Teknik Tenaga Listrik

Minggu 4 (Bab 4): Sistem Tenaga Listrik 3-Fasa Seimbang

Hubungan Bintang (Y) & Segitiga (Δ), Tegangan/Arus Line & Fasa, Perhitungan Daya, & Motor Kompresor

Novalio Daratha, S.T., M.Sc., Ph.D.

Program Studi S-1 Teknik Mesin (Semester 3 – Ganjil)
Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Tahun Akademik 2026



Peta Bahasan Perkuliahan Minggu 4 (CPMK 2 – Bobot 6%)



Capaian Pembelajaran Perkuliahan Minggu 4 (CPMK 2)

Setelah menyelesaikan perkuliahan Bab 4 ini, mahasiswa mampu:

1. **C1 (Mengingat):** Menyebutkan urutan fasa pembangkitan (R-S-T / L1-L2-L3) dan rasio tegangan $\sqrt{3}$.
2. **C2 (Memahami):** Menjelaskan perbedaan fundamental hubungan Bintang (Y) vs Segitiga (Δ) serta alasan sistem 3-fasa menghasilkan daya sesaat konstan.
3. **C3 (Menerapkan):** Menghitung tegangan line, arus line, arus fasa, dan daya aktif 3-fasa ($P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\phi$).
4. **C4 (Menganalisis):** Menganalisis perbandingan arus starting ketika belitan motor dihubungkan Star vs Delta (rasio 1/3).
5. **C5 (Mengevaluasi):** Mengevaluasi pengukuran daya 3-fasa metode 2-Wattmeter dan mendeteksi kondisi unbalance.
6. **C6 (Merancang):** Merancang instalasi pencatu daya 3-fasa 380 V untuk sistem kompresor udara ulir (*screw compressor*) pabrik.

Pembangkitan Tegangan 3-Fasa Seimbang

Tiga kumparan identik dipasang pada stator dengan pergeseran spasial 120°:

$$v_{an}(t) = V_{ph}\sqrt{2}\sin(\omega t) \quad (1)$$

$$v_{bn}(t) = V_{ph}\sqrt{2}\sin(\omega t - 120^\circ) \quad (2)$$

$$v_{cn}(t) = V_{ph}\sqrt{2}\sin(\omega t - 240^\circ) \quad (3)$$

Sifat Penting Sistem Seimbang

Jumlah sesaat ketiga tegangan dan arus selalu nol:

$$v_{an} + v_{bn} + v_{cn} = 0, \quad i_a + i_b + i_c = 0 \quad (4)$$

Kawat netral pada sistem seimbang praktis **tidak membawa arus ($I_N = 0$)**!

Keunggulan Sistem 3-Fasa

- **Daya Sesaat Konstan:** $p_{3\phi}(t) = 3V_{ph}I_{ph}\cos\phi$ (tidak berdenyut seperti 1-fasa). Menghasilkan torsi motor yang sangat mulus tanpa getaran mekanik.
- **Hemat Konduktor:** Memindahkan daya yang sama dengan volume tembaga $\approx 75\%$ dibanding 1-fasa.
- **Medan Putar Alami:** Langsung menghasilkan medan magnet putar pada motor induksi.



Hubungan Bintang (Star / Y)

Ujung belitan U_2, V_2, W_2 dihubung bersama menjadi titik Netral (N):

Karakteristik Hubungan Bintang

- **Arus Line sama dengan Arus Fasa:**

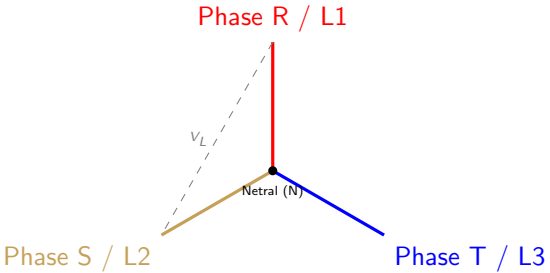
$$\mathbf{I_L} = \mathbf{I_{ph}} \tag{5}$$

- **Tegangan Line $\sqrt{3}$ kali Tegangan Fasa:**

$$\mathbf{V_L} = \sqrt{\mathbf{3}} \cdot \mathbf{V_{ph}} \angle \mathbf{30}^\circ \tag{6}$$

Standar Tegangan PLN Indonesia

- Tegangan Fasa-ke-Netral: $V_{ph} = 220$ V
- Tegangan Line-ke-Line: $V_L = 220 \times \sqrt{3} \approx 380$ V



Hubungan Segitiga (Delta / Δ)

Ujung akhir belitan dihubungkan ke pangkal belitan fasa berikutnya:

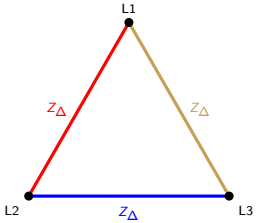
Karakteristik Hubungan Delta

- **Tegangan Line sama dengan Tegangan Fasa:**

$$\mathbf{V_L = V_{ph}} \tag{7}$$

- **Arus Line $\sqrt{3}$ kali Arus Fasa:**

$$\mathbf{I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph} \angle -30^\circ} \tag{8}$$



Starting Motor: Star vs. Delta

Arus pada hubungan Star hanya **sepertiga (**$1/3$**)** dari arus hubungan Delta:

$$I_{\text{start, Y}} = \frac{1}{3} I_{\text{start, }\Delta} \tag{9}$$

Formula Daya Sistem 3-Fasa Seimbang

Daya total adalah penjumlahan daya ketiga fasa ($3 \times P_{ph}$):

Formula Daya Beban Seimbang (Y maupun Δ)

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot \mathbf{V_L} \cdot \mathbf{I_L} \cdot \cos\phi \quad \text{[Watt, kW]} \qquad (10)$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot \mathbf{V_L} \cdot \mathbf{I_L} \cdot \sin\phi \quad \text{[VAR, kVAR]} \qquad (11)$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot \mathbf{V_L} \cdot \mathbf{I_L} \quad \text{[VA, kVA]} \qquad (12)$$

PENTING: Formula di atas berlaku sama persis baik beban terhubung Bintang (Y) maupun Segitiga (Δ) selama V_L dan I_L adalah besaran saluran luar!

Aplikasi Industri Mesin: Kompresor Udara

Sebuah motor kompresor udara 30 kW, 380 V, $\cos\phi = 0.85$, efisiensi $\eta = 90\%$:

$$P_{\text{elek}} = \frac{30 \text{ kW}}{0.90} = 33.33 \text{ kW} \qquad (13)$$

Arus line nominal yang ditarik:

$$I_L = \frac{33.330}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.85} = \mathbf{59.6} \text{ A} \qquad (14)$$

Ringkasan Bab 4 & Rujukan Pembelajaran

Poin Kunci Minggu 4

- Sistem 3-fasa seimbang menghasilkan daya sesaat konstan dan torsi bebas getaran.
- Hubungan Bintang (Y): $V_L = \sqrt{3} V_{ph}, I_L = I_{ph}$.
- Hubungan Segitiga (Δ): $V_L = V_{ph}, I_L = \sqrt{3} I_{ph}$.
- Daya 3-fasa total: $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\phi$.
- Starting Star-Delta mereduksi lonjakan arus mula menjadi sepertiga.

Pustaka Acuan: Stephen J. Chapman, Appendix A (Three-Phase Circuits) & Yon Rijono, Bab 4.