



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Energi dan Daya Listrik**

Listrik merupakan salah satu energi yang sangat penting bagi kehidupan umat manusia dan tidak dapat dipisahkan. Hal ini disebabkan karena hampir sebagian kebutuhan manusia yang berupa peralatan menggunakan listrik sebagai energinya. Sebut saja kipas angin, televisi, charger, mesin cuci, dan bahkan komputer. Secara garis besar, energi listrik bisa diartikan sebagai energi yang berasal dari muatan listrik yang menyebabkan medan listrik statis atau gerakan electron dalam konduktor atau ion dalam zat cair atau gas

Energi dan Daya Listrik merupakan dua istilah yang berbeda. Namun keduanya memiliki kaitan satu sama lain. Menurut teorinya, energi listrik adalah energi yang ditimbulkan oleh muatan listrik (statis) sehingga mengakibatkan gerakan muatan listrik (dinamis). Sedangkan Daya listrik termasuk energi juga, namun didefinisikan sebagai energi listrik yang digunakan dalam satu satuan waktu

Energi listrik merupakan salah satu faktor pendukung penting bagi kehidupan manusia karena banyak sekali peralatan yang biasa kita gunakan menggunakan listrik sebagai sumber energinya. seperti televisi, setrika, mesin cuci, handphone dan masih banyak lagi lainnya. Berikut ini akan di jelaskan secara lebih rinci apa itu energi listrik dan daya listrik.

##### **2.1.1 Energi listrik**

Energi listrik didefinisikan sebagai kemampuan suatu benda/alat untuk melakukan kerja atau usaha. Sedangkan energi listrik adalah energi yang ditimbulkan oleh muatan listrik (statis) sehingga mengakibatkan gerakan muatan listrik (dinamis). Dalam teorinya dicontohkan yaitu beda potensial (tegangan) menimbulkan (membutuhkan) energi untuk menggerakkan muatan elektron dari titik potensial rendah menuju titik potensial tinggi.



Energi listrik berasal dari muatan listrik yang menyebabkan medan listrik statis atau gerakan elektron dalam konduktor (pengantar listrik) atau ion (positif atau negatif) dalam zat cair atau gas. Energi listrik dinamis dapat diubah menjadi energi lain dengan tiga komponen dasar, sesuai dengan sifat arus listriknya.

Apabila dalam sebuah rangkaian diberi potensial  $V$  sehingga menyebabkan aliran muatan listrik  $Q$  dan arus sebesar  $I$ , maka energi listrik yang diperlukan adalah : <sup>[1]</sup>

$$W = Q \times V, \text{ dengan } Q = I \times t$$

maka rumus energi listrik dapat pula ditulis :

$$W = V \times I \times t \dots\dots\dots(2-1)$$

dimana :

$W$  = Energi listrik dengan satuan Joule (J)

$Q$  = Muatan listrik dengan satuan Coulomb (C)

$V$  = Beda potensial dengan satuan volt (V)

$I$  = Kuat arus dengan satuan Ampere (A)

$t$  = Waktu dengan satuan Second (s)

$W$  merupakan energi listrik dalam satuan Joule. Dimana diketahui bahwa 1 Joule adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan sebesar 1 Coulomb ( $6.24 \times 10^{18}$  muatan), dengan beda potensial sebesar 1 volt.

Sumber energi listrik bermacam-macam contohnya air, pembangkit listrik tenaga air Contoh lain sumber energi ini adalah nuklir, panas bumi, batubara, matahari, dan minyak.

<sup>[1]</sup> Alfian, Hikmah. *Pengertian Energi dan Daya Listrik*. Diakses dari <http://www.alfianelectro.com/pengertian-energi-dan-daya-listrik/>. Pada tanggal 14 maret 2016.



### 2.1.2 Daya listrik

Sebuah penghantar yang diberi beda potensial  $V$ , kuat arus  $I$ , dalam waktu  $t$ , berdasarkan persamaan ketiga variabel tersebut merupakan bagian dari konsep usaha atau energi listrik. Usaha yang dilakukan dalam satuan waktu disebut daya,  $P$ . Oleh karena itu, persamaan daya listrik dapat ditulis sebagai :<sup>[13]</sup>

$$P = W/t = V.I \dots\dots\dots(2-2)$$

Daya listrik merupakan bagian dari besarnya beda potensial, kuat arus, hambatan dan waktu. Satuan daya adalah joule/sekon atau volt  $\times$  ampere atau lebih umum disebut watt, karena watt merupakan satuan Sistem Internasional.

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik). Joule merupakan satuan Sistem Internasional energi listrik, tetapi dalam kehidupan sehari-hari energi listrik biasa dinyatakan dalam satuan kWh (kilowatt-hour) atau kilowatt-jam.

Dalam dunia kelistrikan, terdapat 3 jenis daya listrik, yaitu :

- A. Daya Aktif ( $P$ )
- B. Daya Reaktif ( $Q$ )
- C. Daya Semu ( $S$ )

Ketiganya saling berkaitan dan berhubungan dalam Segitiga Daya.

### 2.2 Sifat-Sifat Beban

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.

Dalam sistem listrik arus bolak-balik, jenis beban dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu<sup>[6]</sup> :

### 1. Beban Resistif (R)

Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (*resistance*), seperti elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arus sefasa.

Persamaan dayanya adalah sebagai berikut :

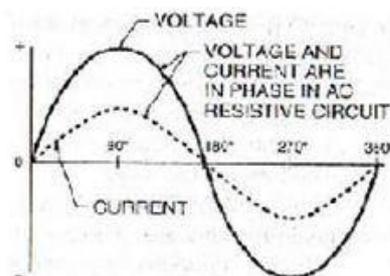
$$P = V \times I \dots\dots\dots(2-3)$$

Dimana :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

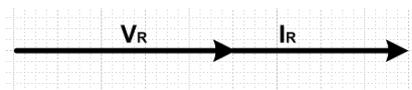
V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)



Gambar 2.1 Rangkaian Resistif Gelombang AC

<sup>[6]</sup>Imron,Choiril. *Sifat Beban Listrik*. Diakses dari <http://daimong.blogspot.co.id/2014/03/sifat-beban-listrik.html>. Pada tanggal 18 Januari 2015.



Gambar 2.2 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Resistif

## 2. Beban Induktif (L)

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti *coil*, transformator, dan solenoida. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \cos \varphi \dots \dots \dots (2-4)$$

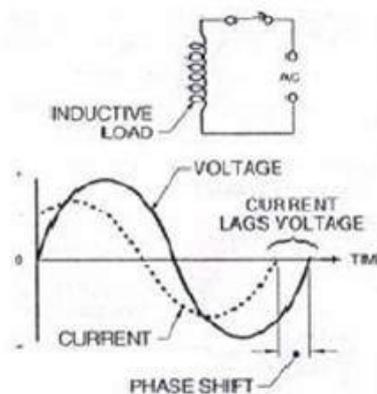
Dimana :

$P$  = Daya aktif yang diserap beban (watt)

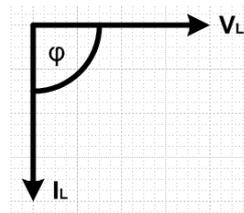
$V$  = Tegangan yang mencatu beban (volt)

$I$  = Arus yang mengalir pada beban (A)

$\varphi$  = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.3 Rangkaian Induktif Gelombang AC



Gambar 2.4 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Induktif

Dalam rangkaian AC induktif, arus terus-menerus berubah dan oleh sebab itulah terus-menerus menginduksikan ggl induksi-diri. Oleh karena ggl induksi ini melawan aliran arus yang terus-menerus berubah, pengaruhnya diukur dalam satuan ohm. Perlawanan induktansi terhadap aliran arus bolak balik disebut reaktansi induktif dan dinyatakan dengan simbol  $X_L$ .

Besarnya reaktansi induktif dalam setiap rangkaian listrik bergantung induktansi rangkian dan pada laju perubahan arus yang melalui rangkaian. Laju perubahan arus bergantung pada frekuensi tegangan yang dikenakan. Reaktansi induktif dalam ohm dapat dihitung dengan rumus :<sup>[8]</sup>

$$X_L = 2\pi fL \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

$X_L$  = Reaktansi induktif

F = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

### 3. Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus *leading* terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :



$$P = V \cdot I \cos \varphi \dots\dots\dots(2-6)$$

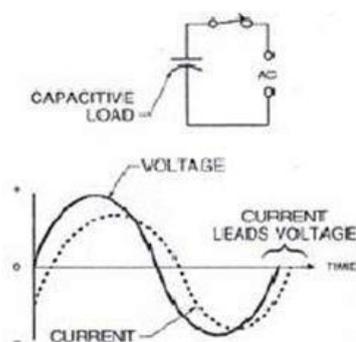
Dimana :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

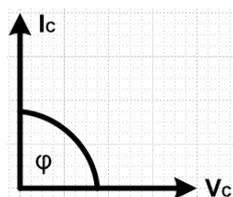
V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)

$\varphi$  = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.5 Rangkaian Kapasitif Gelombang AC



Gambar 2.6 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif

Reaktansi kapasitif adalah perlawanan yang di berikan oleh kapasitor atau oleh setiap rangkaian kapasitif terhadap aliran arus. Telah dikemukakan dalam gambar 2.8 bahwa arus yang mengalir dalam rangkaian kapasitif adalah berbanding lurus dengan kapasistansi dan laju perubahan tegangan yang dikenakan. Laju perubahan tegangan ditentukan oleh frekuensi pencatu. Oleh sebab itu jika frekuensi ataupun kapasistansi dinaikkan, perlawanan terhadap aliran arus berkurang.

<sup>[8]</sup>Lister, Eugene.C. *Mesin dan Rangkain Listrik*. Edisi keenam. 1993. Hal 135.



Oleh sebab itu, reaktansi kapasitif yang melawan aliran arus berbanding terbalik dengan frekuensi dan kapaistansi. Reaktansi kapasitif  $X_C$  diukur dalam satuan ohm, seperti pada tahanan dan reaktansi induktif, yang dapat diitung dengan menggunakan rumus :<sup>[8]</sup>

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

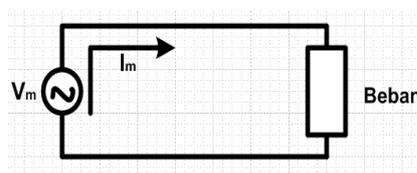
$X_C$  = Reaktansi kapasitif

f = Frekuensi

C = Kapasitansi (Farad)

### 2.3 Faktor Daya

Secara teoritis pengenalan konsep faktor daya dapat di telusuri di dalam dunia industry daya listrik, dimana sejumlah besar energy harus dipindahkan dari suatu titik ke titik yang lainnya. Efisien atau tidak nya peyaluran daya listrik ini berhubungan erat dengan penyaluran energy listrik yang harus di keluarkan. Untuk mengetahui tentang faktor daya terlebih dahulu kita perhatikan gambar rangkaian sederhana di bawah ini :



Gambar 2.7 Rangkaian Listrik Sederhana

Apabila rangkaian diatas di beri sumber tegangan fungsi waktu maka akan menghasilkan arus fungsi waktu pula yang besarnya tergantung dari eleme-elemen di dalam rangkaian tersebut.

<sup>[8]</sup>Lister, Eugene.C. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. 1993. Hal 139.



Maka dari gambar tersebut dapat kita lihat perkalian antara tegangan dan arus listrik perkalian antara tegangan dan arus listrik tersebut akan menghasilkan daya sesaat atau daya yang berubah terhadap waktu. di tulis dalam persamaan :

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana :

$P(t)$  = Daya sesaat

$V(t)$  = Tegangan sesaat

$i(t)$  = Arus sesaat

Arus dan tegangan sesaat dari suatu bentuk sinusoid dalam suatu periode waktu dapat dijelaskan dengan persamaan:<sup>[2]</sup>

$$i(t) = I_m \cos (\omega t + \phi) \dots \dots \dots (2-9)$$

$$v(t) = V_m \cos (\omega t) \dots \dots \dots (2-10)$$

Dimana:

$I_m$  = Arus maksimum dalam ampere

$\omega$  =  $2\pi f$  = Kecepatan sudut dalam radial/detik

$\Phi$  = Sudut fasa dalam radial

$V_m$  = Tegangan maksimum dalam volt

Dari persamaan di atas dapat diuraikan pula besarnya nilai daya dalam bentuk sinusoidal. Sehingga persamaan dayanya menjadi :

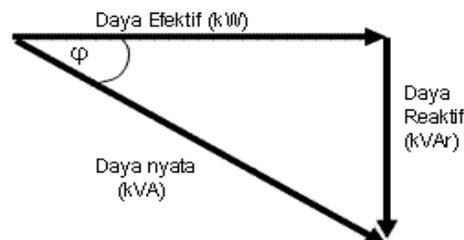
$$\begin{aligned} p(t) &= V_m \cdot I_m \cos \omega t \cos (\omega t - \phi) \\ &= V_m \cdot I_m \frac{1}{2} [\cos (\omega t - \omega t + \phi) + \cos (\omega t + \omega t - \phi)] \\ &= \frac{1}{2} V_m \cdot I_m \cos \phi + \frac{1}{2} V_m \cdot I_m \cos (2\omega t - \phi) \end{aligned}$$

<sup>[2]</sup> Ardizha, Gizha. *Analisis Fasor Faktor Daya dan Perhitungan Tiga Fasa*. Diakses dari <http://zhagitolah.blogspot.co.id/2009/12/analisis-fasor-faktor-daya-dan.html>. Pada tanggal 16 Januari 2016.





Adapun hubungan antara daya aktif, daya reaktif dan daya semu dapat digambarkan pada segitiga daya berikut ini :



Gambar 2.8 Diagram Phasor Segitiga Daya

Dari gambar diatas maka didapatkan persamaan-persamaan berikut ini :

A. Pada sistem satu phasa:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2-13)$$

$$Q = V \cdot I \sin \theta \dots\dots\dots(2-14)$$

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots(2-15)$$

B. Pada sistem tiga phasa:

$$P = \sqrt{3} V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2-16)$$

$$Q = \sqrt{3} V \cdot I \sin \theta \dots\dots\dots(2-17)$$

$$S = \sqrt{3} V \cdot I \dots\dots\dots(2-18)$$

### 2.3.1 Penyebab faktor daya rendah

Penyebab utama faktor daya suatu sistem jaringan listrik mejadi rendah adalah beban induktif. Pada sebuah rangakaian induktif murni, arus akan tertinggal sebesar  $90^\circ$  terhadap tegangan, perbedaan yang besar pada sudut fase antara arus dan tegangan ini akan menyebabkan faktor daya mendekati nilai nol.

Pada umumnya faktor-faktor daya yang rendah dihasilkan oleh peralatan seperti motor induksi, terutama pada beban-beban rendah, dan unit-unit balas (ballast) dari lampu pelepas (discharge lighting) yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk geraknya. Alat-alat las busur listrik juga mempunyai faktor daya yang rendah. Medan magnet dari peralatan-peralatan seperti ini



memerlukan arus yang tidak melakukan kerja yang bermanfaat dan tidak mengakibatkan panas atau daya mekanis, tetapi yang diperlukan hanya untuk membangkitkan medan. Walaupun arus dikembalikan ke sumber jika medan turun mendadak, perlu penambahan penampang kabel dan instalasi untuk membawa arus ini. Cara lain untuk melihat masalah ini adalah menyadari suatu faktor daya yang buruk menyebabkan tegangan dan arus berlawanan sehingga perkaliannya tidak menghasilkan daya dalam watt, tetapi dalam volt-ampere.<sup>[9]</sup>

Berikut ini adalah beberapa sumber yang menyebabkan rendahnya faktor daya (power faktor) pada sistem jaringan listrik, yaitu:

1. Motor Induksi Satu Fasa atau Tiga Fasa, umumnya motor induksi baik yang satu fasa maupun tiga fasa memiliki faktor daya yang rendah yaitu, ketika bebBeban penuh, Power Faktor = 0,8 -0.85 , dan ketika dibebani rendah (tanpa beban) berkisar pada 0.2 -0.3
2. Variasi besar kecilnya beban pada jaringan sistem tenaga listrik. Pada periode beban rendah, tegangan suplai meningkat yang meningkatkan arus magnetizing yang menyebabkan faktor daya menurun.
3. Tungku pembakaran/pemanas pada industri
4. Lampu penerangan yang memanfaatkan gas neon
5. Transformer
6. Arus Harmonic

### 2.3.2 Kerugian akibat rendahnya faktor daya (power faktor)

Faktor daya yang rendah dapat menimbulkan beberapa kerugian pada jaringan , berikut ini adalah beberapa kerugian yang disebabkan oleh actor daya rendah yaitu :<sup>[5]</sup>

#### 1 ) Kerugian pada jalur penghantar ( Rugi Tembaga )

Pada sebuah penghantar, kerugian yang timbul akibat arus yang mengalir adalah berbanding lurus dengan nilai arus pangkat 2 (  $I^2$  ). Sehingga rugi - rugi daya pada penghantar tersebut menjadi :

<sup>[9]</sup>Neidle, Michael. *Teknologi Instalasi Listrik..* 1991. Hal 208.



Rugi daya =  $I^2 \times R$  : yaitu, semakin besar arus yang mengalir pada penghantar tersebut, semakin besar kerugian (losses daya) pada jaringan tersebut. Dengan kata lain, seperti yang kita tahu bahwa hampir semua peralatan mesin Listrik (Transformer, Alternator dll ) dihitung dalam satuan kVA . Sedangkan Faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif ( $P = kW$ ) dengan daya semu ( $S = kVA$ ), yaitu :

$$\text{Cos}\Phi = P / S = kW / kVA$$

Sehingga, semakin rendah faktor daya, semakin besar rating kVA sebuah peralatan mesin listrik tersebut, dan semakin besar rating kVA sebuah mesin, semakin besar pula ukuran mesin dan semakin besar mesin semakin besar biaya pengadaannya dan perawatannya.

## 2 ) Ukuran penghantar

Ketika faktor daya rendah, arus yang mengalir akan meningkat, dengan demikian, untuk mengalirkan arus yang besar dibutuhkan ukuran penghantar konduktor yang lebih besar dan semakin besar penghantar atau konduktor akan semakin besar biaya yang dibutuhkan untuk pengadaannya.

## 3 ) Voltage Drop (Tegangan Jatuh) dan jeleknya regulasi tegangan ( $V_R$ )

Tegangan jatuh (Voltage Drop) disepanjang penghantar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan, Tegangan Jatuh (Voltage Drop)  $V = I.Z$  .Pada kondisi Faktor Daya rendah, arus yang mengalir akan meningkat. Sehingga dari persamaan ( $V = I.Z$  ), Tegangan Jatuh pada penghantar akan menjadi lebih besar.

Ketika faktor daya bernilai rendah, tegangan drop akan menjadi besar, sehingga nilai tegangan diujung penerima menjadi kecil bila dibandingkan dengan Tegangan diujung pengiriman, dan akan semakin besar selisihnya apabila dibandingkan dengan nilai tegangan disii pengirim ketika pada kondisi tanpa beban, dimana arus tidak ada yang mengalir.

<sup>[5]</sup>Direktori listrik, *Penyebab Faktor Daya Rendah*, diakses dari <http://direktori listrik.blogspot.co.id/2014/02/penyebab-faktor-daya-rendah.html>, Pada tanggal 15 Januari 2016



#### 4 ) Efisiensi Rendah

Dalam kasus rendahnya faktor daya , akan ada drop tegangan yang cukup besar dan kerugian disepanjang penghantar dan hal ini akan menyebabkan sistem atau peralatan akan memiliki nilai efisiensi yang rendah. Hal ini jelas terlihat pada sistim pembakitan (generator).

#### 5 ) Penalti dari Penyedia Layanan Listrik (PLN)

PLN akan membebankan denda faktor daya di bawah 0,85 tertinggal dalam tagihan tenaga listrik.

### 2.3.3 Perbaikan faktor daya listrik

Pada umumnya suatu pabrik mempunyai faktor daya listrik yang rendah, hal ini disebabkan karena banyak menggunakan peralatan-peralatan seperti mesin-mesin, mesin las, lampu TL, transformer dan lain -lain. Dibawah ini diberikan beberapa contoh faktor daya listrik dari beberapa pabrik berdasarkan, yaitu:<sup>[3]</sup>

Tabel 2.1 Faktor Daya Listrik di Berbagai Jenis Industri

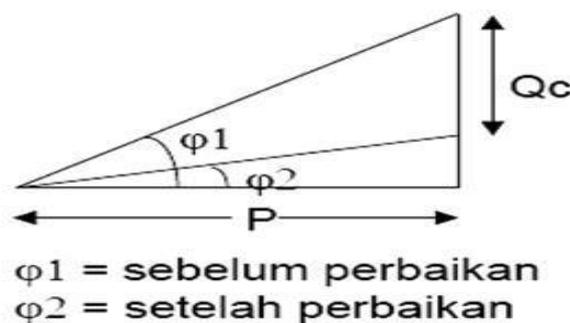
Industri	Faktor daya listrik
Textile	0,65 – 0,75
Chemical	0,75 – 0,85
Machine shops	0,40 – 0,65
Arc welding	0,35 – 0,40
Foundries	0,50 – 0,70
Steel works	0,60 – 0,85
Clothing factories	0,35 – 0,60

<sup>[3]</sup>Belajar tanpa henti, *Faktor Daya Listrik*, diakses dari <http://belajar-tanpa-henti.blogspot.co.id/2015/03/faktor-daya-listrik-power-faktor.html>, pada tanggal 18 Januari 2016.



Untuk mendapatkan harga yang pasti dari besarnya faktor daya listrik, maka haruslah dilakukan pengukuran dengan menggunakan cos phi meter. Untuk memperbaiki besarnya faktor daya listrik ini dapat dilakukan dengan memasang kapasitor daya secara paralel terhadap beban listrik tersebut.

Hal ini dikarenakan pada faktor daya listrik yang rendah, peralatan listrik banyak menarik daya reaktif induktif sehingga perlu dikompensir dengan daya reaktif kapasitif agar faktor daya listrik dari peralatan tersebut menjadi lebih besar.



**Gambar 2.9 Kompensasi Faktor Daya**

Selain dapat menghilangkan daya reaktif yang berlebihan, tujuan lain dari perbaikan faktor daya ini adalah :

- a. Menambah daya nyata (kW) dalam system, sebesar :

$$= \frac{\cos \phi 2 - \cos \phi 1}{\cos \phi} \times 100\% \dots\dots\dots(2-19)$$

- b. Mengurangi daya semu (kVA) dalam system sebesar :

$$= \left(1 - \frac{\cos \phi 1}{\cos \phi}\right) \times 100\% \dots\dots\dots(2-20)$$

- c. Mengurangi “losses” dalam system sebesar :

$$= \left( \left(1 - \frac{\cos \phi 1}{\cos \phi}\right)^2 \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2-21)$$

- d. Mengurangi pemakaian kVAR yang diambil dari system sebesar :

$$= \left(1 - \frac{kVA 2 \sin \phi 1}{kVA 1 \sin \phi}\right) \times 100\% \dots\dots\dots(2-22)$$



## 2.4 Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah peralatan elektrik untuk meningkatkan power factor (PF), yang akan mempengaruhi besarnya arus (Ampere). Besarnya rating kapasitor daya dapat ditentukan setelah didapat data-data dari peralatan listrik, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan rating kapasitor daya tersebut. Besarnya kompensasi daya reaktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :<sup>[3]</sup>

$$Q_c = P ( \tan \phi_1 - \tan \phi_2 ) \dots\dots\dots(2-23)$$

Dimana :

$Q_c$  = Besarnya kompensasi kapasitor daya ( KVAR )

$P$  = Daya aktif atau beban listrik ( Kw )

$\tan \phi_1$  = Diperoleh dari faktor daya listrik /  $\cos \phi$  awal

$\tan \phi_2$  = Diperoleh dari faktor daya listrik /  $\cos \phi$  yang diinginkan.

Seperti kita ketahui bahwa harga  $\cos \theta$  adalah mulai dari 0 s/d 1. Berarti kondisi terbaik yaitu pada saat harga  $P$  (kW) maksimum [  $P$  (kW) =  $S$  (kVA) ] atau harga  $\cos r = 1$  dan ini disebut juga dengan  $\cos r$  yang terbaik. Namun dalam kenyataannya harga  $\cos r$  yang ditentukan oleh PLN sebagai pihak yang mensuplai daya adalah sebesar 0,85. Jadi untuk harga  $\cos r < 0,85$  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:

- 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.

Untuk memperbesar harga  $\cos \theta$  (pf) yang rendah hal yang mudah dilakukan adalah memperkecil sudut  $\theta$  sehingga menjadi  $\theta_1$  berarti  $\theta > \theta_1$ . Sedang untuk memperkecil sudut  $\theta$  itu hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif (kVAR). Berarti komponen daya reaktif yang ada 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 pf menjadi besar akibatnya daya nyata (kVA) menjadi kecil sehingga rekening listrik menjadi berkurang.

Kapasitor-kapasitor statik biasanya digunakan untuk perbaikan faktor daya, sehubungan dengan tidak adanya bagian-bagian yang bergerak, instalasi pemeliharannya termasuk sederhana. Keuntungan lain bahwa kapasitor-kapasitor ini dapat diandalkan dan ruang kerja yang diperlukan sedikit atau tidak ada. Peralatan ini dapat dipasang pada tiang penyangga atau dinding bilamana tempat dilantai tidak tersedia.<sup>[10]</sup>

#### 2.4.1 Proses kerja kapasitor bank

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar pf dipasang parallel 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.

<sup>[10]</sup>Neidle, Michael. *Teknologi Instalasi Listrik*. 1991. Hal 208.



Karena beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil.

Berikut adalah rugi-rugi daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank, yaitu:<sup>[11]</sup>

A. Rugi-rugi daya sebelum dipasang kapasitor :

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

$$\text{Rugi daya reaktif} = I^2 \times \text{VAR}$$

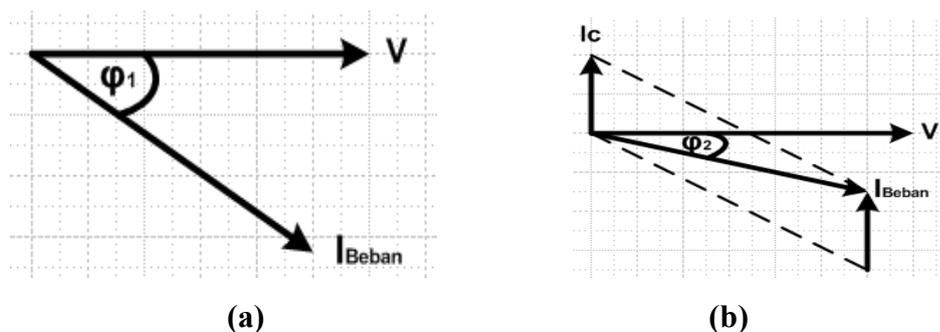
B. Rugi-rugi daya sesudah dipasang kapasitor :

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

$$\text{Rugi daya reaktif} = (I^2 - I_c^2) \times \text{VAR}$$

Sebagian besar instalasi listrik memiliki faktor daya yang rendah karena sifat induktif dari beban-bebannya . sebuah kapasitor memiliki efek berlawanan dengan sebuah induktor, oleh karenanya cukup beralasan untuk menambahkan sebuah kapasitor pada suatu beban yang diketahui memiliki faktor daya rendah. Gambar 2.9 (a) menunjukkan sebuah beban industri dengan faktor daya rendah. Jika sebuah kapasitor dihubungkan secara paralel dengan beban tersebut, arus kapasitor  $I_c$  akan mendahului tegangan dengan sudut fasa  $90^\circ$ . Jika arus ini dijumlahkan dengan arus beban, resultan arus akan memiliki faktor daya yang terkoreksi atau diperbaiki seperti tampak pada gambar 2.9 (b).

Kapasitor-kapasitor dapat dihubungkan pada busbar utama dari beban-beban industry agar dapat memberikan perbaikan factor daya. Akan tetapi, kapasitor-kapasitor yang lebih kecil dapat juga dihubungkan pada masing masing beban misalnya pada lampu-lampu flouresen.<sup>[7]</sup>



Gambar 2.10 Perbaikan Faktor Daya dengan Menggunakan Kapasitor

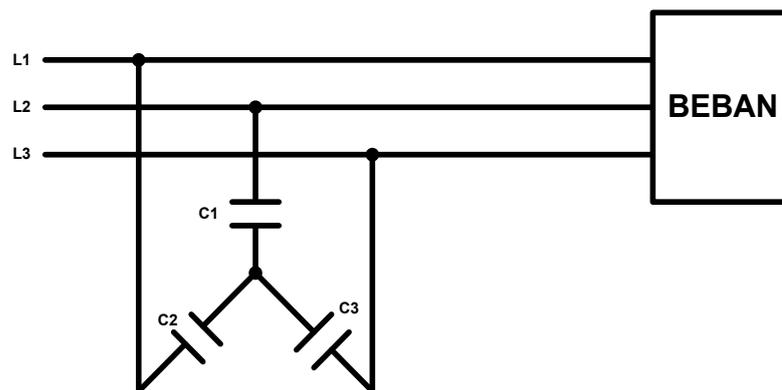


### 2.4.2 Cara Pemasangan kapasitor Pararel

Dalam sistem tiga fasa terdapat dua cara pemasangan kapasitor paralel untuk perbaikan faktor daya, yaitu :

#### A. Hubungan bintang

Sistem pemasangan kapasitor hubungan bintang dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.11 Kapasitor Hubungan Bintang

Dalam hubungan bintang, arus perphasanya adalah sama dengan arus saluran ( $I_P = I_L$ ) Sedangkan untuk tegangan setiap phasanya  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  dari tegangan saluran. ( $V_P = \frac{1}{\sqrt{3}} V_L$ ), sehingga :

$$X_C = \frac{V_C}{I_C} \dots\dots\dots(2-24)$$

Arus yang mengalir melalui kapasitor untuk hubungan bintang adalah perbandingan daya reaktifnya dengan tegangan setiap phasa.

$$I_C = \frac{Q_C}{V_C} \dots\dots\dots(2-25)$$

Dimana :

$$V_C = V_P = \frac{V}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2-26)$$

Untuk mencari kapasitansi kapasitor dalam hubungan bintang dapat dilihat dari persamaan di bawah ini :

$$C = \frac{1}{\omega X_C} \dots\dots\dots(2-27)$$

Dimana :



$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

$$F = 50 \text{ Hz}$$

$$Q_C = \text{Daya reaktif kapasitor (VAR)}$$

$$C = \text{Kapasitansi kapasitor (Farad)}$$

$$I_C = \text{Arus yang mengalir pada kapasitor (Ampere)}$$

$$X_C = \text{Reaktansi kapasitif (Ohm)}$$

Pada system satu phasa berlaku persamaan

$$P_{1\phi} = V_P \times I_P \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2-28)$$

Maka untuk system 3 phasa berlaku persamaan :

$$P_{3\phi} = 3 \times P_{1\phi} \dots\dots\dots(2-29)$$

Untuk daya nyata :

$$P = 3 \times \frac{V_1}{\sqrt{3}} \times I_P \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times V_1 \times I_P \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2-30)$$

Untuk daya semu :

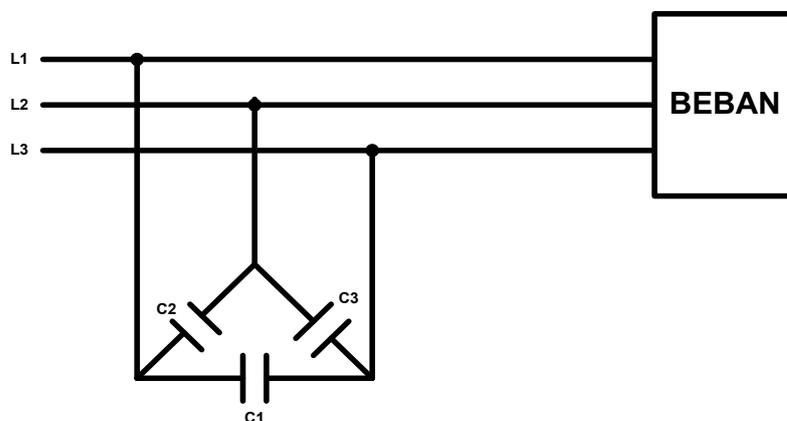
$$S = \sqrt{3} \times V_1 \times I_P \times I_L \dots\dots\dots(2-31)$$

Untuk daya reaktif

$$Q = \sqrt{3} \times V_1 \times I_P \times \sin \varphi \dots\dots\dots(2-32)$$

## B. Hubungan Segitiga

Sistem pemasangan kapasitor hubungan bintang dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.12 Kapasitor Hubungan Segitiga



Dalam hubungan segitiga arus per phasanya =  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  dari arus saluran, ini berarti  $I_P = \frac{1}{\sqrt{3}} \times I_L$ . Sedangkan tegangan per-phasanya adalah sama dengan tegangan saluran ( $V_P = V_L$ ).

Sama seperti hubungan bintang maka pada hubungan segitiga, arus yang mengalir melalui kapasitor adalah perbandingan antara tegangan setiap fasa dan reaktansi kapasitifnya, dan dapat dilihat dari persamaan-persamaan di bawah ini, yaitu :

$$X_C = \frac{V_C}{I_C} \dots\dots\dots(2-33)$$

Arus yang mengalir melalui kapasitor untuk hubungan segitiga adalah perbandingan daya reaktifnya dengan tegangan setiap fasa.

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} \dots\dots\dots(2-34)$$

Dimana :

$$V_C = V_P = V_L \dots\dots\dots(2-35)$$

Sedangkan untuk kapasistansi kapasitornya dapat dilihat dari persamaan berikut ini :

$$C = \frac{1}{\omega X_C} \dots\dots\dots(2-36)$$

Dimana :

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

$$F = 50 \text{ Hz}$$

$$Q_C = \text{Daya reaktif kapasitor (VAR)}$$

$$C = \text{Kapasistansi kapasitor (Farad)}$$

$$I_C = \text{Arus yang mengalir pada kapasitor (Ampere)}$$

$$X_C = \text{Reaktansi kapasitif (Ohm)}$$

Pada system satu fasa berlaku persamaan

$$P_{1\phi} = V_P \times I_P \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots(2-37)$$

Maka untuk system 3 fasa berlaku persamaan :

Untuk daya nyata :

$$\begin{aligned} P_{3\phi} &= 3 \times P_{1\phi} \\ &= 3 \times V_P \times I_P \times \text{Cos } \phi \end{aligned}$$



$$= 3 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times I_L \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2-38)$$

Untuk daya semu :

$$S = \sqrt{3} \times V_P \times I_L \dots\dots\dots(2-39)$$

Untuk daya reaktif

$$Q = \sqrt{3} \times V_P \times I_L \times \sin \varphi \dots\dots\dots(2-40)$$

<sup>7]</sup>Linsley, Trevor. *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*. 2004. Hal 118

<sup>9]</sup>Ma'Rufin. Daya Reaktif yang Berlebihan Terhadap Pemakaian Listrik di Tambang Air Laya PT Tambang Batu Bara Bukit Asam (Persero) Tbk. Laporan Akhir, Teknik Listrik, Polsri Palembang. 2008.

<sup>11]</sup>Prayudi, T dan Wiharja. 2006. *Jurnal Ilmiah Peningkatan Faktor Daya dengan Pemasangan Bank Kapasitor Untuk Penghematan Listrik di industri Semen* : Jakarta.