

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Fungsi Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah perlengkapan listrik yang berfungsi untuk memperbaiki atau untuk mengkonversi ($\cos \phi$) yang memberikan beban capacitif ketika beban listrik induktif yang berlebihan. Hal ini untuk menghindari denda oleh pihak PLN akibat terjadinya beban induktif yang melebihi batas yang diizinkan oleh PLN. Selain itu dengan di pasanganya kapasitor bank ini dapat menghemat penggunaan listrik. PLN mengharuskan penggunaan kapasitor bank di industri dan gedung yang menggunakan energi listrik yang besar untuk menghindari terjadinya overload.

2.2. Memasang Kapasitor Bank

Untuk memasang komponen ini caranya selalu sama yaitu secara paralel. Walaupun pemasangan selalu dengan cara paralel, tetapi ada tiga teknik pemasangan yang bisa dipilih yaitu:

- a. Cara pertama pemasangan kapasitor bank adalah individual, yaitu hanya bus yang factor daya nya akan dibaiki saja yang perlu dipasang. Dengan menggunakan cara ini maka kita akan mendapat keuntungan yang membuat kondisi $\cos \phi$ pada tiap-tiap busa selalu terjaga dengan baik. Plus factor daya pada sistem juga akan terjaga dengan baik.

- b. Cara kedua adalah group, yaitu pemasangan kapasitor bank dengan cara penempatan nya di bus yang paling atas pada keseluruhan sistemnya. Adapun untung nya memakai metode ini ialah bisa memperbaiki cosphi atau factor daya di suatu group. Sedangkan kekurangan nya hanya dapat memperbaiki chospi atau factor daya di suatu group saja. Sistem ini tidak dapat memperbaiki factor daya secara seluruhnya.
- c. Cara ketiga adalah dalam pemasangan kapasitor bank ini adalah dengan memasangnya pada bagian bus utama pada sistem. Dengan memakai cara ini maka dapat dilakukan perbaikan terhadap cosphi atau factor daya secara menyeluruh yaitu di bus utamanya. Keuntungan memakai cara ini yaitu murah harga yang didapat serta cosphi atau factor daya sistem tetap bagus. Kekurangan nya memakai cara ini yaitu tidak bisa melakukan perbaikan terhadap cosphi di tiap-tiap bus beban. Akibat nya sering adanya drop pada tegangan dan cosphi atau factor daya menjadi buruk di tiap bus beban dinamik.

Secara umum, pemasangan kapasitor tidak mengkhawatirkan jika kapasitas peralatan instalasi atau elektronik yang di perkirakan menghasilkan harmonisasi tidak lebih dari 30% kapasitas sumber, dan besar kapasitor yang dipasang tidak lebih dari 50% kapasitas sumber.

Pemasangan kapasitor paralel sangat penting untuk perendanaan reaktif dari sebuah sistem daya. Jelas bahwa saluran transmisi akan paling ekonomik bila dipakai mengirim daya aktif saja di mana 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 penelitian sistem dan perencanaan yang hati-hati untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif sistem dengan cara sama dengan perencanaan daya aktif dan deprogram kapasitas generator tambahan.

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 ditanahkan, delta dan sebagainya. Rangkaian penyimpanan yang di hubungkan secara delta dipakai dengan hanya satu bagian seri tiap fasa, untuk tegangan lebih dipakai sambungan bintang. Untuk rangkaian penyimpanan 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.

2.3. Langkah Kerja Kapasitor Bank

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar pf dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan

maka electron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan electron maka tegangan akan berubah. Kemudian electron akan 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 electron. Pada saat kapasitor mengeluarkan electron (IC) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Karena beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil.

2.4. Proteksi Kapasitor Dari Gangguan Harmonisa Frekuensi Tinggi

Semakin banyaknya penggunaan perangkat elektronika daya seperti inverter untuk menaikkan efisiensi peralatan industri, pemindahan dan peredam lonjakan arus dan penekanan harmonisa khusus penggunaan ballast elektronik untuk meningkatkan efisiensi lampu, dan penggunaan penyearah untuk memasok sumber daya searah membuat bentuk gelombang tegangan dan arus berubah menjadi non-sinusoidal. Suatu besaran yang digunakan untuk menggambarkan seberapa jauh suatu gelombang tidak berbentuk sinusoidal dinyatakan dengan besaran harmonisa. Arus harmonisa adalah arus listrik yang frekuensinya mengandung kelipatan bulat dari frekuensi dasarnya, dalam hal ini PT.PLN menggunakan frekuensi dasar sebesar 50 Hz. Arus harmonisa yang banyak muncul akibat penggunaan alat-alat

elektronika daya adalah arus harmonisa yang mempunyai frekuensi 150,250, dan 350 Hz.

Impedansi atau hambatan dari kapasitor berubah sesuai dengan frekuensi arus listrik yang mengalir melalui kapasitor. Jika hambatan kapasitor mempunyai nilai yang sama dengan hambatan jaringan sumber maka tercapailah suatu kondisi yang disebut resonansi. Pada kondisi resonansi, hambatan total sistem menjadi nol. Kondisi ini mirip dengan kondisi rangkaian pendek yang membahayakan kapasitor dan peralatan lainnya. Kondisi inilah yang sering menyebabkan rusaknya kapasitor dan peralatan lainnya.

Kapasitor sering dilalui arus lebih pada harmonisa frekuensi tinggi. Karena kapasitor biasanya berisi minyak, kapasitor akan mudah terbakar. Kejadian inilah yang sering memicu banyak kebakaran di industri dan bangunan modern.

Untuk mengatasi masalah terbakarnya kapasitor karena adanya arus harmonisa, bermacam cara sederhana bisa dilakukan. Cara pertama yang umum ditawarkan oleh banyak pabrik pembuat kapasitor adalah dengan memasang induktor secara seri dengan kapasitor untuk mencegah mengalirnya arus harmonisa melalui kapasitor. Cara ini cukup efektif tetapi menyebabkan biaya pemasangan kapasitor menjadi mahal.

Cara lain yang paling sederhana dapat dilakukan untuk mengatasi masalah ini adalah tentu saja menjauhkan pemasangan kapasitor dari posisi beban yang diperkirakan banyak menghasilkan harmonisa. Cara

ini sering sekali bisa dilakukan tanpa banyak mengeluarkan biaya tambahan.

Secara umum, pemasangan kapasitor tidak mengkhawatir jika :

- a. Kapasitas peralatan elektronik yang diperkirakan menghasilkan harmonisa tidak lebih dari 30% kapasitas sumber.
- b. Besar kapasitor yang dipasang tidak lebih dari 50% kapasitas sumber.

2.5. Harmonisa-harmonisa Sistem

Saat ini untuk membatasi tegangan harmonic dalam sistem pencatutan di india tidak mengikuti suatu standar apapun. Namun demikian dengan makin banyaknya penyearah dipakai, pengatur thyrister dengan kapasitor paralel dan sebagainya, adanya harmonisa dapat menimbulkan persoalan pada peralatan elektronika yang peka yang dapat membuat kesalahan pada roda perlindungan, sistem pengukuran dan pengaturan dan juga memberi beban lebih pada rangkaian penyimpan kapasitor di samping menyebabkan resonansi.

Kadang-kadang dibutuhkan reactor-reaktor untuk mengurangi arus keseluruhan yang ditarik oleh rangkaian penyimpanan kapasitor bila besarnya harmonisa dalam sistem tegangan tidak wajar. Penyebab harmonisa dalam sistem daya mungkin disebabkan oleh :

1. Transformator yang mendapat dorongan berlebihan.
2. Penyearah air raksa dan thyrister.

3. Tungku peleburan.
4. Celah harmonisa dari mesin putar.
5. Kerugian korona.
6. Motor-motor besar yang berputar dengan pergeseran rendah, lampu fluoresense.
7. Sistem pemindahan hubungan dan pengumpul beban.

Kapasitor di desain untuk bertoleransi 30-35% beban lebih yang mungkin disebabkan oleh harmonisa atau tegangan lebih.

Tegangan harmonisa ketiga dalam sistem pencatuan umumnya dihilangkan dengan lilitan delta transformator. Harmonisa kelima adalah yang paling kuat dan diikuti oleh harmonisa ketujuh. Harmonisa kesebelas dan ketigabelas mungkin juga ada. Adanya rangkaian penyimpanan kapasitor dapat menambah harmonisa-harmonisa ini dan merusak bentuk gelombang tegangan. Karena impedansi dari rangkaian penyimpanan pada harmonisa tinggi berkurang, maka penarikan arus bertambah cukup banyak meskipun hanya ada sedikit harmonisa yang lebih tinggi. Pada pemasangan rangkaian penyimpanan tunggal, reaktansi sistem juga membantu mengurangi arus harmonisa yang lebih tinggi. Letak rangkaian kapasitor penyimpanan dalam jaringan catu daya di ujung saluran panjang atau bus dari substation, atau dekat pada transformator seperti halnya KVAR kapasitor penyimpanan dapat menentukan kelanjutan pembangkitan harmonisa.

2.6. Sambungan-sambungan Kapasitor Tegangan Rendah

Sambungan-sambungan kapasitor delta (tiga beban) pada motor induksi dengan cincin geser dan stater tahanan atau stater langsung, tidak ada masalah bila keluaran kapasitor tidak melampaui pemakaian daya motor tanpa beban. Sebaliknya bila motor mempunyai stater 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 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.

Kesulitan-kesulitan diatas dapat dihindari bila dipakai sebuah kapasitor enam kutub dihubungkan pada fasa tunggal. Beda sambungan untuk kapasitor 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 stator telah menutup sebelum kontak stator terbuka, sehingga kapasitor terhubung seri dengan lilitan fasa stator. Hal ini menimbulkan kenaikan resonansi dan tegangan lebih, sehingga menyebabkan kerusakan pada motor maupun kapasitor.

2.7. Komponen Panel Kapasitor Bank

Adapula komponen-komponen panel kapasitor bank yang adalah :

1. Main switch / Load Breaker

Main switch ini sebagai peralatan kontrol dan isolasi jika ada pemeliharaan panel. Sedangkan untuk pengaman kabel / instalasi sudah tersedia disisi bawah (dari) MDV. Main switch atau lebih dikenal load break switch adalah peralatan pemutus dan penyambung yang sifatnya on load yakni dapat diputus dan disambung dalam keadaan berbeban,

berbeda dengan on-off switch model knife yang hanya dioperasikan pada saat tidak berbeban.



Gambar 2.1 main switch atau breaker

2. Kapasitor Breaker

Kapasitor breaker digunakan untuk mengamankan instalasi kabel dari breaker ke kapasitor bank dan ke kapasitor itu sendiri. Selain breaker dapat pula digunakan fuse, pemakaian fuse ini sebenarnya lebih baik karena respon dari kondisi over current dan short circuit lebih baik namu tidak efisien dalam pengoperasian jika dalam kondisi putus harus selalu ada penggantian fuse. Jika memakai fuse perhitungannya juga sama dengan memakai breaker.

3. Magnetic kontaktor

Magnetic kontaktor diperlukan sebagai peralatan kontrol. Beban kapasitor mempunyai arus puncak yang tinggi, lebih tinggi dari beban. Untuk pemilihan magnetic kontaktor minimal 10% lebih tinggi dari arus nominal. Pemilihan magnetic kontaktor dengan range ampere lebih

tinggi akan lebih baik sehingga umur pemakaian magnetic kontaktor lebih lama.



Gambar 2.2 Magnetic Kontaktor

4. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang akan berfungsi sebagai penyeimbang sifat induktif.

5. Reactive Power Regulator

Peralatan ini berfungsi untuk mengatur kerja kontaktor agar daya reaktif yang akan di supply ke jaringan / sistem dapat berkerja sesuai kapasitas yang dibutuhkan. Dengan acuan pembacaan besaran arus dan tegangan pada sisi utama breaker maka daya reaktif yang dibutuhkan dapat terbaca dan regulator inilah yang akan mengatur kapan dan berapa daya reaktif yang diperlukan. Peralatan ini mempunyai bermacam-macam steps dari 6 steps, 12 steps, sampai 18 steps.



Gambar 2.3 Reactive power regulator

6. Push button on dan push button off

Berfungsi mengoperasikan magnecek kontaktor secara manual. Sakelar auto off manual berfungsi memilih sistem operasional auto dari modul atau manual dari push button.



Gambar 2.4 Push button

7. Exhaust fan dan thermostat

Berfungsi mengatur ambien temperature dalam ruang panel kapasitor. Karena kapasitor, kontaktor dan kabel penghantar mempunyai disipasi daya panas yang besar maka temperature ruang panel meningkat. Setelah setting dari thermostat terlampaui maka exhaust fan akan otomatis berhenti.

2.8. Kapasitor Tegangan Rendah

Kapasitor tegangan rendah dipasang pada sistem saluran distribusi masing-masing atau motor-motor para langganan untuk mengurangi kerugian sistem dan memperbaiki tegangan maupun kemampuan sistem. Sebagai keuntungan tambahan bagi konsumen antara lain turunnya KVA yang dibutuhkan, kerugian daya dan tegangan yang stabil. Keuntungan optimum yang diinginkan dari kapasitor banyak tergantung pada kedudukan kapasitor yang tepat dalam sistem. Bagaimanapun juga kapasitor tegangan rendah dalam pelayanan ke tiap-tiap langganan umumnya disukai karena alasan-alasan berikut:

1. Ini dapat diatur dengan roda pengatur yang mengatur motor.
2. Bila kapasitor-kapasitor dihubungkan pada sambungan motor tegangan rendah, arus beban reaktif yang mengalir lewat saluran tegangan tinggi dan rendah akan memperbaiki faktor daya di kedua ujung. Jadi kerugian daya di saluran tegangan tinggi dan tegangan rendah juga akan berkurang.
3. Kapasitor langsung dihubungkan ke motor yang bekerja bila motor dipakai dan dilepas secara otomatis.
4. Pemasangan kapasitor di substasion dan/atau saluran tegangan rendah membutuhkan penggunaan switch untuk menggunakan kapasitor pada perioda waktu beban puncak dan melepas kapasitor pada saat beban rendah, ini memerlukan roda pemindah yang relatif.

5. Dengan menggabungkan sambungan pelyanan tambahan, yang merupakan pemasangan kapasitor umumnya, maka tempat kapasitor harus selalu diubah-ubah untuk mendapatkan hasil yang sebaik-baiknya.

2.9. Macam-Macam Daya

1. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah W (*Watt*) dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik *Wattmeter*.

Daya Aktif pada beban yang bersifat *resistansi* (R), dimana tidak mengandung induktor grafik gelombang *tegangan* (V) dan arus se fasa, sehingga besar daya sebagai perkalian tegangan dan arus menghasilkan dua gelombang yang keduanya bernilai positif. besarnya daya aktif adalah P. Sisa puncak dibagi menjadi dua untuk mengisi celah-celah kosong sehingga kedua rongga terisi oleh dua puncak yang mengisinya.

Persamaan Daya aktif (P) pada beban yang bersifat *resistansi* :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{2} \cdot P_m \\
 &= \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \\
 &= \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot V \cdot \sqrt{2} \cdot I \\
 P &= V \cdot I \dots\dots\dots 2.1.
 \end{aligned}$$

Dimana :

P = Daya Aktif (W)

P_m = Daya maksimum (W)

I_m = Arus listrik maksimum (A)

V_m = Tegangan maksimum (V)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (A)

Daya aktif pada beban *impedansi* (Z), beban *impedansi* pada suatu rangkaian disebabkan oleh beban yang bersifat *resistansi* (R) dan *induktansi* (L).Maka gelombang mendahului gelombang arus sebesar ϕ . Perkalian gelombang tegangan dan gelombang arus menghasilkan dua puncak positif yang besar dan dua puncak negatif yang kecil.Pergeseran sudut fasa bergantung seberapa besar nilai dari komponen induktor nya.

Persamaan daya aktif (P) pada beban yang bersifat impedansi :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots 2.2.$$

Dimana :

P = Daya

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

$\cos \phi$ = Faktor daya

2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat *induktif*. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt.Amper Reaktif).Untuk menghemat daya reaktif

dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat *induktif*. Hal serupa sering dilakukan pada pabrik-pabrik yang menggunakan motor banyak menggunakan beban berupa motor-motor listrik.

Persamaan daya reaktif :

$$P = V \cdot I \cdot \sin \phi \dots\dots\dots 2.3.$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

$\sin \phi$ = Faktor reaktif

3. Daya Semu (S)

Daya semu adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus listrik. Daya nyata merupakan daya yang diberikan oleh PLN kepada konsumen. Satuan daya nyata adalah VA (Volt.Ampere).

Beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat *resistansi*(R), contoh : lampu pijar, setrika listrik, kompor listrik dan lain sebagainya. Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat *resistansi* tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik se fasa perbedaan sudut fasa adalah 0° dan memiliki nilai *faktor daya* adalah Berikut ini persamaan daya semu :

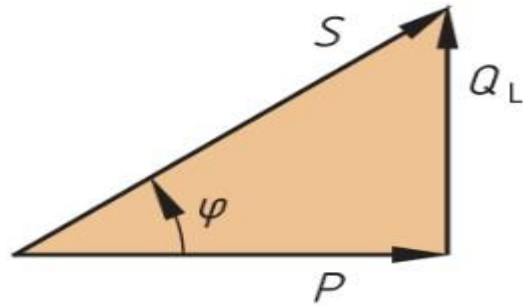
$$S = V \cdot I \dots\dots\dots 2.4.$$

Dimana :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)



Gambar 2.5.segitiga Daya

(daya semu aktif, daya reaktif, dan daya semu)

Daya aktif (P) digambarkan dengan garis horizontal yang lurus. Daya reaktif (Q) berbeda sudut sebesar 90° dari daya aktif. Sedangkan daya semu (S) adalah hasil penjumlahan secara vektor antara daya aktif dengan daya reaktif. Jika mengetahui dua dari ketiga daya maka dapat menghitung salah satu daya yang belum diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P^2 = S^2 - Q^2$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \dots\dots\dots 2.5.$$

Dimana :

P = Daya aktif

Q = Daya reaktif

S = Daya semu