



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Listrik

Energi listrik adalah energi yang dapat dialirkan dengan menggunakan kabel kemana – mana tempat yang dikehendaki. Energi listrik banyak digunakan dalam kehidupan sehari – hari dalam melakukan berbagai aktivitas, seperti memasak air dan penerangan.¹

Energi listrik juga dapat didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan selang waktu tersebut. Persamaan dari energi listrik adalah :

$$E = P.t.....(2.1)$$

Satuan SI untuk energi listrik adalah joule (J), atau Wattjam / *Watthour* (Wh).²

P = daya

t = waktu

2.2 Alat Penghemat Energi Listrik

Alat penghemat energi listrik adalah suatu alat yang masih menjadi kontroversi hingga saat ini. Umumnya perusahaan pembuatnya mengklaim bahwa alat ini mampu menghemat penggunaan daya listrik pada instalasi rumah tinggal. Alat tersebut juga diklaim mampu menghemat biaya pemakaian listrik dari 10 % hingga 40 %.³

Alat penghemat listrik yang dijual dipasaran sebenarnya adalah alat untuk memperbaiki faktor daya yang berisi rangkaian capacitor shunt. Arus yang dihasilkan dari rangkaian ini bersifat kapasitif yang secara vektoris akan saling meniadakan dengan arus yang bersifat induktif yang disebabkan oleh beban dititik

¹ Supranto, *Teknologi Tenaga Surya* (Yogyakarta: Global Pustaka Utama, 2015), hlm 2.

² Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian, *Rangkaian Listrik* (Yogyakarta: C.V Andi Offset, 2013), hlm.7.

³ Anonymous, “*Alat Penghemat Daya Listrik*”, diakses dari <https://poweroptimizer.wordpress.com>, pada tanggal 7 april 2016 pukul 08.27.



pemakaian. Alat ini akan menaikkan faktor daya dari beban menjadi mendekati 1, jika faktor daya meningkat maka arus yang akan ditarik dari sumber listrik akan berkurang.

Alat penghemat energi listrik tersebut biasa dipasang dirumah, ruko, ataupun perkantoran pada salah satu stop kontaknya. Alat penghemat listrik tersebut akan bekerja lebih efektif dan maksimal pada instalasi yang menggunakan peralatan – peralatan beban induktif.



Gambar 2.1 Alat Penghemat Energi Listrik

2.3 Arus Listrik

Arus listrik *i* pada titik tertentu dan mengalir dalam arah tertentu didefinisikan sebagai laju sesaat dimana muatan positif bergerak pada titik tersebut, dalam arah tertentu. Satuan arus adalah ampere, yang disingkat dengan A.⁴

Arus listrik dibagi atas dua jenis, yaitu arus bolak-balik (*Alternating Current*) dan arus searah (*Dirrect Current*). Arus bolak-balik adalah arus yang nilainya berubah terhadap satuan waktu. Arus bolak-balik biasanya dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit tenaga listrik. Arus searah adalah arus yang nilainya tetap atau konstan terhadap satuan waktu. Arus listrik searah biasanya dihasilkan oleh baterai dan akumulator (*Accu*).⁵

Secara matematis dapat dituliskan :

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.2)$$

⁴ R.H. Sianipar, *Rangkaian Listrik* (Bandung: Rekayasa Sains, 2015), hlm 2.

⁵ Mohamad Ramdhani, *Rangkaian Listrik* (Jakarta: Erlangga, 2008), hlm. 2.



Keterangan :

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

R = Tahanan (Ohm)

2.4 Tegangan

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Berdasarkan nilai tegangannya, tegangan listrik dibagi atas empat jenis, yaitu tegangan rendah, tegangan menengah, tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi.⁶

Secara matematis dapat dituliskan :

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)

2.5 Sifat – sifat Komponen Listrik

2.5.1 Resistor

Resistor disebut juga dengan tahanan atau hambatan yang berfungsi untuk menghambat (mengatur) arus listrik yang melewatinya. Satuan harga resistor adalah Ohm.

Resistor terbagi menjadi 2 macam, yaitu : resistor tetap, yaitu resistor yang nilai hambatannya relative tetap, biasanya terbuat dari karbon, kawat atau paduan logam. Nilai hambatannya ditentukan oleh tebal dan panjangnya lintasan karbon. Adajuga resistor variabel, yaitu resistor yang nilainya dapat berubah – ubah.

⁶ Mohamad Ramdhani, *Rangkaian Listrik* (Jakarta: Erlangga, 2008), hlm. 3.



2.5.2 Kapasitor

Kapasitor atau kondensator adalah suatu komponen listrik yang dapat menyimpan muatan listrik. Kapasitas kapasitor diukur dalam farad (F), yaitu $1\text{ F} = 10^6\ \mu\text{F} = 10^3\ \text{nF} = 10^6\ \text{pF}$. Kapasitor elektrolit mempunyai 2 kutub positif dan negative. Sedangkan kapastor kering misalnya kapasitor plastik, tidak membedakan kutub positif dan kutub negatif.

2.5.3 Induktor

Inductor adalah komponen listrik yang digunakan sebagai beban induktif. Nilai induktor dinyatakan dalam satuan henry (H). kapasitas induktor diberi lambing L.⁷

2.6 Beban – Beban Listrik

Beban tenaga listrik merupakan pemakaian tenaga listrik dari para pelanggan. Oleh karenanya, besar kecilnya beban beserta perubahannya tergantung pada kebutuhan pelanggan akan tenaga listrik.⁸

Dalam sistem listrik arus bolak-balik, jenis beban dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Beban resistif (R)
2. Beban induktif (L)
3. Beban kapasitif (C)

2.6.1 Beban Resistif (R)

Beban resistif adalah beban yang terdiri dari tahanan ohm saja (*resistance*) / resistansi murni, diantaranya lampu pijar dan pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan :

$$R = V / I \dots\dots\dots (2.4)$$

⁷ Ratna Dewi, Agus Prijono, Yohana Susanthi, *Dasar – dasar Rangkaian Listrik* (Bandung: Alfabeta, 2015), hlm 11-16

⁸ Djiteng Marsudi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik Edisi 3* (Jakarta: Graha Ilmu, 2015), hlm 26



Dimana:

R = Hambatan (ohm)

V = Tegangan (volt)

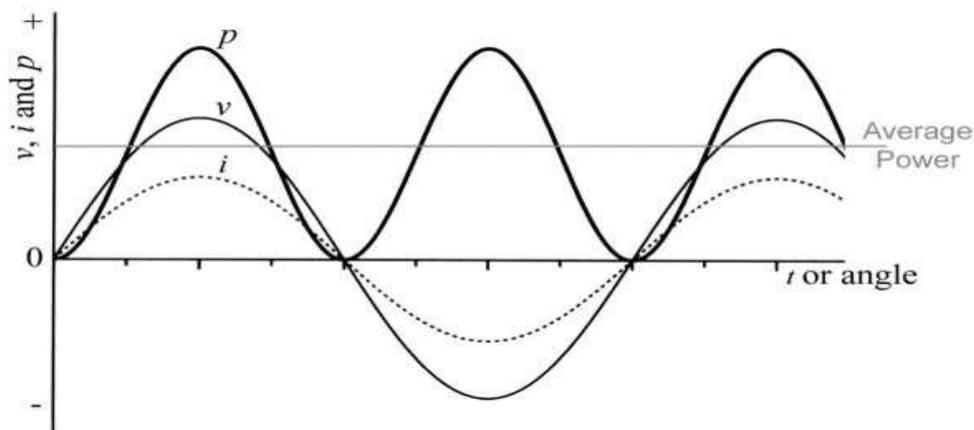
I = Kuat Arus (ampere)

Persamaan dayanya sebagai berikut :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

P = Daya aktif yang diserap beban (Watt)



Gambar 2.2 Tegangan, arus, dan daya Pada Beban Resistif

2.6.2 Beban Induktif

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

Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

P = daya aktif yang diserap oleh beban (Watt)

V = tegangan yang mencatu beban (Volt)



I = arus yang mengalir pada beban (Ampere)

$\text{Cos } \phi$ = sudut antara arus dan tegangan

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L) Secara matematis dinyatakan:

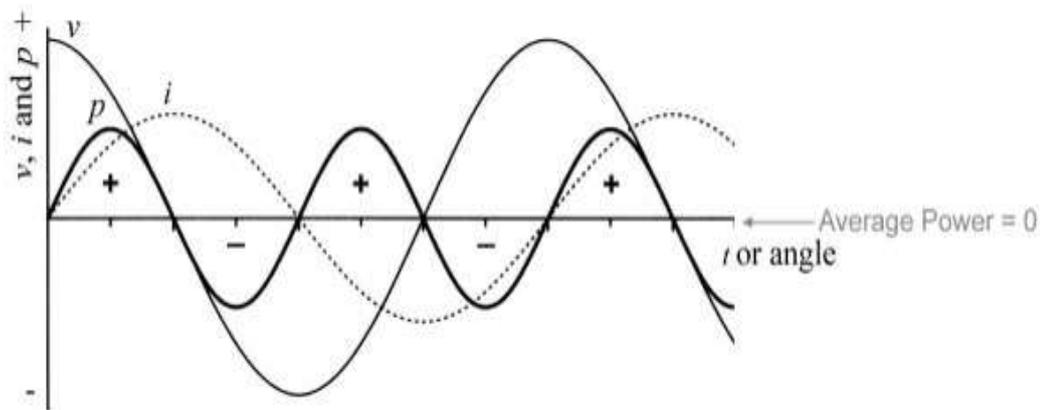
$$X_L = 2\pi f.L \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

X_L = Reaktansi induktif (ohm)

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (H)



Gambar 2.3 Tegangan, arus dan daya Pada Beban Induktif

2.6.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian dielektrik pada suatu sirkuit. Komponen ini juga dapat menyebabkan arus mendahului tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. ⁹

Persamaan daya aktif untuk beban kapasitif adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P = Daya aktif yang diserap oleh beban (Watt)

V = Tegangan yang mencatu beban (Volt)

⁹ Zazili Nopian Pratama, *Analisa Pengaruh Pemasangan Kapasitor Terhadap Faktor Daya pada Motor Induksi Tiga Fasa* (Palembang, Laporan Akhir, 2013), hlm. 18 - 21.



I = Arus yang mengalir pada beban (Ampere)

$\cos \phi$ = Sudut antara tegangan dan arus

Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif (X_c). Secara matematis dinyatakan:

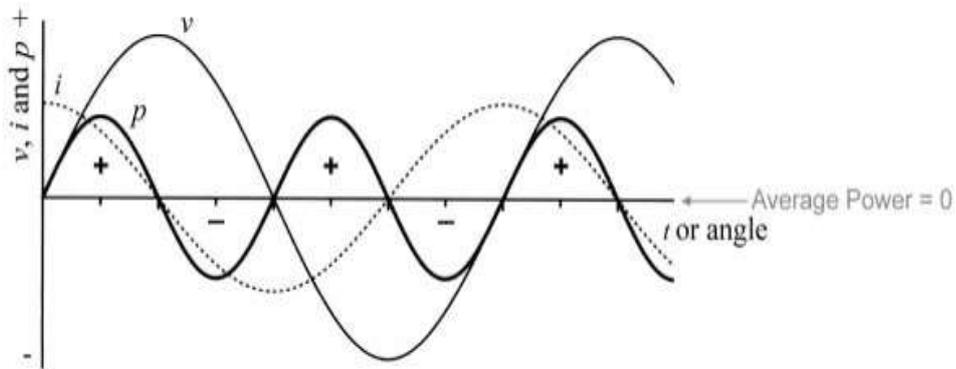
$$X_c = 1 / 2\pi fC \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

X_c = Reaktansi Kapasitif (ohm)

f = Frekuensi (Hz)

C = Kapasitas Kapasitor (farad)



Gambar 2.4 Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif

2.7 Klasifikasi Beban

Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, secara garis besar, ragam beban dapat diklasifikasikan ke dalam :

2.7.1 Beban Rumah Tangga

Pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.

2.7.2 Beban Komersial

Beban ini terdiri dari penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara dan alat – alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran. Beban hotel juga diklasifikasikan sebagai beban komersial (bisnis) begitu juga perkantoran.



Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan dan menurun di waktu sore.

2.7.3 Beban Industri

Dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil banyak beroperasi di siang hari sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam.

2.7.4 Beban Fasilitas Umum

Pengklasifikasian ini sangat penting artinya bila kita melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersil lebih dominan pada siang dan sore hari. Pemakaian daya pada industri akan lebih merata, karena banyak industri yang bekerja siang-malam. Maka dilihat dari sini, jelas pemakaian daya pada industri akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan lebih merata. Sedangkan pada beban fasilitas umum lebih dominan pada siang dan malam hari. Beberapa daerah operasi tenaga listrik memberikan ciri tersendiri, misalnya daerah wisata, pelanggan bisnis mempengaruhi penjualan kWh walaupun jumlah pelanggan bisnis jauh lebih kecil dibanding dengan pelanggan rumah tangga.¹⁰

2.8 Karakteristik Beban Listrik

Unjuk kerja suatu beban dapat dilihat dengan memantau konsumsi daya listrik yang digunakan, selain itu performansi beban juga dapat dilihat dengan menggunakan keterkaitan tegangan dan arus. Hubungan arus dan tegangan yang mencerminkan perilaku beban umumnya disebut sebagai faktor daya, sehingga

¹⁰ Daman Suswanto, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", diakses dari <https://daman48.files.wordpress.com/2010/11/materi-11-karakteristik-beban.pdf>, hal. 185-190, pada tanggal 12 Mei 2016 pukul 11.10

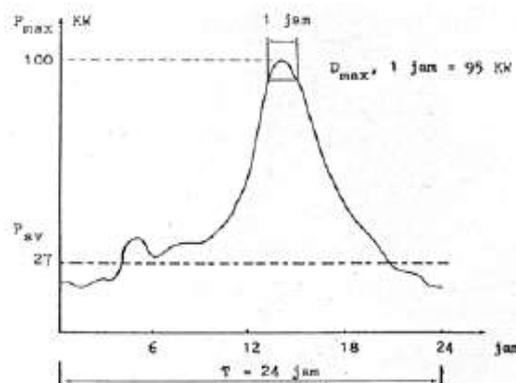


dengan mengamati perubahan faktor daya dapat diketahui karakteristik setiap beban yang ada.

Selain menjelaskan relasi antara tegangan dan arus, faktor daya juga menggambarkan tingkat konsumsi daya yang dipakai oleh beban. Karena dengan mengamati faktor daya dapat diketahui penggunaan daya nyata dan daya reaktif, sehingga sifatnya juga terlihat pada tingkat konsumsi daya yang digunakan. Jika suatu beban dipandang dari segi karakteristik yang sangat ditentukan oleh faktor daya, maka terdapat 3 karakteristik beban yang sangat penting. Ketiga karakteristik tersebut adalah beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif.¹¹ Ada juga faktor lain yang mempengaruhi karakteristik beban, Berikut ini beberapa faktor yang menentukan karakteristik beban.

2.8.1 Beban Puncak (*Peak Load*)

Beban puncak, adalah beban tertinggi setiap sistem yang pernah dicapai pada tahun kalender yang bersangkutan.¹² Untuk dapat memperjelas pengertian mengenai Beban / *Demand* (D), *Maximum Demand* (D_{max}) dan Beban Puncak (P_{max}) dapat dilihat pada gambar



Gambar 2.5 Beban puncak

¹¹ AN. Afandi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik Berbasis EDSA* (Yogyakarta : Gava Media, 2010), hlm 20-21

¹² Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), *Statistik PLN 2012* (Jakarta: 2012), hlm vi. Diakses dari www.pln.co.id/dataweb/STAT/STAT2012IND.pdf.



Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam menentukan kebutuhan listrik. Sesuatu daerah kepadatan beban satuannya dapat berupa MVA/km² atau KVA/m² umumnya satuan yang dipakai adalah MVA/km². Beban puncak (kebutuhan maksimum) didefinisikan sebagai beban (kebutuhan) terbesar/tertinggi yang terjadi selama periode tertentu. Periode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun dalam setahun. Periode harian, yaitu variasi pembebanan trafo distribusi selama sehari. Selanjutnya beban puncak harus diartikan beban rata – rata selama selang waktu tertentu, dimana kemungkinan terjadinya beban tersebut. Contoh, beban harian dari transformator distribusi di mana beban puncaknya selama selang waktu 1 jam, yaitu antara pukul 19.00 (titik A) dan pukul 20.00 (titik B). Nilai rata – rata kurva A – B, merupakan kebutuhan puncaknya (kebutuhan maksimum).

2.8.2 Beban Rata - Rata

Adapun beban rata – rata dapat didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara banyaknya daya dalam satu periode tertentu dibagi dengan banyaknya waktu periode tersebut. Atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{rata-rata} = \frac{E_p}{t} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- $P_{rata-rata}$ = Beban rata – rata
- E_p = Banyaknya daya yang terpakai
- t = Banyaknya waktu yang terpakai

2.8.3 Beban Terendah

Beban terendah adalah nilai terendah dari pembebanan sesaat pada suatu interval demand tertentu.

2.8.4 Faktor Beban (*load factor*)

Faktor beban adalah perbandingan antara beban rata – rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Beban rata – rata dan beban



puncak dapat dinyatakan dalam kW, kV, atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu. Pada umumnya dipakai 15 menit atau 30 menit. Definisi dari faktor beban ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini:

Faktor beban dapat diketahui dari kurva bebannya. Sedangkan untuk perkiraan besaran faktor beban di masa yang akan datang dapat didekati dengan kata data statistik yang ada berdasarkan jenis bebannya.

$$\text{Faktor Beban (Fb)} = \frac{\text{beban rata-rata dalam periode tertentu}}{\text{beban puncak dalam periode tertentu}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Bila diterapkan pada pusat pembangkit maka didapat menurut definisi :

$$\text{Faktor Beban (Fb)} = \frac{P_{\text{rata-rata}}}{P_{\text{puncak}}} \times \frac{T}{T} \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan : T = periode waktu

Prata-rata = Beban rata – rata dalam periode T

Pp = Beban puncak yang terjadi dalam periode T pada selang waktu tertentu (15 menit atau 30 menit).

Bila Prata - rata dan Pp dalam kW dan T dalam jam. Bila T dalam setahun, maka didapat faktor beban tahunan, bila dalam satu bulan didapat faktor beban bulanan dan bila harian, faktor beban harian⁶

2.9 Daya Listrik

Daya listrik adalah laju atau kecepatan perubahan energi yang dapat diberikan oleh peralatan listrik. Daya dinyatakan dalam satuan watt (W), seribu watt adalah 1 kilowatt (kW).¹³ Daya Listrik dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu sebagai berikut :

1. Daya Nyata (P) dalam satuan watt (W)
2. Daya Semu (S) dalam satuan volt amper (VA)
3. Daya Reaktif (Q) dalam satuan volt amper reaktif (VAR)

¹³ Owen Bishop, *Dasar – dasar Elektronika* (Jakarta: Erlangga, 2004), hlm. 22.



2.9.1 Daya Nyata (P)

Daya nyata adalah daya yang memang benar-benar digunakan dan terukur pada beban. Daya nyata dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa atau tiga fasa. Secara matematis dapat ditulis :

- 1 fasa

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.13)$$

- 3 fasa

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

cos φ = Faktor Daya

2.9.2 Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Daya semu dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa dan tiga fasa. Secara matematis dapat dituliskan :

- 1 fasa

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.15)$$

- 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)



2.9.3 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan dengan vector daya.¹⁴

- 1 fasa

$$Q = V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.17)$$

- 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

Q = Daya reaktif (VAR)

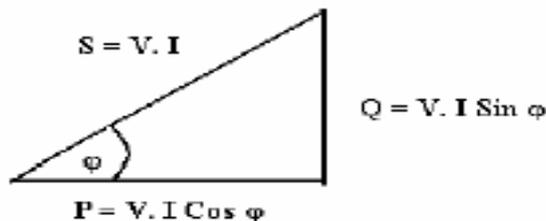
V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Sin φ = Besaran Vektor Daya

2.10 Segitiga Daya

Hubungan antara daya rata – rata, daya reaktif, dan daya tampak dapat dinyatakan dengan mempresentasikan daya – daya tersebut sebagai vektor. Daya rata – rata atau daya nyata direpresentasikan sebagai vektor vertikal. Vektor daya tampak adalah hipotenusa (sisi miring) dari segitiga siku – siku yang terbentuk dengan menghubungkan vektor – vektor daya nyata dan reaktif. Representasi ini sering disebut sebagai segitiga daya.¹⁵ Gambarnya sebagai berikut :



Gambar 2.6 Segitiga Daya

¹⁴ Mohamad Ramadhani. *Rangkaian Listrik* (Jakarta. Erlangga, 2008). hal 273.

¹⁵ Ibid., hlm. 274.



2.11 Faktor daya

Menurut sejarahnya, penggunaan konsep daya semu (apparent power) dan faktor daya (power factor) diperkenalkan oleh kalangan industri penyedia daya listrik, yang bisnisnya memindahkan energi listrik dari satu titik ke titik lain. Efisiensi proses pemindahan daya listrik ini terkait langsung dengan biaya energi listrik yang pada gilirannya menjelma menjadi biaya yang harus dibayarkan oleh konsumen. Hal yang mempengaruhi perpindahan energi listrik tersebut adalah faktor daya. Untuk mencapai efisiensi pemindahan energi 100 % maka rangkaian harus memiliki faktor daya sebesar 1. Namun hal ini sulit dicapai karena adanya rugi – rugi yang ditimbulkan oleh penghantar listrik, terutama beban induktif.¹⁶

2.12 Penyebab Faktor Daya Rendah

Faktor daya yang rendah disebabkan oleh peralatan listrik seperti motor induksi, unit – unit ballast yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk geraknya. Alat – alat seperti ini memerlukan arus listrik untuk membangkitkan medan, sehingga menimbulkan panas dan daya mekanis yang dapat menimbulkan rugi-rugi. Penggunaan kapasitor yang berlebihan dalam suatu instalasi juga akan menyebabkan faktor daya yang buruk, namun hal ini jarang terjadi.

2.13 Kerugian Akibat Faktor Daya Rendah

Hal yang menyebabkan rendahnya faktor daya adalah besarnya daya reaktif. Daya reaktif yang terlalu besar tidak memberikan nilai kerja, melainkan diserap oleh saluran dan disimpan dalam bentuk elektromagnetik. Dengan bertambahnya daya reaktif, maka faktor daya menjadi rendah, sehingga akan menyebabkan beberapa kerugian, diantara lain :

- a. Kapasitas penyaluran daya dari saluran penghantar akan menurun. Bila faktor daya rendah maka arus akan membesar sedangkan kapasitas

¹⁶ William J. Hayt, Jr dan Jack E. Kemmerly dan Steven M. Durbin, *Rangkaian Listrik Edisi Keenam Edisi 1* (Jakarta: Erlangga, 2002), hlm. 375.



- penghantar adalah tetap. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya kapasitas penyaluran daya dari saluran penghantar.
- b. Dengan bertambahnya daya reaktif, maka kebutuhan akan arus induktifnya akan menjadi lebih besar sehingga akan mendapatkan daya nyata, diperlukan penambahan daya semu dan hal ini berarti harus memperbesar kapasitas (kebutuhan instalasi listrik), yaitu dengan memperbesar rating pengaman arus lebih dan ukuran penghantar yang lebih besar. Sehingga dibutuhkan penambahan biaya dengan kata lain kebutuhan listrik yang lebih besar.
 - c. Bertambahnya rugi – rugi pada saluran penghantar dan peralatan listrik. Hal ini biasanya berupa rugi – rugi penyaluran daya yang diakibatkan oleh panas yang timbul.

2.14 Perbaikan Faktor Daya

Prinsip dasar dari peningkatan faktor daya adalah dengan menyuntikkan arus dengan fase mendahului ke dalam rangkaian agar menetralkan arus yang ketinggalan fase. Salah satu caranya yaitu dengan memasang kapasitor pada rangkaian.

Kebanyakan instalasi industrial menggunakan motor induksi untuk mengendalikan beban mekanis. Kecuali jika bekerja menggunakan beban penuh (atau mendekati beban penuh), faktor daya dari motor ini cukup rendah. Akibatnya pemakaian kVAS-nya pada beban kecil tidak lebih besar daripada keluarannya. Sebaliknya, beban kecil pada motor ini mengakibatkan tingginya biaya kVA. Jika faktor daya dari jaringan diperbaiki dengan menghubungkan kapasitor ke tiap motor induksi besar, maka kVA permintaan maksimum dari instalasi berkurang. Akibatnya koreksi daya mempunyai efek sekunder dalam mengurangi arus yang dialirkan oleh kombinasi motor – kapasitor jika dibandingkan dengan motor saja. Tentunya harus diperhatikan bahwa jika perbaikan faktor daya dari satu instalasi mengakibatkan berkurangnya kVA, perbaikan faktor daya itu tidak mempengaruhi



beban dalam kW dan jaringan (karena hal ini tergantung pada banyaknya kerja yang diselesaikan oleh jaringan).¹⁷

2.15 Kapasitor

Sebuah kapasitor terdiri dari dua buah lempeng penghantar (konduktor) yang permukaannya dapat menampung muatan listrik, yang dipisahkan oleh sebuah lapisan bahan penyekat (isolator) yang memiliki nilai tahanan sangat tinggi. Apabila kita mengasumsikan bahwa tahanan ini bernilai begitu besar sehingga mendekati tak berhingga, maka muatan – muatan listrik yang berlawanan namun sama besarnya dipermukaan kedua plat, kapasitor tidak akan pernah saling bertemu; (setidaknya secara teoritis), karena tidak adanya jalur listrik yang menghubungkan muatan – muatan pada plat yang satu dengan plat yang lainnya.¹⁸

Konstruksi fisik perangkat kapasitor diperlihatkan secara skematis oleh symbol rangkaiannya.



Gambar 2.7 Simbol Kapasitor

Beberapa karakteristik penting dari sebuah kapasitor ideal

1. Tidak ada arus yang mengalir melewati kapasitor jika tegangan yang bekerja padanya tidak berubah menurut waktu. Oleh karenanya, sebuah kapasitor berlaku sebagaimana halnya rangkaian terbuka terhadap listrik dc.
2. Energi dalam jumlah yang terbatas dapat disimpan didalam sebuah kapasitor, bahkan jika arus yang mengalir melewati kapasitor adalah nol, yaitu misalnya ketika tegangan pada kapasitor bernilai konstan.
3. Adalah mustahil untuk mengubah tegangan pada kapasitor dalam waktu nol (atau secara seketika), karena hal ini membutuhkan arus yang besarnya tak

¹⁷ Noel M. Morris, *Aplikasi Listrik dan Elektronika* (Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 1998), hlm. 98.

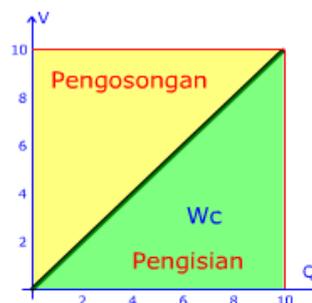
¹⁸ William H. Hayt, Jr, Jack E. Kemmerly, dan Steven M. Durbin, *Rangkaian Listrik Edisi Keenam Jilid 1* (Jakarta: Erlangga, 2005), hlm. 179.



- berhingga. Sebuah kapasitor ‘melawan’ perubahan tegangan mendadak akibat arus yang melewatinya sebagaimana layaknya sebuah pegas ‘melawan’ perubahan panjang mendadak akibat gaya yang bekerja padanya.
4. Sebuah kapasitor tidak pernah menyebabkan terjadinya disipasi energi, kapasitor hanya menyimpan energi. Meskipun secara teoritis hal ini digariskan oleh model matematika kapasitor ideal, setiap kapasitor fisik mengandung nilai tahanan yang berhingga sehingga mendisipasikan energi.¹⁹

2.16 Pengisian dan Pengosongan Kapasitor

Kapasitor yang sudah diisi (charged) adalah semacam reservoir energi. Dalam pengisian (charging) dibutuhkan suatu aliran arus dari sumber tegangan. Bila pelat – pelat kapasitor tersebut hubung singkat dengan suatu penghantar maka akan terjadi pengosongan (discharging) pada kapasitor yang akan menimbulkan panas pada penghantar tersebut. Energi yang dibutuhkan untuk memindahkan muatan 1 coulomb pada tegangan 1 volt adalah sebesar 1 joule.



Gambar 2.8 Pengisian dan Pengosongan Kapasitor

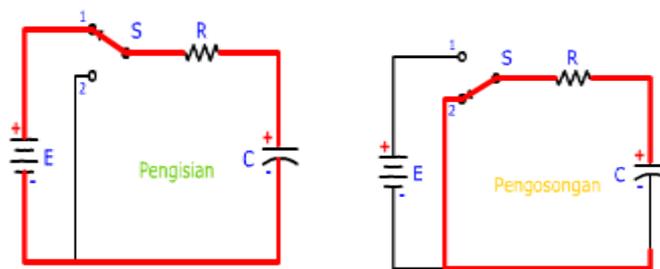
Pada saat saklar S dihubungkan ke posisi 1 maka ada rangkaian tertutup antara tegangan V, saklar S, tahanan R, dan C. Arus akan mengalir dari sumber tegangan Kapasitor melalui tahanan R. Hal ini akan menyebabkan naiknya

¹⁹ William H. Hayt, Jr, Jack E. Kemmerly, dan Steven M. Durbin, *Rangkaian Listrik Edisi Keenam Jilid 1* (Jakarta: Erlangga, 2005), hlm. 183.

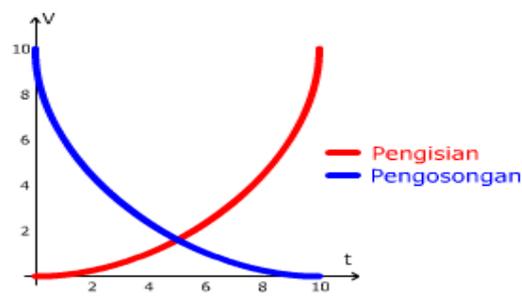


perbedaan potensial pada Kapasitor Dengan demikian, arus akan menurun sehingga pada suatu saat tegangan sumber akan sama dengan perbedaan potensial pada Kapasitor. Akan tetapi arus akan menurun sehingga pada saat tegangan sumber sama dengan perbedaan potensial pada Kapasitor dan arus akan berhenti mengalir ($I = 0$).

Pada saat saklar S dihubungkan pada posisi 2. pada saat itu kapasitor masih penuh muatannya. Karena itu arus akan mengalir melalui tahanan R. Pada saat sampai terjadi proses pengosongan kapasitor, tegangan kapasitor akan menurun sehingga arus yang melalui tahanan R akan menurun. Pada saat kapasitor sudah membuang seluruh muatannya ($V_c = 0$) sehingga demikian aliran arus pun berhenti ($I = 0$).²⁰



Gambar 2.9 Aliran arus saat Pengisian dan Pengosongan Kapasitor



Gambar 2.10 Grafik Pengisian dan Pengosongan Kapasitor

²⁰ Drs. Djoko Adi Widodo, MT, "Pengisian dan Pengosongan Kapasitor", diakses dari <http://m-edukasi.kemdikbud.go.id/online/2008/kapasitor/prinsipkap.html>, pada tanggal 15 Juli 2016 pukul 13.15