

BAB II

PENGUNAAN KAPASITOR SHUNT PADA

SALURAN DISTRIBUSI PRIMER

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik yang cukup besar terdiri dari empat sub sistem, sistem pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi lengkap dengan gardu induk, sistem distribusi yang terdiri atas saluran distribusi primer (saluran distribusi tegangan menengah) dan saluran distribusi sekunder (saluran distribusi tegangan rendah), serta sistem pemakai tenaga listrik yaitu peralatan-peralatan listrik yang mengkonsumsi tenaga listrik dalam operasi nya.

Pada sistem tenaga listrik yang besar, tenaga listrik dibangkitkan di pusat listrik kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dengan menggunakan saluran udara tegangan tinggi (SUTT), atau saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET). Tegangan ini dinaikkan di gardu induk dengan menggunakan transformator penaik tegangan. Untuk penyaluran daya dengan jarak yang sedang digunakan tegangan transmisi 70 kV. Untuk penyaluran daya dengan jarak yang jauh dan dengan daya yang besar digunakan tegangan transmisi 150 kV atau 500 kV.

Mendekati pusat pemakai tenaga listrik yang dapat berupa suatu industri atau suatu kota, saluran udara tegangan tinggi (SUTT) diturunkan menjadi saluran udara

tegangan menengah (SUTM). Tegangan ini diturunkan di gardu induk dengan menggunakan transformator penurun tegangan. Mulai dari sisi sekunder trafo penurun tegangan sampai sisi primer gardu distribusi merupakan sistem distribusi primer. Di Indonesia sistem distribusi primer tegangan menengah yang digunakan adalah 20 kV. Jaringan distribusi primer ini menghubungkan gardu induk dengan gardu-gardu distribusi. Di gardu distribusi selanjutnya tegangan diturunkan lagi dengan transformator penurun tegangan menjadi tegangan rendah yang selanjutnya di salurkan melalui saluran distribusi tegangan rendah 380/220 V.

2.2. Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi pada sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk sampai pada konsumen tenaga listrik. Sistem jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua yaitu sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder. Kedua sistem tersebut dibedakan berdasarkan pada tegangan kerjanya. Untuk sistem distribusi tegangan menengah pada sistem jawa-bali, tegangan kerja sistem jaringan distribusi primer adalah 20 kV, sedangkan tegangan kerja sistem jaringan distribusi sekunder adalah 220/380 V.

2.2.1. Sistem jaringan distribusi primer

Sistem jaringan distribusi primer adalah bagian dari sistem tenaga listrik diantara Gardu Induk (GI) dan Gardu Distribusi. Jaringan distribusi primer pada umumnya terdiri dari jaringan tiga fasa, yang jumlahnya tiga kawat atau empat kawat.

Penurunan tegangan sistem ini dari tegangan transmisi pertama-tama pada gardu induk dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah mulai sistem tegangan 500 KV ke sistem tegangan 150 KV atau ke tegangan sistem 70 KV, kemudian pada gardu induk distribusi kembali dilakukan penurunan tegangan menjadi 20 KV.

Pada sistem jaringan distribusi primer saluran yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik pada masing-masing beban disebut penyulang (*Feeder*). Pada umumnya setiap penyulang diberi nama sesuai dengan daerah beban yang dilayani, hal ini bertujuan untuk memudahkan mengingat dan menandai jalur-jalur yang dilayani oleh penyulang tersebut. Sistem penyaluran daya listrik pada sistem jaringan distribusi primer dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi), seperti kawat AAC maupun AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*),dll.

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi, seperti kabel MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*).

3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel tanam berisolasi, seperti kabel PVC (*Poly Vinyl Clorida*), kabel XLPE (*Crosslink Polyethelene*).

2.2.2. Sistem jaringan distribusi sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari jaringan distribusi primer dimana jaringan ini berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik. Pada jaringan distribusi sekunder sistem tegangan distribusi primer 20 KV diturunkan menjadi sistem tegangan rendah 380/220 V dengan trafo penurun tegangan yang terdapat pada Gardu Distribusi.

Sistem penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi sekunder dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi), seperti kawat AAC maupun AAAC.

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi, seperti kabel LVTIC (*Low Voltage Twisted Cable*).

2.3. Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer mempunyai saluran yang berfungsi sebagai sarana untuk menyalurkan daya listrik ke beban yang disebut penyulang (*feeder*). Jumlah penyulang yang ada di suatu kawasan/daerah biasanya lebih dari satu. Semakin besar dan kompleks beban yang dilayani di suatu kawasan/daerah, maka semakin banyak pula jumlah penyulang yang diperlukan.

Beberapa penyulang berkumpul di suatu titik yang disebut gardu hubung (GH). Gardu hubung adalah suatu instalasi peralatan listrik yang berfungsi sebagai :

1. Titik pengumpul dari satu atau lebih sumber dan penyulang.
2. Tempat pengalihan (*transfer*) beban apabila terjadi gangguan pada salah satu jaringan yang dilayani.

Peralatan utama yang terdapat di dalam gardu hubung adalah *Circuit Breaker* (CB), *Disconnecting Switch* (DS), Penutup Balik Otomatis (PBO), *arrester* dan transformator pengukuran yang terdiri dari transformator arus (CT) dan transformator tegangan (VT).

Gabungan beberapa penyulang dapat membentuk beberapa tipe sistem jaringan distribusi primer. Berdasarkan bentuk atau polanya, tipe sistem jaringan distribusi primer dapat dibagi menjadi empat, yaitu :

1. Sistem radial
2. Sistem lingkaran (*loop/ring*) dan lingkaran terbuka (*open loop/ring*)
3. Sistem spindle
4. Sistem gugus (*mesh*)

Masing-masing tipe sistem jaringan distribusi primer tersebut mempunyai karakteristik serta keuntungan dan kerugian masing-masing.

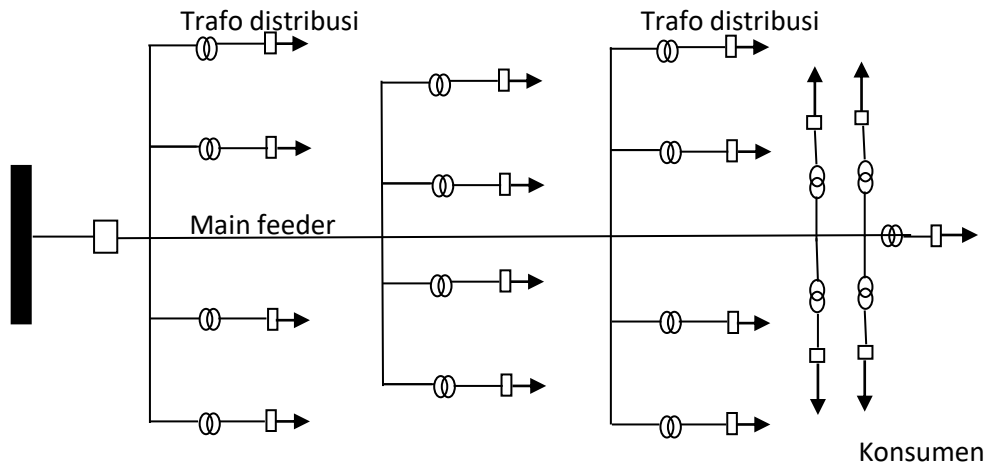
Dasar pemilihan suatu tipe sistem jaringan distribusi primer tergantung dari tingkat kepentingan dan keandalan yang diinginkan, yaitu :

1. Kualitas daya listrik yang dikehendaki.
2. Kontinuitas pelayanan beban yang dikehendaki.
3. Kerapatan beban pada daerah yang dilayani.
4. Perkembangan (luas dan penyebaran) rata-rata pertumbuhan beban pada waktu tertentu.
5. Regulasi tegangan.
6. Sistem penyambungan beban.
7. Kontruksi jaringan (pertimbangan faktor teknis dan ekonomis).
8. Perencanaan dan besar kapasitas gardu distribusi.

2.3.1. Sistem radial

Sistem jaringan distribusi primer tipe radial memiliki jumlah sumber dan penyulang hanya satu buah. Bila terjadi gangguan pada salah satunya (baik sumber ataupun penyulangnya), maka semua beban yang dilayani oleh jaringan ini akan padam. Oleh karena itu nilai keandalan dari sistem jaringan distribusi primer tipe radial ini adalah rendah. Sistem ini masih banyak dipergunakan di daerah pedesaan dan perkotaan yang tidak membutuhkan nilai keandalan tinggi.

Bagan sistem jaringan distribusi primer tipe radial ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial

Adapun keunggulan dan kelemahan dari sistem saluran radial antara lain :

a. Keunggulan :

- Bentuknya sederhana.
- Biaya investasinya relatif murah.

b. Kelemahan :

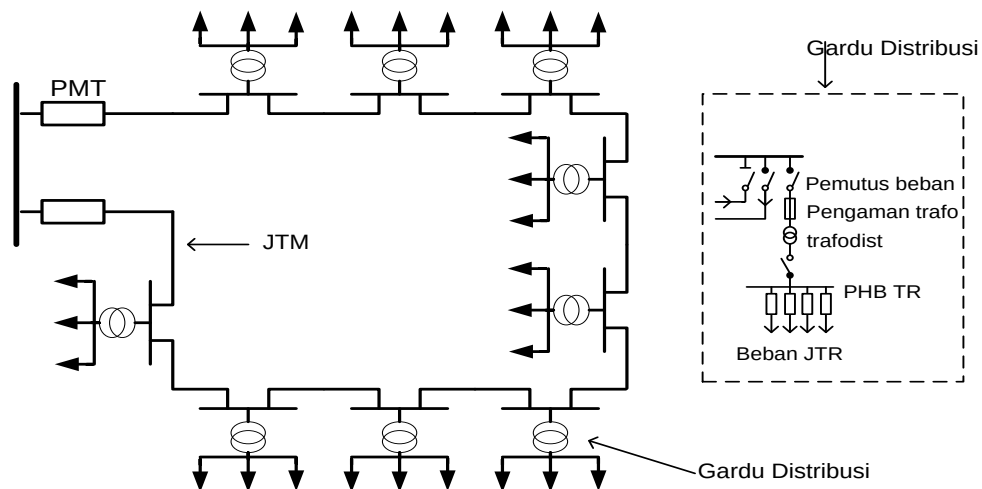
- Kualitas pelayanannya kurang baik karena rugi tegangan dan daya pada saluran relatif besar.
- Kontinuitas pelayanan daya tak terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran.

- Bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian setelah gangguan akan mengalami pemadaman total.

2.3.2. Sistem lingkaran (*loop/ring*) dan lingkaran terbuka (*open loop/ring*)

Sistem jaringan distribusi primer tipe lingkaran (*loop/ring*) dan lingkaran terbuka (*open loop/ring*) ini merupakan gabungan/perpaduan dari dua buah sistem radial. Secara umum operasi normal sistem ini hampir sama seperti sistem radial. Sistem ini sudah mempunyai tingkat keandalan dan kontinuitas yang lebih baik dibanding dengan sistem radial. Hal ini dikarenakan jumlah sumber dan penyulang yang ada pada suatu jaringan adalah lebih dari satu buah.

Bagan sistem jaringan distribusi primer tipe lingkaran diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem Jaringan Distribusi Primer Tipe lingkaran

Pada umumnya sistem ini banyak dipergunakan secara khusus untuk menyuplai beban-beban penting misalnya rumah sakit, pusat-pusat pemerintahan dan instansi penting lainnya.

Keunggulan dan kelemahan dari system saluran ini adalah :

a. Keunggulan :

- Kontinuitas penyaluran daya listrik cukup tinggi.
- Stabilitas tegangan sistem yang mantap.
- Tingkat keamanan dan keandalan yang cukup tinggi.
- Fleksibilitas tinggi.

b. Kelemahan :

- Biaya pemasangan cukup mahal.
- Biaya pemeliharaan cukup tinggi.

2.3.3. Sistem spindel

Sistem jaringan distribusi primer tipe spindle merupakan modifikasi dari sistem lingkaran (*loop/ring*) yang terdiri dari beberapa sistem radial. Sistem ini terdiri dari beberapa penyulang (maksimum tujuh penyulang), masing-masing penyulang berpangkal pada satu gardu induk dan ujung-ujungnya akan terhubung di gardu hubung. Penyulang-penyulang tersebut dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

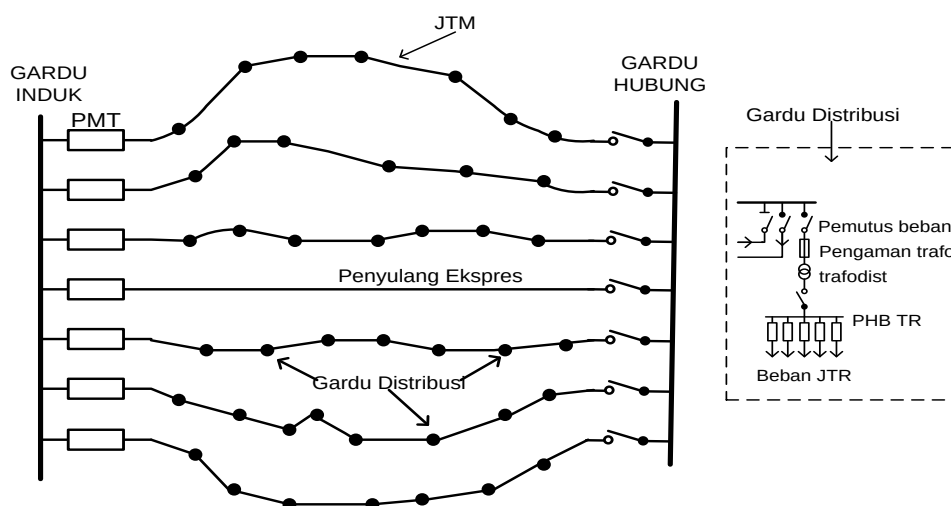
1. Penyulang kerja/*working feeder*

Adalah penyulang yang dioperasikan untuk mengalirkan daya listrik dari sumber pembangkit sampai kepada konsumen, sehingga penyulang ini dioperasikan dalam keadaan bertegangan dan sudah dibebani. Operasi normal penyulang ini hamper sama seperti sistem *radial*.

2. Penyulang cadangan/*express feeder*

Adalah penyulang yang menghubungkan gardu induk langsung ke gardu hubung dan tidak dibebani gardu-gardu distribusi. Pada operasi normal, penyulang ini tidak dialiri arus-arus beban dan hanya berfungsi sebagai penyulang cadangan untuk menyuplai penyulang tertentu yang mengalami gangguan melalui gardu hubung.

Bagan sistem jaringan distribusi primer tipe spindle seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Distribusi Primer Tipe Spindel

Keunggulan dan kelemahan dari sistem ini adalah :

a. Keunggulan :

- Mempunyai keandalan sistem yang lebih tinggi.
- Rugi tegangan dan rugi daya relatif kecil.

b. Kelemahan :

- Beban setiap penyulang terbatas.
- Biayanya sangat mahal.
- Harus mempunyai tenaga lapangan yang terampil.

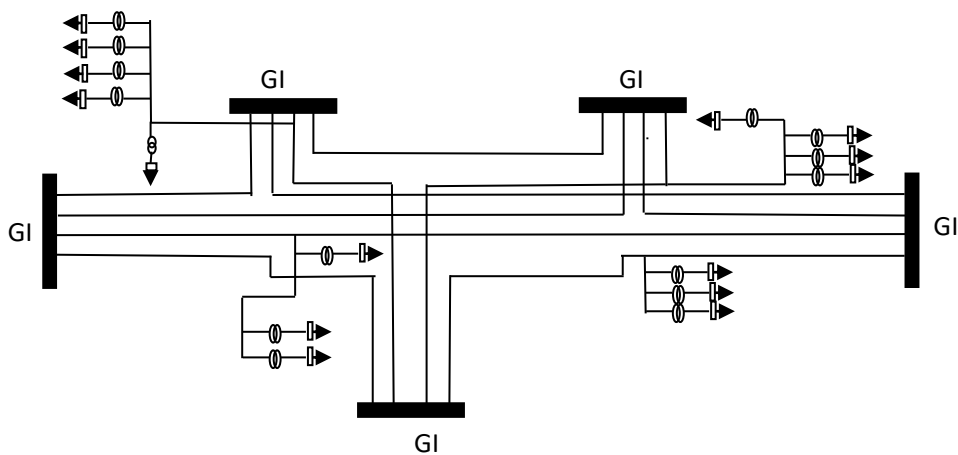
2.3.4. Sistem Gugus (*Mesh*)

Sistem ini merupakan yang paling kompleks karena mempunyai gardu distribusi yang paling banyak dari bentuk jaringan lain dengan kualitas penyaluran sangat diutamakan. Setiap Gardu Distribusi dapat disuplay dari dua sumber atau lebih sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin. Apabila terjadi gangguan pada konfigurasi ini dapat diatasi dengan cara mengambil tegangan dari beberapa sumber yang tersedia.

Namun demikian sistem ini membutuhkan biaya pemasangan dan operasi yang jauh lebih mahal dibandingkan dengan kedua sistem yang telah dibahas terlebih

dahulu. Sistem ini biasanya digunakan pada kota metropolitan yang kepadatan bebannya sangat tinggi.

Bagan sistem jaringan distribusi primer tipe gugus (*mesh*) dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem Jaringan Distribusi Primer Tipe Mesh

Keunggulan dan kelemahan dari sistem saluran ini adalah :

a. Keunggulan :

- Mempunyai tingkatan keandalan yang cukup tinggi.
- Dapat mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban.
- Kualitas tegangan baik dan rugi daya kecil.

b. Kelemahan :

- Cara pengoperasiannya sulit.
- Biayanya sangat mahal.

2.4. Operasi Jaringan Sistem Distribusi Primer

Masalah utama dalam operasi sistem Distribusi adalah bagaimana mengatasi gangguan dengan cepat karena gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat dalam sistem distribusi Jaringan Tegangan Menengah atau juga disebut Jaringan Distribusi Primer. Pemilihan jaringan distribusi biasanya dilakukan dengan memperhatikan keadaan daerah (perumahan, industri, perkotaan atau desa), tingkat kehidupan masyarakat, kepadatan beban vital atau tidaknya pemakaian listrik yang bersangkutan dan lain sebagainya.

Baik atau tidaknya jaringan distribusi dinilai dari apa yang dihasilkan oleh jaringan distribusi tersebut. Dalam hal ini faktor-faktor yang menentukan baik atau tidaknya jaringan distribusi tersebut antara lain :

Dalam pendistribusian tenaga listrik, harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Regulasi tegangan yaitu variasi tegangan pelayanan (tegangan terminal konsumen) harus pada batas-batas yang diijinkan yaitu -10% sampai dengan +5% dari tegangan kerja.

2. Kontinuitas pelayanan dan pengamanan yaitu tidak sering terjadi pemadaman listrik karena gangguan dan jika terjadi dapat dengan cepat diatasi. Hal tersebut dapat dicapai dengan sistem pengamanan dengan peralatan pengaman, pentanahan, dan lain-lain.
3. Efisiensi sistem distribusi listrik yaitu menekan serendah mungkin rugi-rugi teknis dengan pemilihan peralatan dan pengoperasiannya yang baik dan juga menekan rugi-rugi non teknis dengan mencegah pencurian dan kesalahan pengukuran.
4. Fleksibilitas terhadap penambahan beban. Untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik baik berupa pusat pembangkit maupun gardu induk sampai ke pusat-pusat beban digunakan jaringan tegangan menengah.

2.5. Karakteristik-karakteristik beban

Tujuan akhir dari suatu sistem tenaga listrik adalah untuk mensuplai energi listrik pada alat-alat yang nantinya merubah energi listrik tersebut dalam bentuk lain. Dengan banyaknya jenis-jenis beban listrik yang ada, maka didefinisikan mengenai karakteristik-karakteristik beban tersebut yang dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

1. kebutuhan (demand)

Kebutuhan atau demand pada suatu sistem tenaga listrik adalah beban rata-rata yang diukur pada sisi beban untuk suatu selang waktu tertentu. Selang waktu selama

beban itu diambil nilai rata-ratanya dinamakan Demand Interval atau waktu permintaan.

Beban listrik dapat berupa berbagai besaran listrik seperti daya aktif, daya reaktif, daya semu, arus, atau daya fasor. Dengan demikian kebutuhan dapat diekspresikan dengan kiloWatt (kW), kiloVoltAmpere (kVA), Ampere (A), atau unit-unit lainnya yang dianggap cocok.

Kebutuhan terbesar yang terjadi dalam suatu masa tertentu disebut kebutuhan maksimum (maximum demand). Kebutuhan maksimum juga harus dinyatakan dalam selang masa kebutuhan itu terjadi, seperti harian, bulanan, tahunan dan lain-lain.

Kebutuhan dari suatu kelompok beban untuk suatu masa tertentu, dimana kelompok beban ini terdiri dari beban inividu yang mempunyai kebutuhan sendiri-sendiri disebut Divesified Demand dari kelompok beban tersebut.

Jumlah kebutuhan dari masing-masing beban individu pada suatu kelompok beban tanpa pembatasan waktu kapan setiap kebutuhan itu berlangsung.

2. Faktor Kebutuhan (Demand Factor)

Faktor kebutuhan atau Demand Factor adalah perbandingan antara kebutuhan maksimum suatu sistem terhadap jumlah beban yang dihubungkan pada sistem tersebut. Faktor kebutuhan merupakan derajat pelayanan yang serentak pada jumlah beban yang terpasang pada sistem tersebut. Jumlah beban terpasang pada sistem

adalah sama dengan jumlah nilai (Name Plate Rating) dari beban-beban yang ada pada sistem.

Faktor kebutuhan biasanya bernilai lebih kecil dari pada satu, dan bernilai sama dengan satu apabila semua beban yang terhubung pada sistem dihidupkan serentak selama waktu permintaan (Demand Interval).

3. Faktor Beban (Load Factor)

Faktor beban adalah perbandingan antara beban rata-rata selama selang waktu tertentu terhadap beban puncak yang terjadi selama selang waktu yang sama. Faktor beban juga menyatakan derajat beban puncak itu bertahan selama selang waktu tersebut.

2.6. Faktor Daya

Faktor daya atau power factor (P.F) adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya semu, yang merupakan kosinus sudut antara arus dan tegangan yang menjadikan daya tersebut.

Istilah *leading* dan *lagging* atau faktor daya terdahulu dan tebelakang, secara umum dapat diterangkan sebagai berikut :

P.F terdahulu dari suatu beban adalah bila beban memberikan daya reaktif induktif pada jaringan. P.F terbelakang dari suatu beban adalah apabila beban menerima daya reaktif induktif dari jaringan.

Dalam sistem tiga fasa yang seimbang, sudut fasa antara arus dan tegangan dari ketiga fasanya adalah sama.

2.7. Kapasitor Seri

Kapasitor seri adalah kapasitor yang dipasang seri dengan konduktor kawat atau saluran. Penggunaan kapasitor seri biasanya dilakukan untuk :

1. Memperbaiki tegangan pada sisi beban.
2. Mereduksi reaktansi saluran antara sumber dengan beban, sehingga mempertinggi stabilitas saluran.

Kapasitor seri jarang digunakan untuk sumber daya reaktif tambahan guna mengurangi rugi-rugi daya pada saluran, hal ini disebabkan :

1. Dengan ukuran atau rating kVAr yang sama, perbaikan P.F dengan kapasitor seri relatif lebih kecil dibandingkan dengan kapasitor shunt.
2. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat dapat menimbulkan tegangan lebih yang cukup.

3. Pada kapasitor seri mengalir arus yang cukup besar yaitu arus beban pada keadaan normal, oleh karena itu tidak dapat diputuskan atau dihubungkan begitu saja, karena dapat mengganggu pelayanan beban.

2.8. Kapasitor Shunt

Kapasitor shunt yang dipasang pada suatu titik dalam rangkaian primer sistem distribusi biasanya digunakan sebagai sumber daya reaktif tambahan, untuk mengurangi rugi-rugi daya pada saluran tersebut.

Ukuran atau rating kapasitor shunt biasanya dinyatakan dalam kVAr, dan hubungannya dengan kapasitansi dinyatakan oleh :

$$\text{kVAr} = \frac{E^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}{1000} \times 10^6 \dots\dots\dots (2.1)$$

kVAr = Rating kapasitor dalam kVAr

E = Rating tegangan efektif dalam Volt

f = Frekuensi sumber dalam Hz

c = Kapasitansi dalam mikro farad

Kapasitor shunt ini biasanya terdiri dari unit-unit standart mulai dari 15 sampai 20.000 kVAr. Kapasitor shunt ini sangat praktis untuk penyediaan sumber daya reaktif yang relatif kecil, karena harganya yang relatif murah, ringan, dan sederhana. Untuk kapasitas rugi-ruginya cukup kecil, sekitar $\frac{1}{2}$ - 1% dari rating kVAr nya.

Pemasangan kapasitor shunt ini ada dua macam yaitu :

1. Kapasitor Tetap
2. Kapasitor dengan sakelar

a. Kapasitor Tetap

Tipe ini biasanya digunakan pada saluran primer yang mempunyai beban reaktif yang relatif konstan, atau mempunyai perubahan beban yang tidak terlalu menyolok. Pada beban yang semacam ini, kemungkinan terjadinya kenaikan tegangan dengan dipasangnya kapasitor tetap ini cukup kecil.

b. Kapasitor dengan sakelar

penggunaan kapasitor dengan sakelar ini adalah untuk dipasang pada daerah yang mempunyai perubahan beban yang relatif besar. Untuk mendapatkan pengaturan daya reaktif yang dibutuhkan, dilakukan dengan mengatur jumlah kapasitor yang dihubungkan pada saluran tersebut. Hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi kenaikan tegangan yang melebihi batas yang diperbolehkan pda

saat beban ringan. Pemutusan dan penyambungan kapasitor shunt pada saluran dapat dilakukan secara manual atau otomatis dengan menggunakan elemen-elemen kontrol tertentu.