

**SKRIPSI**

**PENGGUNAAN KAPASITOR SHUNT PADA GARDU INDUK UNTUK  
MEREDUKSI RUGI – RUGI SALURAN TRANSMISI JARAK  
MENENGAH DI PT PT. PLN (PERSERO) PANGKALAN BERANDAN**

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-tugas dan Syarat-syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana (S.T) Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**MUHAMMAD RECCA FATAHILLAH**

**1007220055**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2016**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
(UMSU)  
FAKULTAS TEKNIK–TEKNIK ELEKTRO

---

---

**BERITA ACARA SIDANG**

Nama : MUHAMMAD RECCA FATAHILLAH  
NPM : 1007220055  
FAK/JUR : TEKNIK / TEKNIK ELEKTRO  
JudulTugasAkhir : PENGGUNAAN KAPASITOR SHUNT PADA GARDU INDUK  
UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI SALURAN TRANSMISI JARAK  
MENENGAH DI PT. PLN (PERSERO) PANGKALAN BERANDAN

NO	TANGGAL	CATATAN ASISTENSI	PARAF PEMBIMBING

Mengetahui,  
**Pembimbing I**

**ARNAWAN HSB, S.T., M.T**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
(UMSU)  
FAKULTAS TEKNIK–TEKNIK ELEKTRO

**BERITA ACARA SIDANG**

Nama : MUHAMMAD RECCA FATAHILLAH  
NPM : 1007220055  
FAK/JUR : TEKNIK / TEKNIK ELEKTRO  
JudulTugasAkhir : PENGGUNAAN KAPASITOR SHUNT PADA GARDU INDUK  
UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI SALURAN TRANSMISI JARAK  
MENENGAH DI PT. PLN (PERSERO) PANGKALAN BERANDAN

NO	TANGGAL	CATATAN ASISTENSI	PARAF PEMBIMBING

Mengetahui,  
**Pembimbing II**

**ZULFIKAR, S.T., M.T**

## ABSTRAK

*Sistem tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi tegangan tinggi. Secara umum saluran transmisi telah dirancang untuk menyalurkan tegangan tinggi pada jarak tertentu misalnya saluran transmisi jarak pendek, menengah dan jarak panjang. Pada kesempatan ini penulis mencoba untuk memperjelas pentingnya pengaruh pemasangan kapasitor shunt pada saluran transmisi dalam hal ini adalah transmisi saluran jarak menengah. Dalam penyaluran listrik tegangan tinggi ini mulai dari pusat pembangkit hingga ke gardu induk (substation) akan terjadi drop tegangan (tegangan jatuh), maupun rugi-rugi pada saluran transmisi. Oleh karena itu digunakan salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut yaitu menggunakan kapasitor shunt dalam mengoptimalkan tegangan yang dikirimkan dari pusat pembangkit. Yang mana dalam menganalisisnya dapat digunakan metode nominal PI dan nominal T, sehingga dapat diamati perubahan tegangan, efisiensi transmisi dan pengaturan tegangan dalam suatu sistem tenaga listrik..*

## KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan sebatas ilmu dan kemampuan yang penulis miliki, sebagai tahap akhir dalam menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dengan perjuangan yang berat dan perilaku akhirnya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul **“Penggunaan Kapasitor Shunt Pada Gardu Induk Untuk Mereduksi Rugi – rugi Saluran Transmisi Jarak Menengah Di PT. PLN (PERSERO) Pangkalan Berandan.**

Dalam penyusunan Skripsi penulis telah banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulisan dengan setulus hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Teristimewa buat Ayahanda Ir. Syafrizal dan Ibunda Salmiah Dispan,SE yang telah banyak memberikan pengorbanan demi cita-cita bagi kehidupan penulis, serta Adik yang telah banyak memberikan doa dan dorongan moril sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi.
2. Bapak Rahmatullah, S.T, M.Sc, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rohana, S.T, M.T, sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Bapak Zulfikar, S.T.M.T, sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Arnawan Hasibuan, S.T. M.T, sebagai Dosen Pembimbing 1
6. Zulfikar, S.T. M.T, sebagai Dosen Pembimbing 2
7. Seluruh staff pengajar dan pegawai Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Rekan-rekan Ikatan Mahasiswa Elektro yang tulus membantu dalam Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Skripsi ini dimasa yang akan datang.

Akhirnya kepada Allah SWT penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis berharap mudah-mudahan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

Medan, 19 Agustus 2016  
Penulis

**M Recca Fatahillah**  
**1007220055**

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I     PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metode Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II     TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	5
2.2 Landasan Teori .....	5
2.2.1 Saluran Transmisi .....	7
2.3 Komponen Utama Saluran Hantaran Udara.....	8
2.4 Klasifikasi Saluran Transmisi.....	9
2.4.1 Klasifikasi Untuk Keperluan Diagram Pengganti.....	10

2.4.2 Klasifikasi Saluran Transmisi Menurut Tegangan Kerja .....	10
2.4.3 Klasifikasi Berdasarkan Fungsi Dalam Operasi .....	11
2.5 Parameter-parameter Saluran Tranmisi .....	11

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Lokasi Penelitian.....	15
3.2 Kapasitansi Pada Saluran Transmisi Dan Kapasitor Shunt.....	15
3.2.1 Kapasitansi Antara Penghantar Saluran Transmisi.....	15
3.2.2 Kapasitansi Dari Dua Penghantar .....	18
3.2.3 Kapasitansi Saluran Tiga Phasa Dengan Jarak Pemisah.....	20
3.2.4 Kapasitansi Saluran Tiga Phasa Dengan Jarak Pemisah Yang Tidak Simetris.....	21
3.2.5 Kapasitansi Penghantar Berkas .....	23
3.3 Kapasitor Shunt (2).....	24
3.3.1 Pengaruh Kapasitor Shunt .....	27
3.4 Flowchart.....	28

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Umum .....	28
4.1.1 Konstanta-konstanta Umum Saluran Transmisi .....	28
4.2 Pengaruh Pemasangan Kapasitor Pada Sisi Penerima Saluran Transmisis .....	29
4.3 Perhitungan Dengan Menggunakan Metode Nominal PI.....	31
4.4 Contoh Perhitumgan.....	36



4.5 Perhitungan Tegangan(VR), arus (IR), Daya Yang Diterima (PR ) $\cos \delta$ Pada Sisi Penerima Sebelum Pemasangan Kapasitor.....	39
4.6 Perhitungan Regulasi Tegangan, Efisiensi dan Daya Pada Ujung Penerima .....	43
4.7 Perhitungan Tegangan(VR), arus (IR), Daya Yang Diterima (PR ) $\cos \delta$ Pada Sisi Penerima Setelah Pemasangan Kapasitor.....	44

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Saluran Transmisi Tunggal.....	7
Gambar 2.2	Saluran Transmisi Ganda .....	7
Gambar 3.1	Garis-garis Fluks Listrik Berasal dari Muatan Positif.....	16
Gambar 3.2	Jalur Integrasi Dua titik Diluar Suatu Penghantar Silinder Yang Mempunyai Muatan Positif.....	17
Gambar 3.3	Tegangan Vab Antara Kedua Penghantar Pada Saluran Dua Kawat .....	18
Gambar 3.4	Kapasitansi Fasa Ketanah dan Fasa ke Netral .....	19
Gambar 3.5	Saluran tiga Fasa Dengan Jarak Pemisah Yang Sama .....	20
Gambar 3.6	Saluran Tiga Fasa Dengan Jarak Pemisah Yang Tidak Seimbang.....	21
Gambar 3.7	Penampang Saluran Tiga Fasa dan Penghantar Berkas .....	23
Gambar 3.8	Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Sisi Penerima (Subtation).....	19
Gambar 3.9	a) Rangkaian Ekvivalen Dari Saluran Diagram Vector Pada Rangkaian, Pada Faktor Daya Lagging .....	28
	b) Tanpa Kapasitor .....	28
	c) Dengan Kapasitor Shunt .....	28
Gambar 4.1	Diagram SatuGaris Saluran Transmisi .....	29
Gambar 4.2	Rangkaian Nominal PI Pada Saluran Transmisi Jarak	

	Menengah.....	31
Gambar 4.3	Diagram Vektor Rangkaian Nominal PI untuk Saluran Transmisi Menengah.....	33

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Macam-macam Saluran Transmisi.....	14
Tabel 3.1	Perbandingan Antara Kapasitor Seri dan Paralel .....	26
Tabel 4.1	Konstanta ABCD.....	41
Tabel 4.2	Konstanta $K_r$ dan $K_s$ .....	34
Tabel 4.3	Tabel Konstanta.....	34
Tabel 4.4	Konstanta Pembantu .....	34

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bila ada dua kawat paralel yang dipisahkan oleh medan isolasi maka akan terbentuk kapasitor, sehingga berpeluang mempunyai sifat untuk menyimpan muatan listrik. Bila suatu perbedaan tegangan dipertahankan antara kedua kawat maka muatan-muatan listrik pada kawat-kawat tersebut mempunyai tanda-tanda perlawanan. Sebaliknya bila kita mempertahankan muatan listrik pada kawat dengan tanda perlawanan maka akan timbul perbedaan tegangan di antarakedua kawat tersebut.

Saluran transmisi tegangan tinggi yang diperoleh dari pembangkit tenaga listrik setelah dinaikkan oleh transformator penaik tegangan (trafo step up), biasanya tegangan yang lazim dihasilkan oleh generator pembangkit adalah 11KV yang kemudian dinaikkan oleh trafo step up 150 KV, tegangan inilah yang ada pada saluran transmisi, akibat adanya tegangan tinggi yang ada penghantarsaluran transmisi akan mengakibatkan kapasitansi antara saluran transmisi sepanjang kawat itu belum sampai ke pusat beban.

Dalam penyalurannya dari pusat pembangkit ke beban akan terjadi drop tegangan atau jatuh tegangan. Untuk mengetahui lebih jelas penggunaan kapasitor pada saluran transmisi serta besarnya rugi-rugi yang terjadi maka untuk itu perlu diadakan suatu studi analisa pada saluran transmisi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam skripsi ini adalah :

1. Bagaimanakah menggunakan sistem kapasitor shunt pada saluran transmisi terhadap besarnya perubahan tegangan yang terjadi.
2. Berapa besar tingkat efisiensi yang terjadi dalam penerapan kapasitorshunt terhadap jaringan distribusi jarak menengah.

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh kapasitor shunt pada saluran transmisi terhadap besarnya perubahan tegangan yang terjadi.
2. Untuk mengetahui tingkat efisiensi saluran jarak menengah serta besarnya nilai kapasitor yang dipasang pada sisi penerima (substation) tersebut.

## **1.4 Batasan Masalah**

Agar tujuan pembahasan ini dapat tercapai sasarannya dan terarah maka akan dibatasi penulis sebagai berikut :

1. Pengaruh pemasangan kapasitor shunt pada saluran transmisi jarak menengah pada sisi penerima (substation).
2. Menghitung besarnya nilai kapasitas kapasitor shunt pada sisi penerima.
3. Analisa perhitungan menggunakan metode nominal PI dan nominal T
4. Menentukan besarnya perubahan tegangan pada saluran transmisi.

## **1.5 Metode Penelitian**

Metodologi penelitian terdiri atas :

### **1. Studi literature**

Dilakukan untuk mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan permasalahan penelitian.

### **2. Studi Bimbingan**

Penulis melakukan diskusi dan konsultasi dengan dosen pembimbing dan staf pengajar pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Mengenai masalah-masalah yang timbul selama penulisan tugas akhir ini berlangsung.

### **3. Wawancara**

Metode ini dilakukan untuk berdiskusi kepada praktisi atau pihak-pihak yang berkompeten untuk mengetahui gambaran dan informasi secara lebih jelas terhadap berbagai masalah dalam perancangan ini.

### **4. Pengujian dan analisis**

Pengujian merupakan metode untuk memperoleh data dari beberapa bagian perangkat keras dan perangkat lunak sehingga dapat diketahui apakah sudah dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan, Selain itu pengujian juga digunakan untuk mendapatkan hasil dan mengetahui kemampuan kerja dari sistem.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Tugas akhi ini tersusun atas beberapa bab pembahasan. Sistematika penulisan tersebut adalah sebagai berikut :

**BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini menguraikan secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan metodologi penelitian.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisi pembahasan secara garis besar tentang jaringan transmisi.

**BAB III : METODOLOGI**

Pada bab ini akan menerangkan tentang lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, data penelitian, jalannya penelitian, diagram alir/*flowchart*, diagram *ladder* serta jadwal kegiatan dan hal-hal lain yang berhubungan dengan proses perancangan.

**BAB IV : PEMBAHASAN DAN ANALISIS**

Pada bab ini berisi hasil dan pengujian penerapan kapasitor shunt pada jaringan distribusi jarak menengah.

**BAB V : PENUTUP**

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulisan skripsi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka Relevan**

Penelitian tentang *Analisis Perbaikan Tegangan Pada Subsistem Dengan Pemasangan Kapasitor Bank Dengan Etap Versi 7.0*. Penelitian ini menyimpulkan pemasangan kapasitor shunt sangat penting untuk penyedia daya reaktif dari sebuah sistem daya. Saluran transmisi akan paling ekonomis bila digunakan untuk mengirimkan daya aktif saja, yang kebutuhan daya reaktif bebannya didapat dalam sistem distribusi konsumen atau kebanyakan pada tingkat subtransmisi Gardu Induk. (Wiwiek, 2014).

Penelitian tentang *Optimasi penempatan kapasitor shunt untuk perbaikan daya reaktif dengan algoritma genetic*. Penelitian ini menyimpulkan Algoritma genetika dapat menemukan ukuran dan lokasi penempatan kapasitor shunt pada sistem distribusi primer radial yang paling optimal, sehingga selisih antara penurunan biaya rugi daya dan biaya rugi energi dengan modal dan biaya pemeliharaan kapasitor menjadi maksimal. (Wijanarko, A., 2008).

#### **2.2 Landasan Teori**

Secara umum saluran transmisi disebut dengan suatu sistem tenaga listrik yang membawa arus yang mencapai ratusan kilo ampere. Energi listrik yang dibawa oleh konduktor melalui saluran transmisi dari pusat-pusat pembangkit



tenaga listrik kepada pemakai tenaga listrik. Tegangan pada saluran transmisi ini disalurkan melalui kawat penghantar yang ditopang oleh tower atau tiang penyangga yang tinggi yang terbuat dari campuran baja yang disesuaikan dengan posisi atau daerah dengan jarak tertentu. Untuk daya yang sama, maka daya guna penyaluran akan naik oleh karena rugi-rugi transmisi turun, apabila tegangan transmisi ditinggikan. Namun dengan naiknya tegangan transmisi berarti juga kenaikan isolasi dan biaya peralatan gardu induk.

Oleh karena itu pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan, biaya peralatan untuk tegangan tertentu serta tegangan-tegangan yang sekarang dan yang direncanakan. Saluran transmisi di zaman modern sekarang ini bukan hanya digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik tetapi juga dapat digunakan untuk saluran transmisi komunikasi seperti PLC (Power Line Carrier) dan data isyarat. Tetapi kemampuan transmisi dari satu saluran dengan tegangan tertentu tidak dapat ditetapkan dengan pasti karena kemampuan ini masih tergantung lagi pada batasan-batasan termal dari penghantar, jatuh tegangan yang diperbolehkan. Pada umumnya saluran transmisi dalam penggunaannya dapat dibagi dua :

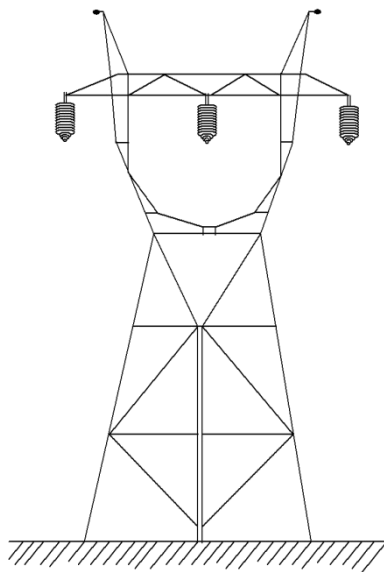
1. Saluran hantaran udara
2. Saluran hantaran bawah tanah

Pemilihan penggunaan saluran transmisi tergantung kepada suatu daerah yang akan dipasang. Biasanya untuk daerah yang penduduknya agak jarang dengan jarak yang cukup panjang digunakan saluran hantaran udara tegangan tinggi dan

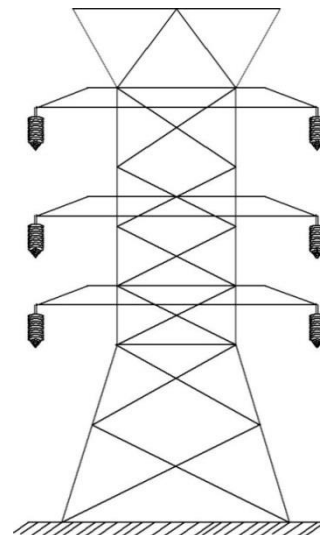
untuk pertumbuhan penduduknya yang padat maka pada daerah tersebut lebih cocok digunakan saluran hantaran bawah tanah.

### 2.2.1 Saluran Transmisi

Saluran transmisi terdiri dari seperangkat konduktor yang membawa energi listrik dan mentransmisikan dari pusat pembangkit ke gardu induk. Konduktor dari saluran transmisi tersebut digantungkan pada isolator yang dikaitkan ke lengan menara. Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 menunjukkan sketsa dari saluran transmisi. Gambar 2.1 memperlihatkan bagian dari menara yang membawa tiga buah konduktor tiga fasa R, S, dan T, hal ini disebut dengan rangkaian transmisi tunggal. Untuk Gambar 2.2 menunjukkan menara yang membawa enam buah konduktor yang tersusun atas dua rangkaian yang terpisah masing-masing terdiri dari dua kawat dengan fasa R, S dan T. Jenis ini disebut dengan saluran transmisi ganda.



Gambar 2.1 Saluran transmisi tunggal



Gambar 2.2 Saluran transmisi ganda

### 2.3 Komponen Utama Saluran Hantaran Udara

#### a) Menara atau tiang transmisi

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan yang menopang saluran transmisi, yang dapat berupa menara baja, tiang baja tiang beto bertulang dan tiang kayu. Tiang-tiang baja, beton dan kayu biasanya digunakan pada saluran-saluran tegangan kerja yang relative rendah (dibawah 70 KV) sedangkan untuk saluran dengan tegangan tinggi biasanya menggunakan menara baja.

#### b) Isoalator-isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya dikenal 3 jenis isolator yaitu :

- Isolator jenis pasak (22-33 KV)
- Isolator jenis pos saluran (22-33KV)
- Isolator gantung

#### c) Kawat penghantar

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa yang digunakan pada saluran transmisi adalah :

- Tembaga dengan konduktivitas 100 % (Cu 100 %)
- Tembaga dengan koduktivitas 97,5 % (Cu 97,5 %)
- Almunium dengan konduktivitas 61 % (Al 61 %)

Kawat penghantar Almunium terdiri dari beberapa jenis dan lambing sebagai berikut :

- AAC : “All Aluminium Conductor” yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari almunium.

- AAAC : “All-Aluminium Alloy Conductor“ yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- ACSR : “Aluminium Conductor Steel Reinforced” yaitu kawat penghantar aluminium dengan inti kawat baja.
- ACAR : “Aluminium Conductor Alloy Reinforced” yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Pada umumnya saluran transmisi yang ada di Indonesia menggunakan jenis kawat

penghantar jenis ACSR. Karena kawat tembaga mempunyai tahanan yang sama besar, berat dan harga yang lebih mahal dari aluminium. Untuk memperbesar kuat tarik dari aluminium maka digunakan campuran aluminium (aluminium alloy).

#### d) Kawat tanah

Kawat tanah atau ground wires juga disebut dengan kawat pelindung (shield wires) gunanya untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat fasa terhadap sambaran petir. Jadi kawat tanah ini dipasang diatas kawat fasa. Sebahagian kawat tanah umumnya dipakai kawat baja (steel wires) yang lebih murah tetapi tidaklah jarang digunakan ACSR.

## **2.4 Klasifikasi Saluran Transmisi**

Sesuai dengan fungsi, kebutuhan dan tegangan kerjanya maka saluran transmisi dapat dikelompokkan dalam beberapa macam diantaranya :

#### **2.4.1 Klasifikasi untuk keperluan diagram pengganti**

Untuk keperluan analisa maka diagram pengganti biasanya dibagi dalam 3 kelas yaitu :

- Kawat Pendek ( $< 80$  Km)
- Kawat Menengah (80-250 Km)
- Kawat Panjang ( $>250$  Km)

Klasifikasi saluran transmisi harus didasarkan atas besar kecilnya kapasitansi ke tanah. Maksudnya jika kapasitansi kecil maka arus bocor ke tanah kecil terhadap arus beban, sehingga kapasitansi ke tanah dapat diabaikan, hal ini dapat disebut dengan kawat pendek. Tetapi jika kapasitansi mulai besar sehingga tidak dapat diabaikan, tetapi jika kapasitansi belum begitu besar dapat dianggap sebagai kapasitansi terpusat (lumped capacitance) dan hal ini sering disebut dengan kawat menengah. Dan jika kapasitansi tersebut sangat besar sekali dan tidak dapat dianggap sebagai kapasitansi terpusat dan harus dianggap terbagi rata sepanjang saluran maka hal ini dapat disebut dengan kawat panjang.

#### **2.4.2 Klasifikasi saluran transmisi menurut tegangan kerja**

Di Indonesia standar tegangan transmisi adalah 66, 150, 380, dan 500 KV, dan klasifikasi menurut tegangan ini masih belum nyata. Tetapi di Negara-negara maju terutama dibidang transmisi listrik, seperti : USA, Rusia, Canada dimana tegangan pada saluran transmisi bisa mencapai 1000 KV. Maka disana klasifikasi berdasarkan tegangan adalah :

- Tegangan Tinggi bisa mencapai 138 KV
- Tegangan Extra Tinggi (Extra High Voltage) antara 220-765 KV

- Tegangan Ultra Tinggi (Ultra High Voltage) diatas tegangan 765 KV.

### 2.4.3 Klasifikasi berdasarkan fungsinya dalam operasi

Berdasarkan fungsinya dalam operasi saluran transmisi dapat disebutkan dengan :

- Transmisi : yang menyalurkan daya besar dari pusat-pusat pembangkit ke daerah beban antara dua atau lebih sistem.
- Sub transmisi : transmisi percabangan dari saluran yang tinggi ke saluran yang rendah.
- Distribusi : di Indonesia telah ditetapkan bahwa tegangan distribusi adalah 20 KV.

## 2.5 Parameter-Parameter Saluran Tranmisi

Adapun parameter-parameter pada saluran transmisi diantaranya adalah :

### 1. Induktansi

Ada 2 persamaan dasar yang dipakai untuk menjelaskan dan merumuskan induktansi yaitu :

- Persamaan yang pertama menghubungkan tegangan imbas dengan kecepatan perubahan fluks yang meliputi suatu rangkaian. Tegangan imbas dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$e = \frac{d\tau}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

Persamaan kedua dapat dinyatakan dimana jika arus pada rangkaian berubah-ubah maka medan magnet yang ditimbulkan juga akan berubahubah dan

apabila medan magnet yang ditimbulkan memiliki permeabilitas yang konstan maka banyaknya fluks gandeng berbanding lurus dengan arus sehingga tegangan imbasnya sebanding dengan kecepatan perubahan arus. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$e = L \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (2.2)$$

## 2. Kapasitansi

Kapasitansi saluran transmisi adalah akibat beda potensial antara penghantar (konduktor), kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti yang terjadi pada plat kapasitor bila terjadi beda potensial diantaranya. Kapasitansi antara penghantar adalah muatan per unit beda potensial. Kapasitansi antara penghantar sejajar adalah suatu konstanta yang tergantung pada ukuran dan jarak pemisah dan penghantar. Untuk saluran daya yang panjangnya kurang dari 80 km (50 mil), pengaruh kapasitansinya kecil dan biasanya dapat diabaikan. Untuk saluran-saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang lebih tinggi, kapasitansinya menjadi bertambah kering.

## 3. Resistansi

Resistansi penghantar saluran transmisi adalah penyebab terpenting dari rugi daya (power loss) pada saluran transmisi. Jika tidak ada keterangan lain maka resistansi yang dimaksud adalah resistansi efektif. Resistansi efektif dari suatu penghantar adalah :

$$R = \frac{P}{I} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

R = Resitan (Ohm)

P = Daya (Watt)

I = Arus (Ampere)

Sedangkan resistansi dc diberikan oleh rumus :

$$R_o = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$\rho$  = Resistivitas Penghantar

l = Panjang

A = Luas Penampang

Persamaan diatas digunakan untuk menghitung besarnya tahanan dari konduktor saluran transmisi.

#### 4. Konduktansi

Konduktansi antar penghantar-penghantar atau antar penghantar dan tanah yang menyebabkan terjadinya arus bocor pada isolator-isolator dari udara yang melalui isolasi dan kabel. Karena kebocoran pada isolator saluran udara sangat kecil dan dapat diabaikan, dengan demikian konduktansi antar penghantar pada saluran udara sangat kecil dan diabaikan. Alasan untuk mengabaikan konduktansi adalah karena konduktansi ini selalu berubah-ubah yakni kebocoran pada isolator yang merupakan suner utama. Konduktansi berubah dengan cukup besar menurut atmosfer dan kotoran yang berkumpul pada isolator. Adapun secara umum parameter-parameter pada macam-macam saluran transmisi dapat dilihat pada tabel berikut ini :



**Tabel 2.1 Parameter Saluran Transmisi**

<b>NO</b>	<b>SALURAN TRANSMISI</b>	<b>PARAMETER SALURAN TRANSMISI</b>		
		<b>R</b>	<b>L</b>	<b>C</b>
1	Jarak Pendek	Abaikan	abaikan	diabaikan
2	Jarak Menengah	Abaikan	abaikan	terpusat
3	Jarak Jauh	Abaikan	abaikan	abaikan

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di PT PLN (Persero) Pangkalan Berandan Sumatera Utara. Penelitian ini adalah penelitian tentang penggunaan kapasitor shunt pada jaringan transmisi jarak menengah. Waktu penelitian direncanakan berlangsung selama 1 (satu) bulan yang dimulai dari perencanaan, pengujian dan pengambilan data hingga pengolahan data.

#### **3.2 Kapasitansi Pada Saluran Transmisi Dan Kapasitor Shunt**

Kapasitansi saluran transmisi adalah akibat beda potensial antara penghantar (konduktor), kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti yang terjadi pada plat kapasitor bila terjadi beda potensial diantaranya. Kapasitansi antara penghantar adalah muatan per unit beda potensial

##### **3.2.1 Kapasitansi Antara Penghantar Saluran Transmisi**

Untuk mempelajari kapasitansi yang penting adalah medan listrik, garis fluks listrik berasal dari muatan positif pada saluran satu penghantar dan berakhir pada muatan penghantar lain. Kerapatan fluks listrik adalah fluks listrik per meter persegi dan diukur dalam kolom per meter persegi ( $m^2$ ). Kerapatan fluks listrik pada jarak  $x$  meter dapat dihitung dengan membayangkan suatu permukaan silinder yang konsentris dengan penghantar dengan berjari-jari  $x$  meter. Karena semua bagian permukaan itu sama jauhnya dari penghantar yang mempunyai muatan yang terbagi rata, permukaan silinder merupakan yang ekipotensial dan kerapatan

fluks dari permukaan itu sama dengan banyaknya fluks yang meninggalkan penghantar per meter panjang dibagi luas permukaan sepanjang sumbu 1m.

Kerapatan fluks listrik adalah :

$$D = \frac{q}{2\pi x} \text{ C/m}^2 \dots\dots\dots(3.1)$$

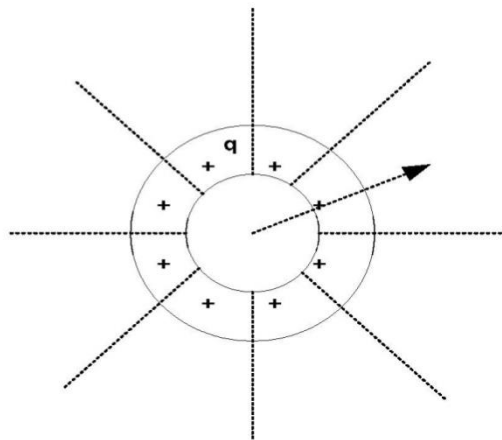
Dengan :

$q$  = muatan pada penghantar dalam colom per meter panjang

$x$  = jarak dalam meter dari penghantar dimana kerapatan fluks listrik dihitung

Kuat medan listrik sama dengan kerapatan fluks listrik dibagi dengan permitivitas medium. Karena itu medan listrik adalah :

$$E = \frac{q}{2\pi x k} \text{ v/m}^2 \dots\dots\dots(3.2)$$

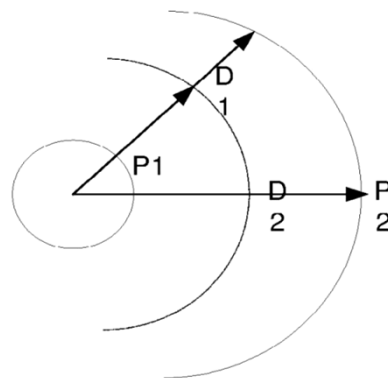


Gambar 3.1 Garis-garis fluks listrik berasal dari muatan-muatan positif .

Beda potensial antara dua titik dalam volt menurut angkanya sama dengan kerja dalam joule per coulomb yang diperlukan dalam memindahkan satu colom muatan antara kedua titik tersebut. Kuat medan listrik adalah suatu ukuran gaya

pada suatu muatan yang berada dalam medan. Kuat medan listrik dalam volt per meter sama dengan gaya dalam Newton per colom pada satu colom muatan titik yang sedang ditinjau. Bila ditinjau sebuah kawat lurus diperlihatkan pada gambar 3.2 Titik P1 dan P2 terletak pada jarak D1 dan D2 dari pusat kawat. Muatan positif pada kawat menggunakan suatu gaya tolak pada muatan positif yang diletakkan dalam medan. Untuk alasan ini dan karena dalam hal ini D2 lebih besar dari D1 harus ada kerja yang dilakukan pada suatu muatan positif untuk memindahkannya dari P2 ke P1 dan P1 berada dalam potensial yang lebih tinggi dari P2.

Beda potensial adalah banyaknya kerja yang dilakukan per colom muatan yang dipindahkan, sebaiknya jika colom itu bergerak dari P1 ke P2 muatan itu melepaskan tenaga dan banyaknya kerja atau tenaga dalam Newton meter adalah jatuh tegangan (Voltage drop) dari P1 ke P2. Beda potensial ini tergantung pada jalur yang dilalui.



Gambar 3.2 Jalur integrasi dua titik diluar suatu penghantar silinder yang

mempunyai muatan positif yang terbagi secara merata.

Cara yang paling sederhana untuk menghitung jatuh tegangan antara dua titik adalah dengan menghitung tegangan antara permukaan ekipotensial yang melewati P1 dan P2 dengan mengintegrasikan kuat medannya sepanjang jalur

radial antara kedua permukaan ekipotensial itu. Jadi jatuh tegangan sesaat antara P1 dan P2 adalah :

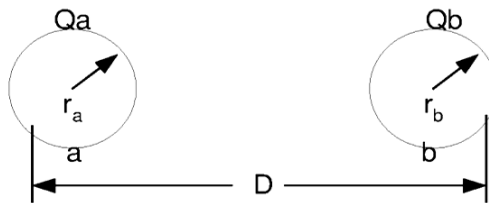
$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} edx = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi kx} dx = \frac{q}{2\pi k} \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ volt} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana **q** adalah muatan sesaat pada kawat dalam colom per meter panjang.

**3.2.2. Kapasitansi dari Dua Penghantar**

Kapasitansi antara dua penghantar suatu saluran adalah muatan pada penghantar dibagidengan selisih potensial antara kedua penghantar, dituliskan dengan rumus :

$$C = \frac{q}{v} \text{ f / m} \dots\dots\dots(3.4)$$



Gambar 3.3 Tegangan  $V_{ab}$  antar kedua penghantar pada saluran dua kawat yang dapat diperoleh dengan menentukan beda potensial antar kedua penghantar itu. Maka biasa beda potensial antara konduktor a dan b adalah :

$$V_{ab} = \frac{1}{2\mu k} [q \ln \frac{D}{r_a} - q \ln \frac{r_b}{D}]$$

$$V_{ab} = \frac{q}{2\mu k} \ln \frac{D^2}{r_a r_b} \dots\dots\dots (3.5)$$

merupakan perbandingan muatan dengan beda potensial persatuan panjang :

$$C_{ab} = \frac{q}{V_{ab}}$$

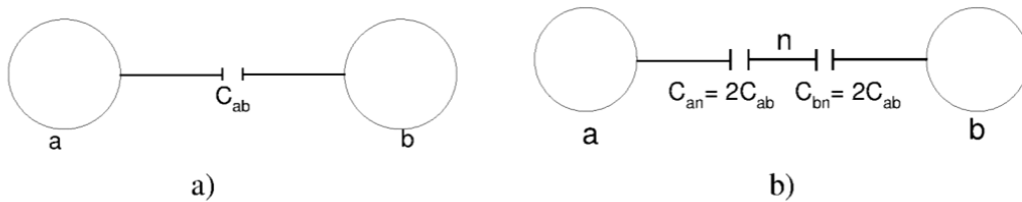
$$C_{ab} = \frac{\pi k}{\ln \left( \frac{D}{r_a r_b^{1/2}} \right)} \text{ f / m} \dots\dots\dots 3.6$$

$$C_{ab} = \frac{0.0121}{\log \left[ \frac{D}{r_a r_b^{1/2}} \right]} \mu f / km \dots\dots\dots 3.7$$

Jika  $r_a = n_1 = r$ , maka

$$C_{ab} = \frac{0.0121}{\log \left[ \frac{D}{r} \right]} \mu f / km \dots\dots\dots 3.8$$

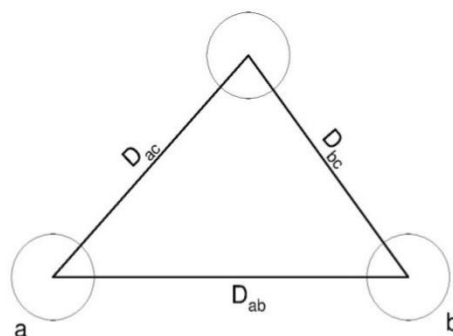
Kadangkala perlu memperoleh kapasitansi diantara salah satu konduktor dengan titik netral. Kapasitansi saluran dapat disusun dari dua kapasitansi yang



Gambar 3.4 a). Kapasitansi Fasa ke tanah      b). Kapasitansi fasa ke netral  
 Kapasitansi dari masing-masing saluran ke netral adalah dua kali saluran ke kapasitansi saluran (line to line capacitance).

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = 2C_{ab} = \frac{0.0242}{\log \left( \frac{D}{r} \right)} \mu F / km \dots\dots\dots 3.9$$

**3.2.3. Kapasitansi Saluran Tiga Fasa Dengan Jarak Pemisah Yang Sama**



Gambar 3.5 Saluran tiga fasa dengan jarak pemisah yang sama

Saluran tiga fasa dengan jarak pemisah yang sama menyatakan tegangan antara dua penghantar yang disebabkan oleh muatan pada masing-masing penghantar. Jadi beda potensial untuk  $V_{ab}$  dan  $V_{ac}$  dapat ditulis :

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi k} \left( qa \ln \frac{D}{r} + qb \ln \frac{r}{D} + qc \ln \frac{D}{D} \right) \text{ volt} \dots\dots\dots 3.10$$

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi k} \left( qa \ln \frac{D}{r} + qb \ln \frac{D}{D} + qc \ln \frac{R}{D} \right) \text{ volt} \dots\dots\dots 3.11$$

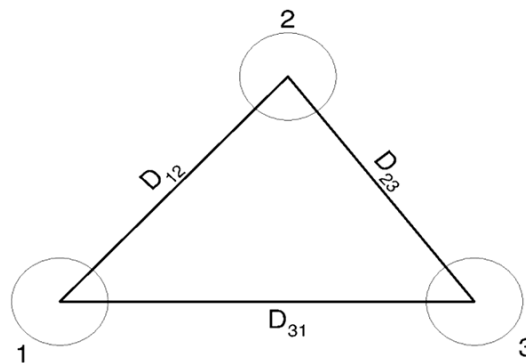
Penjumlahan dari persamaan 3.10 dan 3.11 menghasilkan :

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi k} \left( 2qa \ln \frac{D}{r} + (qb + qc) \ln \frac{r}{D} \right) \text{ volt} \dots\dots\dots 3.12$$

Jika  $qb + qc = -qa$  maka

### 3.2.4. Kapasitansi Saluran Tiga Fasa Dengan Jarak Pemisah Yang Tidak Simetris

Kapasitansi dari saluran tiga fasa dengan jarak pemisah yang tidak simetris diperoleh dengan menganggap bahwa saluran ditransportasikan.



Gambar 3.6 Saluran tiga fasa dengan jarak pemisah yang tidak seimbang

Untuk saluran yang diperlihatkan pada gambar 3.6, diperoleh tiga persamaan untuk  $v_{ab}$  untuk tiga bagian yang berbeda pada periode transposisi.

Untuk fasa a pada posisi 2 dan c pada posisi 3, maka :

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi k} \left( qa \ln \frac{D_{12}}{r} + qb \ln \frac{r}{D_{12}} + qa \ln \frac{D_{23}}{D_{31}} \right) \text{ volt} \dots \dots \dots 3.17a$$

Untuk phasa a pada posisi 2, b pada posisi 3 dan c pada posisi 1, maka :

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi k} \left( qa \ln \frac{D_{23}}{r} + qb \ln \frac{r}{D_{23}} + qa \ln \frac{D_{31}}{D_{12}} \right) \text{ volt} \dots \dots \dots 3.17b$$

Untuk phasa a pada posisi 3, b pada posisi 1 dan c pada posisi 2, maka :

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi k} \left( qa \ln \frac{D_{31}}{r} + qb \ln \frac{r}{D_{31}} + qa \ln \frac{D_{12}}{D_{23}} \right) \text{ volt} \dots \dots \dots 3.17c$$

Maka nilai rata-rata tegangan antara penghantar dapat dicari, dan kapasitansi dihitung berdasarkan tegangan rata-rata. Tegangan rata-rata tersebut didapat dengan menjumlahkan persamaan (3.17a), (3.17b), dan (3.17c) dan membagi hasilnya dengan 3. Tegangan rata-rata antara a dan b berdasarkan pengandaian muatan yang sama pada penghantar tanpa memperhitungkan posisinya pada periode transportasi adalah :

$$V_{ab} = \frac{1}{3} (V_{ab1} + V_{ab2} + V_{ab3})$$

Sehingga

$$\begin{aligned} V_{AN} &= \frac{1}{6\pi k} \left[ qa \ln \left( \frac{D_{12} D_{23} D_{31}}{r^3} \right) + qb \ln \left( \frac{r^3}{D_{12} D_{23} D_{31}} \right) + qa \ln \left( \frac{D_{12} D_{23} D_{31}}{D_{12} D_{23} D_{31}} \right) \right] \\ &= \frac{1}{2\pi k} \left( qa \ln \frac{Deg}{r} + qb \ln \frac{r}{Deg} \right) \text{ volt} \dots \dots \dots 3.18 \end{aligned}$$

dengan :

$$Deg = (D_{12} D_{23} D_{31})^{1/3}$$

Dengan cara yang sama diperoleh

$$V_{AC} = \frac{1}{2\pi k} \left( qa \ln \frac{Deg}{r} + qa \ln \frac{r}{Deg} \right) \text{ volt} \dots \dots \dots 3.19$$

Dengan menjumlahkan persamaan (3.18) dan (3.19) sehingga diperoleh :



Dengan menjumlahkan persamaan (3.18) dan (3.19) sehingga diperoleh :

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi\kappa} \left( 2qa \ln \frac{Deg}{r} + qb \ln \frac{r}{Deg} + qa \ln \frac{r}{Deg} \right) \text{ volt} \dots\dots\dots 3.20$$

Karena  $q_a + q_b + q_c = 0$  pada rangkaian tiga fasa yang seimbang, sehingga :

$$3V_{an} = \frac{3}{2\pi\kappa} qa \ln \frac{Deg}{r} \text{ volt} \dots\dots\dots 3.21$$

dan

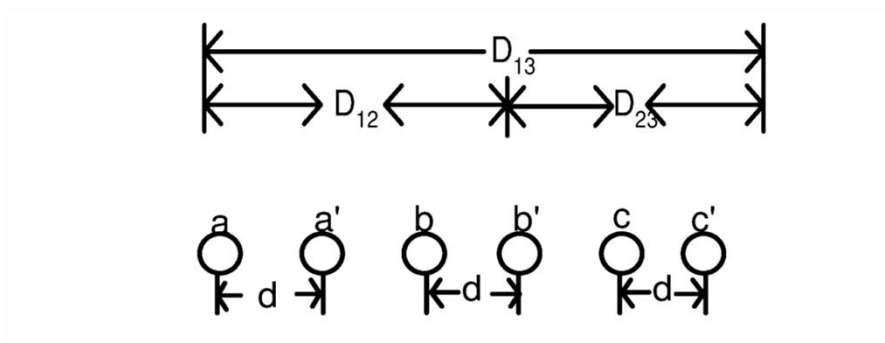
$$C_a = \frac{q_a}{V_{an}}$$

Sehingga

$$C_n = \frac{2\pi\kappa}{\ln \left( \frac{Deg}{r} \right)} \text{ f / m kenetral} \dots\dots\dots 3.22$$

### 3.2.5. Kapasitansi Penghantar Berkas

Menunjukkan penampang saluran penghantar berkas tiga fasa dengan subkonduktor perfasa.



Gambar 3.7 Penampang saluran tiga fasa dengan penghantar berkas

Jika muatan pada fase a adalah  $q_a$ , penghantar a dan a1 masing-masing bermuatan

$\frac{q_a}{2}$ , pembagian muatan yang sama dimisalkan juga untuk fasa b dan c, maka :

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\kappa} \left\{ \frac{qa}{2} \left( \ln \frac{D_{12}}{r} + \ln \frac{D_{12}}{d} \right) + \frac{qb}{2} \left( \ln \frac{r}{D_{12}} + \ln \frac{d}{D_{12}} \right) + \frac{qc}{2} \left( \ln \frac{D_{23}}{D_{31}} + \ln \frac{D_{23}}{D_{31}} \right) \right\} \dots\dots\dots 3.23$$

Dengan menggabungkan suku-suku itu didapat :

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\kappa} \left( qa \ln \frac{D_{12}}{\sqrt{rd}} + qb \frac{\sqrt{rd}}{D_{12}} + qa \ln \frac{D_{23}}{D_{31}} \right) \dots\dots\dots 3.24$$

Persamaan (3.24) adalah sama dengan persamaan (3.17) kecuali  $\sqrt{rd}$  yang telah menggantikan r, oleh karena itu kita menanggapi salurannya ditransportasikan, sehingga kita dapat mencari harga Cn :

$$C_n = \frac{2\pi\kappa}{Deg} \frac{f / m \text{ ke netral}}{\ln \sqrt{rd}} \dots\dots\dots 3.25$$

Maka untuk suatu berkas dua lilitan

$$D^b_{sc} = \sqrt[4]{(rxd)^2} = \sqrt{rd} \dots\dots\dots 3.26$$

Untuk suatu berkas tiga – lilitan

$$D^b_{sc} = \sqrt[4]{(rxdxd)^2} = \sqrt[3]{rd^2} \dots\dots\dots 3.27$$

Dan untuk suatu berkas empat lilitan

$$D^b_{sc} = \sqrt[6]{(rxdxdxdx2^{1/2})^4} = 1.09\sqrt{rd} \dots\dots\dots 3.28$$

### 3.3 Kapasitor Shunt (2)

Pemasangan kapasitor shunt (pararel) sangat penting untuk sebuah system daya. Tentu ini jelas bahwa saluran transmisi akan sangat efektif bila hanya mengirimkan daya aktif saja dimana kebutuhan daya reaktif beban didapat di dalam sistem distribusi. Hal ini memungkinkan untuk pengoptimuman saluran transmisi, perbaikan penampilan operasional dan pengurangan kerugian. Kapasitor-kapasitor dalam sistem disusun dalam bentuk rangkaian penyimpan yang dapat dihubungkan misalnya :

- Bintang ditanahkan
- Bintang yang tidak ditanahkan
- Bintang ganda netral melayang
- Bintang ganda netral yang ditanahkan
- Delta dan sebagainya



Gambar 3.8 Pemasangan kapasitor shunt pada sisi penerima (substation)

Kapasitor seri dan paralel (shunt) pada sistem daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan kerennya menambah kapasitas sistem dan mengurangi kerugian. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban sedangkan pada kapasitor paralel (shunt) berbanding lurus dengan kuadrat tegangan. Selain itu secara umum dapat dikatakan bahwa dari segi ekonomi biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih tinggi dari pada kapasitor paralel (shunt). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada table 3.1 dibawah ini perbandingan antara kapasitor seri dan paralel :

**Tabel 3.1. Perbandingan Antara Kapasitor Seri Dan Pararel**

No	Tujuan	Pilihan	
		Kapasitor Seri	Kapasitor shunt
1	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2	Memperbaiki tingkat tegangan pada system	Pertama	Kedua
3	Memperbaiki tingkat tegangan pada saluran udara dengan faktor daya yang tinggi	Tidak dipakai	Pertama
4	Memperbaiki tegangan pada saluran bawah tanah dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Tidak dipakai
5	Memperbaiki tegangan pada saluran bawah tanah dengan faktor daya tinggi	Tidak dipakai	Tidak dipakai
6	Mengurangi kerugian saluran	Kedua	Pertama
7	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak dipakai

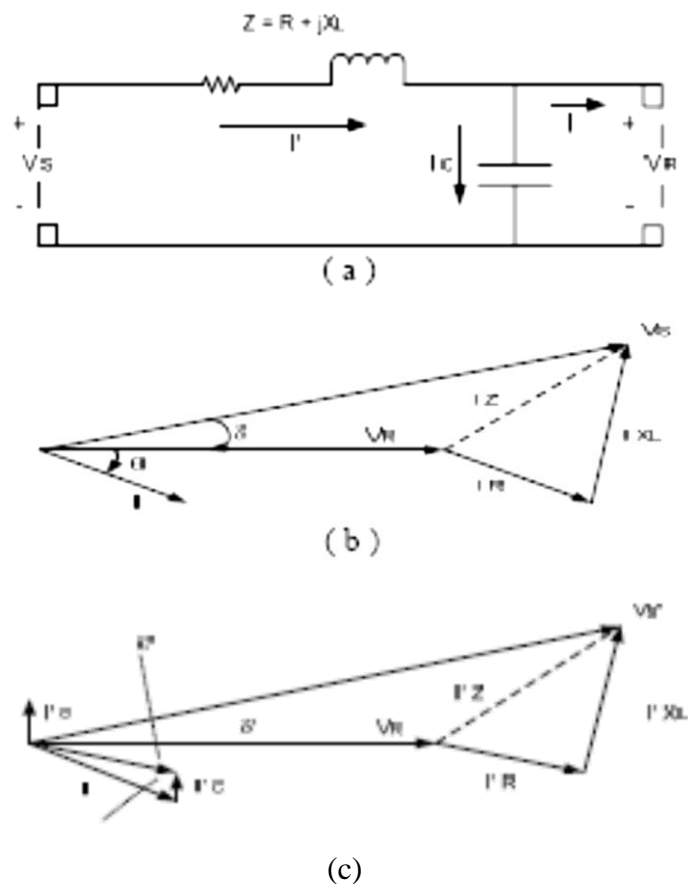
### 3.3.1 Pengaruh Kapasitor Shunt

Kapasitor ini terhubung paralel pada jaringan maupun langsung pada

beban, dengan tujuan untuk perbaikan faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya dan tegangan pada jaringan (Deshpande, 1990).

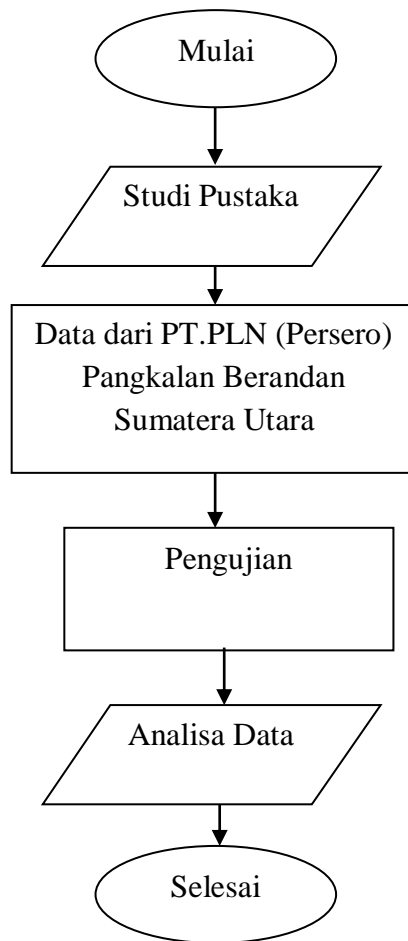
Dengan anggapan tegangan sisi beban dipertahankan konstan, maka dari gambar dibawah ini terlihat bahwa dengan menggunakan kapasitor shunt, maka arus reaktif yang mengalir pada saluran akan berkurang.

Hal ini menyebabkan berkurangnya penurunan tegangan pada saluran, sehingga diperlukan tegangan sumber yang tidak berbeda jauh dengan tegangan terima. Berkurangnya arus reaktif yang mengalir pada saluran akan memberikan penurunan rugi-rugi daya dan rugi-rugi energi.



Gambar 3.9 (a) Rangkaian ekivalen dari saluran, Diagram vector pada rangkaian pada faktor daya lagging (b) tanpa kapasitor dan (c) dengan kapasitor shunt.

### 3.4 *Flowchart*



Gambar 3.10 *Flowchart* Perancangan Penelitian

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Umum**

Pada transmisi daya listrik arus bolak-balik terdapat dua sisi yang akan menghubungkan sumber daya tersebut dengan lokasi pemakai. Untuk mempermudah penentuan dari harga tegangan dan arus pada sisi pengirim dan sisi penerima, maka pada persamaan-persamaan tegangan dan arus tersebut dibentuk suatu rumus untuk, konstanta-konstanta ABCD dimana nilai dari konstanta tersebut akan berbeda untuk setiap jenis saluran transmisi. Pada umumnya jenis beban yang ada pada sisi penerima adalah bersifat resistif dan induktif. Pemasangan kapasitor pada salah satu sisi transmisi saluran tersebut akan memperkecil besar arus yang mengalir, dengan demikian jatuh tegangan (drop tegangan) pada transmisi saluran akan menjadi kecil. Oleh sebab itu, pemasangan kapasitor pada ujung dari transmisi akan dapat mempertahankan nilai tegangan pada ujung dari transmisi saluran tersebut.

#### **4.1.1 Konstanta-konstanta umum saluran transmisi**

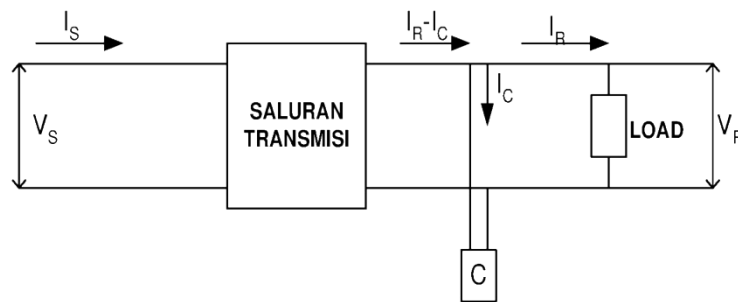
##### **1. Rangkaian kutub empat**

Dalam banyak keperluan di dalam teknik transmisi daya listrik misalnya diagram lingkaran, perencanaan saluran transmisi dan lain-lain, sering perlu menyatakan konstanta-konstanta.

### 4.2. Pengaruh Pemasangan Kapasitor Pada Sisi Penerima Saluran Transmisi

Pengaruh pemasangan kapasitor pada sisi penerima saluran transmisi yang dimaksud adalah besarnya arus yang diberikan kapasitor pada saluran transmisi.

Untuk dapat menentukan besarnya pada kapasitor tersebut, ditinjau suatu rangkaian seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1. Diagram satu garis saluran transmisi.

Sebelum pemasangan kapasitor, hubungan pada sisi pengirim dan sisi penerima sebagai berikut :

$$V_s = AV_R + B IR \dots\dots\dots 4.1$$

$$I_s = CV_R + D IR \dots\dots\dots 4.2$$

Setelah pemasangan kapasitor maka persamaan 4.16 akan berubah menjadi :

$$V_s = A VR + (IR - Ic)$$

atau

$$Ic = \frac{A VR - VS}{B} + IR \dots\dots\dots 4.3$$

Kemudian persamaan 4.17 juga akan berubah menjadi :

$$Is = C VR + D (IR + Ic)$$

atau

$$Ic = \frac{CV_R - Is}{D} + IR \dots\dots\dots 4.4$$

Apabila persamaan 4.3 dan 4.4 disubsitusi, maka diperoleh :

$$2Ic = \frac{AV_B - VS}{B} + \frac{CV_B - IS}{D} + 2IR$$



$$I_C = IR - \frac{IS}{2D} - \frac{1}{2} \left[ \frac{VS}{B} \left( \frac{A}{B} + \frac{C}{D} \right) V_R \right]$$

Dimana:

$$Kr = \frac{1}{2} \left[ \frac{VS}{B} - \left( \frac{A}{B} + \frac{C}{D} \right) V_R \right]$$

Maka:

$$Ic = IR - \frac{Is}{2D} - Kr \dots \dots \dots 4.5$$

Atau:

$$Kr = \frac{Vs}{2B} - \left( \frac{AD+BC}{2D} \right) VR \dots \dots \dots 4.6$$

Dimana :

Kr = Kostanta apabila kapasitor pada sisi penerima.

Ic = Besarnya arus yang harus diberikan oleh kapasitor

Dengan diperolehnya besarnya IC maka dapat ditentukan besarnya kapasitas kapasitor yang akan dipasang pada sisi penerima saluran transmisi yang dinyatakan dengan QC yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q_C = |V_R|_{L-N} |I_C| \dots \dots \dots 4.7$$

$$Q_{3FASA} = 3Q_C$$

Untuk mendapatkan besarnya kapasitor (C) maka digunakan persamaan berikut :

$$C = \frac{Q_{3FASA}}{\omega |V_{RL-N}|^2} \dots \dots \dots 4.8$$

Dengan diperolehnya besarnya Qc maka dapat ditentukan besarnya sudut  $\theta_R$  yang baru atau dengan kata lain  $\cos\theta_R$  yang baru setelah pemasangan kapasitor, yang dilihat pada persamaan berikut :

$$Q_c = P_R (\tan \theta_R - \tan \theta_R) \text{ per fasa} \dots \dots \dots 4.9$$

Sedangkan untuk perhitungan tegangan (V'R), arus (I'R) dan daya (P'R)

setelah pemasangan kapasitor pada sisi penerima dapat digunakan persamaan berikut :

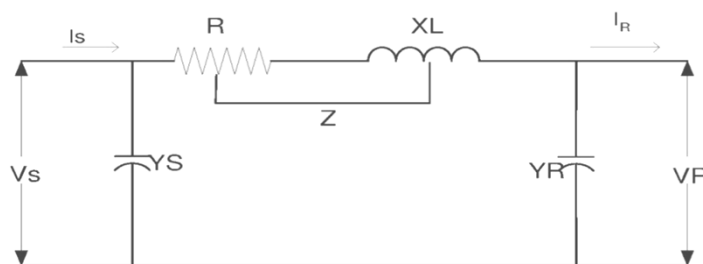
$$I'_R = I_R - I_C \dots\dots\dots 4.10$$

$$V'_R = \frac{Q_C}{\sqrt{3}I'_R \times \sin \theta'_R} \dots\dots\dots 4.11$$

$$P'_R = \sqrt{3} \times V'_R \times I'_R \times \cos \theta'_R \dots\dots\dots 4.12$$

### 4.3. Perhitungan Dengan Menggunakan Metode Nominal PI

Pada transmisi saluran ini akan diperhitungkan pengaruh pemasangan kapasitor pada saluran transmisi. Admittansi shunt yang biasanya merupakan kapasitansi murni dimasukkan dalam diperhitungkan untuk saluran jarak menengah. Jika keseluruhan administrasi shunt saluran dibagi dua sama besar dan ditempatkan masing-masing pada ujung penerima, dinamakan rangkaian berbentuk nominal PI. Untuk mendapatkan suatu rumus untuk  $V_R$  kita akan berpedoman pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar. 4.2. Rangkaian nominal PI pada saluran transmisi jarak menengah  
Berdasarkan gambar rangkaian di atas maka dapat diperoleh penurunan persamaan sebagai berikut :

$$V_R = (1 + Y_S Z)V_R + ZI_S \dots\dots\dots 4.13$$

$$I_R = -(Y_R + Y_S + Y_R Z Y_S)V_R + (1 + Y_R Z)I_S \dots\dots\dots 4.14$$

$$A = 1 + Y_S Z; B = Z \dots\dots\dots 4.15$$

$$C = Y_R + Y_S + Y_R Z Y_S \dots\dots\dots$$

$$D = 1 + Y_R Z \dots\dots\dots 4.16$$

$$\text{Dan apabila } Y_R = Y_S = \frac{Y}{2} \dots\dots\dots 4.17$$

Maka :

$$A = D = 1 + \frac{YZ}{2} \dots\dots\dots 4.18$$

$$B = Z \dots\dots\dots 4.19$$

$$C = Y \left( 1 + \frac{YZ}{4} \right) = Y + \frac{Y^2 Z}{4} \dots\dots\dots 4.20$$

Untuk mencari nilai dari IC pada metode nominal ini terlebih dahulu ditentukan nilai KR, yang mana dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$K_R = G \left[ V_S - \left( \frac{H^2 - 2}{H} \right) V_R \right] \dots\dots\dots 4.21$$

Dimana :

$$G = \frac{1}{2Z}, H = 2 + YZ \dots\dots\dots 4.22$$

Maka nilai IC dapat ditentukan :

$$I_C = IR - \frac{I_S}{2D} - Kr \dots\dots\dots 4.23$$

Dengan diperolehnya nilai IC maka parameter-parameter yang lainnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 4.7 sampai dengan persamaan 4.12

Dengan membuat IR sama dengan nol dalam persamaan 4.1 terlihat bahwa A adalah perbandingan VS/VR dalam keadaan tanpa beban. Demikian juga B adalah perbandingan singkat. Konstanta A berguna dalam perhitungan regulasi. Jika  $V_{R(FL)}$  tegangan ujung penerima pada beban penuh untuk suatu tegangan ujung penerima pada beban penuh untuk suatu tegangan ujung pengirim  $V_S$ , maka

Pengaturan Tegangan untuk nominal PI didefinisikan sebagai :

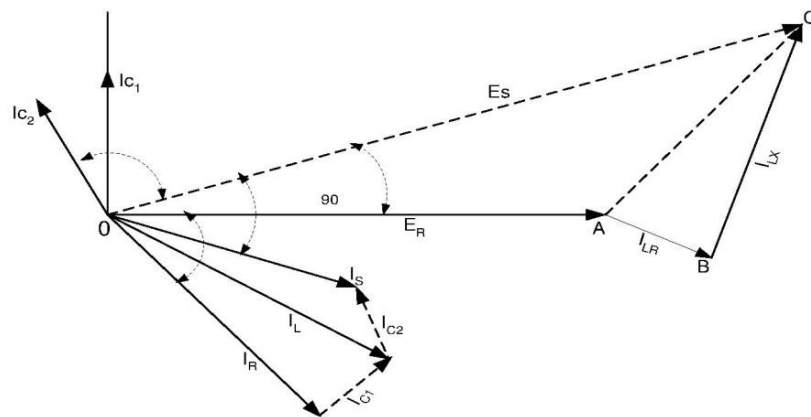
Dimana :

$$VR(NL) = \frac{VS}{1 + \frac{ZY}{2}} ; VR(FL) = VR$$

$$\text{Maka, } V_{reg}(\%) = \frac{|V_R(AZ)| - |V_R(FZ)|}{|V_R(FL)|} \times 100\%$$

$$VR(\%) = \frac{\left| \frac{V_S}{1 + \frac{ZY}{2}} \right| - |V_R|}{|V_R|} \times 100\%$$

Diagram vektor untuk rangkaian nominal PI ditunjukkan pada gambar 4.2 tegangan ujung penerima  $V_R$  ditunjukkan oleh vektor OA dan vektor OD adalah arus ujung penerima. Vektor OH menunjukkan arus  $I_{cR}$  dan leading terhadap  $V_R$  sebesar 90. Jumlah vektor OD dan OH menghasilkan OE yang menunjukkan arus ujung pengirim  $I_s$ .



Gambar 4.3. Diagram vektor rangkaian nominal PI untuk saluran Transmisi jarak menengah .

**Tabel 4.1. Konstanta ABCD**

SALURAN TRANSMISI	KONSTANTA - KONSTANTA			
	A	B	C	D
Menengah Nominal PI	$1 + \frac{ZY}{2}$	Z	$Y \left( 1 + \frac{2Y}{4} \right)$	$1 + \frac{2Y}{2}$
Menengah Nominal T	$1 + \frac{2Y}{2}$	$Z \left( 1 + \frac{2Y}{4} \right)$	Y	$1 + \frac{2Y}{2}$

**Tabel 4.2. Konstanta Kr dan Ks**

SALURAN TRANSMISI	KONSTANTA Kr	KONSTANTA Ks
Pengirim		$\left( \frac{AD+BC}{2BA} \right) V_S - \frac{V_S}{2B}$
Penerima	$\left( \frac{AD+BC}{2BD} \right) V_B - \frac{V_S}{2B}$	

**Tabel 4.3. Konstanta**

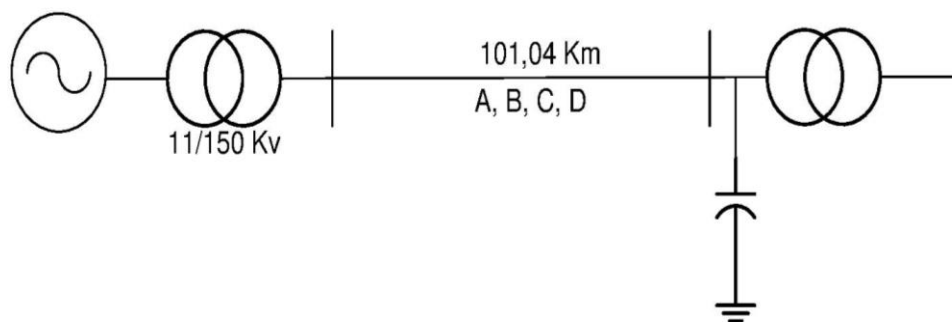
JENIS SALURAN TRANSMISI	KONSTANTA Ks	KONSTANTA Kr
Menengah Nominal T	$K \left[ \left( \frac{H^2-2}{I^2-1} \right) V_S - \frac{V_R}{J} \right]$	$K \left[ \frac{V_S}{J} - \left( \frac{H^2-2}{I^2-1} \right) V_S \right]$
Menengah Nominal PI	$G \left[ \left( \frac{H^2-2}{H} \right) V_S - V_R \right]$	$G \left[ V_S - \left( \frac{H^2-2}{H} \right) V_R \right]$

Tabel 4.4. Konstanta Pembantu

NO	SIMBOL	HARGA
1	H	$(2+YZ)$
2	G	$\frac{1}{2Z}$
3	I	$(3 + YZ)$
4	J	$(4 + YZ)$
5	K	$\frac{2}{Z}$

#### 4.4 Contoh Perhitungan

Suatu pembangkit tenaga listrik yang akan menyalurkan daya listrik sebesar 60 MW, dengan mempergunakan saluran transmisi jarak menengah pada jarak 101,04 Km, dengan data-data parameter sebagai berikut :



$$R = 0,13 \text{ ohm/Km}$$

$$L = 0,4080 \times 10^{-3} \text{ H/Km}$$

$$C = 0,015 \times 10^{-6} \text{ F/Km.}$$

Saluran transmisi menggunakan konduktor ACSR type HAWK Pada frekwensi 50 Hz, dengan  $\cos \phi$  pada sisi pengirim = 0,89 Diinginkan :

1. Pengaruh sebelum pemasangan kapasitor
  - Tegangan pada ujung penerima ( $V_R$ )
  - Arus pada ujung penerima ( $I_R$ )
  - Daya pada ujung penerima ( $P_R$ )
  - $\cos \phi$  ujung penerima
  - Perhitungan menggunakan metode nominal PI dan T
  
2. Pengaruh setelah pemasangan kapasitor
  - Rating kapasitor yang dipasang pada ujung penerima ( $Q_C$ )
  - Tegangan pada ujung penerima ( $V'_R$ )
  - Arus pada ujung penerima ( $I'_R$ )
  - Daya pada ujung penerima ( $P'_R$ )
  - $\cos \phi$  ujung penerima ( $\cos \phi'_R$ )
  - Perhitungan menggunakan metode nominal PI dan T

### **Penyelesaian**

Dengan menggunakan perumusan-perumusan pada bab sebelumnya maka diperoleh :

Diketahui :

Tegangan pada sisi pengiriman ( $V_s$ ) = 150 KV

Daya yang disalurkan ( $P_s$ ) = 60 MW

Jarak saluran transmisi = 101,04 Km

Frekwensi saluran = 50 Hz, dengan  $\cos \phi_s = 0,89$

Parameter-parameter saluran transmisi :  $R = 0,13 \text{ ohm/Km}$ ,  $L = 0,4080 \times 10^{-3}$

$$H/\text{Km}, C = 0,015 \times 10^{-6} \text{F/Km.}$$

Dijawab :

- menentukan impedansi dan admintansi pada saluran

Impedansi

$$\begin{aligned} Z &= R + j\omega L \\ &= R + j2\pi f L \\ &= 0,13 + j2 \times 3,14 \times 50 \times 0,4080 \times 10^{-3} \\ &= 0,13 + j0,128 \\ &= 0,18 \angle 44,55^{\circ} \text{ Ohm/Km} \\ &= 18,18 \angle 44,55^{\circ} \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Admintansi shunt (Y)

$$\begin{aligned} Y &= G + j\omega C & G &= 0 \text{ (diabaikan)} \\ &= j2\pi f C \\ &= j2 \times 3,14 \times 50 \times 0,015 \times 10^{-6} \text{ mho / km} \\ &= j0,00471 \times 10^{-3} \text{ mho / km} \\ &= j0,475 \times 10^{-3} \text{ mho} \\ Y &= 0,475 \times 10^{-3} \angle 90^{\circ} \text{ mho} \end{aligned}$$

- ✚ menentukan konstanta ABCD pada saluran

$$A = 1 + \frac{ZY}{2}$$

$$A = 1 + \frac{18,18 \angle 45,55^{\circ} \times 0,475 \times 10^{-3} \angle 90^{\circ}}{2}$$

$$A = 1 + 0,00431 \angle 135,55^{\circ}$$

$$A = 1 - 0,0030 + j0,0030$$

$$A = 0,996 + j0,0030$$

$$A = 0,996 \angle 0,172^{\circ}$$

$$A = 0,996 \angle 0,172^{\circ}$$

$$C = \left( 1 + \frac{ZY}{4} = 1 + \frac{18,18 \angle 45,55^{\circ} \times 0,475 \times 10^{-3} \angle 90^{\circ}}{4} \right)$$



$$C = (1 + 0,00215 \angle 135,55^\circ)$$

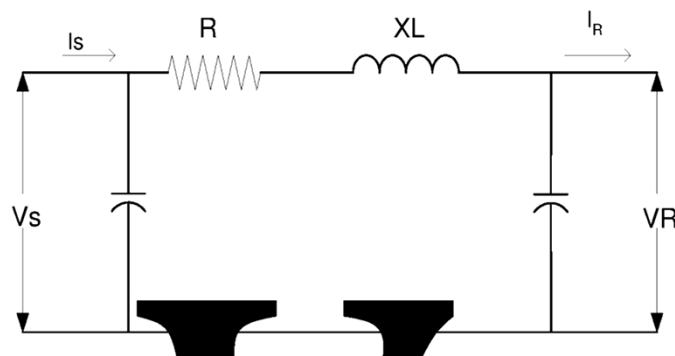
$$C = (0,998 + j0,0015)$$

$$C = 0,998 \angle 0,086^\circ$$

#### 4.5 Perhitungan tegangan (VR), arus (IR), daya yang diterima (PR) $\cos \delta$ pada sisi penerima sebelum pemasangan kapasitor.

##### 1. Metode nominal PI

Rangkaian pengganti saluran jarak menengah dengan metode nominal PI



Konstanta ABCD pada metode ini antara lain adalah sebagai berikut :

$$A = D = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) = 0,996 \angle 0,172^\circ$$

$$B = Z = 18,18 \angle 44,55^\circ$$

$$C = Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) = 0,474 \times 10^{-3} \angle 90,086^\circ$$

Besar arus pada sisi pengirim adalah :

$$I_s = \frac{P_s \angle \theta_s}{\sqrt{3} V_s \cos \phi_s} = \frac{60000 \angle 27,12^\circ \text{ KW}}{\sqrt{3} \times 150 \times 0,89 \text{ KV}}$$

$$I_s = \frac{60000 \angle 27,12^\circ \text{ KW}}{231,228 \text{ KV}}$$

$$I_s = 259,483 \angle 27,12^\circ \text{ A}$$

Maka besar tegangan pada sisi penerima adalah :

$$V_R = A.V_s - B.I_s$$

$$\begin{aligned}
V_R &= (86256,13 \angle 0,172^0) - (4284,17 \angle 27,43^0) \\
V_R &= (86255,741 + j258,937) - (3802,519 + j1973,565) \\
V_R &= 82453,222 - j2232,502 \\
V_R &= 82483,440 \angle 1,55^0 \text{ Volt} \\
V_R &= 82,483 \angle 1,55^0 \text{ Kv}_{(L-N)} \\
V_R &= 142,86 \angle 1,55^0 \text{ Kv}_{(L-L)} \\
V_R &= \left( 0,996 \angle 0,172^0 \times \frac{150}{\sqrt{3}} \text{ Kv} \right) - (18,18 \angle 54,55 \times 259,483 \angle -27,12^0) \\
V_R &= (0,996 \angle 0,172 \times 86602,54) - (18,18 \angle 54,55 \times 235,653 \angle -27,12^0)
\end{aligned}$$

Maka diperoleh tegangan pada sisi pengirim adalah  $V_R = 14,286 \angle 1,55^0 \text{ Kv}_{(L-L)}$

Besar arus pada sisi penerima adalah :

$$I_R = C.V_S + A.I_S$$

$$\begin{aligned}
I_R &= (0,474 \times 10^{-3} \angle 90,086^0 \times 86602,54) + (0,996 \angle 0,172^0 \times 259,483 \angle -27,12^0) \\
I_R &= (41,049 \angle 90,086^0) + (258,445 \angle -26,984^0) \\
I_R &= (-0,061 + j41,049) + (230,208 - j117,267) \\
I_R &= 230,147 - j76,218 \\
I_R &= 242,439 \angle -18,323^0
\end{aligned}$$

Maka diperoleh arus pada sisi penerima adalah :  $I_R = 242,439 \angle -18,323^0$

Dengan diperolehnya besar sudut antara arus dan tegangan maka dapat diperoleh

besar sudutnya sebesar :

$$\begin{aligned}
\varphi_R &= \varphi_{V_R} - \varphi_{I_R} \\
\varphi_R &= 1,55 - (-18,323) \\
\varphi_R &= 1,55 + 18,29 \\
\varphi_R &= 19,84 \\
\cos \varphi_R &= 0,94
\end{aligned}$$

Maka diperoleh  $\cos \delta = 0,94$

Besar daya yang diterima oleh sisi pengirim sebelum pemasangan kapasitor adalah :

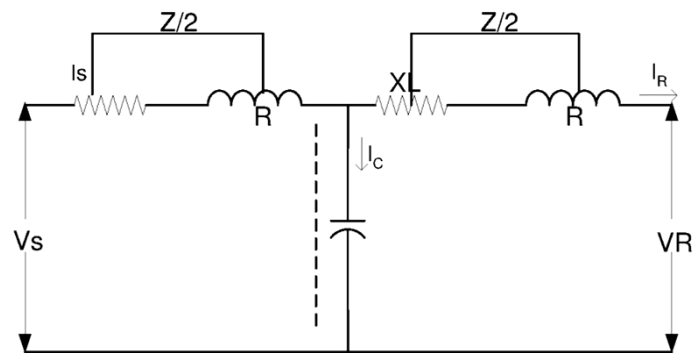
$$P_R = \sqrt{3}V_{R(L-L)} \times I_R \times \cos \delta$$

$$P_R = \sqrt{3}142,86 \times 242,439 \times 0,94$$

$$P_R = 56,389 \text{ MW}$$

## 2. Metode nominal T

Pada perhitungan model T ini hampir sama dengan metode nominal PI hanya berbeda pada konstantanya saja.



Konstanta ABCD terdiri dari :

$$A = D = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) = 0,996 \angle 0,172^\circ$$

$$B = Z \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) = 18,143 \angle 54,636^\circ$$

$$C = Y = 0,475 \times 10^{-3} \angle 90^\circ$$

Tegangan pada sisi penerima ( $V_R$ ) =  $A \cdot V_S - B \cdot I_S$

Maka :

$$V_R = \left(0,996 \angle 0,172^\circ \times \frac{150}{\sqrt{3}} \text{ Kv}\right) - \left(18,143 \angle 54,636^\circ \times 259,483 \angle -27,12^\circ\right)$$

$$V_R = \left(0,996 \angle 0,172^\circ \times 86602,54\right) - \left(18,143 \angle 54,636^\circ \times 259,483 \angle -27,12^\circ\right)$$

$$V_R = \left(86256,13 \angle 0,172^\circ\right) - \left(4707,80 \angle 27,516^\circ\right)$$

$$\begin{aligned}
 I_R &= (41,136 \angle 90^\circ) + (258,445 \angle -26,948^\circ) \\
 I_R &= j41,136 + 230,308 - j117,267 \\
 I_R &= 230,308 - j76,131 \\
 I_R &= 242,564 \angle -18,29^\circ
 \end{aligned}$$

Maka dapat diperoleh besar sudut antara tegangan dan arus pada sisi penerima

$$\begin{aligned}
 \varphi_R &= \varphi_{VR} - \varphi_{IR} \\
 \varphi_R &= 1,689 - (-18,29) \\
 \varphi_R &= 1,689 + 18,29 \\
 \varphi_R &= 19,979^\circ \\
 \cos \varphi_R &= 0,93
 \end{aligned}$$

Besar daya yang diterima pada sisi penerima adalah :

$$\begin{aligned}
 P_R &= \sqrt{3} V_{R(L-L)} \times I_R \times \cos \delta \\
 P_R &= \sqrt{3} 142,22 \times 242,564 \times 0,93 \\
 P_R &= 55,568 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

#### 4.6 Perhitungan Regulasi Tegangan, Efisiensi Dan Daya Pada Ujung Penerima

1. efisiensi saluran transmisi pada ujung penerima

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_R}{P_S} \times 100\% \\
 \eta &= \frac{55,087}{60} \times 100\% \\
 \eta &= 91,81\%
 \end{aligned}$$

2. regulasi tegangan transmisi pada ujung penerima

$$VR(\%) = \frac{V_{R(NL)} - V_{R(FL)}}{V_{R(FL)}} \times 100\%$$

Dimana :

$$V_{R(NL)} = \frac{V_S}{1 + \frac{ZY}{2}} = \frac{86,602}{0,996} = 86,950 \text{ Kv}$$

$$V_{R(FL)} = 82,116 \text{ Kv}$$

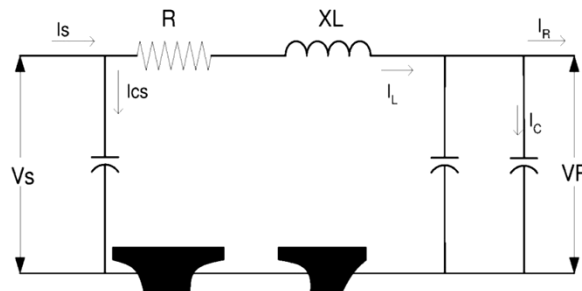
Maka diperoleh besar regulasi tegangan adalah :

$$VR(\%) = \frac{86,950 - 82,116}{82,116} \times 100\%$$

$$VR(\%) = 5,886\%$$

#### 4.7 Perhitungan tegangan(VR), arus (IR), daya yang diterima (PR ) $\cos \delta$ pada sisi penerima setelah pemasangan kapasitor.

##### a. Perhitungan Menggunakan metode nominal PI



Pada perhitungan ini nilai  $I_C$  akan ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Besar arus } I_C \text{ pada sisi penerima adalah } I_C = j \left[ I_R - \frac{I_S}{H} - K_R \right]$$

Dimana :

$$H = 2 + YZ \text{ atau } H = 2 \text{ A} \quad G = \frac{1}{2Z}$$

$$K_R = G \left[ V_S - \left( \frac{H^2 - 2}{H} \right) V_R \right]$$

Maka besar harga H dan G dapat dihitung :

$$H = 2A$$

$$H = 2 \left( \frac{1 + ZY}{2} \right) = 2 \times 0,996 \angle 0,172^\circ = 1,992 \angle 0,172^\circ$$

$$G = \frac{1}{2Z} = \frac{1}{2 \times 18,18 \angle 44,55} = \frac{1}{36,36 \angle 44,55} = 0,027 \angle -44,55^\circ$$

Kemudian menentukan besarnya harga  $K_R$

$$K_R = G \left[ V_S - \left( \frac{H^2 - 2}{H} \right) V_R \right]$$

$$K_R = 0,027 \angle -44,55^\circ \left[ 86602,54 \angle 0^\circ - \left( \frac{(1,992 \angle 0,172^\circ)^2 - 2}{1,992 \angle 0,172^\circ} \right) 82483,440 \angle 1,55^\circ \right]$$

$$K_R = 0,027 \angle -44,55^\circ [86602,54 \angle 0^\circ - 81492,31 \angle 1,55^\circ]$$

$$K_R = 0,027 \angle -44,55^\circ [86602,54 - j0 - 81462,957 - j2204,310]$$

$$K_R = 0,027 \angle -44,55^\circ (5139,583 - j2204,310)$$

$$K_R = 0,027 \angle -44,55^\circ \times 5592,342 \angle 23,213^\circ$$

$$K_R = 150,99 \angle -23,336^\circ$$

Maka untuk menentukan arus  $I_C$  diperoleh dengan persamaan berikut :

$$I_C = j \left[ I_R - \frac{I_S}{H} - K_R \right]$$

$$I_C = j \left[ 242,564 \angle -18,29^\circ - \frac{259,483 \angle 27,12^\circ}{1,992 \angle 0,172^\circ} - 150,99 \angle -23,336^\circ \right]$$

$$I_C = j [242,439 \angle -18,323^\circ - 130,262 \angle 26,948^\circ - 150,99 \angle -23,336^\circ]$$

$$I_C = j [230,147 - j76,218 - 116,117 - j59,032 - 138,638 + j59,810]$$

$$I_C = -24,608 - j75,44$$

$$I_C = 79,352 \angle 71,934^\circ \text{ A}$$

Dengan diperolehnya arus  $I_C$  yang mengalir pada sisi penerima maka diperoleh besarnya rating kapasitas kapasitor. Dengan menggunakan persamaan berikut maka:

$$Q_C = \sqrt{3} \times V_{R(L-N)} \times I_C$$

$$Q_C = \sqrt{3} \times 82483,44 \times 79,352$$

$$Q_C = 11,336 \text{ MVAR}$$

Kemudian kita dapat menentukan nilai kapasitor per fasa :

$$C = \frac{Q_{3 \text{ fasa}}}{\omega |V_{R(L-L)}|^2}$$

$$C = \frac{11,336 \times 10^6}{2 \times 3,14 \times 50 \times (142,86 \times 10^3)^2}$$

$$C = \frac{11,336 \times 10^6}{314 \times 20408,9 \times 10^5}$$

$$C = 0,000001603 \text{ F}$$

$$C = 1,76 \mu\text{F}$$

Untuk besarnya sudut  $\theta'_R$  yang baru digunakan persamaan berikut :

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

$$Q_C = 55,087 \times 10^6 (\tan 19,979^\circ - \tan \theta'_R)$$

$$11,336 \times 10^6 = 55,087 \times 10^6 (0,36 - \tan \theta'_R)$$

$$11,336 = 20,027 - 55,087 \tan \theta'_R$$

$$\tan \theta'_R = \frac{20,027 - 11,336}{55,087}$$

$$\tan \theta'_R = 0,157$$

$$\theta'_R = 8,96^\circ$$

Maka diperoleh  $\cos \theta'_R = 0,987$

Dengan diperolehnya parameter-parameter diatas maka dapat ditentukan :

- 1) Besarnya arus di sisi penerima setelah pemasangan kapasitor ( $I'_R$ )

$$I'_R = I_R + I_C$$

$$I'_R = 230,147 - j76,218 + (-24,608 - j75,44)$$

$$I'_R = 230,147 - j76,218 - (24,608 - j75,44)$$

$$I'_R = 205,539 - j151,65$$

$$I'_R = 255,433 \angle -36,420^\circ$$

2) Tegangan setelah pemasangan kapasitor ( $V'_R$ )

$$H = 2 + YZ \text{ atau } H = 2 \text{ A} \quad G = \frac{1}{2Z}$$

$$I = 3 + YZ = 3 + (0,475 \times 10^3 \angle 90^\circ \times 18,18 \angle 44,55^\circ) = 2,993 \angle 0,116^\circ$$

$$J = 4 + YZ = 4 + (0,475 \times 10^3 \angle 90^\circ \times 18,18 \angle 44,55^\circ) = 3,993 \angle 0,087^\circ$$

$$K = \frac{2}{Z} = \frac{2}{18,18 \angle 44,55^\circ} = 0,110 \angle -44,55^\circ$$

Maka nilai  $K_R$  dapat ditentukan :

$$K_R = K \left[ \frac{V_S}{J} - \left( \frac{H^2 - 2}{I^2 - 1} \right) V_R \right]$$

$$K_R = 0,110 \angle -44,55^\circ \left[ \frac{86602,05 \angle 0^\circ}{3,993 \angle 0,087^\circ} - \left( \frac{1,992^2 \angle 1,172 - 2}{2,993^2 \angle 0,116 - 1} \right) 82480,259 \angle 1,55^\circ \right]$$

$$K_R = 0,110 \angle -44,55^\circ [21688,467 \angle -0,087^\circ - (0,247 \angle -0,0215^\circ) 82480,259 \angle 1,55^\circ]$$

$$K_R = 0,110 \angle -44,55^\circ (21688,441 - j33,311) - (20372,623 \angle 1,335)$$

$$K_R = 0,110 \angle -44,55^\circ (21688,441 - j33,311) - (20367,093 - j474,642)$$

$$K_R = 0,110 \angle -44,55^\circ (1321,348 - j507,953)$$

$$K_R = 0,110 \angle -44,55^\circ (1415,618 \angle 21,027^\circ)$$

$$K_R = 155,717 \angle 23,52^\circ$$

$$K_R = 142,77 + j62,141$$

Dengan diperolehnya  $K_R$  maka dapat ditentukan nilai  $I_C$  :

$$I_C = j \left[ I_R - \frac{I_S}{H} - K_R \right]$$

$$I_C = j \left[ 230,308 - 76,131 - \left( \frac{259,483 \angle 27,12}{1,99 \angle 0,172} \right) - 142,77 + j62,141 \right]$$

$$I_C = j [230,308 - 76,131 - (130,262 \angle 26,948^\circ) - 142,77 + j62,141]$$

$$I_C = j [230,308 - 76,131 - (116,117 - j59,032) - 142,77 + j62,14]$$

$$I_C = j [-28,579 - j73,022]$$

$$I_C = 78,415 \angle 68,62^\circ \text{ A}$$



$$V'_R = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times I'_R \times \sin \theta'_R}$$

$$V'_R = \frac{11,336 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 255,433 \times \sin 8,96}$$

$$V'_R = \frac{11,336 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 255,433 \times 0,15}$$

$$V'_R = \frac{11,336 \times 10^6}{68,905}$$

$$V'_R = 164,516 K V_{(L-L)}$$

$$V'_R = 94,983 K V_{(L-N)}$$

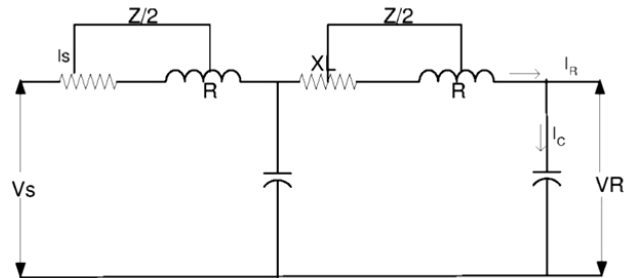
3) Daya setelah pemasangan kapasitor ( $P'_R$ )

$$P'_R = \sqrt{3} \times V'_R \times I'_R \times \cos \theta'_R$$

$$P'_R = \sqrt{3} \times 164,516 \times 255,433 \times 0,987$$

$$P'_R = 71,839 MW$$

#### b. Perhitungan Menggunakan metode nominal T



Pada perhitungan ini nilai  $I_C$  akan ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_C = j \left[ I_R - \frac{I_S}{H} - K_R \right]$$

Dimana :

$$K_R = K \left[ \frac{V_S}{J} - \left( \frac{H^2 - 2}{l^2 - 1} \right) V_R \right]$$

Dimana :

Dengan diperolehnya arus  $I_C$  yang mengalir pada sisi penerima maka diperoleh besarnya rating kapasitas kapasitor. Dengan menggunakan persamaan berikut maka :

$$Q_C = \sqrt{3} \times V_{R(L-N)} \times I_C$$

$$Q_C = \sqrt{3} \times 82480,259 \times 78,415$$

$$Q_C = 11,202 \text{ MVAR}$$

Kemudian kita dapat menentukan nilai kapasitor per fasa :

$$C = \frac{Q_{3\text{ fasa}}}{\omega |V_{R(L-L)}|^2}$$

$$C = \frac{11,202 \times 10^6}{2 \times 3,14 \times 50 \times (142,86 \times 10^3)^2}$$

$$C = \frac{11,336 \times 10^6}{314 \times 20408,9 \times 10^5}$$

$$C = 0,000001603 \text{ F}$$

$$C = 1,74 \mu\text{F}$$

Untuk besarnya sudut  $\theta'_R$  yang baru digunakan persamaan berikut :

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

$$Q_C = 55,568 \times 10^6 (\tan 19,979^\circ - \tan \theta'_R)$$

$$11,202 \times 10^6 = 55,568 \times 10^6 (0,36 - \tan \theta'_R)$$

$$11,202 = 20,027 - 55,087 \tan \theta'_R$$

$$\tan \theta'_R = \frac{20,202 - 11,202}{55,568}$$

$$\tan \theta'_R = 0,167$$

$$\theta'_R = 9,199^\circ$$

Maka diperoleh  $\cos \theta'_R = 0,987$

Dengan diperolehnya parameter-parameter diatas maka dapat ditentukan :

- 1) Besarnya arus di sisi penerima setelah pemasangan kapasitor ( $I'_R$ )

$$\begin{aligned}
 I'_R &= I_R + I_C \\
 I'_R &= 230,308 - j76,131 + (-28,579 - j73,022) \\
 I'_R &= 230,147 - j76,218 - (28,579 - j73,022) \\
 I'_R &= 201,729 - j149,153 \\
 I'_R &= 250,88 \angle -36,47^\circ
 \end{aligned}$$

2) Tegangan setelah pemasangan kapasitor ( $V'_R$ )

$$\begin{aligned}
 V'_R &= \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times I'_R \times \sin \theta'_R} \\
 V'_R &= \frac{11,202 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 250,88 \times \sin 8,96} \\
 V'_R &= \frac{11,336 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 250,88 \times 0,15} \\
 V'_R &= \frac{11,336 \times 10^6}{69,466} \\
 V'_R &= 161,256 \text{Kv}_{(L-L)} \\
 V'_R &= 93,101 \text{Kv}_{(L-N)}
 \end{aligned}$$

3) Daya setelah pemasangan kapasitor ( $P'_R$ )

$$\begin{aligned}
 P'_R &= \sqrt{3} \times V'_R \times I'_R \times \cos \theta'_R \\
 P'_R &= \sqrt{3} \times 161,256 \times 25,88 \times 0,987 \\
 P'_R &= 69,160 \text{MW}
 \end{aligned}$$

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pembahasan dan perhitungan pada bab sebelumnya maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada perhitungan setelah pemasangan kapasitor shunt pada sisi penerima terjadi kenaikan tegangan, daya dan arus serta faktor beban yang juga ikut naik, sedangkan perhitungan dengan menggunakan metode PI dan T terjadi adanya perbedaan.
2. Efisiensi dalam pemasangan kapasitor shunt dapat mengurangi rugi-rugi dan menaikkan tegangan pada saluran transmisi.

#### **5.2 Saran**

1. Pada penelitian berikutnya, peneliti harus merencanakan jarak dan optimasi penempatan kapasitor shunt pada jaringan transmisi jarak menengah.

## DAFTAR PUSTAKA

Wiwiek, 2014. *“Penelitian tentang Analisis Perbaikan Tegangan Pada Subsistem Dengan Pemasangan Kapasitor Bank Dengan Etap Versi 7.0”*. ITS, Surabaya

Wijanarko, A.,2008. *“Optimasi penempatan kapasitor shunt untuk perbaikan daya reaktif dengan algoritma genetic”*. ITN,Malang

Ngakan,P.,2008. *“Memperbaiki profil tegangan di sistem distribusi primer dengan kapasitor shunt”*. Udayana,Bali

Khairudin,S, dkk.,2007. *“Desain kapasitor shunt untuk meningkatkan kualitas daya di kampus politeknik negeri bengkalis”*. Politeknik Negeri,Bengkalis.

Ismail, Y.2007. *“Perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor*

Nurhidayat, M.,2006. *“Analisis penggunaan kapasitor shunt untuk memperbaiki tegangan pada jaringan tegangan menengah gardu induk duri kosambi”*.STT PLN,Jakarta

Riset PT PLN (Persero), Pangkalan Beranadan