

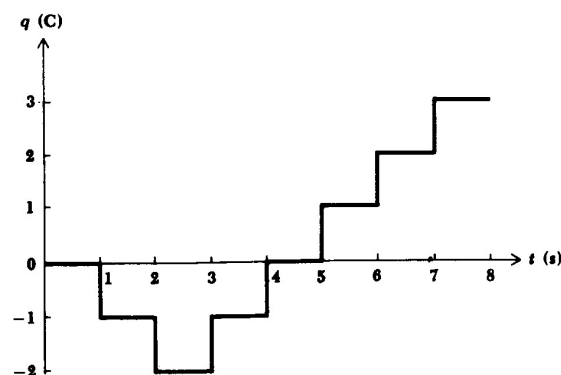
OHT-3

mempunyai besar dan arah yang diasumsikan sesuai dengannya. Arus tersebut adalah ukuran dimana muatan bergerak melalui sebuah titik tertentu persatuan waktu dalam arah tertentu.

Kita tinjau sebuah jalur tertentu (discrete path) yang dapat dilalui arus dan membuat sejumlah pertanyaan mengenai cara muatan bergerak sepanjang timah hitam atau konduktor. Sebagai pengamat pertama, kita akan menempatkan se-orang mahasiswa yang sangat kecil pada sebuah titik A di jalan tersebut dan me-mintanya untuk mencatat banyaknya muatan yang melewatinya sejak waktu referensi $t = 0$. Kita minta supaya dia mengambil data setiap detik dan kemudian kita memberikan Instruktursi-Instruktursi berikut:

1. Arah positif dipilih sebelah kanan.
2. Jika muatan positif melewatimu di dalam arah positif, tambah besarnya muatan.
3. Jika muatan positif bergerak di dalam arah negatif, kurangi besarnya muatan.
4. Jika muatan negatif bergerak di dalam arah positif, kurangkanlah juga besarnya muatan.
5. Jika muatan negatif bergerak di dalam arah negatif, tambahkan besarnya muatan.

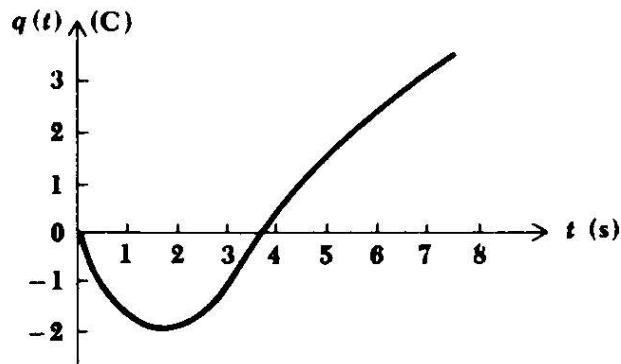
Pengamat tersebut mencatat selama 8 s, dan dia memberikan kita grafik seperti di dalam Gambar 3, di mana q adalah muatan total yang melewatinya sejak waktu $t = 0$.



Gambar 3, Grafik daripada muatan total q yang melalui sebuah titik referensi sejak waktu $t = 0$. Muatan tersebut diukur pada interval 1- s.

OHT-4

Kita sekarang menyempurnakan data dengan lebih sering melakukan pengukuran, dan hal ini menghendaki bahwa elemen-elemen muatan yang lebih kecil harus diperhitungkan. Limitnya adalah jumlah muatan yang diangkut oleh sebuah elektron. Catatan grafiknya sekarang muncul sebagai sebuah kurva yang mulus, gambar 4.



Gambar 4 : Grafik yang menggambarkan nilai sesaat (instantaneous value) daripada muatan total $q(t)$ yang melalui sebuah titik referensi sejak waktu $t=0$

Dari grafik diatas telah terlihat dengan jelas bentuk gelombang arus bolak balik. Jika pengukuran dilakukan terus menerus maka akan muncul gelombang sinus. Hal yang menyebabkan mengapa bentuk gelombang sinus seperti gambar diatas sangat penting karena :

1. Terdapat banyak sekali gejala di alam ini yang dapat digambarkan sebagai gelombang berbentuk sinus.
2. Karena mudah pembangkitannya, maka arus dan tegangan dalam pembangkitan tenaga listrik berbentuk sinus.
3. Sesuai uraian deret Fourier, apparenta gelombang periodik yang lain, dengan syarat tertentu dapat diuraikan ke dalam penjumlahan dari gelombang-gelombang sinus dengan frekuensi yang bermacam-macam.

Arus dan tegangan sesaat dari suatu bentuk sinusoid dalam suatu periode waktu tertentu dapat dijelaskan dalam persamaan :

$$i(t) = I_m \cos (\omega t + \phi)$$

$$v(t) = V_m \cos (\omega t)$$

dengan

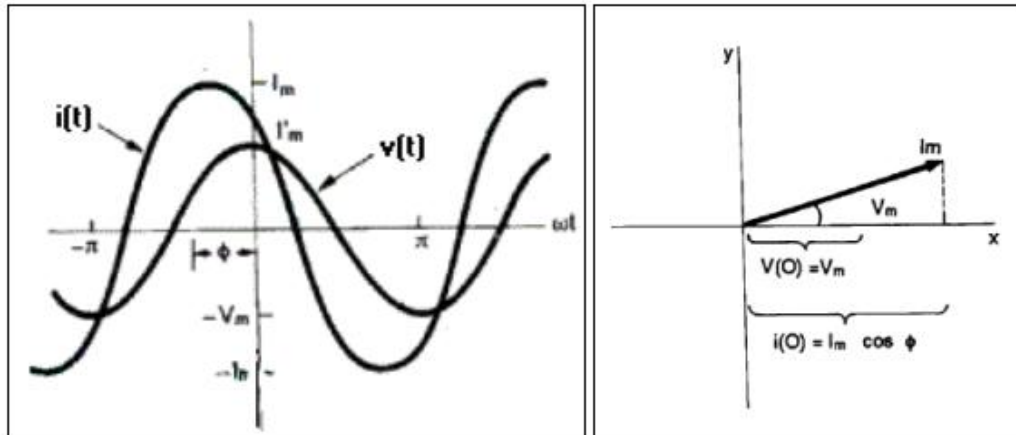
I_m = arus maksimum dalam ampere

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

ϕ = sudut phase

V_m = tegangan maksimum dalam volt.

Kurva kedua persamaan diatas terlihat pada gambar berikut :



Bentuk sinusoid dan fasor pada periode waktu tertentu

Dari vektor I_m dan V_m pada salib sumbu x dan y dapat ditentukan besarnya $v(t)$ dan $i(t)$ untuk $t=0$ dengan cara memproyeksi vektor-vektor tersebut pada sumbu x. Jika vektor-vektor I_m dan V_m berputar berlawanan arah jarum jam dan memiliki kecepatan sudut yang sama, maka harga sesaat arus dan tegangan dari suatu rangkaian dapat dihitung. I_m dan V_m pada gambar diatas adalah fasor-fasor. Fasor tegangan dan arus ditulis sebagai

$$\text{Tegangan} = V \angle \phi$$

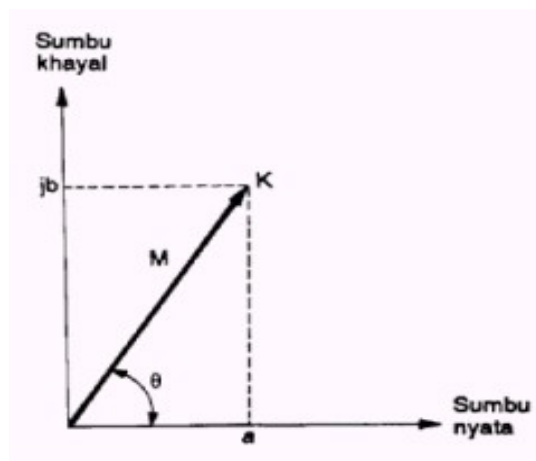
$$\text{Arus} = I \angle \alpha$$

Dengan I dan V adalah harga RMS (root mean square). Jika V_m adalah harga tegangan maksimum, maka harga RMS tegangan tersebut adalah

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Fasor diagram

Didalam bidang elektroteknik, persoalan yang menyangkut besaran-besaran arus dan tegangan dapat dihitung dengan cara melakukan pengukuran karena besaran tersebut memang nyata ada dalam suatu rangkaian. Namun dalam perhitungan-perhitungan rangkaian, sering persoalan tersebut diselesaikan dengan cara abstraksi dan tidak memilih besaran arus dan tegangan yang nyata. Hal tersebut disebabkan selain untuk memudahkan perhitungan, konsep abstraksi melalui analisa fasor adalah penting dalam pendidikan elektro teknik. Fasor menyatakan informasi dari fungsi waktu ke dalam bidang kompleks yang mengandung informasi tentang amplitudo dan sudut fase. Sesuai pada gambar dibawah :



Bentuk dasar diagram fasor

Fasor Gelombang Sinusoida

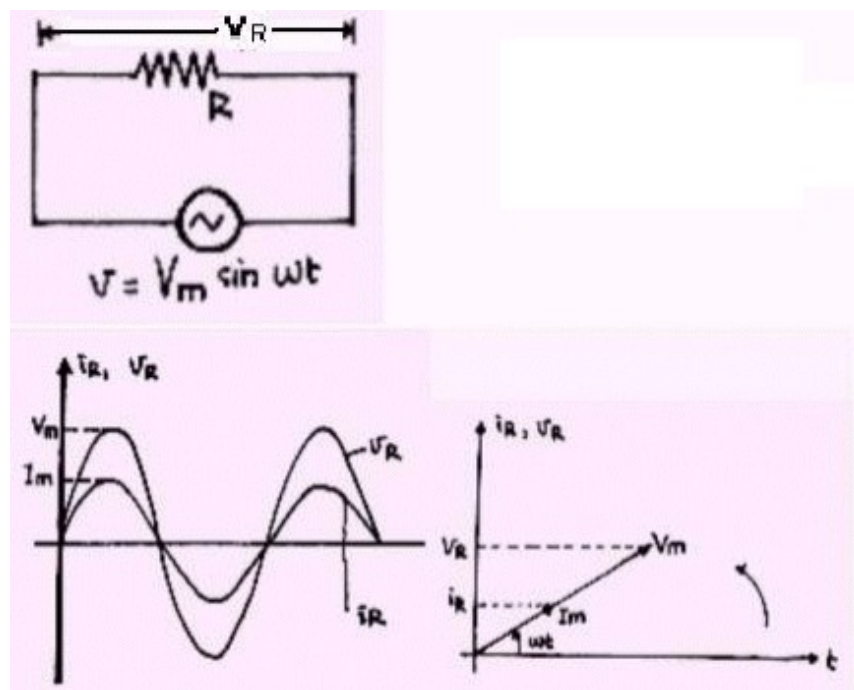
Analisa fasor yang dikaitkan dengan bentuk gelombang sinus akan memungkinkan penggambaran fasor sinusoid yang sangat penting dalam membahas persoalan bidang elektroteknik. Hal yang menyebabkan mengapa bentuk gelombang sinus sangat penting adalah :

1. Terdapat banyak sekali gejala di alam ini yang dapat digambarkan sebagai gelombang berbentuk sinus.
2. Karena mudah pembangkitannya, maka arus dan tegangan dalam pembangkitan tenaga listrik berbentuk sinus.

OHT-7

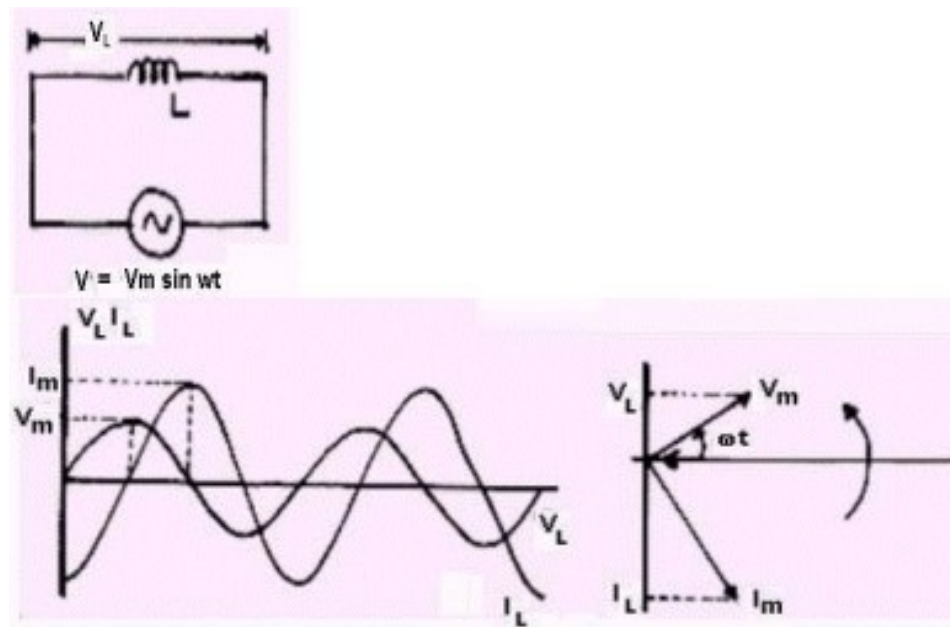
Rangkaian Resistor, kapasitor, induktor gelombang sinus dan vektornya

Rangkaian dengan elemen : resistor, kapasitor dan induktor dengan sumber arus bolak-balik. Jika tegangan yang dihasilkan generator berbentuk sinus maka arus dalam tiap elemen juga berbentuk sinus (tetapi mungkin tidak se-fase). Seperti terlihat pada gambar dibawah :

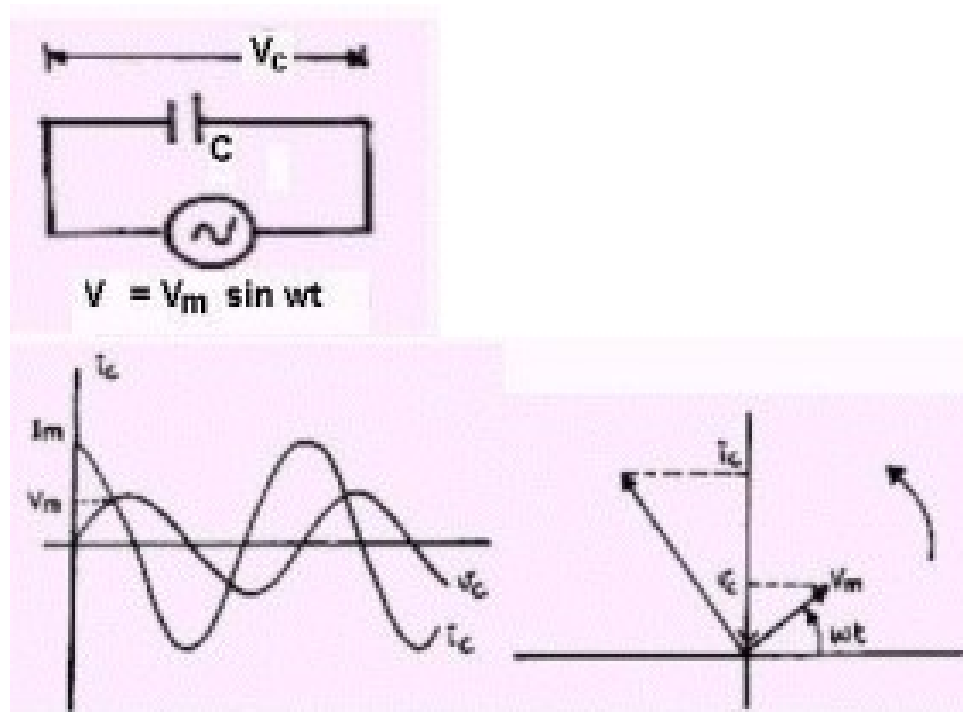


Rangkaian Resistor, gelombang sinus dan vektornya

OHT-8



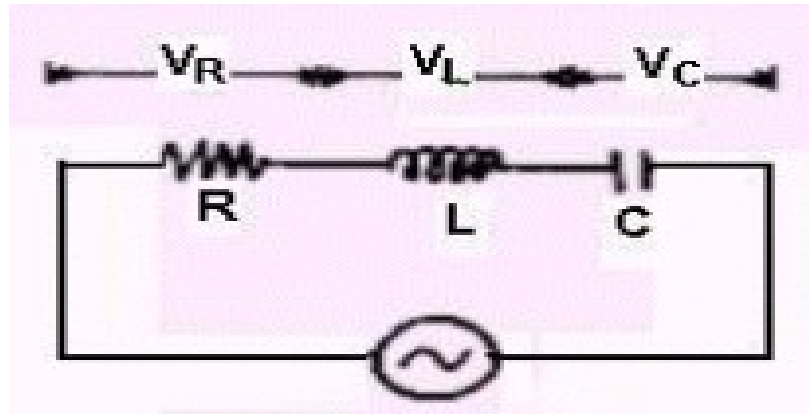
Rangkaian Induktor, gelombang sinus dan vektor



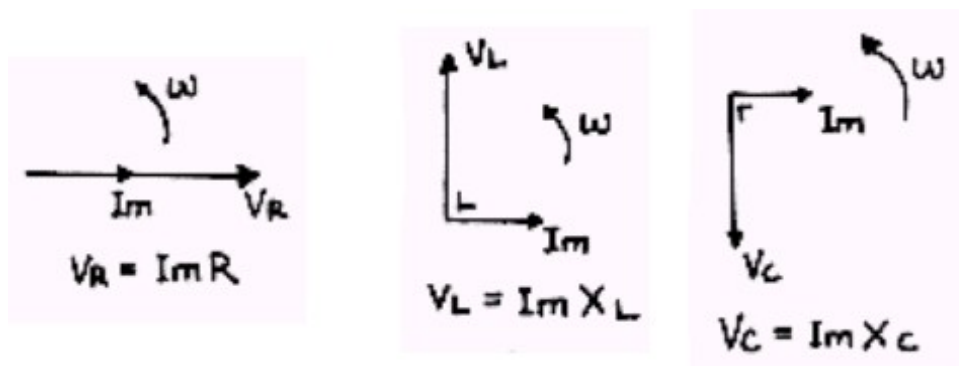
Rangkaian Kapasitor, gelombang sinus dan vektor

Bentuk rangkaian R-L-C seri

Jika R, L dan C dipasang 'seri' maka arus di mana pun akan sama (amplitudo dan fase) pada waktu yang sama menjadi beda tegangan antara tiap elemen mempunyai amplitudo dan fase yang berbeda, sesuai gambar dibawah.



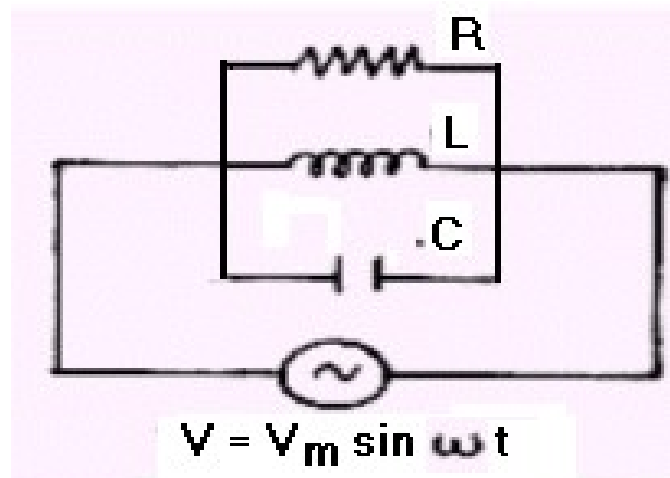
Bentuk rangkaian seri RLC



Kondisi pase pada rangkaian RLC seri

Bentuk rangkaian R-L-C Paralel

Rangkaian Paralel mempunyai beda tegangan pada ujung elemen sama; arus dalam tiap elemen berbeda fase dan amplitudo.



Rangkaian RLC paralel

10. Resonansi

Dalam suatu rangkaian yang mengandung unsur induktif dan kapasitif, terdapat suatu harga frekuensi yang menyebabkan reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif saling menghilangkan, sehingga didapat karakteristik rangkaian sebagai resistor murni. Frekuensi ini disebut dengan frekuensi resonansi. Karena merupakan resistor murni, maka tegangan dan arus rangkaian menjadi sefase.

Resonansi Seri

Pada rangkaian RLC seri arus sefase dengan tegangannya. dalam unsur resistif, mendahului dalam unsur kapasitif dan tertinggal dalam unsur induktif, maka dapat dibuat diagram fasor untuk rangkaian RLC seri seperti diperlihatkan gambar dibawah ini

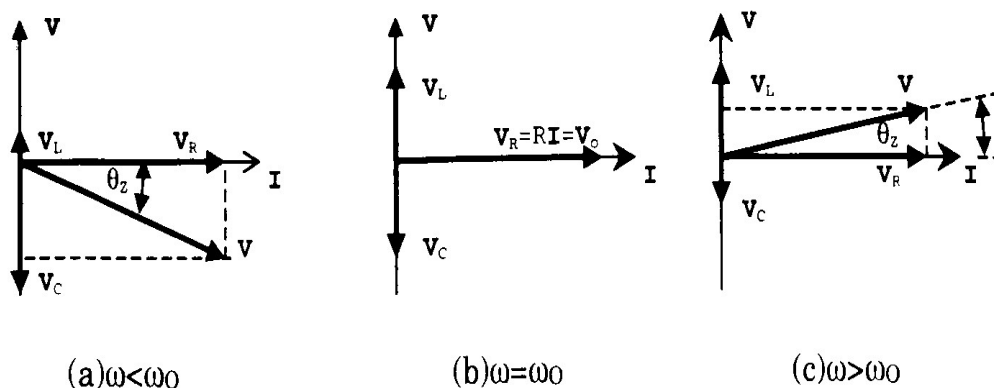


Diagram Fasor untuk rangkaian RLC seri.

Resonansi Paralel.

Pada rangkaian GLC paralel tegangan sefase dengan arusnya dalam unsur resistif, mendahului dalam unsur induktif dan tertinggal dalam unsur kapasitif, maka dapat dibuat interpretasi diagram fasor untuk rangkaian GLC paralel seperti diperlihatkan gambar dibawah ini.

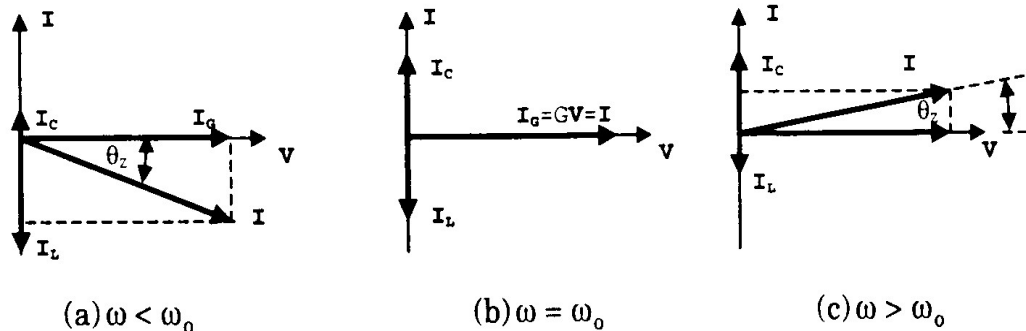
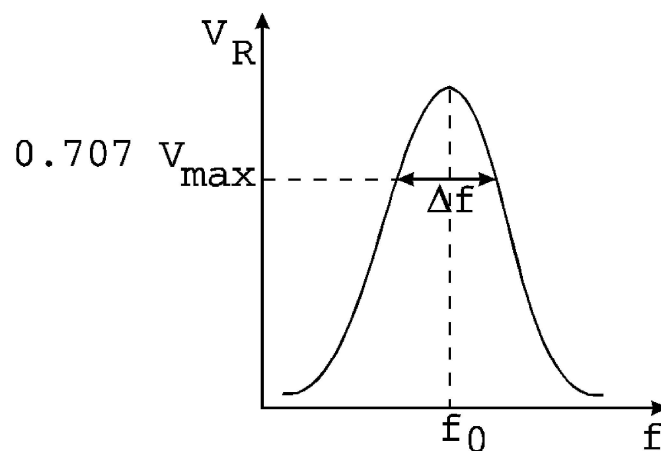


Diagram Fasor untuk rangkaian GLC paralel

Kurva Resonansi

Jika kita mengukur tegangan yang melintasi tahanan, tergantung pada frekuensi kita akan mencapai sebuah kurva resonansi dari rangkaian yang terlihat pada gambar berikut :



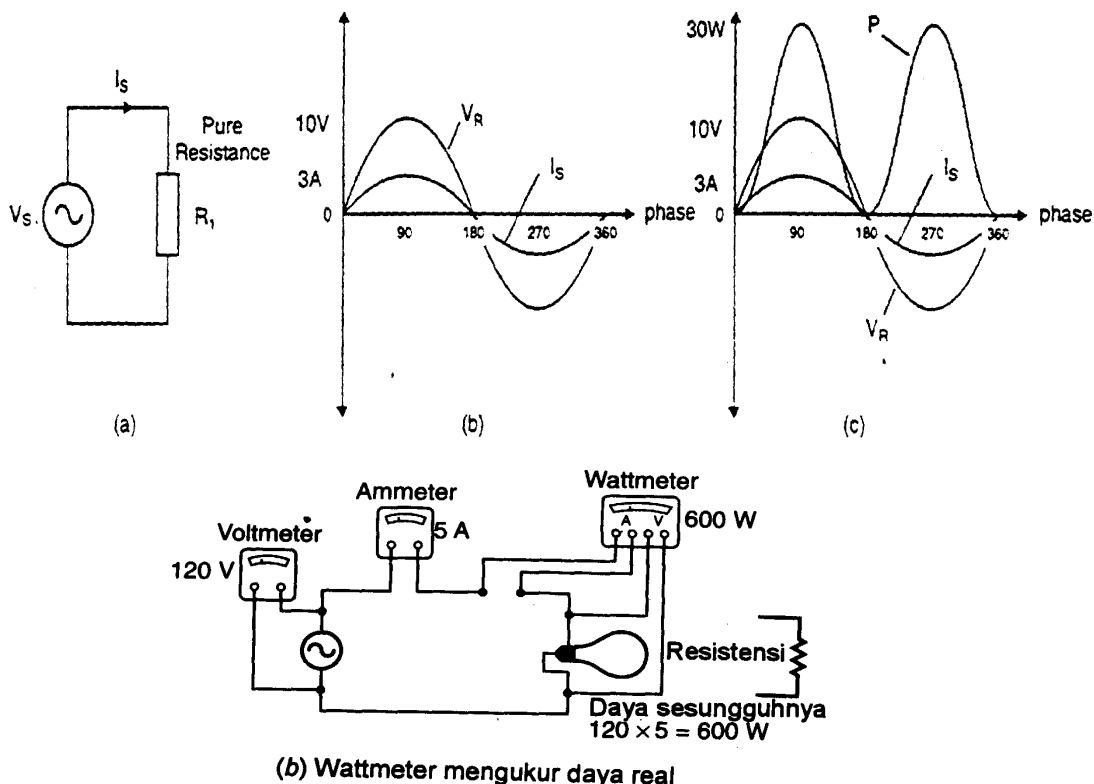
Kurva resonansi

Pengukuran Daya dan Faktor daya

Daya Nyata (True Power)

Daya sesungguhnya (watt) kadang-kadang disebut daya sebenarnya atau daya rata-rata, daya listrik pada rangkaian ac adalah daya listrik yang sesungguhnya diubah menjadi panas atau kerja. Pada rangkaian dc kita belajar bahwa daya dalam watt adalah tegangan dikalikan arus.

Persamaan tersebut adalah benar dan rangkaian ac resistif Pada gambar 3 kita melihat bahwa V dan I selalu berubah pada rangkaian ac. Daya pada rangkaian itu adalah rata-rata dan semua harga sesaat dan tegangan dikalikan dengan harga arus sesaat dan arus yang bersesuaian. Daya yang benar atau pengaruh pemanasan adalah rata-rata dan daya yang diperlihatkan sama dengan hasil kali tegangan (V) dikalikan dengan arus (I). Satuan yang digunakan untuk mengukur daya real adalah watt; daya real diukur dengan wattmeter.

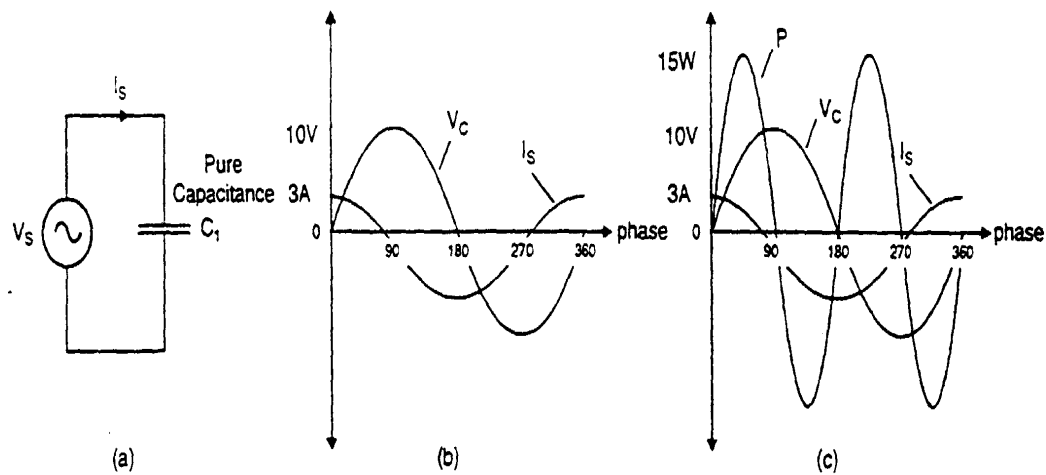


Gambar 3. Kurva daya dan pengukuran untuk rangkaian AC resistif

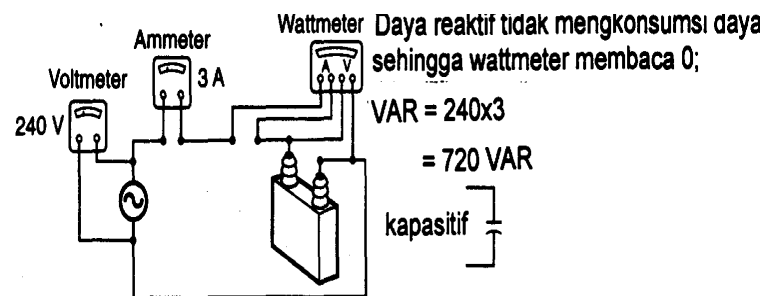
OHT 13**Daya reaktif**

Daya reaktif adalah daya yang kelihatannya menggunakan kapasitor atau induktor. Reaktansi induktif mengambil daya dari sumber untuk membangun medan magnet tetapi kemudian ketika medan magnet turun akan kembali kepada daya sumber. Efek yang terjadi saat tidak ada daya netto dari daya sumber yang dikonsumsi. Dengan cara yang sama reaktansi kapasitif mengambil daya dan sumber untuk mengisi plat-platnya. Selama pengosongan, daya dikembalikan ke sumber. Akibatnya tidak ada daya netto yang dipakai dan sumber. Sebaliknya, tahanan mengubah daya menjadi panas atau motor merubah energi listrik menjadi energi mekanis. Jadi, daya yang digunakan oleh tahanan tidak dikembalikan ke sumber dan ada konsumsi jaring (konversi dan daya). Pada rangkaian kapasitor dan Gambar 4 kita melihat bahwa meskipun voltmeter dan ameter mencatat pembacaan, pembacaan pada wattmeter adalah nol, hal ini menunjukkan bahwa konsumsi daya adalah nol.

Untuk membedakan daya reaktif dari daya real, unit wattmeter tidak digunakan. Sebagai pengganti, volt-ampere reaktif (VAR) digunakan. Hasil kali tegangan kapasitor dan arus digunakan untuk menghitung daya reaktif, dengan VAR sebagai unit pengukuran.



(a) Bentuk gelombang daya AC untuk rangkaian dengan kapasitif murni

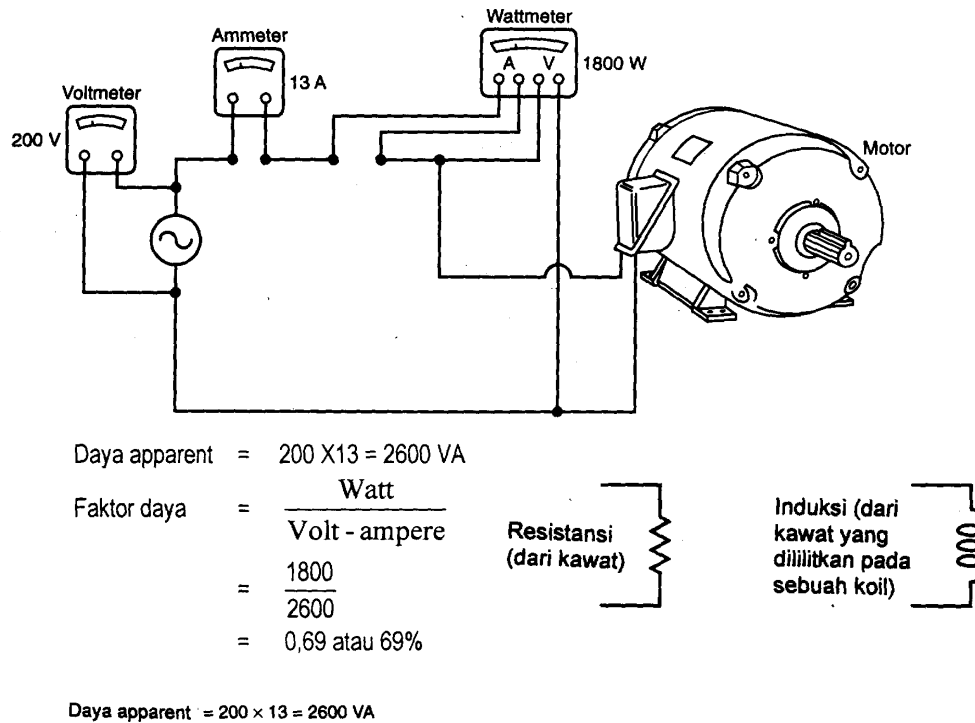


(b) Tidak ada daya reaktif yang diukur oleh wattmeter

Gambar 4. Kurva daya reaktif dan pengukurannya (VA R)

Daya apparent

Daya apparent adalah daya bekal yang digunakan oleh seluruh rangkaian ac. Ini adalah suplai daya total pada rangkaian dari sumber, termasuk daya real dan reaktif. Daya apparent dan daya real untuk rangkaian ac sama hanya ketika seluruh rangkaian terdiri dari tahanan murni (tanpa reaktansi). Pada rangkaian motor yang diperlihatkan pada Gambar 5 daya apparent total yang dipakai pada motor beberapa diubah menjadi panas dan kerja. Dan sisanya disimpan dan dikembalikan ke rangkaian. Daya apparent diukur dalam *volt-ampere* (VA) untuk membedakannya dari daya real.



Gambar 5. Daya apparent (VA) dan faktor daya

Pengukuran, Improvement dan koreksi tentang Faktor daya.

Faktor daya (faktor daya) dari suatu sistem instalasi listrik adalah merupakan perbandingan besarnya daya aktif (W) dengan besarnya daya semu (VA) dari sistem tersebut.

Jadi faktor daya (PF) adalah rasio daya real dengan daya apparent:

$$\text{PF} = \frac{\text{watts}}{\text{Volt - ampere}} = \frac{\text{Daya nyata}}{\text{Daya apparent}}$$

Faktor daya rendah, akan mengakibatkan sistem kerja tidak baik dan mahal-tidak ekonomis. Oleh karena itu faktor daya yang rendah dari suatu sistem haruslah diperbaiki agar menjadi tinggi. Faktor daya rendah disebabkan adanya pemakaian daya reaktif (KVAR) dari beban.

OHT 16

Pemakaian reaktif disebabkan oleh beban instalasi sebagai berikut :

1. motor-motor induksi
2. transformator-transformator
3. reaktor, jala-jala dan sebagainya.

Dari ketiga macam beban tersebut diatas, maka yang paling besar pengaruhnya terhadap turunnya faktor daya adalah motor-motor induksi.

Maka dalam instalasi tenaga, yang banyak menggunakan motor-motor induksi, soal perbaikan faktor daya sangatlah penting.

Adapun cara perbaikan faktor daya untuk instalasi tenaga listrik adalah sebagai berikut :

1. perbaikan faktor daya secara selektif dan preventif, yaitu memperbaiki faktor daya dengan cara memilih motor-motor/alat-alat yang memiliki faktor daya yang tinggi. Adapun usaha yang dilakukan untuk usaha yang ini ialah :
 - a) bila mungkin digunakan motor-motor sinkron sebagai ganti motor induksi, karena motor sinkron memiliki faktor daya yang tinggi.
 - b) dipakai motor-motor induksi yang tinggi faktor dayanya dan rating motor itu harus dipilih yang sesuai dengan rating dari bebannya . motor induksi yang bebannya tidak penuh faktor dayanya rendah . jadi, harus dibatasi pemakaian motor-motor induksi tak berbeban atau tak berbeban penuh.
 - c) pada transformator yang bebannya tidak terlalu penuh, faktor dayanya juga rendah. Oleh karena itu pilihlah rating transformator yang sesuai dengan bebannya. Juga sedapat mungkin harus dibatasi pemakaian transformator yang tidak berbeban penuh.
2. Perbaikan faktor daya dengan menggunakan alat-alat. Apabila suatu usaha selektif dan preventif di atas telah diusahakan semaksimal mungkin, tetapi hasilnya masih belum memuaskan, maka harus dipakai alat-alat untuk memperbaiki faktor daya itu.

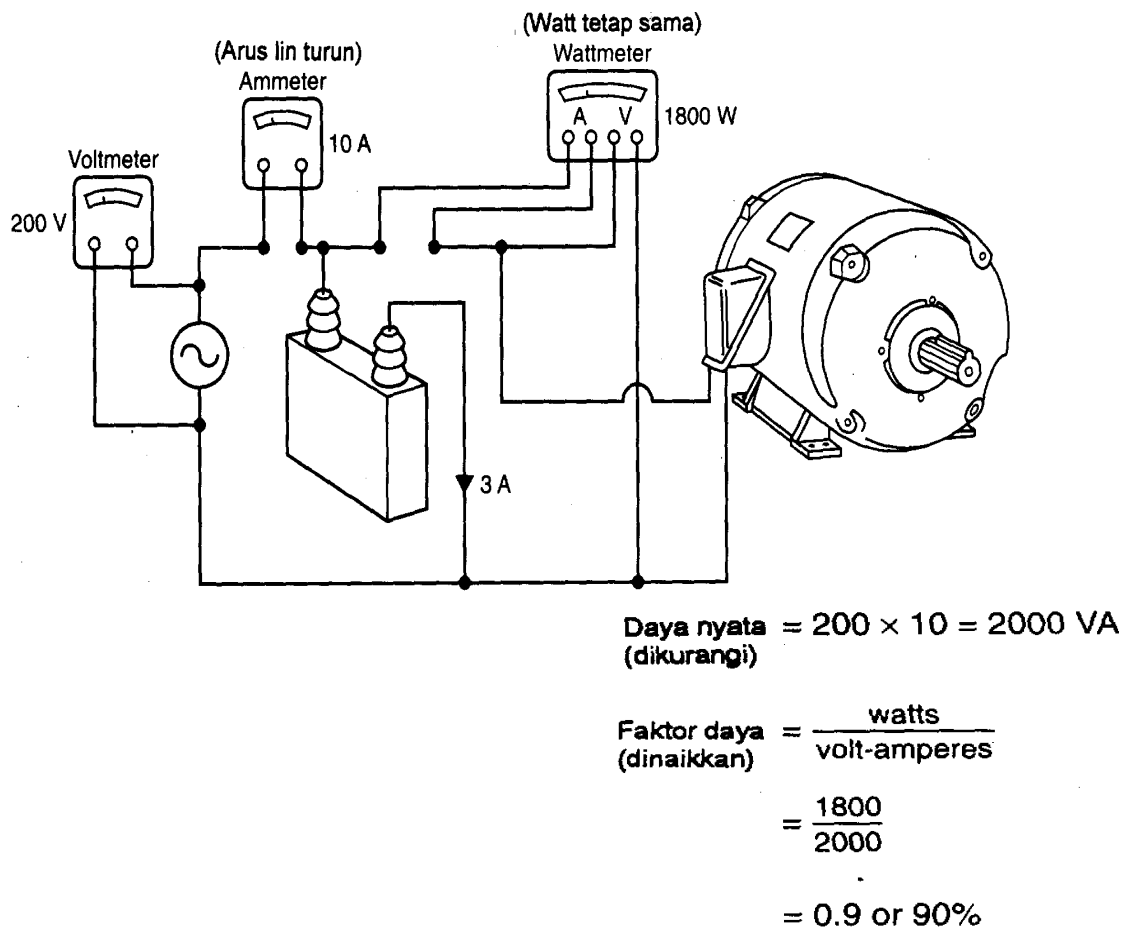
OHT 17

Adapun alat-alat itu antara lain :

- Synchronous Condensor*, yaitu motor sinkron yang tak berbeban yang dipasang paralel dengan beban.
- Shunt capacitor*, yaitu kapasitor yang dipasang paralel dengan beban/sistem.

Harus ada perhitungan ekonomis dalam pemakaian alat-alat untuk memperbaiki faktor daya itu, yaitu harus diperhitungkan apakah harga total (termasuk pemasangannya) dari alat-alat itu dapat mengkompensasi rugi-rugi yang diakibatkan faktor daya yang rendah itu.

Synchronous condensor biasanya dipakai untuk memperbaiki faktor daya pada *substation-substation* yang besar, untuk yang kecil-kecil kurang ekonomis.



Koreksi faktor daya arus kapasitif menunda arus induktif

SISTIM TIGA PHASE DALAM RANGKAIAN AC.

Pengantar

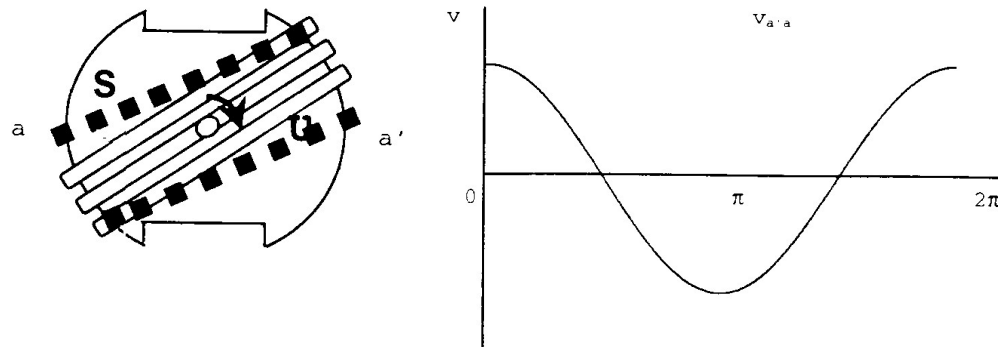
Pembangkitan dan penyaluran energi listrik bolak balik akan lebih efisien jika dilakukan dengan sistem fase-jamak (tiga fase atau lebih). Jaringan atau mesin fase-jamak juga mempunyai berbagai keunggulan dibandingkan Jaringan atau mesin berfase tunggal, misalnya dalam hal daya dan putaran motor. Pada mesin tiga fase, daya tidak berayun dan putaran motor juga lebih stabil.

Pembangkit Tegangan Tiga Fase

Blok diagram pembangkit tegangan bolak-balik (generator ac) sederhana fase tunggal diperlihatkan pada gambar dibawah yang tersusun atas sebuah magnet berputar dan sebuah kumparan tetap. Lilitan kumparan tersebar di sekitar magnet. Tegangan yang dibangkitkan pada setiap lilitan dalam kumparan 4 lilitan ini berselisih fase sedikit dengan lilitan yang bersebelahan. Tegangan pada keempat lilitan adalah seri, sehingga untuk memperoleh tegangan V_{a-a} keempat tegangan lilitan harus dijumlahkan.

Jika lilitan dilanjutkan hingga memutari magnet, maka tegangan yang dihasilkan oleh lilitan terakhir akan berselisih fase sebesar 180° dengan lilitan

pertamanya sehingga akan saling meng-hapuskan. Dengan mengingat alasan ini biasanya lilitan kumparan tersebar tidak lebih dari sepertiga keliling magnet dari dua pertiga sisanya dapat dipakai untuk membangkitkan dua tegangan serupa yang lain (dalam sistem tiga fase)



(a) Generator Satu Fase (b) Tegangan bolak balik yang dibangkitkan

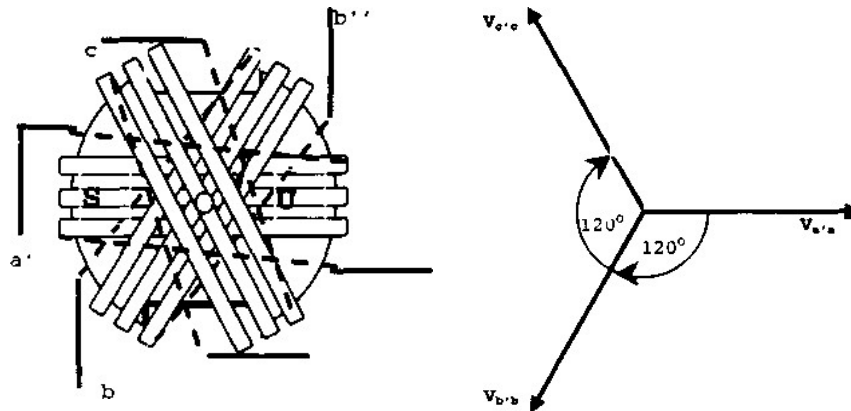
Pembangkit tegangan bolak-balik fase tunggal.

Dengan distribusi lilitan dan bentuk magnet yang tepat dapat dibangkitkan tiga tegangan sinus yang berselisih fase sebesar 120° (tegangan pertama berselisih 120° terhadap tegangan kedua, tegangan kedua berselisih fase 120° terhadap tegangan ketiga dan tegangan ketiga berselisih fase 120° terhadap tegangan pertama), seperti diperlihatkan pada gambar 26. Jika $V_{a'a}$ menyatakan tegangan terminal a' terhadap terminal a , $V_{b'b}$ menyatakan tegangan terminal b' terhadap terminal b dan $V_{c'c}$ menyatakan tegangan terminal c' terhadap terminal c , maka

$$\begin{aligned}
 V_{a'a} &= V \cos \omega t & V_{a'a} &= V \angle 0^\circ \\
 V_{b'b} &= V \cos (\omega t - 120^\circ) & V_{b'b} &= V \angle -120^\circ \\
 V_{c'c} &= V \cos (\omega t - 240^\circ) & V_{c'c} &= V \angle -240^\circ
 \end{aligned}
 \tag{8-1}$$

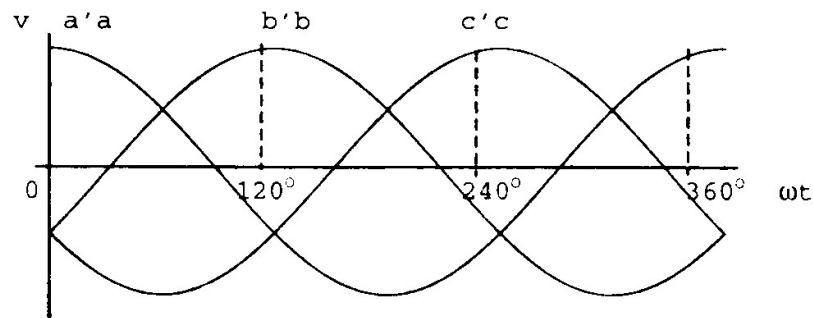
ketiga bagian serupa tersebut pada sistem tiga fase disebut dengan 'fase'. Jika menyangkut tegangan disebut tegangan fase, jika menyangkut arus disebut arus fase. Karena tegangan fase yang mencapai maksimum terlebih dahulu adalah tegangan fase $a'a$, dilanjutkan tegangan fase $b'b$ dari yang terakhir tegangan fase $c'c$, maka dikatakan bahwa

putaran fase adalah abc. Jika tidak disebutkan putaran lain, maka putaran normal adalah abc.



(a) susunan lilitan

(b). Diagram fasor



(c) Gambar ketiga tegangan yang dibangkitkan

Tegangan tiga fase

Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika, penggunaannya dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang

OHT 21

sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan; misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Transformator yang sering digunakan pada dasarnya dibagi menjadi dua jenis, yaitu transformator satu fasa dan transformator tiga fasa.

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban ; untuk memisahkan satu rangkaian dari yang lain ; untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian .

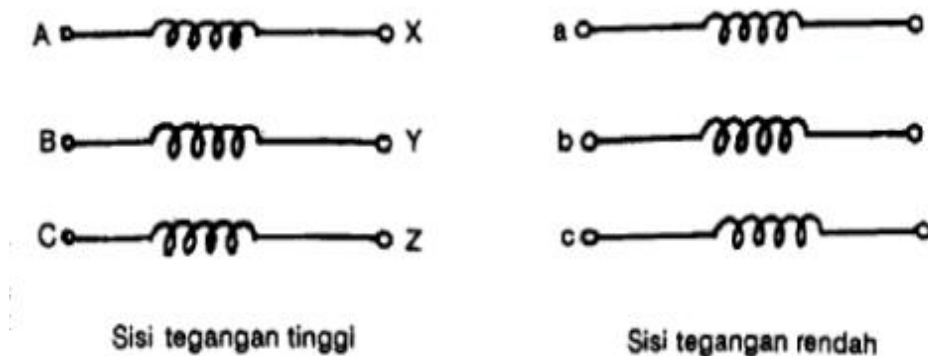
Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder.

Gandengan magnet ini berupa tipe inti dan tipe cangkang.

Hubungan Lilitan Transformator Tiga Phase

Setiap sisi primer atau sisi sekunder transformator tiga fasa dapat dihubungkan menurut tiga cara, yaitu hubungan bintang, hubungan delta dan hubungan zig-zag.

Di dalam praktek hubungan bintang dan hubungan delta paling banyak digunakan. ujung lilitan awal biasanya diberi simbol A, B, dan C sedangkan ujung akhirnya diberi simbol X, Y dan Z untuk sisi tegangan tinggi. Untuk sisi tegangan rendah ujung awal lilitan diberi simbol a, b, dan c dan ujung akhirnya diberi simbol x, y, dan z. perhatikan gambar di bawah



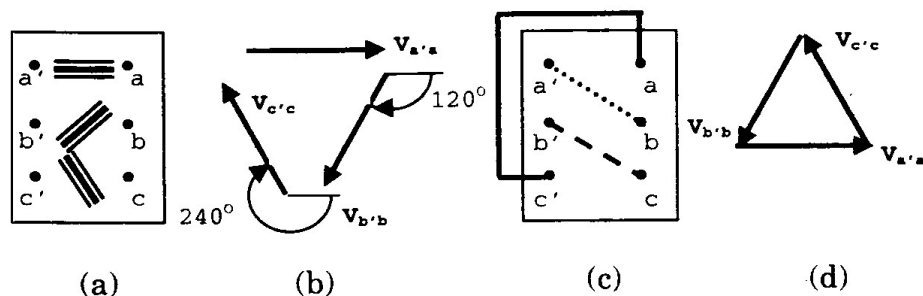
Simbol ujung lilitan pada tegangan rendah dan tinggi

Hubungan Delta (A) dan Hubungan Wye (Y)

Tiga beban satu fase dapat dihubungkan dengan ketiga lilitan generator tiga fase untuk menerima daya listrik dengan cara tidak saling mempengaruhi (*independent*). Sistem tiga fase jaringan listrik PLN juga dapat dirangkai seperti itu, misalnya untuk rumah tangga, satu rumah dihubungkan dengan fase a, rumah lain dengan fase b dan satu rumah lagi dengan fase c. Namun dalam kenyataannya sistem yang diterapkan tidak demikian karena dengan interkoneksi antar fase dalam sistem tiga fase dapat menghemat kawat dan memberikan keuntungan lain.

Ada dua macam interkoneksi yang dapat diterapkan dalam sistem tiga fase yang disebut dengan hubungan delta dan hubungan Y.

Hubungan Delta



Hubungan delta generator tiga fase

Hubungan delta dilakukan dengan menghubungkan terminal-terminal generator tiga fase dengan aturan sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar (c) di atas. Jika diperhatikan hubungan tersebut dapat diketahui bahwa tegangan a'c sama dengan tegangan a'a ditambah tegangan c'c atau dengan notasi fasor

$$V_{a'c} = V_{a'a} + V_{c'c}$$

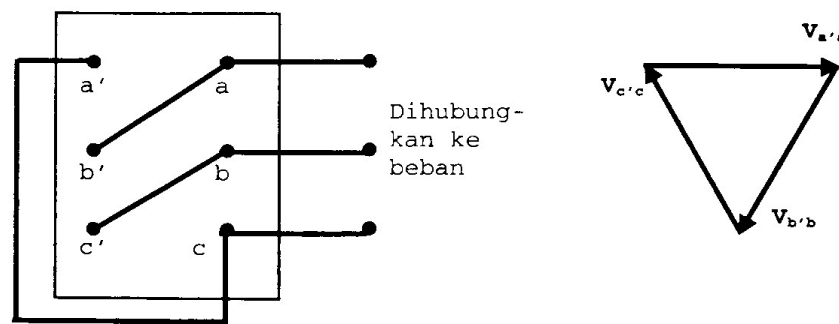
Jika kemudian terminal b' dihubungkan dengan terminal c (dalam gambar (c) di atas dengan garis putus-putus, maka tegangan yang muncul pada terminal a'b adalah:

$$V_{a'b} = V_{a'a} + V_{c'c} + V_{b'b}$$

Atau

$$V_{a'b} = V_{a'a} + V_{b'b} + V_{c'c}$$

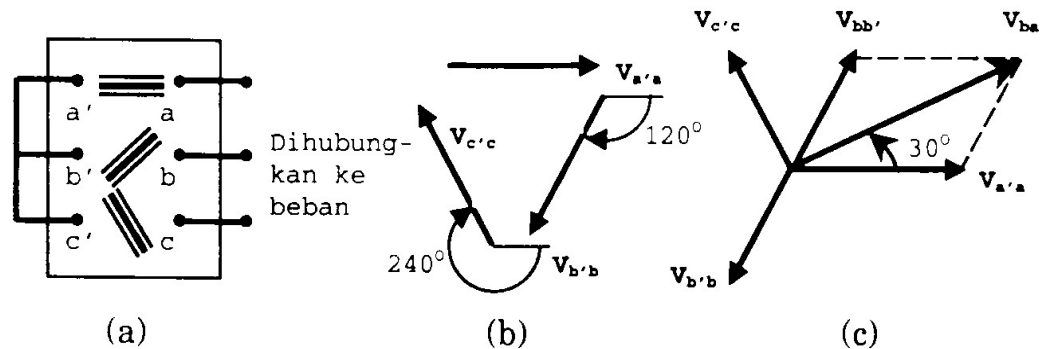
berdasarkan gambar di atas diketahui bahwa jumlah ketiga tegangan setiap saat adalah nol atau $V_{a'b} = 0$. Karena tegangan antara terminal a' dan b sama dengan nol, maka kedua terminal ini dapat dihubungkan (garis titik-titik) dan hasilnya adalah suatu sistem tegangan yang terhubung delta. Gambar di bawah ini menunjukkan variasi delta yang lain.



Hubungan variasi lain dari gambar sebelumnya

Jika pada terminal a , b dan c pada hubungan delta, baik variasi yang pertama maupun variasi yang kedua dihubungkan dengan kawat penghubung maka hubungan ini dapat mencatu tiga beban satu fase. Dengan demikian untuk mencatu daya tiga beban satu fase secara terpisah dalam sistem tiga fase dibutuhkan 6 kawat penghubung maka dalam sistem tiga fase cukup dengan 3 kawat penghubung.

Hubungan Y



Hubungan Y generator tiga fase

Hubungan Y didapatkan dengan menghubungkan terminal-terminal a' , b' dan c' menjadi satu, dan menjadikan terminal-terminal a , b dan c sebagai terminal keluaran. Pada hubungan delta, tegangan antara

terminal keluaran adalah tegangan lilitannya. Pada hubungan Y, berdasarkan gambar di atas, tegangan terminal ba adalah

$$\begin{aligned}
 V_{ba} &= V_{a'a} - V_{b'b} \\
 &= V_{a'a} + V_{b'b} \\
 &= V_{a'a} \angle 0^\circ + V_{a'a} \angle 60^\circ \\
 &= V_{a'a} (1 \angle 0^\circ + 1 \angle 60^\circ) \\
 &= V_{a'a} (\cos 0^\circ + \cos 60^\circ + j \sin 60^\circ) \\
 &= V_{a'a} \left(\frac{3}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\
 &= V_{a'a} \sqrt{\left(\frac{3}{2} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2} \angle \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}/2}{3/2} \\
 &= \sqrt{3} V_{a'a} \angle 30^\circ
 \end{aligned}$$

Atau secara umum

$$V_{\text{saluran}} = \sqrt{3} V_{\text{fase}} \angle 30^\circ$$

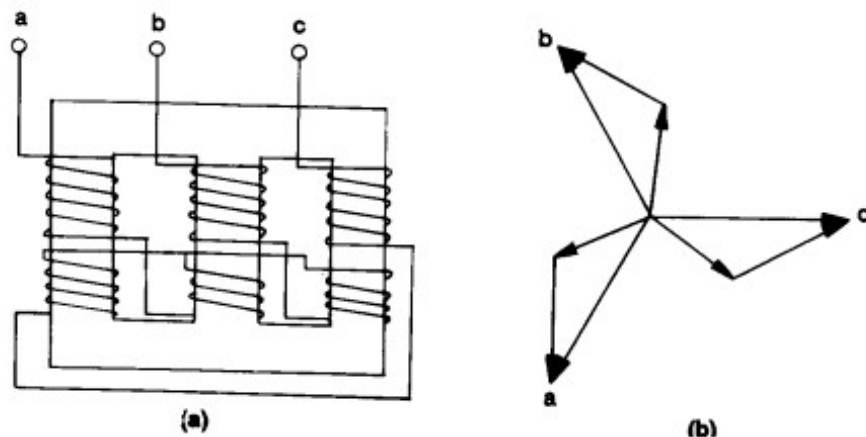
Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada hubungan Y, tegangan saluran ke saluran adalah $\sqrt{3}$ kali tegangan fase yang bergeser sebesar 30° dan arus saluran sama dengan arus fasenya.

Jika terminal-terminal a, b dan c dihubungkan menjadi satu, sedangkan terminal a', b' dan c' sebagai terminal keluaran, maka akan didapat variasi hubungan Y yang lain.

Hubungan Zig-zag

Masing-masing lilitan tiga fase pada sisi tegangan rendah dibagi menjadi

dua bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan.



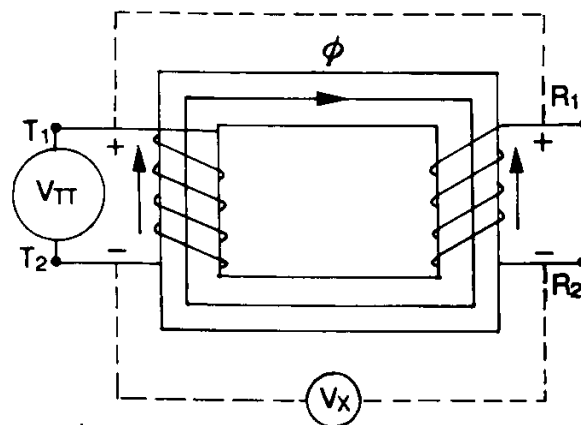
Hubungan lilitan zig – zag

Perhatikan gambar di atas hubungan silang atau zig-zag digunakan untuk keperluan khusus seperti pada transformator distribusi dan transformator converter.

OHT 26

Polarity Transformer

Dengan melihat cara kumparan transformator yang disusun dapat ditentukan arah tegangan induksi yang dibangkitkan serta polaritas transformator tersebut. Bila kumparan primer yang merupakan kumparan tegangan tinggi diberi tegangan, cara melilit seperti pada gambar *Simbol ujung lilitan pada tegangan rendah dan tinggi* diatas akan menghasilkan arah tegangan induksi seperti ditunjukkan oleh masing-masing anak panah. Artinya terminal T1 (+) mempunyai polaritas yang sama dengan terminal R1(+), sedangkan T2(-)



mempunyai polaritas yang sama dengan R2(-). bentuk polaritas seperti diatas dikenal dengan polaritas pengurangan. Bila polaritas T1(+) = R2(+) dan T2(-) = R1(-), berarti cara melilit kumparan tegangan rendah R1 R2 atau sebaliknya seperti gambar dibawah ini merupakan suatu hubungan polaritas penjumlahan

Polaritas transformator

Untuk mengetahui apakah suatu transformator mempunyai polaritas penjumlahan atau pengurangan, dilakukan pengukuran seperti berikut :

Berilah masukan tegangan pada kumparan tegangan tinggi .

Ukurlah tegangan terminal tersebut. (V_{TT})

Hubungkan terminal T1 dengan R1

Ukurlah tegangan antara terminal T2 dengan R2 (V_x).

Maka bila : $V_x < V_{TT}$ disebut polaritas pengurangan

OHT 27

$V_x > V_{TT}$ disebut polaritas penjumlahan .

Kelompok Hubungan

Dalam menentukan kelompok hubungan diambil beberapa patokan sebagai berikut :

Notasi untuk hubungan delta, bintang dan hubungan zig-zag, masing-masing adalah D, Y dan Z untuk sisi tegangan tinggi dan d, y dan z untuk sisi tegangan rendah .

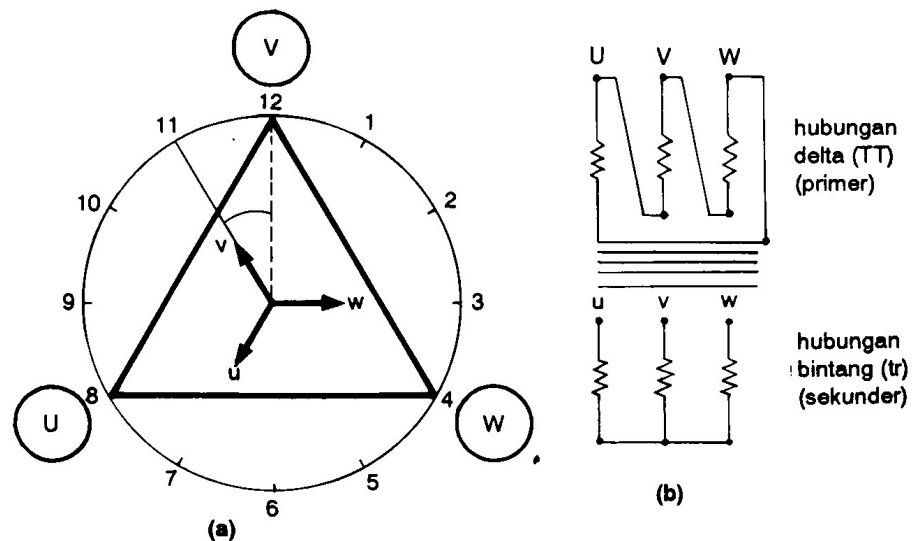
Untuk urutan fase, dipakai notasi U, V, W untuk sisi tegangan tinggi dan u, v, w untuk sisi tegangan rendah.

Tegangan primer dianggap sebagai tegangan tinggi dan tegangan sekunder sebagai tegangan rendah.

Angka jam menyatakan bagaimana letak sisi kumparan tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah .

Jarum jam selalu dibuat selalu menunjuk angka 12 dan dibuat berimpit (dicocokkan) dengan vektor fase VL tegangan tinggi line to line .

Bergantung pada perbedaan fasenya, vektor fase tegangan rendah (u,v,w) menunjukkan arah jarum jam pendek.



Penentuan posisi tegangan tinggi dan rendah

OHT 28

Sudut antara jarum jam panjang dan pendek adalah pergeseran antara vektor fase V dan v.

Dengan melihat contoh gambar 33 dan memperhatikan patokan yang telah diberikan diatas, diketahui bahwa perbedaan fase pada transformator mempunyai kelompok hubungan D_{y11}

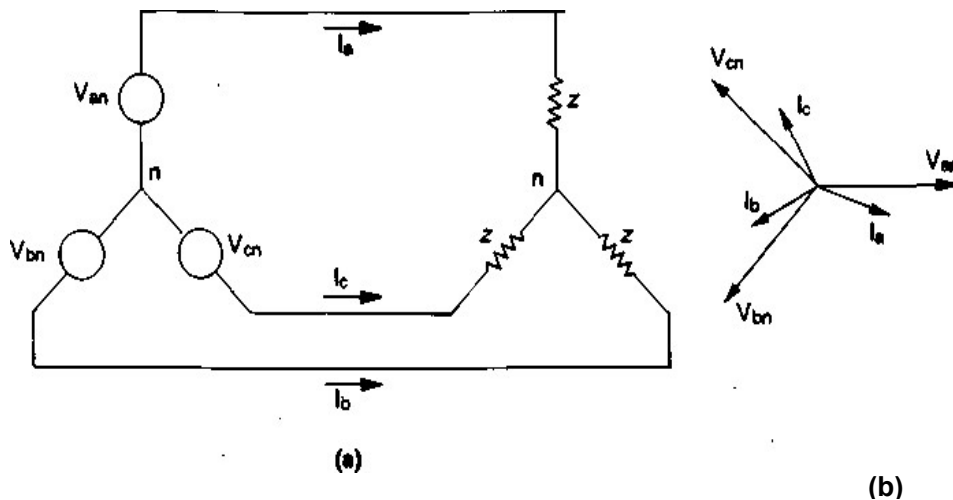
Angka jam	Kelompok hubungan	TT Tegangan Tinggi	tr Tegangan rendah	Hubungan lilitan TT	Hubungan lilitan tr	Perbandingan lilitan a
0	Dd0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz0					$\frac{2N_1}{3N_2}$
5	Dy5					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd5					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz5					$\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$
6	Dd6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz6					$\frac{2N_1}{3N_2}$
11	Dy11					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd11					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz11					$\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$

Dalam tabel diatas ditunjukkan beberapa kelompok hubungan transformator yang lazim digunakan, sesuai dengan normalisasi pabrik (VDE 0532)

OHT 29

Pengukuran Arus dan Tegangan pada Tiga Phase rangkaian.

Apabila sumber mensuplai sebuah beban seimbang, maka arus yang mengalir pada masing-masing penghantar akan memiliki besar yang sama dan berbeda sudut fase sebesar 120° satu sama lain. Arus-arus ini disebut arus seimbang. Gambar di bawah memperlihatkan sebuah rangkaian sederhana dan diagram fasor sebuah sistem seimbang.

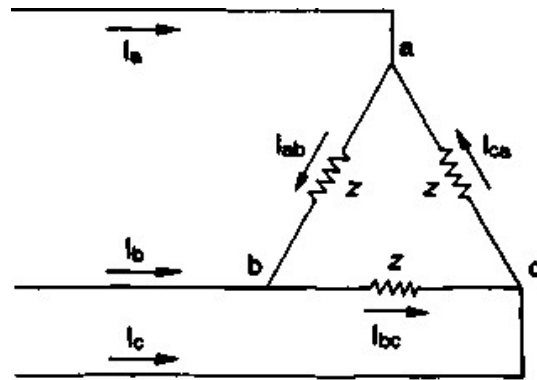
**Rangkaian sederhana dan diagram fasor sistem seimbang**

Beban pada gambar di atas adalah terhubung secara bintang (Y), selain hubungan bintang ini masih terdapat satu buah hubungan lain untuk beban yang seimbang yaitu hubungan delta (Δ) seperti digambarkan pada gambar di bawah ini. Tegangan pada hubungan delta ini adalah tegangan kawat ke kawat. Hubungan antara arus kawat dengan arus yang mengalir pada beban dapat dijelaskan dengan rumus berikut :

$$I_a = I_{ab} + I_{ac} = I_{ab} - I_{ca}$$

$$I_b = I_{bc} - I_{ab}$$

$$I_c = I_{ca} - I_{bc}$$



Hubungan delta

Hubungan antara arus kawat pada hubungan delta untuk urutan phase abc dan acb dapat dijelaskan melalui persamaan-persamaan dibawah ini :

$$I_a = I_{ab} \sqrt{3} \angle 30^\circ$$

$$I_b = I_{bc} \sqrt{3} \angle 30^\circ$$

$$I_c = I_{ca} \sqrt{3} \angle 30^\circ$$

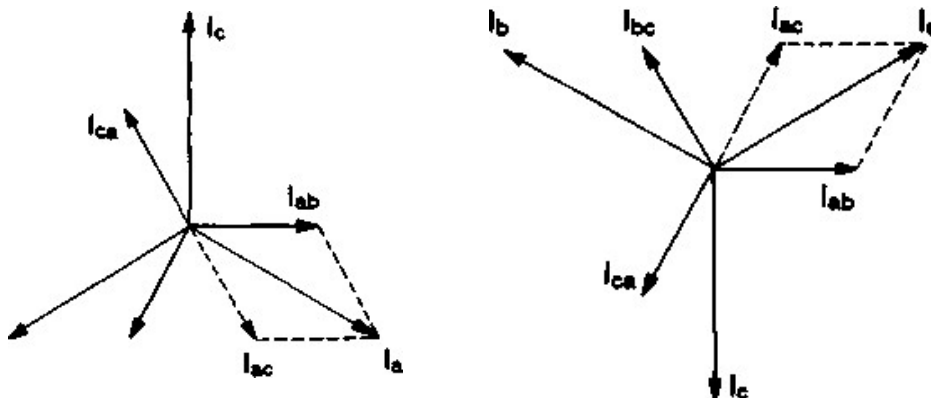
Untuk urutan phase abc arus kawat $\sqrt{3}$ kali arus phase dan tertinggal 30 derajat arus phase.

$$I_a = I_{ab} \sqrt{3} \angle -30^\circ$$

$$I_b = I_{bc} \sqrt{3} \angle -30^\circ$$

$$I_c = I_{ca} \sqrt{3} \angle -30^\circ$$

Untuk urutan phase acb, arus terdahulu 30 derajat terhadap arus phase



Hubungan antara arus kawat dengan arus yang mengalir pada beban

Daya yang dikonsumsi setiap fase pada beban gambar 37 adalah :

$$P_{i\phi} = V_H [I_{ab}] \cos \phi$$

V_H = tegangan V_{ab}

HO 44

$\cos \phi$ = faktor daya

Untuk sistem yang seimbang daya total yang dikonsumsi ke beban adalah :

$$P_T = 3 P_{i\phi} = 3 V_H [I_{ab}] \cos \phi$$

$$= 3 V_H \frac{I_1}{\sqrt{3}} \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} V_H I_1 \cos \phi$$

Dengan I_1 = arus kawat

Dengan memperhatikan persamaan diatas, maka tampak kedua persamaan itu adalah sama. Hal ini berarti, jika tegangan kawat-kawat, arus kawat dan $\cos \phi$ diketahui maka daya yang dikonsumsi dapat dihitung tanpa perlu mengetahui bentuk hubungan dari beban tersebut.

BAB 5 CARA MENILAI UNIT INI

Apa yang Dimaksud dengan Penilaian ?

Penilaian adalah proses pengumpulan bukti-bukti hasil ujian/pekerjaan dan pemberian nilai atas kemajuan peserta pelatihan dalam mencapai kriteria unjuk kerja seperti yang dimaksud dalam Standar Kompetensi. Bila pada nilai yang ditetapkan telah tercapai (sesuai dengan kriteria), maka dinyatakan bahwa kompetensi sudah dicapai . Penilaian lebih untuk mengidentifikasi pencapaian dan penguasaan kompetensi peserta pelatihan dari pada hanya untuk membandingkan prestasi peserta terhadap peserta lain.

Apa yang Dimaksud dengan Kompeten?

Tanyakan pada diri Anda sendiri : “Kemampuan kerja apa yang benar-benar dibutuhkan oleh peserta pelatihan”?

Jawaban terhadap pertanyaan ini akan mengatakan kepada Anda tentang apa yang kita maksud dengan kata “kompeten”. Untuk menjadi kompeten dalam suatu pekerjaan yang berkaitan dengan keterampilan berarti bahwa orang tersebut harus mampu untuk :

- menampilkan keterampilan pada level (tingkat) yang dapat diterima
- mengorganisikan tugas-tugas yang dibutuhkan.
- merespon dan bereaksi secara layak bila sesuatu salah
- memenuhi suatu peranan dalam sesuatu rangkaian tugas-tugas pada pekerjaan
- mentransfer/mengimplementasikan keterampilan dan pengetahuan pada situasi baru.

Bila Anda menilai kompetensi ini Anda harus mempertimbangkan seluruh *issue-issue* di atas untuk mencerminkan sifat kerja yang nyata .

Pengakuan Kompetensi yang Dimiliki

Prinsip penilaian terpadu memberikan pengakuan terhadap kompetensi yang ada tanpa memandang dari mana kompetensi tersebut diperoleh. Penilai mengakui bahwa individu-individu dapat mencapai kompetensi dalam berbagai cara:

- kualifikasi terdahulu
- belajar secara informal.

Pengakuan terhadap kompetensi yang ada dengan mengumpulkan bukti-bukti kemampuan untuk dinilai apakah seseorang telah memenuhi standar kompetensi, baik memenuhi standar kompetensi untuk suatu pekerjaan maupun untuk kualifikasi formal.

Kualifikasi Penilai

Dalam kondisi lingkungan kerja, seorang penilai industri yang diakui akan menentukan apakah seorang pekerja mampu melakukan tugas yang terdapat dalam unit kompetensi ini . Untuk menilai unit ini mungkin Anda akan memilih metode yang ditawarkan dalam pedoman ini, atau mengembangkan metode Anda sendiri untuk melakukan penilaian. Para penilai harus memperhatikan petunjuk penilaian dalam standar kompetensi sebelum memutuskan metode penilaian yang akan dipakai.

Ujian yang Disarankan

Umum

Unit Kompetensi ini, secara umum mengikuti format berikut:

- (a) Menampilkan pokok keterampilan dan pengetahuan untuk setiap sub-kompetensi/kriteria unjuk kerja.
- (b) Berhubungan dengan sesi praktik atau tugas untuk memperkuat teori atau mempersiapkan praktik dalam suatu keterampilan.

Hal ini penting sekali, di mana peserta dinilai (penilaian formatif) pada setiap elemen kompetensi. Mereka tidak boleh melanjutkan unit berikutnya sebelum mereka benar-benar menguasai (kompeten) pada materi yang sedang dilatihkan.

Sebagai patokan disini seharusnya paling sedikit satu penilaian tugas untuk pengetahuan pokok pada setiap elemen kompetensi. Setiap sesi praktik atau tugas seharusnya dinilai secara individu untuk tiap Sub-Kompetensi. Sesi praktik seharusnya diulang sampai tingkat penguasaan yang disyaratkan dari sub kompetensi dicapai.

Tes pengetahuan pokok biasanya digunakan tes obyektif. Sebagai contoh, pilihan ganda, komparasi, mengisi/melengkapi kalimat. Tes essay dapat juga digunakan dengan soal-soal atau pertanyaan yang relevan dengan unit ini.

Penilaian untuk unit ini, berdasar pada dua hal yaitu:

- pengetahuan dan keterampilan pokok
- hubungan dengan keterampilan praktik.

Untuk penilaian unit “Penggunaan Dasar Listrik AC di Tempat Kerja “ disarankan hal-hal sebagai berikut ::