

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Performa sistem distribusi tenaga listrik sangat berperan penting terhadap kenyamanan dan keamanan bagi konsumen perusahaan maupun rumah tangga. Indeks peningkatan performa merupakan suatu metode penevaluasian parameter peningkatan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap kualitas dan mutu pelayanan kepada pelanggan, agar tidak terjadi beban lebih

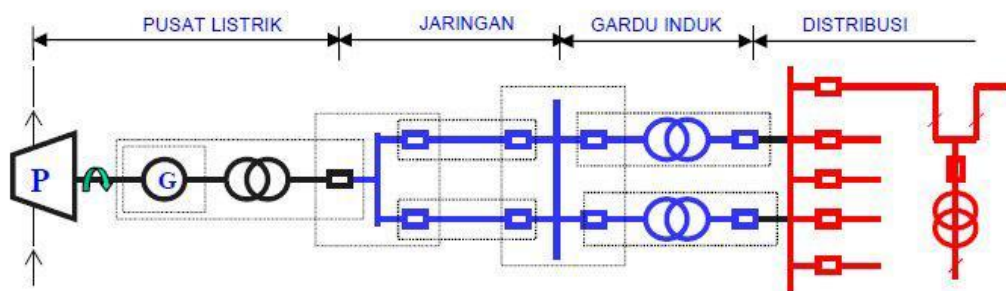
Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk menjadikan sebagai bahan penulisan skripsi antara berikut:

1. Laksono, 2016) melakukan penelitian mengenai Analisis peningkatan Sistem Distribusi Listrik Di PT. PLN (Persero) UPJ Bantul, menjelaskan di mana pada setiap penyulang di Gardu Induk Sewon akan dilihat nilai peningkatan untuk mengetahui tingkat performa yang dimiliki oleh Gardu Induk Sewon di masing-masing penyulangnya dan keamanan kinerja Rayon.
2. Aji Setiyawan (2017) melakukan penelitian mengenai Analisis Koordinasi Proteksi Pada PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Wonosobo Menggunakan Software Aplikasi ETAP. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada arus hubung singkat, panjangnya jarak akan berpengaruh terhadap nilai arus hubung singkat tersebut. Jika semakin panjang jarak maka akan semakin kecil pula nilai arus hubung singkat yang terjadi pada titik tersebut dan juga sebaliknya.
3. Affandi, 2015) melakukan penelitian mengenai Analisis load flow Sistem Distribusi Tenaga Listrik Di Gardu Induk Indramayu, menjelaskan tentang perhitungan nilai hubung singkat pada 7 penyulang untuk mengetahui tingkat keamanan yang dimiliki oleh oleh Gardu Induk Indramayu di masing-masing bus.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik meliputi dari pusat pembangkit, jaringan transmisi yang didalamnya terdapat gardu induk kemudian sistem distribusi, kemudian sampai ke konsumen atau beban.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada pusat pembangkit listrik dibangkitkan oleh generator. Sehingga dibutuhkan transformator *step up* untuk menaikkan tegangan yang dibangkitkan sebelum disalurkan sampai ke konsumen atau beban. Oleh karena itu, didalam menyalurkannya tegangan akan mengalami rugi – rugi yang terjadi akibat jauhnya jarak antara pusat pembangkit ke konsumen atau beban. Rugi – rugi terjadi karena nilai R yang besar sehingga nilai V akan berkurang selama perjalanannya

Maka dari itu dibutuhkan sistem jaringan transmisi yang mempunyai tujuan untuk menjaga kestabilan tegangan yang sudah dibangkitkan oleh generator. Sistem jaringan transmisi merupakan sebuah jaringan listrik yang digunakan sebagai penyalur dan sebagai nadi dari sistem tenaga listrik. Di dalam sistem jaringan transmisi terdapat gardu induk yang mempunyai peran penting dalam penyaluran tenaga listrik. Gardu induk merupakan penghubung dengan jaringan distribusi maupun dengan gardu induk yang lain. Pada jaringan distribusi, jaringan listrik disalurkan ke beban atau pelanggan.

2.2.2. Struktur Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

a. Gardu Induk

Bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah gardu induk. Biasanya Gardu induk terletak di pingiran kota. Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer

b. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV.

c. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Besarnya tegangan untuk jaringan distribusi 230/400 V. Tegangan 230 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa.

d. Gardu Pembagi / Gardu Distribusi

Berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada Gardu Pembagi ini tergantung pada jumlah beban yang

akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Bisa berupa transformator satu fasa dan bisa juga berupa transformator tiga

Pembangkit listrik umumnya memiliki letak yang jauh dari pusat beban, terlebih-lebih pembangkit listrik berskala besar, sehingga untuk menyalurkan tenaga listrik tersebut sampai ke konsumen atau pusat beban

maka tenaga listrik tersebut harus disalurkan. Sistem Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi 2 sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder. Kedua sistem tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Pada umumnya tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi primer adalah 20 kV, sedangkan tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi sekunder 380 V atau 220 V.

Untuk menyalurkan tenaga listrik secara kontinyu dan handal, diperlukan pemilihan sistem distribusi yang tepat. Kriteria pemilihan ini berdasarkan pada beberapa faktor, antara lain :

- a. Faktor ekonomis
- b. Faktor Tempat
- c. Kelayakan

Pemilihan sistem jaringan harus memenuhi kriteria persyarata yaitu:

- a. Keandalan yang tinggi
- b. Kontinuitas pelayanan
- c. Biaya investasi yang rendah
- d. Fluktuasi frekuensi dan tegangan rendah

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya yang lebih besar agar sampai ke konsumen. Suatu sistem distribusi harus memiliki keandalan agar kualitas daya nya tetap terjaga dan tersalurkan dengan baik. Kualitas daya

merupakan hal penting untuk menjaga stabilitas sistem tenaga listrik. Untuk menjaga stabilitas tersebut salah satunya adalah dengan pemasangan kapasitor bank pada sistem distribusi tenaga listrik.

Salah satu persyaratan kualitas daya terhadap sistem penyaluran tenaga listrik adalah kualitas faktor daya yang baik, dimana idealnya adalah mendekati 1. Beban-beban pada pelanggan-pelanggan utama dari sistem jaringan tegangan menengah merupakan beban industri-industri besar yang umumnya mempunyai beban yang bersifat induktif sehingga faktor daya pada sistem jaringan distribusi menjadi rendah. Hal ini mengakibatkan kerugian biaya-biaya karena

losses yang terjadi di saluran distribusi 20 KV dan PLN distribusi harus mengeluarkan biaya karena penalty faktor akibat faktor daya pada jaringan distribusi berada dibawah faktor daya minimal yang telah ditetapkan oleh pihak PLN transmisi.

Faktor Daya yang ditetapkan oleh pihak transmisi adalah sebesar 0.9, sedangkan pihak PLN distribusi menetapkan nilai power factor sebesar 0.85 dari jaringan distribusi ke pelanggan jaringan tegangan menengah. Untuk mencapai nilai tersebut maka perlu dipasang kapasitor bank yang berfungsi memperbaiki nilai dari faktor daya. Peningkatan faktor daya ini tergantung dari besarnya kapasitas nilai kapasitor yang dipasang (dalam kVAR). Selain untuk menghindari penalti faktor oleh pihak PLN transmisi karena rendahnya nilai faktor daya, dengan pemasangan kapasitor bank di jaringan distribusi 20 kV diharapkan dapat mengurangi biaya-biaya yang harus dikeluarkan pihak PLN distribusi karena losses yang terjadi di jaringan.

2.2.3. Gardu Induk

Gardu induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Berarti gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyulang (transmisi) gardu induk mempunyai peran

penting dalam pengoperasian tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

Gardu induk merupakan suatu instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu dengan pertimbangan teknis, ekonomis serta keindahan. Fungsi dari gardu induk adalah sebagai berikut :

- a. Mentransformasikan dari tenaga listrik tegangan yang tinggi ke tegangan listrik yang lainnya atau tegangan menengah serta tegangan rendah.
- b. Untuk pengukuran, tempat pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- c. Pengaturan daya ke gardu induk yang lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui *feeder* tegangan menengah.
- d. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA

Pada dasarnya gardu induk terdiri dari saluran masuk dan didalam gardu induk dilengkapi dengan peralatan listrik yang meliputi transformator daya, peralatan pengukuran, peralatan penghubung dan lainnya supaya saling menunjang satu sama lain.

2.2.3.1. Klasifikasi Gardu Induk

Gardu induk dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam, sebagai berikut:

2.2.3.1.1. Gardu Induk Berdasarkan Tegangan

- a. Gardu induk transmisi

Merupakan gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota, dan sebagainya). Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 500 kV, 150 kV, dan 70 kV. Gardu distribusi

Merupakan gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangan listriknya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV, atau 6 kV) kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V) atau (220/380 V) sesuai dengan kebutuhan untuk disalurkan ke beban atau konsumen.

2.2.3.1.2. Gardu Induk Berdasarkan Letak Pemasangan

Berdasarkan letak pemasangan gardu induk, maka gardu induk dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam, sebagai berikut:

a. Gardu Induk Pasangan Luar

Merupakan gardu induk yang sebagian peralatan atau komponennya ditempatkan di luar gedung atau tempat yang terbuka, tetapi kecuali komponen kontrol, sistem proteksi atau pengaman, dan sistem kendali serta komponen – komponen yang lainnya yang ada di dalam gedung. Gardu induk semacam ini biasa disebut dengan gardu induk konvensional. Sebagian besar gardu induk di Indonesia menggunakan gardu induk konvensional.

b. Gardu Induk Pasangan Dalam

Merupakan gardu induk yang hampir semua peralatan – peralatan listriknya (*switchgear*, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen kendali, kubikel, dan lain – lain) dipasang di dalam gedung, kecuali transformator daya, karena transformator daya pada umumnya dipasang di luar gedung. Gardu induk semacam ini dapat disebut *gas insulated substation* (GIS). GIS merupakan bentuk dari pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

c. Gardu Induk Kombinasi Pasangan Dalam dan Pasangan Luar Merupakan sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan sebagian peralatan yang lainnya dipasang diluar gedung dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan. Karena konstruksi yang

berimbang antara pasangan dalam dengan pasangan luar maka jenis dari gardu induk ini juga dapat disebut gardu induk semi pasangan dalam.

d. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah

Merupakan hampir semua peralatan listriknya terpasang dalam bangunan bawah tanah. Hanya alat pendinginan saja yang biasanya berada diatas tanah dan peralatan – peralatan yang tidak memungkinkan untuk ditempatkan di bangunan bawah tanah. Biasanya gardu induk ini di bangun di bagian kota yang sangat padat atau ramai, di jalan – jalan pertokoan, dan di jalan – jalan dengan gedung yang bertingkat tinggi. Kebanyakan gardu induk ini dibangun dibawah jalan raya.

2.2.3.1.3. Gardu Induk Berdasarkan Fungsinya

a. Gardu Induk Penaik Tegangan

Adalah gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan tenaga listrik, yaitu tegangan dari pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan sistem. Gardu induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena nilai dari *output voltage* yang dihasilkan oleh pembangkit listrik ini terbilang kecil dan harus disalurkan pada jaringan jarak jauh, maka tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.

b. Gardu Induk Penurun Tegangan

Adalah gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tenaga listrik dengan kata lain dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi. Gardu induk terletak di daerah pusat – pusat beban, karena di gardu induk ini menyalurkan ke pelanggan. Gardu Induk Pengatur Tegangan.

Adalah gardu induk yang terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik. Karena listrik yang disalurkan sangat jauh, maka dari itu terjadi tegangan jatuh (*voltage drop*) di jaringan transmisi yang cukup besar. Kemudian diperlukan peralatan untuk menaikkan tegangan, seperti *bank capacitor*, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

c. Gardu Induk Pengatur Beban

Adalah gardu induk yang berfungsi untuk mengatur beban. Pada gardu induk ini terpasang beban motor, pada waktu tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, karena motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban, dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air kembali ke kolam utama.

d. Gardu Induk Distribusi

Adalah gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Gardu induk ini terletak di dekat pusat – pusat beban. Karena listrik disalurkan ke para pelanggan.

2.2.3.1. Peralatan Listrik pada Gardu Induk

Agar gardu induk dapat menjalankan fungsi dan tujuannya dengan baik, maka gardu dilengkapi dengan peralatan listrik. Peralatan – peralatan listrik yang ada pada gardu induk tersebut adalah sebagai berikut :

a. Transformator Daya

Adalah peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076 -1 tahun 2018). Transformator menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi Faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet atau fluks. Medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi pengubah tegangan listrik bolak – balik agar diperoleh tegangan yang diinginkan (lebih besar atau lebih kecil).

Transformator untuk menaikkan tegangan disebut transformator *step up*, sedangkan transformator penurun tegangan disebut transformator *step down*. Transformator adalah komponen utama dalam kelistrikan yang berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik dengan merubah besaran tegangannya tetapi frekuensinya tidak ada perubahan (tetap). Transformator juga mempunyai fungsi lainnya yaitu untuk menaikkan atau menurunkan tegangan

dari tegangan tinggi ke tegangan tinggi yang lainya atau ke tegangan menengah atau ke tegangan rendah dan sebaliknya.

Pada transformator daya terdapat transformator pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari transformator daya, peralatan ini disebut juga sebagai *Neutral Current Transformer* (NCT), dan peralatan lainnya terdapat NGR yaitu *Neutral Grounding Resistance* yang merupakan komponen yang dipasang antara titik netral transformator dengan pentanahan. NGR juga berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi.

b. Transformator Tegangan

Transformator tegangan merupakan peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa transformator satu fasa *step down* yang mentransformasi tegangan pada jaringan tegangan tinggi ke suatu sistem tegangan rendah yang layak untuk kebutuhan perlengkapan indikator, alat ukur, relay, dan alat sinkronisasi. Transformator tegangan dibagi menjadi dua jenis yaitu transformator tegangan magnetik (*Magnetic Voltage Transformer / VT*) dan transformator tegangan kapasitif (*Capacitive Voltage Transformer / CVT*). Transformator tegangan magnetik disebut juga transformator tegangan induktif yang terdiri dari belitan primer dan sekunder pada inti besi yang prinsip kerjanya belitan primer menginduksikan tegangan kebelitan sekundernya.

Sedangkan jenis yang lainnya yaitu transformator tegangan kapasitif adalah peralatan pengukuran yang dirangkai dengan pembagi tegangan kapasitif yang mentransformasi tegangan pada jaringan tegangan tinggi ke suatu sistem tegangan rendah yang prinsip kerja dari transformator kapasitif adalah menurunkan besaran tegangan primer menjadi besaran tegangan sekunder melalui kapasitor yang berfungsi sebagai tegangan pembagi tegangan dan transformator tegangan sebagai penurun tegangan. Sekarang CVT banyak digunakan karena lebih ekonomis membuat pembagi tegangan kapasitif daripada membuat transformator dengan belitan tegangan tinggi.

1. Transformator Arus

Transformator arus adalah peralatan pengukuran pada sistem tenaga listrik yang berupa transformator yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya hingga ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi atau tegangan menengah. Di samping untuk pengukuran arus, transformator arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh, dan relay pengaman

2. Pemutus Tenaga

Berdasarkan IEV (*International Electrotechnical Vocabulary*) disebutkan bahwa *circuit breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan sakelar atau *switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu), dan memutuskan arus beban dalam spesifik kondisi abnormal atau terjadi gangguan seperti kondisi *short circuit* atau hubung singkat. Fungsi utama dari pemutus tenaga adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain. Pemutus tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis, antara lain berdasarkan tegangan rating atau nominal, jumlah mekanik penggerak, media isolasi, dan proses pemadam busur api jenis gas SF₆.

3. *Disconnecting Switch*

Disconnecting Switch dapat juga disebut sebagai pemisah, pada dasarnya pemisah memiliki fungsi yang hampir sama dengan pemutus tenaga (PMT), namun perbedaannya adalah pemisah tidak dapat memutus jaringan apabila terjadi arus gangguan sedangkan pemutus tenaga dapat memutus suatu jaringan apabila terjadi arus gangguan. Dapat dijelaskan bahwa *disconnecting switch* (DS) adalah peralatan pemisah, yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban. Karena pemisah hanya bisa dioperasikan ketika kondisi tidak berbeban, maka yang harus dioperasikan terlebih dahulu yaitu pemutus tenaga. Setelah rangkaian diputus oleh pemutus tenaga kemudian pemisah baru dapat dioperasikan.

4. *Lightning Arrester*

Lightning Arrester (LA) berfungsi untuk melindungi (pengaman) peralatan listrik yang terdapat di gardu dari tegangan lebih akibat terjadinya sambaran petir (*lightning surge*) pada kawat transmisi, maupun disebabkan oleh surya hubung (*switching surge*). Dalam keadaan normal (tidak terjadi gangguan) *Lightning Arrester* bersifat isolatif atau tidak bisa menyalurkan arus listrik. Dan sebaliknya apabila terjadi gangguan, *Lightning Arrester* akan bersifat konduktif atau menyalurkan arus listrik yang lebih ke bumi atau tanah (*ground*).

5. Rel Busbar

Rel busbar berfungsi sebagai titik pertemuan atau hubungan antara transformator daya, SUTT, SKTT serta komponen – komponen listrik lainnya yang terdapat di *switch yard*. Komponen Rel Busbar antara lain : Konduktor (AAAC, HAL, THAL, BC, HDCC) dan yang lainnya *Insulator string* dan *fitting* (*insulator, tension clamp, suspension clamp, socket eye, anchor saggle, spacer*)

6. *Control Panel*

Control Panel berfungsi untuk mengetahui atau mengontrol kondisi yang terjadi di gardu induk dan merupakan pusat pengendali lokal gardu induk. Di dalam *control panel* berisi sakelar, indikator – indikator, meter – meter, tombol – tombol komando operasional pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS), dan alat ukur besaran listrik, serta *anunciator* yang berada dalam satu ruangan

2.2.3.2. **Beban**

Beban listrik didefinisikan sebagai jumlah listrik yang digunakan oleh masyarakat. Beban listrik dapat dibagi menjadi beban seimbang dan beban tidak seimbang. Pada beban seimbang jumlah daya yang dibangkitkan oleh generator tiga fasa atau daya yang diserap oleh beban tiga fasa, diperoleh dengan menjumlahkan daya dari tiap-tiap fasa. Pada sistem yang seimbang,

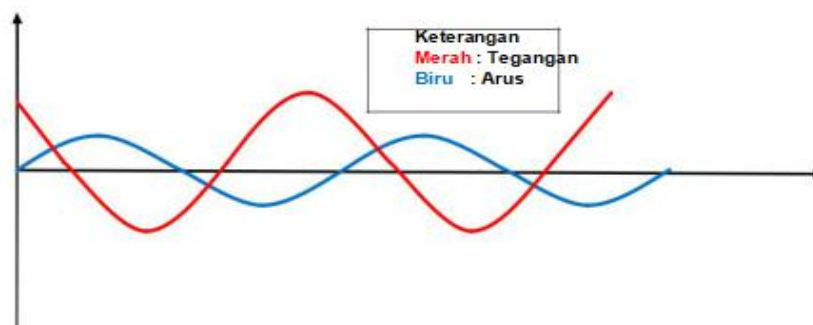
daya total tersebut sama dengan tiga kali daya fasa, karena daya pada tiap-tiap fasanya sama. Pada listrik arus DC (arus searah) besar beban induktif dan beban kapasitif tidak berpengaruh terhadap rangkaian, sehingga yang menjadi beban hanya beban resistif murni saja. Kemudian pada rangkaian arus AC (Bolak-balik), beban kapasitif dan induktif akan memberi pengaruh ke rangkaian, sehingga beban yang bekerja yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Berikut adalah pengertian dari beban resistif, kapasitif, dan induktif.

1. Beban Resistif

Beban resistif dihasilkan dari rangkaian yang terdiri dari penghambat berupa resistor murni. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan sama sekali tidak menyerap beban reaktif. Pada beban resistif arus dan tegangan akan sefasa.

2. Beban Induktif

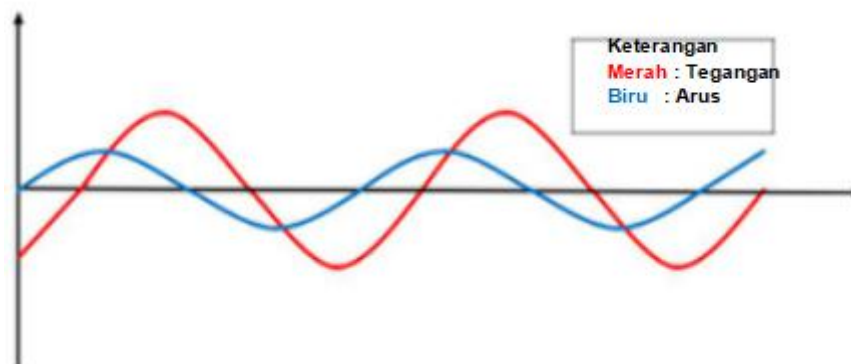
Beban induktif adalah beban yang menyerap daya aktif dan daya reaktif dengan faktor daya *lagging*, yaitu saat tegangan mendahului arus sebesar sudut θ . Beban induktif dihasilkan dari komponen-komponen listrik yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada inti besi. Contoh peralatan listrik yang merupakan beban induktif adalah motor-motor dan transformator. Beban induktif dihasilkan dari rangkaian yang mengandung komponen pasif, berupa induktor. Berikut adalah gambar gelombang pada beban induktif.



Gambar 2.2. Gelombang arus dan tegangan pada beban induktif.

3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung komponen pasif, yaitu kapasitor. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Bentuk gelombang dari beban kapasitif adalah arus mendahului tegangan. Berikut adalah gelombang yang dihasilkan pada beban kapasitif.



Gambar 2.3. Gelombang arus dan tegangan pada beban kapasitif.

Pada beban listrik tiga fasa seimbang, besar perbedaan sudut fasa antara tiap fasanya adalah 120° .

2.2.3.3. Kapasitor Bank

Fungsi dari kapasitor bank yang tersedia dalam bentuk tunggal unit maupun dalam bentuk group adalah sebagai pensusly kilovars dengan faktor daya tertinggal (*lagging*) kepada suatu sistem dimana kapasitor tersebut dihubungkan.

Kapasitor bank yang dipasang pada ujung beban dari sirkuit mensuplai beban dengan faktor daya tertinggal (*lagging*), mempunyai beberapa efek, yaitu :

- a. Mengurangi komponen rangkaian arus yang tertinggal.
- b. Menaikkan level tegangan pada beban

- c. Memperbaiki regulasi tegangan
- d. Meningkatkan faktor daya dari sumber.

2.2.3.4. Koreksi Faktor Daya

Pembangkitan daya reaktif pada perencanaan daya dan pensuplaiannya ke beban-beban yang berlokasi pada jarak yang jauh adalah tidak ekonomis, tetapi dapat dengan mudah disediakan oleh kapasitor yang ditempatkan pada pusat beban.

2.2.3.5. Optimalisasi Pemasangan Kapasitor

Analisa aliran daya yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya tegangan jatuh di sisi beban.

Aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik secara garis besar adalah suatu peristiwa daya yang mengalir berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran atau jaringan transmisi hingga sampai ke sisi beban (sisi penerima). pada kondisi ideal, maka daya yang diberikan oleh sisi pengirim akan sama dengan daya yang diterima beban. Namun pada kondisi real, daya yang dikirim sisi pengirim tidak akan sama dengan yang diterima beban. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal:

1. Impedansi di saluran transmisi

Impedansi di saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energi lain dalam tranfer energi

2. Tipe beban yang tersambung jalur

Ada 3 tipe beban, yaitu resistif, induktif, dan kapasitif. Resultan antara besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi Powe Faktor, sehingga mempengaruhi perbandingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima.

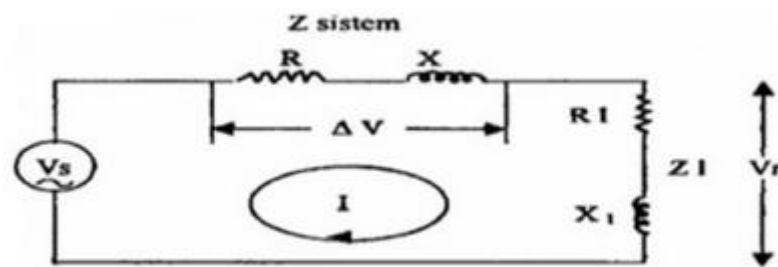
Mayoritas power sistem beroperasi pada lagging *power factor* yang terjadi karena beban-beban induktif dan peralatan seperti trafo dan saluran transmisi dan distribusi yang juga bersifat induktif. Secara natural, power sistem memang bersifat induktif dan memerlukan tambahan daya reaktif dan power grid. Akan tetapi, permintaan daya reaktif yang berlebihan akan menyebabkan penurunan kapasitas sistem, rugi-rugi yang meningkat, tegangan yang menurun, dan biaya operasional yang semakin mahal.

Kapasitor adalah komponen peralatan listrik yang dapat mensuplai daya reaktif (kVAr). pemasangan kapasitor pada sistem distribusi dapat memperbaiki faktor daya, rugi daya, pada saluran dan memperbaiki tegangan pada sistem distribusi. Shunt kapasitor banks bias digunakan untuk mengkompensasi kebutuhan VAR tersebut, akan tetapi besarnya kapasitas bank tersebut, lokasi penempatan, metode control kapasitor, dan pertimbangan biaya adalah hal-hal yang penting yang perlu untuk dioptimasi dalam proses desain power sistem. Sebuah solusi ideal adalah dengan menempatkan kapasitor untuk menghadapi semua hal-hal diatas. Solusi tersebut juga seharusnya mampu untuk menempatkan kapasitor untuk mensupport tegangan dan perbaikan factor daya, dan pada saat yang bersamaan mengurangi biaya secara keseluruhan dan operasionalnya.

2.2.3.6. Rugi – Rugi Jaringan

Jatuh tegangan merupakan penurunan tegangan di mulai dari penyulang sampai sepanjang saluran jaringan tegangan menengah. Fenomena tersebut disebabkan kawat saluran yang mempunyai nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi sepanjang saluran, maka akan terjadi penurunan tegangan. Sedangkan rugi daya adalah selisih antara daya yang dibangkitkan atau

dialirkan dari Gardu Induk dengan daya yang terjual ke pelanggan listrik. Rugi-rugi daya merupakan sifat yang tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat diminimalkan.



Gambar 2.4. Diagram Saluran Distribusi Tenaga Listrik

Dalam sistem perusahaan tenaga listrik, berbagai upaya dilakukan untuk memperkecil nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi. Hal tersebut dilakukan karena selain merugikan perusahaan, juga merugikan pihak pelanggan sebagai pengguna jasa listrik yang selalu menuntut jasa layanan dengan kualitas yang baik. Beberapa langkah upaya mengurangi jatuh tegangan yang harus dilakukan untuk memperkecil jatuh tegangan dan rugi daya adalah :

1. Membangun pembangkit pembantu.
2. Membangun gardu induk baru dan jaringan baru.
3. Merubah jaringan $1\emptyset$ menjadi $3\emptyset$.
4. Pemindahan beban ke penyulang lain.
5. Penyeimbangan beban.
6. Pengaturan tegangan penyulang menggunakan alat pengatur tegangan.
7. Memperbesar penampang hantaran.
8. Pemasangan kapasitor.

2.2.3.7. Daya Pada Sistem Tenaga

Pada sistem tenaga dikenal 3 macam daya yaitu:

- a. Daya aktif (P) (*Watt*)
- b. Daya reaktif (Q) (VAR)
- c. Daya kompleks (S) (VA)

Dimana secara umum persamaan dari ketiga jenis daya diatas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P + jQ$$

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

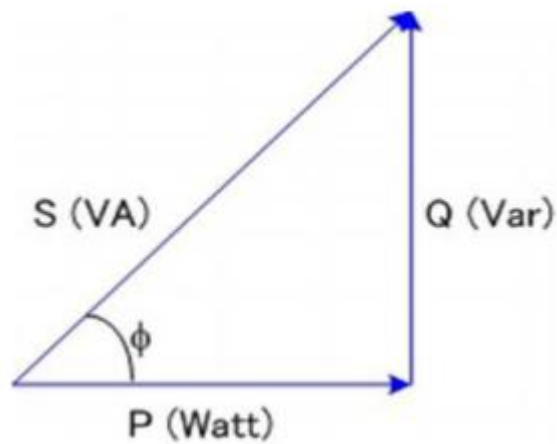
$$S = P + jQ \dots\dots\dots (2.1)$$

$$|S| = +$$

$$P = |S| \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Q = |S| \times \sin \phi$$

Dibawah ini adalah gambar segitiga daya



Gambar 2.5. Segitiga Daya

2.2.3.8. Studi Aliran Daya

Analisis aliran daya merupakan dasar untuk mempelajari sistem tenaga bahkan bentuk aliran daya merupakan inti dari analisis aliran daya. Studi aliran daya sangat berharga untuk berbagai alasan. Sebagai contoh analisis aliran daya memainkan peran kunci dalam perencanaan penambahan atau ekspansi pada transmisi dan fasilitas pembangkit. Solusi dari aliran daya sering menjadi titik awal untuk banyak jenis analisa sistem tenaga.

Secara umum tujuan dari analisis aliran daya adalah dimaksudkan untuk mendapatkan:

1. Besar dan sudut tegangan masing-masing bus sehingga bisa diketahui tingkat pemenuhan batas-batas operasi yang diperbolehkan.
2. Besar arus dan daya yang dialirkan lewat jaringan interkoneksi, sehingga bisa diidentifikasi tingkat pembebanannya.

Kompleksitas untuk memperoleh bentuk solusi dari aliran daya pada sistem tenaga timbul karena adanya perbedaan jenis data tertentu untuk berbagai jenis bus. Meskipun formulasi persamaan yang cukup untuk

mencocokkan jumlah dari variable keadaan yang tidak diketahui itu tidak sulit seperti telah kita lihat, solusi bentuk tertutup cukup tidak praktis. Solusi digital dari masalah aliran daya mengikuti proses berulang-ulang dengan menetapkan nilai yang telah diperkirakan untuk bus tegangan yang tidak diketahui dan dengan menghitung nilai baru untuk setiap bus tegangan dari nilai perkiraan di bus lainnya serta daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang ditentukan. Set nilai tegangan baru di setiap bus yang diperoleh digunakan untuk menghitung masih di satu set bus tegangan. Setiap perhitungan satu set baru tegangan disebut iterasi. Proses iterasi diulang sampai ada perubahan di tiap bus kurang dari nilai minimum yang ditentukan.

Studi aliran daya, atau umumnya dikenal sebagai aliran beban, merupakan bentuk bagian terpenting dari analisis sistem tenaga. Dalam menyelesaikan masalah aliran daya, ada empat kuantitas yang terkait dengan setiap bus yakni *magnitude* tegangan $|V|$, sudut fasa δ , daya aktif P, dan daya reaktif.

Pada sistem bus umumnya diklasifikasikan menjadi tiga jenis:

a. Slack Bus

Bus yang dikenal sebagai swing bus merupakan bus yang diambil sebagai referensi dimana *magnitude* ($|V|$) dan sudut fasa (δ) dari tegangan diketahui. Bus ini memberikan perbedaan antara beban yang dijadwalkan dan daya yang dihasilkan disebabkan oleh kerugian dalam jaringan.

b. Load Bus

Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui. Magnitude dan sudut fasa dari tegangan bus tidak diketahui. Bus ini juga dikenal P-Q bus.

c. Voltage Controlled Bus

Bus juga dikenal bus generator. Di bus ini daya aktif serta magnitude tegangan diketahui. Sudut fasa dari tegangan dan daya reaktif harus ditentukan.

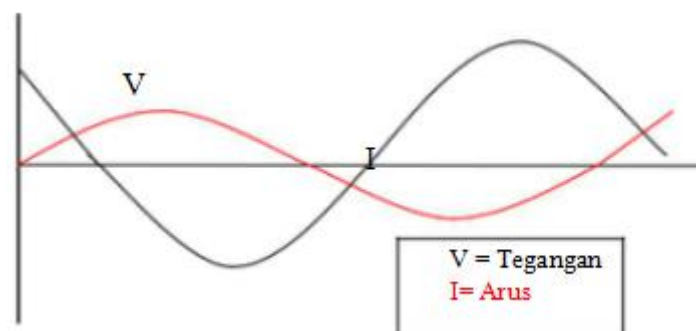
2.2.3.9. Faktor Daya

Faktor daya merupakan cosinus dari beda sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya disimbolkan dengan $\cos \phi$ dan mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1. Semakin mendekati 1 maka nilai faktor daya akan semakin baik. Kemudian untuk mencari nilai faktor daya dapat dilakukan dengan membagi daya aktif (P) dengan daya semu (S). Faktor daya dibagi menjadi dua yaitu faktor daya tertinggal (*lagging*) dan faktor daya mendahului (*leading*).

Berikut adalah penjelasan mengenai kedua faktor daya tersebut:

1. Faktor Daya Tertinggal (*lagging*)

Faktor daya *lagging* menunjukkan kondisi disaat beban bersifat induktif dan memerlukan daya reaktif dari jaringan. Nilai $\cos\phi$ pada kondisi *lagging* akan bernilai positif. Kemudian pada gelombang sinus, arus (I) akan tertinggal dengan tegangan (V) atau tegangan (V) akan mendahului arus (I) dengan sudut ϕ . Berikut adalah gelombang sinus pada faktor daya *lagging*:

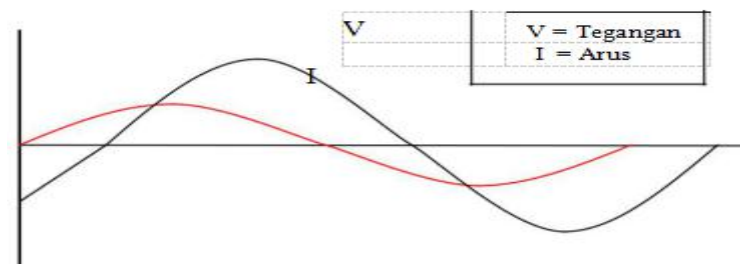


Gambar 2.6. Gelombang Sinus pada Faktor Daya *Lagging*.

2. Faktor Daya Mendahului (*leading*)

Faktor daya *leading* menunjukkan kondisi disaat beban bersifat kapasitif dan memberikan daya reaktif ke jaringan. Nilai $\cos \phi$ pada kondisi *leading* akan bernilai negatif. Kemudian pada gelombang sinus, Arus (I) akan mendahului tegangan (V) atau tegangan (V) akan tertinggal terhadap arus (I) sebesar sudut ϕ .

Berikut adalah gambar gelombang sinus pada faktor daya *leading*:

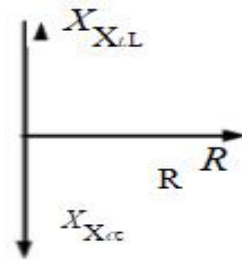


Gambar 2.7. Gelombang Sinus pada Faktor Daya *Leading*.

2.2.3.10. Diagram *Fasor*

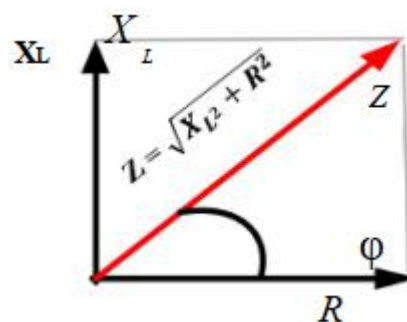
Diagram *fasor* adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran tegangan dan arus. Besar dan arah diagram *fasor* tergantung dari kondisi beban. Ketika beban cenderung induktif maka diagram *fasor* akan cenderung mengarah ke atas, sementara ketika kondisi beban cenderung kapasitif maka diagram *fasor* akan cenderung mengarah ke bawah, dan ketika kondisi beban resistif maka diagram *fasor* akan berada pada sumbu-X.

Berikut adalah gambar diagram *fasor* selengkapnya.

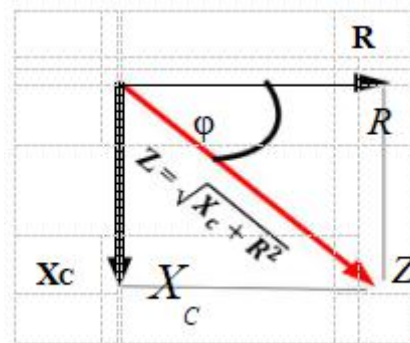


Gambar 2.8. Diagram *Fasor* pada Komponen R, L, C.

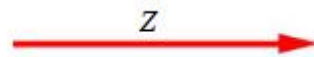
Gambar 2.8 menunjukkan arah *fasor* pada komponen R, L, dan C. Komponen R merupakan komponen *fasor* pada beban resistif, sedangkan komponen L merupakan komponen *fasor* pada beban induktif, dan C menunjukkan komponen pada beban kapasitif. Pada saat beban cenderung induktif maka besar komponen arah L akan lebih besar daripada komponen arah C sehingga vektor pada *fasor* akan cenderung mengarah miring ke atas. Kemudian saat beban cenderung bersifat kapasitif maka besar komponen C akan lebih besar daripada komponen arah L sehingga *fasor* akan miring ke bawah. Terakhir saat beban bersifat resistif maka komponen L dan C akan sama besar sehingga *fasor* akan memiliki arah lurus pada sumbu-X.



Gambar 2.9. Komponen *Fasor* pada Beban Induktif.



Gambar 2.10. Komponen *Fasor* pada Beban Kapasitif.



Gambar 2.11. Komponen *Fasor* pada Beban Resistif.

Berdasarkan gambar 2.8 , 2.9 , 2.10 dan 2.11 dapat dilihat komponen *fasor* saat kondisi beban induktif, kapasitif, dan resistif serta dapat dihitung total impedansinya. Saat beban induktif nilai reaktansi induktif, akan lebih besar dibanding reaktansi kapasitif, sehingga arah vektor impedansi akan cenderung ke atas. Kemudian saat beban cenderung kapasitif maka nilai reaktansi kapasitif, akan lebih besar dibanding nilai reaktansi induktif, sehingga vektor impedansi akan cenderung mengarah ke bawah. Terakhir saat beban bersifat resistif nilai reaktansi induktif akan sama dengan nilai reaktansi kapasitif sehingga arah impedansi akan sama dengan arah hambatan pada resistor keadaan ini dapat disebut sebagai resonansi.

2.2.3.11. Kapasitor Dalam Penggunaan Energi Listrik

Kehidupan modern salah satu cirinya adalah pemakaian energi listrik yang besar. Besarnya energi atau beban listrik yang dipakai ditentukan oleh resistansi (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C). Besarnya pemakaian energi listrik itu disebabkan karena banyak dan beraneka ragam peralatan (beban) listrik yang digunakan. Sedangkan beban listrik yang digunakan umumnya

bersifat induktif dan kapasitif. Di mana beban induktif (positif) membutuhkan daya reaktif seperti trafo pada rectifier, motor induksi (AC) dan lampu TL, sedang beban kapasitif (negatif) mengeluarkan daya reaktif.

Daya reaktif itu merupakan daya tidak berguna sehingga tidak dapat dirubah menjadi tenaga akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban. Jadi yang menyebabkan pemborosan energi listrik adalah banyaknya peralatan yang bersifat induktif. Berarti dalam menggunakan energi listrik ternyata pelanggan tidak hanya dibebani oleh daya aktif (kW) saja tetapi juga daya reaktif (kVAR). Penjumlahan kedua daya itu akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai oleh PLN. Jika nilai daya reaktif (kVAR) diperbesar yang biasanya dilakukan oleh pelanggan industri maka rugi-rugi daya menjadi besar sedang daya aktif (kW) dan tegangan yang sampai ke konsumen berkurang.

Perbandingan daya aktif (kW) dengan daya nyata (kVA) dapat didefinisikan sebagai faktor daya (faktor daya) atau $\cos \phi$.

$$\cos \phi = P \text{ (kW)} / S \text{ (kVA)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$P \text{ (kW)} = S \text{ (kVA)} \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2.4)$$

Seperti kita ketahui bahwa harga $\cos \phi$ adalah mulai dari 0 s/d 1. Berarti kondisi terbaik yaitu pada saat harga P (kW) maksimum [$P \text{ (kW)} = S \text{ (kVA)}$] atau harga $\cos \phi = 1$ dan ini disebut juga dengan $\cos \phi$ yang terbaik. Namun dalam kenyataannya harga $\cos \phi$ yang ditentukan oleh PLN sebagai pihak yang mensuplai daya adalah sebesar 0,8. Jadi untuk harga $\cos \phi < 0,8$ berarti faktor daya dikatakan buruk. Jika faktor daya pelanggan jelek (rendah) maka kapasitas daya aktif (kW) yang dapat digunakan pelanggan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan semakin

menurunnya faktor daya sistem kelistrikan pelanggan. Akibat menurunnya faktor daya itu maka akan muncul beberapa persoalan sbb:

1. Memperbesar penggunaan daya listrik kW karena rugi-rugi.
2. Memperbesar penggunaan daya listrik kVAR.
3. Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan.

Secara teoritis sistem dengan faktor daya yang rendah tentunya akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari pensuplai menjadi besar. Hal ini akan menyebabkan rugi-rugi daya (daya reaktif) dan jatuh tegangan menjadi besar.

Untuk memperbesar harga $\cos \phi$ (faktor daya) yang rendah hal yang mudah dilakukan adalah memperkecil sudut ϕ sehingga menjadi ϕ_1 berarti $\phi > \phi_1$. Sedang untuk memperkecil sudut ϕ itu hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif (kVAR). Berarti komponen daya reaktif yang bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan itu bisa dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor.

Proses pengurangan itu bisa terjadi karena kedua beban (induktor dan kapasitor) arahnya berlawanan akibatnya daya reaktif menjadi kecil. Bila daya reaktif menjadi kecil sementara daya aktif tetap maka harga faktor daya menjadi besar. Sedangkan keuntungan lain dengan mengecilnya daya reaktif adalah :

- a. Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem.
- b. Adanya peningkatan tegangan karena daya meningkat

2.2.3.12. Proses Kerja Kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar faktor daya dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka muatan elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian

elektron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukan dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (I_c) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Karena beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitif (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil.

Rugi-rugi daya sebelum dipasang kapasitor :

$$\text{Rugi daya aktif} = I^2 R \quad \text{Watt} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = I^2 X \quad \text{VAR} \dots\dots\dots (2.6)$$

Rugi-rugi daya sesudah dipasang kapasitor :

$$\text{Rugi daya aktif} = (I^2 - I_c^2) R \quad \text{Watt} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = (I^2 - I_c^2) X \quad \text{VAR} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.2.3.13. Pemasangan Kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperkecil atau memperbaiki faktor daya penempatannya ada dua cara :

1. Penempatan Terpusat, kapasitor ditempatkan pada :
 - a. Sisi primer dan sekunder transformator
 - b. Pada bus pusat pengontrol
2. Penempatan terbatas, kapasitor ditempatkan :
 - a. Feeder kecil

- b. Pada rangkaian cabang
- c. Langsung pada beban

2.2.3.14. Perawatan Kapasitor

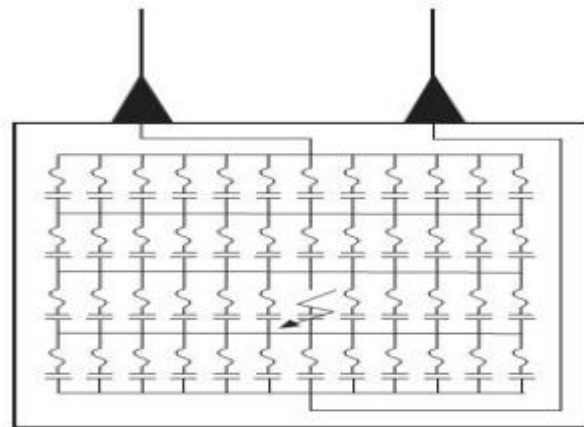
Kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya supaya tahan lama tentunya harus dirawat secara teratur. Dalam perawatan itu perhatian harus dilakukan pada tempat yang lembab yang tidak terlindungi dari debu dan kotoran. Sebelum melakukan pemeriksaan pastikan bahwa kapasitor tidak terhubung lagi dengan sumber. Kemudian karena kapasitor ini masih mengandung muatan berarti masih ada arus/tegangan listrik maka kapasitor itu harus dihubungkan singkatkan supaya muatannya hilang. Adapun jenis pemeriksaan yang harus dilakukan meliputi :

1. Pemeriksaan kebocoran
2. Pemeriksaan kabel dan penyangga kapasitor
3. Pemeriksaan isolator

2.2.3.15. Model *Capacitor Bank* pada Sistem Distribusi

Capacitor Bank merupakan suatu kapasitor yang terdiri lebih dari satu unit kapasitor yang saling terhubung paralel maupun seri untuk menginjeksikan daya reaktif ke sistem tenaga listrik sehingga meminimisasi adanya *voltage drop* dan rugi-rugi daya. Pada sistem distribusi, jika suatu jaringan tidak memiliki sumber daya reaktif di daerah sekitar beban maka semua kebutuhan beban reaktifnya dipikul oleh gardu induk yang tersuplai dari generator pada pembangkit listrik, sehingga akan mengalir arus reaktif pada jaringan yang mengakibatkan faktor daya menurun, *voltage drop*, dan bertambahnya rugi-rugi daya. Sehingga dengan adanya pemasangan *capacitor bank* mampu memperbaiki kualitas dan stabilitas sistem pada kondisi yang baik.

Capacitor bank tiga fasa. Namun *capacitor bank* tiga fasa memiliki konfigurasi belitan delta dan bintang (*star/wye*) sesuai kebutuhan dari penggunaan kapasitor. *Capacitor bank* satu fasa dapat dilihat pada gambar 2.18. yang memiliki dua terminal *output*, yaitu terminal yang terhubung dengan fasa dan terminal yang terhubung dengan netral.



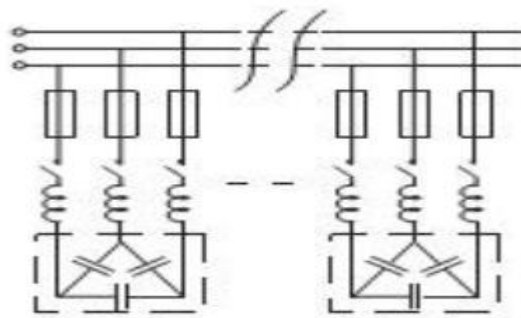
Gambar 2.12. *Capacitor Bank* Satu Fasa.

Pada gambar 3.4. dan 3.5. masing-masing menunjukkan konfigurasi *Capacitor bank* tiga fasa hubung delta dan bintang (*star/wye*). Kedua belitan tersebut masing-masing memiliki tiga terminal output yang terhubung pada masing-masing fasa R, S, T. Secara umum *capacitor bank* dengan konfigurasi belitan dellta digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif pada beban motor tiga fasa sehingga penggunaannya banyak ditemukan di dunia industri, sedangkan *capacitor bank* dengan konfigurasi belitan bintang (*star/wye*) digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif pada sistem tenaga listrik tingkat distribusi maupun transmi.

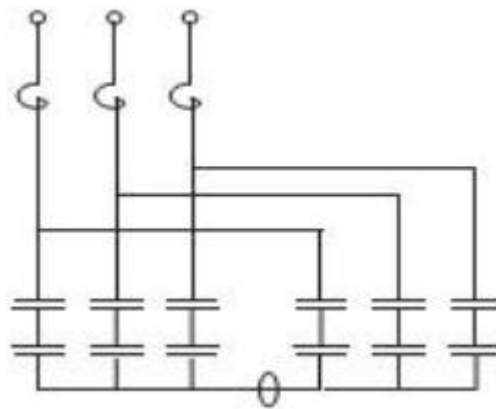
Model *capacitor bank* yang digunakan pada sistem distribusi diantaranya adalah *fixed capacitor bank* dan *automatic capacitor bank*. Perbedaan dari kedua model *capacitor bank* ini yaitu, pada *automatic capacitor bank* memiliki kemampuan *men-switching* setiap unit kapasitor maupun setiap segmen kapasitor yang ada didalamnya sehingga penentuan kapasitas daya reaktif yang diinjeksikan dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem,

sedangkan *fixed capacitor bank* hanya memiliki kemampuan injeksi besaran daya reaktif yang tetap.

Sedangkan berdasarkan konfigurasinya, *capacitor bank* terdiri dari satu fasa dan tiga fasa. *Capacitor bank* satu fasa memiliki unit-unit kapasitor yang saling terhubung paralel dalam satu segmen, setiap segmen kapasitor dapat saling terhubung seri atau paralel sesuai kebutuhan, hal tersebut juga dimiliki oleh:



Gambar 2.13. Konfigurasi *Capacitor Bank* Hubung Delta.



Gambar 2.14. Konfigurasi *Capacitor Bank* Hubung Bintang (*Wye/Star*).

2.2.3.16. Impedansi pada Saluran Distribusi

Impedansi (Z) terdiri dari resistansi (R) dan reaktansi (X). Impedansi merupakan parameter utama pada suatu saluran transmisi/distribusi. Impedansi

pada saluran transmisi/distribusi perlu diketahui untuk melakukan analisa sistem, baik untuk analisa aliran daya, hubung-singkat dan proteksi, kestabilan sistem maupun kontrol sistem. Nilai resistansi ditentukan oleh jenis dan ukuran kawat penghantar, sedangkan nilai reaktansi (induktif dan kapasitif) ditentukan oleh jarak antar saluran dan jumlah serat kawat penghantarnya. Biasanya untuk sistem bertegangan rendah dan menengah, reaktansi kapasitif dapat diabaikan, karena nilainya relatif kecil dibandingkan dengan reaktansi induktif

$$Z = R + jX \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

Z = Impedansi

R = resistansi jX = reaktansi

A. Resistansi

Resistansi suatu kawat penghantar tergantung kepada jenis bahan kawatnya yang diwakili oleh resistivitas-jenis, luas penampang dan panjang kawat (William D. Stevensen Jr., 1984 dan F.Suryatmo, 1992),

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}, \text{ohm/meter} \quad (2.10)$$

Keterangan :

R = tahanan (ohm/m)

ρ = tahanan jenis (ohm-mm²/m)

A = luas penampang (mm²)

d. = panjang kawat (m)

B. Reaktansi

Reaktansi pada saluran transmisi/distribusi terdiri dari reaktansi induktif (jX) dan reaktansi kapasitif ($-jX$). Namun pada saluran distribusi, reaktansi kapasitif sangat kecil sekali, sehingga biasanya diabaikan. Besar reaktansi induktif (T.S. Hutauruk, 1983):

$$X = 2\pi f \cdot L \quad (2.11)$$

Keterangan :

F = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Hendry)

X = Reaktansi induktif

C. Kapasitor pada Saluran Distribusi

Kapasitor adalah komponen atau peralatan listrik yang dapat mensuplai daya reaktif (kVAr). Pemasangan kapasitor pada sistem distribusi dapat memperbaiki faktor daya, rugi daya, pada saluran dan memperbaiki tegangan pada sistem. Kapasitor *Bank* adalah sekumpulan beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu.

Besaran dipakai adalah kVAR meskipun di dalamnya tercantum besaran kapasitansi yaitu *Farad* atau *micro farad*. Kapasitor ini mempunyai sifat listrik yang kapasitif (*leading*), sehingga mempunyai sifat mengurangi terhadap sifat induktif (*lagging*) dengan dasar nilai faktor daya

diperbaiki.

Kapasitansi adalah kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan listrik, dinyatakan dengan simbol C dan satuan *Farad*, muatan listrik dengan simbol Q dengan satuan *Coulomb*, tegangan diantara dua plat bersimbol V dengan satuan Volt. Kapasitas sebuah kapasitor adalah perbandingan antara banyak muatan listrik dengan tegangan kapasitor (Sudaryatno Sudirhan, 2002).

a) Daya Aktif

Daya aktif adalah daya rata-rata yang diserap komponen resistif yang dinyatakan dengan P dalam satuan Watt dan ditulis dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 P &= I^2 R & (2.12) \\
 &= I^2 (Z \cos\phi) \\
 &= (I Z) I \cos\phi \\
 &= V I \cos\phi
 \end{aligned}$$

Keterangan :

Z = Impedansi, dengan satuan Ohm V = Tegangan, dengan satuan Volt I = Arus, dengan satuan Amper

b) Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang diserap oleh komponen reaktif yang dinyatakan dengan Q dalam satuan VAR. Didefinisikan sebagai perkalian antara tegangan, arus dan sinus dari sudut faktor daya dan ditulis dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 Q &= I^2 X & (2.13) \\
 &= I^2 Z \sin\phi \\
 &= (I Z) I \sin\phi
 \end{aligned}$$

$$=VI \sin\phi$$

Daya reaktif dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. daya reaktif kapasitif
2. daya reaktif induktif.

Antara daya reaktif kapasitif dan daya reaktif induktif mempunyai arah yang berlawanan. Daya reaktif induktif daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat induksi seperti motor listrik, transformator, dan lain-lain. Tanpa daya reaktif induktif daya listrik tidak dapat ditransfer ke sisi sekunder dalam suatu trafo atau melalui celah udara pada motor-motor listrik.

Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan kapasitor, kapasitansi tegangan tinggi dan sebagainya. Pada prinsipnya suatu beban induktif bila digambarkan arus dan tegangannya, diperoleh arus (I) tertinggal di belakang tegangan (V) dengan sudut (θ) derajat.

Daya Semu

Daya semu adalah hasil perkalian antara tegangan dan arus yang dinyatakan dengan S atau dapat ditulis dengan persamaan :

$$\begin{aligned} S &= I^2 Z & (2.14) \\ &= (I Z) I \\ &= V I \end{aligned}$$

Keterangan :

1. = Daya semu, dengan satuan VA Z = Impedansi, dengan satuan Ohm V = Tegangan, dengan satuan Volt I = Arus, dengan satuan Amper.

2.2.4. *Software* ETAP

ETAP atau *Electric Transient and Analysis Program* merupakan suatu *software* (perangkat lunak) yang digunakan untuk sistem tenaga listrik. *Software* ETAP ini dapat bekerja dalam menyimulasikan tenaga listrik dengan keadaan *offline*, dan dalam keadaan *online* untuk pengelolaan data *real – time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real – time*. Fitur yang terdapat di dalam *software* ETAP ada bermacam – macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi, maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri ke kanan yang sama, atas ke bawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya. Beberapa elemen yang digunakan dalam suatu diagram saluran tunggal adalah Generator, Transformator, Pemutus Tenaga, dan lain-lain.

Untuk menganalisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP antara lain : Analisa Aliran Daya (*Load Flow Analysis*), Analisa Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*), Motor Starting, *Arc Flash Analysis*, *Harmonics Power System*, Analisa Kestabilan Transien (*Transient Stability Analysis*), serta *Protective Device Coordination*.