 3.3.1 Langkah-langkah perbaikan menggunakan bank kapasitor

Proses perbaikan kualitas tegangan menggunakan bank kapasitor dilakukan dengan dua metode percobaan, yaitu:

1. Pemasangan bank kapasitor pada satu penyulang
2. Pemasangan bank kapasitor pada dua buah penyulang

Pada percobaan yang pertama, bank kapasitor di pasang pada salah satu penyulang saja. Bank kapasitor yang digunakan, akan memperbaiki faktor daya penyulang tersebut menjadi bernilai satu (*unity*).

Untuk mencari letak penempatan yang paling optimum, perlu dilakukan pengujian dengan menempatkan bank kapasitor yang telah dihitung, pada setiap gardu distribusi di sepanjang penyulang yang akan dipasangi bank kapasitor. Pada tiap penempatan bank kapasitor pada gardu distribusi, harus disimulasikan dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi akan diketahui rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang, pada tiap penempatan bank kapasitor. Penempatan bank kapasitor yang menghasilkan pengurangan rugi-rugi daya paling besar merupakan penempatan yang paling optimal.

Setelah didapatkan penempatan yang paling optimal, kemudian dilakukan simulasi kembali dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0, untuk mengetahui hasil perbaikan dari pemasangan bank kapasitor pada satu penyulang terhadap nilai tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus pada kedua penyulang serta rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan.

Pada percobaan yang kedua, bank kapasitor dipasang pada dua buah penyulang. Bank kapasitor yang dipasang pada masing-masing penyulang, akan memperbaiki faktor daya penyulang tersebut menjadi bernilai satu (*unity*).

Untuk mencari letak penempatan yang paling optimum pada kedua penyulang tersebut, perlu dilakukan pengujian dengan menempatkan bank kapasitor pada setiap gardu distribusi pada masing-masing penyulang. Setiap penempatan bank kapasitor pada gardu distribusi perlu disimulasikan dalam perangkat lunak ETAP

4.0.0. Penempatan bank kapasitor yang menghasilkan pengurangan rugi-rugi daya paling besar merupakan penempatan yang paling optimal.

Setelah didapatkan penempatan yang paling optimal, kemudian dilakukan simulasi kembali dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0, untuk mengetahui hasil perbaikan dari pemasangan bank kapasitor pada dua penyulang terhadap nilai tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus pada kedua penyulang serta rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan.

Dengan membandingkan data hasil simulasi dari kedua metode tersebut, akan diketahui metode perbaikan yang paling optimal. Metode perbaikan yang dapat memperbaiki nilai tegangan semaksimal mungkin dan menghasilkan pengurangan rugi-rugi daya paling besar merupakan metode perbaikan yang paling optimal.

### **3.3.2 Uji kehandalan pemasangan bank kapasitor**

Metode perbaikan yang paling optimal harus diuji kehandalannya dalam berbagai tingkat pembebanan. Tingkat pembebanan yang akan diujikan adalah 60% dan 110% dari beban puncak. Sebelum dilakukan pengujian, perlu dilakukan pengaturan nilai beban pada jaringan, sesuai dengan tingkat pembebanan yang akan diujikan. Setelah dilakukan pengaturan nilai beban kemudian dilakukan simulasi dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus. Metode perbaikan yang tidak menyebabkan *overvoltage* pada kondisi beban ringan serta menghasilkan perbaikan tegangan paling optimal pada saat beban tinggi merupakan metode perbaikan yang akan dipilih.

### **3.4 PERBAIKAN MENGGUNAKAN TRAFU PENGUBAH TAP**

Pada metode ini, perbaikan kualitas tegangan dilakukan dengan mengatur posisi tap trafo pada gardu distribusi 20kV/380V. Pengaturan posisi tap trafo dilakukan pada sisi sekunder trafo. Dimana ukuran dari tap trafo diatur secara otomatis agar menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100% dari tegangan nominal.

### **3.4.1 Langkah-langkah perbaikan menggunakan trafo pengubah tap**

Perbaikan kualitas tegangan menggunakan trafo pengubah tap dilakukan dalam dua metode percobaan, yaitu:

1. Pengaturan trafo pengubah tap pada satu penyulang
2. Pengaturan trafo pengubah tap pada dua penyulang

Pada percobaan yang pertama, perbaikan kualitas tegangan menggunakan trafo pengubah tap hanya dilakukan pada gardu distribusi yang terdapat pada satu penyulang saja. Gardu distribusi yang terdapat pada penyulang tersebut diatur ukuran tap trafonya agar dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100% dari tegangan nominal. Setelah dilakukan pengaturan tap trafo pada seluruh gardu distribusi, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus pada seluruh penyulang serta rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan.

Pada percobaan yang kedua, perbaikan kualitas tegangan menggunakan trafo pengubah tap dilakukan pada gardu distribusi pada dua buah penyulang. Gardu distribusi yang terdapat pada kedua penyulang tersebut diatur ukuran tap trafonya, agar dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100% dari tegangan nominal. Setelah dilakukan pengaturan tap trafo pada seluruh gardu distribusi, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus pada seluruh penyulang serta rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan.

Dengan membandingkan hasil simulasi dari kedua metode percobaan di atas, akan diketahui metode perbaikan yang paling optimal. Metode perbaikan yang dapat memperbaiki nilai tegangan rendah semaksimal mungkin, merupakan metode perbaikan yang paling optimal.

### **3.4.2 Uji kehandalan pengaturan trafo pengubah tap**

Setelah diperoleh perbaikan yang paling optimal dengan menggunakan trafo pengubah tap, kemudian perlu dilakukan uji kehandalan terhadap metode tersebut dalam berbagai tingkat pembebanan. Proses pengujian dilakukan dengan

memberikan tingkat pembebanan yang berbeda-beda pada jaringan distribusi, yaitu 60% dan 110% dari beban puncak. Sebelum dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0, beban yang terdapat dalam jaringan harus diatur terlebih dahulu sesuai dengan tingkat pembebanan yang diinginkan. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus pada tiga penyulang. Metode perbaikan yang tidak menyebabkan tegangan berlebih (*overvoltage*) pada saat beban ringan, serta dapat menghasilkan perbaikan tegangan yang optimal pada masing-masing bus pada seluruh penyulang saat beban tinggi, merupakan metode perbaikan yang akan dipilih.

### **3.5 PERBAIKAN DENGAN PENGGANTIAN KABEL PENYULANG 20 kV, PEMASANGAN BANK KAPASITOR DAN PENGATURAN TRAFU PENGUBAH TAP.**

Untuk mendapatkan hasil perbaikan yang lebih optimal, proses perbaikan dapat dilakukan dengan mengkombinasikan metode-metode perbaikan yang telah digunakan sebelumnya. Yaitu mengkombinasikan perbaikan dengan penggantian kabel penyulang 20 kV, pemasangan bank kapasitor dan pengaturan trafo pengubah tap.

#### **3.5.1 Langkah-langkah perbaikan dengan kombinasi tiga metode perbaikan**

Perbaikan kualitas tegangan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan dilakukan dengan dua metode percobaan, yaitu:

1. Perbaikan pada satu penyulang
2. Perbaikan pada dua penyulang

Pada percobaan yang pertama, proses perbaikan hanya dilakukan pada satu penyulang saja. Proses perbaikan diawali dengan memasang bank kapasitor pada gardu distribusi. Bank kapasitor yang digunakan akan memperbaiki faktor daya penyulang menjadi bernilai satu (*unity*). Tempat pemasangan bank kapasitor mengikuti prosedur pemasangan pada subbab 3.3.1.

Proses perbaikan dilanjutkan dengan mengganti kabel penyulang 20 kV dengan kabel tipe XLPE 300 mm<sup>2</sup>. Sedangkan yang terakhir dilakukan pengaturan

tap trafo pada gardu distribusi. Ukuran tap trafo diatur secara otomatis agar dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100% dari tegangan nominal. Setelah semua metode dilakukan, kemudian akan disimulasikan dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada tiap bus serta rugi-rugi daya yang terjadi dalam jaringan.

Pada percobaan yang kedua proses perbaikan dilakukan pada dua penyulang. Sama seperti percobaan yang pertama, dimana proses perbaikan diawali dengan melakukan pemasangan bank kapasitor pada gardu distribusi yang terdapat pada dua penyulang. Bank kapasitor yang digunakan akan memperbaiki faktor daya penyulang menjadi bernilai satu (*unity*). Tempat pemasangan bank kapasitor mengikuti prosedur pemasangan pada subbab 3.3.1.

Proses perbaikan dilanjutkan dengan mengganti kabel penyulang 20 kV pada kedua penyulang dengan kabel tipe XLPE 300 mm<sup>2</sup>. Sedangkan yang terakhir dilakukan pengaturan tap trafo pada gardu distribusi pada kedua penyulang. Ukuran tap trafo diatur secara otomatis agar dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100% dari tegangan nominal. Setelah semua metode dilakukan, kemudian disimulasikan dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada tiap bus serta rugi-rugi daya yang terjadi dalam jaringan.

Dengan membandingkan hasil simulasi dari kedua metode tersebut akan diketahui metode perbaikan yang paling optimal. Metode perbaikan yang dapat memperbaiki nilai tegangan pada tiap bus semaksimal mungkin, serta dapat menghasilkan pengurangan rugi-rugi daya paling besar merupakan metode perbaikan yang paling optimal

### **3.5.2 Uji kehandalan perbaikan dengan kombinasi tiga metode perbaikan**

Setelah diperoleh perbaikan yang paling optimal dengan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan, kemudian perlu dilakukan uji kehandalan dalam berbagai tingkat pembebanan. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan tingkat pembebanan yang berbeda-beda pada jaringan distribusi, yaitu 60% dan 110% dari beban puncak. Sebelum dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0, beban yang terdapat dalam jaringan harus diatur terlebih

dahulu sesuai dengan tingkat pembebanan yang diinginkan. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus pada dua penyulang. Metode perbaikan yang tidak menyebabkan tegangan berlebih (*overvoltage*) pada saat beban ringan, serta dapat menghasilkan perbaikan tegangan yang optimal pada masing-masing bus pada seluruh penyulang saat beban tinggi, merupakan metode perbaikan yang akan dipilih.

### **3.6 FASILITAS KERJA**

Pada proses simulasi ini dibutuhkan beberapa fasilitas yang mendukung proses tersebut. Diantaranya adalah komputer dengan processor Pentium 4 (2,4 Ghz), memori SDRAM 256 Mb, dan sistem operasi Windows XP. Proses simulasi pada skripsi ini menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Metode aliran daya yang digunakan adalah Newton-Rhapson dengan tingkat ketelitian yang dipilih adalah 0,0001 MW/MVAR serta jumlah iterasi yang dilakukan adalah 99 iterasi.

## BAB 4

### ANALISA

#### 4.1 ANALISA KONDISI AWAL JARINGAN (Beban 100%)

Setelah dilakukan simulasi terhadap Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak pada kondisi awal (Beban 100%) dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0, didapatkan data hasil simulasi berupa nilai tegangan dan jatuh tegangan pada kedua penyulang seperti pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Rugi-rugi daya total kedua penyulang sebesar 640,9 kW dengan faktor daya 84,7 *lagging*. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,414% dan 3,16%. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan Penyulang Bedak dapat dilihat pada Tabel 4.2, dimana rata-rata jatuh tegangan pada sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,16% dan 3,08%.

Tabel 4.1 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Kondisi Awal Jaringan

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan
1	KDR1	97.45%	2.55%	1	KDR1 LOAD	94.37%	3.08%
2	BC333P	97.11%	0.34%	2	BC333P LOAD	94.03%	3.08%
3	BC139	96.36%	0.75%	3	BC139 LOAD	93.26%	3.10%
4	BC109	96.12%	0.24%	4	BC109 LOAD	93.00%	3.12%
5	BC262	94.71%	1.41%	5	BC262 LOAD	91.56%	3.15%
6	TG481	94.28%	0.43%	6	TG481 LOAD	91.13%	3.15%
7	CKG2	93.83%	0.45%	7	CKG2 LOAD	90.67%	3.16%
8	BC260	93.39%	0.44%	8	BC260 LOAD	90.22%	3.17%
9	BC276	93.19%	0.20%	9	BC276 LOAD	90.02%	3.17%
10	TN164T	93.12%	0.07%	10	TN164T LOAD	89.93%	3.19%
11	CKG3	93.03%	0.09%	11	CKG3 LOAD	89.85%	3.18%
12	BC309	92.96%	0.07%	12	BC309 LOAD	89.77%	3.19%
13	BC302	92.80%	0.16%	13	BC302 LOAD	89.61%	3.19%
14	BC261	92.72%	0.08%	14	BC261 LOAD	89.53%	3.19%
15	BC308	92.63%	0.09%	15	BC308 LOAD	89.43%	3.20%
16	BC304	92.61%	0.02%	16	BC304 LOAD	89.42%	3.19%
17	TA125	92.57%	0.04%	17	TA125 LOAD	89.37%	3.20%
18	MK263	92.55%	0.02%	18	MK263 LOAD	89.35%	3.20%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.414%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.16%

Tabel 4.2 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Kondisi Awal Jaringan

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan
1	BC170	98.29%	1.71%	1	BC170 LOAD	95.23%	3.06%
2	BC186	98.10%	0.19%	2	BC186 LOAD	95.03%	3.07%
3	BC220	98.00%	0.10%	3	BC220 LOAD	94.93%	3.07%
4	BC223	97.93%	0.07%	4	BC223 LOAD	94.86%	3.07%
5	BC93	97.88%	0.05%	5	BC93 LOAD	94.81%	3.07%
6	BC211	97.82%	0.06%	6	BC211 LOAD	94.75%	3.07%
7	BC185	97.74%	0.08%	7	BC185 LOAD	94.66%	3.08%
8	BC153	97.67%	0.07%	8	BC153 LOAD	94.59%	3.08%
9	BC70	97.51%	0.16%	9	BC70 LOAD	94.43%	3.08%
10	BC112	97.46%	0.05%	10	BC112 LOAD	94.37%	3.09%
11	BC349	97.45%	0.01%	11	BC349 LOAD	94.37%	3.08%
12	BC82	97.44%	0.01%	12	BC82 LOAD	94.36%	3.08%
13	BC85	97.42%	0.02%	13	BC85 LOAD	94.34%	3.08%
14	BC130	97.36%	0.06%	14	BC130 LOAD	94.28%	3.08%
15	TG352	97.32%	0.04%	15	TG352 LOAD	94.24%	3.08%
16	DK231	97.30%	0.02%	16	DK231 LOAD	94.21%	3.09%
17	DK228	97.28%	0.02%	17	DK228 LOAD	94.20%	3.08%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.16%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.08%

**4.2 ANALISA PENGGANTIAN KABEL XLPE 300 mm<sup>2</sup> (Beban 100%)**

**4.2.1 Analisa Penggantian Kabel Pada Penyulang Pupur**

Setelah dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0, didapatkan data berupa nilai tegangan dan jatuh tegangan pada masing-masing bus di sepanjang Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak. Pada Tabel 4.3 dapat dilihat, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,362% dan 3,14%. Sedangkan dari Tabel 4.4 didapatkan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,16% dan 3,08 %. Rugi-rugi daya total pada kedua penyulang tersebut mengalami penurunan sebesar 11,64% dibandingkan kondisi awal jaringan.

Jika dibandingkan dengan rata-rata jatuh tegangan pada kondisi awal jaringan, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur mengalami penurunan. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak nilainya sama seperti saat kondisi awal jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa penggantian kabel pada Penyulang Pupur dengan kabel yang nilai resistansinya lebih kecil, akan dapat mengurangi

jatuh tegangan yang terjadi di sepanjang penyulang tersebut. Sehingga nilai tegangan pada masing-masing bus di sepanjang penyulang akan dapat diperbaiki.

Akan tetapi penggantian kabel pada Penyulang Pupur tidak mempengaruhi jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Bedak. Hal ini terjadi karena proses perbaikan yang dilakukan pada Penyulang Pupur hanya akan memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang tersebut dan tidak mempengaruhi jatuh tegangan pada Penyulang Bedak. Sehingga jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Bedak tidak mengalami perbaikan

Selain itu penggantian kabel pada Penyulang Pupur juga mengurangi rugi-rugi daya total yang terjadi pada kedua penyulang. Pengurangan rugi-rugi daya ini diakibatkan oleh berkurangnya nilai resistansi kabel pada Penyulang Pupur. Dengan demikian rugi-rugi daya ( $I^2R$ ) pada Penyulang Pupur akan mengalami penurunan. Dan pada akhirnya akan mengurangi rugi-rugi daya total pada jaringan.

Tabel 4.3 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur

#### P. PUPUR

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	KDR1	97.77%	2.23%	1	KDR1 LOAD	94.70%	3.07%
2	BC333P	97.48%	0.29%	2	BC333P LOAD	94.40%	3.08%
3	BC139	96.82%	0.66%	3	BC139 LOAD	93.73%	3.09%
4	BC109	96.60%	0.22%	4	BC109 LOAD	93.50%	3.10%
5	BC262	95.37%	1.23%	5	BC262 LOAD	92.24%	3.13%
6	TG481	95.00%	0.37%	6	TG481 LOAD	91.86%	3.14%
7	CKG2	94.60%	0.40%	7	CKG2 LOAD	91.46%	3.14%
8	BC260	94.22%	0.38%	8	BC260 LOAD	91.06%	3.16%
9	BC276	94.05%	0.17%	9	BC276 LOAD	90.89%	3.16%
10	TN164T	93.98%	0.07%	10	TN164T LOAD	90.82%	3.16%
11	CKG3	93.90%	0.08%	11	CKG3 LOAD	90.74%	3.16%
12	BC309	93.84%	0.06%	12	BC309 LOAD	90.67%	3.17%
13	BC302	93.70%	0.14%	13	BC302 LOAD	90.53%	3.17%
14	BC261	93.63%	0.07%	14	BC261 LOAD	90.46%	3.17%
15	BC308	93.55%	0.08%	15	BC308 LOAD	90.38%	3.17%
16	BC304	93.54%	0.01%	16	BC304 LOAD	90.37%	3.17%
17	TA125	93.50%	0.04%	17	TA125 LOAD	90.33%	3.17%
18	MK263	93.48%	0.02%	18	MK263 LOAD	90.30%	3.18%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.362%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.14%

Tabel 4.4 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan
1	BC170	98.29%	1.71%	1	BC170 LOAD	95.23%	3.06%
2	BC186	98.10%	0.19%	2	BC186 LOAD	95.03%	3.07%
3	BC220	98.00%	0.10%	3	BC220 LOAD	94.93%	3.07%
4	BC223	97.93%	0.07%	4	BC223 LOAD	94.86%	3.07%
5	BC93	97.88%	0.05%	5	BC93 LOAD	94.81%	3.07%
6	BC211	97.82%	0.06%	6	BC211 LOAD	94.75%	3.07%
7	BC185	97.74%	0.08%	7	BC185 LOAD	94.66%	3.08%
8	BC153	97.67%	0.07%	8	BC153 LOAD	94.59%	3.08%
9	BC70	97.51%	0.16%	9	BC70 LOAD	94.43%	3.08%
10	BC112	97.46%	0.05%	10	BC112 LOAD	94.37%	3.09%
11	BC349	97.45%	0.01%	11	BC349 LOAD	94.37%	3.08%
12	BC82	97.44%	0.01%	12	BC82 LOAD	94.36%	3.08%
13	BC85	97.42%	0.02%	13	BC85 LOAD	94.34%	3.08%
14	BC130	97.36%	0.06%	14	BC130 LOAD	94.28%	3.08%
15	TG352	97.32%	0.04%	15	TG352 LOAD	94.24%	3.08%
16	DK231	97.30%	0.02%	16	DK231 LOAD	94.21%	3.09%
17	DK228	97.28%	0.02%	17	DK228 LOAD	94.20%	3.08%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			<b>0.16%</b>	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			<b>3.08%</b>

**4.2.2 Analisa Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak**

Hasil simulasi penggantian kabel pada Penyulang Pupur dan Bedak menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0, dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6. Rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,362% dan 3,14%. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,14% dan 3,07%. Rugi-rugi daya total pada kedua penyulang mengalami penurunan sebesar 15,73% dibandingkan kondisi awal jaringan.

Jika dibandingkan dengan perbaikan sebelumnya, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah nilainya tidak berubah. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak di sisi tegangan menengah dan rendah nilainya mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa penggantian kabel yang dilakukan pada Penyulang Bedak

hanya akan memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang tersebut. Begitu pula dengan penggantian kabel pada Penyulang Pupur. Sehingga penggantian kabel yang dilakukan pada Penyulang Bedak hanya akan memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang tersebut dan tidak mempengaruhi jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Pupur, begitu pula sebaliknya.

Penurunan jatuh tegangan pada Penyulang Pupur dan Bedak disebabkan oleh berkurangnya nilai resistansi saluran pada kedua penyulang setelah dilakukan penggantian kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup>.

Penggantian kabel pada Penyulang Pupur dan Bedak juga mengurangi rugi-rugi daya total yang terjadi pada kedua penyulang tersebut. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya nilai resistansi kabel setelah dilakukan penggantian dengan kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup>. Sehingga rugi-rugi daya ( $I^2R$ ) yang terjadi pada jaringan pun akan berkurang.

Penggantian kabel pada Penyulang Pupur dan Bedak tidak memberikan perbaikan yang optimal. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.5, dimana nilai tegangan menengah pada Penyulang Pupur (Bus CKG2 – Bus MK 263) masih lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan toleransi yang diperbolehkan dalam simulasi ini yaitu sebesar 95% dari nilai tegangan nominal (20 kV).

Tabel 4.5 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	KDR1	97.77%	2.23%	1	KDR1 LOAD	94.70%	3.07%
2	BC333P	97.48%	0.29%	2	BC333P LOAD	94.40%	3.08%
3	BC139	96.82%	0.66%	3	BC139 LOAD	93.73%	3.09%
4	BC109	96.60%	0.22%	4	BC109 LOAD	93.50%	3.10%
5	BC262	95.37%	1.23%	5	BC262 LOAD	92.24%	3.13%
6	TG481	95.00%	0.37%	6	TG481 LOAD	91.86%	3.14%
7	CKG2	94.60%	0.40%	7	CKG2 LOAD	91.46%	3.14%
8	BC260	94.22%	0.38%	8	BC260 LOAD	91.06%	3.16%
9	BC276	94.05%	0.17%	9	BC276 LOAD	90.89%	3.16%
10	TN164T	93.98%	0.07%	10	TN164T LOAD	90.82%	3.16%
11	CKG3	93.90%	0.08%	11	CKG3 LOAD	90.74%	3.16%
12	BC309	93.84%	0.06%	12	BC309 LOAD	90.67%	3.17%

13	BC302	93.70%	0.14%	13	BC302 LOAD	90.53%	3.17%
14	BC261	93.63%	0.07%	14	BC261 LOAD	90.46%	3.17%
15	BC308	93.55%	0.08%	15	BC308 LOAD	90.38%	3.17%
16	BC304	93.54%	0.01%	16	BC304 LOAD	90.37%	3.17%
17	TA125	93.50%	0.04%	17	TA125 LOAD	90.33%	3.17%
18	MK263	93.48%	0.02%	18	MK263 LOAD	90.30%	3.18%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.362%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.14%

Tabel 4.6 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

#### P. BEDAK

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	BC170	98.49%	1.51%	1	BC170 LOAD	95.44%	3.05%
2	BC186	98.32%	0.17%	2	BC186 LOAD	95.26%	3.06%
3	BC220	98.24%	0.08%	3	BC220 LOAD	95.17%	3.07%
4	BC223	98.17%	0.07%	4	BC223 LOAD	95.11%	3.06%
5	BC93	98.13%	0.04%	5	BC93 LOAD	95.06%	3.07%
6	BC211	98.08%	0.05%	6	BC211 LOAD	95.01%	3.07%
7	BC185	98.02%	0.06%	7	BC185 LOAD	94.96%	3.06%
8	BC153	97.98%	0.04%	8	BC153 LOAD	94.91%	3.07%
9	BC70	97.84%	0.14%	9	BC70 LOAD	94.77%	3.07%
10	BC112	97.79%	0.05%	10	BC112 LOAD	94.72%	3.07%
11	BC349	97.79%	0.00%	11	BC349 LOAD	94.71%	3.08%
12	BC82	97.78%	0.01%	12	BC82 LOAD	94.70%	3.08%
13	BC85	97.76%	0.02%	13	BC85 LOAD	94.69%	3.07%
14	BC130	97.71%	0.05%	14	BC130 LOAD	94.63%	3.08%
15	TG352	97.67%	0.04%	15	TG352 LOAD	94.60%	3.07%
16	DK231	97.65%	0.02%	16	DK231 LOAD	94.57%	3.08%
17	DK228	97.64%	0.01%	17	DK228 LOAD	94.56%	3.08%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.14%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.07%

#### 4.2.3 Analisa Keandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

Untuk menguji keandalan proses perbaikan dengan penggantian kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> pada Penyulang Pupur dan Bedak, jaringan yang kedua kabel penyulangnya telah diganti dengan kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup>, disimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0 dalam dua kondisi pembebanan, yaitu 60% dan 110% dari beban puncak.

Hasil simulasi pembebanan 60% dari beban puncak, dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.8. Dari kedua tabel tersebut terlihat, pada saat kondisi beban ringan

(beban 60%), nilai tegangan pada masing-masing bus pada kedua penyulang tidak mengalami tegangan berlebih (*overvoltage*).

Tabel 4.7 Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Kehandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	KDR1	98.79%	1	KDR1 LOAD	96.98%
2	BC333P	98.62%	2	BC333P LOAD	96.82%
3	BC139	98.26%	3	BC139 LOAD	96.45%
4	BC109	98.14%	4	BC109 LOAD	96.33%
5	BC262	97.46%	5	BC262 LOAD	95.64%
6	TG481	97.25%	6	TG481 LOAD	95.43%
7	CKG2	97.03%	7	CKG2 LOAD	95.21%
8	BC260	96.82%	8	BC260 LOAD	94.99%
9	BC276	96.72%	9	BC276 LOAD	94.89%
10	TN164T	96.68%	10	TN164T LOAD	94.85%
11	CKG3	96.64%	11	CKG3 LOAD	94.81%
12	BC309	96.60%	12	BC309 LOAD	94.77%
13	BC302	96.53%	13	BC302 LOAD	94.70%
14	BC261	96.49%	14	BC261 LOAD	94.66%
15	BC308	96.44%	15	BC308 LOAD	94.61%
16	BC304	96.43%	16	BC304 LOAD	94.60%
17	TA125	96.42%	17	TA125 LOAD	94.58%
18	MK263	96.40%	18	MK263 LOAD	94.57%

Tabel 4.8 Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Kehandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	BC170	99.13%	1	BC170 LOAD	97.34%
2	BC186	99.04%	2	BC186 LOAD	97.24%
3	BC220	98.99%	3	BC220 LOAD	97.19%
4	BC223	98.95%	4	BC223 LOAD	97.15%
5	BC93	98.93%	5	BC93 LOAD	97.12%
6	BC211	98.89%	6	BC211 LOAD	97.10%
7	BC185	98.86%	7	BC185 LOAD	97.06%
8	BC153	98.84%	8	BC153 LOAD	97.04%
9	BC70	98.76%	9	BC70 LOAD	96.96%
10	BC112	98.73%	10	BC112 LOAD	96.93%
11	BC349	98.73%	11	BC349 LOAD	96.92%
12	BC82	98.72%	12	BC82 LOAD	96.92%
13	BC85	98.71%	13	BC85 LOAD	96.91%
14	BC130	98.68%	14	BC130 LOAD	96.88%
15	TG352	98.66%	15	TG352 LOAD	96.86%
16	DK231	98.65%	16	DK231 LOAD	96.85%

17	DK228	98.64%	17	DK228 LOAD	96.84%
----	-------	--------	----	------------	--------

Hasil simulasi saat pembebanan 110% dari beban puncak dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan 4.10. Pada tabel 4.9 terlihat, saat kondisi pembebanan sebesar 110% dari beban puncak, nilai tegangan menengah pada Penyulang Pupur (Bus BC262-Bus MK263) masih lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan toleransi yang diperbolehkan dalam simulasi ini yaitu sebesar 95% dari nilai tegangan nominal (20 kV). Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan kualitas tegangan dengan penggantian kabel penyulang hanya akan optimal pada jaringan dengan beban ringan. Sedangkan pada jaringan dengan beban tinggi, perbaikan yang optimal akan sulit dicapai. Dengan demikian perbaikan kualitas tegangan dengan penggantian kabel penyulang dapat dikategorikan kurang handal.

Tabel 4.9 Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Kehandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	KDR1	97.51%	1	KDR1 LOAD	94.11%
2	BC333P	97.18%	2	BC333P LOAD	93.77%
3	BC139	96.44%	3	BC139 LOAD	93.02%
4	BC109	96.20%	4	BC109 LOAD	92.76%
5	BC262	94.82%	5	BC262 LOAD	91.35%
6	TG481	94.41%	6	TG481 LOAD	90.93%
7	CKG2	93.96%	7	CKG2 LOAD	90.47%
8	BC260	93.54%	8	BC260 LOAD	90.03%
9	BC276	93.34%	9	BC276 LOAD	89.83%
10	TN164T	93.27%	10	TN164T LOAD	89.75%
11	CKG3	93.18%	11	CKG3 LOAD	89.67%
12	BC309	93.11%	12	BC309 LOAD	89.59%
13	BC302	92.96%	13	BC302 LOAD	89.44%
14	BC261	92.88%	14	BC261 LOAD	89.36%
15	BC308	92.79%	15	BC308 LOAD	89.26%
16	BC304	92.77%	16	BC304 LOAD	89.25%
17	TA125	92.73%	17	TA125 LOAD	89.20%
18	MK263	92.71%	18	MK263 LOAD	89.18%

Tabel 4.10 Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Penggantian Kabel XLPE 300 mm<sup>2</sup> Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	BC170	98.32%	1	BC170 LOAD	94.95%
2	BC186	98.14%	2	BC186 LOAD	94.75%
3	BC220	98.04%	3	BC220 LOAD	94.65%
4	BC223	97.97%	4	BC223 LOAD	94.58%
5	BC93	97.93%	5	BC93 LOAD	94.53%
6	BC211	97.87%	6	BC211 LOAD	94.48%
7	BC185	97.81%	7	BC185 LOAD	94.42%
8	BC153	97.76%	8	BC153 LOAD	94.36%
9	BC70	97.61%	9	BC70 LOAD	94.21%
10	BC112	97.55%	10	BC112 LOAD	94.15%
11	BC349	97.54%	11	BC349 LOAD	94.14%
12	BC82	97.54%	12	BC82 LOAD	94.13%
13	BC85	97.51%	13	BC85 LOAD	94.11%
14	BC130	97.45%	14	BC130 LOAD	94.05%
15	TG352	97.42%	15	TG352 LOAD	94.01%
16	DK231	97.39%	16	DK231 LOAD	93.99%
17	DK228	97.38%	17	DK228 LOAD	93.98%

**4.3 ANALISA PEMASANGAN BANK KAPASITOR (Beban 100%)**

**4.3.1 Analisa Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur**

Proses perbaikan diawali dengan penentuan besar bank kapasitor yang akan dipasang pada Penyulang Pupur. Dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0, dapat ditentukan besar bank kapasitor yang akan digunakan agar dapat memperbaiki faktor daya Penyulang Pupur menjadi bernilai satu (*unity*) yaitu sebesar 4800 kVAR. Penempatan bank kapasitor yang paling optimal adalah pada gardu distribusi BC276.

Setelah dilakukan pemasangan bank kapasitor pada tempat yang paling optimal di Penyulang Pupur barulah dilakukan simulasi dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut didapatkan data berupa nilai tegangan dan jatuh tegangan pada Penyulang Pupur dan Bedak seperti pada Tabel 4.11 dan 4.12. Rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,221% dan 3,09%. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan pada

Penyulang Bedak di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,16% dan 3,08%. Rugi-rugi daya total yang terjadi pada jaringan mengalami penurunan sebesar 16,88% dari kondisi awal jaringan dan faktor daya jaringan adalah 95.3 *lagging*.

Jika dibandingkan dengan kondisi awal jaringan, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah mengalami penurunan. Sedangkan pada Penyulang Bedak, rata-rata jatuh tegangan yang terjadi di sepanjang penyulang tersebut sama seperti saat kondisi awal jaringan. Penurunan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur terjadi karena bank kapasitor yang dipasang pada penyulang tersebut akan menghasilkan arus *leading* ( $I_C$ ) yang akan mengkompensasi arus *lagging* yang diserap oleh beban ( $I_L$ ), sehingga akan timbul kondisi saling meniadakan antara arus *lagging* dan arus *leading* ( $I_L - I_C$ ) (Lihat persamaan 2.16). Dengan demikian arus total yang mengalir ke beban akan mengalami penurunan dan jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Pupur akan berkurang (lihat persamaan 2.6).

Akan tetapi pemasangan bank kapasitor pada Penyulang Pupur hanya akan memperbaiki jatuh tegangan pada penyulang tersebut dan tidak akan mempengaruhi jatuh tegangan pada Penyulang Bedak. Sehingga jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Bedak tidak mengalami perbaikan.

Seperti halnya jatuh tegangan, rugi-rugi daya pada jaringan pun mengalami penurunan. Penurunan rugi-rugi daya tersebut terjadi karena arus total yang mengalir pada Penyulang Pupur mengalami penurunan, akibat arus kompensasi ( $I_C$ ) yang dihasilkan oleh bank kapasitor akan mengurangi arus *lagging* ( $I_L$ ) yang diserap oleh beban. Dengan demikian rugi-rugi daya ( $I^2R$ ) yang terjadi pada Penyulang Pupur pun akan berkurang. Dan pada akhirnya akan mengurangi rugi-rugi daya total yang terjadi pada kedua penyulang tersebut.

Tabel 4.11 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	KDR1	98.59%	1.41%	1	KDR1 LOAD	95.53%	3.06%
2	BC333P	98.40%	0.19%	2	BC333P LOAD	95.35%	3.05%

3	BC139	98.01%	0.39%	3	BC139 LOAD	94.94%	3.07%
4	BC109	97.89%	0.12%	4	BC109 LOAD	94.82%	3.07%
5	BC262	97.23%	0.66%	5	BC262 LOAD	94.15%	3.08%
6	TG481	97.05%	0.18%	6	TG481 LOAD	93.96%	3.09%
7	CKG2	96.87%	0.18%	7	CKG2 LOAD	93.78%	3.09%
8	BC260	96.71%	0.16%	8	BC260 LOAD	93.61%	3.10%
9	BC276	96.65%	0.06%	9	BC276 LOAD	93.56%	3.09%
10	TN164T	96.58%	0.07%	10	TN164T LOAD	93.48%	3.10%
11	CKG3	96.50%	0.08%	11	CKG3 LOAD	93.40%	3.10%
12	BC309	96.42%	0.08%	12	BC309 LOAD	93.32%	3.10%
13	BC302	96.27%	0.15%	13	BC302 LOAD	93.16%	3.11%
14	BC261	96.19%	0.08%	14	BC261 LOAD	93.08%	3.11%
15	BC308	96.11%	0.08%	15	BC308 LOAD	92.99%	3.12%
16	BC304	96.09%	0.02%	16	BC304 LOAD	92.98%	3.11%
17	TA125	96.05%	0.04%	17	TA125 LOAD	92.93%	3.12%
18	MK263	96.02%	0.03%	18	MK263 LOAD	92.91%	3.11%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.221%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.09%

Tabel 4.12 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur

#### P. BEDAK

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan
1	BC170	98.29%	1.71%	1	BC170 LOAD	95.23%	3.06%
2	BC186	98.10%	0.19%	2	BC186 LOAD	95.03%	3.07%
3	BC220	98.00%	0.10%	3	BC220 LOAD	94.93%	3.07%
4	BC223	97.93%	0.07%	4	BC223 LOAD	94.86%	3.07%
5	BC93	97.88%	0.05%	5	BC93 LOAD	94.81%	3.07%
6	BC211	97.82%	0.06%	6	BC211 LOAD	94.75%	3.07%
7	BC185	97.74%	0.08%	7	BC185 LOAD	94.66%	3.08%
8	BC153	97.67%	0.07%	8	BC153 LOAD	94.59%	3.08%
9	BC70	97.51%	0.16%	9	BC70 LOAD	94.43%	3.08%
10	BC112	97.46%	0.05%	10	BC112 LOAD	94.37%	3.09%
11	BC349	97.45%	0.01%	11	BC349 LOAD	94.37%	3.08%
12	BC82	97.44%	0.01%	12	BC82 LOAD	94.36%	3.08%
13	BC85	97.42%	0.02%	13	BC85 LOAD	94.34%	3.08%
14	BC130	97.36%	0.06%	14	BC130 LOAD	94.28%	3.08%
15	TG352	97.32%	0.04%	15	TG352 LOAD	94.24%	3.08%
16	DK231	97.30%	0.02%	16	DK231 LOAD	94.21%	3.09%
17	DK228	97.28%	0.02%	17	DK228 LOAD	94.20%	3.08%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.16%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.08%

### 4.3.2 Analisa Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

Seperti perbaikan sebelumnya, bank kapasitor yang akan digunakan pada Penyulang Pupur adalah sebesar 4800 kVAR dengan penempatan yang paling optimal pada gardu distribusi BC276. Sama seperti Penyulang Pupur, penentuan ukuran dan penempatan bank kapasitor pada Penyulang Bedak juga didapatkan melalui proses simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut didapatkan ukuran bank kapasitor yang akan digunakan yaitu sebesar 4500 kVAR dengan penempatan yang paling optimal pada gardu distribusi BC70. Bank kapasitor tersebut akan memperbaiki faktor daya pada Penyulang Bedak menjadi bernilai satu (*unity*).

Setelah dilakukan pemasangan bank kapasitor pada kedua penyulang tersebut, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut didapatkan data berupa nilai tegangan dan jatuh tegangan pada Penyulang Pupur dan Bedak. Pada Tabel 4.13 terlihat rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,221% dan 3,09%. Sedangkan untuk Penyulang Bedak dapat dilihat pada tabel 4.14, dimana rata-rata jatuh tegangan di sisi tegangan menengah dan rendah penyulang tersebut sebesar 0,086% dan 3,05%. Rugi-rugi daya total pada kedua penyulang tersebut mengalami penurunan sebesar 22,58% dibandingkan kondisi awal jaringan dan faktor daya jaringan adalah satu (*unity*).

Jika dibandingkan dengan proses perbaikan sebelumnya, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah tidak mengalami perubahan. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak mengalami penurunan, baik di sisi tegangan menengah maupun rendah.

Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan bank kapasitor pada Penyulang Bedak, hanya akan memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang tersebut dan tidak akan mempengaruhi jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Pupur, begitu pula sebaliknya.

Perbaikan jatuh tegangan pada kedua penyulang terjadi karena bank kapasitor yang dipasang pada kedua penyulang tersebut akan menghasilkan arus *leading* ( $I_C$ ) yang akan mengkompensasi arus *lagging* ( $I_L$ ) yang diserap oleh beban.

Dengan demikian akan timbul efek saling meniadakan antara kedua arus tersebut ( $I_L - I_C$ ) (Lihat persamaan 2.16). Sehingga arus total yang mengalir pada kedua penyulang tersebut akan mengalami penurunan dan akan mengurangi jatuh tegangan yang terjadi pada kedua penyulang tersebut (Lihat persamaan 2.6). Berkurangnya arus total yang mengalir pada kedua penyulang tersebut juga akan mengurangi rugi-rugi daya total jaringan ( $I^2R$ ).

Jika dibandingkan dengan perbaikan sebelumnya, perbaikan dengan pemasangan bank kapasitor pada Penyulang Pupur dan Bedak menghasilkan perbaikan yang lebih optimal. Dimana tegangan terendah di sisi tegangan menengah Penyulang Pupur sebesar 96,02% dari tegangan nominal. Sedangkan untuk Penyulang Bedak, nilai tegangan menengah yang paling rendah sebesar 98,53% dari nilai tegangan nominal. Kedua nilai tersebut masih lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan toleransi yang diperbolehkan dalam simulasi ini yaitu sebesar 95% dari tegangan nominal.

Tabel 4.13 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

#### P. PUPUR

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	KDR1	98.59%	1.41%	1	KDR1 LOAD	95.53%	3.06%
2	BC333P	98.40%	0.19%	2	BC333P LOAD	95.35%	3.05%
3	BC139	98.01%	0.39%	3	BC139 LOAD	94.94%	3.07%
4	BC109	97.89%	0.12%	4	BC109 LOAD	94.82%	3.07%
5	BC262	97.23%	0.66%	5	BC262 LOAD	94.15%	3.08%
6	TG481	97.05%	0.18%	6	TG481 LOAD	93.96%	3.09%
7	CKG2	96.87%	0.18%	7	CKG2 LOAD	93.78%	3.09%
8	BC260	96.71%	0.16%	8	BC260 LOAD	93.61%	3.10%
9	BC276	96.65%	0.06%	9	BC276 LOAD	93.56%	3.09%
10	TN164T	96.58%	0.07%	10	TN164T LOAD	93.48%	3.10%
11	CKG3	96.50%	0.08%	11	CKG3 LOAD	93.40%	3.10%
12	BC309	96.42%	0.08%	12	BC309 LOAD	93.32%	3.10%
13	BC302	96.27%	0.15%	13	BC302 LOAD	93.16%	3.11%
14	BC261	96.19%	0.08%	14	BC261 LOAD	93.08%	3.11%
15	BC308	96.11%	0.08%	15	BC308 LOAD	92.99%	3.12%
16	BC304	96.09%	0.02%	16	BC304 LOAD	92.98%	3.11%
17	TA125	96.05%	0.04%	17	TA125 LOAD	92.93%	3.12%
18	MK263	96.02%	0.03%	18	MK263 LOAD	92.91%	3.11%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.221%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.09%

Tabel 4.14 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan
1	BC170	99.08%	0.92%	1	BC170 LOAD	96.03%	3.05%
2	BC186	98.98%	0.10%	2	BC186 LOAD	95.93%	3.05%
3	BC220	98.94%	0.04%	3	BC220 LOAD	95.89%	3.05%
4	BC223	98.90%	0.04%	4	BC223 LOAD	95.86%	3.04%
5	BC93	98.88%	0.02%	5	BC93 LOAD	95.83%	3.05%
6	BC211	98.86%	0.02%	6	BC211 LOAD	95.82%	3.04%
7	BC185	98.83%	0.03%	7	BC185 LOAD	95.78%	3.05%
8	BC153	98.80%	0.03%	8	BC153 LOAD	95.74%	3.06%
9	BC70	98.76%	0.04%	9	BC70 LOAD	95.71%	3.05%
10	BC112	98.71%	0.05%	10	BC112 LOAD	95.65%	3.06%
11	BC349	98.70%	0.01%	11	BC349 LOAD	95.65%	3.05%
12	BC82	98.69%	0.01%	12	BC82 LOAD	95.64%	3.05%
13	BC85	98.67%	0.02%	13	BC85 LOAD	95.62%	3.05%
14	BC130	98.61%	0.06%	14	BC130 LOAD	95.56%	3.05%
15	TG352	98.57%	0.04%	15	TG352 LOAD	95.52%	3.05%
16	DK231	98.55%	0.02%	16	DK231 LOAD	95.49%	3.06%
17	DK228	98.53%	0.02%	17	DK228 LOAD	95.48%	3.05%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.086%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.05%

**4.3.3 Analisa Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak**

Untuk menguji keandalan perbaikan dengan pemasangan bank kapasitor pada Penyulang Pupur dan Bedak perlu dilakukan pengujian terhadap jaringan pada dua kondisi pembebanan, yaitu 60% dan 110% dari beban puncak.

Hasil simulasi pembebanan sebesar 60% dari beban puncak dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan 4.16. Dari kedua tabel tersebut terlihat, nilai tegangan pada masing-masing bus tegangan menengah pada kedua penyulang tidak mengalami tegangan berlebih (*overvoltage*) pada saat beban ringan.

Tabel 4.15 Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	KDR1	99.75%	1	KDR1 LOAD	97.96%

2	BC333P	99.72%	2	BC333P LOAD	97.93%
3	BC139	99.66%	3	BC139 LOAD	97.87%
4	BC109	99.65%	4	BC109 LOAD	97.86%
5	BC262	99.63%	5	BC262 LOAD	97.84%
6	TG481	99.64%	6	TG481 LOAD	97.84%
7	CKG2	99.66%	7	CKG2 LOAD	97.87%
8	BC260	99.69%	8	BC260 LOAD	97.90%
9	BC276	99.73%	9	BC276 LOAD	97.94%
10	TN164T	99.69%	10	TN164T LOAD	97.90%
11	CKG3	99.64%	11	CKG3 LOAD	97.85%
12	BC309	99.60%	12	BC309 LOAD	97.81%
13	BC302	99.52%	13	BC302 LOAD	97.72%
14	BC261	99.47%	14	BC261 LOAD	97.68%
15	BC308	99.43%	15	BC308 LOAD	97.63%
16	BC304	99.41%	16	BC304 LOAD	97.62%
17	TA125	99.39%	17	TA125 LOAD	97.60%
18	MK263	99.38%	18	MK263 LOAD	97.59%

Tabel 4.16 Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%

#### P. BEDAK

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	BC170	99.81%	1	BC170 LOAD	98.02%
2	BC186	99.79%	2	BC186 LOAD	98.00%
3	BC220	99.79%	3	BC220 LOAD	98.00%
4	BC223	99.79%	4	BC223 LOAD	98.00%
5	BC93	99.79%	5	BC93 LOAD	97.99%
6	BC211	99.79%	6	BC211 LOAD	98.00%
7	BC185	99.79%	7	BC185 LOAD	98.00%
8	BC153	99.79%	8	BC153 LOAD	98.00%
9	BC70	99.82%	9	BC70 LOAD	98.03%
10	BC112	99.79%	10	BC112 LOAD	98.00%
11	BC349	99.79%	11	BC349 LOAD	97.99%
12	BC82	99.78%	12	BC82 LOAD	97.99%
13	BC85	99.77%	13	BC85 LOAD	97.98%
14	BC130	99.73%	14	BC130 LOAD	97.94%
15	TG352	99.71%	15	TG352 LOAD	97.92%
16	DK231	99.70%	16	DK231 LOAD	97.91%
17	DK228	99.69%	17	DK228 LOAD	97.90%

Untuk hasil pengujian pada pembebanan sebesar 110% dari beban puncak dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan 4.18. Dari kedua tabel tersebut terlihat, nilai tegangan pada masing-masing bus tegangan menengah pada kedua penyulang masih diatas nilai tegangan toleransi yang diperbolehkan dalam simulasi ini yaitu

sebesar 95% dari tegangan nominal (20 kV). Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa perbaikan dengan pemasangan bank kapasitor pada Penyulang Pupur dan Bedak merupakan perbaikan yang optimal dan handal dalam memperbaiki jatuh tegangan di sisi tegangan menengah untuk berbagai tingkat pembebanan.

Tabel 4.17 Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	KDR1	98.28%	1	KDR1 LOAD	94.90%
2	BC333P	98.06%	2	BC333P LOAD	94.67%
3	BC139	97.58%	3	BC139 LOAD	94.18%
4	BC109	97.42%	4	BC109 LOAD	94.02%
5	BC262	96.60%	5	BC262 LOAD	93.18%
6	TG481	96.37%	6	TG481 LOAD	92.94%
7	CKG2	96.14%	7	CKG2 LOAD	92.70%
8	BC260	95.92%	8	BC260 LOAD	92.48%
9	BC276	95.84%	9	BC276 LOAD	92.40%
10	TN164T	95.76%	10	TN164T LOAD	92.32%
11	CKG3	95.67%	11	CKG3 LOAD	92.22%
12	BC309	95.59%	12	BC309 LOAD	92.13%
13	BC302	95.42%	13	BC302 LOAD	91.96%
14	BC261	95.33%	14	BC261 LOAD	91.87%
15	BC308	95.23%	15	BC308 LOAD	91.77%
16	BC304	95.21%	16	BC304 LOAD	91.75%
17	TA125	95.17%	17	TA125 LOAD	91.71%
18	MK263	95.14%	18	MK263 LOAD	91.68%

Tabel 4.18 Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Pemasangan Bank Kapasitor Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	BC170	98.89%	1	BC170 LOAD	95.52%
2	BC186	98.77%	2	BC186 LOAD	95.40%
3	BC220	98.72%	3	BC220 LOAD	95.34%
4	BC223	98.68%	4	BC223 LOAD	95.31%
5	BC93	98.65%	5	BC93 LOAD	95.28%
6	BC211	98.62%	6	BC211 LOAD	95.25%
7	BC185	98.58%	7	BC185 LOAD	95.21%
8	BC153	98.54%	8	BC153 LOAD	95.16%
9	BC70	98.49%	9	BC70 LOAD	95.11%

10	BC112	98.43%	10	BC112 LOAD	95.05%
11	BC349	98.42%	11	BC349 LOAD	95.04%
12	BC82	98.41%	12	BC82 LOAD	95.03%
13	BC85	98.38%	13	BC85 LOAD	95.01%
14	BC130	98.32%	14	BC130 LOAD	94.94%
15	TG352	98.28%	15	TG352 LOAD	94.90%
16	DK231	98.25%	16	DK231 LOAD	94.87%
17	DK228	98.23%	17	DK228 LOAD	94.85%

#### 4.4 ANALISA PENGATURAN TRAFU PENGUBAH TAP (Beban 100%)

##### 4.4.1 Analisa Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur

Setelah dilakukan pengaturan tap trafo pada seluruh gardu distribusi di sepanjang Penyulang Pupur, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Ukuran tap trafo diatur secara otomatis agar dapat memperbaiki tegangan keluaran trafo menjadi sebesar 100% dari tegangan nominal (380 V).

Dari hasil simulasi didapatkan data berupa nilai tegangan dan jatuh tegangan pada Penyulang Pupur dan Bedak seperti terlihat pada Tabel 4.19 dan 4.20. Rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,43% dan -5,09%. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,16% dan 3,08%. Rugi-rugi daya total jaringan mengalami kenaikan sebesar 5,41% dibandingkan kondisi awal jaringan.

Jika dibandingkan dengan kondisi awal jaringan, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur untuk tegangan menengah mengalami peningkatan. Sedangkan jatuh tegangan pada bagian tegangan rendah mengalami penurunan. Dan untuk Penyulang Bedak, jatuh tegangan yang terjadi di sisi tegangan menengah dan rendah nilainya tidak berubah.

Penurunan jatuh tegangan yang terjadi pada sisi tegangan rendah dari Penyulang Pupur, disebabkan oleh pengaturan tap trafo yang dilakukan pada seluruh gardu distribusi di sepanjang penyulang tersebut agar dapat menaikkan tegangan keluaran trafo menjadi sebesar 100% dari tegangan nominal. Dengan demikian tegangan keluaran trafo akan tetap terjaga dalam batas toleransi yang telah ditentukan.

Akan tetapi, pengaturan tap trafo yang dilakukan pada Penyulang Pupur hanya memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi pada sisi tegangan rendah penyulang tersebut, dan tidak mempengaruhi jatuh tegangan pada sisi tegangan rendah Penyulang Bedak. Sehingga jatuh tegangan pada sisi tegangan rendah Penyulang Bedak tidak mengalami perbaikan.

Pengaturan tap trafo pada Penyulang Pupur menyebabkan meningkatnya rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya nilai impedansi trafo pada saat proses perbaikan tegangan. Saat proses perbaikan tersebut, trafo secara otomatis akan menaikkan jumlah lilitan sekundernya agar dapat menjaga tegangan keluaran tetap bernilai konstan. Penambahan jumlah lilitan sekunder itulah yang telah menaikkan nilai impedansi trafo. Sehingga rugi-rugi daya ( $I^2R$ ) yang terjadi pada Penyulang Pupur akan mengalami peningkatan, dan pada akhirnya akan meningkatkan rugi-rugi daya total jaringan.

Tabel 4.19 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	KDR1	97.35%	2.65%	1	KDR1 LOAD	100.08%	-2.73%
2	BC333P	97.00%	0.35%	2	BC333P LOAD	99.70%	-2.70%
3	BC139	96.22%	0.78%	3	BC139 LOAD	100.00%	-3.78%
4	BC109	95.96%	0.26%	4	BC109 LOAD	99.71%	-3.75%
5	BC262	94.50%	1.46%	5	BC262 LOAD	99.79%	-5.29%
6	TG481	94.05%	0.45%	6	TG481 LOAD	99.86%	-5.81%
7	CKG2	93.58%	0.47%	7	CKG2 LOAD	99.33%	-5.75%
8	BC260	93.13%	0.45%	8	BC260 LOAD	98.81%	-5.68%
9	BC276	92.92%	0.21%	9	BC276 LOAD	98.58%	-5.66%
10	TN164T	92.84%	0.08%	10	TN164T LOAD	98.49%	-5.65%
11	CKG3	92.75%	0.09%	11	CKG3 LOAD	98.39%	-5.64%
12	BC309	92.67%	0.08%	12	BC309 LOAD	98.30%	-5.63%
13	BC302	92.51%	0.16%	13	BC302 LOAD	98.12%	-5.61%
14	BC261	92.43%	0.08%	14	BC261 LOAD	98.02%	-5.59%
15	BC308	92.34%	0.09%	15	BC308 LOAD	97.92%	-5.58%
16	BC304	92.31%	0.03%	16	BC304 LOAD	97.90%	-5.59%
17	TA125	92.27%	0.04%	17	TA125 LOAD	97.85%	-5.58%
18	MK263	92.25%	0.02%	18	MK263 LOAD	97.82%	-5.57%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.43%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			-5.09%

Tabel 4.20 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan
1	BC170	98.29%	1.71%	1	BC170 LOAD	95.23%	3.06%
2	BC186	98.10%	0.19%	2	BC186 LOAD	95.03%	3.07%
3	BC220	98.00%	0.10%	3	BC220 LOAD	94.93%	3.07%
4	BC223	97.93%	0.07%	4	BC223 LOAD	94.86%	3.07%
5	BC93	97.88%	0.05%	5	BC93 LOAD	94.81%	3.07%
6	BC211	97.82%	0.06%	6	BC211 LOAD	94.75%	3.07%
7	BC185	97.74%	0.08%	7	BC185 LOAD	94.66%	3.08%
8	BC153	97.67%	0.07%	8	BC153 LOAD	94.59%	3.08%
9	BC70	97.51%	0.16%	9	BC70 LOAD	94.43%	3.08%
10	BC112	97.46%	0.05%	10	BC112 LOAD	94.37%	3.09%
11	BC349	97.45%	0.01%	11	BC349 LOAD	94.37%	3.08%
12	BC82	97.44%	0.01%	12	BC82 LOAD	94.36%	3.08%
13	BC85	97.42%	0.02%	13	BC85 LOAD	94.34%	3.08%
14	BC130	97.36%	0.06%	14	BC130 LOAD	94.28%	3.08%
15	TG352	97.32%	0.04%	15	TG352 LOAD	94.24%	3.08%
16	DK231	97.30%	0.02%	16	DK231 LOAD	94.21%	3.09%
17	DK228	97.28%	0.02%	17	DK228 LOAD	94.20%	3.08%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			<b>0.16%</b>	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			<b>3.08%</b>

**4.4.2 Analisa Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak**

Pada percobaan ini pengaturan tap trafo dilakukan pada seluruh gardu distribusi pada Penyulang Pupur dan Bedak. Perubahan tap trafo diatur secara otomatis agar dapat memperbaiki tegangan keluaran trafo sebesar 100% dari tegangan nominal (380 V). Setelah dilakukan pengaturan tap trafo pada seluruh gardu distribusi pada kedua penyulang, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0.

Dari hasil simulasi tersebut didapatkan data berupa nilai tegangan dan jatuh tegangan pada kedua penyulang. Pada Tabel 4.21 dapat dilihat rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,43% dan -5,09%. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan di sisi tegangan menengah dan rendah Penyulang Bedak dapat dilihat pada Tabel 4.22, yaitu sebesar 0,164%

dan -2,44%. Rugi-rugi daya pada jaringan mengalami kenaikan sebesar 6,85% dibandingkan kondisi awal jaringan.

Jika dibandingkan dengan perbaikan sebelumnya, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur tidak mengalami perubahan. Sedangkan pada Penyulang Bedak, rata-rata jatuh tegangan di sisi tegangan menengah mengalami peningkatan dan pada sisi tegangan rendah mengalami penurunan.

Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan tap trafo pada Penyulang Bedak tidak mempengaruhi jatuh tegangan yang terjadi pada sisi tegangan rendah Penyulang Pupur, begitu pula sebaliknya. Sehingga pengaturan tap trafo pada Penyulang Bedak hanya akan memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi pada sisi tegangan rendah penyulang tersebut dan tidak akan memperbaiki jatuh tegangan di sisi tegangan rendah pada Penyulang Pupur.

Penurunan rata-rata jatuh tegangan pada sisi tegangan rendah Penyulang Pupur dan Bedak diakibatkan oleh pengaturan tap trafo yang dilakukan pada seluruh gardu distribusi di sepanjang penyulang tersebut. Pengaturan tap trafo diatur agar dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100% dari tegangan nominal. Dengan demikian tegangan keluaran trafo akan terjaga dalam batas toleransi yang telah ditentukan, serta jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang dapat dikurangi.

Pengaturan tap trafo pada Penyulang Pupur dan Bedak menyebabkan meningkatnya rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan. Peningkatan tersebut diakibatkan oleh meningkatnya jumlah lilitan sekunder trafo saat terjadi perbaikan tegangan. Peningkatan jumlah lilitan tersebut akan meningkatkan nilai impedansi trafo, yang pada akhirnya akan meningkatkan rugi-rugi daya ( $I^2R$ ) pada jaringan.

Jika dibandingkan dengan perbaikan sebelumnya, pengaturan tap trafo pada Penyulang Pupur dan Bedak lebih optimal. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan 4.22, dimana tegangan terendah di sisi tegangan rendah Penyulang Pupur sebesar 97,82% dari tegangan nominal. Sedangkan pada Penyulang Bedak adalah sebesar 99,93% dari tegangan nominal. Kedua nilai tersebut masih lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan toleransi yang diperbolehkan pada simulasi ini, yaitu sebesar 95% dari tegangan nominal (380 V).

Tabel 4.21 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	KDR1	97.35%	2.65%	1	KDR1 LOAD	100.08%	-2.73%
2	BC333P	97.00%	0.35%	2	BC333P LOAD	99.70%	-2.70%
3	BC139	96.22%	0.78%	3	BC139 LOAD	100.00%	-3.78%
4	BC109	95.96%	0.26%	4	BC109 LOAD	99.71%	-3.75%
5	BC262	94.50%	1.46%	5	BC262 LOAD	99.79%	-5.29%
6	TG481	94.05%	0.45%	6	TG481 LOAD	99.86%	-5.81%
7	CKG2	93.58%	0.47%	7	CKG2 LOAD	99.33%	-5.75%
8	BC260	93.13%	0.45%	8	BC260 LOAD	98.81%	-5.68%
9	BC276	92.92%	0.21%	9	BC276 LOAD	98.58%	-5.66%
10	TN164T	92.84%	0.08%	10	TN164T LOAD	98.49%	-5.65%
11	CKG3	92.75%	0.09%	11	CKG3 LOAD	98.39%	-5.64%
12	BC309	92.67%	0.08%	12	BC309 LOAD	98.30%	-5.63%
13	BC302	92.51%	0.16%	13	BC302 LOAD	98.12%	-5.61%
14	BC261	92.43%	0.08%	14	BC261 LOAD	98.02%	-5.59%
15	BC308	92.34%	0.09%	15	BC308 LOAD	97.92%	-5.58%
16	BC304	92.31%	0.03%	16	BC304 LOAD	97.90%	-5.59%
17	TA125	92.27%	0.04%	17	TA125 LOAD	97.85%	-5.58%
18	MK263	92.25%	0.02%	18	MK263 LOAD	97.82%	-5.57%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.43%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			-5.09%

Tabel 4.22 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	BC170	98.25%	1.75%	1	BC170 LOAD	99.88%	-1.63%
2	BC186	98.05%	0.20%	2	BC186 LOAD	100.25%	-2.20%
3	BC220	97.95%	0.10%	3	BC220 LOAD	100.15%	-2.20%
4	BC223	97.88%	0.07%	4	BC223 LOAD	100.07%	-2.19%
5	BC93	97.83%	0.05%	5	BC93 LOAD	100.01%	-2.18%
6	BC211	97.76%	0.07%	6	BC211 LOAD	99.95%	-2.19%
7	BC185	97.68%	0.08%	7	BC185 LOAD	99.86%	-2.18%
8	BC153	97.61%	0.07%	8	BC153 LOAD	99.78%	-2.17%
9	BC70	97.45%	0.16%	9	BC70 LOAD	100.19%	-2.74%
10	BC112	97.39%	0.06%	10	BC112 LOAD	100.12%	-2.73%
11	BC349	97.39%	0.00%	11	BC349 LOAD	100.12%	-2.73%
12	BC82	97.38%	0.01%	12	BC82 LOAD	100.11%	-2.73%
13	BC85	97.35%	0.03%	13	BC85 LOAD	100.08%	-2.73%
14	BC130	97.29%	0.06%	14	BC130 LOAD	100.02%	-2.73%
15	TG352	97.25%	0.04%	15	TG352 LOAD	99.97%	-2.72%
16	DK231	97.23%	0.02%	16	DK231 LOAD	99.95%	-2.72%

17	DK228	97.21%	0.02%	17	DK228 LOAD	99.93%	-2.72%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.164%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			-2.44%

#### 4.4.3 Analisa Keandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

Untuk menguji keandalan perbaikan dengan pengaturan tap trafo pada Penyulang Pupur dan Bedak, perlu dilakukan pengujian terhadap metode perbaikan tersebut pada dua tingkat pembebanan, yaitu sebesar 60% dan 110% dari beban puncak.

Hasil pengujian pada pembebanan sebesar 60% dari beban puncak dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan 4.24. Dari kedua tabel tersebut terlihat, nilai tegangan rendah pada masing-masing bus pada kedua penyulang tidak mengalami tegangan berlebih (*overvoltage*) pada saat kondisi beban ringan (beban 60%).

Tabel 4.23 Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%

##### P. PUPUR

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	KDR1	98.56%	1	KDR1 LOAD	99.76%
2	BC333P	98.37%	2	BC333P LOAD	100.16%
3	BC139	97.94%	3	BC139 LOAD	99.71%
4	BC109	97.80%	4	BC109 LOAD	100.15%
5	BC262	97.00%	5	BC262 LOAD	99.89%
6	TG481	96.75%	6	TG481 LOAD	100.22%
7	CKG2	96.49%	7	CKG2 LOAD	99.95%
8	BC260	96.24%	8	BC260 LOAD	100.26%
9	BC276	96.13%	9	BC276 LOAD	100.14%
10	TN164T	96.09%	10	TN164T LOAD	100.10%
11	CKG3	96.04%	11	CKG3 LOAD	100.04%
12	BC309	95.99%	12	BC309 LOAD	99.99%
13	BC302	95.91%	13	BC302 LOAD	99.90%
14	BC261	95.86%	14	BC261 LOAD	99.85%
15	BC308	95.81%	15	BC308 LOAD	99.79%
16	BC304	95.80%	16	BC304 LOAD	99.78%
17	TA125	95.77%	17	TA125 LOAD	99.76%
18	MK263	95.76%	18	MK263 LOAD	99.74%

Tabel 4.24 Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	BC170	99.00%	1	BC170 LOAD	100.22%
2	BC186	98.89%	2	BC186 LOAD	100.10%
3	BC220	98.83%	3	BC220 LOAD	100.04%
4	BC223	98.79%	4	BC223 LOAD	100.00%
5	BC93	98.76%	5	BC93 LOAD	99.96%
6	BC211	98.72%	6	BC211 LOAD	99.93%
7	BC185	98.68%	7	BC185 LOAD	99.88%
8	BC153	98.63%	8	BC153 LOAD	99.83%
9	BC70	98.54%	9	BC70 LOAD	99.74%
10	BC112	98.51%	10	BC112 LOAD	99.70%
11	BC349	98.51%	11	BC349 LOAD	99.70%
12	BC82	98.50%	12	BC82 LOAD	99.69%
13	BC85	98.49%	13	BC85 LOAD	100.28%
14	BC130	98.45%	14	BC130 LOAD	100.25%
15	TG352	98.43%	15	TG352 LOAD	100.22%
16	DK231	98.42%	16	DK231 LOAD	100.21%
17	DK228	98.41%	17	DK228 LOAD	100.20%

Sedangkan hasil pengujian pada tingkat pembebanan sebesar 110% dari beban puncak dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan 4.26. Dari kedua tabel tersebut terlihat, pengaturan tap trafo pada Penyulang Pupur dan Bedak memberikan perbaikan tegangan yang optimal di sisi tegangan rendah dari kedua penyulang, pada kondisi beban tinggi (beban 110%). Dimana tegangan terendah, pada sisi tegangan rendah dari Penyulang Pupur adalah sebesar 96,64% dari tegangan nominal dan pada Penyulang Bedak sebesar 99,72% dari tegangan nominal (380 V).

Kedua nilai tersebut masih lebih besar jika dibandingkan dengan nilai tegangan toleransi yang diperbolehkan dalam simulasi ini, yaitu sebesar 95% dari tegangan nominal (380 V).

Dengan demikian pengaturan tap trafo pada Penyulang Pupur dan Bedak merupakan metode perbaikan yang optimal dan handal dalam memperbaiki nilai tegangan rendah pada berbagai tingkat pembebanan.

Tabel 4.25 Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	KDR1	97.04%	1	KDR1 LOAD	99.96%
2	BC333P	96.64%	2	BC333P LOAD	100.11%
3	BC139	95.77%	3	BC139 LOAD	99.71%
4	BC109	95.48%	4	BC109 LOAD	99.96%
5	BC262	93.85%	5	BC262 LOAD	99.24%
6	TG481	93.35%	6	TG481 LOAD	98.69%
7	CKG2	92.83%	7	CKG2 LOAD	98.09%
8	BC260	92.32%	8	BC260 LOAD	97.52%
9	BC276	92.09%	9	BC276 LOAD	97.26%
10	TN164T	92.00%	10	TN164T LOAD	97.16%
11	CKG3	91.90%	11	CKG3 LOAD	97.05%
12	BC309	91.81%	12	BC309 LOAD	96.94%
13	BC302	91.64%	13	BC302 LOAD	96.74%
14	BC261	91.54%	14	BC261 LOAD	96.63%
15	BC308	91.44%	15	BC308 LOAD	96.52%
16	BC304	91.41%	16	BC304 LOAD	96.49%
17	TA125	91.37%	17	TA125 LOAD	96.44%
18	MK263	91.34%	18	MK263 LOAD	96.40%

Tabel 4.26 Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Pengaturan Trafo Pengubah Tap Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	BC170	98.05%	1	BC170 LOAD	99.91%
2	BC186	97.83%	2	BC186 LOAD	100.25%
3	BC220	97.72%	3	BC220 LOAD	100.13%
4	BC223	97.64%	4	BC223 LOAD	100.05%
5	BC93	97.59%	5	BC93 LOAD	99.98%
6	BC211	97.52%	6	BC211 LOAD	99.91%
7	BC185	97.42%	7	BC185 LOAD	99.81%
8	BC153	97.34%	8	BC153 LOAD	99.72%
9	BC70	97.17%	9	BC70 LOAD	100.11%
10	BC112	97.10%	10	BC112 LOAD	100.03%
11	BC349	97.09%	11	BC349 LOAD	100.03%
12	BC82	97.08%	12	BC82 LOAD	100.01%
13	BC85	97.06%	13	BC85 LOAD	99.99%
14	BC130	96.99%	14	BC130 LOAD	99.92%
15	TG352	96.95%	15	TG352 LOAD	99.86%
16	DK231	96.92%	16	DK231 LOAD	99.83%
17	DK228	96.90%	17	DK228 LOAD	99.82%

## 4.5 ANALISA KOMBINASI TIGA METODE PERBAIKAN (Beban 100%)

### 4.5.1 Analisa Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur

Bank kapasitor yang dipasang pada Penyulang Pupur adalah sebesar 4800 kVAR dengan tempat pemasangan paling optimal pada gardu distribusi BC276. Kabel penyulang yang telah ada diganti dengan kabel tipe XLPE 300 mm<sup>2</sup>. Dan tap trafo pada gardu distribusi di sepanjang Penyulang Pupur diatur secara otomatis agar dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100% dari tegangan nominal.

Setelah dilakukan simulasi dalam perangkat lunak ETAP 4.0.0, didapatkan data berupa tegangan dan jatuh tegangan pada Penyulang Pupur dan Bedak seperti pada Tabel 4.27 dan 4.28. Rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,185% dan -2,53%. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,16% dan 3,08%. Rugi-rugi daya total pada jaringan mengalami penurunan sebesar 29,92% dibandingkan kondisi awal jaringan.

Jika dibandingkan dengan kondisi awal jaringan, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur mengalami penurunan. Sedangkan rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak nilainya sama seperti kondisi awal jaringan.

Penurunan rata-rata jatuh tegangan di sisi tegangan menengah Penyulang Pupur diakibatkan oleh pemasangan bank kapasitor dan penggantian kabel penyulang. Pemasangan bank kapasitor akan menghasilkan arus *leading* ( $I_C$ ) yang akan mengkompensasi arus *lagging* ( $I_L$ ) yang diserap oleh beban. Sehingga akan timbul efek saling meniadakan antara kedua nilai arus tersebut ( $I_L - I_C$ ) dan akan mengurangi arus total yang mengalir ke beban. Sedangkan penggantian kabel penyulang dengan kabel yang nilai resistansinya lebih kecil, akan mengurangi resistansi total sepanjang penyulang. Sehingga dengan kedua kondisi tersebut akan dapat mengurangi jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Pupur (Lihat persamaan 2.6). Selain memperbaiki jatuh tegangan, kedua kondisi perbaikan tersebut juga akan mengurangi rugi-rugi daya ( $I^2R$ ) yang terjadi pada jaringan.

Penurunan rata-rata jatuh tegangan di sisi tegangan rendah Penyulang Pupur disebabkan oleh pengaturan tap trafo pada gardu distribusi di sepanjang penyulang tersebut, agar dapat memperbaiki tegangan keluaran menjadi sebesar

100% dari tegangan nominal. Dengan demikian rata-rata jatuh tegangan yang terjadi di sisi tegangan rendah Penyulang Pupur akan mengalami penurunan.

Perbaikan dengan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan yang dilakukan pada Penyulang Pupur, hanya akan memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang tersebut dan tidak mempengaruhi jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Bedak. Sehingga jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Bedak tidak akan mengalami perbaikan.

Tabel 4.27 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Menggunakan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	KDR1	98.81%	1.19%	1	KDR1 LOAD	99.90%	-1.09%
2	BC333P	98.66%	0.15%	2	BC333P LOAD	99.74%	-1.08%
3	BC139	98.33%	0.33%	3	BC139 LOAD	99.97%	-1.64%
4	BC109	98.23%	0.10%	4	BC109 LOAD	99.86%	-1.63%
5	BC262	97.69%	0.54%	5	BC262 LOAD	99.86%	-2.17%
6	TG481	97.54%	0.15%	6	TG481 LOAD	99.71%	-2.17%
7	CKG2	97.40%	0.14%	7	CKG2 LOAD	100.13%	-2.73%
8	BC260	97.27%	0.13%	8	BC260 LOAD	99.99%	-2.72%
9	BC276	97.23%	0.04%	9	BC276 LOAD	99.95%	-2.72%
10	TN164T	97.16%	0.07%	10	TN164T LOAD	99.88%	-2.72%
11	CKG3	97.09%	0.07%	11	CKG3 LOAD	99.80%	-2.71%
12	BC309	97.02%	0.07%	12	BC309 LOAD	99.72%	-2.70%
13	BC302	96.89%	0.13%	13	BC302 LOAD	100.15%	-3.26%
14	BC261	96.81%	0.08%	14	BC261 LOAD	100.08%	-3.27%
15	BC308	96.74%	0.07%	15	BC308 LOAD	99.99%	-3.25%
16	BC304	96.72%	0.02%	16	BC304 LOAD	99.97%	-3.25%
17	TA125	96.68%	0.04%	17	TA125 LOAD	99.93%	-3.25%
18	MK263	96.66%	0.02%	18	MK263 LOAD	99.91%	-3.25%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.185%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			-2.53%

Tabel 4.28 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Menggunakan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	BC170	98.29%	1.71%	1	BC170 LOAD	95.23%	3.06%
2	BC186	98.10%	0.19%	2	BC186 LOAD	95.03%	3.07%
3	BC220	98.00%	0.10%	3	BC220 LOAD	94.93%	3.07%
4	BC223	97.93%	0.07%	4	BC223 LOAD	94.86%	3.07%

5	BC93	97.88%	0.05%	5	BC93 LOAD	94.81%	3.07%
6	BC211	97.82%	0.06%	6	BC211 LOAD	94.75%	3.07%
7	BC185	97.74%	0.08%	7	BC185 LOAD	94.66%	3.08%
8	BC153	97.67%	0.07%	8	BC153 LOAD	94.59%	3.08%
9	BC70	97.51%	0.16%	9	BC70 LOAD	94.43%	3.08%
10	BC112	97.46%	0.05%	10	BC112 LOAD	94.37%	3.09%
11	BC349	97.45%	0.01%	11	BC349 LOAD	94.37%	3.08%
12	BC82	97.44%	0.01%	12	BC82 LOAD	94.36%	3.08%
13	BC85	97.42%	0.02%	13	BC85 LOAD	94.34%	3.08%
14	BC130	97.36%	0.06%	14	BC130 LOAD	94.28%	3.08%
15	TG352	97.32%	0.04%	15	TG352 LOAD	94.24%	3.08%
16	DK231	97.30%	0.02%	16	DK231 LOAD	94.21%	3.09%
17	DK228	97.28%	0.02%	17	DK228 LOAD	94.20%	3.08%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.16%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			3.08%

#### 4.5.2 Analisa Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

Kondisi perbaikan pada Penyulang Pupur sama seperti pada perbaikan sebelumnya. Sedangkan perbaikan pada Penyulang Bedak diawali dengan pemasangan bank kapasitor. Ukuran bank kapasitor yang digunakan sebesar 4500 kVAR dengan penempatan yang paling optimal pada gardu distribusi BC70. Proses selanjutnya adalah mengganti kabel penyulang dengan kabel tipe XLPE 300 mm<sup>2</sup>. Dan yang terakhir adalah mengatur tap trafo pada gardu distribusi di sepanjang Penyulang Bedak agar menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100% dari tegangan nominal.

Setelah proses perbaikan selesai dilakukan pada kedua penyulang, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0.0. Dari hasil simulasi didapatkan data berupa nilai tegangan dan jatuh tegangan pada kedua penyulang. Pada tabel 4.29 terlihat rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,185% dan -2,53%. Sedangkan pada Tabel 4.30 dapat dilihat rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Bedak di sisi tegangan menengah dan rendah sebesar 0,07 % dan -1,06%. Rugi-rugi daya pada jaringan mengalami penurunan sebesar 30,63% dibandingkan kondisi awal jaringan.

Jika dibandingkan dengan kondisi perbaikan sebelumnya, rata-rata jatuh tegangan pada Penyulang Pupur nilainya sama. Sedangkan rata-rata jatuh

tegangan pada Penyulang Bedak di sisi tegangan menengah dan rendah mengalami penurunan.

Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan pada Penyulang Bedak tidak mempengaruhi jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Pupur. Sehingga perbaikan yang dilakukan pada Penyulang Bedak hanya akan memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang tersebut dan tidak akan memperbaiki jatuh tegangan pada Penyulang Pupur, begitu pula sebaliknya.

Penurunan rata-rata jatuh tegangan di sisi tegangan menengah Penyulang Pupur dan Bedak disebabkan oleh pemasangan bank kapasitor dan penggantian kabel penyulang pada kedua penyulang tersebut. Pemasangan bank kapasitor akan menghasilkan arus *leading* ( $I_C$ ) yang mengkompensasi arus *lagging* ( $I_L$ ) yang diserap oleh beban. Sehingga akan timbul efek saling meniadakan antara kedua arus tersebut ( $I_L - I_C$ ), dan akan mengurangi arus total yang mengalir ke beban. Sedangkan penggantian kabel penyulang dengan kabel yang nilai resistansinya lebih kecil akan mengurangi resistansi total sepanjang penyulang. Dengan kedua kondisi tersebut total jatuh tegangan yang terjadi di sisi tegangan menengah Penyulang Pupur dan Bedak akan mengalami penurunan (Lihat persamaan 2.6).

Penurunan rata-rata jatuh tegangan di sisi tegangan rendah Penyulang Pupur dan Bedak disebabkan oleh pengaturan tap trafo pada gardu distribusi di sepanjang kedua penyulang tersebut. *Setting* dari tap trafo diatur agar dapat memperbaiki tegangan keluaran menjadi sebesar 100% dari tegangan nominal. Sehingga jatuh tegangan yang terjadi di sisi tegangan rendah pada kedua penyulang akan mengalami penurunan.

Penurunan rugi-rugi daya pada kedua penyulang disebabkan oleh pemasangan bank kapasitor yang disertai dengan penggantian kabel penyulang. Pemasangan bank kapasitor akan mengurangi arus total yang mengalir ke beban. Sedangkan penggantian kabel penyulang dengan kabel yang nilai resistansinya lebih kecil akan mengurangi resistansi total sepanjang penyulang. Dengan dua kondisi tersebut rugi-rugi daya ( $I^2R$ ) yang terjadi pada jaringan akan mengalami penurunan.

Jika dibandingkan dengan perbaikan sebelumnya, perbaikan dengan kombinasi tiga metode perbaikan pada Penyulang Pupur dan Bedak lebih optimal.

Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.29 dan 4.30, dimana nilai tegangan terendah pada sisi tegangan menengah dan rendah dari Penyulang Pupur adalah sebesar 96,66% dan 99,71% dari tegangan nominal. Sedangkan nilai tegangan terendah di sisi tegangan menengah dan rendah dari Penyulang Bedak adalah sebesar 98,8% dan 99,75% dari tegangan nominal. Nilai-nilai tersebut masih lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan toleransi yang diperbolehkan dalam simulasi ini yaitu sebesar 95% dari tegangan nominal.

Tabel 4.29 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Menggunakan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	KDR1	98.81%	1.19%	1	KDR1 LOAD	99.90%	-1.09%
2	BC333P	98.66%	0.15%	2	BC333P LOAD	99.74%	-1.08%
3	BC139	98.33%	0.33%	3	BC139 LOAD	99.97%	-1.64%
4	BC109	98.23%	0.10%	4	BC109 LOAD	99.86%	-1.63%
5	BC262	97.69%	0.54%	5	BC262 LOAD	99.86%	-2.17%
6	TG481	97.54%	0.15%	6	TG481 LOAD	99.71%	-2.17%
7	CKG2	97.40%	0.14%	7	CKG2 LOAD	100.13%	-2.73%
8	BC260	97.27%	0.13%	8	BC260 LOAD	99.99%	-2.72%
9	BC276	97.23%	0.04%	9	BC276 LOAD	99.95%	-2.72%
10	TN164T	97.16%	0.07%	10	TN164T LOAD	99.88%	-2.72%
11	CKG3	97.09%	0.07%	11	CKG3 LOAD	99.80%	-2.71%
12	BC309	97.02%	0.07%	12	BC309 LOAD	99.72%	-2.70%
13	BC302	96.89%	0.13%	13	BC302 LOAD	100.15%	-3.26%
14	BC261	96.81%	0.08%	14	BC261 LOAD	100.08%	-3.27%
15	BC308	96.74%	0.07%	15	BC308 LOAD	99.99%	-3.25%
16	BC304	96.72%	0.02%	16	BC304 LOAD	99.97%	-3.25%
17	TA125	96.68%	0.04%	17	TA125 LOAD	99.93%	-3.25%
18	MK263	96.66%	0.02%	18	MK263 LOAD	99.91%	-3.25%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.185%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			-2.53%

Tabel 4.30 Nilai Tegangan dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Menggunakan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	Jatuh Tegangan (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)	Jatuh Tegangan (%)
1	BC170	99.22%	0.78%	1	BC170 LOAD	99.75%	-0.53%
2	BC186	99.14%	0.08%	2	BC186 LOAD	100.25%	-1.11%
3	BC220	99.11%	0.03%	3	BC220 LOAD	100.21%	-1.10%

4	BC223	99.08%	0.03%	4	BC223 LOAD	100.19%	-1.11%
5	BC93	99.07%	0.01%	5	BC93 LOAD	100.16%	-1.09%
6	BC211	99.05%	0.02%	6	BC211 LOAD	100.15%	-1.10%
7	BC185	99.04%	0.01%	7	BC185 LOAD	100.14%	-1.10%
8	BC153	99.03%	0.01%	8	BC153 LOAD	100.12%	-1.09%
9	BC70	99.01%	0.02%	9	BC70 LOAD	100.10%	-1.09%
10	BC112	98.95%	0.06%	10	BC112 LOAD	100.05%	-1.10%
11	BC349	98.95%	0.00%	11	BC349 LOAD	100.04%	-1.09%
12	BC82	98.94%	0.01%	12	BC82 LOAD	100.03%	-1.09%
13	BC85	98.92%	0.02%	13	BC85 LOAD	100.01%	-1.09%
14	BC130	98.87%	0.05%	14	BC130 LOAD	99.96%	-1.09%
15	TG352	98.83%	0.04%	15	TG352 LOAD	99.92%	-1.09%
16	DK231	98.81%	0.02%	16	DK231 LOAD	99.90%	-1.09%
17	DK228	98.80%	0.01%	17	DK228 LOAD	99.88%	-1.08%
<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			0.07%	<b>Rata-rata Jatuh Tegangan</b>			-1.06%

#### 4.5.3 Analisa Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak

Untuk menguji keandalan perbaikan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan pada Penyulang Pupur dan Bedak, perlu dilakukan pengujian terhadap jaringan dalam dua tingkat pembebanan yaitu 60% dan 110% dari beban puncak..

Hasil pengujian pada tingkat pembebanan 60% dari beban puncak dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan 4.32. Dari kedua tabel tersebut terlihat nilai tegangan menengah dan rendah pada kedua penyulang tidak mengalami tegangan berlebih (*overvoltage*) pada saat kondisi beban ringan.

Tabel 4.31 Nilai tegangan pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%

#### P. PUPUR

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	KDR1	99.89%	1	KDR1 LOAD	99.93%
2	BC333P	99.88%	2	BC333P LOAD	99.92%
3	BC139	99.87%	3	BC139 LOAD	99.90%
4	BC109	99.87%	4	BC109 LOAD	99.90%
5	BC262	99.92%	5	BC262 LOAD	99.95%
6	TG481	99.94%	6	TG481 LOAD	99.98%
7	CKG2	99.99%	7	CKG2 LOAD	100.03%
8	BC260	100.04%	8	BC260 LOAD	100.08%
9	BC276	100.08%	9	BC276 LOAD	100.12%
10	TN164T	100.04%	10	TN164T LOAD	100.09%

11	CKG3	100.00%	11	CKG3 LOAD	100.05%
12	BC309	99.97%	12	BC309 LOAD	100.00%
13	BC302	99.89%	13	BC302 LOAD	99.93%
14	BC261	99.85%	14	BC261 LOAD	99.89%
15	BC308	99.81%	15	BC308 LOAD	99.85%
16	BC304	99.80%	16	BC304 LOAD	99.84%
17	TA125	99.78%	17	TA125 LOAD	99.82%
18	MK263	99.77%	18	MK263 LOAD	99.81%

Tabel 4.32 Nilai tegangan pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 60%

#### P. BEDAK

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	BC170	99.89%	1	BC170 LOAD	99.93%
2	BC186	99.89%	2	BC186 LOAD	99.92%
3	BC220	99.89%	3	BC220 LOAD	99.92%
4	BC223	99.89%	4	BC223 LOAD	99.93%
5	BC93	99.89%	5	BC93 LOAD	99.93%
6	BC211	99.90%	6	BC211 LOAD	99.94%
7	BC185	99.91%	7	BC185 LOAD	99.95%
8	BC153	99.92%	8	BC153 LOAD	99.96%
9	BC70	99.96%	9	BC70 LOAD	100.00%
10	BC112	99.93%	10	BC112 LOAD	99.97%
11	BC349	99.93%	11	BC349 LOAD	99.96%
12	BC82	99.92%	12	BC82 LOAD	99.96%
13	BC85	99.91%	13	BC85 LOAD	99.95%
14	BC130	99.88%	14	BC130 LOAD	99.92%
15	TG352	99.86%	15	TG352 LOAD	99.90%
16	DK231	99.85%	16	DK231 LOAD	99.88%
17	DK228	99.84%	17	DK228 LOAD	99.88%

Hasil pengujian pada tingkat pembebanan 110% dari beban puncak dapat dilihat pada Tabel 4.33 dan 4.34. Dari kedua tabel tersebut terlihat, perbaikan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan pada Penyulang Pupur dan Bedak memberikan perbaikan yang optimal pada saat beban tinggi. Dimana nilai tegangan terendah di sisi tegangan menengah dan rendah dari Penyulang Pupur adalah sebesar 95,83% dan 99,74% dari tegangan nominal. Sedangkan nilai tegangan terendah di sisi tegangan menengah dan rendah dari penyulang Bedak adalah sebesar 98,53% dan 99,71% dari tegangan nominal. Nilai-nilai tersebut masih lebih besar dibandingkan dengan tegangan toleransi yang diperbolehkan

pada simulasi ini yaitu sebesar 95% dari nilai tegangan nominal. Dengan demikian, perbaikan dengan kombinasi tiga metode perbaikan pada Penyulang Pupur dan Bedak merupakan metode perbaikan yang optimal dan handal dalam berbagai tingkat pembebanan.

Tabel 4.33 Nilai Tegangan Pada Penyulang Pupur Saat Uji Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%

**P. PUPUR**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	KDR1	98.52%	1	KDR1 LOAD	99.84%
2	BC333P	98.33%	2	BC333P LOAD	100.22%
3	BC139	97.92%	3	BC139 LOAD	99.77%
4	BC109	97.79%	4	BC109 LOAD	100.20%
5	BC262	97.09%	5	BC262 LOAD	100.20%
6	TG481	96.89%	6	TG481 LOAD	99.81%
7	CKG2	96.70%	7	CKG2 LOAD	100.17%
8	BC260	96.53%	8	BC260 LOAD	99.97%
9	BC276	96.46%	9	BC276 LOAD	99.91%
10	TN164T	96.39%	10	TN164T LOAD	99.82%
11	CKG3	96.30%	11	CKG3 LOAD	99.74%
12	BC309	96.23%	12	BC309 LOAD	100.22%
13	BC302	96.08%	13	BC302 LOAD	100.05%
14	BC261	96.00%	14	BC261 LOAD	99.96%
15	BC308	95.91%	15	BC308 LOAD	99.86%
16	BC304	95.89%	16	BC304 LOAD	99.85%
17	TA125	95.85%	17	TA125 LOAD	99.80%
18	MK263	95.83%	18	MK263 LOAD	99.77%

Tabel 4.34 Nilai Tegangan Pada Penyulang Bedak Saat Uji Keandalan Kombinasi Tiga Metode Perbaikan Pada Penyulang Pupur dan Penyulang Bedak Dengan Pembebanan 110%

**P. BEDAK**

No.	Bus	Tegangan Menengah (%)	No.	Bus	Tegangan Rendah (%)
1	BC170	99.05%	1	BC170 LOAD	99.82%
2	BC186	98.95%	2	BC186 LOAD	99.71%
3	BC220	98.91%	3	BC220 LOAD	100.24%
4	BC223	98.87%	4	BC223 LOAD	100.21%
5	BC93	98.85%	5	BC93 LOAD	100.19%
6	BC211	98.83%	6	BC211 LOAD	100.17%
7	BC185	98.81%	7	BC185 LOAD	100.15%
8	BC153	98.79%	8	BC153 LOAD	100.12%
9	BC70	98.76%	9	BC70 LOAD	100.09%
10	BC112	98.70%	10	BC112 LOAD	100.02%
11	BC349	98.69%	11	BC349 LOAD	100.02%

12	BC82	98.69%	12	BC82 LOAD	100.01%
13	BC85	98.66%	13	BC85 LOAD	99.99%
14	BC130	98.60%	14	BC130 LOAD	99.92%
15	TG352	98.57%	15	TG352 LOAD	99.88%
16	DK231	98.54%	16	DK231 LOAD	99.85%
17	DK228	98.53%	17	DK228 LOAD	99.84%

#### 4.6 ANALISA PERBANDINGAN PERBAIKAN DENGAN PENGGANTIAN KABEL XLPE 300 mm<sup>2</sup>, PEMASANGAN BANK KAPASITOR, PENGATURAN TAP TRAF0, DAN KOMBINASI TIGA METODE PERBAIKAN

Tabel 4.35 Menunjukkan perbandingan antara kondisi awal jaringan dengan seluruh metode perbaikan yang digunakan pada skripsi ini. Pada tabel tersebut dapat dilihat, perbaikan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan pada Penyulang Pupur dan Bedak menghasilkan pengurangan rugi-rugi daya dan rata-rata jatuh tegangan yang paling besar. Dimana rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan adalah 444,6 kW (30,6% lebih kecil dibanding kondisi awal jaringan). Rata-rata jatuh tegangan di sisi tegangan menengah dan rendah Penyulang Pupur adalah 0,185% dan -2,53%. Dan pada sisi tegangan menengah dan rendah Penyulang Bedak adalah 0,07% dan -1,06%.

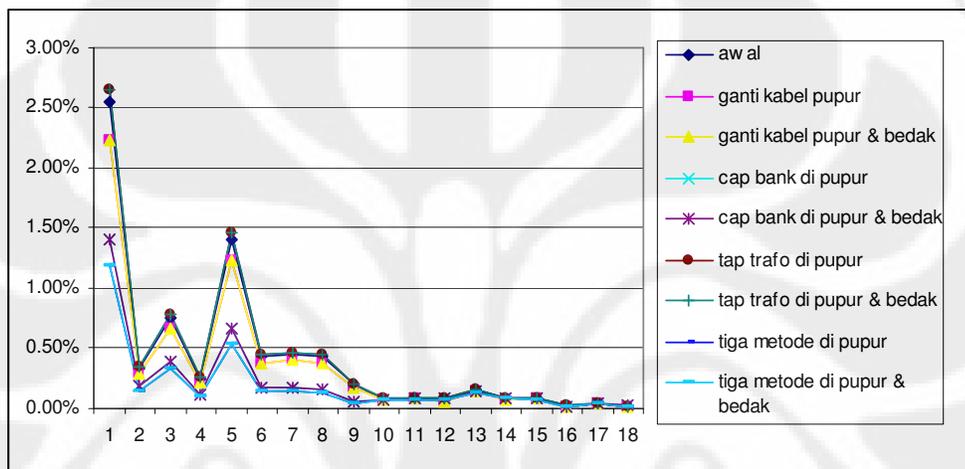
Tegangan terendah di sisi tegangan menengah dan rendah dari Penyulang Pupur setelah perbaikan adalah 96,66% dan 99,71% dari tegangan nominal. Sedangkan tegangan terendah di sisi tegangan menengah dan rendah dari Penyulang Bedak adalah 98,8% dan 99,75% dari tegangan nominal.

Tabel. 4.35 Perbandingan Hasil Perbaikan

Metode Perbaikan	Rugi-rugi daya	Rata-rata V Jatuh di TM P. Pupur	Rata-rata V Jatuh di TR P. Pupur	Rata-rata V Jatuh di TM P. Bedak	Rata-rata V Jatuh di TR P. Bedak
Normal	640.9 kW	0.414%	3.16%	0.16%	3.08%
XLPE 300 mm <sup>2</sup> di P. Pupur	566.3 kW	0.362%	3.14%	0.16%	3.08%
XLPE 300 mm <sup>2</sup> di P. Pupur & Bedak	540.1 kW	0.362%	3.14%	0.14%	3.07%
Bank Kapasitor di P. Pupur	532.7 kW	0.221%	3.09%	0.16%	3.08%
Bank Kapasitor di P. Pupur & Bedak	496.2 kW	0.221%	3.09%	0.086%	3.05%
Tap Trafo di P. Pupur	675.6 kW	0.43%	-5.09%	0.16%	3.08%
Tap Trafo di P. Pupur & Bedak	684.8 kW	0.43%	-5.09%	0.164%	-2.44%

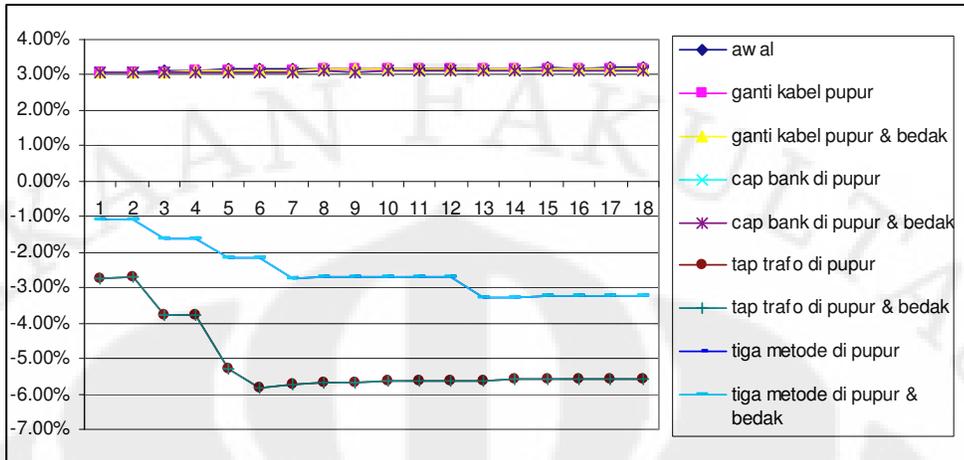
Kombinasi Tiga Metode di P. Pupur	495.1 kW	0.185%	-2.53%	0.16%	3.08%
Kombinasi Tiga Metode di P. Pupur & Bedak	444.6 kW	0.185%	-2.53%	0.07%	-1.06%

Pada gambar 4.1 terlihat, perbaikan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan pada Penyulang Pupur dan Bedak menghasilkan jatuh tegangan yang paling kecil di sisi tegangan menengah Penyulang Pupur dibandingkan dengan metode perbaikan yang lainnya.



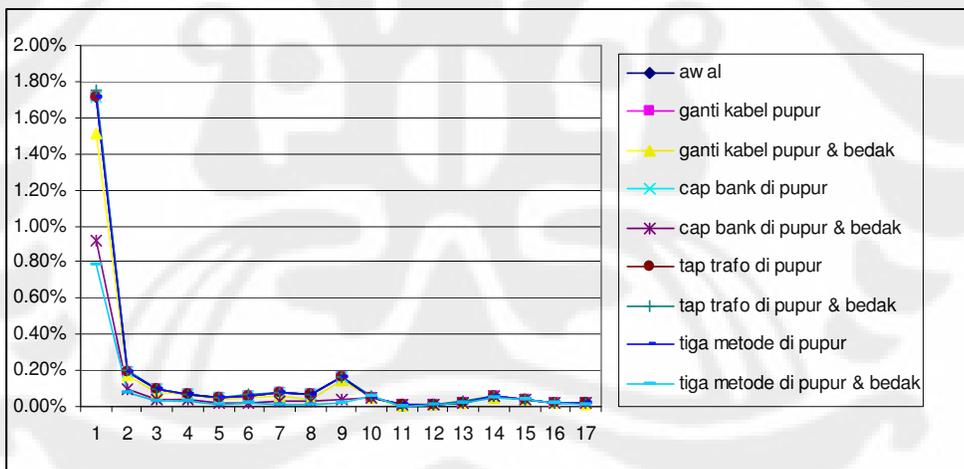
Gambar 4.1. Jatuh tegangan di sisi tegangan menengah Penyulang Pupur pada berbagai kondisi perbaikan (Beban 100%)

Pada gambar 4.2 dapat dilihat, perbaikan dengan pengaturan tap trafo pada gardu distribusi disepanjang Penyulang Pupur dan Bedak menghasilkan jatuh tegangan yang paling kecil di sisi tegangan rendah Penyulang Pupur dibandingkan dengan metode perbaikan yang lainnya..



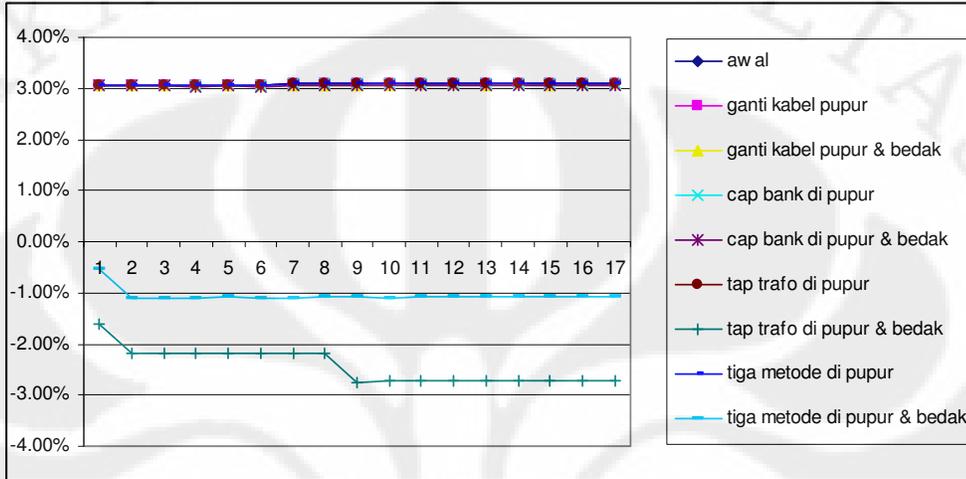
Gambar 4.2. Jatuh tegangan di sisi tegangan rendah Penyulang Pupur pada berbagai kondisi perbaikan (Beban 100%)

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa perbaikan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan pada Penyulang Pupur dan Bedak menghasilkan jatuh tegangan yang paling kecil di sisi tegangan menengah Penyulang Bedak, dibandingkan dengan metode perbaikan yang lainnya.



Gambar 4.3. Jatuh tegangan di sisi tegangan menengah Penyulang Bedak pada berbagai kondisi perbaikan (Beban 100%)

Pada gambar 4.4 dapat dilihat, perbaikan dengan pengaturan tap trafo pada gardu distribusi disepanjang Penyulang Pupur dan Bedak menghasilkan jatuh tegangan yang paling kecil di sisi tegangan rendah Penyulang bedak, dibandingkan dengan metode perbaikan yang lainnya.



Gambar 4.4. Jatuh tegangan di sisi tegangan rendah Penyulang Bedak pada berbagai kondisi perbaikan (Beban 100%)

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Dari hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbaikan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan berupa pemasangan bank kapasitor, penggantian kabel penyulang dan pengaturan tap trafo pada Penyulang Pupur dan Bedak merupakan metode perbaikan yang paling optimal dan handal dalam memperbaiki jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada kedua penyulang tersebut.
2. Perbaikan menggunakan kombinasi tiga metode perbaikan pada Penyulang Pupur dan Bedak menghasilkan pengurangan rugi-rugi daya paling besar yaitu sebesar 30,6%.
3. Metode perbaikan tersebut juga memperbaiki tegangan pada kedua penyulang. Dimana tegangan terendah di sisi tegangan menengah dan rendah dari Penyulang Pupur setelah perbaikan adalah 96,66% dan 99,71% dari tegangan nominal. Sedangkan tegangan terendah di sisi tegangan menengah dan rendah dari Penyulang Bedak adalah 98,8% dan 99,75% dari tegangan nominal.

## DAFTAR ACUAN

- [1] JR, William D. Stevenson, "Elements of Power System Analysis, 4<sup>TH</sup> Edition", McGraw-Hill, 1982
- [2] Weedy, B. M., Cory, B. J., "Electric Power Systems, 4<sup>th</sup> Edition", John Wiley & Sons, 1967.
- [3] Marsudi, Djiteng, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Edisi kedua, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- [4] Chapman, Stephen J., "Electric Machinery and Power System Fundamental", McGraw-Hill, New York, 2002.
- [5] Murty, P. S. R., "Power System Operation and Control", TATA McGraw-Hill, New Delhi, 1984.
- [6] Kundur, Prabha, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, California, 1993.
- [7] Taylor, Carson W., "Power System Voltage Stability", McGraw-Hill, Singapore, 1994.
- [8] Google, "electric power system"  
[http://www.google.com/image/clip\\_image002temp\\_000](http://www.google.com/image/clip_image002temp_000), 10.11.2006.

## DAFTAR PUSTAKA

- JR, William D. Stevenson, "Elements of Power System Analysis, 4<sup>TH</sup> Edition", Mc Graw-Hill, 1982
- Weedy, B. M., Cory, B. J., "Electric Power Systems, 4<sup>th</sup> Edition", John Wiley & Sons, 1967.
- Marsudi, Djiteng, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Edisi kedua, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- Chapman, Stephen J., "Electric Machinery and Power System Fundamental", Mc Graw Hill, New York, 2002.
- Murty, P. S. R., "Power System Operation and Control", TATA McGraw-Hill, New Delhi, 1984.
- Kundur, Prabha, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, California, 1993.
- Taylor, Carson W., "Power System Voltage Stability", McGraw-Hill, Singapore, 1994.
- Deshpande, M.V., "Electrical Power System Design", McGraw-Hill,
- Google, "electric power system"  
[http://www.google.com/image/clip\\_image002temp\\_000](http://www.google.com/image/clip_image002temp_000), 10.11.2006.

# LAMPIRAN

## 1. DATA KABEL

**N2XSEYBY / NA2XSEYBY**  
**18/30 (36) kV**

Copper / Aluminium conductor, XLPE insulated,  
 Copper wire / tape screened,  
 Zinc-coated steel tape armoured, PVC Sheathed cable.  
**Specification : IEC 60502, SPLN 43-5**



DIMENSION AND ELECTRICAL DATA				3 CORES									
Nominal cross sectional area		mm <sup>2</sup>	50	70	95	120	150	185	240	300			
Conductor diameter (approx)		mm	8.4	9.9	11.6	13.1	14.6	16.1	18.4	20.5			
Nominal insulation thickness		mm	8	8	8	8	8	8	8	8			
Insulation diameter (approx)		mm	26.4	27.9	29.6	31.1	32.6	34.1	36.4	38.5			
Nominal armour thickness		mm	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8			
Nominal sheath thickness		mm	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4	4.2			
Overall cable diameter (approx)		mm	72	75	80	84	87	92	98	103			
Cable Net. Weight (approx)		kg/km	Cu		7300	8400	9700	11700	12900	14800	17300	20000	
			Al		6400	7100	7900	9400	10100	11300	12600	14100	
Standard length per-reel		m	500	500	500	350	350	350	300	300			
Minimum bending radius		mm	1296	1350	1440	1512	1566	1656	1764	1854			
Min. DC insulation resistance at 20 °C		M.Ohm.km	1600	1500	1300	1200	1200	1100	1000	900			
Max. DC conductor resistance at 20 °C		Ohm/km	Cu		0.387	0.268	0.193	0.153	0.124	0.0991	0.0754	0.0601	
			Al		0.641	0.443	0.320	0.253	0.206	0.164	0.125	0.100	
Capacitance per-phase		µ F/km	0.121	0.136	0.151	0.163	0.173	0.190	0.209	0.227			
Inductance per-phase		mH/km	0.402	0.381	0.363	0.352	0.343	0.330	0.317	0.308			
Max. short circuit current of conductor		kA/sec	Cu		7.36	10.26	13.88	17.49	21.81	26.86	34.78	43.41	
			Al		4.89	6.81	9.19	11.58	14.43	17.76	22.98	28.67	
Max. short circuit current of screen		kA/sec	3.77	4	4.25	4.45	4.62	4.9	5.23	5.54			
Max. current carrying capacity at 30 °C		in Air	A	Cu		207	258	314	361	411	470	554	
				Al		162	205	246	283	320	365	426	482
		in Ground		A	Cu		203	247	296	336	377	426	493
					Al		155	187	224	256	284	322	373
AC Test voltage		kV/5 min							63				



PT. KANKA KABEL 26 XLPE MEDIUM & HIGH VOLTAGE CABLE