

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem dalam bidang kelistrikan yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke beban atau pelanggan. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen yaitu pembangkit, saluran transmisi dan saluran distribusi dimana saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke gardu induk, sedangkan saluran distribusi berfungsi untuk menyalurkan atau mendistribusikan energi listrik dari gardu induk ke pelanggan [1]. Sistem distribusi sendiri terbagi atas dua yaitu, saluran distribusi tegangan menengah yang menggunakan tegangan 20 kV dan sistem distribusi tegangan rendah yang menggunakan tegangan 220/380 V.

Sistem distribusi merupakan bagian yang berhubungan langsung dengan pelanggan oleh sebab itu kualitas listrik yang diterima pelanggan dipengaruhi oleh kondisi jaringan distribusi itu sendiri. Dalam proses pendistribusian akan terjadi *drop* tegangan dan rugi-rugi daya yang disebabkan adanya tahanan pada penghantar. Besar dari *drop* tegangan dan rugi-rugi daya dipengaruhi dari beberapa faktor yaitu panjang saluran, jenis konduktor yang digunakan pada saluran, kapasitas trafo, tipe beban, faktor daya dan jumlah daya yang terpasang serta pemakaian beban-beban induktif yang menyebabkan kebutuhan beban reaktif meningkat.

Meningkatnya usaha di bidang industri yang banyak menggunakan beban yang bersifat induktif menyebabkan kebutuhan daya reaktif meningkat. Peningkatan kebutuhan daya reaktif menyebabkan terjadinya *drop* tegangan yang akan menyebabkan kurang efektif suatu sistem distribusi. Buruknya pendistribusian daya listrik pada suatu sistem distribusi ditinjau dari kualitas tegangan yang diterima konsumen. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk nilai *drop* suatu tegangan menurut Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi adalah -10% dan +5% dari nilai nominal [2].

Berdasarkan data dari PLN UP3 Payakumbuh, PLN UP3 Payakumbuh menyuplai daya ke 222.671 pelanggan pada bulan september 2021 dengan total konsumsi daya perbulan sebesar 29.544.398 kWh dengan susut energi sebesar 5.5%. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) pada tahun 2021 sampai 2030 di proyeksikan 2 skenario pertumbuhan beban di Sumatera Barat dengan tujuan untuk menaikkan permintaan listrik pada tahun-tahun berikutnya. Dua skenario itu adalah skenario optimis dan moderat. Skenario optimis pertumbuhan beban di Sumatera Barat diproyeksikan sebesar

7,62% pertahun sedangkan skenario moderat pertumbuhan beban diproyeksikan sebesar 6,97% pertahun [3].

Semakin bertambahnya beban pada suatu sistem distribusi maka jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem akan semakin bertambah. Untuk mengatasi permasalahan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang semakin bertambah, terdapat beberapa cara untuk memperbaiki *drop* tegangan dan rugi rugi daya pada suatu sistem distribusi, adapun cara yang biasa digunakan adalah dengan memperbesar luas penampang, pelimpahan beban ke penyulang lain, pemasangan *tap changer* dan pemasangan kapasitor *bank*.

Berdasarkan hal tersebut penulis melakukan penelitian dengan mengambil kasus “Analisa aliran daya terhadap pertumbuhan beban pertahun dan usaha perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau gardu induk Salak”. Pada penelitian ini akan dianalisa aliran daya terhadap penambahan beban pertahun dan akan dilakukan usaha dalam memperbaiki profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi penyulang Lintau gardu induk Salak. Usaha perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya akan menggunakan 3 metode yaitu penambahan kapasitor *bank*, pengaturan *tap changer* dan penggantian konduktor kabel penyulang. Hasil dari kedua metode akan dianalisa serta dibandingkan untuk mencari metode mana yang lebih baik dalam memperbaiki sistem distribusi pada penyulang Lintau.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana aliran daya pada sistem distribusi 20 kV penyulang Lintau, Gardu Induk Salak pada tahun 2021.
2. Bagaimana aliran daya pada sistem distribusi 20 kV di penyulang Lintau, Gardu Induk Salak setelah terjadi kenaikan beban pertahun.
3. Bagaimana aliran daya pada sistem distribusi 20 kV di penyulang Lintau, Gardu Induk Salak setelah dilakukan perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya dengan metode pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang.

1.3 Tujuan Penelitian

Dalam menjawab permasalahan di atas, maka perlu beberapa tujuan yang harus dicapai. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi 20 kV GI Salak penyulang Lintau pada tahun 2021.
2. Mengetahui jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi 20 kV penyulang Lintau GI Salak setelah terjadi kenaikan beban pertahun.

3. Mengetahui jatuh tegangan dan rugi-rugi daya setelah dilakukan perbaikan aliran daya menggunakan metode pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batas masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.
2. Simulasi menggunakan sistem distribusi di penyulang Lintau, Gardu Induk Salak.
3. Simulasi tidak memperhatikan keadaan pembebanan pada trafo distribusi.
4. Parameter yang dianalisa yaitu jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai pengaruh pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang dalam perbaikan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disusun dengan sistematika yang memuat mengenai isi bab-bab sebagai berikut:

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini berisikan uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian.

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini, jenis data yang digunakan, pemodelan, langkah-langkah, komponen dan perangkat yang digunakan dalam literatur dan pengolahan data hasil simulasi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini dilakukan analisa serta penjelasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menampilkan data-data yang telah diolah.

BAB V

PENUTUP

Berisikan kesimpulan yang diperoleh selama penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Untuk keperluan penyediaan energi listrik diperlukan berbagai peralatan listrik yang digunakan untuk mengalirkan daya dari pembangkit ke konsumen. Peralatan ini saling terhubung satu sama lain membentuk sebuah sistem yaitu sistem tenaga listrik

Sistem tenaga listrik secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi [1]. Pada sistem pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil, hidro, panas bumi, dan energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi listrik 3 fasa. Melalui trafo *step-up*, energi listrik dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban. Peningkatan beban bertujuan untuk mengurangi arus pada saluran transmisi yang artinya dapat mengurangi *losses*.

Setelah energi listrik mencapai pusat beban, tegangan kembali diturunkan menggunakan transformator *step-down* yang terdapat pada gardu induk. Kemudian distribusikan ke beban menggunakan saluran distribusi yang bertegangan menengah atau disebut juga tegangan distribusi primer. Tegangan menengah yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV dan 6 kV. Daya didistribusikan dari gardu induk menuju gardu distribusi.

Setelah daya mencapai gardu distribusi, tegangan diturunkan menjadi tegangan rendah atau disebut juga tegangan distribusi sekunder. Tegangan diturunkan menggunakan trafo *step-down* menjadi 380V/220V. Daya selanjutnya di salurkan ke konsumen menggunakan tegangan rendah [3]. Syarat yang harus dipenuhi pada suatu sistem tenaga listrik yaitu:

- Dapat memenuhi daya yang diperlukan konsumen.
- Tegangan stabil.
- Frekuensi stabil.
- Menyediakan listrik dengan harga wajar.
- Aman, andal dan ramah lingkungan.

2.2 Sistem Distribusi

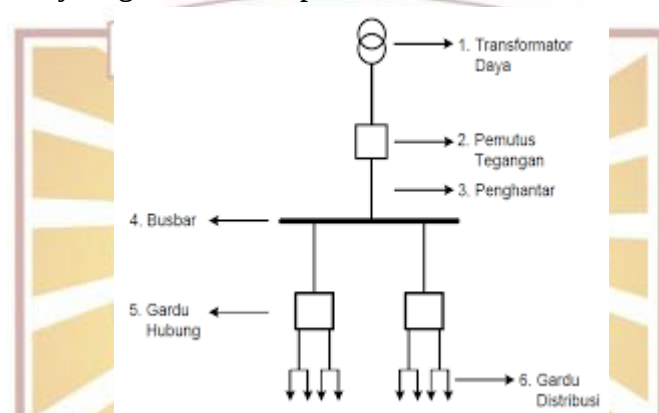
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar sampai ke konsumen. Energi listrik yang disalurkan ke gardu induk (GI) akan diturunkan tegangannya menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer. Umumnya tegangan distribusi primer yang dipakai adalah 6 kV, 12 kV dan 20 kV. Setelah itu tegangan diturunkan menjadi tegangan rendah 380V/220V yang disalurkan melalui jaringan distribusi sekunder kepada konsumen.

2.3 Klasifikasi Saluran Distribusi

Sistem distribusi terbagi atas 2 bagian, yaitu saluran distribusi primer yang juga dapat disebut saluran distribusi menengah dan saluran distribusi sekunder yang juga dapat disebut jaringan tegangan rendah [5].

2.3.1 Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer atau jaringan tegangan menengah digunakan untuk menghantarkan energi listrik dari gardu induk ke pusat beban dengan menggunakan level tegangan menengah sebesar 20 kV untuk standar tegangan menengah di Indonesia. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara maupun saluran bawah tanah tergantung kondisi lingkungan. Gambar 2.1 berikut merupakan contoh jaringan distribusi primer.



Gambar 2. 1 Jaringan distribusi Primer [5]

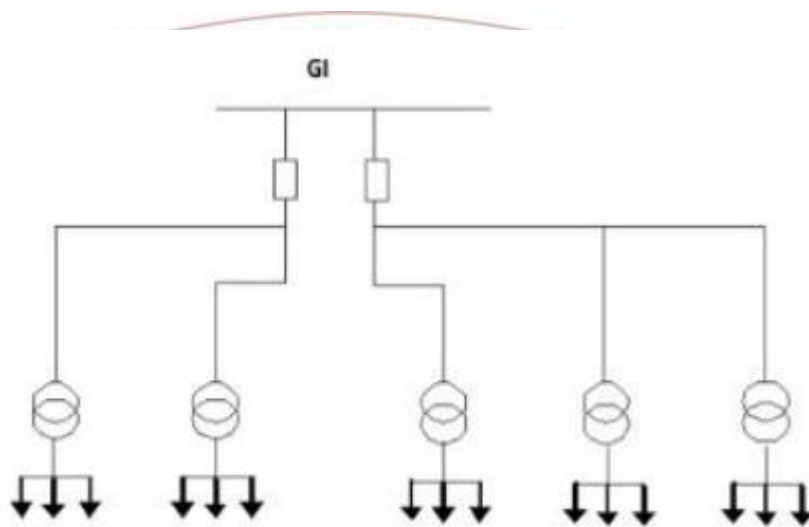
Jaringan distribusi primer terdiri dari beberapa komponen [7], yaitu:

- Transformator daya, berfungsi sebagai penurun tegangan
- Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pemutus tegangan jika terjadi gangguan.
- Penghantar, berfungsi sebagai penghubung antar komponen sistem distribusi.
- Busbar, berfungsi sebagai titik pertemuan antara trafo daya dan peralatan lain.
- Gardu hubung, berfungsi mengalirkan daya ke gardu-gardu lain tanpa mengubah tegangan.
- Gardu distribusi, berfungsi menurunkan tegangan menjadi tegangan rendah.

Pada jaringan distribusi primer terdapat 3 tipe konfigurasi. Diantaranya konfigurasi radial, konfigurasi *loop* dan konfigurasi spindel [7].

2.3.1.1 Jaringan Distribusi Radial

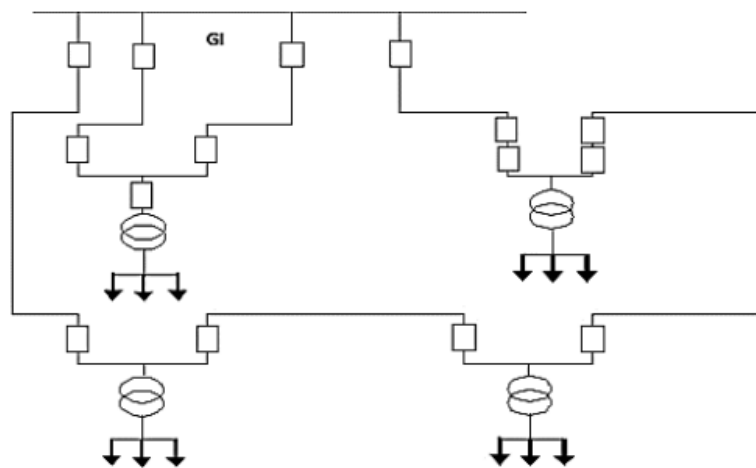
Gambar 2.1 merupakan jaringan distribusi primer tipe radial. Konfigurasi radial merupakan interkoneksi antara gardu distribusi yang saling terhubung seri disuplai oleh sebuah gardu induk. Dalam penyulang tersebut terdapat beberapa gardu distribusi dan satu buah GI yang membuat arah tegangannya hanya satu arah. Konfigurasi ini adalah konfigurasi yang paling sederhana dan mudah pengoperasiannya. Konfigurasi ini mempunyai kelemahan jika GI yang menyuplai daya untuk penyulang mengalami gangguan maka seluruh penyulang akan mengalami pemadaman [7]. Gambar 2.2 berikut merupakan gambar jaringan distribusi radial.



Gambar 2. 2 Konfigurasi Jaringan distribusi Radial [5]

2.3.1.2 Jaringan distribusi Loop

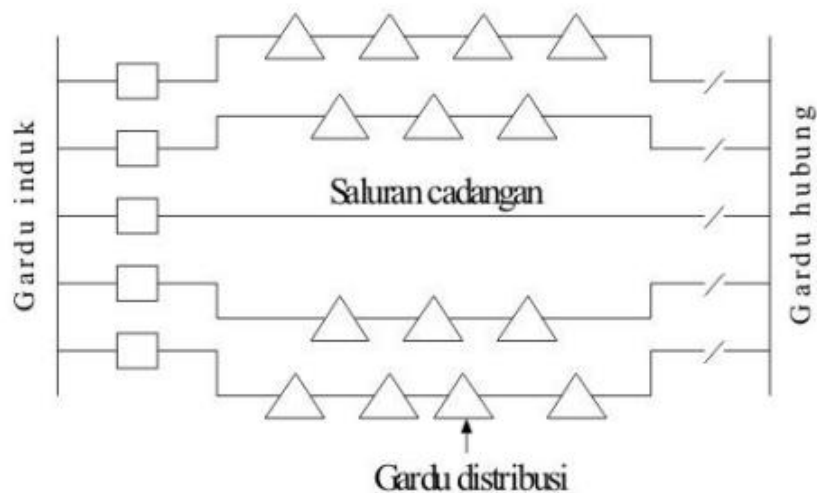
Konfigurasi *loop* merupakan interkoneksi antar gardu distribusi yang terhubung membentuk lingkaran tertutup. Konfigurasi ini dapat menggunakan lebih dari satu sumber dari gardu induk. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah ketika satu gardu induk mengalami gangguan penyulang akan tetap mendapat pasokan daya dari gardu induk yang lain tanpa perlu dilakukan pemadaman pada penyulang. Gardu induk yang mengalami gangguan dapat diperbaiki tanpa perlu dilakukan pemadaman [7]. Gambar 2.3 berikut merupakan gambar konfigurasi jaringan distribusi *loop*.



Gambar 2. 3 Konfigurasi jaringan *loop* [5].

2.3.1.1 Jaringan distribusi Spindel

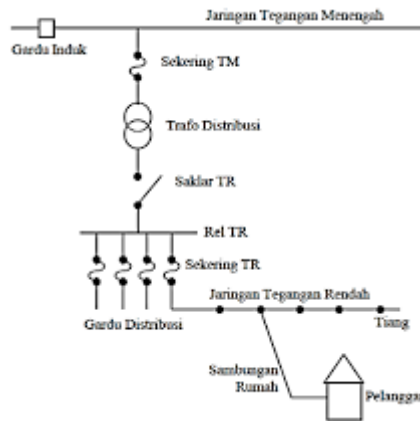
Konfigurasi spindel merupakan interkoneksi antar gardu distribusi yang kedua ujungnya dihubungkan oleh busbar gardu induk dan gardu hubung. Pada konfigurasi ini terdapat penyulang ekspres yang berfungsi sebagai penyulang cadangan yang menyuplai daya ke beban deka terjadi gangguan pada salah satu penyulang[6]. Gambar 2.4 berikut merupakan konfigurasi jaringan distribusi jaringan spindel.



Gambar 2. 4 Konfigurasi Jaringan Spindel [5].

2.3.2 Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah berfungsi untuk mengalirkan energi listrik dari gardu distribusi ke konsumen menggunakan level tegangan rendah yang sebesar 220 V untuk satu fasa dan 380 V untuk 3 fasa. Jaringan ini dapat berupa saluran bawah tanah dan saluran udara [5]. Gambar 2.5 berikut merupakan jaringan sistem distribusi sekunder.



Gambar 2. 5 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder [5]

2.4 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan studi yang di berguna untuk mendapatkan informasi tentang aliran daya dalam sebuah sistem tenaga listrik dalam kondisi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi kerja sistem dan menganalisa kondisi dari pembangkitan hingga pembebanan. [9]

Studi aliran daya merukanan studi yang penting dalam perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik dan juga dapat menentukan operasi terbaik pada sistem yang sudah ada. Karna seiring bertambahnya konsumen kebutuhan energi listrik juga akan terjadi kenaikan beban sehingga perlu dilakukan perubahan pada unit-unit pembangkit dan perubahan pada saluran transmisi maupun saluran distribusi.

Studi aliran daya befungsi untuk [9]:

1. Perencanaan dan pengembangan jaringan, studi aliran daya dapat memberi informasi jika ada pembebanan, pembangkit dan jaringan yang baru. Sangat bermanfaat untuk perencanaan suatu sistem baru.
2. Penentuan pembebanan terhadap peralatan sistem listrik, studi aliran daya dapn memberi informasi tentang kondisi pembebanan pada masa yang akan datang akibat perkembangan konsumsi listrik.
3. Penentuan kondisi operasi terbaik sistem tenaga listrik.
4. Memberikan data masukan bagi perhitungan gangguan dan studi stabilitas.

Analisa alran daya memerlukan representasi dan pemodelan komponen sistem tenaga listrik. Seuatu sistem kelistrikan 3 fasa diselesaikan perfasa menggunakan diagram segaris yang menggambarkan sistem tersebut. Dalam diagram segaris terdpat semua informasi yang diperlukan

Masalah dalam studi aliran daya mencangkup perhitungan aliran dan tegangan pada bus tertentu. Dalam sistem aliran daya terdapat 3 jenis bus, yaitu [9]:

1. *Slack bus* atau *swing bus* atau bus referensi.
2. *Voltage controlled bus* atau bus generator.

3. Load bus atau bus beban.

Pada setiap bus terdapat 4 besaran, yaitu:

1. Daya aktif (P)
2. Daya reaktif (Q)
3. Harga saklar tegangan (V)
4. Sudut fasa tegangan (θ)

Pada setiap bus hanya 2 macam besaran yang ditentukan, sedangkan besaran yang lain merupakan hasil perhitungan, besaran yang ditentukan pada masing-masing jenis bus adalah [9]:

1. Slack bus; harga skalar tegangan dan sudut fasa tegangan
2. Voltage bus; daya aktif dan tegangan
3. Load bus; daya aktif dan daya reaktif

Untuk menghitung besaran yang tidak ditetapkan pada suatu sistem tenaga listrik dapat dicari menggunakan rumus berikut:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i \quad (2.1)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i + jQ_i}{V_i} \quad (2.2)$$

Dimana

P_i = Daya aktif pada bus i

Q_i = Daya reaktif pada bus i

V_i = Tegangan pada bus i

I_i = Arus pada bus i

2.5 Daya

Daya dan energi adalah dua hal yang berbeda; daya listrik merupakan hasil perkalian tegangan dan arus dengan satuan watt sedangkan energi listrik merupakan perkalian daya dan waktu dengan satuan joule/s [10].

$$P = i \cdot v \quad (2.3)$$

Dimana

P = Daya (watt)

I = Arus (ampere)

V = Tegangan (v)

pada arus AC, terdapat tiga jenis daya pada beban yang memiliki impedansi, yaitu [10]:

2.5.1 Daya Aktif

Daya aktif atau daya nyata merupakan daya yang dikonsumsi oleh beban resistif. Satuan daya aktif adalah Watt. Persamaan daya aktif sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.4)$$

Dimana

P = daya aktif (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

2.5.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan beban induktif untuk pembentukan medan magnet. Contoh penggunaan daya reaktif adalah pada motor, transformator dan berbagai peralatan yang menggunakan lilitan. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reaktif).

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.6)$$

Dimana Q = Daya reaktif (VAR)
 V = Tegangan (volt)
 I = Arus (ampere)

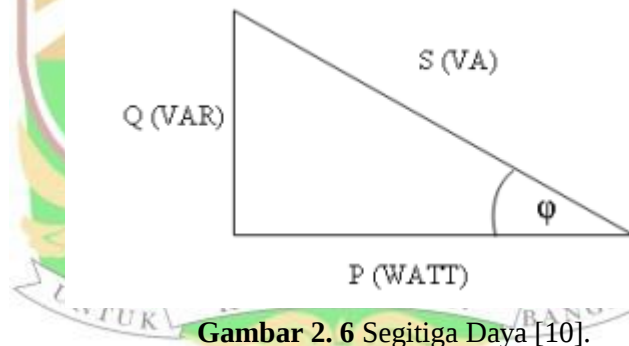
2.5.3 Daya Semu

Daya semu adalah daya dari hasil perkalian Arus dan tegangan. Daya ini juga merupakan penjumlahan dari daya aktif dan daya reaktif secara vektoris. Satuan dari daya ini adalah VA (Volt Ampere).

$$S = V \cdot I \quad (2.8)$$

Dimana P = Daya aktif (watt)
 V = Tegangan (volt)
 I = Arus (ampere)

Dari tiga jenis daya di atas yaitu P , Q dan S , terdapat hubungan yang disebut segitiga daya. Gambar 2.6 berikut ini merupakan gambar dari segitiga daya.



Gambar 2. 6 Segitiga Daya [10].

Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin besar daya reaktif maka sudut fasa antara daya aktif dan daya semu akan semakin meningkat. Sudut yang ada diantara daya aktif dan daya semu disebut juga faktor daya atau $\cos \varphi$.

2.6 Faktor Daya

Faktor daya atau juga dapat disebut $\cos \varphi$ merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya juga dapat diartikan sebagai perbandingan arus yang dapat menghasilkan kerja dalam suatu rangkaian dengan total arus yang masuk ke dalam rangkaian.

Faktor daya merupakan indikator dalam menilai baik buruknya kualitas daya listrik dalam hal konsumsi daya reaktif. Peningkatan daya reaktif membuat nilai faktor daya semakin kecil. Daya reaktif yang semakin besar menyebabkan

daya semu yang dialirkan ke beban menjadi semakin besar. Hal ini dapat menurunkan efisiensi dari suatu sistem distribusi [11].

Hubungan antara faktor daya dengan daya semu dan daya aktif dapat dilihat di persamaan berikut:

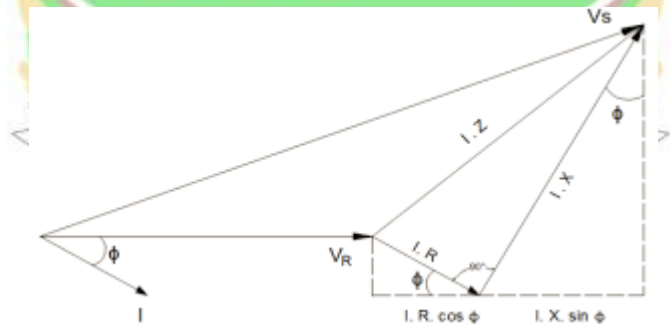
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.10)$$

Dimana $\cos \varphi$ = Faktor daya
 P = Daya aktif
 S = Daya semu

Faktor daya juga merupakan indikasi tegangan mendahului atau tertinggal dari arus. Efisiensi faktor daya adalah yang bernilai mendekati 1 [12]. Jika faktor daya kecil artinya daya aktif yang digunakan akan menjadi kecil dan daya reaktif yang digunakan akan semakin besar. Jika faktor daya semakin kecil maka akan berdampak pada mutu listrik seperti rugi-rugi daya, jatuh tegangan dan penggunaan daya reaktif yang membesar.

2.7 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan selisih nilai antara tegangan ujung kirim (*sending end*) dan tegangan ujung penerima (*receiving end*) [13]. Jatuh tegangan terjadi akibat pengaruh hambatan dan reaktansi pada saluran, perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan serta besar arus beban. Jatuh tegangan pada saluran bolak balik tergantung pada impedansi, beban dan jarak. besar jatuh tegangan dapat dihitung berdasarkan pada gambar 2.7, diagram fasor tegangan jaringan distribusi [10].



Gambar 2. 7 Diagram fasor transmisi daya ke beban [11].

Penurunan tegangan yang diperbolehkan berdasarkan standar yang dibuat PLN di beberapa titik jaringan distribusi SUTM = 5% dari tegangan kerja bagi sistem jaringan radial, trafo distribusi = 3% dari tegangan kerja, saluran tegangan rendah = 4% dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban dan sambungan rumah = 1% dari tegangan kerja [2].

Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir di saluran kawat. Tegangan jatuh pada penghantar akan berbanding lurus dengan besar arus yang

memalui penghantar. Tegangan jatuh merupakan penyebab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Adapun persamaan dari tegangan jatuh adalah sebagai berikut [13] :

$$\Delta V = V_s - V_r \quad (2.11)$$

Dimana ΔV = drop tegangan (Volt)
 V_s = tegangan pengiriman di sisi sumber (Volt)
 V_r = tegangan penerima di sisi beban (Volt)

Untuk mengetahui apakah tegangan pada suatu lokasi masih dalam batas standar presentase *drop* pelayanan, maka bisa dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad (2.12)$$

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besar kecilnya jatuh tegangan yaitu sebagai berikut [14]:

1. Arus terlalu besar
2. Impedansi
3. Beban melebihi kapasitas *supply*

2.8 Rugi-rugi daya

Rugi rugi daya adalah daya listrik yang sampai ke ujung saluran akan berkurang dari pembangkit. Dalam proses pengiriman daya akan melewati beberapa peralatan sehingga ketika daya mencapai beban akan terjadi rugi-rugi daya.

Secara garis besar rugi-rugi daya dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu *non-technical Losses* yang terjadi karena kerusakan pada pemasangan alat atau material kawat. Dan *technical Losses* yang disebabkan oleh karakteristik alat atau jenis material. Besar rugi-rugi daya pada suatu saluran dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [15] :

$$P_{Loss} = 3 \times I^2 R \quad (2.13)$$

Dimana P_{Loss} = Rugi-rugi pada saluran (Watt)
 I = Panjang saluran (km)
 R = Resistansi saluran per fasa (Ohm)
 I = Arus yang mengalir per fasa (Ampere)

2.9 Penghantar

Penghantar merupakan bahan yang digunakan menghantarkan daya listrik pada suatu sistem dari pembangkit ke beban. Pemilihan konduktor yang digunakan pada jaringan bergantung pada besar daya ke beban yang akan di kirimkan. Semakin besar daya yang akan dikirimkan maka ukuran penampang suatu konduktor seharusnya akan semakin besar.

Tahanan jenis merupakan salah satu faktor yang menentukan besar resistansi dalam suatu penghantar, selain itu luas penampang dan panjang kawat juga menjadi faktor yang mempengaruhi besar resistansi suatu penghantar [16]:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.14)$$

Dimana R = Resistansi saluran (Ohm)

ρ = Resistivitas bahan (ohm-meter)

l = Panjang penghantar (meter)

A = Luas penghantar (m^2)

2.10 Tap changer

Pengaturan *tap changer* merupakan salah satu cara dalam memperbaiki tegangan dalam sistem distribusi. Dengan menggunakan *tap changer* kita dapat mengatur rasio lilitan primer dan sekunder, dengan itu tegangan sekunder dari suatu trafo dapat stabil sesuai dengan tegangan nominalnya. Hal ini dapat dilihat dengan persamaan berikut [17].

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.15)$$

Dimana E_1 = Tegangan pada sisi primer

E_2 = Tegangan pada sisi Sekunder

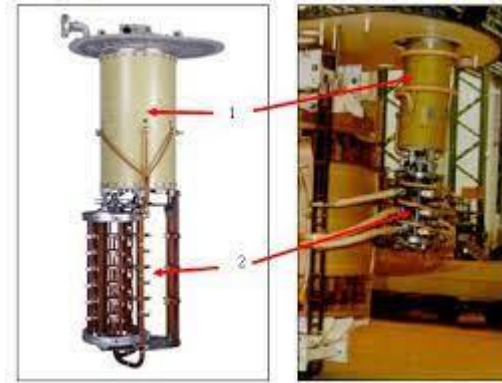
N_1 = Jumlah lilitan pada sisi primer

N_2 = Jumlah lilitan pada sisi sekunder

Proses perubahan ratio belitan dapat dilakukan saat trafo berbeban (*on load tap changer*) atau ketikan trafo tidak berbeban (*off load tap changer*). Suatu tap changer terdiri dari beberapa komponen, yaitu [7]:

- a. *Selector switch*
- b. *Diverter Switch*
- c. Tahanan Transisi

Gambar 2.8 berikut merupakan foto dari tap changer.



Gambar 2. 8 *Tap changer* (1) Diverter switch (2) Selector switch [7]

Pengoperasian *tap changer* ada pada panel control dan motor drive unit. Bagian-bagian panel control dan motor drive adalah:

1. Motor ac 3 fasa yang berfungsi untuk menggerakkan mekanik untuk mengganti tap.
2. Kontraktor, ada 3 jenis kontraktor yang digunakan pada panel kontrol yaitu,
 - a. Kontraktor utama, berfungsi sebagai *supply* tegangan ke motor tiga fasa dan sebagai *limit switch* ketika tap sudah berada di posisi yang benar
 - b. Kontraktor kedua dan ketiga, berfungsi sebagai pembalik fasa untuk mengubah arah motor kiri atau kekanan.
3. MCB, berfungsi untuk megamankan alat dari jumlah arus yang besar.
4. Display mekanik *counter* dan posisi tap, berfungsi sebagai penampil untuk menunjukkan kondisi *tap changer* saat bekerja.
5. *Selector switch*, digunakan untuk memilih jenis pengontrolan *remote* atau *local*. Pengontrolan *remote* dilakukan melalui panel pada gardu induk, dan pengontrolan *local* dilakukan langsung di trafo.
6. Engkol manual, berfungsi untuk memindahkan tap secara manual.

Tap changer ada yang dapat dilakukan pengaturan ketika berbeban dan ketika tidak berbeban. Berikut ini jenis tap trafo berdasarkan ada atau tidaknya pembebanan [7]:

1. *Offload Tap changer*, dapat bekerja ketika sekitarnya tidak ada pembebanan sehingga ketika pengoperasian akan terjadi pemadaman disekitar daerah kerja trafo.
2. *Onload Tap changer*, dapat bekerja pada saat kondisi pembebanan sehingga ketika pengoperasian tidak diperlukan pemadaman.

2.11 Kapasitor *Bank*

Kapasitor *Bank* adalah komponen yang dipasang pada suatu sistem untuk memperbaiki kualitas daya listrik seperti memperbaiki tegangan, meningkatkan

faktor daya dan mengurangi rugi-rugi. Kapasitor *Bank* tersusun dari beberapa kapasitor yang di pasang paralel untuk mendapatkan kapasitansi tertentu [5].

Pemasangan kapasitor juga akan memberi pengaruh berbeda pada jaringan, ada 2 cara pemansangan kapasitor pada sebuah jaringan [12]:

1. Kapasitor Paralel (shunt)

Kapasitor shunt adalah kapasitor yang dipasasng paralel dengan saluran distribusi yang bertujuan untuk memasok daya reaktif untuk beban induktif.

2. Kapasitor Seri

Kapasitor yang dihubungkan seri dengan impedansi, maka kapasitor akan berperan sebagai impedansi negatif sehingga akan menekan jauh *drop* tegangan yang diakibatkan oleh reaksi induktif dari suatu sistem. Pemasangan kapasitor secara seri akan menaikkan tegangan dan juga dapat memeperbaiki faktor daya.

Untuk memperbaiki *drop* tegangan, kapasitor berperan untuk mengkompenasi daya reaktif yang akan meningkatkan level tegangan jaringan. Persamaan *drop* tegangan dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$\Delta V = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (2.16)$$

Dimana I = Arus beban (Ampere)

R = Tahanan Rangkaian (Ohm)

X = Reaktansi rangkaian (Ohm)

Dari persamaan, nilai jatuh tegangan bergantung pada beberapa faktor, yaitu daya aktif, dan impedansi. Pengaturan daya aktif berkaitan dengan frekuensi sistem, sedangkan daya reaktif berkaitan dengan tegangan pada sistem.

Untuk memperbaiki faktor daya kapasitor dipasang secara paralel yang nantinya akan berperan sebagai penyuplai daya reaktif, oleh karena itu pemakaian daya reaktif pada suatu sistem akan berkurang.

Faktor daya sebelum diperbaiki:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S} \quad (2.17)$$

atau

$$\tan \varphi_1 = \frac{Q}{P} \quad (2.18)$$

Faktor daya yang diinginkan:

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{S} \quad (2.19)$$

atau

$$\tan \varphi_2 = \frac{Q}{P} \quad (2.20)$$

Jadi besar nilai kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya adalah:

$$Q_c = P(\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2) \quad (2.21)$$

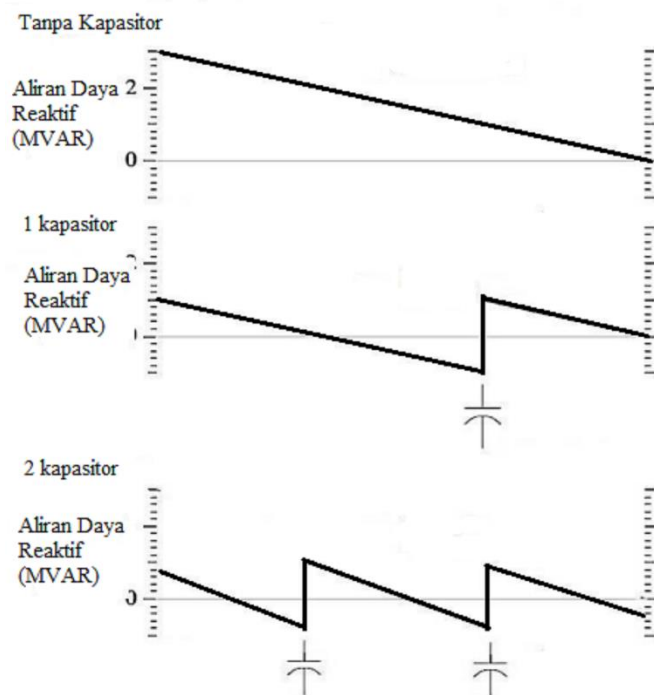
$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (2.22)$$

2.11.1 Metode penentuan lokasi pemasangan kapasitor bank menggunakan metode jarak

Pemasangan kapasitor *Bank* pada sistem bertujuan untuk memperbaiki faktor daya pada sistem itu sendiri. Lokasi paling optimal dalam penempatan kapasitor *Bank* adalah pada lokasi yang mendekati pusat beban pada suatu sistem. Namun pada kenyataannya pola konsumen pada setiap sistem bervariasi. Oleh sebab itu dalam menentukan pusat beban pada suatu sistem perlu dilakukan pendekatan untuk mengidentifikasi letak pusat beban pada suatu sistem distribusi. Ada banyak metode yang dapat dilakukan dalam mengetahui pusat beban, salah satunya adalah teori metode jarak [5].

Metode jarak atau bisa disebut “2/3 rule” dikembangkan oleh Neagle dan Samson agar distribusi daya reaktif yang dihasilkan kapasitor *bank* bisa merata ke seluruh beban. Berdasarkan teori ini penempatan kapasitor *bank* yang optimal adalah pada jarak 2/3 dari gardu ke ujung penyulang. Penempatan ini dianggap optimal karena 1/3 dari panjang penyulang dari sumber akan mendapat suplai daya reaktif dari sumber dan 2/3 panjang jaringan berikutnya daya reaktif akan disuplai oleh kapasitor *bank*.

Untuk penggunaan lebih dari satu kapasitor, penentuan lokasi menggunakan rumus $2n/(2n+1)$ dimana n adalah jumlah kapasitor *bank* yang dipakai. Contohnya pada pemasangan 2 buah kapasitor *bank*, berdasarkan teori metode jarak, kapasitor *bank* yang optimal berada pada jarak 2/5 dan 4/5 dari panjang penyulang.



Gambar 2. 9 Penempatan kapasitor *Bank* menggunakan metode jarak [5].

Gambar 2.9 menjelaskan bahwa tanpa menggunakan kapasitor *bank* daya reaktif yang disuplai sumber akan Terus berkurang hingga tidak bisa menyuplai daya reaktif untuk beban yang terletak di ujung penyulang. Sedangkan ketika di tambahkan kapasitor *bank* suplai daya reaktif akan dibantu oleh kapasitor *bank* sehingga pendistribusian daya reaktif akan lebih merata ke seluruh beban pada sistem.

