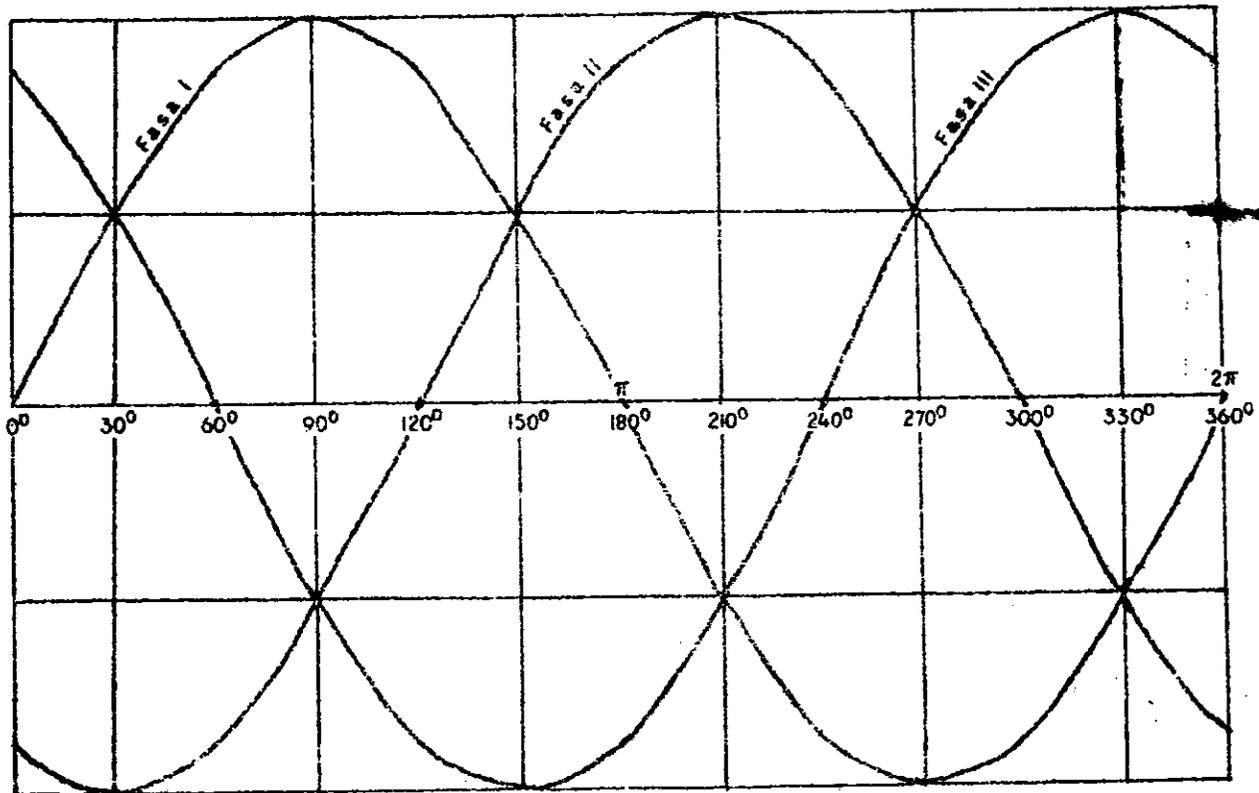


471/HD/86

**Drs. Daman Suswanto dan Drs. Nurkausar D**

# Analisa Hubungan Bintang Rangkaian Tiga Fasa



Diterbitkan oleh:  
UPT. PUSAT MEDIA PENDIDIKAN FPTK IKIP PADANG  
Kampus IKIP Air Tawar Padang  
1986

## KATA PENGANTAR

Seperti kita ketahui buku-buku teknik yang khusus membahas tentang Analisa Rangkaian Listrik Tiga Fasa sedikit sekali, biasanya hanya dalam satu bab saja dalam suatu buku Teknik Listrik. Oleh sebab itu dalam usaha membantu mahasiswa dalam mempelajari dan menganalisa rangkaian listrik tiga fasa secara mendetail dalam satu buku, penulis berusaha untuk dapat menyumbangkan suatu karangan berbentuk buku Analisa Hubungan Bintang Rangkaian Tiga Fasa.

Buku Analisa Hubungan Bintang Rangkaian Tiga Fasa ini, terdiri dari dua bagian yaitu pertama Analisa Hubungan Bintang dan yang kedua Analisa Hubungan Segitiga. Hal ini sengaja penulis bagi dua agar analisa rangkaian listrik tiga fasa benar-benar dapat terfokuskan dalam satu buku sehingga dapat dipahami oleh mahasiswa tingkat II dan tingkat III Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FPTK IKIP Padang secara lebih luas pembahasannya. Kalau dalam buku-buku lain pembahasan tentang analisa rangkaian tiga fasa ini tidak mendetail, maka dalam buku ini penulis merangkum seluruh masalah yang terjadi dalam rangkaian tiga fasa untuk dapat diketahui oleh mahasiswa. Dari pengalaman penulis menghadapi mahasiswa, banyak pertanyaan-pertanyaan yang diajukan oleh mahasiswa yang tidak ada dalam buku. Untuk itu maka penulis berusaha sedikit menyumbangkan buku ini untuk dapat membantu mahasiswa dalam belajar.

Dalam buku ini mungkin masih banyak kekurangan-kekurangan yang terjadi. Oleh sebab itu saran-saran dari segala pihak kami harapkan untuk dapat menyempurnakan buku ini. Akhirnya semoga buku ini dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FPTK IKIP Padang dalam mengikuti program belajar.

Padang, Maret 1986

## SAMBUTAN KETUA JURUSAN

Sungguh suatu yang sangat menggembirakan bagi kita apabila semua dosen dapat menghasilkan suatu karya tulis tidak hanya satu dua buku pelajaran yang sesuai dengan bidang studi. Selain dapat membantu mahasiswa di dalam belajar, juga merupakan suatu sarana bagi dosen untuk dapat mengembangkan kreativitas yang dapat memenuhi fasilitas sumber belajar yang ada pada Jurusan Pendidikan Teknik Elektro khususnya, maupun FPTK IKIP Padang pada umumnya. Yang kesemuanya merupakan suatu langkah untuk dapat tercapainya proses pendidikan yang dilaksanakan di IKIP Padang ini.

Dengan adanya buku ini mudah-mudahan dapat dimanfaatkan oleh mahasiswa dalam membantu memenuhi kebutuhan belajarnya, serta dapat meringankan bagi staf pengajar lainnya dalam melaksanakan proses belajar mengajar. Kami yakin dengan adanya buku-buku pelajaran yang menunjang proses belajar mengajar akan dapat ditingkatkan kualitas pendidikan di Indonesia ini. Dan ini merupakan titik kelemahan kita dewasa ini. Untuk itu, agar dapat menghilangkan kesenjangan yang ada dalam meningkatkan pendidikan dewasa ini, usaha untuk memenuhi kebutuhan sumber belajar mahasiswa merupakan usaha yang perlu mendapatkan penghargaan. Untuk itu kami selaku Ketua Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, mengucapkan penghargaan kepada Drs. Daman Suswanto atas usaha yang telah dilakukannya ini. Semoga hal ini merupakan hal ini merupakan langkah maju dan dapat ditingkatkan terus untuk kemajuan dan perkembangan pendidikan di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro khususnya dan FPTK IKIP Padang pada umumnya.

Padang, Maret 1986

Ketua Jurusan

Drs. Amran Gambut  
NIP. 130.692.557

## DAFTAR ISI

BAB		HALAMAN
	KATA PENGANTAR . . . . .	ii
	SAMBUTAN KETUA JURUSAN . . . . .	iii
	DAFTAR ISI . . . . .	iv
I.	SISTEM LISTRIK TIGA FASA . . . . .	1
	A. Pendahuluan . . . . .	1
	B. Pembangkit Listrik Tiga Fasa . . . . .	3
	C. Terbangkitnya Tegangan Tiga Fasa . . . . .	9
	D. Beban Listrik Tiga Fasa . . . . .	16
II.	KONSEP HUBUNGAN BINTANG . . . . .	21
	A. Pendahuluan . . . . .	21
	B. Tegangan Tiga Fasa Pada Hubungan Bintang . . . . .	24
	C. Arus Tiga Fasa Pada Hubungan Bintang . . . . .	29
	D. Daya dan Faktor Daya Dalam Hubungan Bintang . . . . .	34
III.	ANALISA HUBUNG BINTANG . . . . .	41
	A. Analisa Beban Seimbang . . . . .	41
	B. Analisa Beban Tak Seimbang . . . . .	53
	C. Analisa Arus Pada Kawat Netral . . . . .	61
	D. Menentukan Urutan Fasa . . . . .	66

DAFTAR BACAAN

LAMPIRAN

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
INTELMATRI	23-11-1986
SUMBER BARSA	Harah
KOLEKSI	U <span style="float: right;">iv</span>
NO INVENTARIS	471/HR/86-a <sub>2</sub> (2)
KLASIFIKASI	621.381 Sus a <sub>2</sub>

# **Bab I**

## **Sistem Listrik Tiga Fasa**

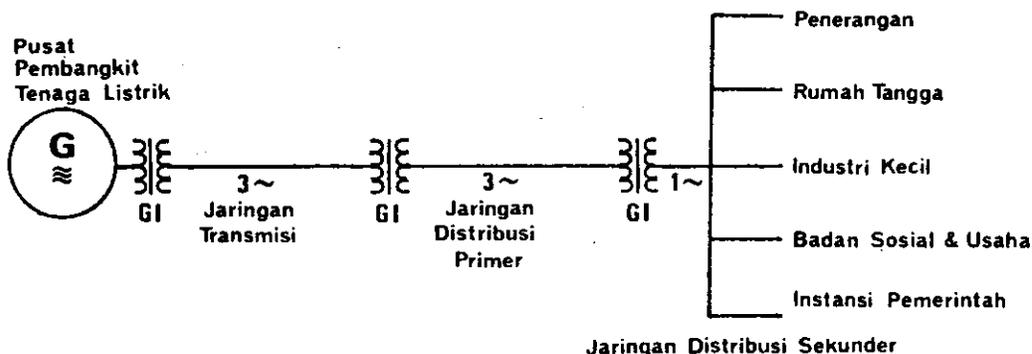
### **A. PENDAHULUAN**

Seperti telah kita ketahui bahwa sistem listrik itu ada tiga macam, yaitu sistem satu fasa, sistem dua fasa, dan sistem tiga fasa. Dari ketiga sistem listrik tersebut, yang banyak digunakan dewasa ini adalah sistem satu fasa dan sistem tiga fasa. Hal ini disebabkan karena penggunaan kedua sistem ini sangat menguntungkan satu dengan yang lain. Apalagi untuk peralatan-peralatan listrik dewasa ini banyak di produksi untuk penggunaan kedua sistem tersebut.

Untuk sistem dua fasa saat ini jarang digunakan untuk suatu keperluan listrik, selain alasan kurang efisien juga kurang menguntungkan. Lagipula apabila sistem dua fasa ini sangat dibutuhkan, dapat dilakukan dengan cara menggunakan transformator pengubah tegangan bolak balik tiga fasa menjadi dua fasa.

Pada sistem satu fasa umumnya banyak digunakan oleh para konsumen pada jaringan distribusi sekunder, terutama untuk keperluan penerangan, rumah tangga, industri kecil, instansi pemerintah, badan-badan sosial maupun badan-badan usaha. Sedangkan untuk sistem tiga fasa

biasanya banyak digunakan untuk pembangkit tenaga listrik, jaringan transmisi, jaringan distribusi primer, dan penggunaan daya listrik yang besar bagi industri-industri besar. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1.

Penggunaan sistem satu fasa dan tiga fasa di dalam sistem penyaluran tenaga listrik.

Dari gambar diatas dapat kita lihat bahwa sistem tiga fasa banyak digunakan untuk sistem pembangkitan , jaringan transmisi, dan jaringan distribusi primer. Karena pada sistem ini berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bagi para konsumen di pusat-pusat beban pada jaringan distribusi sekunder, diperlukan suatu sistem yang dapat diandalkan kontinuitas penyaluran tenaga, juga memenuhi persyaratan secara teknis dan ekonomis sebagai suatu sistem. Sedangkan untuk sistem satu fasa banyak digunakan pada jaringan distribusi sekunder. Hal ini karena jaringan distribusi sekunder merupakan suatu jaringan atau instalasi langsung yang digunakan oleh

para konsumen di pusat-pusat beban, yang merupakan sistem listrik yang lebih aman bagi para konsumen dan lebih merata di dalam penggunaan tenaga listrik.

Secara teoritis sistem tiga fasa ini mempunyai kelebihan bila dibandingkan dengan sistem satu fasa. Kelebihan sistem tiga fasa ini adalah karena,

- a. daya listrik yang disalurkan dapat lebih besar,
- b. nilai sesaatnya (instantaneous value) lebih konstan,
- c. medan magnet putarnya mudah diadakan,
- d. lebih efisien dan ekonomis,
- e. apabila beban dalam keadaan seimbang, maka tenaganya selalu konstan,
- f. menggunakan material yang lebih sedikit untuk kapasitas alat yang sama, dan
- g. mempunyai kemampuan tiga kali lebih besar dari sistem satu fasa.

## **B. PEMBANGKIT LISTRIK TIGA FASA**

Sistem pembangkitan tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan suatu alat yang disebut generator listrik. Generator ini berfungsi sebagai suatu alat yang dapat mengubah sumber energi mekanis yang berasal luar menjadi sumber tenaga listrik. Sumber energi mekanis ini berasal dari sebuah turbin maupun dari sebuah motor listrik. Untuk pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas yang besar biasanya digunakan turbin sebagai tenaga penggerakannya. Sedang untuk pembangkit tenaga lis

trik dengan kapasitas kecil dapat digunakan motor listrik sebagai tenaga penggerak.

Menurut konstruksinya generator arus bolak balik tiga fasa dapat dibedakan dalam dua jenis, yaitu :

- a. Generator AC dengan kutub dalam
- b. Generator AC dengan kutub luar.

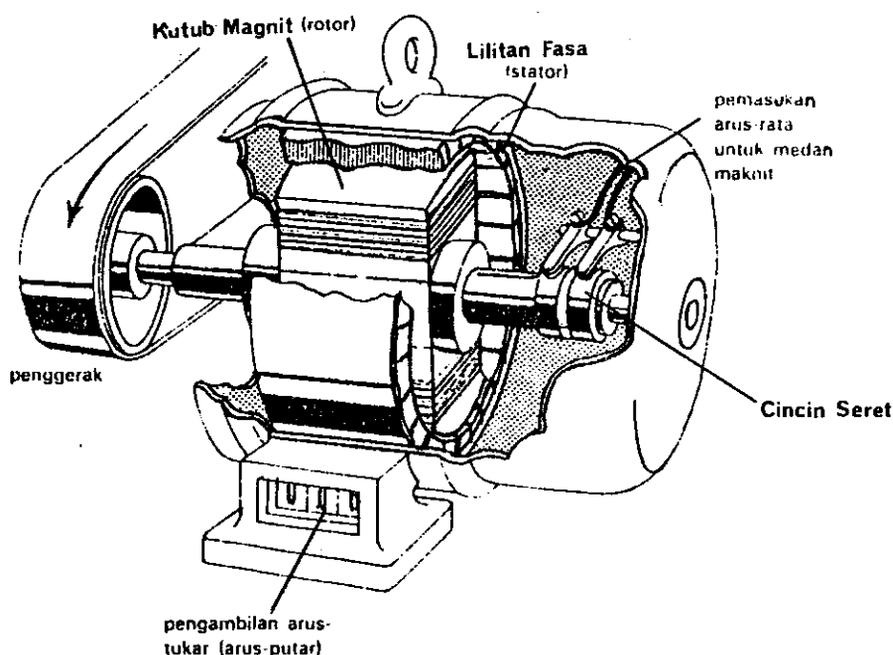
Generator kutub dalam apabila kutub-kutub magnetnya merupakan bagian yang berputar, terletak pada bagian dalam generator tersebut. Sedangkan lilitan kawat tempat terbentuknya tegangan bolak balik tiga fasa terletak pada bagian luar dan merupakan bagian yang tetap (stator). Kutub-kutub magnet inilah yang digerakkan oleh tenaga penggerak dari luar.

Sedangkan generator kutub luar apabila kutub-kutub magnet merupakan bagian yang tetap (stator) yang terletak pada bagian luar, dan lilitan kawat tempat terbentuknya tegangan bolak balik tiga fasa terletak pada bagian dalam, yang merupakan bagian yang bergerak (rotor).

Pada umumnya dari kedua jenis generator ini, generator kutub dalam yang umum dipakai untuk pembangkit listrik tiga fasa. Karena generator kutub dalam dapat menghasilkan tegangan yang besar, lagi pula dalam segi pengamanan generator kutub dalam ini lebih baik dari pada generator kutub luar. Hal ini disebabkan karena untuk generator kutub dalam, tegangan bolak balik yang dibangkitkan dalam lilitan kawat dapat langsung diambil

dari lilitan stator (bagian yang diam) tanpa lagi menggunakan cincin seret, seperti halnya pada generator kutub luar. Sebab jika hal ini terjadi dengan tegangan yg besar, maka pada cincin seret itu akan timbul percikan bunga api yang besar.

Pada gambar 2 di bawah ini diperlihatkan suatu generator dengan kutub dalam untuk tegangan yang besar. Dimana lilitan stator tempat terbentuknya tegangan bolak balik terletak pada bagian yang diam, sedangkan untuk lilitan kutub magnet terletak pada bagian yang bergerak (rotor).

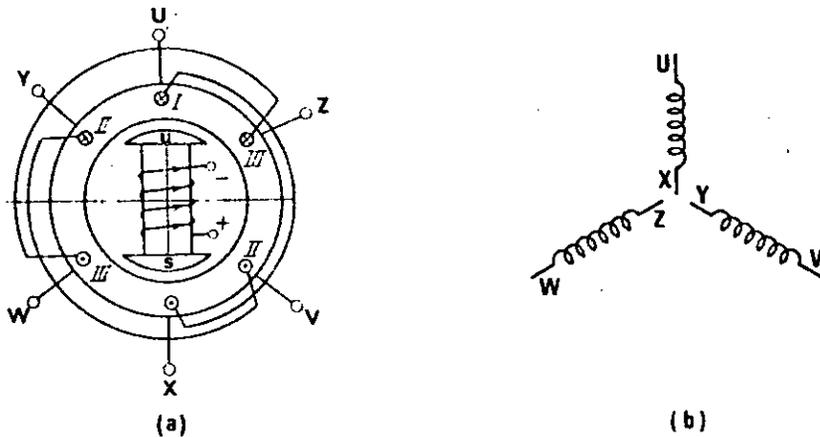


Gambar 2  
Generator tiga fasa dengan kutub dalam

Cincin seret yang terdapat pada generator kutub dalam tersebut digunakan untuk memasukkan sumber arus searah bagi lilitan penguat magnet pada kutub. Sumber a-

rus searah digunakan pada lilitan penguat magnet agar distribusi medan magnet pada rotor dapat lebih homogen.

Untuk membangkitkan tegangan bolak balik tiga fasa, maka di dalam stator dari generator tersebut harus diadakan tiga buah lilitan yang di pasang sedemikian rupa sehingga tegangan- tegangan yang terbentuk di dalamnya akan mempunyai perbedaan fasa  $1/3$  periode atau  $120^\circ$  listrik satu dengan yang lain.



Gambar 3.

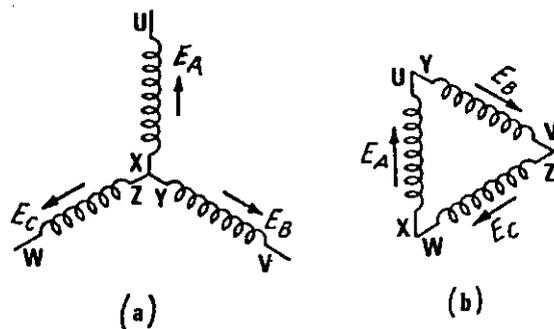
Konstruksi lilitan fasa generator tiga fasa dengan kutub dalam.

Ketiga lilitan pada stator tersebut masing-masing dinamakan dengan lilitan fasa. Dimana setiap ujung dan pangkal dari lilitan fasa tersebut biasanya diberi tanda dengan huruf U - X untuk lilitan fasa pertama. Sedangkan pada lilitan fasa kedua diberi tanda dengan huruf V - Y. Begitu juga untuk lilitan fasa ketiga diberi tanda dengan huruf W - Z, seperti terlukis dalam gambar 3.a dan 3.b diatas. Sehingga pada generator tiga fasa tersebut, a-

kan terdapat enam buah ujung lilitan fasa yang dapat dihubungkan satu dengan yang lain membentuk suatu hubungan tertentu.

Ketiga lilitan fasa tersebut dapat saling dihubungkan atau dikopel satu dengan yang lain. Cara menghubungkannya dapat digunakan dengan dua sistem, yaitu :

- a. Cara pertama, jika ketiga ujung lilitan fasa tersebut dihubungkan menjadi satu, yaitu ujung X, Y, dan Z, maka hubungan ini disebut hubungan bintang (dengan tanda Y). Dan ketiga tegangan bolak balik tiga fasa  $E_A$ ,  $E_B$ , dan  $E_C$  akan terdapat pada ujung-ujung lilitan fasa U, V, dan W (lihat gambar 4.a dibawah ini).



Gambar 4.

Bentuk hubungan pada lilitan fasa.

- b. Cara kedua, jika ujung akhir dari lilitan fasa 1 dihubungkan dengan ujung mula dari lilitan fasa 2, yaitu ujung akhir U dengan ujung mula Y, dan ujung akhir dari lilitan fasa 2 dihubungkan dengan ujung mula dari lilitan fasa 3, yaitu ujung akhir V dengan ujung mula Z, serta jika ujung akhir dari lilitan fasa 3 dihubung

kan dengan ujung mula dari lilitan fasa 1, yaitu u -  
jung akhir W dengan ujung mula X ; maka hubungan yg  
serupa ini disebut dengan hubungan segitiga (dengan  
tanda  $\Delta$  ).Lihat gambar 4.b diatas.

Dari ketiga ujung lilitan hubungan segitiga terse-  
but akan terbangkitkan tegangan bolak balik tiga fasa  
 $E_A, E_B,$  dan  $E_C$ .Tegangan tersebut merupakan tegangan antar  
lilitan fasa, baik pada hubungan bintang maupun untuk hu-  
bungan segitiga.

Untuk lebih mudahnya dewasa ini notasi pada ujung-  
ujung lilitan fasa pada hubungan bintang maupun hubung-  
an segitiga ini diberi notasi R untuk ujung UY hubungan  
segitiga dan ujung U untuk hubungan bintang. Dan ujung V  
untuk hubungan bintang dan ujung VZ untuk hubungan segi-  
tiga diberi notasi S, begitu juga untuk ujung W dari hu-  
bungan bintang dan ujung WX untuk hubungan segitiga di-  
beri notasi T. Sehingga ketiga ujung lilitan fasa terse-  
but akan bernotasi R, S, dan T.

Untuk standar internasional ketiga ujung dari fasa  
1 diberi notasi R (red), dan untuk fasa 2 diberi notasi  
Y (yellow), serta untuk fasa 3 diberi notasi B (blue), se-  
suai dengan warna dari kawat penghubung pada bagian lu-  
ar dari generator tiga fasa tersebut.

Setiap ujung lilitan dari generator tiga fasa me-  
nyediakan tegangan dan juga tenaga listrik bolak balik  
yang berbeda fasa  $120^\circ$  listrik satu dengan yang lain. A-  
pabila terdapat hanya tiga terminal (R, S, dan T), maka a-

kan ada tiga jenis tegangan yang terdapat pada ujung terminal tersebut, yaitu tegangan  $E_A$ ,  $E_B$ , dan  $E_C$  yang disebut tegangan antar kawat (line to line).

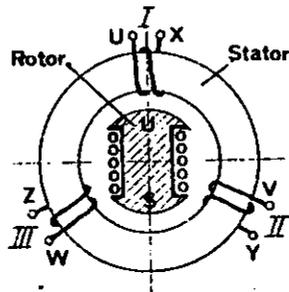
Sebaliknya bila pada hubungan bintang (Y) dibuat terminal keempat pada ujung-ujung lilitan XYZ (lihat gambar 4.a) yang disebut dengan netral, maka antara lilitan fasa dengan titik netral tersebut akan terdapat tegangan yang disebut dengan tegangan fasa terhadap netral (line to neutral).

Dari kedua hubungan tersebut, generator dalam sistem hubungan bintang (Y) lebih banyak dipakai, terutama untuk pembangkit tenaga listrik yang berkapasitas besar. Selain pertimbangan keamanan juga ujung netral dari terminal hubung bintang tersebut dapat dipakai sebagai sarana untuk pengamanan dari kerusakan yang timbul oleh adanya hubung singkat (short circuit) dengan tanah.

### C. TERBANGKITNYA TEGANGAN TIGA FASA

Prinsip terbangkitnya tegangan bolak balik tiga fasa terjadi jika medan magnet dari suatu rotor dieksitasi atau diputar dengan kecepatan sudut konstan oleh sumber energi mekanis dari luar. Akibat Bergeraknya medan magnet homogen dari rotor tersebut, yang akan mempengaruhi lilitan fasa sesuai dengan Hukum Faraday, maka pada lilitan fasa akan terjadi proses induksi elektromagnetis didalamnya, yang kemudian pada lilitan fasa tersebut akan terbangkit tegangan bolak balik yang berbentuk sinus.

Karena lilitan fasa satu dengan yang lain dibedakan letaknya sebesar sudut  $120^\circ$  listrik maka tegangan yang terinduksi dalam lilitan fasa akan berbeda fasa sebesar sudut  $120^\circ$  listrik juga.



Gambar 5.

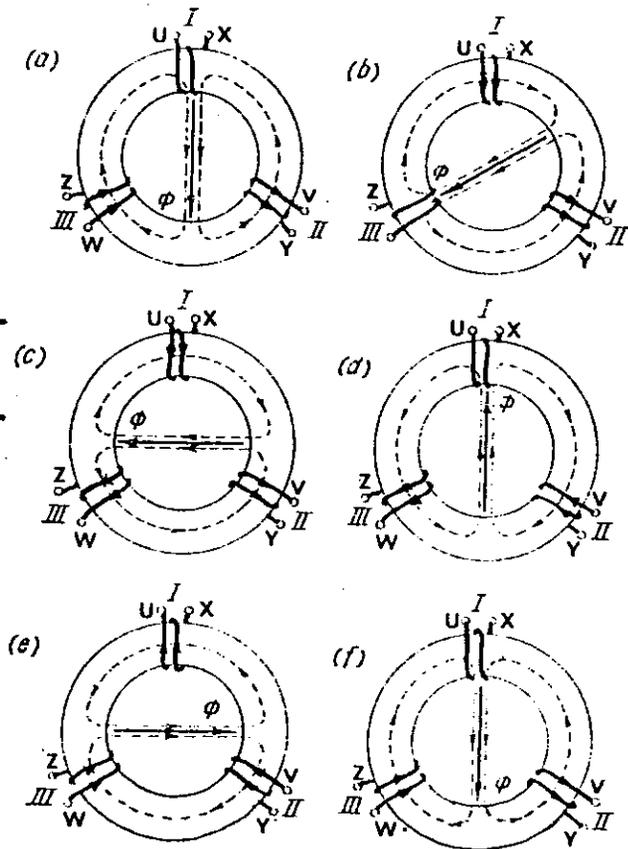
Penampang generator AC dengan dua kutub magnet

Pada gambar 5 diatas ini diperlihatkan suatu penampang dari generator tiga fasa dengan kutub dalam yang mempunyai dua buah kutub magnet. Dimana pada stator dililitkan tiga lilitan fasa yang diletakkan  $120^\circ$  listrik satu sama lainnya.

Apabila dua buah kutub magnet diputar oleh sumber energi mekanis dari luar dengan kecepatan konstan, maka medan magnet homogen yang terbangkit pada kutub tersebut akan mempengaruhi lilitan fasa secara bergantian. Dari posisi kedudukan dari medan magnet putar yang mempengaruhi lilitan fasa, maka ketiga tegangan yang dihasilkan akan bergantian mencapai harga maksimum positif maupun harga maksimum negatif.

Seperti kita ketahui bahwa kutub magnet akan menghasilkan medan magnet homogen dari kutub selatan ke kutub utara. Distribusi medan magnet ini akan mempengaruhi

inti besi dihadapannya, sehingga pada inti besi tersebut akan mengalir fluk magnet ke arah kiri dan kanan dari kutub magnet. Apabila kutub magnet diputar searah dengan jarum jam, maka tegangan yang dibangkitkan oleh lilitan fasa akan menjadi negatif apabila ditinggalkan atau yang berlawanan arah jarum jam, dan akan menjadi positif bila dihadapan dengan medan magnet putar atau yg searah dengan jarum jam. Akibat pengaruh medan magnet ini, yang berubah secara berkala maka akan terbentuk tegangan bolak balik tiga fasa. Untuk lebih jelasnya proses pembentukan tegangan bolak balik tiga fasa dapat kita lihat pada gambar 6. a sampai gambar 6. f dibawah ini.

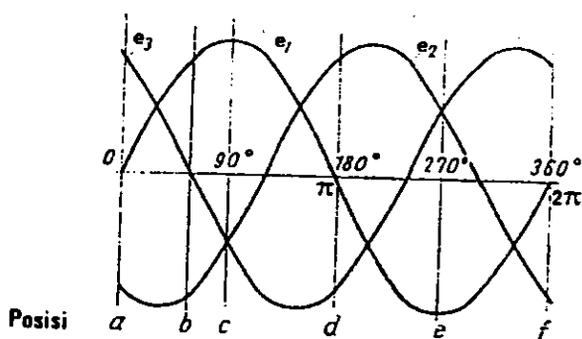


Gambar 6.

Beberapa posisi kedudukan medan magnet putar dalam mempengaruhi lilitan fasa.

Seperti kita ketahui bahwa arah medan magnet dapat mempengaruhi ggl yang terbangkit dalam lilitan fasa, dengan arah yang berlawanan dan membentuk sudut  $90^\circ$ , satu sama lainnya (Hukum tangan kanan atau kaidah putaran sekrup). Dengan demikian arah medan magnet yang melintasi teras akan mempengaruhi arah tegangan yang terbangkit dalam lilitan fasa, seperti pada gambar 6 di atas. Dimana arah resultante medan magnet diperlihatkan oleh vektor  $\Phi$ .

Pada gambar 6.a, arah medan magnet membelakangi lilitan fasa I, sehingga pada saat itu lilitan fasa I tidak terbangkitkan tegangan, sedangkan untuk lilitan fasa II dibangkitkan tegangan dalam arah negatif, dan untuk lilitan fasa III terbangkit tegangan dalam arah positif. Hal tersebut sesuai dengan arah medan magnet yang terdapat pada teras tersebut. Karena posisi resultante medan magnet  $\Phi$  berada diantara lilitan fasa II dan lilitan fasa III, maka tegangan yang dibangkitkan pada lilitan fasa tersebut akan mencapai harga yang tidak begitu maksimum. Untuk jelasnya dapat kita lihat pada gambar 7 dibawah ini dalam kedudukan  $0^\circ$  atau dalam posisi a.



Gambar 7.

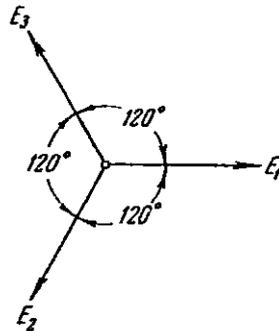
Bentuk gelombang sinusoida untuk tegangan arus bolak balik tiga fasa.

Dalam gambar 6.b posisi resultante medan magnet tepat pada lilitan fasa III. Pada posisi b gambar 7 tegangan  $e_3$  yang dibangkitkan pada lilitan fasa III akan menjadi nol, sedangkan untuk tegangan  $e_1$  dari lilitan fasa I mencapai harga positif dan tegangan  $e_2$  mencapai harga negatif. Kedua tegangan  $e_1$  dan  $e_2$  tidak mencapai harga maksimum, karena arah resultante medan magnet  $\Phi$  berada diantara lilitan fasa I dan II.

Harga maksimum dari tegangan  $e_1$  akan mencapai ke posisi puncak apabila kedudukan resultante medan magnet  $\Phi$  pada kedudukan seperti pada gambar 6.c. Dimana pengaruh medan magnet putar yang searah dengan arah jarum jam hanya mempengaruhi lilitan fasa I saja, sedangkan untuk tegangan  $e_2$  dan  $e_3$  mempunyai harga yang sama pada arah negatif yang sama-sama dipengaruhi oleh medan magnet yang arahnya berlawanan dengan arah jarum jam. Tegangan  $e_1$  ini mencapai harga puncak maksimum pada  $\frac{1}{4}$  periode atau pada kedudukan  $90^\circ$  seperti pada gambar 7 diatas.

Begitu seterusnya untuk kedudukan resultante medan magnet  $\Phi$  seperti pada gambar 6.d, 6.e, dan 6.f, sehingga akan membentuk suatu gelombang sinusoida tegangan tiga fasa seperti tergambar pada gambar 7 dalam satu periode atau  $360^\circ$ .

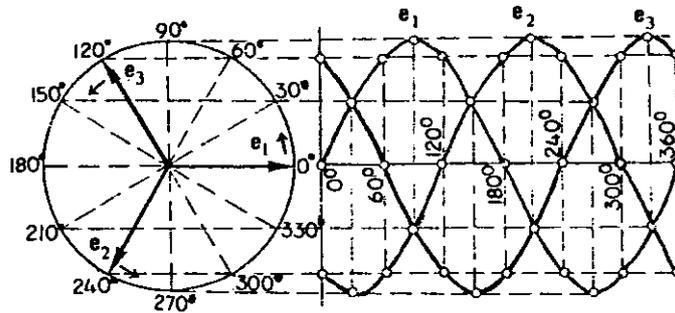
Secara vektor bentuk perbedaan fasa tegangan  $e_1$ ,  $e_2$ , dan  $e_3$  dapat kita lihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8.

Bentuk vektor tegangan tiga fasa

Dalam gambar 8 diatas setiap tegangan bolak balik tiga fasa mempunyai perbedaan fasa masing-masing  $120^\circ$  listrik satu sama lainnya, atau saling menggeser satu dengan yang lain sebesar  $120^\circ$  listrik. Apabila vektor diagram tegangan ini kita buat didalam perputaran dengan sudut putar  $360^\circ$  maka bentuk tegangan bolak balik



Gambar 9.

Bentuk gelombang tegangan tiga fasa secara grafis.

tiga fasa dapat kita lukis dalam bentuk grafis seperti pada gambar 9 diatas. Bentuk ini kita lukis dalam sudut sudut yang tertentu, sehingga terdapat ketiga tegangan fasa tersebut.

Secara matematik harga sesaat dari tegangan bolak balik tiga fasa ini dapat kita nyatakan dalam bentuk persamaan,

$$e_1 = E_m \sin \omega t \quad (1)$$

$$e_2 = E_m \sin (\omega t - 120^\circ) \quad (2)$$

$$e_3 = E_m \sin (\omega t - 240^\circ) \quad (3)$$

atau dapat pula dituliskan dengan :

$$e_R = E_m \sin \omega t$$

$$e_S = E_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (4)$$

$$e_T = E_m \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \quad (5)$$

Jumlah ketiga tegangan fasa ini pada setiap saat selalu sama dengan nol, dan secara matematis dapat kita buktikan sebagai berikut.

Apabila ketiga tegangan fasa dari persamaan (1), (2), dan (3) kita jumlahkan akan didapat :

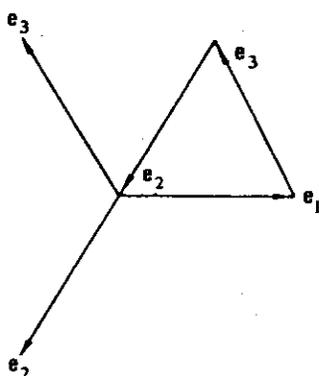
$$\begin{aligned} e_1 + e_2 + e_3 &= E_m \left\{ \sin \omega t + \sin (\omega t - 120^\circ) + \right. \\ &\quad \left. \sin (\omega t - 240^\circ) \right\} \\ &= E_m \left\{ \sin \omega t + \sin \omega t \cdot \cos 120^\circ - \cos \right. \\ &\quad \left. \omega t \cdot \sin 120^\circ + \sin \omega t \cdot \cos 240^\circ \right. \\ &\quad \left. - \cos \omega t \cdot \sin 240^\circ \right\} \end{aligned}$$

Oleh karena  $\sin 120^\circ = +\frac{1}{2}\sqrt{3}$ , dan  $\sin 240^\circ = -\frac{1}{2}\sqrt{3}$ , serta  $\cos 120^\circ = -\frac{1}{2}$ , begitu juga  $\cos 240^\circ = -\frac{1}{2}$ .

$$\begin{aligned} \text{Maka, } e_1 + e_2 + e_3 &= E_m \left\{ \sin \omega t - \frac{1}{2} \cdot \sin \omega t - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \right. \\ &\quad \left. \omega t - \frac{1}{2} \cdot \sin \omega t + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} \cos \omega t \right\} \\ &= E_m \cdot (0) \end{aligned}$$

Dengan demikian maka  $e_1 + e_2 + e_3 = 0$  (6)

Dengan menggunakan penjumlahan secara vektor dapat juga dibuktikan bahwa jumlah tegangan dari ketiga fasa itu adalah nol. Coba perhatikan gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10.

Penjumlahan tegangan tiga fasa secara vektor

Karena jumlah dari ketiga tegangan fasa ini sama dengan nol, maka dalam hubungan segitiga dari ketiga fasa tersebut tidak akan merupakan hubung singkat.

#### D. BEBAN LISTRIK TIGA FASA

Beban untuk listrik tiga fasa pada dasarnya dapat merupakan suatu beban tiga fasa yang utuh, yaitu berupa motor-motor listrik tiga fasa yang mempunyai impedansi setiap lilitan satu dengan yang lain sama. Tetapi dapat juga merupakan suatu kumpulan dari tiga buah beban listrik satu fasa yang mempunyai karakteristik beban yang

tidak sama satu dengan yang lain ,misalnya instalasi penerangan untuk perumahan. Ini disebabkan beban listrik untuk instalasi penerangan pada perumahan tidak saja untuk penerangan saja tetapi untuk keperluan lainnya. Walaupun beban penerangan untuk perumahan ini merupakan instalasi satu fasa, tetapi secara keseluruhan beban listrik tersebut merupakan beban tiga fasa pada pembangkitannya.

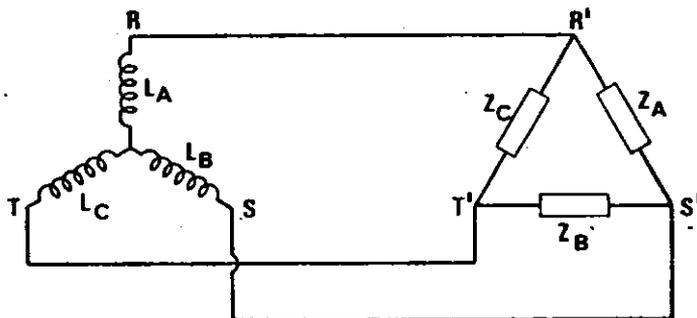
Rangkaian beban ini mempunyai dua kemungkinan hubungan dan dua kemungkinan keadaan beban itu sendiri. Kemungkinan pertama rangkaian beban itu bisa berbentuk hubungan bintang (Y) atau berbentuk hubungan segitiga ( $\Delta$ ). Kemungkinan kedua yaitu keadaan beban itu sendiri, bisa berupa beban seimbang atau berupa beban tak seimbang. Dikatakan seimbang jika setiap fasa dari tiap-tiap kawat saluran mempunyai besar dan impedansi yang sama sifatnya. Yaitu berupa beban resistif atau beban induktif atau beban kapasitif atau ketiga-tiganya dengan besarnya sama untuk setiap fasanya. Sedangkan untuk beban tak seimbang apabila masing-masing fasa, nilainya sama tetapi berbeda sifatnya atau sebaliknya nilainya berbeda tetapi sifatnya sama atau kedua-duanya berbeda baik untuk nilai maupun sifatnya.

Dari penjelasan diatas, maka menurut struktur atau cara menghubungkan dari beban listrik tiga fasa ini, maka beban listrik tiga fasa ini dapat dibagi dalam enam jenis beban, yang dihubungkan secara :

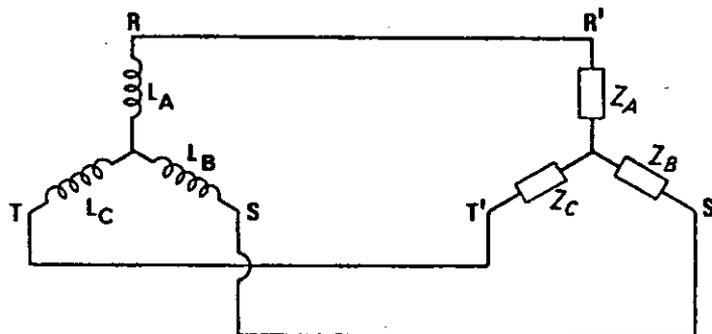
621.581  
Sus  
a2

1. Beban seimbang dalam hubungan bintang dengan tiga kawat saluran.
2. Beban tidak seimbang dalam hubungan bintang dengan tiga kawat saluran.
3. Beban seimbang dalam hubungan bintang dengan empat kawat saluran.
4. Beban tak seimbang dalam hubungan bintang dengan empat kawat saluran.
5. Beban seimbang dalam hubungan segitiga.
6. Beban tak seimbang dalam hubungan segitiga.

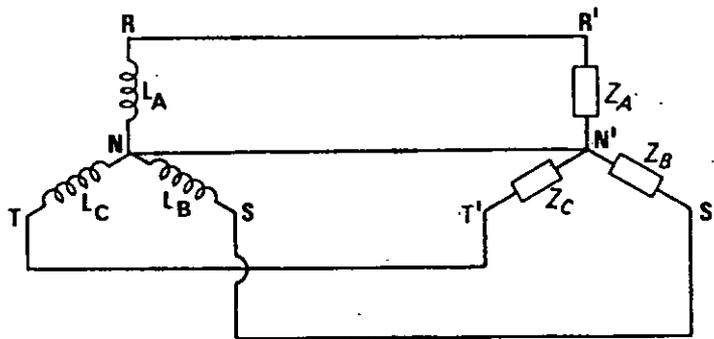
Untuk lebih jelasnya mengenai gambaran beban listrik tiga fasa ini dapat kita lihat pada gambar 11 dibawah ini.



Gambar 11.a



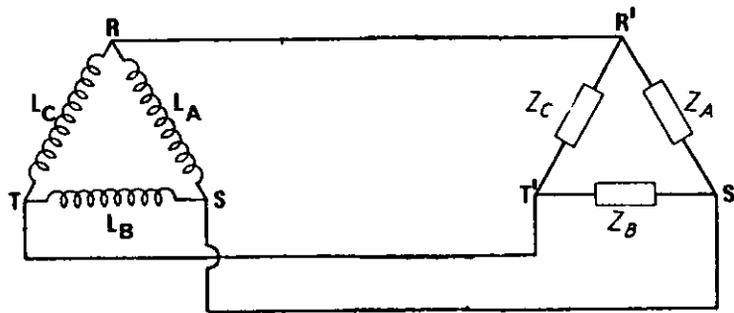
Gambar 11.b



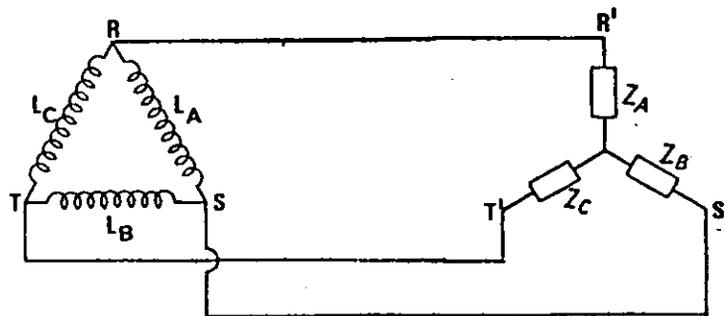
Gambar 11.c

- a. Beban hubungan segitiga ( $\Delta$ ).
- b. Beban hubungan bintang (Y) 3 kawat.
- c. Beban hubungan bintang (Y) 4 kawat.

Pada gambar 11 di atas diperlihatkan tiga buah hubungan dimana lilitan fasa pada generator tiga fasa di hubungkan secara bintang (Y). Lilitan fasa pada generator tiga fasa ini jika di hubungkan secara bintang maka pada beban listrik tiga fasa dapat dilakukan tiga buah hubungan, yaitu pertama dalam hubungan segitiga (Gbr. 11. a), kedua dalam hubungan bintang tanpa kawat netral (Gbr 11. b), dan ketiga dalam hubungan bintang dengan kawat netral (Gbr. 11. c). Lain halnya apabila pada generator tiga fasa dimana lilitan fasa di hubungkan secara segitiga, hanya ada dua hubungan yang dapat dibentuk pada beban listriknya, yaitu hubungan segitiga dan hubungan bintang. Karena titik netral pada lilitan fasa tidak bisa diadakan pada generator tersebut. Perhatikan gambar 12 dibawah ini, dimana lilitan fasa dari generator tiga fasa di hubungkan secara segitiga.



Gambar 12.a



Gambar 12.b

- a. Rangkaian tiga fasa hubungan  $\Delta - \Delta$ .
- b. Rangkaian tiga fasa hubungan  $\Delta - Y$ .

Lebih jelasnya mengenai analisa beban listrik tiga fasa ini, dapat kita ikuti pada penjelasan bab-bab selanjut - nya.

## **Bab II**

# **KONSEP HUBUNGAN BINTANG**

### **A. PENDAHULUAN**

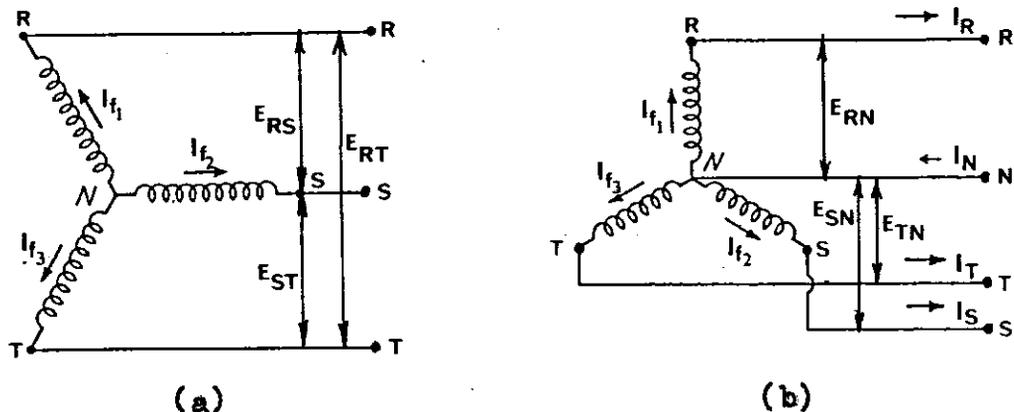
Seperti yang telah diterangkan pada bab I, bahwa dalam rangkaian tiga fasa apabila ketiga lilitan fasa disatukan ujung-ujungnya, maka dari hubungan tersebut akan membentuk suatu hubungan bintang (Y). Dalam hubungan bintang ini ketiga lilitan fasa dibuat sedemikian rupa sehingga masing-masing lilitan berbeda fasa sebesar  $120^{\circ}$  listrik.

Pada umumnya generator tiga fasa, ujung-ujung awal dan ujung-ujung akhir dari lilitan fasa dihubungkan secara bintang (Y) atau segitiga ( $\Delta$ ). Sistem demikian lebih praktis dari pada apabila keenam ujung lilitan fasa dikeluarkan di luar generator.

Untuk hubungan bintang ini terdapat dua cara, yaitu jika kawat lilitan fasa yang keluar dari generator tiga buah, maka hubungan bintang tersebut dinamakan sistem hubungan bintang tiga kawat. Jika yang keluar empat kawat lilitan fasa maka sistem hubungan tersebut dinamakan hubungan bintang empat kawat, dimana salah satu kawat terdapat kawat netral yang dihubungkan dengan titik pertemuan ujung-ujung yang disatukan tadi.

Pada gambar 13 di bawah ini diperlihatkan hubungan bintang tiga kawat (Gbr. 13.a), dan hubungan bintang dengan empat kawat (Gbr. 13.b). Dimana pada hubungan bintang dengan kawat netral tersebut atau sistem tiga fasa dengan empat kawat, terdapat dua tegangan yang tidak sama besar, yaitu :

1. tegangan antara kawat fasa dengan kawat netral, disebut dengan tegangan fasa,
2. tegangan antara kawat fasa dengan kawat fasa, disebut dengan tegangan line (saluran).



Gambar 13.

- a. Hubungan bintang dengan 3 kawat
- b. Hubungan bintang dengan 4 kawat

Dalam gambar 13.b diatas, tegangan fasa adalah  $E_{RN}$ ,  $E_{SN}$ , dan  $E_{TN}$ , sedang untuk tegangan line adalah  $E_{RS}$ ,  $E_{ST}$ , dan  $E_{TR}$ . Pada hubungan bintang dengan 3 kawat hanya terdapat tegangan line saja, dimana tegangan fasa dalam hal ini tidak dihubungkan.

Apabila diperhatikan, maka sistem tiga fasa dengan 4 kawat ini mempunyai keuntungan bila dibandingkan dengan sistem tiga fasa dengan 3 kawat pada hubungan bin-

tang, yaitu :

1. pada sistem tiga fasa 4 kawat bisa diperoleh 2 macam harga tegangan, yaitu tegangan fasa atau tegangan line dengan netral ( $E_{LN}$ ), dan tegangan line (line to line)  $E_{LL}$ ,
2. kemampuan sistem tiga fasa 4 kawat diperbesar 3 kali sistem tiga fasa 3 kawat,
3. regulasi tegangan (voltage regulation) menjadi lebih baik. Definisi regulasi tegangan bisa dirumuskan sebagai :

$$E_R = \frac{E_{NL} - E_{FL}}{E_{FL}} \times 100 \% \quad (7)$$

dimana :  $E_R$  = tegangan regulasi

$E_{NL}$  = tegangan tanpa beban (no load)

$E_{FL}$  = tegangan berbeban penuh (full - load).

Hubungan bintang ini banyak digunakan untuk generator-generator pembangkit tenaga listrik, motor, transformator tiga fasa, sedangkan untuk hubung segitiga jarang digunakan untuk hubungan pada lilitan fasa generator-generator tiga fasa. Untuk keperluan jaringan atau instalasi penerangan, banyak digunakan sistem tiga fasa 4 kawat. Karena dengan sistem tersebut lampu-lampu penerangan dapat dihubungkan langsung antara kawat saluran (line) dengan kawat netral. Pada umumnya untuk sistem 3 fasa 4 kawat ini titik netralnya diketanahkan (grounded neutral system), agar pada saat terjadi gangguan arus kilat dapat direduksi langsung ke bumi.

## B. TEGANGAN TIGA FASA PADA HUBUNGAN BINTANG

Seperti dijelaskan diatas bahwa pada hubungan bintang ini mempunyai dua buah tegangan, yaitu tegangan fasa dan tegangan saluran (line). Dimana dari gambar 13 dapat kita lihat bahwa tegangan fasa merupakan tegangan lilitan fasa, karena tegangan antara kawat fasa dengan kawat netral merupakan tegangan yang dibangkitkan dalam lilitan fasa. Oleh sebab itu besarnya tegangan fasa ini dapat kita nyatakan seperti persamaan (1), (2), dan (3), yaitu :

$$E_{RN} = E_m \sin \omega t \quad (8)$$

$$E_{SN} = E_m \sin (\omega t - 120^\circ) \quad (9)$$

$$E_{TN} = E_m \sin (\omega t - 240^\circ) \quad (10)$$

Sedangkan untuk tegangan saluran tidaklah demikian kenyataannya. Apabila kita perhatikan gambar 13 diatas, kenyataan menunjukkan bahwa beda tegangan antara dua titik (misalnya R dan S), adalah sama dengan tegangan pada titik R ( $E_{RN}$ ) dikurangi dengan tegangan pada titik S yaitu  $E_{SN}$ . Maka dengan demikian, hubungan antara tegangan saluran dengan tegangan fasa dapat kita nyatakan sebagai berikut,

$$E_{RS} = E_{RN} - E_{SN} \quad (11)$$

$$E_{ST} = E_{SN} - E_{TN} \quad (12)$$

$$E_{TR} = E_{TN} - E_{RN} \quad (13)$$

Karena tegangan fasa sama dengan tegangan pada lilitan fasa maka sudut perbedaan fasa antara ketiga tegangan fasa adalah  $120^\circ$  listrik satu dengan yang lain. Apabila tegangan fasa  $E_{RN}$  kita buat sebagai vektor pangkal, maka menurut aljabar fasor harga-harga tegangan fasa adalah :

$$E_{RN} = E_m \angle 0^\circ = E_m + j.0 \quad (14)$$

$$E_{SN} = E_m \angle 120^\circ = -\frac{1}{2} E_m + j 0.866 E_m \quad (15)$$

$$E_{TN} = E_m \angle -120^\circ = -\frac{1}{2} E_m - j 0.866 E_m \quad (16)$$

Dari persamaan (14), (15), dan (16) tersebut apabila kita substitusikan ke persamaan (11), (12), dan (13) maka akan diperoleh :

$$\begin{aligned} E_{RS} &= E_{RN} - E_{SN} \\ &= (E_m + j.0) + (\frac{1}{2} E_m - j 0.866 E_m) \\ &= 1\frac{1}{2} E_m + j 0.866 E_m \\ &= E_m (1\frac{1}{2} + j 0.866) \end{aligned}$$

$$\text{maka } E_{RS} = E_m \cdot 1.732 \angle 30^\circ = \sqrt{3} \cdot E_m \angle 30^\circ \quad (17)$$

$$\begin{aligned} E_{ST} &= E_{SN} - E_{TN} \\ &= (-\frac{1}{2} E_m + j 0.866 E_m) - (-\frac{1}{2} E_m - j 0.866 E_m) \\ &= 0 - j 0.866 E_m \\ &= 1.732 E_m \angle -90^\circ \end{aligned}$$

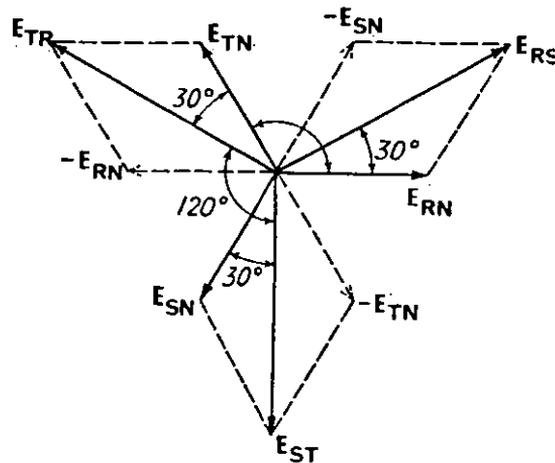
$$\text{atau } E_{ST} = \sqrt{3} E_m \angle -90^\circ \quad (18)$$

$$E_{TR} = E_{TN} - E_{RN}$$

$$\begin{aligned} E_{TR} &= (-\frac{1}{2} E_m - j 0.866 E_m) - (E_m + j 0) \\ &= -1\frac{1}{2} E_m - j 0.866 E_m \\ &= 1.732 E_m \angle 150^\circ \end{aligned}$$

atau  $E_{TR} = \sqrt{3} E_m \angle 150^\circ$  (19)

Dari persamaan (17), (18), dan (19) dapat diketahui bahwa tegangan saluran (line) tersebut satu dengan yang lain berbeda fasa  $120^\circ$  listrik, dan berbeda fasa  $30^\circ$  listrik terhadap tegangan fasa masing-masing. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada vektor diagram pada gambar 14 dibawah ini.



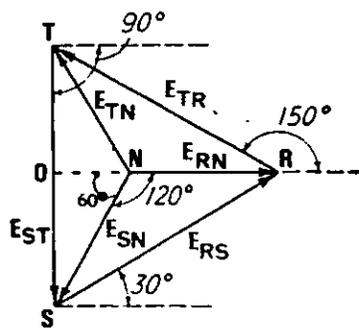
Gambar 14.

Vektor diagram tegangan hubungan bintang (Y)

Pada vektor diagram diatas apabila kita perhatikan maka tegangan saluran  $E_{RS}$  mempunyai sudut perbedaan fasa  $30^\circ$  listrik terhadap tegangan fasa  $E_{RN}$  sebagai vektor pangkalnya. Dan tegangan saluran  $E_{ST}$  mempunyai sudut fasa  $90^\circ$  listrik dalam arah negatif terhadap vektor pangkal  $E_{RN}$ , begitu juga untuk tegangan saluran  $E_{TR}$  mem-

punyai sudut fasa  $150^\circ$  listrik terhadap vektor pangkal  $E_{RN}$ . Dengan demikian berarti telah sesuai dengan perhitungan diatas.

Bentuk vektor diagram gambar 14 diatas dapat disederhanakan dalam bentuk vektor diagram segitiga, seperti terlihat pada gambar 15 dibawah ini. Dimana vektor tegangan saluran akan membentuk segitiga sama sisi, sedangkan vektor tegangan fasa membentuk hubungan bintang didalam segitiga tersebut.



Gambar 15.

Bentuk vektor diagram segitiga tegangan dalam hubungan bintang (Y).

Apabila diperhatikan gambar 15 diatas, vektor diagram dari tegangan  $E_{RS}$ ,  $E_{SN}$ , dan  $E_{RN}$  membentuk suatu segitiga sama kaki, begitu juga untuk yang lain. Dari segitiga ini apabila vektor tegangan  $E_{RN}$  kita perpanjang sampai ke garis vektor tegangan  $E_{ST}$ , maka akan terdapat segitiga siku-siku  $RSO$ . Dimana sudut  $SNO$  adalah  $60^\circ$ . Dengan demikian, panjang vektor tegangan dari perpanjangan garis  $RN$  adalah  $NO = E_{SN} \cos 60^\circ$ . Begitu juga untuk garis  $SO$  panjangnya adalah  $E_{SN} \sin 60^\circ$ . Dari  $\Delta RSO$  ini kita ca

ri harga vektor tegangan  $E_{RS}$ , dimana menurut Dalil Pythagoras bahwa,

$$RS^2 = RO^2 + SO^2$$

seperti diketahui  $RS = E_{RS}$ ,  $SO = E_{SN} \sin 60^\circ$ ,  $RO = E_{RN}$ , dan  $NO = E_{SN} \cos 60^\circ$ . Dengan demikian harga-harga tersebut dapat kita substitusikan dalam persamaan diatas menjadi :

$$(E_{RS})^2 = (E_{RN} + E_{SN} \cos 60^\circ)^2 + (E_{SN} \sin 60^\circ)^2$$

dimana  $\cos 60^\circ = + \frac{1}{2}$ , dan  $\sin 60^\circ = + \frac{1}{2} \sqrt{3}$ , sehingga,

$$E_{RS} = \sqrt{(E_{RN} + \frac{1}{2} E_{SN})^2 + (\frac{1}{2} \sqrt{3} E_{SN})^2}$$

Dalam keadaan beban seimbang untuk hubungan bintang ini, maka harga tegangan fasa akan sama satu dengan yang lain, yaitu  $E_{RN} = E_{SN} = E_{TN}$ . Dimana harga tegangan fasa ini dapat kita representasikan sebesar  $E_\phi$ . Untuk tegangan saluran begitu juga akan sama satu dengan yang lain, yaitu  $E_{RS} = E_{ST} = E_{TR}$ , yang dapat kita nyatakan sebagai  $E_L$  adalah merupakan tegangan line. Dengan demikian persamaan diatas dapat kita ubah dalam bentuk sebagai berikut,

$$\begin{aligned} E_L &= \sqrt{(E_\phi + \frac{1}{2} E_\phi)^2 + (\frac{1}{2} \sqrt{3} E_\phi)^2} \\ &= E_\phi \sqrt{(1.5)^2 + (0.866)^2} \\ &= E_\phi \sqrt{2.25 + 0.75} \\ &= \sqrt{3} \cdot E_\phi \end{aligned} \quad (20)$$

Dari persamaan (20) diatas maka dapat dikemukakan bahwa tegangan saluran (line to line) di dalam hubungan bintang, besarnya akan  $\sqrt{3}$  dari tegangan fasa (line to

neutral), seperti halnya dalam persamaan (17), (18), dan (19) diatas. Ini berarti tegangan saluran lebih besar 1.73 kali dari tegangan fasa. Umpamanya suatu tegangan fasa besarnya 220 Volt maka besarnya tegangan saluran adalah  $1.73 \times 220$  Volt yaitu 380.6 Volt.

Pada jaringan distribusi sekunder yang terdapat di dalam kota, biasanya saluran yang menggunakan tiga kawat atau empat kawat untuk tegangan antar saluran adalah 380 Volt, sedang untuk tegangan antar kawat saluran dengan kawat netral besarnya 220 Volt yang langsung dihubungkan kerumah-rumah.

### C. ARUS TIGA FASA PADA HUBUNGAN BINTANG

Arus listrik yang mengalir pada kawat saluran dalam sistem tiga fasa hubungan bintang ini, akan sama besarnya dengan arus yang mengalir di dalam lilitan fasa pada generator tiga fasa. Pada gambar 13.b dapat kita lihat peredaran arus listrik tersebut. Dimana arus fasa dalam generator tiga fasa besarnya adalah :

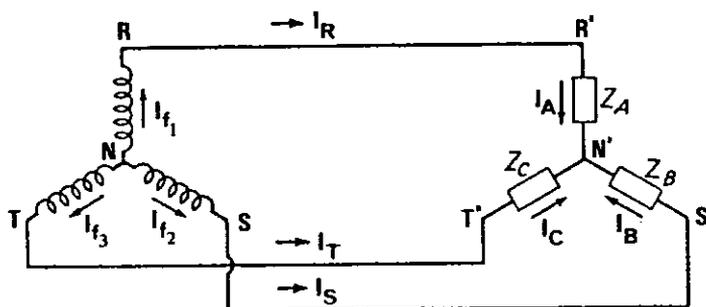
$$I_{f_1} = I_R \quad (21)$$

$$I_{f_2} = I_S \quad (22)$$

$$I_{f_3} = I_T \quad (23)$$

Apabila generator tiga fasa kita hubungkan dengan suatu beban listrik tiga fasa dalam keadaan seimbang, maka peredaran arus listrik untuk tiap-tiap fasa dapat kita lihat seperti pada gambar 16 dibawah ini. Dimana arus yang mengalir pada beban akan sama dengan arus yang

terbangkitkan dalam lilitan fasa pada generator tiga fasa untuk masing-masing fasanya.



Gambar 16.

Rangkaian tiga fasa tiga kawat dengan hubungan bintang dalam beban seimbang

Pada gambar 16 diatas nampak bahwa arus,

$$I_{f_1} = I_R = I_A \quad (24)$$

$$I_{f_2} = I_S = I_B \quad (25)$$

$$I_{f_3} = I_T = I_C \quad (26)$$

Dimana arus pada lilitan fasa kesemuanya meninggalkan titik N, sedangkan arus pada beban listrik tiga fasa menuju ke titik N'. Sesuai dengan Hukum Kirchhoff bahwa jumlah arus yang menuju ke suatu titik atau yang meninggalkan suatu titik, akan sama besarnya dengan nol. Dengan demikian berarti,

$$I_{f_1} + I_{f_2} + I_{f_3} = 0 \quad (27)$$

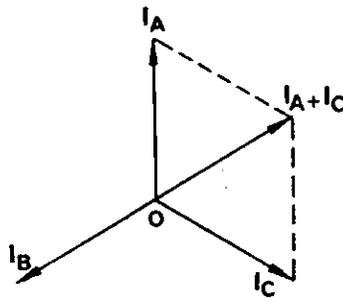
$$\text{dan } I_A + I_B + I_C = 0 \quad (28)$$

Karena dalam rangkaian tiga fasa hubungan bintang arus yang mengalir pada setiap fasa sama besarnya, maka arus yang mengalir pada kawat saluran ketiga-tiganya bila di

jumlahkan akan sama dengan nol, yaitu :

$$I_R + I_S + I_T = 0 \quad (29)$$

Arus beban  $I_A, I_B,$  dan  $I_C$  sesuai dengan arus pada lilitan fasa, mempunyai perbedaan fasa satu dengan yang lain sebesar  $120^\circ$  listrik. Jika dalam beban seimbang dimana impedansi beban  $Z_A, Z_B,$  dan  $Z_C$  mempunyai besar dan sifat yang sama, maka secara vektor persamaan (29) diatas dapat kita buktikan seperti gambar 17 dibawah ini.

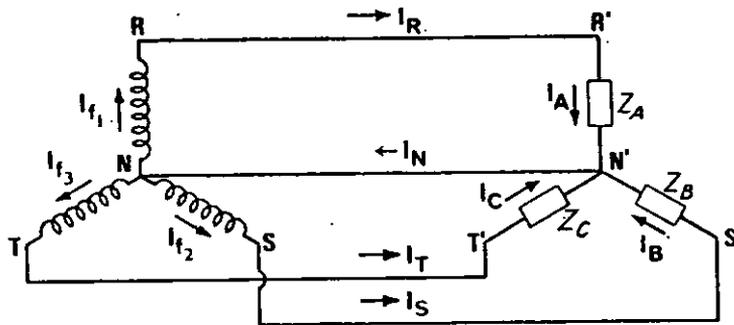


Gambar 17.

Penjumlahan arus fasa yang sama besar secara vektor.

Apabila titik netral pada generator tiga fasa kita hubungkan dengan titik netral pada beban listrik tiga fasa melalui suatu kawat saluran, maka peredaran arus listrik tiga fasa akan merupakan suatu lingkaran tertutup (loop circuit), seperti nampak pada gambar 18 dibawah ini.

Berdasarkan Hukum Kirhhoff Pertama bahwa jumlah arus yang datang akan sama besarnya dengan jumlah arus yang pergi. Dengan demikian dari gambar 18 dibawah ini dapat kita kemukakan bahwa jumlah arus fasa akan sama besar dengan arus netral, yaitu :



Gambar 18.

Rangkaian tiga fasa hubungan bintang dengan kawat netral.

$$\sum I_{\text{fasa}} = I_N \quad (30)$$

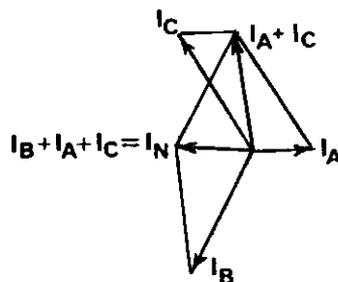
Atau dapat juga kita nyatakan persamaan diatas dengan,

$$I_{f_1} + I_{f_2} + I_{f_3} = I_N \quad (31)$$

$$\text{atau } I_A + I_B + I_C = I_N \quad (32)$$

$$\text{atau } I_R + I_S + I_T = I_N \quad (33)$$

Secara vektor persamaan diatas dapat kita lukiskan seperti gambar 19 dibawah ini.



Gambar 19.

Penjumlahan arus fasa  $I_R + I_S + I_T = I_N$  secara diagram vektor.

Dari diagram vektor diatas nampak bahwa arus netral akan mengalir jika beban pada rangkaian tiga fasa,

mempunyai beban tidak seimbang, sehingga besarnya arus pada setiap fasa tidak sama besar. Apabila masing-masing arus fasa tidak sama besar itu berarti parameter pada rangkaian beban tidak sama besar. Karena tidak sama besar maka arus fasa atau arus beban akan terkebelakang sebesar sudut  $\phi$  terhadap tegangan yang membangkitkannya. Dengan demikian besarnya arus fasa secara matematik dapat kita nyatakan dalam persamaan,

$$I_R = I_m \sin (\omega t - \phi) \quad (34)$$

$$I_S = I_m \sin (\omega t - 120^\circ - \phi) \quad (35)$$

$$I_T = I_m \sin (\omega t - 240^\circ - \phi) \quad (36)$$

Seperti pada persamaan (30) bahwa jumlah arus fasa tersebut sama dengan arus netral, yaitu :

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$

Apabila persamaan (34), (35), dan (36) kita substitusikan dalam persamaan diatas, maka akan didapat,

$$\begin{aligned} I_N &= I_m \sin (\omega t - \phi) + I_m \sin (\omega t - 120^\circ - \phi) \\ &\quad + I_m \sin (\omega t - 240^\circ - \phi) \\ &= I_m \left\{ \sin (\omega t - \phi) + \sin (\omega t - \phi) \cos 120^\circ \right. \\ &\quad \left. - \sin 120^\circ \cos (\omega t - \phi) + \sin (\omega t - \phi) \cos \right. \\ &\quad \left. 240^\circ - \sin 240^\circ \cos (\omega t - \phi) \right\} \end{aligned}$$

Seperti diketahui bahwa  $\cos 120^\circ = -\frac{1}{2}$ ,  $\cos 240^\circ = -\frac{1}{2}$  dan  $\sin 120^\circ = \frac{1}{2}\sqrt{3}$ , serta  $\sin 240^\circ = -\frac{1}{2}\sqrt{3}$ , maka kita

dapatkan persamaan diatas menjadi :

$$I_N = I_m \left\{ \begin{aligned} &\sin(\omega t - \phi) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - \phi) - \frac{1}{2} \sqrt{3} \\ &\cos(\omega t - \phi) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - \phi) + \frac{1}{2} \sqrt{3} \\ &\cos(\omega t - \phi) \end{aligned} \right\}$$

Apabila dijumlahkan maka akan didapat :

$$I_N = I_m \cdot (0)$$

maka  $I_N = 0$  (37)

Dari persamaan (37) diatas maka dapat disimpulkan bahwa jika arus beban dan faktor daya  $\cos \varphi$  dari tiap-tiap fasa dalam hubungan bintang dengan kawat netral adalah sama, maka dalam kawat netral tersebut akan tidak ada arusnya ( $I_N = 0$ ). Tetapi bila dalam keadaan dimana arus beban dan faktor daya  $\cos \varphi$  tidak sama, maka pada kawat netral akan ada arusnya. Hal tersebut terjadi jika beban listrik tiga fasa hubungan bintang dalam keadaan tidak seimbang.

#### **D. DAYA DAN FAKTOR DAYA DALAM HUBUNGAN BINTANG**

Dalam menghitung daya listrik tiga fasa rangkaian hubungan bintang, terlebih dahulu kita tentukan daya untuk masing-masing fasa. Seperti kita ketahui bahwa besarnya daya listrik dalam rangkaian satu fasa adalah hasil perkalian antara tegangan fasa dengan arus yang mengalir serta faktor daya ( $\cos \varphi$ ) dari suatu rangkaian itu. Dimana dapat kita nyatakan dalam persamaan,

$$P = E.I.\cos\varphi \quad (38)$$

Faktor daya ( $\cos\varphi$ ) merupakan sudut pergeseran fasa  $\varphi$  antara arus fasa dengan tegangan fasa yang ditentukan oleh sifat-sifat dari beban listrik yang dipasang pada fasa tersebut.

Berdasarkan persamaan (8), (9), dan (10) besarnya tegangan fasa untuk setiap beban listrik hubungan bintang itu adalah :

$$E_{RN} = E_m \sin \omega t \quad (39)$$

$$E_{SN} = E_m \sin (\omega t - 120^\circ) \quad (40)$$

$$E_{TN} = E_m \sin (\omega t - 240^\circ) \text{ atau}$$

$$E_{TN} = E_m \sin (\omega t + 120^\circ) \quad (41)$$

Begitu juga untuk arus listrik setiap fasa menurut persamaan (34), (35), dan (36) dalam hubungan bintang adalah :

$$I_R = I_m \sin (\omega t + \phi_R) \quad (42)$$

$$I_S = I_m \sin (\omega t - 120^\circ + \phi_S) \quad (43)$$

$$I_T = I_m \sin (\omega t + 120^\circ + \phi_T) \quad (44)$$

Harga sesaat dari daya listrik untuk setiap fasa dinyatakan sebagai perkalian antara arus listrik dengan tegangan fasa pada setiap beban. Maka besarnya daya sesaat (instantaneous power) untuk setiap fasa adalah :

$$\begin{aligned} P_R &= E_m \sin \omega t \times I_m \sin (\omega t + \phi_R) \\ &= E_m I_m \sin \omega t \times \sin (\omega t + \phi_R) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_R &= E_m I_m \left\{ \cos(\omega t - \omega t + \phi_R) - \cos(\omega t + \omega t + \phi_R) \right\} \\ &= E_m I_m \left\{ \cos \phi_R - \cos(2\omega t + \phi_R) \right\} \end{aligned} \quad (45)$$

Untuk daya sesaat pada fasa kedua adalah :

$$\begin{aligned} P_S &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \times I_m \sin(\omega t - 120^\circ + \phi_S) \\ &= E_m I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \times \sin(\omega t - 120^\circ + \phi_S) \\ &= E_m I_m \left\{ \cos(\omega t - 120^\circ - \omega t + 120^\circ + \phi_S) - \cos(\omega t + 120^\circ + \omega t + 120^\circ + \phi_S) \right\} \\ &= E_m I_m \left\{ \cos \phi_S - \cos(2\omega t + 120^\circ + \phi_S) \right\} \end{aligned} \quad (46)$$

Sedang untuk daya sesaat pada fasa ketiga adalah :

$$\begin{aligned} P_T &= E_m \sin(\omega t + 120^\circ) \times I_m \sin(\omega t + 120^\circ + \phi_T) \\ &= E_m I_m \sin(\omega t + 120^\circ) \times \sin(\omega t + 120^\circ + \phi_T) \\ &= E_m I_m \left\{ \cos(\omega t + 120^\circ - \omega t - 120^\circ + \phi_T) - \cos(\omega t + 120^\circ + \omega t + 120^\circ + \phi_T) \right\} \\ &= E_m I_m \left\{ \cos \phi_T - \cos(2\omega t + 240^\circ + \phi_T) \right\} \end{aligned} \quad (47)$$

Jumlah daya sesaat untuk rangkaian tiga fasa adalah :

$$P = P_R + P_S + P_T \quad (48)$$

Apabila persamaan (45), (46), dan (47) kita substitusikan kedalam persamaan (48) diatas maka akan didapat :

$$\begin{aligned} P &= E_m I_m (\cos \phi_R + \cos \phi_S + \cos \phi_T) - E_m I_m \left\{ \cos(2\omega t + \phi_R) + \cos(2\omega t - 240^\circ + \phi_S) + \cos(2\omega t + 240^\circ + \phi_T) \right\} \end{aligned} \quad (49)$$

Dari persamaan (49) diatas, apabila rangkaian tiga fasa hubungan bintang dalam beban seimbang maka besarnya sudut pergeseran fasa  $\phi_R, \phi_S,$  dan  $\phi_T$  akan sama satu dengan yang lainnya, yaitu :

$$\phi_R = \phi_S = \phi_T = \phi \quad (50)$$

Dengan demikian pada persamaan (49) akan dapat menjadi,

$$P = 3 E_m I_m \cos \phi \quad (51)$$

Ini berarti pada rangkaian tiga fasa hubungan bintang untuk beban seimbang besarnya daya listrik dari ketiga fasa adalah tiga kali dari daya listrik untuk perfasanya. Tetapi bila kita perhitungkan daya listrik 3 fasa untuk tegangan saluran, dimana berdasarkan persamaan (20) bahwa besarnya tegangan saluran merupakan  $\sqrt{3}$  dari tegangan fasa, yaitu :

$$E_L = \sqrt{3} E_\phi$$

atau  $E_\phi = \frac{E_L}{\sqrt{3}}$  (52)

maka besarnya daya listrik tiga fasa itu adalah :

$$P = 3 \frac{E_L}{\sqrt{3}} I_m \cos \phi$$

atau  $P = \sqrt{3} E_L I_L \cos \phi \quad (53)$

dimana seperti kita ketahui dalam hubungan bintang, arus fasa sama dengan arus saluran ( $I_m = I_f = I_L$ ). Daya listrik pada persamaan (53) diatas dipergunakan untuk menghitung daya listrik tiga fasa hubungan bintang dengan beban seimbang dari tegangan saluran dan arus saluran.

Apabila dalam rangkaian tiga fasa hubung bintang dengan beban tak seimbang maka besarnya daya listrik akan menjadi :

$$P = E_R I_R \cos \phi_R + E_S I_S \cos \phi_S + E_T I_T \cos \phi_T \quad (54)$$

Hal ini terjadi karena arus dan tegangan saluran untuk suatu rangkaian tiga fasa mempunyai harga yang tidak sama, begitu juga untuk sudut pergeseran fasa antara arus dengan tegangan mempunyai nilai yang berbeda satu dengan yang lain.

Faktor daya  $\cos \phi$  dari hubungan bintang dengan beban seimbang akan mempunyai nilai yang sama, yaitu:

$$\cos \phi = \frac{P_R}{E_R I_R} = \frac{P_S}{E_S I_S} = \frac{P_T}{E_T I_T} \quad (55)$$

Tetapi bila dalam hubungan bintang tersebut diletakkan beban tak seimbang maka besarnya faktor daya  $\cos \phi$  akan tidak sama. Oleh sebab itu untuk faktor daya tersebut dicari untuk per fasa, yaitu :

$$\cos \phi_R = \frac{P_R}{E_R I_R} \quad (56)$$

$$\cos \phi_S = \frac{P_S}{E_S I_S} \quad (57)$$

$$\cos \phi_T = \frac{P_T}{E_T I_T} \quad (58)$$

Atau dengan secara praktis nilai faktor daya tersebut dapat kita nyatakan sebagai :

$$\cos \phi = \frac{\text{Watt}}{VA} \quad (59)$$

Dimana satuan Watt untuk daya nyata (P), dan satuan VA untuk daya semu (S). Dengan demikian persamaan (59) dapat kita tulis,

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (60)$$

Perbandingan antara daya sesungguhnya (daya nyata) dengan daya semu ini merupakan daya guna atau efisiensi dari sumber tenaga listrik terhadap beban yang terpasang. Harga ini disebut juga dengan faktor daya (power factor)  $\cos \phi$ .

Selain faktor daya kita kenal juga dengan faktor reaktif (reactive factor)  $\sin \phi$  yang didefinisikan sebagai suatu nilai perbandingan antar daya reaktif (reactive power) Q dengan daya semu S, yaitu :

$$\text{Faktor reaktif } (\sin \phi) = \frac{Q}{S} \quad (61)$$

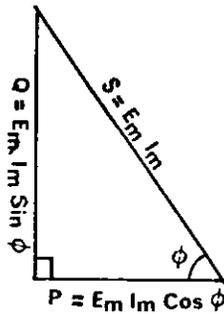
Bila daya reaktif Q besarnya adalah :

$$Q = E_m I_m \sin \phi \quad (62)$$

maka faktor reaktif dapat kita tulis,

$$\text{Faktor reaktif} = \frac{E_m I_m \sin \phi}{E_m I_m} = \sin \phi \quad (63)$$

Bila kita perhatikan persamaan (60) dan (61) diatas, maka bila harga faktor daya besar berarti daya yang diserap oleh beban listrik juga besar, dan daya reaktifnya kecil. Begitu juga sebaliknya jika harga faktor daya kecil maka daya yang diserap oleh beban listrik akan kecil, sedangkan daya reaktif menjadi besar. Untuk jelasnya dapat kita perhatikan segitiga daya gambar 20 dibawah ini.



Gambar 20.

Bentuk segitiga daya

Bila diperhatikan segitiga daya diatas maka sesuai dengan persamaan Pythagoras,

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$\text{atau } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (64)$$

Bila terjadi faktor daya  $\cos \phi = 1$  berarti sudut  $0^\circ$ , maka antara daya nyata P dengan daya semu S akan berimpit menjadi satu, berarti daya reaktif pada beban tidak ada. Hal tersebut diatas terjadi jika beban hanya berupa resistor murni R.

Dari penjelasan diatas jelaslah bahwa besar kecilnya faktor daya tergantung dari sifat beban yang terpasang. Apabila beban berupa beban induktif maka daya reaktif akan positif, sedangkan jika beban kapasitif maka daya reaktif akan negatif.

\*

# **Bab III**

## **ANALISA HUBUNG BINTANG**

### **A. ANALISA BEBAN SEIMBANG**

Dalam rangkaian tiga fasa apabila pada ujung akhirnya dihubungkan dengan tiga buah impedansi  $Z$  yang mempunyai sifat dan besar sama dalam bentuk hubungan bintang, maka beban yang demikian ini disebut dengan beban seimbang hubungan bintang (Y). Besarnya ketiga impedansi  $Z$  tersebut adalah,

$$Z_A = Z_B = Z_C = Z \quad (65)$$

Ketiga impedansi  $Z$  tersebut dapat berupa tiga buah resistor, atau tiga buah induktor, atau juga tiga buah kapasitor. Dapat juga berupa gabungan dari ketiganya, yaitu resistor, induktor, dan kapasitor yang mempunyai nilai sama untuk setiap fasanya. Apabila gabungan dari ketiganya maka beban impedansi per fasa adalah :

$$Z = R + j (X_L - X_C) \quad (66)$$

Sehingga dari persamaan (65) diatas dapat kita tulis,

$$Z_A = Z_B = Z_C = R + j (X_L - X_C) \quad (67)$$

Jika beban impedansi berupa gabungan dua komponen diatas, umpamanya :

$$Z = R + j X_L \quad (68)$$

$$\text{atau } Z = R - j X_C \quad (69)$$

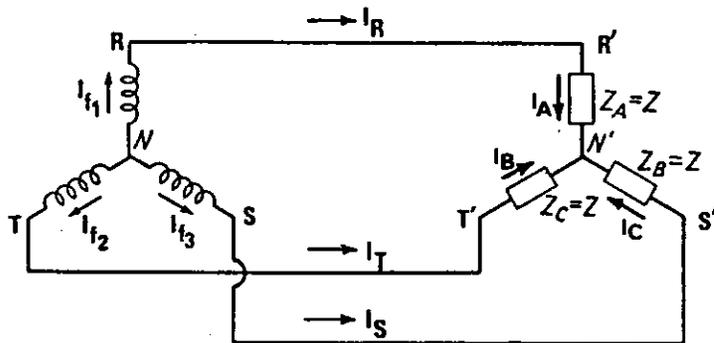
untuk setiap fasanya, maka sesuai dengan persamaan (65) diatas, maka besarnya ketiga impedansi itu adalah :

$$Z_A = Z_B = Z_C = R + j X_L \quad (70)$$

$$\text{atau } Z_A = Z_B = Z_C = R - j X_C \quad (71)$$

Beban seimbang ini dalam rangkaian tiga fasa hubungan bintang biasanya banyak berupa motor listrik tiga fasa, atau transformator tiga fasa yang dihubungkan secara hubungan bintang (Y). Sehingga nilai beban setiap fasanya sama besar dan sifatnya.

Bentuk rangkaian tiga fasa hubungan bintang dengan beban seimbang dapat kita lihat pada gambar 21 dibawah ini.



Gambar 21.

Hubungan bintang 3 kawat dengan beban seimbang

Besarnya arus yang mengalir pada setiap beban ini tergantung pada besarnya impedansi Z terhadap tegangan beban. Apabila diperhatikan gambar 21 diatas, tegangan beban untuk rangkaian rangkaian tiga fasa hubungan bin

tang ini adalah tegangan fasa, yaitu tegangan antara kawat fasa dengan titik netral (line to neutral). Dengan demikian besarnya arus yang mengalir pada setiap beban tersebut adalah :

$$I_A = \frac{E_{R'N}}{Z_A} = \frac{E_m \angle 0^\circ}{Z_A} \quad (72)$$

$$I_B = \frac{E_{S'N}}{Z_B} = \frac{E_m \angle -120^\circ}{Z_B} \quad (73)$$

$$I_C = \frac{E_{T'N}}{Z_C} = \frac{E_m \angle 120^\circ}{Z_C} \quad (74)$$

Seperti kita ketahui bahwa dalam beban seimbang hubungan bintang, besarnya tegangan fasa akan sama besar satu dengan yang lain dan berbeda fasa satu sama lainnya sebesar  $120^\circ$  listrik, yaitu :

$$E_{R'N} = E_{S'N} = E_{T'N} = E_m \quad (75)$$

Karena dalam beban seimbang ini, impedansi  $Z$  sama besar maka besarnya arus setiap beban dalam rangkaian tiga fasa beban seimbang akan sama juga, yaitu :

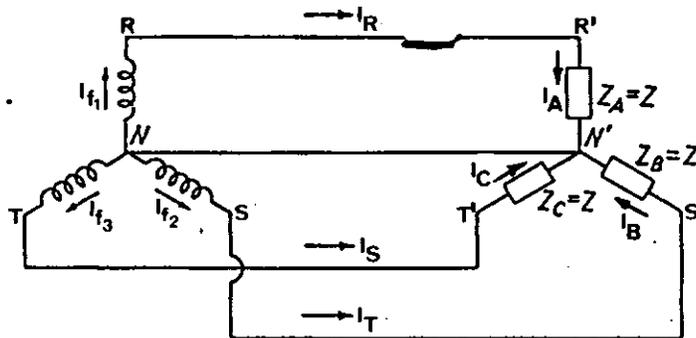
$$I_A = I_B = I_C \quad (76)$$

Pada gambar 21 diatas dapat kita lihat bahwa ketiga arus beban  $I_A, I_B,$  dan  $I_C$  masing-masing menuju ke titik  $N'$ . Sesuai dengan Hukum Kirchhoff maka jumlah ketiga arus beban tersebut adalah :

$$I_A + I_B + I_C = 0 \text{ (nol)} \quad (77)$$

Lain halnya apabila pada rangkaian tiga fasa hubungan bintang dengan 4 kawat dalam beban seimbang, se-

perti gambar 22 dibawah ini.



Gambar 22.

Hubungan bintang 4 kawat dengan beban seimbang

Untuk rangkaian tiga fasa hubungan bintang 4 kawat dengan beban seimbang, seperti gambar 22 diatas, ketiga arus beban I<sub>A</sub>, I<sub>B</sub> dan I<sub>C</sub> akan sama-sama menuju ke arah saluran kawat netral. Sesuai dengan Hukum Kirchoff maka jumlah ketiga arus beban tersebut akan sama dengan arus netral I<sub>N</sub>, yaitu :

$$I_A + I_B + I_C = I_N \quad (78)$$

Seperti halnya pada pembuktian pada halaman 33 dan 34 bahwa besarnya arus netral tersebut, bila dalam beban seimbang akan sama dengan nol. Itu berarti, jika arus netral I<sub>N</sub> = 0, maka jumlah ketiga arus beban itu sama dengan nol. Karena dalam beban seimbang arus yang mengalir pada kawat netral tidak ada. Dengan kata lain, jika :

$$I_N = 0 \text{ (nol)} \quad (79)$$

maka persamaan (78) diatas akan berubah seperti persamaan (77) diatas.

Pada rangkaian tiga fasa hubungan bintang ini mempunyai dua jenis tegangan, yaitu :

1. Tegangan fasa, yaitu  $E_{R'N'}$ ,  $E_{S'N'}$ , dan  $E_{T'N'}$ , yang merupakan tegangan antara saluran kawat fasa dengan saluran kawat netral.
2. Tegangan saluran (line), yaitu  $E_{R'S'}$ ,  $E_{S'T'}$ , dan  $E_{T'R'}$ , yang merupakan tegangan antara saluran kawat fasa dengan saluran kawat fasa. Dimana besarnya tegangan saluran ini 1.73 kali dari besarnya tegangan fasa. Atau,

$$E_{R'S'} = \sqrt{3} E_{R'N'} = \sqrt{3} E_{S'N'} \quad (80)$$

$$E_{S'T'} = \sqrt{3} E_{S'N'} = \sqrt{3} E_{T'N'} \quad (81)$$

$$E_{T'R'} = \sqrt{3} E_{T'N'} = \sqrt{3} E_{R'N'} \quad (82)$$

Untuk lebih jelasnya penggunaan rumus-rumus dalam menyelesaikan analisa rangkaian tiga fasa hubungan bintang dalam beban seimbang ini, dapat kita perhatikan contoh soal dibawah ini.

Contoh 1.

Suatu rangkaian tiga fasa hubungan bintang, dihubungkan dengan tiga buah beban yang mempunyai besar dan nilai sama, yaitu  $Z_A = Z_B = Z_C = 8 + j 6$  ohm. Dimana tegangan pada beban tersebut adalah  $E_{RN} = 110 \angle 0^\circ$ ,  $E_{SN} = 110 \angle -120^\circ$ , dan  $E_{TN} = 110 \angle 120^\circ$ . Tentukan besarnya arus yang melalui beban ( $I_A$ ,  $I_B$ , dan  $I_C$ ), dan besarnya arus netral  $I_N$ . Gambarkan diagram arus dari ketiga arus beban tersebut.

Jawab :

a). Dimana impedansi beban untuk setiap fasa =  $8 + j 6$ .

Itu berarti impedansi setiap beban  $Z = \sqrt{100} = 10 \angle 36^\circ$

Besarnya arus pada setiap beban adalah :

$$I_A = \frac{E_{RN}}{Z_A} = \frac{110 \angle 0^\circ}{8 + j6} = \frac{110 \angle 0^\circ}{10 \angle 36^\circ} = 11 \angle -36^\circ$$

$$I_B = \frac{E_{SN}}{Z_B} = \frac{110 \angle -120^\circ}{10 \angle 36^\circ} = 11 \angle -156^\circ$$

$$I_C = \frac{E_{TN}}{Z_C} = \frac{110 \angle 120^\circ}{10 \angle 36^\circ} = 11 \angle 84^\circ$$

b). Besarnya arus pada kawat netral  $I_N$  ialah :

$$I_N = I_A + I_B + I_C$$

Dimana arus beban yang telah kita dapatkan diatas kita ubah dalam bentuk operator j.

$$\begin{aligned} I_A &= 11 \angle -36^\circ \\ &= 11 (\cos 36^\circ - j \sin 36^\circ) = 11 (0.8 - j 0.58) \\ &= 8.8 - j 6.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_B &= 11 \angle -156^\circ \\ &= 11 (\cos 156^\circ - j \sin 156^\circ) = 11 (-0.9 - j 0.4) \\ &= -9.9 - j 4.4 \end{aligned}$$

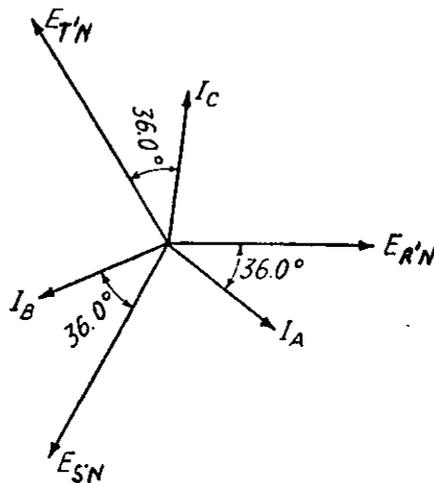
$$\begin{aligned} I_C &= 11 \angle 84^\circ \\ &= 11 (\cos 84^\circ + j \sin 84^\circ) = 11 (0.1 + j 0.99) \\ &= 1.1 + j 10.8 \end{aligned}$$

Dari hasil diatas maka besarnya arus netral  $I_N$ ,

$$\begin{aligned} I_N &= I_A + I_B + I_C \\ &= 8.8 - j 6.4 - 9.9 - j 4.4 + 1.1 + j 10.8 \\ &= 9.9 - 9.9 - j 10.8 + j 10.8 \end{aligned}$$

$I_N = 0$  (berarti tidak ada arus pada kawat netral).

c). Gambar diagram vektor arus beban sesuai dengan hasil diatas dapat kita lihat pada gambar 23 dibawah ini.



Gambar 23.

Diagram vektor arus dari contoh 1.

Contoh 2.

Tiga buah impedansi dihubungkan dalam hubungan bintang pada rangkaian tiga fasa. Setiap fasanya dipasang beban berupa resistansi 20 ohm dan reaktansi induktif 15 ohm yang dihubungkan secara seri. Lihat gambar 24 dibawah ini. Dimana tegangan saluran besarnya = 400 volt. Tentukan :

- Arus saluran tiap fasa.

- Faktor daya tiap beban.
- Daya total untuk ketiga beban.
- Diagram vektor arus.

Jawab :

a). Impedansi setiap fasa :

$$\begin{aligned} Z &= R + j X_L = 20 + j 15 \\ &= 25 \angle 36.52^\circ \end{aligned}$$

Tegangan fasa besarnya,

$$E_f = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1.73} = 231 \text{ volt}$$

Arus setiap beban adalah :

$$I_A = \frac{E_{RN}}{Z_A} = \frac{231 \angle 0^\circ}{25 \angle 36.52^\circ} = 9.24 \angle -36.52^\circ \text{ Amp.}$$

$$I_B = \frac{E_{SN}}{Z_B} = \frac{231 \angle -120^\circ}{25 \angle 36.52^\circ} = 9.24 \angle -156.52^\circ \text{ Amp.}$$

$$I_C = \frac{E_{TN}}{Z_C} = \frac{231 \angle 120^\circ}{25 \angle 36.52^\circ} = 9.24 \angle 83.48^\circ \text{ Amp.}$$

Karena dalam hubungan bintang maka besarnya arus fasa sama dengan arus saluran (line), ialah :

$$I_R = I_A = 9.24 \angle -36.52^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_S = I_B = 9.24 \angle -156.52^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_T = I_C = 9.24 \angle 83.48^\circ \text{ Ampere}$$

b). Faktor daya beban adalah :

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{20}{25} = 0.8 \text{ lagging}$$

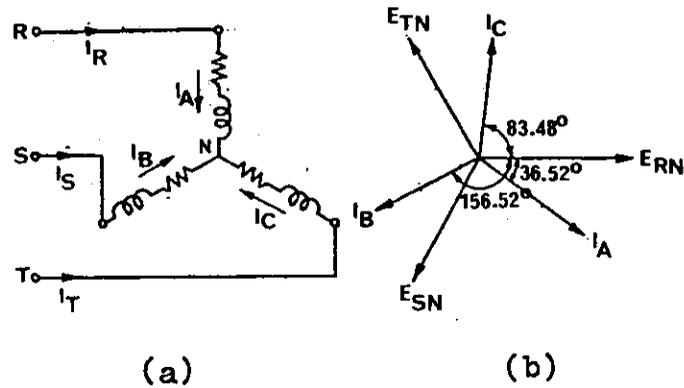
c). Daya setiap fasa ialah :

$$\begin{aligned} P_f &= E_f \cdot I_f \cdot \cos \phi \\ &= 231 \times 9.24 \times 0.8 \\ &= 1707,6 \text{ watt} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (51) maka besarnya daya total rangkaian tersebut adalah :

$$P = 3 \times P_f = 3 \times 1707.6 = 5122.8 \text{ watt} = \underline{\underline{5.12 \text{ kW.}}}$$

d). Diagram vektor arus dari rangkaian tersebut adalah:



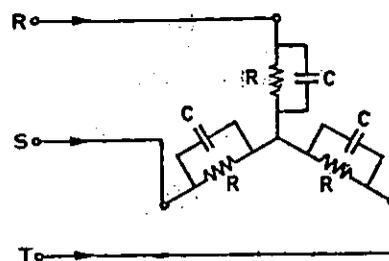
Gambar 24.

- a. Gambar rangkaian soal 2.
- b. vektor diagram arus soal 2.

Contoh 3.

Tiap fasa dari rangkaian tiga fasa hubungan bintang dipasang beban yang terdiri dari resistansi non-reaktif sebesar 100 ohm dan kapasitor dengan kapasitansi sebesar  $31.8 \mu\text{F}$ , yang dihubungkan secara paralel. Lihat gambar 25. Apabila tegangan saluran 416 volt dengan frekuensi 50 Hz, tentukan :

- a). arus tiap fasa
- b). faktor daya beban
- c). daya nyata total
- d). daya semu total.



Gambar 25.

Bentuk rangkaian soal nomor 3.

yaitu dengan jalan mencari harga arus pada setiap be -  
ban. Dimana :

$$I_R = \frac{10000}{400/\sqrt{3}} = 43.3 \text{ Ampere}$$

$$I_B = \frac{8000}{400/\sqrt{3}} = 34.6 \text{ Ampere}$$

$$I_Y = \frac{5000}{400/\sqrt{3}} = 21.6 \text{ Ampere}$$

Dari hasil di atas maka dapat kita gambarkan seperti gambar 27.b di atas. Dengan demikian harga arus  $I_N$  adalah :

$$I_N = \sqrt{(43.3)^2 + (34.6)^2 + (21.6)^2} = 59.48 \text{ Ampere}$$

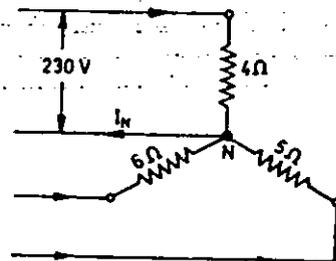
Contoh 7 :

Rangkaian tiga fasa hubungan bintang dihubungkan dengan beban yang mempunyai resistansi sebesar 4 Ohm, 5 Ohm, dan 6 Ohm. Apabila tegangan fasa (line to neutral) 230V maka tentukan :

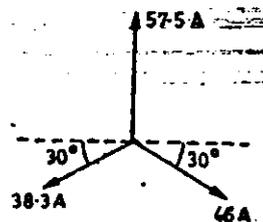
- a. Arus setiap beban dan arus netral
- b. Daya total untuk semua beban tiga fasa.

Jawab :

Dari soal di atas maka rangkaian tiga fasa tersebut dapat digambarkan seperti gambar 28 di bawah ini.



(a)



(b)

Maka besar arus untuk setiap beban adalah :

$$I_R = \frac{230}{4} = 57.5 \text{ Ampere}$$

$$I_S = \frac{230}{5} = 46 \text{ Ampere}$$

$$I_T = \frac{230}{6} = 38.3 \text{ Ampere}$$

Sedangkan besarnya arus netral adalah :

$$I_N = \sqrt{(57.5)^2 + (46)^2 + (38.3)^2} = 83 \text{ Ampere}$$

Besarnya daya total adalah :

$$P = 230 (57.5 + 46 + 38.3) = 32614 \text{ Watt } 32.6 \text{ kW.}$$

Contoh 8 :

Beban tak seimbang dari rangkaian tiga fasa terdiri da

ri :  $Z_R = 12 + j.21 \text{ Ohm}$

$$Z_S = 31 + j.23 \text{ Ohm}$$

$$Z_T = 14 + j.11 \text{ Ohm}$$

dihubungkan secara bintang 3 kawat dengan sumber tegang

an 400 Volt (line to line). Tentukan :

a). Tegangan fasa (line to neutral)

b). Arus setiap fasa

c). Faktor daya setiap beban

d). Daya total dari beban

Jawab :

a). Tegangan fasa (line to neutral) =  $\frac{400}{1.73} = 231.2 \text{ V}$

b). Arus setiap fasa :

$$I_R = \frac{231.2}{12+j.21} = \frac{231.2}{24.2} = 9.6 \text{ Ampere}$$

$$I_S = \frac{231.2}{31+j.23} = \frac{231.2}{38.6} = 5.99 \text{ Ampere}$$

$$I_T = \frac{231.2}{14+j.11} = \frac{231.2}{17.8} = 12.99 \text{ Ampere}$$

c). Faktor daya setiap beban :

$$\text{tg } \theta_R = \frac{21}{12} = 1.75$$

$$\cos \theta_R = 0.496 \text{ untuk beban } Z_R$$

$$\text{tg } \theta_S = \frac{23}{31} = 0.74$$

$$\cos \theta_S = 0.8 \text{ untuk beban } Z_S$$

$$\text{tg } \theta_T = \frac{11}{14} = 0.79$$

$$\cos \theta_T = 0.78 \text{ untuk beban } Z_T$$

d). Daya setiap beban :

$$P_R = 231.2 \times 9.6 \times 0.496 = 1100.88 \text{ Watt}$$

$$P_S = 231.2 \times 5.99 \times 0.8 = 1107.91 \text{ Watt}$$

$$P_T = 231.2 \times 12.99 \times 0.78 = 2342.56 \text{ Watt}$$

Maka daya total :

$$P = P_R + P_S + P_T =$$

$$= 1100.88 + 1107.91 + 2342.56 = 4551.35 \text{ Watt}$$

$$\text{Atau } P = 4.6 \text{ kW.}$$

Contoh 9 :

Tiga buah beban yang dihubungkan pada rangkaian tiga fasa dengan cara bintang 4 kawat terdiri dari :

Beban A = 19 kVA dengan  $\cos \theta = 0.5$  (lagging)

Beban B = 30 kVA dengan  $\cos \theta = 0.8$  (lagging)

Beban C = 10 kVA dengan  $\cos \theta = 0.9$  (leading)

Dimana tegangan sumber (line to line) = 380 Volt.

Tentukan : a. Tegangan fasa (line to neutral)

b. Arus setiap beban

c. Arus pada kawat netral

d. Daya tiap beban

e. Daya total

Jawab :

a. Tegangan fasa (line to netral) :

$$V_{RN} = \frac{380}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 219.7 \angle 0^\circ$$

$$V_{SN} = \frac{380}{\sqrt{3}} \angle -120^\circ = 219.7 \angle -120^\circ$$

$$V_{TN} = \frac{380}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ = 219.7 \angle 120^\circ$$

b. Arus setiap beban :

$$I_R = \frac{Z_A}{V_{RN}} = \frac{19000}{219.7 \angle 0^\circ} = 86.5 \angle 0^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_S = \frac{Z_B}{V_{SN}} = \frac{30000}{219.7 \angle -120^\circ} = 136.5 \angle 120^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_T = \frac{Z_C}{V_{TN}} = \frac{10000}{219.7 \angle 120^\circ} = 45.5 \angle -120^\circ \text{ Ampere}$$

c. Arus pada kawat netral :

$$\bar{I}_N = \bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T \text{ (penjumlahan secara vektor)}$$

Untuk menjumlahkan ketiga arus beban ini kita ubah terlebih dahulu bentuknya menjadi bentuk operator j.

$$\begin{aligned} I_R &= 86.5 \angle 0^\circ = 86.5 (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) \\ &= 86.5 (1 + j \cdot 0) = 86.5 + j \cdot 0 \end{aligned}$$

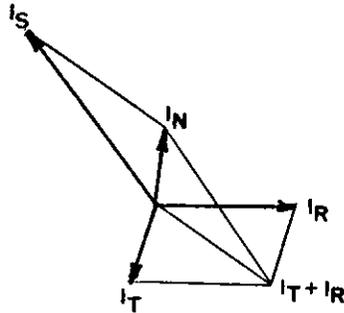
$$\begin{aligned} I_S &= 136.5 \angle 120^\circ = 136.5 (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) \\ &= 136.5 (-0.5 + j 0.866) = -68.25 + j 118.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_T &= 45.5 \angle -120^\circ = 45.5 (\cos 120^\circ - j \sin 120^\circ) \\ &= 45.5 (-0.5 - j 0.866) = -22.75 - j 39.4 \end{aligned}$$

Dengan demikian harga arus  $I_N$  adalah :

$$\begin{aligned} I_N &= (86.5 + j0) + (-68.25 + j118.2) + (-22.75 - j39.4) \\ &= -4.5 + j78.8 = 78.93 \angle 86.4^\circ \end{aligned}$$

Bentuk diagram vektor dari arus rangkaian tiga fasa dapat di lihat pada gambar 29 di bawah ini.



Gambar 29.

Bentuk diagram vektor arus

d. Daya tiap beban :

$$P_A = 219.7 \angle 0^\circ \times 86.5 \angle 0^\circ \times 0.5 = 9502 \text{ W} = 9.5 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} P_B &= 219.7 \angle -120^\circ \times 136.5 \angle 120^\circ \times 0.8 = 23991.3 \text{ W} = \\ &= 24 \text{ kW} \end{aligned}$$

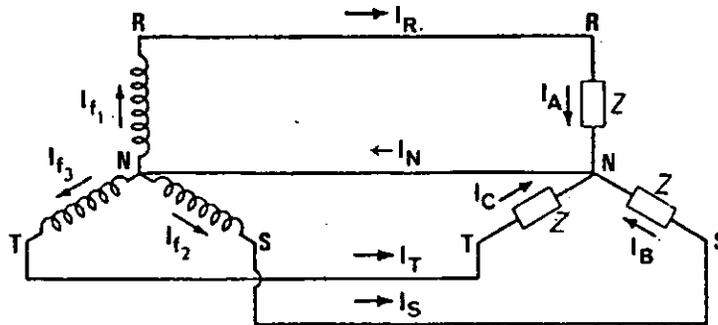
$$\begin{aligned} P_C &= 219.7 \angle 120^\circ \times 45.5 \angle -120^\circ \times 0.9 = 8996.7 \text{ W} = \\ &= 9 \text{ kW} \end{aligned}$$

e. Daya total adalah :

$$P = P_A + P_B + P_C = 9.5 + 24 + 9 \text{ kW} = 42.5 \text{ kW.}$$

### C. ANALISA ARUS PADA KAWAT NETRAL

Rangkaian listrik tiga fasa hubungan bintang dengan menggunakan kawat netral seperti gambar 30 di bawah ini, perhitungannya relatif sederhana. Karena impedansi beban  $Z_R$  akan mendapat tegangan sebesar  $V_{RN}$ . Begitu pula untuk beban  $Z_S$  dan  $Z_T$  akan mendapat tegangan sebesar tegangan fasanya, yaitu  $V_{SN}$  dan  $V_{TN}$ .



Gambar

Rangkaian tiga fasa hubungan bintang dengan kawat netral.

Besarnya arus yang melalui ketiga beban  $Z_R, Z_S$  dan  $Z_T$  akan sama besarnya dengan arus line, yaitu :

$$I_{line} = I_{fasa} \quad (92)$$

Oleh sebab itu arus yang melalui beban  $Z_R, Z_S$ , dan  $Z_T$  besarnya adalah :

$$I_R = I_A = \frac{V_{RN}}{Z_R} \quad (93)$$

$$I_S = I_B = \frac{V_{SN}}{Z_S} \quad (94)$$

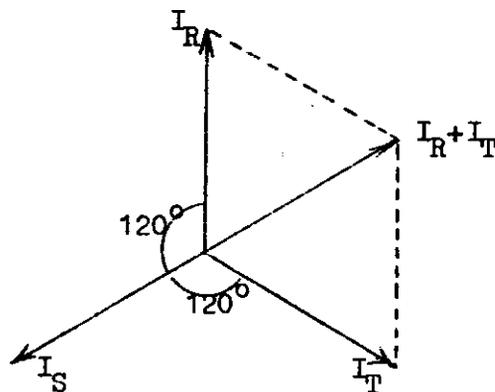
$$I_T = I_C = \frac{V_{TN}}{Z_T} \quad (95)$$

Apabila beban pada hubungan bintang ini seimbang, dimana impedansi (Z) dari rangkaian tiga fasa ini sama besarnya, begitu juga tegangan fasanya, maka arus pada setiap beban akan sama besarnya juga, yaitu :

$$I_R = I_S = I_T \quad (96)$$

Jumlah ketiga arus tersebut secara vektor akan sama dengan nol, sehingga sesuai dengan Hukum Kirhhoff Pertama jumlah ketiga arus tersebut adalah :

$$I_R = I_S = I_T = 0 \quad (97)$$



Gambar 31

Penjumlahan ketiga arus beban seimbang yang sama besar secara vektor

Dari gambar 31 di atas, dapat kita lihat penjumlahan dari ketiga arus line secara vektor, dimana jumlah arus  $I_R$  dengan  $I_T$  mendapatkan harga  $I_R + I_T$  secara vektor. Sedangkan penjumlahan antara  $I_R + I_T$  dengan  $I_S$  mempunyai harga yang sama dan mempunyai arah yang berlawanan, sehingga penjumlahan dari kedua arus tersebut akan mendapatkan harga nol.

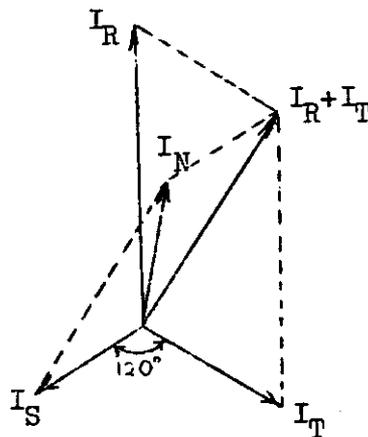
Dengan demikian dari penjelasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa, pada saat beban seimbang dari rangkaian tiga fasa hubungan bintang maka tidak ada arus yang melewati kawat netral. atau dengan kata lain besarnya arus netral pada saat beban seimbang hubungan bintang, besarnya sama dengan nol.

Dalam keadaan beban tak seimbang, dimana besarnya impedansi beban  $Z_R, Z_S$  dan  $Z_T$  tidak sama besarnya, maka arus yang melewati beban tersebut akan tidak sama besarnya, yaitu :

$$I_R \neq I_S \neq I_T \quad (98)$$

Secara vektor penjumlahan ketiga arus beban tersebut, dapat kita lihat pada gambar 32 di bawah ini. Dimana besarnya adalah :

$$(I_R + I_S) + I_T = I_N \quad (99)$$



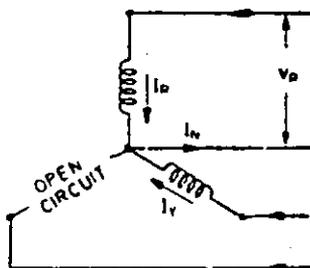
Gambar 32

Penjumlahan arus fasa dalam keadaan beban tak seimbang secara vektor.

Jelaslah disini hasil penjumlahan dari ketiga arus tersebut akan menghasilkan arus netral. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada saat rangkaian tiga fasa

hubungan bintang dimana bebannya tidak seimbang maka besarnya arus netral merupakan penjumlahan secara vektor dari ketiga arus yang melalui beban  $Z_R, Z_S$  dan  $Z_T$ . Atau dengan kata lain bahwa pada saat beban tak seimbang dari rangkaian tiga fasa hubungan bintang dengan 4 kawat, akan terdapat arus yang melalui kawat netral, sebesar jumlah secara vektor arus dari ketiga beban rangkaian tiga fasa tersebut.

Pada saat salah satu kawat line putus atau terbuka tidak terhubung beban, maka arus yang mengalir pada rangkaian tersebut hanya ada dua arus line. Dari gambar 33 di bawah ini nampak bahwa kedua arus line yaitu  $I_R$  dan  $I_Y$  akan menuju ke arah dimana arus netral  $I_N$  terdapat.



Gambar 33

Bentuk rangkaian tiga fasa hubungan bintang dengan salah satu kawat fasa putus atau open circuit

Dengan demikian penjumlahan arus secara vektor akan di dapat sebesar :

$$I_R + I_Y = I_N \quad (100)$$

Dari persamaan (100) di atas dapat kita simpulkan bahwa bila salah satu kawat fasa dari rangkaian tiga

fasa hubung bintang putus atau terbuka, maka besarnya arus netral akan sama dengan jumlah dari kedua arus fasa secara vektor.

Contoh 10 :

Pada rangkaian tiga fasa dengan 4 kawat, dimana salah satu kawat fasa tersebut terbuka. Dua fasa yang lain di hubungkan dengan beban dimana arus pada fasa tersebut adalah 10 A dan 6 A dengan faktor daya 0,8 dan 0,6 lagging. Tentukan : a. Besarnya arus pada kawat netral  
b. Diagram vektor dari arus tersebut.

Jawab :

Dari soal tersebut diketahui  $I_R = 10$  A dan  $I_Y = 6$  A. Dengan faktor daya untuk  $I_R$  adalah 0.8 dan untuk  $I_Y$  adalah 0.6.

$$\theta_1 = \cos^{-1} (0,8) = 36^{\circ} 54'$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} (0,6) = 53^{\circ} 6'$$

Apabila tegangan  $V_R$  kita tentukan sebagai vektor pangkal maka :

$$\begin{aligned} I_R &= 10 \angle -36^{\circ} 54' = 10 (\cos 36^{\circ} 54' - j \cdot \sin 36^{\circ} 54') \\ &= 10 (0,8 - j \cdot 0,6) = 8 - j \cdot 6 \end{aligned}$$

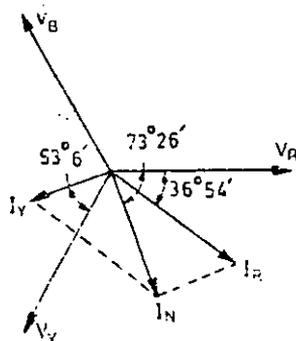
Karena  $V_R$  sebagai vektor pangkal maka  $I_Y = 6 \angle -173^{\circ} 6'$  ini berarti :

$$\begin{aligned} I_Y &= 6 (\cos 173^{\circ} 6' - j \cdot \sin 173^{\circ} 6') = \\ &= 6 (-0,99 - j \cdot 0,12) = -5,94 - j \cdot 0,72 \end{aligned}$$

Maka harga arus pada kawat netral adalah :

$$\begin{aligned} I_N &= (8 - j \cdot 6) + (-5,94 - j \cdot 0,72) = 2,06 - j \cdot 6,72 \\ &= \sqrt{(2,06)^2 + (6,72)^2} = 7,03 \angle 73^{\circ} 26' \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, maka diagram vektor dapat kita gambarkan seperti gambar 34 di bawah ini.



Gambar 34  
Vektor diagram arus soal 10.

#### D. MENENTUKAN URUTAN FASA

Urutan fasa dari suatu sumber listrik tiga fasa dapat ditetapkan dengan jalan memasang beban yang terdiri sebua kapasitor dan dua buah lampu pijar yang mempunyai tahanan yang sama, dalam bentuk hubungan bintang. Dengan menempatkan beban sedemikian rupa kita dapat menentukan urutan fasa dari rangkaian tiga fasa, yaitu  $R \Rightarrow S \Rightarrow T$  atau  $R \Rightarrow T \Rightarrow S$ . Untuk lebih mudah penentuan urutan fasa ini, maka ditetapkan salah satu kawat jala-jala (line) menjadi kawat fasa R, sedangkan untuk kawat fasa S dan kawat fasa T ditetapkan setelah rangkaian tiga fasa tersebut dioperasikan. Dengan demikian urutan fasa R didahulukan sebagai patokan bagi kita untuk dapat menentukan urutan fasa berikutnya, yaitu urutan fasa S yang kedua atau urutan fasa T yang kedua. Ini tergantung dari nyala lampu pijar yang ditempatkan.

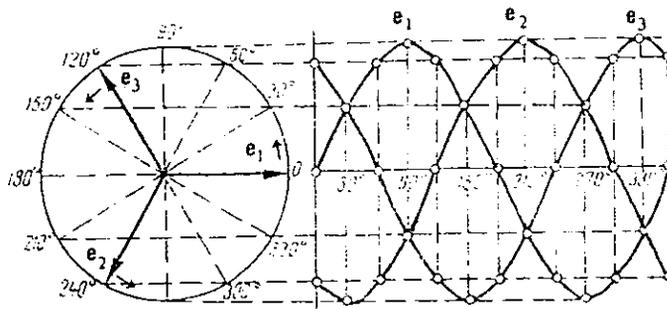
Seperti telah kita ketahui bahwa generator tiga fasa yang membangkitkan tegangan bolak-balik tiga fasa mempunyai nilai sesaat masing-masing berbeda  $120^\circ$  listrik, satu dengan yang lain, yaitu :

$$e_1 = V_m \sin \omega t \quad (101)$$

$$e_2 = V_m \sin (\omega t - 120^\circ) \quad (102)$$

$$e_3 = V_m \sin (\omega t - 240^\circ) \quad (103)$$

Secara grafis bentuk gelombang sinusoida dari masing-masing tegangan bolak-balik tiga fasa tersebut dapat digambarkan seperti gambar 35 di bawah ini.

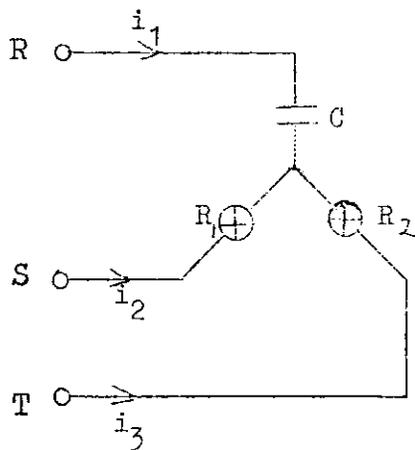


Gambar 35 (a). Bentuk vektor diagram tegangan bolak-balik tiga fasa.  
(b). Bentuk gelombang sinusoida dari tegangan bolak-balik tiga fasa yang berbeda  $120^\circ$  listrik satu dengan yang lain.

Dari gambar 35 diatas, pada saat ketiga tegangan bolak-balik tiga fasa dalam keadaan nilai maksimum, maka tegangan  $e_1$  pada kedudukan  $\pi/2$  atau  $90^\circ$  listrik, dan tegangan  $e_2$  pada kedudukan  $7\pi/6$  atau  $210^\circ$  listrik, serta  $e_3$  pada kedudukan  $11\pi/6$  atau  $330^\circ$  listrik. Yang masing-masing akan mempunyai nilai maksimum (tegangan

puncak) saat berselang waktu  $120^\circ$  listrik.

Untuk menentukan urutan fasa dari rangkaian tiga fasa maka pada rangkaian tersebut dipasangkan pada beban sebuah kapasitor untuk salah satu fasanya, sedang untuk fasa yang lain kita pasang masing-masing lampu pijar yang mempunyai tahanan dalam yang sama. Bentuk rangkaian tersebut dapat kita gambarkan seperti gambar 36 di bawah ini.



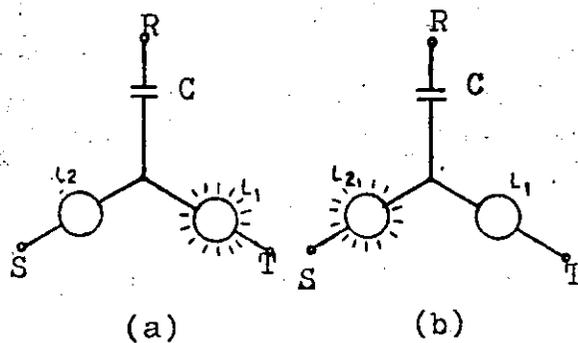
Gambar 36

Bentuk rangkaian tiga fasa hubungan bintang untuk menentukan urutan fasa.

Seperti dikemukakan di atas, maka fasa R kita tentukan terlebih dahulu. Dimana untuk fasa R ini kita pasang kapasitor sebagai beban. Sedangkan kedua fasa yang lain kita pasang lampu pijar sebagai beban.

Pada fasa pertama yang ditetapkan sebagai fasa R, kita pasang kapasitor karena sifat dari kapasitor yang akan mendahului  $90^\circ$  listrik terhadap tegangannya, maka sesuai dengan kedudukan tegangan  $e_1$  pada saat start akan terletak pada kedudukan  $0^\circ$  listrik. Pada saat itu arus pada beban C ( $I_1$ ) akan berkedudukan  $90^\circ$  listrik.

Sedangkan untuk fasa berikutnya tergantung dari beban yang terpasang dan arus yang mempengaruhi kedua beban lampu pijar tersebut. Apabila arus yang mengalir pada beban C lebih dahulu mempengaruhi beban lampu pijar  $R_1$  sehingga lampu pijar  $R_1$  akan menyala lebih terang dari  $R_2$ , maka akan diperoleh urutan  $R \Rightarrow S \Rightarrow T$  yaitu urutan fasa positif. Tetapi bila arus pada beban C lebih dahulu mempengaruhi beban lampu pijar  $R_2$  sehingga lampu pijar  $R_2$  lebih terang nyalanya dari pada beban lampu pijar  $R_1$ , maka akan diperoleh urutan  $R \Rightarrow T \Rightarrow S$  yaitu urutan fasa negatif.



Gambar 37.

- (a). Urutan fasa negatif  $R \Rightarrow T \Rightarrow S$
- (b). Urutan fasa positif  $R \Rightarrow S \Rightarrow T$

Oleh karena pada fasa kedua dan ketiga beban yang terpasang mempunyai tahanan yang sama serta sama-sama berupa beban lampu pijar, maka arus dan tegangan pada fasa kedua dan ketiga tersebut sefasa. Karena beban resistansi arus dan tegangan yang melaluinya akan sefasa.

Pada saat tegangan  $e_1$  dalam kedudukan maksimum, maka tegangan  $e_2$  dan  $e_3$  akan sama besar, yaitu 0.636 dari harga maksimum. Tetapi bila tegangan  $e_2$  berkedudukan mak

simum, maka tegangan  $e_1$  dan  $e_3$  akan sama besarnya, yaitu 0.636 dari harga maksimum. Apabila pada tegangan  $e_2$  tersebut ditempatkan beban lampu pijar  $R_1$  maka pada saat itu lampu pijar  $R_1$  akan menyala lebih terang dari lampu pijar  $R_2$ . Begitu sebaliknya jika pada tegangan  $e_2$  di tempatkan beban lampu pijar  $R_2$  maka pada lampu pijar  $R_2$  akan menyala lebih terang dari lampu pijar  $R_1$ . Untuk keadaan pertama disebut urutan fasa positif, sedang yang kedua disebut urutan fasa negatif.

Pada kenyataannya sangat sulit bagi kita untuk menentukan mana dari kedua lampu pijar tersebut yang menyala lebih terang, karena keduanya sama-sama menyala sehingga faktor kesilauan bagi mata kita yang mengganggu pengamatan yang lebih cermat. Oleh sebab itu untuk bisa menentukan mana fasa S mana fasa T kita dapat melihat besarnya arus yang melalui kedua beban tersebut. Arus yang lebih besar merupakan lampu pijar yang nyalanya lebih terang.

Contoh 11 :

Sebuah rangkaian tiga fasa 4 kawat dihubungkan dengan beban  $Z_R = 10\angle 0^\circ$  Ohm,  $Z_Y = 10\angle 37^\circ$  Ohm, dan  $Z_B = 10\angle 53^\circ$  Ohm secara bintang. Apabila tegangan fasa (line to neutral) = 254 Volt, tentukan arus setiap beban bila urutan fasa (a) RYB dan (b) RBY.

Jawab :

a. Untuk urutan fasa RYB

$$V_{RN} = 254 \angle 0^\circ$$

$$V_{YN} = 254 \angle -120^\circ$$

$$V_{BN} = 254 \angle 120^\circ$$

Dengan demikian harga arus setiap beban, yaitu :

$$I_R = I_{RN} = \frac{V_{RN}}{Z_R} = \frac{254 \angle 0^\circ}{10 \angle 0^\circ} = 25.4 \angle 0^\circ$$

$$I_Y = I_{YN} = \frac{V_{YN}}{Z_Y} = \frac{254 \angle -120^\circ}{10 \angle 37^\circ} = 25.4 \angle -157^\circ$$

$$= 25.4(-0.9205 - j 0.3907) = -23.38 + j9.95$$

$$I_B = I_{BN} = \frac{V_{BN}}{Z_B} = \frac{254 \angle 120^\circ}{10 \angle -53^\circ} = 25.4 \angle 173^\circ$$

$$= 25.4(-0.9925 + j 0.1219) = -25.21 + j 3.1$$

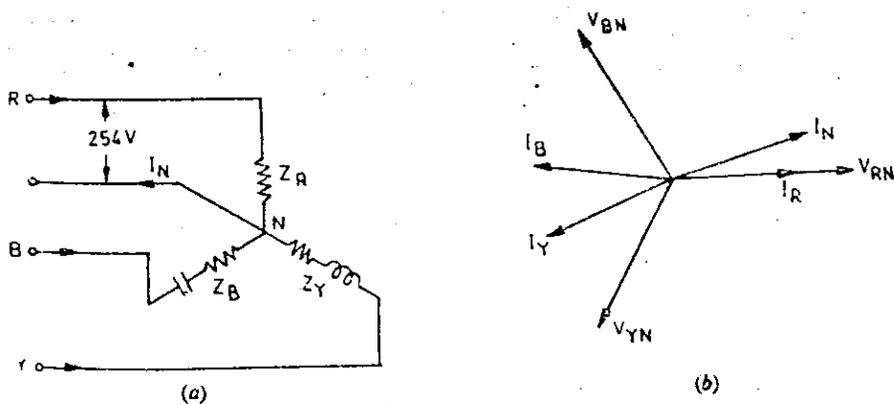
$$I_N = -(I_R + I_Y + I_B)$$

$$= -(25.4 + (-23.38 - j9.95) + (-25.21 + j 3.1))$$

$$= 23.49 + j 6.86$$

$$= 24.46 \angle 16^\circ 15'$$

Diagram vektor dari arus dan rangkaian tiga fasanya dapat dilihat pada gambar 38 di bawah ini.



Gambar 38

- a. Bentuk rangkaian soal 11.
- b. Bentuk diagram vektor untuk urutan RYB

b. Untuk urutan fasa RBY

$$\text{Dimana : } V_{RN} = 254 \angle 0^\circ$$

$$V_{YN} = 254 \angle 120^\circ$$

$$V_{BN} = 254 \angle -120^\circ$$

Dengan demikian harga arus setiap beban adalah :

$$I_R = \frac{254 \angle 0^\circ}{10 \angle 0^\circ} = 25.4 \angle 0^\circ$$

$$I_Y = \frac{254 \angle 120^\circ}{10 \angle 37^\circ} = 25.4 \angle 83^\circ = 3.1 + j 25.2$$

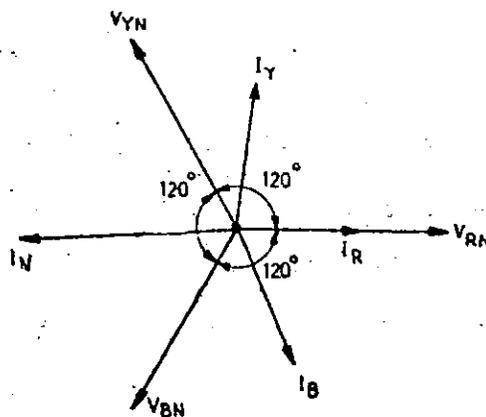
$$I_B = \frac{254 \angle -120^\circ}{10 \angle -53^\circ} = 25.4 \angle -67^\circ = 9.95 - j23.4$$

$$I_N = I_R + I_Y + I_B$$

$$= 25.4 + (3.1 + j25.2) + (9.95 + j23.4)$$

$$= -38.45 - j 1.8 = 38.5 \angle -177.3^\circ$$

Bentuk diagram vektor dari rangkaian tersebut adalah :



gambar 39

Bentuk diagram vektor soal 11

Contoh 12 :

Suatu rangkaian tiga fasa 4 kawat dengan hubungan bin-

tang dihubungkan dengan beban yang mempunyai impedansi sebagai berikut :

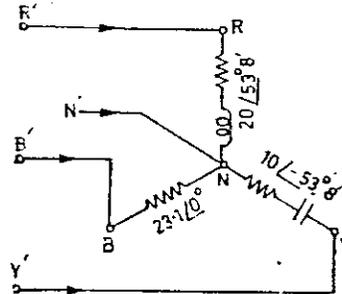
$$Z_{RN} = 16 + j 12$$

$$Z_{YN} = 6 - j 8$$

$$Z_{BN} = 23.1 + j 0$$

Apabila tegangan line = 400 Volt, tentukan kedua urutan fasa positif dan negatif jika  $V_{RY}$  pada sudut  $0^\circ$  untuk :

- Arus line
- Arus netral
- Daya total



Gambar 40

Bentuk rangkaian tiga fasa untuk soal nomor 12.

Jawab :

Untuk urutan fasa positif RYB

Kita tentukan tegangan  $V_{RN}$  sebagai vektor pangkal, maka

$$V_{RN} = 231 \angle -30^\circ$$

$$V_{YN} = 231 \angle -150^\circ$$

$$V_{BN} = 231 \angle 90^\circ$$

Dimana :

$$Z_{RN} = 16 + j 12 = 20 \angle 53^\circ 8' \text{ Ohm}$$

$$Z_{YN} = 6 + j 8 = 10 \angle -53^\circ 8' \text{ Ohm}$$

$$Z_{BN} = 23.1 \angle 0^\circ \text{ Ohm}$$

a. Harga arus line adalah :

$$I_{RN} = \frac{V_{RN}}{Z_{RN}} = \frac{231 \angle -30^\circ}{20 \angle 53^\circ 8'} = 11.55 \angle -83^\circ 8'$$

$$= 1.33 - j 11.08 \text{ Ampere}$$

$$I_{YN} = \frac{V_{YN}}{Z_{YN}} = \frac{231 \angle -150^\circ}{10 \angle -53^\circ 8'} = 23.1 \angle -96^\circ 52'$$

$$= -2.66 - j 22.16 \text{ Ampere}$$

$$I_{BN} = \frac{231 \angle 90^\circ}{23.1 \angle 0^\circ} = 10 \angle 90^\circ = 0 + j 10 \text{ Ampere}$$

b. Besarnya arus netral adalah :

$$I_N = I_{RN} + I_{YN} + I_{BN}$$

$$= (1.33 - j11.08) + (-2.66 - j22.16) + (0 + j10)$$

$$= (-1.33 - j23.24) \text{ Ampere}$$

$$= 23.3 \angle -93.3^\circ \text{ Ampere}$$

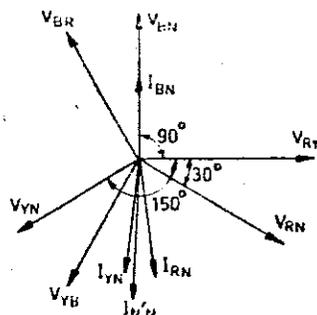
c. Daya pada beban R =  $11.55^2 \times 16 = 2134.44 \text{ Watt}$

Daya pada beban Y =  $23.1^2 \times 6 = 3201.66 \text{ Watt}$

Daya pada beban B =  $10^2 \times 23.1 = 2310 \text{ Watt}$

Daya total adalah =  $7646.1 \text{ Watt} = 7.6 \text{ kW}$

d. Bentuk diagram vektor arus dan tegangan dapat dilihat pada gambar 41 di bawah ini.



Gambar 41

Diagram vektor arus dan tegangan soal nomor 12.

Untuk urutan fasa negatif RBY

Dengan  $V_{RY}$  sebagai vektor pangkal, maka didapatkan :

$$V_{RN} = 231 \angle 30^\circ$$

$$V_{YN} = 231 \angle 150^\circ$$

$$V_{BN} = 231 \angle -90^\circ$$

a. Besarnya arus line adalah :

$$I_{RN} = \frac{231 \angle 30^\circ}{20 \angle 53^\circ 8'} = 11.55 \angle -23^\circ 8' = 10.63 - j 4.54 \text{ A}$$

$$I_{YN} = \frac{231 \angle 150^\circ}{10 \angle -53^\circ 8'} = 23.1 \angle 203^\circ 8' = -21.26 - j 9.08 \text{ A}$$

$$I_{BN} = \frac{231 \angle -90^\circ}{23.1 \angle 0^\circ} = 10 \angle -90^\circ = 0 - j 10 \text{ A}$$

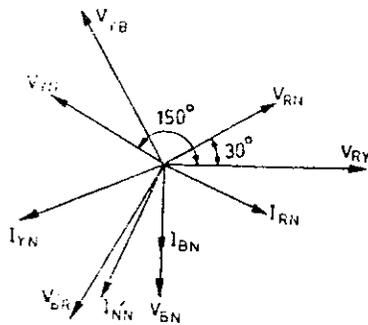
b. Besarnya arus pada kawat netral adalah :

$$\begin{aligned} I_N &= (10.63 - j4.54) + (-21.26 - j9.08) + (0 - j10) \\ &= (-10.63 - j23.62) = 25.68 \angle -114.2^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

c. Besarnya daya total adalah :

$$\begin{aligned} P &= 11.55^2 \times 16 + 23.1^2 \times 6 + 10^2 \times 23.1 \\ &= 7646.1 \text{ Watt} = 7.6 \text{ kW} \end{aligned}$$

d. Bentuk diagram vektor arus dan tegangan dapat dilihat pada gambar 42 di bawah ini.



Gambar 42

Diagram vektor arus dan tegangan soal nomor 12.

DAFTAR BACAAN

- Gupta, A Course in Electrical Technology, Katson Publishing House, Ludhiana, India, 1981.
- Hughes, Electrical Technology, ELBS and Longman Group Ltd, London, 1977.
- Hariadi, Ichwan, et-al, Teori Listrik Arus Tukar, Pen. Integrita's, Yogyakarta, 1969.
- Lewis dan Goodheart, Basic Electric Circuit Theory, The Ronald Press Company, New York, 1958.
- Soni dan Gupta, A Course in Electrical Circuit Analysis, Dhanpat Rai & Sons, New Dwlhi, 1983.
- Soesianto, F, Teori Listrik Arus Bolak Balik, Pen. Bagian Teknik Listrik FT-UGM, Yogyakarta, 1977.
- Theraja, Worked Examples in Electrical Technology, S.Chand & Company Ltd, New Delhi, 1985.
- \_\_\_\_\_, A Text-Book of Electrical Technology, S.Chand & Company Ltd, New Delhi, 1978.
- Wiratmadja, R. Djohari, Operator "J" Dalam Ilmu Listrik Berganti, Pen. Ganaco, Bandung, 1964.

TABEL : NILAI SUDUT SINUS, COSINUS  
DAN TANGENT

Sudut	Sinus	Cosinus	Tangen
$0^\circ$	0	1	0
$30^\circ$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$
$45^\circ$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	1
$60^\circ$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$
$90^\circ$	1	0	$\infty$
$120^\circ$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$-\frac{1}{2}$	$-\sqrt{3}$
$150^\circ$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$-\frac{1}{3}\sqrt{3}$
$180^\circ$	0	-1	0
$210^\circ$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$
$240^\circ$	$-\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$-\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$
$270^\circ$	-1	0	$\infty$
$300^\circ$	$-\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}$	$-\sqrt{3}$
$330^\circ$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$-\frac{1}{3}\sqrt{3}$
$360^\circ$	0	1	0