

Pemasangan Kapasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya

Ahmad Yani

Staf Pengajar Teknik Elektro STT-Harapan

email: yani.ahmad34@yahoo.com

Abstrak

Kapasitor seri dan parallel pada system daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, karenanya menambah kapasitas sistem dan mengurangi kerugian. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban. Sedang pada kapasitor parallel sebanding dengan kuadrat tegangan. Ada beberapa aspek tertentu yang tidak menyenangkan pada kapasitor seri. Secara umum dapat dikatakan, biaya untuk memasang kapasitor seri lebih tinggi dari biaya pemasangan kapasitor parallel. Hal ini disebabkan karena peralatan perlindungan untuk kapasitor seri sering lebih kompleks. Juga biasanya, kapasitor seri didesain untuk daya yang lebih besar dari pada kapasitor parallel untuk mengatasi pengembangan beban nantinya. Pemasangan kapasitor sangat penting untuk perendanaan reaktif dari sebuah system daya. Jelas bahwa saluran transmisi akan paling ekonomis bila dipakai mengirim daya aktif saja dimana kebutuhan daya reaktif beban didapat dalam sistem distribusi di konsumen atau kebanyakan pada tingkat substation. Hal ini akan memungkinkan penggunaan optimum saluran transmisi, memperbaiki penampilan operasionalnya dan mengurangi kerugian energi. Hal ini membutuhkan sistem dan perencanaan yang hati-hati untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif sistem dengan cara sama dengan perencanaan daya aktif dan diprogram kapasitas generator tambahan.

Kata Kunci: Kapasitor, Parallel, Faktor Daya.

I. PENDAHULUAN

Pemasangan kapasitor parallel sangat penting untuk perbaikan reaktif dari sebuah sistem daya. Kapasitor-kapasitor dalam sistem disusun dalam bentuk rangkaian penyimpanan dan dapat dihubungkan dalam sembarang bentuk, bintang ditanahkan, bintang yang tidak ditanahkan, bintang ganda netral melayang, bintang ganda netral di tanahkan, delta dan sebagainya. Rangkaian penyimpanan yang dihubungkan secara delta dipakai dengan hanya satu bagian seri tiap fasa dan dipakai sampai 6,6 Kv, untuk tegangan lebih dipakai sambungan bintang. Untuk rangkaian penyimpan sambungan bintang pada umumnya netral kapasitor hanya ditanahkan bila sistem atau transformator substation ditanahkan secara efektif.

Dalam menyusun rangkaian penyimpanan, ada sejumlah pembatasan seperti misalnya jumlah unit minimum tergantung pada banyaknya bagian seri dan kebutuhan fasa pembatas yang lebih mahal bila arus kesalahan dan enersi yang tersimpan berlebihan. Sebagai contoh, rangkaian yang dihubungkan secara bintang dan ditanahkan dapat dibuat dengan satu bagian seri menggunakan unit 19 Kv dan fasa pembatas arus. Dengan menggunakan dua kelompok seri unit 9,5 Kv tiap fasa, arus kesalahan yang ada bila satu unit mengalami hubung singkat, akan berkurang sehingga dapat dipakai fasa lepasan. Disamping itu pembuatan unit 9,5 Kv lebih murah dari 19 Kv. Hilangnya satu unit memperbesar tegangan pada

rangkaiannya, jadi memperbesar kemungkinan kesalahan unit yang lain. Setiap tegangan lebih dapat memanaskan unit dan menurunkan masa pakai. Banyaknya unit minimum yang dibutuhkan untuk membatasi kenaikan tegangan sampai 10%, dapat dihitung dari persamaan berikut untuk kumpulan bintang yang ditanahkan

$$N=10(1.1/S) - 1/S + 1$$

dengan:

N= jumlah minimum unit parallel dalam satu bagian seri.

S= Jumlah bagian seri dalam setiap fasa

II. METODE PENELITIAN

Pemasangan kapasitor parallel tegangan tinggi. Kapasitor terdapat dari tipe yang dapat di switch dan yang tidak, tergantung pada pembebanan minimum, tegangan maksimum dan keadaan saluran satu atau substation. Untuk Kapasitor yang tidak dapat di switch, gigi pemindah dan reaktansi peredam tidak dibutuhkan. Pemasangan kapasitor tetap (diatas tiang) langsung pada saluran satu yang panjang dan berbeban berat 11 Kv ternyata ekonomis.

Untuk kapasitor penyimpan yang dapat di switch, pemindahan dan peredaman lonjakan arus dan penekanan harmonisa membutuhkan pertimbangan khusus. Pada kapasitor penyimpan tunggal dari perhitungan arus lonjakan pada saat pemindahan di lihat dari reaktor peredam umumnya tidak dibutuhkan. Reaktansi sistem

termasuk reaktansi transformator tempat kapasitor penyimpan dipasang telah cukup untuk menurunkan arus lonjakan dalam daerah yang aman bagi kapasitor atau roda pemindah. Meskipun mungkin selang waktu arus lonjakan terlalu kecil, dalam daerah beberapa gelombang saja sehingga pengaruhnya dapat diabaikan. Bila sejumlah kapasitor penyimpan dipakai secara parallel, mungkin diperlukan penggunaan reaktansi seri untuk membatasi arus lonjakan. Ini karena kapasitor penyimpan tidak terhubung pada saat yang sama. Pada saat pemasangan hubungan keadaan paling berat adalah pada saat satu kapasitor penyimpan telah terhubung dan kapasitor kedua yang dihubungkan dengan dua kutub dari pemutus rangkaian kedua telah tertutup dan kutub ketiga dalam langkah untuk menutup.

Kapasitor yang di hubungkan belakangan juga mendapat catu dari energi yang tersimpan di rangkaian yang lain dan karenanya arus lonjakannya dapat melampaui batas aman. Kapasitor yang dibuat umumnya dapat menahan arus lonjakan sampai dengan 50 kali batas arus.

Dimisalkan keadaan terukur pada saat dihubungkan, harga reaktansi peredam dalam henry dinyatakan dengan:

$$L \geq \frac{Q2}{Q1} \left(\frac{Un^2}{Q1+Q2} \right) \times 1,27 \times 10^{-6}$$

dengan:

Q1= kemampuan kapasitor penyimpan yang akan dihubungkan dalam MVAR

Q2= kemampuan kapasitor penyimpan yang telah dihubungkan dalam MVAR

Un= batas tegangan dalam Kv

Puncak maksimum arus lonjakan dapat dinyatakan dengan rumus pendekatan:

$$I_{maks} = Ic1 \left(1 + \frac{Xc1}{Xl1} \right)$$

dengan:

Ic1= batas arus kapasitor (gelombang dasar) rms

Xc1= reaktansi kapasitor (gelombang dasar)

Xl1= reaktansi induktif keseluruhan sistem termasuk kapasitor penyimpan (gelombang dasar).

Arus lonjakan terdiri dari komponen mantap (steady) dari kuat isolasi pada frekuensi catu dan osilasi bebas dengan frekuensi:

Frekuensi arus lonjakan:

$$fo = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L1C1} - \frac{R2}{4L1^2}}$$

Suku yang diabaikan $\frac{R^2}{4L1^2}$, karena R sangat kecil bila dibandingkan dengan L1, maka:

$$fo \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L1C1}}$$

Untuk kapasitor parallel yang telah diisi arus lonjakan ditentukan oleh pembuangan sesaat dari kapasitor yang telah diisi dan karena impedansi antara kapasitor yang telah diisi dan kapasitor yang akan diisi mungkin kecil, dapat mengakibatkan arus lonjakan puncak yang tinggi. Arus puncak maksimum dinyatakan dengan:

$$Imaks = \sqrt{2} \cdot En1 \sqrt{\frac{C1}{L1}}$$

dengan:

C1= kapasitor ekivalen rangkaian dalam μF

L1= induktansi ekivalen antara kapasitor yang telah diisi dan kapasitor yang akan diisi dalam H

En1=tegangan dari saluran fasa ke netral

III. PEMBAHASAN

A. Pemutus Rangkaian

Faktor-faktor yang mengatur desain pemutus rangkaian adalah:

- Kecepatan pelepasan kontak
- Kecepatan hilangnya partikel-partikel yang terionisasi antar kontak
- Tegangan sisa tertinggi yang dapat ditahan kontak
- Tegangan induksi tertinggi yang dibolehkan ditahan sistem bila dipakai untuk mengatur transformator.

Faktor terakhir ini sangat penting untuk desain pemutus rangkaian penggunaan umum dan yang mungkin tidak sesuai untuk pengatur kapasitor. Switching kapasitor menyebabkan terjadinya erosi pada kontak dengan cepat. Pada saat kontak lepas mereka meninggalkan energi buang yang cukup tinggi. Faktor-faktor ini menurunkan batas kemampuan pemutus. Sebagai contoh, sebuah pemutus rangkaian umum yang menggunakan minyak dengan kemampuan memutus 250 MVA dapat menangani beban kapasitor 800 KVAR pada 11 KV. Sebuah reaktansi seri dapat membantu atau bahkan membahayakan tergantung pada parameter rangkaian. Bila pemutus rangkaian memakai minyak mempunyai kontak tambahan, ini perlu diperhatikan. Mereka merupakan yang paling kena tekanan. Dalam memilih pemutus rangkaian harus dilakukan secara berhati-hati jangan menyebabkan tegangan lebih berlebihan pada saat menyambung kembali. Untuk melepas dan menutup kapasitor penyimpan "back to back", disarankan penggunaan pemutus rangkaian yang tidak memukul kembali. Dalam hal ini dihindari tekanan

arus pukulan kembali yang tinggi, tegangan lebih ketanah dan pada kapasitor dapat dibatasi sampai 2 pu. Sangat penting untuk mendesain pemutus rangkaian yang mampu untuk lonjakan arus tertinggi dan frekuensinya, juga harus mampu menahan pengujian 10.000 kali switching.

B. Ukuran kapasitor untuk perbaikan faktor daya.

Ukuran kapasitor untuk memperbaiki faktor daya sistem pada titik-titik tertentu dapat dihitung dengan bantuan komputer. Perhitungan secara manual dapat dilakukan untuk sistem distribusi yang relatif kecil, KVAR kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya dari $\cos Q_e$ sampai dengan $\cos Q_d$ dipakai persamaan berikut:

$$\text{KVAR} = K_w (\tan Q_e - \tan Q_d)$$

atau

$$\text{KVAR} = K_w \times \text{MF}$$

dimana,

$$\text{MF} = \text{faktor pengali}$$

KVAR kapasitor yang dibutuhkan untuk perbaikan ini akan berupa faktor pengali dan K_w seperti terlihat pada contoh berikut'

1. Kita butuh mendapatkan besarnya kapasitor untuk memperbaiki faktor daya dari beban 100 Kw dari 65% sampai 85%. Untuk penyetelan 65% dan 85% diperlukan factor pengali 0,55. Maka besar KVAR kapasitor yang dibutuhkan adalah $100 \times 0,55 = 55$ KVAR.
2. Suatu instalasi tenaga 10 KVAR, faktor daya 0,70 akan diperbaiki menjadi 0,90. Sumber tegangan listrik 3 fasa 220V/380V. Mencari besarnya KVAR dari kapasitor adalah sebagai berikut:

Faktor daya sebelum diperbaiki:

$$\cos Q_1 = 0,70 \rightarrow \sin Q_1 = 0,715$$

Faktor daya sesudah diperbaiki:

$$\cos Q_2 = 0,90 \rightarrow \sin Q_2 = 0,430$$

KVAR sebelum diperbaiki

$$= 10 \sin Q_1 = 7,15 \text{ Kvar}$$

KVAR sesudah diperbaiki $= 10 \sin Q_2 = 4,30 \text{ Kvar}$

KVAR untuk memperbaiki $= 7,15 - 4,30 = 2,85$ Kvar.

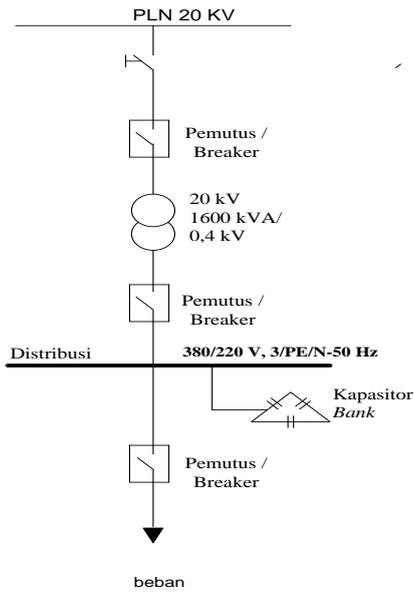
Untuk itu, dipakai kapasitor 3 KVAR 220V/380V.

C. Sambungan-Sambungan Kapasitor Tegangan Rendah

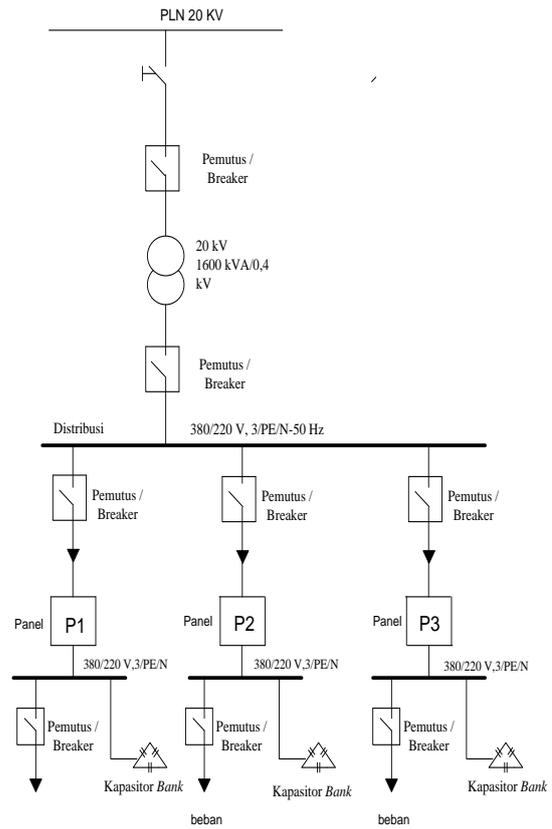
Sambungan kapasitor delta (tiga beban) pada motor induksi dengan cincin geser dan starter tahanan atau starter langsung, tidak ada masalah bila keluaran kapasitor tidak melampaui pemakaian daya motor tanpa beban. Sebaliknya bila motor mempunyai starter delta-bintang, akan muncul masalah-masalah tertentu misalnya tegangan lebih karena eksitasi sendiri, arus buang dan resonansi yang tinggi.

Tegangan lebih untuk beberapa gelombang sampai dua atau tiga kali batas tegangan yang disebabkan oleh eksitasi sendiri dapat terjadi pada saat pemindahan dari bintang ke delta dan saluran fasa terputus sebelum saluran netral terputus. Bila pemindahan dari bintang ke delta dilakukan pada saat saluran fasa dan netral sama-sama terbuka tidak terjadi tegangan lebih, tetapi mungkin timbul arus buang yang tinggi bila motor dihidupkan lagi. Ini disebabkan karena tegangan pada kapasitor tetap sama selama waktu pemutusan tetapi tegangan saluran pada saat dihubungkan kembali mungkin pada fasa yang berbeda, mengakibatkan arus pengaman yang berbahaya.

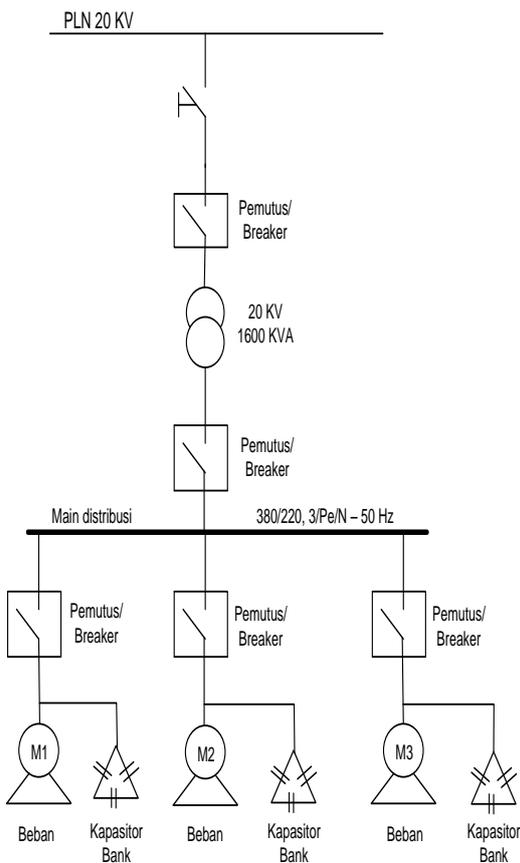
Bila pada saat pemindahan dari bintang ke delta, titik sambung netral terbuka sebelum saluran fasa dapat terjadi resonansi seri antara kapasitor dan lilitan motor. Besarnya sampai seperti pada hubung singkat dan secara mendadak arus naik sangat tinggi sesuai dengan tegangan lebih pada kapasitor dan lilitan motor. Besarnya sampai seperti pada hubung singkat dan secara mendadak arus naik sangat tinggi sesuai dengan tegangan lebih pada kapasitor dan lilitan motor. Kesulitan-kesulitan di atas dapat dihindari bila dipakai sebuah kapasitor enam kutub dihubungkan pada fasa tunggal. Beda sambungan untuk kapasitor tegangan rendah dengan enam sambungan kutub, resonansi seri tidak dapat terjadi karena lilitan motor dan kapasitor selalu terhubung paralel. Resiko terjadinya eksitasi sendiri tidak ada lagi. Arus pengaman tidak sampai membesar, karena kapasitor membuang muatannya lewat lilitan motor bila terputus dari saluran fasa. Karenanya, penggunaan kapasitor enam kutub sangat cocok untuk motor bintang-delta. Telah diamati bahwa pada penggunaan kapasitor tiga kutub ada kecenderungan bahwa saluran kontak stater telah menutup sebelum kontak start terbuka, sehingga kapasitor terhubung seri dengan lilitan fasa stator. Hal ini menimbulkan kenaikan resonansi dan tegangan lebih, sehingga menyebabkan kerusakan pada motor maupun kapasitor. Berikut diberikan beberapa contoh cara sambungan-sambungan pemasangan kapasitor.



Gambar 1. Instalasi Kapasitor Bank Sistem Global Kompensation



Gambar 3. Instalasi Kapasitor Bank Sistem Sectoral Kompensation



Gambar 2. Individual Kompensation

IV. KESIMPULAN

Dengan memasang kapasitor pada rangkaian daya listrik, maka akan di dapatkan beberapa keuntungan:

1. Rugi-rugi Kw/Kvar kecil, yaitu 0,0025 sampai 0,005
2. Sederhana pemasangannya/instalasinya dan pemeliharannya, ringan tidak memerlukan pondasi dan tidak ada bagian-bagian yang berputar seperti motor sinkron
3. Sebagai keuntungan tambahan bagi konsumen antara lain turunnya Kva yang dibutuhkan, kerugian daya dan tegangan yang stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, 1980, *Penghantar Teknik Tenaga Listrik*, Jakarta LP3ES
- [2] Abdul Kadir, 2011, *Transmisi Tenaga Listrik*, UI Press.
- [3] AS. Pabla, 1994, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [4] Muslimin Marpaung, 1979, *Teknik Tenaga Listrik*, Bandung Armico
- [5] Zuhail, 1979, *Dasar Tenaga Listrik*, ITB

