

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Umum

Faktor daya ($\cos \phi$) adalah perbandingan antara daya nyata (KW) dengan daya semu (KVA). Sebuah instalasi listrik akan semakin optimum baik dari segi teknis maupun ekonomis. Jika dinilai faktor dayanya mendekati nilai 1.

II.2. Faktor Daya dan Daya Kompleks

Ada unsur perbedaan sudut fasa arus dan tegangan. Jika arus dan tegangan dari persamaan sefasa $\phi = 0^\circ$

Maka persamaan daya menjadi:

$$P = V I \cos \phi = V I [W] \dots\dots\dots \text{II} - 1$$

Untuk:

$$\phi = 60^\circ \quad P = V I \cos (60^\circ) = 0,3 V I [\text{watt}]$$

$$\phi = 90^\circ \quad P = V I \cos (90^\circ) = 0$$

Arus yang mengalir pada sebuah tahanan akan menimbulkan tegangan pada tahanan tersebut sebesar:

$$V_r = I_r \dots\dots\dots \text{II} - 2$$

$$\text{Sehingga: } P = V_r I_m \cos \phi \dots\dots\dots \text{II} - 3$$

Karena tidak adanya beda fasa antara arus dan tegangan pada tahanan, maka sudut $\phi = 0^\circ$. Sehingga:

$$P = V I \quad \dots\dots\dots \text{II} - 4$$

Untuk induktor dan kapasitor, arus yang mengalir pada elemen – elemen ini masing masing akan tertinggal dan terdahulu 90° terhadap tegangan.

$$V_L = V_L j \omega L$$

$$V_C = I_C \left(\frac{-j}{\omega C} \right)$$

Dimana:

$V_L : V_C : I_L : I_C$: adalah besaran – besaran fasor. Daya rata – rata elemen – elemen ini adalah nol.

Tegangan dikalikan dengan arus disebut *daya semu*. Daya rata – rata dibagi daya nyata disebut *faktor daya*. Untuk arus dan tegangan sinusoid, faktor daya dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Faktor daya} = \frac{P}{V I} = \frac{V I \cos \phi}{V I} = \cos \phi \quad \dots\dots\dots \text{II} - 5$$

Dinamakan sudut faktor daya, sudut ini menentukan kondisi terdahulu atau tertinggal tegangan terhadap arus.

Bila sebuah beban diberi tegangan, impedansi dari beban tersebut akan menentukan besar arus dan sudut fasa yang mengalir pada beban tersebut. Faktor daya merupakan petunjuk yang menyatakan sifat suatu beban.

Mislanya:

Faktor daya beban pertama = 1

Faktor daya beban kedua = 0,5

Maka beban kedua akan membutuhkan 2 kali besar arus beban pertama.

Untuk efisiensi dan operasi, diusahakan faktor daya mendekati.

$$S = V_a I_a^{**} \text{ [VA]} \dots\dots\dots \text{ II - 6}$$

Dimana:

S = Bilangan kompleks daya

V_a dan I_a^{**} = Besaran fasor

I_a^{**} = Konjungsi kompleks dari

Jika V_a dan I_a^{**} dinyatakan

$$V_a = V \angle \phi_1$$

$$I_a = I \angle \phi_2$$

Persamaan menjadi:

$$S = V I \cos (\phi_1 - \phi_2) + j V I \sin (\phi_1 - \phi_2) \dots \dots \text{ II - 7}$$

$\phi_1 - \phi_2$ adalah sudut yang menyatakan besarnya sudut tegangan yang mendahului arus. Bilangan nyata dari bilangan kompleks S didefinisikan sebagai daya rata – rata. Karena itu daya rata – rata disebut daya nyata atau disebut daya.

Bagian imajiner dari bilangan kompleks S disebut daya reaktif dan diberi simbol Q dengan satuan VAR. daya nyata terdapat pada tahanan, daya



reaktif terdapat pada sebuah reaktansi. Daya reaktif positif akan terdapat pada induktor dengan arus tertinggal terdapat tegangan. Maka daya reaktif negatif terdapat pada sebuah kapasitor.

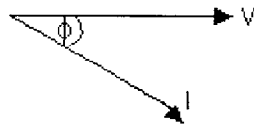
II.3. Daya Semu (S)

$$V I = \text{Daya Semu (S)} = \text{KVA atau VA}$$

Daya reaktif (Q) $V I \sin \phi$ dalam VAR (daya reaktif), KVAR (kilo Var).

II.4. Segitiga Daya

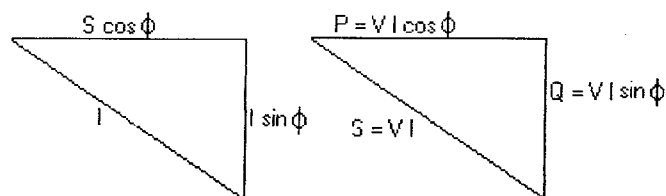
Rangkaian Induktif



Arus lagging yang (tertinggal) terhadap tegangan

V = sebagai referensi

Bahan Induktif



Daya rata – rata : $P = V I \cos \phi$ → Daya aktif (KW) $P = \sqrt{3} U I \cos \phi$

Daya semu : $S = V I$ → (KVA) $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

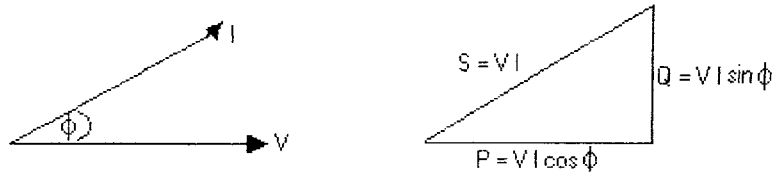
Daya reaktif : $Q = V I \sin \phi$ → (KVAR) $Q = \sqrt{3} U I \sin \phi$

Dimana:

U = tegangan antar fasa

I = Arus Jaringan

II.5. Daya Kapasitif



Daya pada bilangan kompleks: tiga (3) sisi

$$S, P, Q = V I^{**}$$

Hasil perkalian bilangan kompleks:

$V I^{**}$ disebut kompleks power = S

Bagian nyata = harga rata – rata = P

Bagian imajiner = daya reaktif = Q

Pada:

$$V = V e^{i\alpha}$$

$$I = V e^{i(\alpha+\phi)}$$

$$S = V I^{**}$$

$$= V e^{i\alpha} I e^{i(\alpha+\phi)}$$

$$= V I e^I$$

$$= V I \cos \phi - j V I \sin \phi$$

$$S = P - j Q$$

II.6. Besar Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya (Cos ϕ)

Ukuran kapasitor untuk perbaikan faktor daya sistem pada titik-titik tertentu dapat dihitung dengan bantuan komputer. Perhitungan secara manual dapat dilakukan untuk sistem distribusi yang relatif kecil, KVAR kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya dari $\cos\phi_e$ sampai dengan $\cos\phi_d$ dipakai persamaan berikut:

$$KVAR = KW (\tan \phi_e - \tan \phi_d) \dots\dots\dots II - 8$$

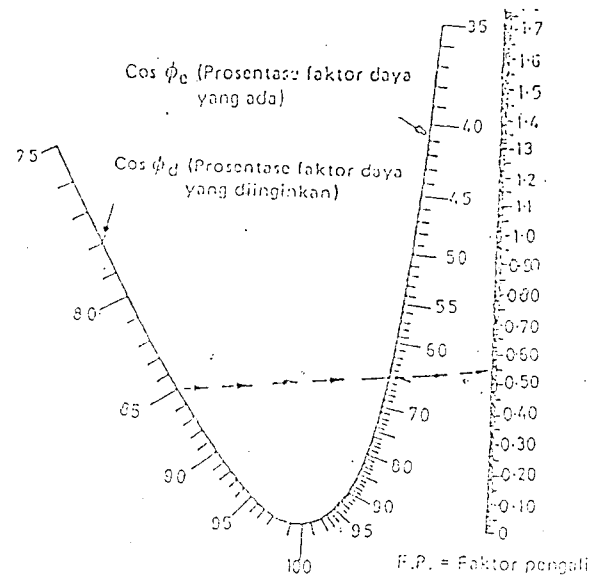
Atau

$$KVAR = KW \times MF \dots\dots\dots II - 9$$

Dimana: MF = faktor pengali

Persamaan ini dapat diselesaikan dengan menggunakan Nomogram pada gambar 2.1. dengan bantuan nomogram ini faktor pengali untuk setiap perbaikan faktor daya dapat dibaca langsung. KVAR kapasitor yang dibutuhkan untuk perbaikan ini berupa faktor pengali dan KW.

Untuk mendapatkan besarnya kapasitor untuk perbaikan faktor daya dari beban 100 KW dari 65 % sampai 85 %. Penyetelan 65 % dan 85 % pada skala yang bersangkutan dan diperpanjang sampai skala faktor pengali untuk mendapatkan faktor pengali 0,55 maka besar kapasitor yang dibutuhkan adalah $100 \times 0,55 = 55,0$. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar: 2.1 Nomogram untuk menghitung faktor pengali yang dibutuhkan untuk menentukan KVAR kapasitor, faktor pengali = $\tan \phi_e - \tan \phi_d$.

II.7. Kapasitor Paralel Dalam Sistem

Permasalahan kapasitor paralel sangat penting untuk perendaan reaktif dari sebuah sistem daya. Kapasitor – kapasitor dalam sistem disusun dalam bentuk rangkaian penyimpanan dan dapat dihubungkan dalam sembarang bentuk seperti: bentuk bintang ditanahkan, bintang yang tidak ditanahkan, bintang ganda netral melayang, bintang ganda netral ditanahkan delta dan sebagainya.

Rangkaian penyimpanan yang dihubungkan secara delta dipakai dengan satu bagian seri tiap fasa dan dipakai sampai 6,6 KV untuk tegangan lebih dipakai sambungan bintang. Untuk rangkaian penyimpanan sambungan bintang pada umumnya netral kapasitor hanya ditanahkan bila sistem atau transformator substation ditanahkan secara efektif.

Sebagai contoh, rangkaian yang dihubungkan secara bintang dan ditanahkan dapat dibuat dengan satu bagian seri menggunakan unit 19 KV dan

fasa pembatas arus. Dengan menggunakan dua kelompok seri unit 9,5 KV tiap fasa, arus kesalahan yang ada bila satu unit mengalami hubung singkat, akan berkurang sehingga dapat dipakai fasa lepasan. Setiap tegangan lebih dapat memanasakan unit dan menurunkan masa pakai. Banyaknya unit minimum yang dibutuhkan untuk membatasi menaikkan tegangan sampai 10 %, dapat dihitung dari persamaan berikut untuk kumpulan bintang yang ditanahkan.

$$\text{Persamaan: } N = 10 \left(1 - \frac{1}{S} \right) - \frac{1}{S} + 1 \dots \dots \dots \text{ II} - 10$$

Dimana:

N = Jumlah minimum unit paralel dalam satu bagian seri

S = Jumlah bagian seri dalam setiap fasa.

Sebaliknya dipakai dua tingkat diteksi pada rangkaian penyimpanan yang besar. Satu disetel untuk bekerja bila satu unit hilang dan relai kedua untuk menggerakkan pemutus rangkaian penyimpanan bila tingkat tegangan lebih yang diizinkan biasanya (10 %) dilampaui.

II.8. Pemasangan Kapasitor Paralel Tegangan Tinggi

Bila sejumlah kapsitor penyimpanan dipakai secara paralel, mungkin diperlukan penggunaan reaktansi seri untuk membatasi arus lonjakan. Karena kapasitor penyimpanan terhadap terhubung pada saat yang sama. Pada saat pemasangan hubungan keadaan paling berat adalah pada saat satu kapasitor penyimpanan telah terhubung dan kapasitor kedua yang dihubungkan dengan dua kutub dari pemutus rangkaian kedua telah tertutup dan kutub ketiga dalam

langkah untuk menutup. Kapasitor yang dihubungkan belakangan juga mendapat catu daya energi yang tersimpan di rangkaian yang lain karenanya dapat melampaui batas aman. Dimisalkan keadaan terburuk pada saat di hubungkan, harga reaktansi peredam dalam henry dinyatakan dengan:

$$L = \frac{Q_2}{Q_1} \left(\frac{U_{11}^2}{Q_1 + Q_2} \right) \times 1,27 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots \text{II} - 11$$

Dimana:

Q_1 = Kemampuan kapasitor menyimpan yang akan dihubungkan dalam MVAR

Q_2 = Kemampuan kapasitor penyimpanan yang telah dihubungkan dalam MVAR

U_{11} = Batas tegangan dalam KV

Arus lonjakan

Puncak maksimum arus lonjakan dapat dinyatakan dengan rumus pendekatan:

$$I_{\text{maks}} = I_{c1} \left(1 + \frac{X_{c1}}{X_{L1}} \right) \quad \dots\dots\dots \text{II} - 12$$

Dimana:

I_{c1} = Batas arus kapasitor (gelombang dasar) rms

X_{c1} = Reaktansi kapasitor (gelombang dasar)

X_{L1} = Reaktansi induktif keseluruhan sistem termasuk kapasitor penyimpanan (gelombang dasar).

Arus lonjakan terdiri dari komponen mantap (*steady*) dari kuat isolasi pada frekwensi catu osilasi bebas dengan frekwensi.

Frekwensi arus lonjakan

$$F_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} - \frac{R^2}{4L_1^2}} \quad \dots\dots\dots \text{II - 13}$$

Suku yang diabaikan, karena R sangat kecil bila dibandingkan L_1 maka:

$$F_0 \approx \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} \quad \dots\dots\dots \text{II - 14}$$

Untuk kapasitor paralel yang telah diisi, arus lonjakan ditentukan oleh pembuang sesaat dari kapasitor yang telah diisi dan karena impedansi antara kapasitor yang telah diisi dan kapasitor yang akan diisi mungkin kecil, dapat mengakibatkan arus lonjakan puncak yang tinggi.

Arus puncak maksimum dinyatakan:

$$I_{\text{maks}} = \sqrt{2 E_{nL}} \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} \quad \dots\dots\dots \text{II - 15}$$

Dimana:

C_1 = Kapasitansi ekivalen rangkaian μF

L_1 = Induktansi ekivalen antara kapasitor yang telah diisi dan kapasitor yang akan diisi dalam H

E_{nL} = Tegangan dari saluran fasa ke netral.

Publikasi IEC 70 untuk kapasitor menyerankan agar arus lonjakan maksimum tidak lebih dari 100 kali batas arus rms kapasitor. Oleh karena itu pemasangan kapasitor penyimpan paralel dengan reaktansi seri. Kapasitor ini harus mempunyai batas tegangan sama dengan reaktansi. Untuk membatasi arus lonjakan dan mencegah tegangan harmonik yang berlebihan umumnya dipasang

reaktansi seri perlengkapan berupa alat pembuang penting untuk membatasi tegangan sisa kurang dari 50 V sesudah kapasitor di putus hubungannya.

II.9. Pemasangan Kapasitor Tegangan Rendah

Kapasitor tegangan rendah dipasang pada sistem saluran distribusi masing – masing atau motor – motor para langganan untuk mengurangi kerugian sistem dan memperbaiki tegangan maupun kemampuan sistem. Sebagai keuntungan tambahan bagi konsumen antara lain turunnya KVA dibutuhkan daya dan tegangan yang stabil.

Kapasitor tegangan rendah dalam pelayanan tiap – tiap langganan umumnya disukai karena alasan – alasan sebagai berikut:

- a. Dapat diatur dengan roda pengatur yang mengatur motor
- b. Bila kapasitor – kapasitor dihubungkan pada sambungan motor tegangan rendah, arus beban reaktif yang mengalir lewat saluran tegangan tinggi dan rendah akan memperbaiki faktor daya kedua ujung. Jadi kerugian daya disalurkan tegangan tinggi dan tegangan rendah juga berkurang
- c. Kapasitor langsung dihubungkan ke motor yang bekerja bila motor dipakai dan dilepas secara otomatis
- d. Pemasangan kapasitor disubstation atau saluran tegangan rendah membutuhkan penggunaan swith untuk menggunakan kapasitor pada periode waktu beban puncak dan melepas kapasitor pada saat beban rendah, memerlukan roda pemindahan yang mahal.

- e. Dengan menggabungkan sambungan pelayanan tambahan, yang merupakan pemasangan kapasitor umumnya, maka tempat kapasitor harus selalu diubah – ubah untuk mendapatkan hasil yang sebaik – baiknya.