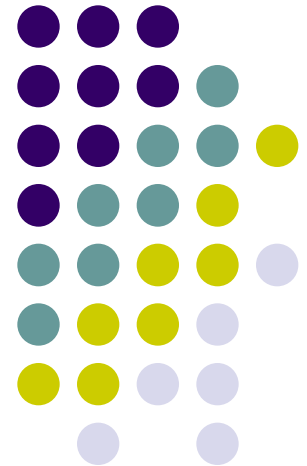
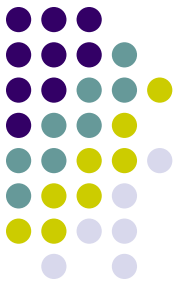


---

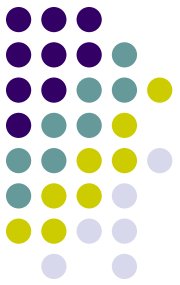
# SISTEM SEIMBANG DAN TIDAK SEIMBANG



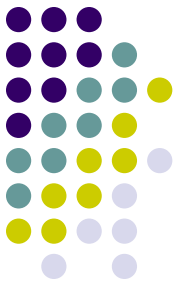
# PENDAHULUAN



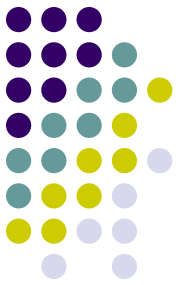
- Sistem seimbang maupun tidak seimbang banyak digunakan pada sistem tenaga listrik (transmisi).
- Keuntungan dari sistem fasa banyak adalah kecilnya sudut antara sudut fasa antar komponen, sedangkan pada transmisi HVDC dapat mengurangi harmonisa arus yang ditimbulkan oleh sistem penyearah. Sehingga dengan dimensi kecil dapat mentransmisikan daya jumlah besar



- Penggunaan sistem multifasa, khususnya 3 fasa memiliki kelebihan dibanding dengan penggunaan sistem fasa yang lain, diantaranya keseimbangannya, stabilitas, konstruksi, dan perawatannya.

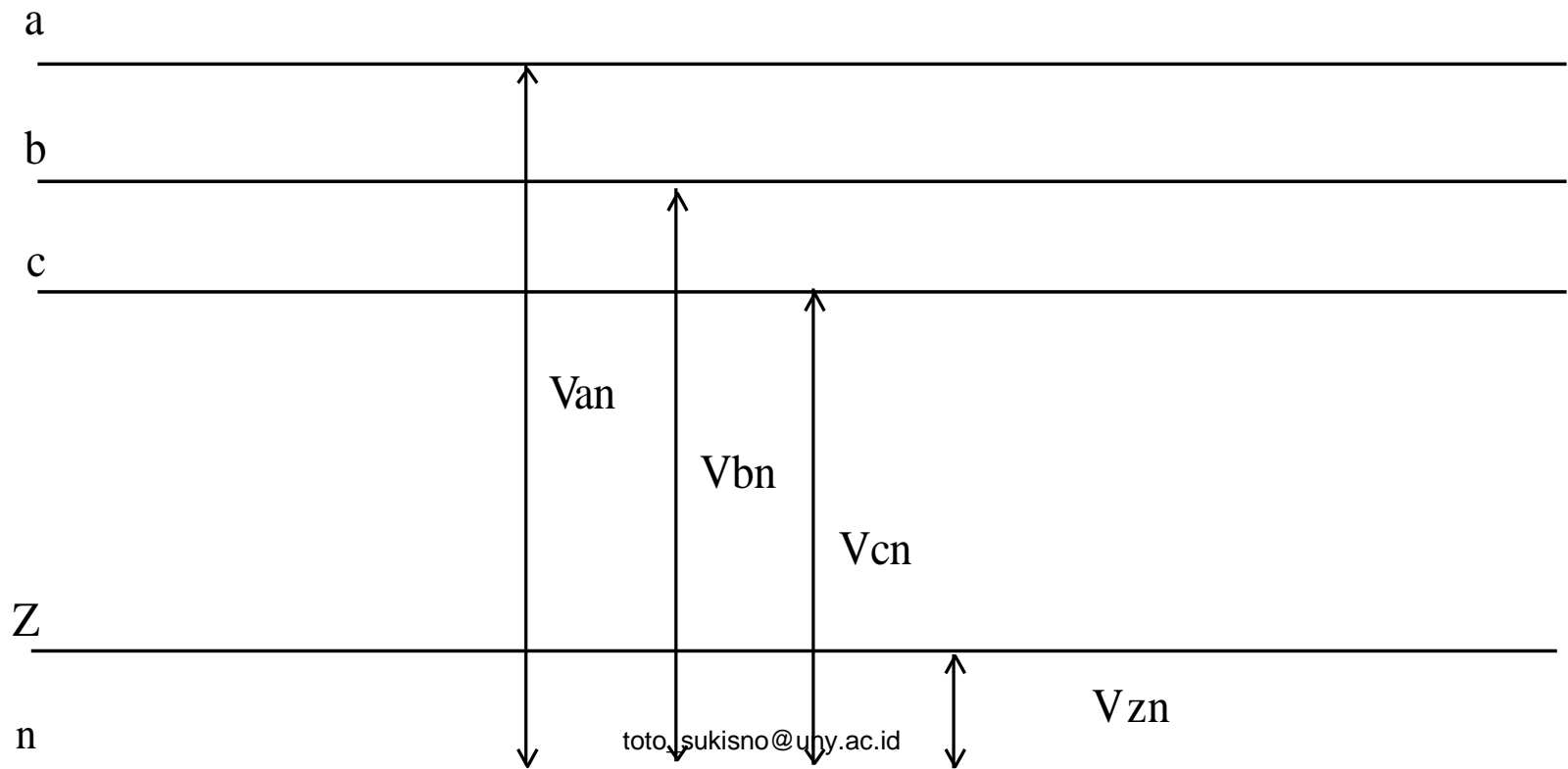


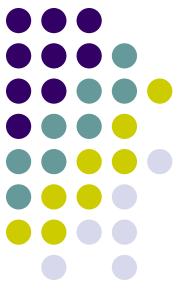
- Materi pokok bahasan bab ini adalah:
  1. Sistem N fasa seimbang dan tidak seimbang
  2. Sistem 3 fasa
  3. Komponen-komponen simetri



# 1. Sistem N fasa seimbang

- Tegangan dan arus yang seimbang suatu jaringan transmisi (penyaluran) sistem N fasa yang terhubung oleh (N+1) konduktor. Gambar dibawah ini adalah jaringan (N+1) konduktor





- Apabila konduktor yang pertama hingga N adalah fasa, dan konduktor terakhir adalah netral dan konduktor netral sebagai referensi.

Tegangan fasa a ke netral :  $V_{an} = V_a = V_a \angle \alpha_a$

Tegangan fasa b ke netral :  $V_{bn} = V_b = V_b \angle \alpha_b$

Tegangan fasa c ke netral :  $V_{cn} = V_c = V_c \angle \alpha_c$

Tegangan fasa z ke netral :  $V_{zn} = V_z = V_z \angle \alpha_z$



- Sedangkan arus-arusnya adalah :

Arus fasa a :  $I_a = I_a \angle \beta_a$

Arus fasa b :  $I_b = I_b \angle \beta_b$

Arus fasa c :  $I_c = I_c \angle \beta_c$

Arus fasa z :  $I_z = I_z \angle \beta_z$

Arus fasa n :  $I_n = I_n \angle \beta_n$

Arus – arus tersebut akan memenuhi persamaan :  $I_a + I_b + I_c + \dots\dots I_z + I_n = 0$

# Tabel tegangan saluran fasa netral dan antar saluran fasa



$V_{1-n}$ (KV)	$V_{1-1}$ (KV)			
	3 fasa	6 fasa	12 fasa	24 fasa
38	66	38	20	10
87	150	87	45	23
199	345	199	103	52
284	500	289	150	75
442	765	442	229	115

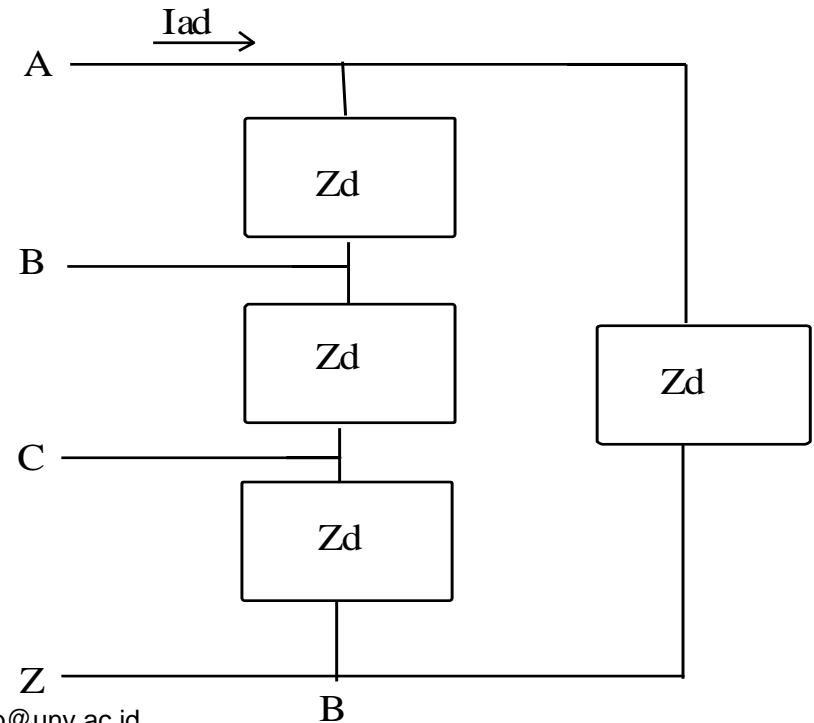
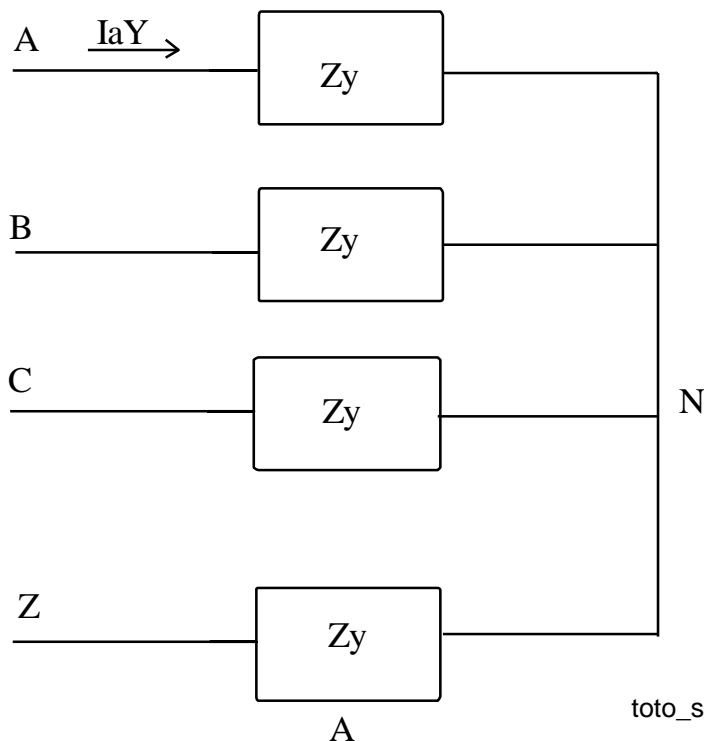
toto\_sukisno@uny.ac.id

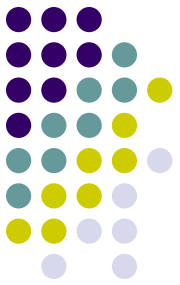




# 1. Impedansi seimbang

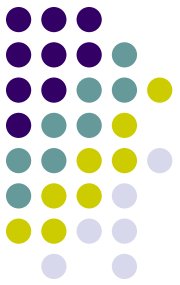
- Impedansi seimbang pada sistim fasa banyak dapat merupakan hubungan bintang atau delta, seperti pada gambar dibawah ini.





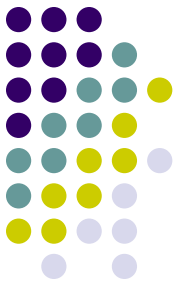
- Untuk hubungan bintang berlaku :

$$I_{aY} = \frac{V_{an}}{Z_y} = \frac{V_f}{Z_y} = \angle 0^\circ$$



- Dan untuk hubungan delta :

$$\begin{aligned} I_{ad} &= \frac{V_{ab}}{Z_d} + \frac{V_{az}}{Z_d} \\ &= \frac{1}{Z_d} (V_{an} - V_{bn} + V_{an} - V_{2n}) \\ &= \frac{V_f}{Z_d} (1 \angle \theta - 1 \angle -\theta + 1 \angle \theta - 1 \angle \theta) \\ &= \frac{2V_f}{Z_d} (1 - \cos \theta) \end{aligned}$$

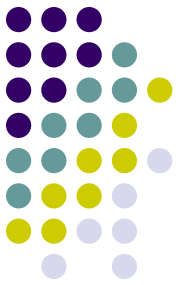


- Arus untuk kedua hubungan tersebut adalah setara dengan persamaan :

$$I_{ad} = I_a Y$$

$$\frac{2V_f}{Z_d} (1 - \cos \theta) = \frac{V_f}{Z_y}$$

$$Z_d = 2(1 - \cos \theta) Z_y$$

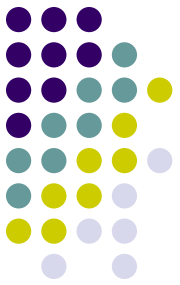


- Berdasarkan persamaan diatas diperoleh tabel hubungan impedansi untuk beberapa sistem fasa banyak seimbang.

JUMLAH FASA	DERAJAD	Zd/Zy
3	120 <sup>0</sup>	3
4	90 <sup>0</sup>	2
6	60 <sup>0</sup>	1
9	40 <sup>0</sup>	0,468
12	30 <sup>0</sup>	0,268
24	15 <sup>0</sup>	0,068

selain itu, untuk sistem seimbang persamaan menjadi:

$$\mathbf{I_n} = -(\mathbf{I_a} + \mathbf{I_b} + \mathbf{I_c} \dots \mathbf{I_z}) = \mathbf{0}$$



## 2. Sistem 3 fasa seimbang

- Untuk sistem 3 fasa seimbang, impedansinya adalah :

$$\begin{aligned}Z_d &= 2(1 - \cos 120^\circ)Z_y \\ &= 2(1 + 0,5)Z_y \\ Z_d &= 3Z_y\end{aligned}$$

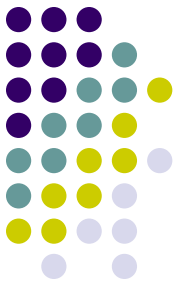
- Sedangkan dayanya adalah :

$$S_{3\phi} = 3V_f \cdot I_f$$

Atau

$$S_{3\phi} = \sqrt{3V_1 \cdot I_1}$$

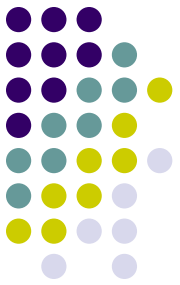
# Sistem tidak seimbang



## 1. Beban tidak seimbang

pada sistem tidak seimbang arus tiap komponen dapat memberikan kenaikan arus atau tegangan urutan komponen lain.

Terjadi karena adanya beban atau impedansi yang tidak seimbang harus dipikul oleh sistem suplai tersebut.



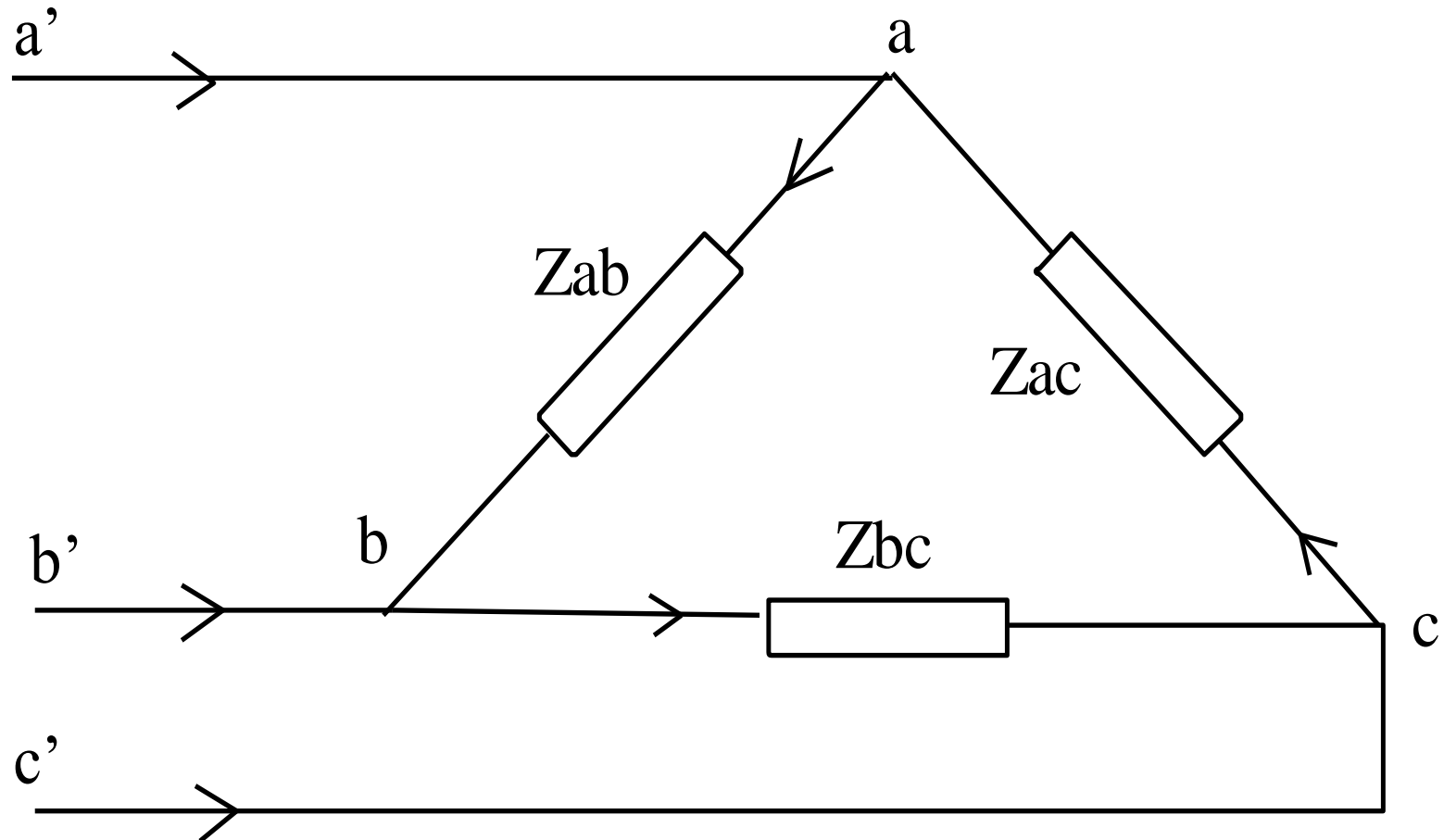
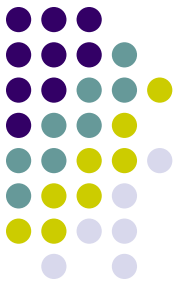
## a. Beban hubungan delta

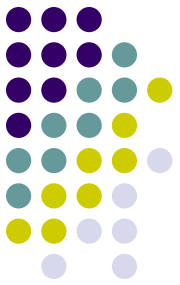
- Meskipun suplai tegangan seimbang akan menyebabkan arus pada beban tidak seimbang, namun jumlah seluruh arus saluran (line) adalah nol sesuai dengan persamaan terdahulu akan memenuhi :

$$Ia' a + Ib' b + Ic' c = 0$$



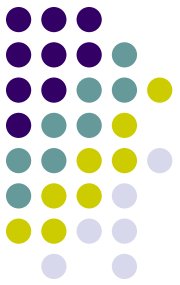
# Beban sistem delta tidak seimbang



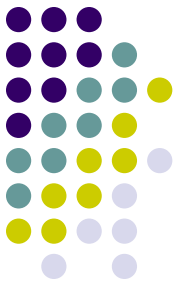


## b. Hubungan bintang

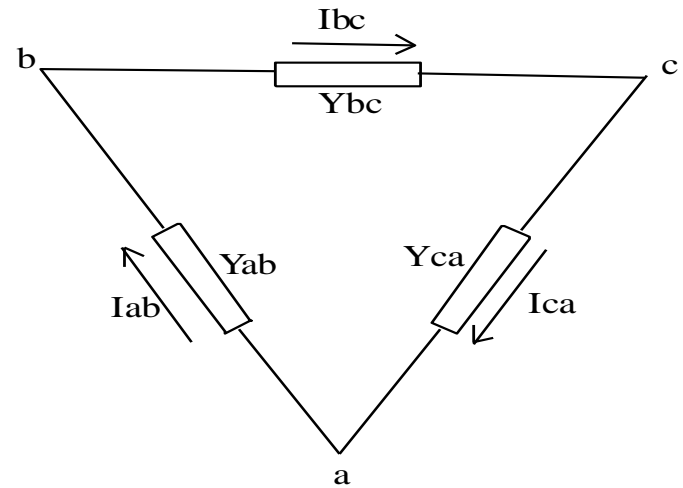
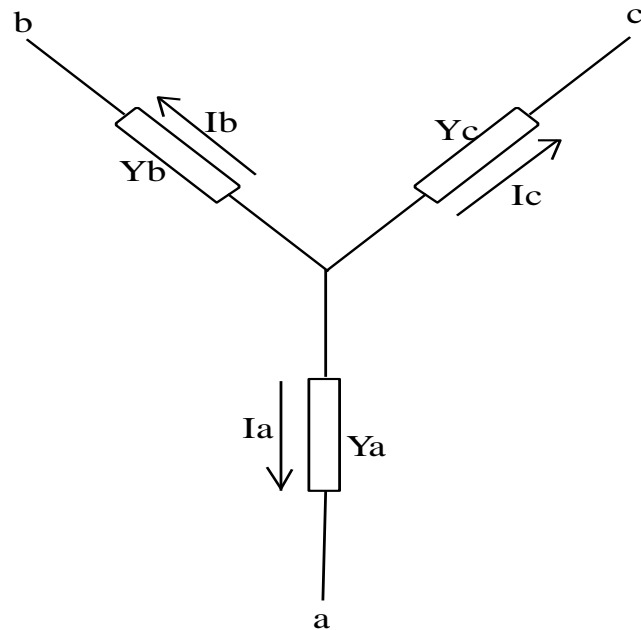
- Dua macam hubungan bintang pada sistem fasa banyak :
  1. dengan saluran netral
  2. tanpa saluran netral



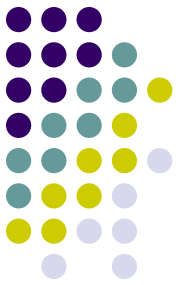
- Terdapat beberapa cara untuk menyelesaikan perhitungan beban tidak seimbang pada hubungan bintang tanpa saluran netral antara lain :
  1. metode transformasi bintang ke delta
  2. metode hukum kirchoff
  3. metode teorema milman
  4. metode arus loop



- Metode yang mudah digunakan untuk menyelesaikan beban 3 fasa tidak seimbang adalah metode transformasi bintang ke delta.

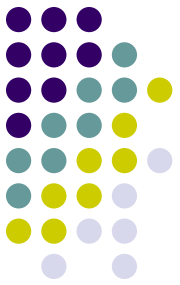


transformasi admitansi bintang delta



- Transformasi hubungan bintang, didapatkan rumus :  
    Hasil kali admitansi bintang pada
- $Y = \frac{\text{titik terminal yang bersangkutan}}{\text{Jumlah admitansi bintang}}$

$$Y_{ab} = \frac{Y_a Y_b}{D}$$



- Dengan  $Y_{ab} = 1/Z_{ab}; Y_a = 1/Z_a; Y_b = 1/Z_b$

$$D = Y_a + Y_b + Y_c + \dots\dots\dots$$

- Dapat juga ditulis impedansinya :

$$Z_{ab} = \frac{1/Z_a + 1/Z_b + 1/Z_c \dots}{1/Z_a 1/Z_b}$$



- Sehingga khusus untuk sistem 3 fasa didapatkan hubungan :

$$Z_{ab} = \frac{Z_a Z_b + Z_b Z_c + Z_c Z_a}{Z_c}$$

- Bila  $Z_a Z_b + Z_b Z_c + Z_c Z_a = K$  , maka dengan jalan yang sama akan diperoleh :

$$Z_{ab} = K / Z_c$$

$$Z_{bc} = K / Z_a$$

$$Z_{ca} = K / Z_b$$

## 2. Tegangan dan arus tidak seimbang

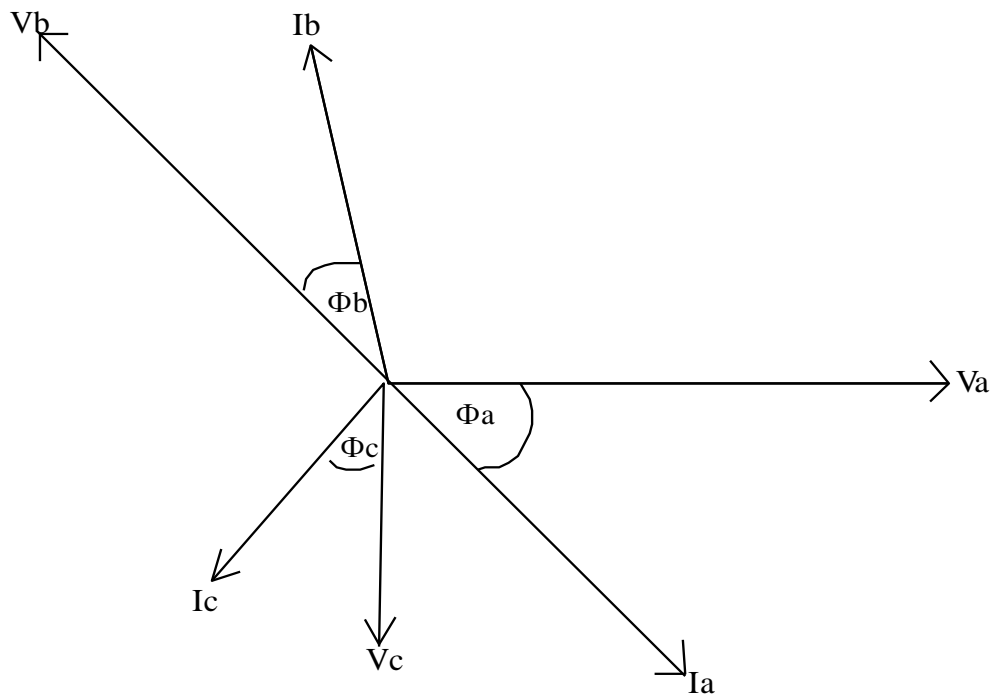


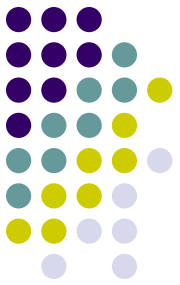
- Apabila tegangan dan arus pada suatu sistem tidak seimbang, maka jumlah resultan vektor tidak sama dengan nol, ini artinya akan mengalir arus pada saluran netral (pada hubungan bintang).





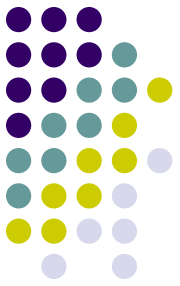
- Gambar vektor tegangan dan arus tidak seimbang



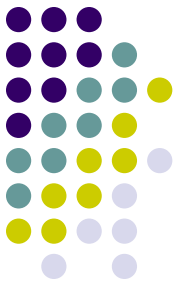


- Sistem tidak seimbang terjadi pada keadaan sistim operasi tenaga listrik abnormal yaitu pada saat terjadi gangguan. Perhitungan dan analisa sistim tidak seimbang dilakukan dengan bantuan metode komponen simetri.

# 3. Komponen simetri



- Tiga fasor tak seimbang dari suatu sistem 3 fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan-himpunan seimbang dari komponen – komponen itu adalah :
  1. komponen urutan positif
  2. komponen urutan negatif
  3. komponen urutan nol



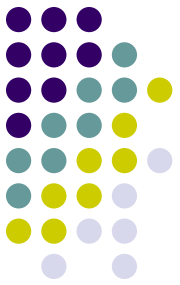
# Ringkasan

- Suatu sistim tak seimbang dapat diuraikan menjadi komponen seimbang. Komponen simetri dapat dihitung matematis.
- Tegangan pada sumber seimbang, sedangkan sisi penerima tak seimbang, disebabkan oleh impedansi saluran / beban tak seimbang.
- Sistim seimbang hanya untuk urutan positif

# Impedansi urutan mesin serempak



- Mesin listrik 3 fasa serempak (generator atau motor) hanya mempunyai tegangan urutan positif, karena dirancang untuk sistem seimbang. Oleh karena itu urutan positif terdiri dari tegangan(emf) yang seri dengan impedansi urutan positifnya.



- Mesin serempak yang netralnya ditanahkan

karena :  $E_{a0} = 0$

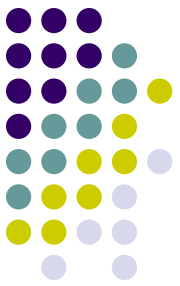
$$E_{a1} = E_g$$

$$E_{a2} = 0$$

- Maka  $V_{a0} = 0 - I_{a0}Z_{g0}$

$$V_{a1} = E_g - I_{a1}Z_{g1}$$

$$V_{a2} = 0 - I_{a2}Z_{g2}$$



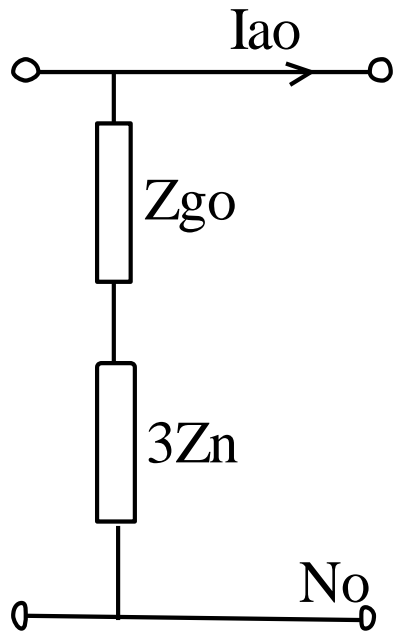
- Dengan  $Z_{g0}, Z_{g1}$  dan  $Z_{g2}$  adalah impedansi urutan nol, positif dan negatif dari mesin serempak. sedangkan  $V_{a0}, V_{a1}$  dan  $V_{a2}$  adalah komponen urutan nol, positif dan negatif dari tegangan terminal.

apabila netralnya ditanahkan melalui  $Z_n$ , jumlah tegangan urutan nolnya :

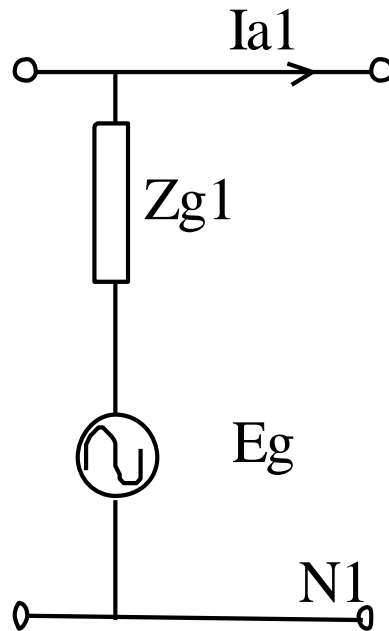
$$\begin{aligned} V_{a0} &= I_{a0}Z_{g0} + I_n Z_n \\ &= I_{a0}Z_{g0} + 3I_{a0}Z_n \end{aligned}$$

$$V_{a0} = I_{a0}(Z_{g0} + 3Z_n)$$

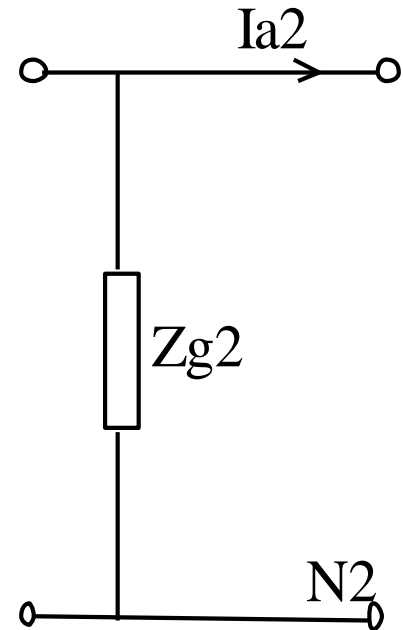
# Gambar jaringan urutan mesin sinkron atau generator



A.urutan nol



B.urutan positif



C.urutan negatif