

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Daya Listrik

Peningkatan terhadap kebutuhan dan konsumsi energi listrik yang baik dari segi kualitas dan kuantitas menjadi salah satu alasan mengapa perusahaan utilitas penyedia listrik perlu memberi perhatian terhadap isu kualitas daya listrik. Terlebih pada konsumen perindustrian yang membutuhkan supply listrik yang baik yaitu dari segi kontinuitas dan juga kualitas tegangan yang disupply (karena mesin - mesin pada perindustrian sensitif terhadap lonjakan/ ketidakstabilan tegangan) perlu diusahakan suatu sistem pendistribusian tenaga listrik yang dapat memberikan pelayanan yang memenuhi kriteria yang diinginkan konsumennya. Istilah kualitas daya listrik bukanlah hal yang baru melainkan sudah menjadi isu penting pada industri sejak akhir 1980-an. Kualitas daya listrik memberikan gambaran akan baik buruknya suatu sistem ketenagalistrikan dalam mengatasi gangguan - gangguan pada sistem tersebut (Dugan,1996)

Roger C. Dugan memberikan empat alasan utama perlunya perhatian lebih akan masalah kualitas daya (Dugan,1996)

1. Perangkat listrik yang digunakan pada saat ini sangat sensitif terhadap kualitas daya listrik yang mana perangkat berbasis mikroprosesor dan elektronika daya lainnya membutuhkan tegangan pelayanan yang stabil dan level tegangannya juga harus dijaga pada tegangan kerja perangkat tersebut.
2. Peningkatan yang ditekankan pada efisiensi daya / sistem kelistrikan secara keseluruhan yang mengakibatkan pertumbuhan lanjutan dalam aplikasi perangkat dengan efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor bank untuk koreksi faktor daya untuk mengurangi rugi-rugi. Hal ini mengakibatkan peningkatan tingkat harmonik pada sistem tenaga dan mengakibatkan banyak praktisi dibidang sistem tenaga listrikan khawatir akan dampak tersebut di masa depan (dikhawatirkan dapat menurunkan kemampuan dari system tersebut).

3. Meningkatnya kesadaran para konsumen akan masalah kualitas daya. Dimana pelanggan / konsumen menjadi lebih mengerti akan masalah seperti interupsi, sags dan transien switching dan mengharapkan sistem utilitas listrik untuk meningkatkan kualitas daya yang dikirim.
4. Sistem tenaga listrik sekarang ini sudah banyak yang melakukan interkoneksi antar jaringan, di mana hal ini memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen akan mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya. Masalah yang dapat timbul dari sistem tenaga listrik dengan kualitas daya yang buruk dapat berupa masalah lonjakan/ perubahan tegangan, arus dan frekuensi yang akan menimbulkan kegagalan/misoperasi peralatan. Yang mana kegagalan ini merusak peralatan listrik baik dari sisi pengirim maupun sisi penerima. Untuk itu demi mengantisipasi kerugian yang dapat terjadi baik dari pihak PLN maupun masyarakat, pihak PLN harus mengupayakan sistem ketenagalistrikan yang baik (Dugan,1996)

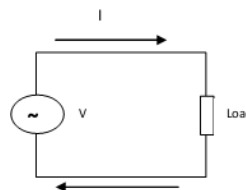
2.2. Daya Listrik

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya memiliki satuan Watt, yang merupakan perkalian dari Tegangan (volt) dan arus (ampere). Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan (Alto Belly, 2010) :

$$P = V \times I$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \phi$$

$$P = \text{Watt} \tag{2.1}$$



Sumber : Alto Belly, dkk, 2010

Gambar 2. 1Arah Aliran Arus Listrik

2.2.1. Daya Aktif (P)

Daya aktif (Active Power) adalah daya yang terpakai untuk melakukan

energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut (Alto Belly, 2010):

$$\text{Untuk satu phasa : } P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.2)$$

$$\text{Untuk tiga phasa : } P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.3)$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

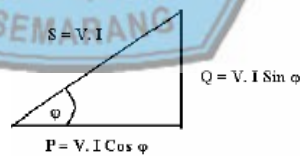
2.2.2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var (Alto Belly, 2010)

$$\text{Untuk daya reaktif } Q = S \cdot \sin \varphi \quad (2.4)$$

2.2.3. Daya Semu (S)

Daya Semu (Apparent Power) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Satuan daya semu adalah VA (Alto Belly, 2010).

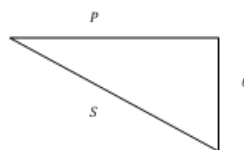


Sumber : Alto Belly, dkk, 2010

Gambar 2. 2 Penjumlahan Trigonometri Daya aktif, reaktif, dan semu.

2.2.4. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe - tipe daya yang berbeda antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri (Alto Belly, 2010).



Sumber : Alto Belly, dkk, 2010

Gambar 2. 3 Segitiga Daya

dimana berlaku hubungan :

$$\begin{aligned}
 S &= V \cdot I \\
 P &= S \cdot \cos \varphi \\
 Q &= S \cdot \sin \varphi
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

2.3 Kebutuhan Daya Listrik yang berkualitas.

Faktor daya ($\cos \varphi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \varphi$ (Alto Belly, 2010).

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Semu (S)} \\
 &= \text{kW} / \text{kVA} \\
 &= V \cdot I \cos \varphi / V \cdot I \\
 &= \cos \varphi
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

2.3.1 Faktor Daya Terbelakang (Lagging)

Faktor daya terbelakang (lagging) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut (Alto Belly, 2010) :

1. Beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif
2. Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut φ



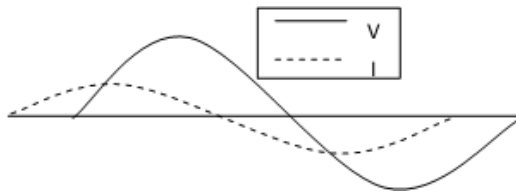
Sumber : Alto Belly, dkk, 2010

Gambar 2. 4. Arus tertinggal dari tegangan sebesar sudut φ .

2.3.2 Faktor Daya Mendahului (Leading)

Faktor daya mendahului (leading) adalah keadaan factor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Beban/ peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif
2. Arus mendahului tegangan, V terbelakang dari I dengan sudut φ



Gambar 2. 5. Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut.

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu.

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \frac{\text{Daya Reaktif (Q)}}{\text{Daya Aktif (P)}} \\ &= \frac{\text{kVAR}}{\text{kW}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan kVAR berubah sesuai dengan faktor daya), dapat juga di tulis sebagai berikut:

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya Aktif (P)} \times \tan \phi \quad (2.8)$$

Sebuah contoh, rating kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya sebagai berikut:

$$\text{Daya reaktif pada pf awal} = \text{Daya Aktif (P)} \times \tan \phi_1 \quad (2.9)$$

$$\text{Daya reaktif pada pf diperbaiki} = \text{Daya Aktif (P)} \times \tan \phi_2 \quad (2.10)$$

Sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah:

$$\text{Daya reaktif (kVAR)} = \text{Daya Aktif (kW)} \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (2.11)$$

Beberapa keuntungan meningkatkan faktor daya (Alto Belly,2010) :

- a) Tagihan listrik akan menjadi kecil (PLN akan memberikan denda jika pf lebih kecil dari 0,85)
- b) Kapasitas distribusi sistem tenaga listrik akan meningkat
- c) Mengurangi rugi – rugi daya pada sistem
- d) Adanya peningkatan tegangan karena daya meningkat. Jika pf lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya aktif (kW) yang digunakan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan menurunnya pf sistem kelistrikan (Rahmat , 2015).

2.4 Sifat Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (X_L) akan menjadi nol yang berarti bahwa induktor tersebut akan *short circuit*. Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak berhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan *open circuit*. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut (Alto Belly, 2010) :

2.4.1 Beban Resistif

Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni, contoh : lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan:

$$R = V/I$$

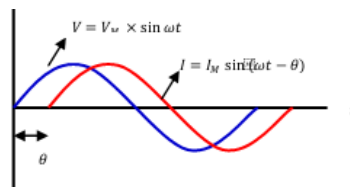
(2.12)

Sumber : Alto Belly, dkk, 2010

Gambar 2. 6. Arus dan tegangan pada beban resistif

2.4.2 Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh : motor-motor listrik, induktor dan ransformator. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “*lagging*”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar ϕ° . Secara matematis dinyatakan :



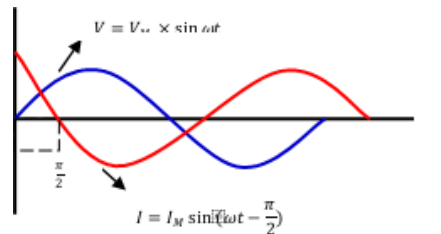
Sumber : Alto Belly, dkk, 2010

Gambar 2. 7. Arus, tegangan dan GGL induksi-diri pada beban induktif

2.4.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor.

Beban ini mempunyai faktor daya antara 0–1 “*leading*”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar ϕ° . Secara matematis dinyatakan (Alto Belly,2010) :



Sumber : Alto Belly, dkk, 2010

Gambar 2. 8. Arus, tegangan dan GGL induksi-diri pada beban kapasitif

2.5 Kapasitor Bank

2.5.1 Definisi Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah peralatan elektrik untuk meningkatkan power factor (PF), yang akan mempengaruhi besarnya arus (Ampere). Pemasangan kapasitor bank pada sebuah sistem listrik akan memberikan keuntungan sebagai berikut (Hardiyansyah dan Joni, 2016) :

1. Peningkatan kemampuan jaringan dalam menyalurkan daya
2. Optimasi biaya : ukuran kabel diperkecil
3. Mengurangi besarnya nilai "*drop voltage*"
4. Mengurangi naiknya arus/suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi-rugi daya.

Peningkatan faktor daya ini tergantung dari seberapa besar nilai kapasitor yang dipasang (dalam kVAR). Sehingga denda VARh Anda bisa dikurangi. Pada kehidupan modern dimana salah satu cirinya adalah pemakaian energi listrik yang besar. Besarnya energi atau beban listrik yang dipakai ditentukan oleh reaktansi (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

(Hardiyansyah dan Joni, 2016). Daya reaktif itu merupakan daya tidak berguna sehingga tidak dapat dirubah menjadi tenaga akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energy 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 (Hardiyansyah dan Joni, 2016).

Jika nilai daya itu diperbesar yang biasanya dilakukan oleh pelanggan industri maka rugi-rugi daya menjadi besar sedang daya aktif (kW) dan tegangan yang sampai ke konsumen berkurang. Dengan demikian produksi pada industri itu akan menurun hal ini tentunya tidak boleh terjadi untuk itu suplai daya dari PLN harus ditambah berarti penambahan biaya. Karena daya itu,

$$P = V.I \quad (2.13)$$

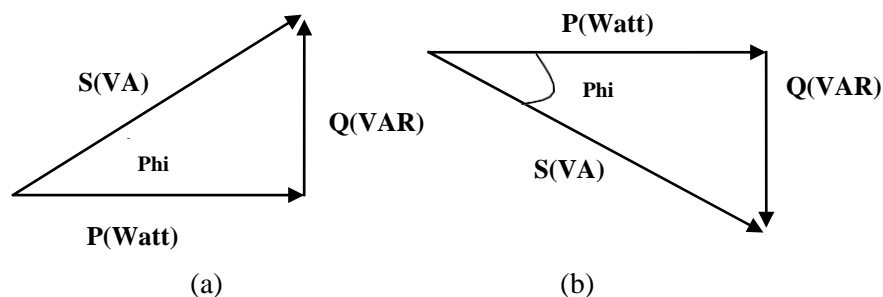
Keterangan:

$P = \text{Daya (Watt)}$

$V = \text{Tegangan (Volt)}$

$I = \text{Arus (Ampere)}$

maka dengan bertambah besarnya daya berarti terjadi penurunan harga V dan naiknya harga I . Dengan demikian daya aktif, daya reaktif dan daya nyata merupakan suatu kesatuan yang kalau digambarkan seperti segi tiga siku-siku pada Gambar 2.9 berikut.



Sumber : Rahmat Putra Syawal, 2015
 Gambar 2. 9. Segitiga Daya (a) Karakteristik Beban Kapasitif, (b) Karakteristik Beban Induktif.

$$P = V \cdot I \cos \varphi$$

$$Q = V \cdot I \sin \varphi$$

$$S = P^2 + Q^2 \text{ atau } S = V \cdot I$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata}}{\text{Daya Semu}} = \cos \varphi \quad (2.15)$$

Seperti kita ketahui bahwa harga $\cos \varphi$ 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 $\cos \varphi = 1$ dan ini disebut juga dengan $\cos \varphi$ yang terbaik. Namun dalam kenyataannya harga $\cos \varphi$ yang ditentukan oleh PLN sebagai pihak yang mensuplai daya adalah sebesar 0,8. Jadi untuk harga $\cos \varphi < 0,8$ berarti pf dikatakan jelek. Jika pf pelanggan jelek (rendah), maka kapasitas daya aktif (kW) yang dapat digunakan pelanggan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan semakin menurunnya pf sistem kelistrikan pelanggan. Akibat menurunnya pf itu maka akan muncul beberapa persoalan sebagai berikut (Rahmat, 2015) :

- a. Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi-rugi.
- b. Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR.
- c. Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan.

Secara teoritis sistem dengan pf 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. Dengan demikian denda harus dibayar sebab pemakaian daya reaktif meningkat menjadi besar. Denda atau biaya kelebihan daya reaktif dikenakan apabila jumlah pemakaian kVARH yang tercatat dalam sebulan lebih tinggi dari 0,62 jumlah kWh pada bulan yang bersangkutan sehingga pf rata-rata kurang dari 0,85 (Rahmat, 2015).

Berdasarkan dari cara kerjanya, kapasitor bank dibedakan menjadi 2:

1. **Sistem Fixed**, yaitu dengan memberikan sebuah beban kapasitif yang tetap ataupun berubah-ubah pada beban. Biasanya digunakan pada beban langsung seperti pada motor induksi. Pada tipe ini harus dipertimbangkan

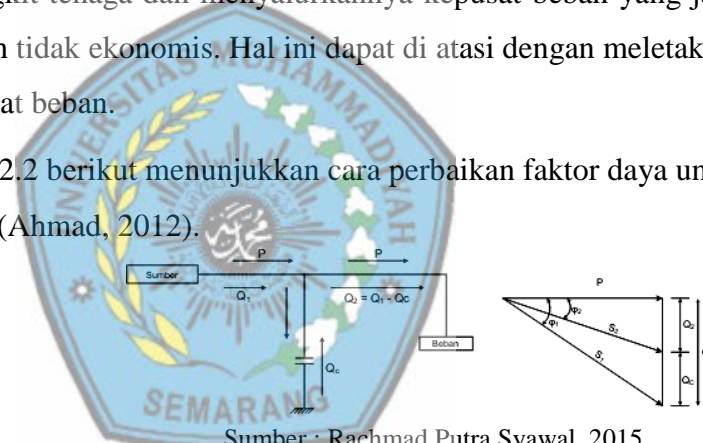
adalah pada saat pemasangan kapasitor bank tanpa beban (Ahmad, 2012).

2. **Sistem Control Automatic**, yaitu memberikan beban kapasitif yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan kapasitor bank yang terpasang. Pada tipe ini jenis panel dilengkapi dengan sebuah Power Factor Controller (PFC) sebagai pengaman. PFC akan menjaga $\cos \phi$ pada jaringan listrik yang sesuai dengan target yang ditentukan. Apabila pada tipe ini terjadi perubahan beban, maka PFC secara otomatis akan memperbaiki $\cos \phi$ (Ahmad, 2012).

2.5.2 Bagaimana Kapasitor Bank Memperbaiki Faktor Daya

Sebagaimana diketahui membangkitkan daya reaktif pada pusat pembangkit tenaga dan menyalurkannya ke pusat beban yang jaraknya jauh, sangatlah tidak ekonomis. Hal ini dapat diatasi dengan meletakkan kapasitor pada pusat beban.

Gambar 2.2 berikut menunjukkan cara perbaikan faktor daya untuk system tersebut (Ahmad, 2012).



Sumber : Rachmad Putra Syawal, 2015

Gambar 2. 10. Perbaikan Faktor Daya Dengan Kapasitor

2.5.3 Perawatan dan Perlindungan Kapasitor Bank

Kapasitor bank yang digunakan untuk perbaikan faktor daya supaya tahan lama, maka harus dirawat secara rutin dan teratur. Dalam perawatannya, kapasitor bank harus ditempatkan pada tempat yang lembab dan tidak basah yang tidak terlindungi dari debu dan kotoran. Sebelum melakukan pemeriksaan, maka kapasitor bank tidak terhubung lagi dengan sumber listrik. Adapun jenis pemeriksaan yang harus dilakukan yaitu (Ahmad, 2012) :

- 1) Pemeriksaan kebocoran.
- 2) Pemeriksaan kabel dan penyangga kapasitor.
- 3) Pemeriksaa nisolator.

Untuk meminimalkan kemungkinan kegagalan sekering pemegang pembuangan atau pecahnya kasus kapasitor bank, atau keduanya, standar memaksakan batasan ke energy maksimum total yang tersimpan dalam sebuah kelompok yang terhubung paralel ke 45 KVAR. Agar tidak melanggar batas ini, kelompok yang lebih kapasitor bank dari rating tegangan rendah dihubungkan secara seri dengan lebih sedikit unit secara paralel setiap kelompok dapat menjadi solusi yang cocok. Namun, hal ini dapat mengurangi sensitivitas skema deteksi ketidakseimbangan. Memisahkan kapasitor bank menjadi 2 bagian yaitu hubungan seri, solusi ini dapat digunakan untuk skema ketidakseimbangan yang lebih baik untuk dideteksi. Kemungkinan lain adalah penggunaan sekering pembatas arus. Koneksi optimal untuk peralatan pengamanan tergantung pada pemanfaatan terbaik dari peringkat tegangan yang tersedia unit kapasitor, sekering, dan menyampaikan pelindung. Hampir semua kapasitor bank gardu yang terhubung seri. Maka setiap pemakaian kapasitor bank bagaimanapun harus dihubungkan secara seri atau paralel (Hardiansyah dan Joni, 2016).

2.5.4 Proses Kerja Kapasitor Bank

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar pf dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka 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 memerlukannya 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 kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil. Rugi-rugi daya sebelum dipasang kapasitor (Hardiansyah dan Joni, 2016).

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

$$\text{Rugi daya reaktif} = I^2 \times X_c \text{ (VAR)} \quad (2.16)$$

Rugi-rugi daya sesudah dipasang kapasitor:

Rugi daya aktif = $(I^2 - I_c^2) R$ (Watt)

Rugi daya reaktif = $(I^2 - I_c^2) \times X_c$ (VAR) (2.17)

2.5.5 Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

Adapun cara pemasangan kapasitor bank pada instalasi listrik dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu (Ahmad, 2012) :

1. Global compensation

Dengan metode ini kapasitor bank dipasang pada induk panel main distribution panel (MDP) dan arus yang turun dari pemasangan model ini hanya pada penghantar antara panel MDP dan transformator

2. Sectoral Compensation

Dengan metoda ini pemasangan kapasitor bank yang terdiri dari beberapa panel kapasitor yang akan dipasang pada setiap panel sub distribution panel (SDP).

3. Individual Compensation

Dengan metoda ini kapasitor bank langsung dipasang pada masing masing beban yang akan digunakan khususnya beban yang mempunyai daya yang besar.

2.5.6 Komponen-komponen Instalasi Listrik

1. Main switch / load Breakswitch

Main switch ini sebagai peralatan kontrol dan isolasi jika ada pemeliharaan panel. Sedangkan untuk pengaman kabel / instalasi sudah tersedia disisi atasnya dari PDU. Main switch atau lebih dikenal load breakswitch adalah peralatan pemutus dan penyambung yang sifatnya on load yakni dapat diputus dan disambung dalam keadaan berbeban, berbeda dengan on-offswitch model knife yang hanya dioperasikan pada saat tidak berbeban. Untuk menentukan kapasitas yang dipakai dengan perhitungan minimal 25 % lebih besar dari perhitungan KVar terpasang dari sebagai contoh : Jika daya kvar terpasang 30 Kvar dengan arus 80 Ampere , maka pilihan

kita berdasarkan $80 \text{ A} + 25 \% = 100 \text{ Ampere}$ yang dipakai 100 Ampere (Hardiyansyah dan Joni, 2016).



Gambar 2. 11. Gambar Main switch / load Breakswitch

2. Kapasitor Breaker

Kapasitor Breaker digunakan untuk mengamankan instalasi kabel dari breaker ke Kapasitor bank dan juga kapasitor itu sendiri. Kapasitas breaker yang digunakan sebesar 1,5 kali dari arus nominal dengan $I_m = 10 \times I_r$. Untuk menghitung besarnya arus dapat digunakan rumus $I_n = Q_c / 3 \cdot V_L$ Sebagai contoh : masing masing steps dari 6 steps besarnya 2,5 Kvar maka dengan menggunakan rumus diatas didapat besarnya arus sebesar 16 ampere , maka pemilihan kapasitas breaker sebesar $16 + 50 \% = 40 \text{ A}$ atau yang dipakai 40 Ampere. Selain breaker dapat pula digunakan Fuse, Pemakaian Fuse ini sebenarnya lebih baik karena respon dari kondisi over current dan Short circuit lebih baik namun tidak efisien dalam pengoperasian jika dalam kondisi putus harus selalu ada penggantian fuse. Jika memakai fuse perhitungannya juga sama dengan pemakaian breaker (Hardiyansyah dan Joni, 2016).



Gambar 2. 12. Kapasitor Breaker.

3. Magnetic Contactor

Magnetic contactor diperlukan sebagai Peralatan kontrol yang bekerja berdasarkan prinsip industry elektro magnetic. Pada kontraktor terdapat sebuah belitan, yang mana bila di aliri arus listrik akan timbul medan magnet pada inti besi , yang akan membuat kotak tertarik oleh gaya magnet yang timbul tadi.



Gambar 2. 13. Magnetic Contactor Kapasitor.

4. Pengaman Lebur (Fuse)

Pengertian NH Fuse / Fuse lebur mengarah pada pengaman kelistrikan yang berfungsi sebagai pengaman arus lebih dan hubungan singkat, yang sebetulnya memiliki fungsi yang sama dengan fuse.



(a)

(b)

Gambar 2. 14. Pengaman Lebur (NH Fuse) dan NH Fuse Holder.

5. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang akan berfungsi sebagai penyeimbang sifat induktif. Kapasitas kapasitor dari ukuran 2,5 KVar sampai 60 Kvar. Dari tegangan kerja 230 V sampai 525 Volt. Dalam NH Fuse terdapat kawat lebur yang berfungsi sebagai penghantar arus dan pengaman dari beban lebih atau hubungan singkat, kawat lebur tersebut akan mengalami kenaikan suhu dan melebur

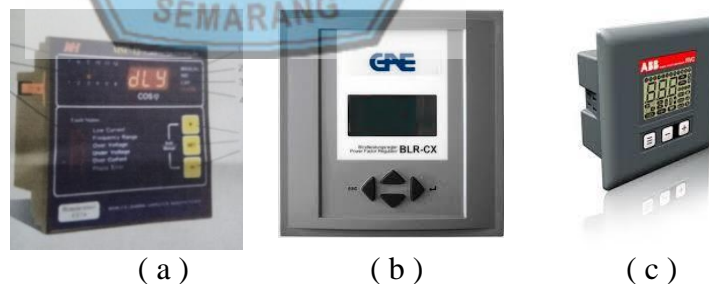
putus, sehingga arus listrik yang melalui NH Fuse akan terputus. Apabila kawat lebur sudah dipasang pada dudukan atau yang diebut holder dalam ruang pemutusan NH Fuse diberi pasir kwarsa yang lembut apabila pada waktu pemutusan hubungan singkat kawat pengaman lebur yang timbul bunga api akan dipadamkan oleh pasir tersebut.



Gambar 2. 15. Kapasitor Bank.

6. Reaktif Power Regulator

Peralatan power factor controller adalah control capasitor berfungsi untuk mengatur kerja kontaktor agar daya reaktif yang akan disupply ke jaringan/ system dapat bekerja sesuai kapasitas yang dibutuhkan. Sebagai contoh dari beberapa produk reaktif power regulator gambar a, b dan c berikut ini :



Gambar 2. 16. Elektronik Power Regulator.

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 14 steps tergantung dari pabrik pembuat, peralatan tambahan yang biasa digunakan pada panel kapasitor antara lain:

- Push button on dan push button off atau dengan selector switch yang berfungsi mengoperasikan magnetic contactor secara manual.- Selektor auto – off – manual yang berfungsi memilih system operasional auto dari modul atau manual dari push button.

Apabila dalam oprasional Panel kapasitor bank yang berdaya besar umumnya mengalami panas, maka panel kapasitor tersebut harus di lengkapi perlindungan :

- Exhaust fan + thermostat yang berfungsi mengatur ambein 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 exhust fan akan otomatic berhenti.
- Selector Switch Auto/Man

7. Setting C/KPFR

Capacitor Bank agar Power Factor Regulator (PFR) yang terpasang pada Panel Capacitor Bank dapat bekerja secara maksimal dalam melakukan otomatisasi mengendalikan kerja capacitor maka diperlukan setup C/K yang sesuai pada input perbandingan kasarnya kapasitor yang dipakai pada CT yang digunakan pada controller.

Konfigurasi step juga bisa dipilih sesuai dengan karakteristik jaringan. Misal dengan kondisi normal stepnya adalah 1 – 1 – 1 – 1 atau 1 – 2 – 2 – 2 dll. Untuk merk tertentu bisa menyesuaikan dengan kondisi lapangan. Untuk PF Controller model lama memerlukan setting parameter C/K yang tepat akan mengoptimalkan kerja controller ini. Sesungguhnya C/K adalah besar arus step pertama yang mengalir ke PF Controller. Jadi penghitungan C/K adalah sebagai berikut :

$$C/K = I_c / K$$

Keterangan :

I_c = Arus kapasitor step pertama

K = Ratio CT (500/5 berarti $K = 100$)

2.5.7 Menentukan Ukuran Kapasitor untuk Memerbaiki Factor Daya

Ukuran kapasitor untuk memperbaiki faktor daya sistem pada titik-titik tertentu dapat secara manual untuk sistem distribusi yang relatif kecil, KVAR kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya $\cos \phi_1$ sampai dengan $\cos \phi_2$. Ada beberapa Metode dalam mencari ukuran kapasitor untuk perbaikan faktor daya seperti dengan metode perhitungan sederhana, metode tabel kompensasi dan metode diagram (Table 4.10).

a. Metode perhitungan Kapasitor

Dalam metode sederhana dapat kita mencari ukuran kapasitor data yang diperlukan antara lain:

$$\text{Daya Semu} = S \text{ (kVA)}$$

$$\text{Daya Aktif} = P \text{ (kW)}$$

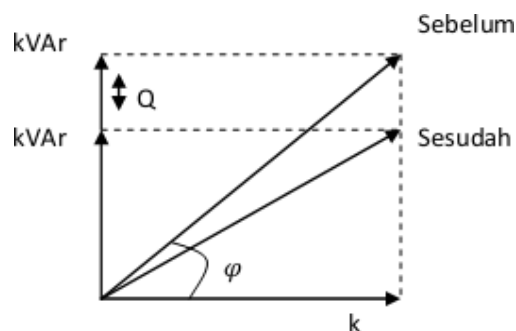
$$\text{Daya Reaktif} = Q$$

Agar mempermudah mengingat simbol Daya reaktif kita gunakan simbol Q_L (Daya reaktif PF lama) dan Q_B (Daya Reaktif PF baru). Jadi dapat kita simpulkan bahwa persamaan perhitungan sederhana yaitu:

$$Q_c = Q_L - Q_B \quad (2.18)$$

b. Metode Diagram

Dalam menentukan besarnya kapasitor yang dibutuhkan diperlukan diagram sebelum kompensasi dan sesudah kompensasi maka dapat di gambarkan sebagai berikut[10]:



Gambar 2. 17. Diagram Daya Untuk Menentukan Kapasitor

Dapat di peroleh persamaan sebagai berikut :

$$Q_c = kW (\text{Tan } \phi_1 - \text{Tan } \phi_2) \quad (2.19)$$