

DASAR-DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

Minggu 2: Analisis Rangkaian AC Tiga Fasa

Teknik Elektro

Universitas - Bengkulu

9 Agustus 2026

Outline Perkuliahan

- 1 Pendahuluan
- 2 Keunggulan Sistem Tiga Fasa
- 3 Konfigurasi Sambungan
- 4 Perhitungan Daya Tiga Fasa
- 5 Sistem Per-Unit
- 6 Aplikasi GNU Octave
- 7 Studi Kasus
- 8 Rangkuman

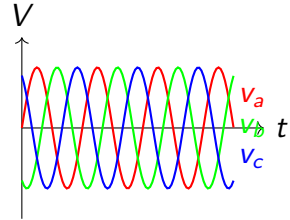
Setelah perkuliahan ini, mahasiswa diharapkan mampu:

- 1 Menjelaskan keunggulan sistem tiga fasa dibanding sistem satu fasa
- 2 Menganalisis konfigurasi sambungan Bintang (Y) dan Delta (Δ)
- 3 Menghitung parameter daya pada sistem tiga fasa
- 4 Memahami dan menerapkan sistem per-unit
- 5 Menggunakan GNU Octave untuk perhitungan rangkaian tiga fasa

Mengapa Sistem Tiga Fasa?

Keunggulan Sistem Tiga Fasa:

- **Efisiensi Material:** Penggunaan konduktor 25% lebih sedikit
- **Daya Konstan:** Tidak ada ripple daya sesaat
- **Torsi Konstan:** Pada motor tiga fasa
- **Tegangan Seimbang:** Meminimalkan interferensi
- **Biaya Ekonomis:** Lebih murah untuk transmisi daya besar



Gambar: Gelombang Tegangan Tiga Fasa

Perbandingan Material Konduktor

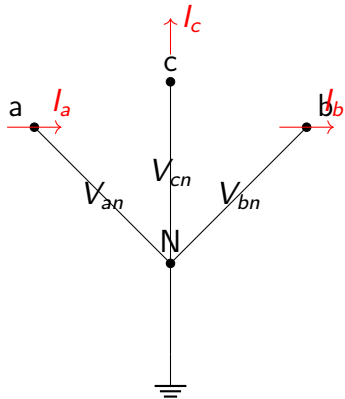
Parameter	Sistem 1 Fasa	Sistem 3 Fasa
Jumlah Konduktor	2	3
Luas Penampang Total	$2A$	$1.5A$
Berat Material	$2W$	$1.5W$
Penghematan	-	25%

Tabel: Perbandingan Penggunaan Material

Catatan

Untuk daya dan jarak transmisi yang sama, sistem tiga fasa menghemat 25% material konduktor dibanding sistem satu fasa.

Sambungan Bintang (Y)



Gambar: Sambungan Bintang (Y)

Hubungan Tegangan dan Arus:

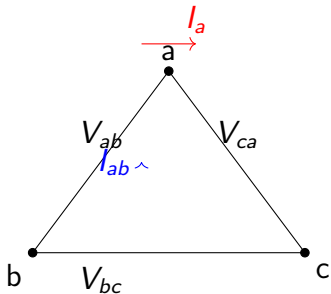
$$V_L = \sqrt{3} V_f \quad (1)$$

$$I_L = I_f \quad (2)$$

Dimana:

- V_L = Tegangan saluran (line voltage)
- V_f = Tegangan fasa (phase voltage)
- I_L = Arus saluran (line current)
- I_f = Arus fasa (phase current)

Sambungan Delta (Δ)



Gambar: Sambungan Delta (Δ)

Hubungan Tegangan dan Arus:

$$V_L = V_f \quad (3)$$

$$I_L = \sqrt{3} I_f \quad (4)$$

Karakteristik Delta:

- Tegangan saluran = Tegangan fasa
- Arus saluran = $\sqrt{3} \times$ Arus fasa
- Tidak ada titik netral
- Tahan terhadap gangguan satu fasa

Perbandingan Sambungan Y dan Δ

Parameter	Sambungan Y	Sambungan Δ
V_L vs V_f	$V_L = \sqrt{3}V_f$	$V_L = V_f$
I_L vs I_f	$I_L = I_f$	$I_L = \sqrt{3}I_f$
Titik Netral	Ada	Tidak ada
Isolasi Tegangan	Rendah	Tinggi
Aplikasi Utama	Distribusi	Motor, Transformator
Harmonik ke-3	Terjebak di netral	Bersirkulasi

Tabel: Perbandingan Konfigurasi Sambungan

Jenis-Jenis Daya dalam Sistem AC

Daya Aktif (P):

$$P = 3V_f I_f \cos \phi = \sqrt{3}V_L I_L \cos \phi$$

Satuan: Watt (W)

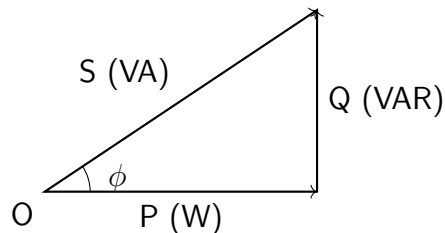
Daya Reaktif (Q):

$$Q = 3V_f I_f \sin \phi = \sqrt{3}V_L I_L \sin \phi$$

Satuan: Volt-Ampere Reaktif (VAR)

Daya Semu (S):

$$S = 3V_f I_f = \sqrt{3}V_L I_L = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



Gambar: Segitiga Daya

Faktor Daya dan Daya Kompleks

Faktor Daya:

$$\text{PF} = \cos \phi = \frac{P}{S}$$

Interpretasi Faktor Daya:

- PF = 1: Beban resistif murni
- PF = 0: Beban reaktif murni
- PF lagging: Beban induktif
- PF leading: Beban kapasitif

Daya Kompleks:

$$\begin{aligned} \mathbf{S} &= P + jQ = 3\mathbf{V}_f \mathbf{I}_f^* \\ &= \sqrt{3}\mathbf{V}_L \mathbf{I}_L^* \angle \phi \end{aligned}$$

Dalam bentuk polar:

$$\mathbf{S} = S \angle \phi$$

- $S = |\mathbf{S}|$ (magnitude)
- ϕ = sudut impedansi

Sistem Tiga Fasa Seimbang vs Tidak Seimbang

Sistem Seimbang:

- Magnitude tegangan/arus sama
- Beda fasa 120
- $\mathbf{V_a + V_b + V_c = 0}$
- Perhitungan per fasa $\times 3$

Sistem Tidak Seimbang:

- Magnitude berbeda
- Beda fasa tidak 120
- Ada arus netral
- Perhitungan per fasa terpisah

Contoh Sistem Seimbang:

$$\mathbf{V_a = V \angle 0} \quad (5)$$

$$\mathbf{V_b = V \angle -120} \quad (6)$$

$$\mathbf{V_c = V \angle +120} \quad (7)$$

Dampak Ketidakseimbangan:

- Rugi-rugi tambahan
- Getaran mekanis
- Umur peralatan berkurang
- Harmonik

Pengantar Sistem Per-Unit

Definisi Sistem Per-Unit:

Sistem per-unit adalah metode normalisasi besaran listrik dengan membaginya terhadap nilai dasar (base value) yang dipilih.

Formula Dasar:

$$\text{Nilai per-unit} = \frac{\text{Nilai aktual}}{\text{Nilai dasar (base)}}$$

Keuntungan Sistem Per-Unit:

- Menyederhanakan perhitungan pada sistem multi-tegangan
- Impedansi per-unit transformator hampir konstan
- Memudahkan analisis sistem tenaga yang kompleks
- Menghilangkan masalah referensi tegangan primer/sekunder

Nilai-Nilai Dasar (Base Values)

Empat Besaran Dasar:

Hanya perlu menentukan 2 nilai dasar, 2 lainnya terikat:

$$S_{base} = \text{Daya dasar (MVA)} \quad (8)$$

$$V_{base} = \text{Tegangan dasar (kV)} \quad (9)$$

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \times V_{base}} \quad (10)$$

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}} = \frac{V_{base}}{\sqrt{3} \times I_{base}} \quad (11)$$

Catatan Penting:

- S_{base} sama untuk seluruh sistem
- V_{base} berubah sesuai rasio transformator

Konversi ke Sistem Per-Unit

Formula Konversi:

$$V_{pu} = \frac{V_{aktual}}{V_{base}} \quad (12)$$

$$I_{pu} = \frac{I_{aktual}}{I_{base}} \quad (13)$$

$$Z_{pu} = \frac{Z_{aktual}}{Z_{base}} \quad (14)$$

$$S_{pu} = \frac{S_{aktual}}{S_{base}} \quad (15)$$

Contoh Perhitungan:

Diketahui: $S_{base} = 100 \text{ MVA}$, $V_{base} = 11 \text{ kV}$

Contoh Aplikasi Per-Unit

Soal:

Motor tiga fasa dengan rating 50 kW, 380 V, PF = 0.8 lagging.

Gunakan base: $S_{base} = 100$ kVA, $V_{base} = 380$ V.

Hitung nilai per-unit daya aktif, reaktif, dan arus!

Penyelesaian:

$$P_{pu} = \frac{50}{100} = 0.5 \text{ pu} \quad (18)$$

$$S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{50}{0.8} = 62.5 \text{ kVA} \quad (19)$$

$$S_{pu} = \frac{62.5}{100} = 0.625 \text{ pu} \quad (20)$$

$$Q = S \sin \phi = 62.5 \times 0.6 = 37.5 \text{ kVAR} \quad (21)$$

Implementasi di GNU Octave

Perhitungan Daya Tiga Fasa dengan Bilangan Kompleks:

```
% Definisi tegangan tiga fasa (sistem seimbang)
V_magnitude = 230; % Volt (line voltage)
theta = [0, -120, 120] * pi/180; % rad

% Tegangan fasa (Y connection)
Vf = V_magnitude / sqrt(3);
Va = Vf * exp(1j * theta(1));
Vb = Vf * exp(1j * theta(2));
Vc = Vf * exp(1j * theta(3));

% Arus dengan impedansi beban
Z_load = 10 + 5j; % ohm
Ia = Va / Z_load;
```

Lanjutan: Perhitungan Daya

Perhitungan Daya Kompleks:

```
% Daya per fasa
S_phase = [Va * conj(Ia), Vb * conj(Ib), Vc * conj(Ic)];

% Total daya tiga fasa
S_total = sum(S_phase);
P_total = real(S_total);      % Daya aktif (W)
Q_total = imag(S_total);      % Daya reaktif (VAR)
S_magnitude = abs(S_total); % Daya semu (VA)

% Faktor daya
PF = P_total / S_magnitude;

fprintf('Daya Aktif: %.2f W\n', P_total);
```

Konversi Sistem Per-Unit di Octave

Fungsi Konversi Per-Unit:

```
function [V_pu, I_pu, Z_pu, S_pu] = convert_to_pu(V, I, Z, S, ...  
                                                S_base, V_base)
```

```
% Konversi ke sistem per-unit
```

```
% Input: nilai aktual dan nilai base
```

```
% Output: nilai per-unit
```

```
I_base = S_base / (sqrt(3) * V_base);
```

```
Z_base = V_base^2 / S_base;
```

```
V_pu = V / V_base;
```

```
I_pu = I / I_base;
```

```
Z_pu = Z / Z_base;
```

```
S_pu = S / S_base;
```

Contoh Penggunaan Fungsi

Implementasi Contoh Soal:

```
% Data motor
P_motor = 50e3;           % 50 kW
V_motor = 380;            % 380 V
PF = 0.8;                 % lagging

% Base values
S_base = 100e3;           % 100 kVA
V_base = 380;             % 380 V

% Perhitungan
S_motor = P_motor / PF;
Q_motor = S_motor * sin(acos(PF));
I_motor = S_motor / (sqrt(3) * V_motor);
```

Studi Kasus: Sistem Distribusi Bengkulu

Permasalahan:

Gardu distribusi 20 kV melayani beban tiga fasa:

- Beban industri: 500 kW, $PF = 0.85$ lagging
- Beban komersial: 200 kW, $PF = 0.9$ lagging
- Beban residensial: 150 kW, $PF = 0.95$ lagging

Hitung total beban dalam sistem per-unit dengan base 1 MVA, 20 kV!

Langkah Penyelesaian:

- 1 Hitung daya aktif dan reaktif masing-masing beban
- 2 Jumlahkan total beban
- 3 Konversi ke sistem per-unit
- 4 Analisis karakteristik sistem

Penyelesaian Studi Kasus

Perhitungan Daya Reaktif:

$$Q_1 = P_1 \tan(\cos^{-1}(0.85)) = 500 \times 0.618 = 309 \text{ kVAR} \quad (23)$$

$$Q_2 = P_2 \tan(\cos^{-1}(0.9)) = 200 \times 0.484 = 97 \text{ kVAR} \quad (24)$$

$$Q_3 = P_3 \tan(\cos^{-1}(0.95)) = 150 \times 0.329 = 49 \text{ kVAR} \quad (25)$$

Total Beban:

$$P_{total} = 500 + 200 + 150 = 850 \text{ kW} \quad (26)$$

$$Q_{total} = 309 + 97 + 49 = 455 \text{ kVAR} \quad (27)$$

$$S_{total} = \sqrt{850^2 + 455^2} = 964 \text{ kVA} \quad (28)$$

Rangkuman Materi

Poin-Poin Penting:

- 1 **Keunggulan 3 Fasa:** Efisiensi material 25%, daya konstan, ekonomis
- 2 **Sambungan Y:** $V_L = \sqrt{3}V_f$, $I_L = I_f$, ada netral
- 3 **Sambungan Δ :** $V_L = V_f$, $I_L = \sqrt{3}I_f$, tanpa netral
- 4 **Daya 3 Fasa:** $P = \sqrt{3}V_L I_L \cos \phi$, $Q = \sqrt{3}V_L I_L \sin \phi$
- 5 **Sistem Per-Unit:** Normalisasi untuk analisis multi-tegangan
- 6 **GNU Octave:** Tool komputasi untuk analisis rangkaian kompleks

Aplikasi dalam Sistem Tenaga:

Semua konsep ini fundamental untuk memahami transmisi, distribusi, dan operasi sistem tenaga listrik di Indonesia.

Tugas dan Persiapan Minggu Depan

Penugasan Minggu Ini:

- 1 Soal perhitungan rangkaian tiga fasa (Y dan Δ)
- 2 Implementasi solusi menggunakan GNU Octave
- 3 Konversi sistem per-unit untuk berbagai konfigurasi
- 4 Analisis beban sistem distribusi

Persiapan Minggu Depan - Transformator:

- Baca: Prinsip induksi elektromagnetik
- Review: Rangkaian ekuivalen transformator
- Install: Octave dan pastikan berfungsi dengan baik

Terima Kasih!
Pertanyaan?