

BAB II

DAYA LISTRIK

2.1. Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt. Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Piranti mengkonversikan kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas (seperti pada pemanas listrik), cahaya (seperti pada bola lampu), energi kinetik (motor listrik), dan suara (loudspeaker).

Listrik Arus bolak-balik (AC) adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan listrik arus searah dimana arah arus yang mengalir tidak berubah-ubah dengan waktu. Secara umum, listrik bolak-balik berarti penyaluran listrik dari sumbernya (misalnya PLN) ke kantor-kantor atau rumah-rumah penduduk.

2.2. Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau Horsepower (HP), Horsepower merupakan satuan daya listrik dimana 1HP setara 746 Watt atau 1 bft/second.

2.3. Macam-macam Daya Listrik

Terdapat tiga macam daya listrik yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik yaitu :

2.3.1. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Persamaan untuk mendapatkan nilai daya aktif dalam sistem satu fasa adalah sebagai berikut :

$$P = V.I.\text{Cos } \varphi \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Cos φ = Faktor Daya

(Ramdani, 2005)

Persamaan untuk mendapatkan nilai daya aktif dalam sistem tiga fasa adalah sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3}.V.I.\text{Cos } \varphi \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Cos φ = Faktor Daya

(Ramdani, 2005)

2.3.2. Daya Reaktif (VAR)

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, lampu pijar dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah volt ampere reactive (VAR).

Persamaan untuk mendapatkan nilai daya reaktif dalam sistem Tiga fasa adalah :

$$Q = P . \text{Tan } \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

P = Daya aktif (Watt)

(Ramdani, 2005)

2.3.3. Daya Semu (VA)

Daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan root mean square (rms) dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Satuan daya semu adalah volt ampere (VA) .

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

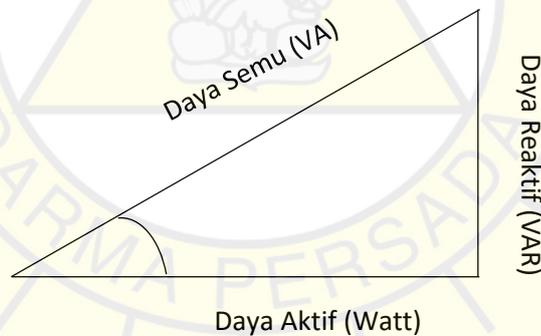
P = Daya aktif (Watt)

Cos φ = Faktor daya

(Ramdani, 2005)

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. (Abdul Khodir, 2017)

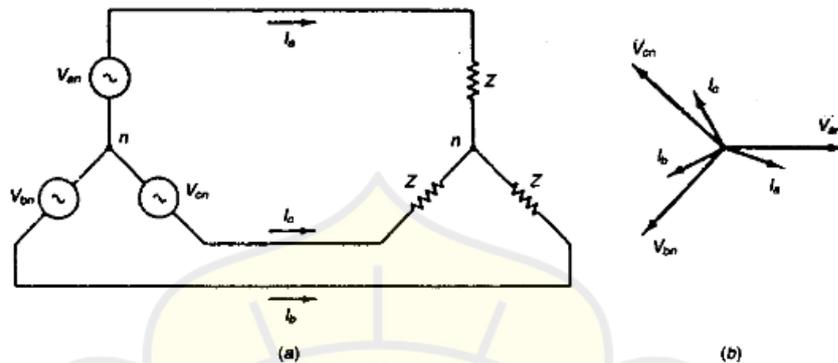


Gambar 2. 1 Segitiga daya

2.5. Sistem Tiga Fasa

Hampir sebuah listrik yang digunakan oleh industri dibangkitkan, ditransmisikan dan didistribusikan dalam sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa ini memiliki besar yang sama (untuk tegangan atau arus) tetapi mempunyai perbedaan sudut sebesar 120° antar fasanya. Sumbu ini disebut juga sumbu seimbang.

Aapabila sumber mensuplai sebuah beban seimbang, maka arus-arus yang mengalir pada masing-masing penghantar akan memiliki besar yang sama dan berbeda sudut fasa sebesar 120° satu sama lain. Arus-arus ini disebut juga arus seimbang.



Gambar 2. 2 Rangkaian sederhana diagram fasor sebuah sistem seimbang

(Zuhal, 2000)

2.6. Faktor Daya

Faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif (Watt) dengan daya semu (VA). Faktor daya atau power factor (PF) atau $\cos \phi$ merupakan istilah yang sering sekali dipakai di bidang-bidang yang berkaitan dengan pembangkitan dan penyaluran energi listrik. Faktor daya ($\cos \phi$) 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 $\cos \phi$.

$$\cos \phi = \frac{p}{s} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$\cos \phi$ = Faktor daya

P = Daya aktif (kW)

S = Daya nyata (kVA)

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

Penyebab rendahnya faktor daya yaitu :

1. Banyak pemakaian arus bolak – balik (AC) menggunakan motor induksi sebagai penggerak utama yang bekerja pada faktor daya lagging dan ini akan menambah laggingnya faktor daya.
2. Transformator-transformator yang mempunyai faktor daya yang sangat rendah karena menghasilkan arus magnetisasi yang menyebabkan arus totalnya menjadi tertinggal terhadap tegangan.
3. Penggunaan penyearah sebagai ganti pasangan motor generator untuk mencatu daya arus searah (DC).
4. Pemakaian lampu tabung (neon) yang beroperasi pada daya rendah.

Kerugian akibat faktor daya rendah yaitu :

1. Pada faktor daya yang rendah, arus yang mengalir relatif besar yang mengakibatkan rugi-rugi tegangan dan rugi-rugi daya/panas yang besar.
2. Arus yang relative besar akan menyebabkan kenaikan temperature konduktor, hal ini akan menyebabkan umur peralatan menjadi berkurang.

Cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan mengurangi daya reaktif. Untuk mengurangi komponen daya reaktif ini dapat dilakukan dengan cara pemasangan daya reaktif kapasitif.

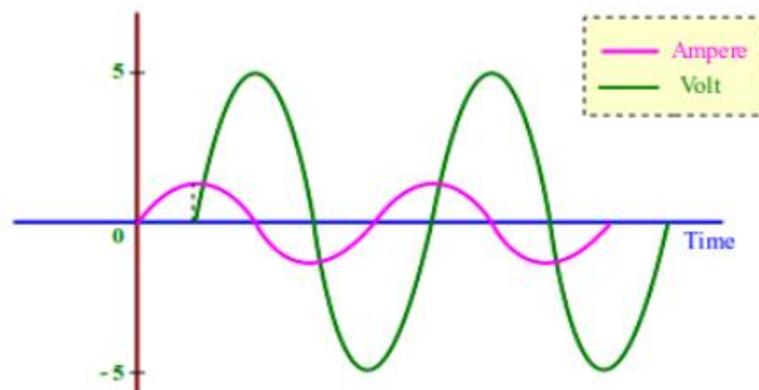
Besarnya daya reaktif kapasitif tergantung dari besarnya perbaikan faktor daya yang diinginkan. Faktor daya dari setiap sistem dapat diperbaiki dengan menggunakan kapasitor bank.

2.7. Klasifikasi Daya

faktor daya terdiri dari dua sifat yaitu faktor daya “ leading “ dan faktor daya “ lagging “. Faktor daya ini memiliki karakteristik seperti berikut :

1. Faktor Daya “ leading “

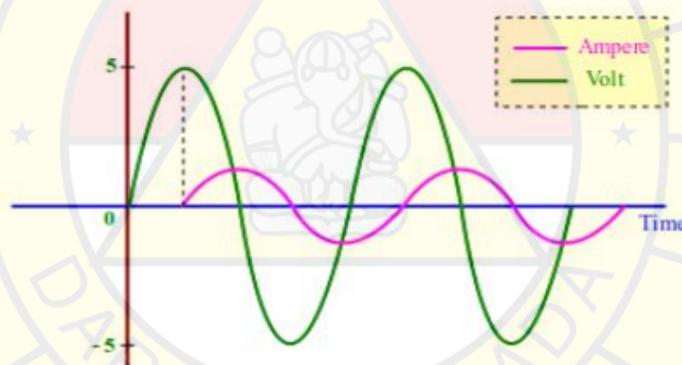
Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan “leading“. Faktor daya leading ini terjadi apabila bebannya kapasitif, seperti capasitor, synchronocus generators, synchronocus motors, dan synchronocus condensor.



Gambar 2. 3 Karakteristik faktor daya leading

2. Faktor Daya “lagging”

Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “lagging”. Faktor daya lagging ini terjadi apabila bebannya induktif, seperti motor induksi, AC dan Transformator.



Gambar 2. 4 Karakteristik faktor daya lagging

2.8. 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 terhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan open circuit. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif sebagai berikut :

2.8.1. Beban resistif (R)

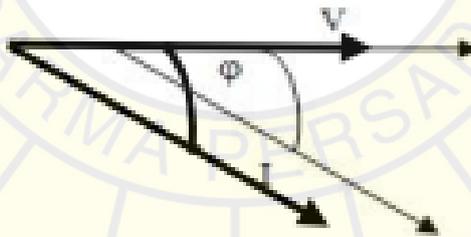
Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (resistance), seperti elemen pemanas (heating element) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu, Tegangan dan arus sefasa.²



Gambar 2. 5 Arus dan tegangan pada beban resistif

2.8.2. Beban induktif (L)

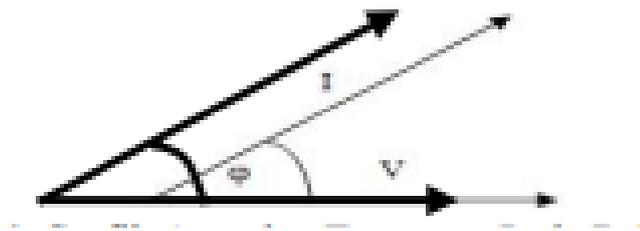
Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti coil, transformator, dan solenoida. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (phase shift) pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis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



Gambar 2. 6 Arus dan tegangan pada beban induktif

2.8.3. 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.



Gambar 2. 7 Arus dan tegangan pada beban kapasitif

2.9. Kapasitor Bank

Kapasitor bank digunakan untuk memperbaiki kualitas pasokan energi listrik antara lain memperbaiki mutu tegangan disisi beban dan memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$) yang akan mempengaruhi besarnya arus (Ampere). Peningkatan faktor daya ini tergantung dari seberapa besar nilai kapasitor yang dipasang (dalam kVAR).



Gambar 2. 8 Kapasitor Bank

Kapasitor bank digunakan untuk memperbaiki kualitas pasokan energi listrik antara lain memperbaiki mutu tegangan disisi beban dan memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$) yang akan mempengaruhi besarnya arus (Ampere). Peningkatan faktor daya ini tergantung dari seberapa besar nilai kapasitor yang dipasang (dalam kVAR). Sehingga mengurangi denda VARh, Besarnya pemakaian energi listrik itu disebabkan karena banyak dan beraneka ragam peralatan (beban) listrik yang

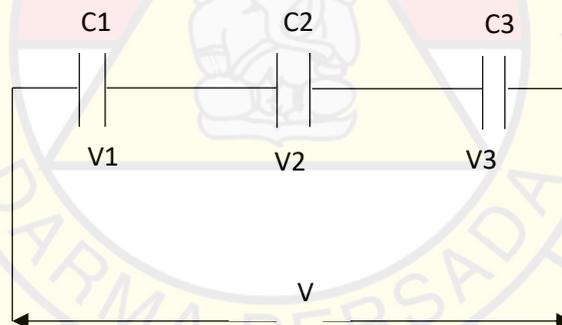
digunakan, Sedangkan beban listrik yang digunakan umumnya bersifat induktif dan kapasitif. Di mana beban induktif (positif) membutuhkan daya reaktif seperti trafo pada rectifier, motor induksi dan, kompresor AC sedang beban kapasitif (negatif) mengeluarkan daya reaktif .

2.10. Jenis-jenis kapasitor

Kapasitor bank berdasarkan cara pemasangannya terdiri dari :

2.10.1. Kapasitor seri

Yang dimaksud dengan kapasitor seri adalah kapasitor yang terhubung secara seri dengan jala-jala listrik. Bentuk fisik kapasitor seri ini tidak berbeda dengan kapasitor Shunt (yaitu kapasitor yang terhubung paralel dengan jala-jala listrik). Walaupun perbedaan kapasitor seri dengan shunt hanya pada masalah hubungan pada jala-jala listrik, akan tetapi keduanya mempunyai fungsi yang berbeda.



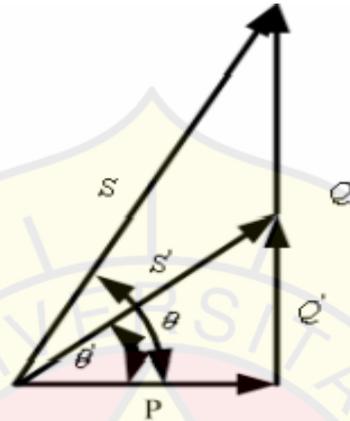
Gambar 2. 9 Rangkaian Kapasitor Seri

2.10.2. Kapasitor shunt

Yang dimaksud dengan kapasitor shunt adalah suatu kapasitor yang terhubung paralel dengan jala-jala listrik. Fungsi dari kapasitor shunt ini adalah untuk memberikan daya reaktif yang diperlukan oleh beban-beban induktif seperti motor induksi dan lain-lain. Dengan pemberian daya reaktif oleh kapasitor shunt maka faktor daya dari beban induktif tersebut akan meningkat.

2.11. Perbaikan faktor daya / correction power faktor

Perbaikan Faktor Daya/ Correction Power Factor Faktor daya atau power factor (pf) akan membesar atau meningkat ketika nilai $\cos \theta$ mendekati nilai 1 atau sudut θ akan mendekati sudut 0. Misalkan kalau kita mempunyai segitiga daya untuk arus lagging, secara grafik.



Gambar 2. 10 Grafik perbaikan faktor daya
(Ramdani, 2005)

Seperti dijelaskan diawal tadi bahwa Q atau daya reaktif sebenarnya adalah daya rugi-rugi dan sebisa mungkin kita minimalkan, artinya dengan nilai daya rata-rata yang tetap dan nilai daya reaktif yang kita perkecil akan memperkecil daya tampak secara keseluruhan. Nilai P tidak berubah yang diubah adalah nilai Q. Rumus perhitungan (Ramdani, 2005).

Persamaan untuk mendapatkan nilai Q' adalah :

$$Q' = P \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

Q' = Hasil perbaikan

P = Daya aktif

(Ramdani, 2005)

Persamaan untuk mendapatkan nilai Q_c adalah :

$$Q_c = Q - Q' \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif awal

Q_c = Daya yang tidak terpakai

Q' = Hasil perbaikan

(Ramdani, 2005)

Persamaan untuk mendapatkan nilai capsitor adalah :

$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot X_c} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

X_c = Reaktansi Kapasitif (Ohm)

C = Kapasitansi Capasitor (Farad)

f = Frekuensi (Hz)

(Ramdani, 2005)

Persamaan untuk mendapatkan arus setelah perbaikan adalah :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

I = Arus (A)

P = Daya aktif (W)

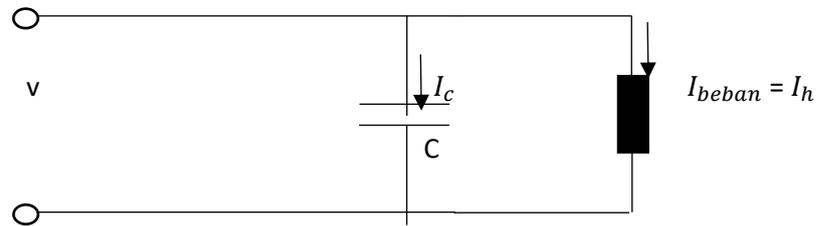
V = Tegangan (V)

$\cos \phi$ = Faktor daya

(Ramdani, 2005)

2.11.1. Cara memperbaiki faktor daya menggunakan kapasitor ($\cos \phi$)

Memparalelkan kapasitor dengan beban

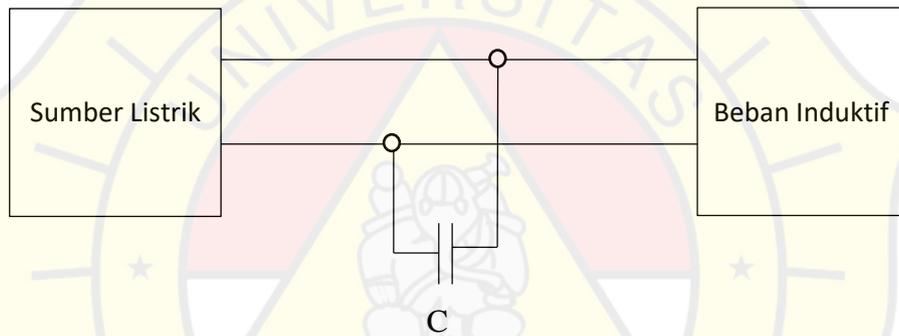


Gambar 2. 11 Memparalelkan kapasitor dengan beban
(Ir Markoni, 2017)

2.11.2. Penggunaan Kapasitor

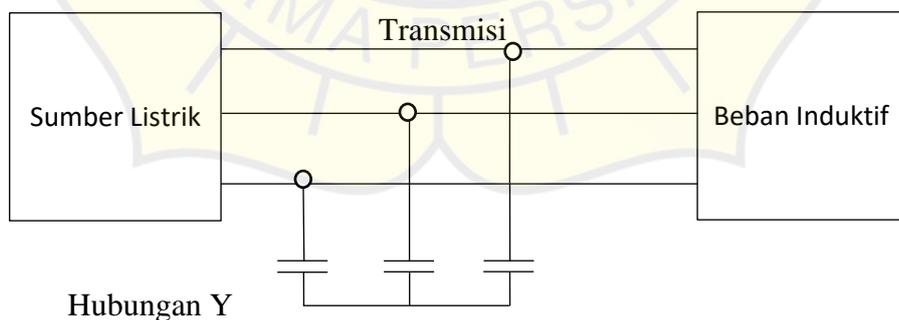
Kapasitor shunt (*Shunt Capacitor*)

Fasa Tunggal (*One-Phase System*)



Gambar 2.12 Sistem satu fasa
(Ir Markoni, 2017)

Fasa Tiga (*Three-Phase System*)



Gambar 2. 13 Sistem tiga fasa
(Ir Markoni, 2017)