



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tegangan Tiga *Phase*

Sistem tegangan tiga *phase* adalah sumber tegangan yang terdiri dari 3 kawat penghantar tegangan yang disimbolkan dengan R, S, T dan satu kawat Netral. Sistem tegangan ini biasa dipakai pada industri dan pabrik. Sistem tegangan tiga *phase* memiliki dua nilai tegangan efektif, yaitu :

- a) Tegangan *Phase* ke *Phase*.

Tegangan *phase* ke *phase* adalah tegangan yang terukur antara :

R-S, S-T, T-R

Nilai tegangan *phase* ke *phase* adalah 380VAC

- b) Tegangan *Phase* ke Netral

Tegangan *phase* ke Netral adalah tegangan yang terukur antara :

R-N, S-N, T-N

Nilai tegangan *phase* ke netral adalah 220 VAC

Secara umum nilai tegangan *phase – phase* dan nilai tegangan *phase – netral* diberikan oleh persamaan berikut :

$$V_{L-L} = \sqrt{3} \times V_{L-N} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana

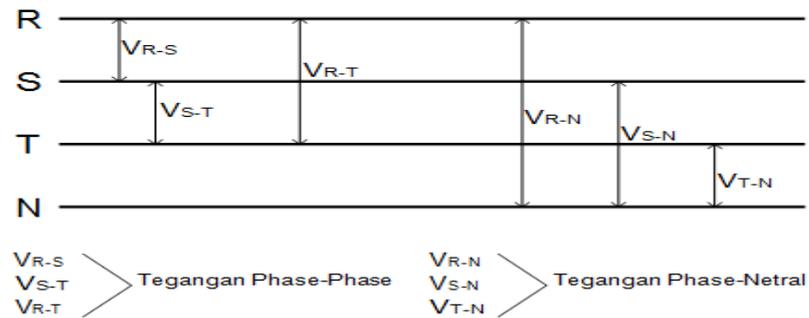
V_{L-L} = Tegangan Line to Line

V_{L-N} = Tegangan Line to Netral

Pada rumus diatas dapat diketahui tegangan antara *phase-phase* didapat dari perkalian tegangan 220V dengan $\sqrt{3}$.

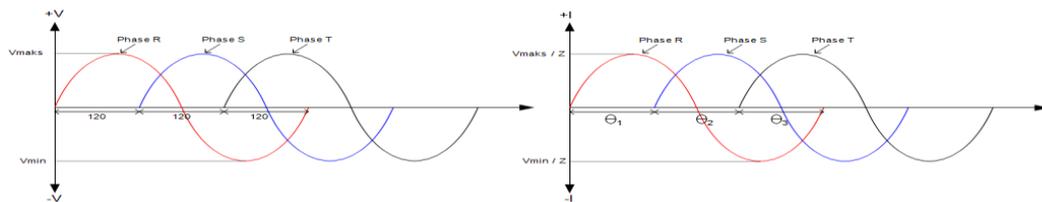


Berikut adalah gambar ilustrasi sistem tegangan 3 *phase* :



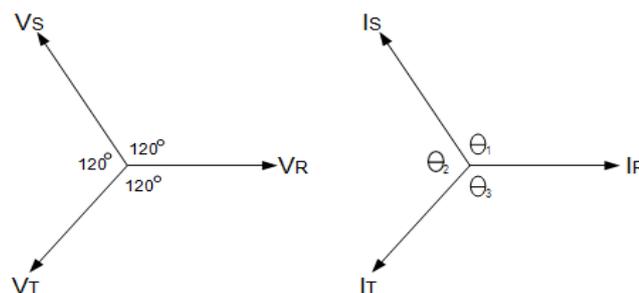
Gambar 2.1. Jalur 3 *phase* dan netral

Gambar dibawah merupakan bentuk gelombang AC dari sistem tegangan 3 *phase*.



Gambar 2.2. Gelombang sinusoidal pada sumber arus bolak-balik sistem tegangan 3 *phase*

Pada gambar diatas, terlihat bahwa bentuk gelombang memiliki perbedaan 120 derajat antar *phase*. Sistem tegangan *phase* dapat juga digambarkan dalam bentuk diagram fasor seperti pada gambar dibawah.



Gambar 2.3. Diagram fasor pada sumber arus bolak-balik system tegangan 3 *phase*



Pada diagram fasor diatas terlihat bahwa beda *phase* arus berbentuk derajat. Derajat ini tidak diketahui nilainya karena nilai fasor arus tergantung dari nilai $\cos \varphi$ beban. Daya beban tiga phase diberikan oleh persamaan berikut :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana

P = Daya Efektif beban (Watt)

V = Tegangan (380VAC)

I = Arus beban (Ampere)

$\cos \varphi$ = Power faktor beban

2.2 Daya Listrik

Daya didefinisikan sebagai laju energi yang dibangkitkan atau dikonsumsi oleh suatu peralatan listrik. Daya memiliki arti sebagai energi per satuan waktu¹. Daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha di dalam sistem tenaga listrik. Satuan untuk daya listrik umumnya adalah Waatt. Daya pada suatu sistem tegangan bolak-balik (AC) dikenal dengan tiga macam yaitu daya aktif (nyata) dengan simbol (P) satuannya adalah Watt (W), daya reaktif dengan simbol (Q) satuannya adalah volt ampere reactive (VAR) dan daya semu dengan simbol (S) satuannya adalah volt ampere (VA).

2.2.1 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut :

Untuk satu phasa :

$$P = V_{L-N} \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.3)^2$$

Untuk tiga phasa :

¹ Meier Von Alexander, *Electrical Power System*, 2006

² Cekmas Cekdin, Taufik Barlian, *Transmisi Daya Listrik*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2013. Hal 17



$$P = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

P = Daya aktif (watt)

V_{L-N} = Tegangan Line to Netral (volt)

V_{L-L} = Tegangan Line to Line (volt)

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.2.2 Daya Reaktif

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.

Untuk satu phasa :

$$Q = V_{L-N} \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (2.5)^3$$

Untuk tiga phasa :

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V_{L-N} = Tegangan Line to Netral (volt)

V_{L-L} = Tegangan Line to Line (volt)

I = Arus (A)

$\sin \varphi$ = Faktor Reaktif

2.2.3 Daya Semu

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

Untuk satu phasa :

³ Cekmas Cekdin, Taufik Barlian, Transmisi Daya Listrik, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2013. Hal 17



$$S = V_{L-N} \cdot I \dots\dots\dots (2.7)^4$$

Untuk tiga fasa :

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

S = Daya Semu (VA)

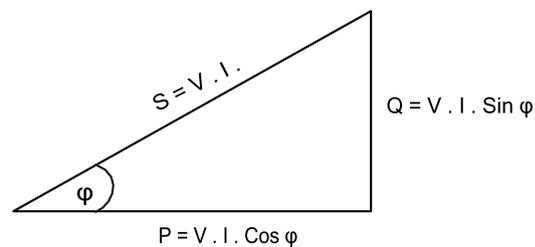
V_{L-N} = Tegangan Line to Netral (volt)

V_{L-L} = Tegangan Line to Line (volt)

I = Arus (A)

2.3 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



Gambar 2.4 Segitiga Daya

Dimana berlaku hubungan :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$P = S \cdot \text{Cos } \varphi \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$Q = S \cdot \text{Sin } \varphi \text{ (VAR)} \dots\dots\dots (2.11)$$

2.4 Sifat Beban

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena

⁴ Cekmas Cekdin, Taufik Barlian, Transmisi Daya Listrik, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2013. Hal 16



frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (X_L) akan menjadi nol dan Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak berhingga. 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 :

2.4.1 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 satu fasa. Persamaan daya sebagai berikut :

$$P = V.I \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)

Untuk mencari besarnya beban resistif suatu benda dapat dicari dari rumus dibawah ini:

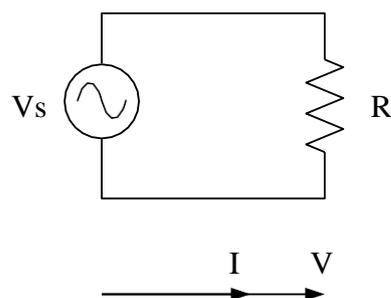
$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

R = Resistansi (Ω)

V = Tegangan pada beban resistif (Volt)

I = Arus yang mengalir pada beban resistif (Ampere)



Gambar 2.5 Beban Resistif



2.4.2 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 arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :

$$P = V.I \cos \phi \dots\dots\dots (2.14)$$

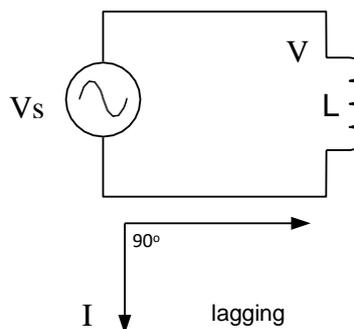
Keterangan :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)

Φ = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.6 Beban Induktif

Umumnya beban induktif banyak terdapat pada rangkaian elektronik. Peralatan rumah tangga umumnya menggunakan peralatan elektronik seperti TV, Radio, Kipas angin, Kulkas. Beban induktif dapat menimbulkan fluks magnet. Beban induktif juga dapat mempengaruhi daya reaktif dari suatu rangkaian listrik. Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L),



dapat digunakan rumus :

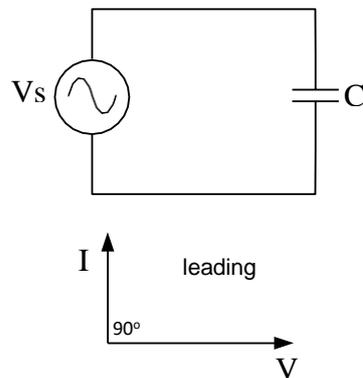
$$X_L = 2 \pi f L \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

- X_L = Reaktansi induktif
- Π = Konstanta sebesar 3,142
- F = Frekuensi (Hz)
- L = Induktansi (Henry)

2.4.3 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 mengeluarkannya reaktif.⁵



Gambar 2.7 Beban Kapasitif

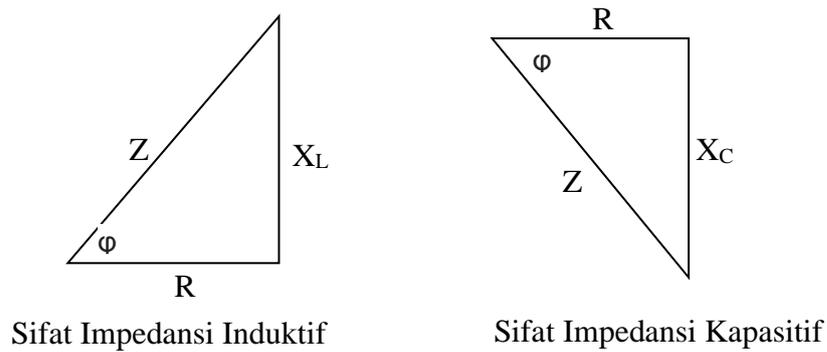
Reaktansi kapasitif mengakibatkan arus rangkaian yang mendahului tegangannya.

⁵ Trevor Linsley, 2004. *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*, Erlangga:Jakarta. Hal: 112-113



2.5 Segitiga Impedansi

Persamaan yang menunjukkan hubungan antara impedansi, resistansi dan reaktansi adalah persamaan yang identik dengan persamaan ϕ tagoras pada sebuah segitiga siku-siku yang memberikan hubungan antara alas, tinggi dan garis miring. Sehingga apabila impedansi, resistansi dan reaktansi dipresentasikan dalam bentuk grafik segitiga siku-siku akan didapatkan segitiga impedansi seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.8 Segitiga impedansi

Dimana,

$$\sin\phi = \frac{X}{Z} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\tan\phi = \frac{x}{R} \dots\dots\dots (2.18)$$

2.6 Faktor Daya

Faktor daya (Cos ϕ) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam listrik arus bolak balik (AC) atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam cos ϕ .

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Semu (S)}} = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}} \\ &= \frac{V.I.\cos\phi}{V.I} = \cos\phi \dots\dots\dots (2.19) \end{aligned}$$



2.6.1 Faktor Daya Tertinggal (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

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

2.6.2 Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

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

- a. Peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif
- b. Arus mendahului tegangan, V terbelakang dari I dengan sudut ϕ

2.7 Penyebab Rendahnya Faktor Daya

Penyebab utama faktor daya suatu sistem jaringan listrik menjadi rendah adalah beban induktif. Pada sebuah rangkaian induktif murni, arus akan tertinggal sebesar 90° terhadap tegangan, perbedaan yang besar pada sudut fasa 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 ballast dari lampu pelepas (*discharge lighting*) yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk gerakannya. 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 hanyalah untuk membangkitkan medan. Walaupun arus dikembalikan ke sumber jika medan turun mendadak, perlu penambahan penampang kabel dan instalasi untuk membawa arus ini.



Berikut ini adalah beberapa sumber yang menyebabkan rendahnya faktor daya pada sistim jaringan listrik, yaitu :⁶

1. Motor Induksi Satu Phasa atau Tiga Phasa, jika motor induksi dibebani ringan maka faktor dayanya rendah sekali, tetapi jika motor induksi sekalipun dibebani penuh maka faktor dayanya jarang melebihi 90%.⁷
2. Variasi besar kecilnya beban pada jaringan sistem tenaga listrik. Pada periode beban rendah, tegangan supply meningkat yang meningkatkan magnetizing yang menyebabkan faktor daya menurun.
3. Tungku pemanasan / pembakaran pada industri
4. Lampu penerangan yang memanfaatkan gas neon
5. Transformer
6. Arus Harmonic

2.8 Kerugian Akibat Rendahnya Faktor Daya

Faktor daya yang rendah menimbulkan beberapa kerugian pada jaringan, berikut ini adalah kerugian yang disebabkan oleh faktor daya rendah yaitu :

1. Kerugian pada jalur penghantar (rugi tembaga)

Pada sebuah jalur 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 :

Rugi daya = $I^2 \times R$: yaitu, semakin besar arus yang mengalir pada penghantar tersebut, semakin besar kerugian (looses daya) pada jaringan tersebut. Dengan kata lain, seperti yang kita ketahui bahwa hampir semua peralatan mesin listrik (transformer, alternator, dll) dihitung dengan satuan kVA. Sedangkan faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif dan ($P = kW$) dengan daya semu ($S = kVA$), yaitu :

⁶ Direktori listrik, *Penyebab Faktor Daya Rendah*, diakses dari <http://direktorilistrik.blogspot.co.id/2014/02/penyebab-faktor-daya-rendah.html>, Pada tanggal 20 Juli 2021

⁷ Lister, Eugene C. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. 1998.hal 218



$\cos \phi = P / S = K_w / kVA$ Sehingga, semakin rendah faktor daya, semakin besar rating kVA sebuah mesin, semakin besar pula ukuran mesin dan semakin besar mesin maka 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 membutuhkan 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)

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 jatuh 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 disisi pengirim ketika pada kondisi tanpa beban, dimana arus tidak ada yang mengalir.

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 sistem pembangkitan (generator).

5. Penalti dari penyedia layanan listrik (PLN)

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



2.9 Perbaikan Faktor Daya

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, yaitu :

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

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. Beberapa strategi untuk koreksi faktor daya adalah :



1. Meminimalkan operasi dari beban motor yang ringan atau tidak bekerja
2. Menghindari operasi dari peralatan listrik diatas tegangan rata – ratanya
3. Mengganti motor – motor yang sudah tua dengan energi efisien motor. Meskipun dengan energi efisien motor, bagaimanapun faktor daya diperngaruhi oleh beban yang variasi. Motor ini harus dioperasikan sesuai dengan kapasitas rata – ratanya untuk memperoleh faktor daya tinggi.
4. Memasang kapasitor pada jaringan AC untuk menurunkan medan dari daya reaktif.

2.9.1 Penentuan Nilai Kapasitor Untuk Menaikan Faktor Daya

2.9.1.1 Menentukan Nilai Faktor Daya Awal

Sebelum diparalelkan dengan kapasitor peningkat faktor daya, maka perlu diketahui berapa faktor daya beban tersebut. Penentuan faktor daya awal ini dapat dilakukan dengan mengetahui watt atau daya efektif beban dan mengetahui berapa daya total beban dengan sauna VA. VA beban ini dapat diketahui dengan mengetahui berapa arus yang mengalir ke beban dan tegangan pada terminal beban, sehingga VA beban dapat dihitung dengan mengalikan arus beban dengan tegangan pada terminal beban. Sehingga faktor daya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\text{Faktor Daya Awal} = \frac{\text{Watt Beban}}{\text{VA Awal}} \dots\dots\dots (2.20)$$

2.9.1.2 Menentukan Nilai Faktor Daya Perbaikan Yang Diinginkan

Setelah diketahui faktor daya awal beban kemudian tentukan faktor daya perbaikan yang diinginkan. Misalkan dari faktor daya awal yaitu 0,72 dan akan diperbaiki menjadi 0,95. Hal ini juga sesuai dengan ketentuan PLN yaitu faktor daya tidak boleh kurang dari 0,85.



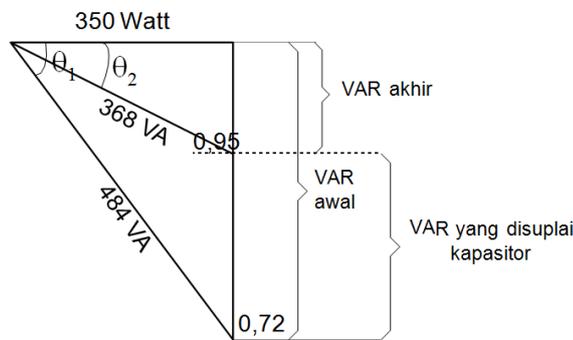
2.9.1.3 Menentukan VA Beban Setelah Faktor Daya Diperbaiki

Setelah ditentukan faktor daya akhir yang diinginkan, kemudian hitung nilai VA beban setelah perbaikan faktor daya yaitu dengan persamaan :

$$VA \text{ Akhir} = \frac{\text{Watt Beban}}{\text{Faktor Daya Akhir}} \dots\dots\dots (2.21)$$

2.9.1.4 Mengaplikasikan Dalam Bentuk Segitiga Daya

Setelah didapatkan data-data yaitu berupa faktor daya awal, faktor daya akhir, VA awal, VA akhir dan daya efektif beban kemudian dapat diaplikasikan data-data tersebut dalam bentuk segitiga daya seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.9 Metode perhitungan VAR dengan segitiga daya

2.9.1.5 Menentukan Nilai VAR Awal dan Akhir Serta VAR Yang Harus Disuplai Kapasitor

Setelah dipresentasikan dalam bentuk segitia, tentukan nilai daya reaktif yang harus disuplai oleh sumber sebelum adanya perbaikan factor daya atau VAR awal dan daya reaktif yang harus disuplai sumber seelah adanya perbaikan faktor daya atau VAR akhir. VAR awal dan VAR akhir dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$VAR \text{ awal} = \sqrt{VA \text{ awal}^2 - \text{Watt beban}^2} \dots\dots\dots (2.22)$$

Atau

$$VAR \text{ awal} = \text{Watt beban} \times \tan \varphi_1 \dots\dots\dots (2.23)$$



$$\text{VAR akhir} = \sqrt{\text{VA akhir}^2 - \text{Watt beban}^2} \dots\dots\dots (2.24)$$

Atau

$$\text{VAR akhir} = \text{Watt beban} \times \tan \phi_2 \dots\dots\dots (2.25)$$

Jadi,

$$\text{VAR yang disuplai kapasitor} = \text{VAR awal} - \text{VAR akhir} \dots\dots\dots (2.26)$$

2.9.1.6 Menentukan Reaktansi Kapasitif Kapasitor Yang Diperlukan

Untuk mengetahui nilai kapasitansi dari kapasitor peningkat factor data tersebut yaitu dengan menghitung terlebih dahulu nilai reaktansi kapasitif dengan persamaan :

$$X_c = \frac{V^2}{\text{VAR}} \dots\dots\dots (2.27)$$

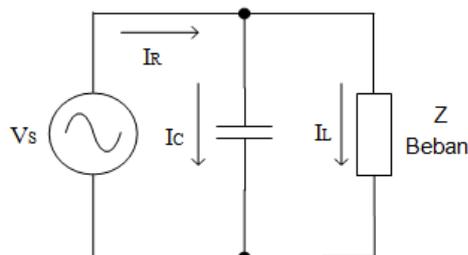
2.9.1.7 Menentukan Nilai Kapasitansi Kapasitor

Setelah diketahui nilai reaktansi dari kapasitor barulah dapat dihitung nilai kapasitansi kapasitor yang diperlukan dengan persamaan :

$$C = \frac{1}{2 \pi f X_c} \dots\dots\dots (2.28)$$

2.9.2 Diagram Fasor Pada Rangkaian Beban Dengan Kapasitor Peningkat Faktor Daya

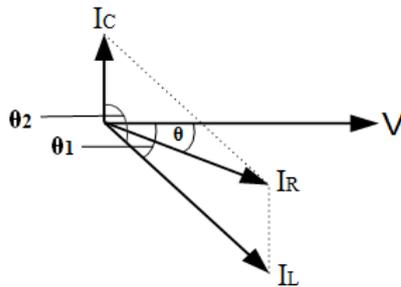
Rangkaian listrik sebuah beban dengan kapasitor peningkat faktor daya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.10 Rangkaian beban dengan diparalel kapasitor



Dari gambar diatas I_C adalah arus yang mengalir paa kapasitor, I_L adalah arus yang mengalir pada rangkaian seri resistor dan induktor dan I_R atau arus resultan adalah arus total yang disuplai oleh sumber V_S . Sehingga dari gambar diatas dapat dibuat diagram fasor seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.11 Diagram fasor penyajian arus resultan

- Untuk menentukan nilai I_C adalah dengan persamaan berikut :

$$I_C = \frac{V_S}{X_C} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \dots\dots\dots (2.30)$$

- Untuk menentukan I_L adalah dengan persamaan berikut :

$$I_L = \frac{V_S}{Z} \dots\dots\dots (2.31)$$

Atau

$$I_L = \frac{V_{awal}}{Z} \dots\dots\dots (2.32)$$

- Untuk menentukan sudut θ_1 adalah dengan persamaan berikut :

$$\cos \theta_1 = \cos^{-1} \frac{\text{Watt beban}}{VA \text{ awal}} \dots\dots\dots (2.33)$$



- Untuk menentukan sudut θ_2 adalah dengan persamaan berikut :

$$\varphi_2 = \varphi_1 + 90 \dots\dots\dots (2.34)$$

- Untuk menghitung Arus resultan I_R adalah dengan persamaan berikut :

$$I_R = \sqrt{I_L^2 + I_C^2 - 2 \cdot I_L \cdot I_C \cdot \cos \varphi_2} \dots\dots\dots (2.35)$$

- Untuk menentukan sudut θ adalah dengan persamaan berikut

$$\theta = \tan^{-1} \frac{I_L \cdot \sin \varphi_1 - I_C}{I_L \cdot \cos \varphi_1} \dots\dots\dots (2.36)$$

- Untuk menentukan factor daya perbaikan adalah dengan persamaan berikut :

$$\text{Factor daya perbaikan} = \cos \varphi \dots\dots\dots (2.37)$$

2.10 Kapasitor Bank

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

$$Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan :

Q_c	= Besarnya kompensasi kapasitor daya (kVAR)
P	= Daya aktif atau beban listrik (kW)
$\tan \varphi_1$	= Diperoleh dari faktor daya listrik / $\cos \varphi$ awal



Tan ϕ 2 = Diperoleh dari faktor daya listrik / Cos ϕ yang diinginkan

Untuk memperbesar harga cos ϕ (pf) yang rendah hal yang mudah dilakukan adalah memperkecil sudut ϕ sehingga menjadi ϕ 1 berarti $\phi > \phi 1$. Sedang untuk 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 pemeliharaannya termasuk sederhana. Keuntungan lain bahwa kapasitor-kapasitor ini dapat dipasang pada tiang penyangga atau dinding bilamana tempat dilantai tidak tersedia.⁸

2.11 Motor Listrik

Motor listrik termasuk kedalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll di industri dan digunakan juga pada peralatan listrik rumah tangga (seperti: mixer, bor listrik, kipas angin).

Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri, sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri. Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor listrik secara umum sama (Gambar 1),

yaitu: Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.

- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah

⁸ Neidle, Michael. *Teknologi Instalasi Listrik*. 1991. Hal 208



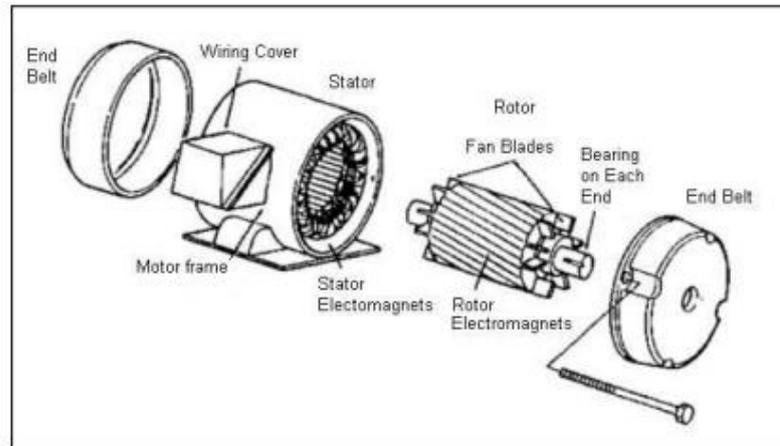
- lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torsi untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan
- tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

2.11.1 Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC.

Komponen Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama:

1. Rotor. Motor induksi menggunakan dua jenis rotor:
 - Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak slots paralel. Batangbatang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.
 - Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga *phase*, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga *phase* digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung yang lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.
2. Stator. Stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slots untuk membawa gulungan tiga *phase*. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat .



Gambar 2.12 Motor Induksi Tiga *Phase*

Motor induksi tiga *phase*. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga *phase* yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik, dan grinder. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan Hp.