

SOLVED PROBLEMS & BANK SOAL

MINGGU 2: ANALISIS AC 3-FASA & PER-UNIT SYSTEM

Mata Kuliah: Dasar-Dasar Sistem Tenaga Listrik (TTL-305) – Semester Genap 2026

Pengampu: Novalio Daratha, Ph.D. – Teknik Elektro Universitas Bengkulu

Level C1: Pengetahuan / Mengingat (Remembering)

Soal 2.1 (C1): Hubungan Tegangan & Arus Rangkaian 3-Fasa

Sebutkan dan tuliskan hubungan matematis antara tegangan saluran (V_L) dan tegangan fasa (V_{ph}), serta arus saluran (I_L) dan arus fasa (I_{ph}) untuk koneksi Bintang (Y) seimbang dan koneksi Delta (Δ) seimbang!

Solusi 2.1:

1. Koneksi Bintang (Y) Seimbang:

- Tegangan Saluran vs Fasa: $V_L = \sqrt{3} \cdot V_{ph} \angle +30^\circ$ (Tegangan saluran mendahului tegangan fasa sebesar 30°).
- Arus Saluran vs Fasa: $I_L = I_{ph}$.

2. Koneksi Delta (Δ) Seimbang:

- Tegangan Saluran vs Fasa: $V_L = V_{ph}$.
- Arus Saluran vs Fasa: $I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph} \angle -30^\circ$ (Arus saluran tertinggal dari arus fasa sebesar 30°).

Level C2: Pemahaman / Memahami (Understanding)

Soal 2.2 (C2): Urgensi & Keuntungan Sistem Per-Unit (p.u.)

Jelaskan 3 alasan teknis utama mengapa analisis per-unit (p.u.) sangat disukai daripada menggunakan nilai impedansi/tegangan fisik (Ω , V) dalam pemodelan sistem tenaga skala besar!

Solusi 2.2:

1. **Eliminasi Ideal Transformer Ratio:** Nilai impedansi trafo jika dinyatakan dalam per-unit pada basisnya sendiri adalah sama persis baik dilihat dari sisi primer maupun sekunder.

2. **Standardisasi Parameter Peralatan:** Nilai per-unit impedansi trafo dan generator bernilai relatif konstan dalam rentang sempit (misal 0.08 – 0.15 p.u.) tanpa memedulikan tingkat tegangan fisik peralatan (11 kV atau 500 kV).
3. **Penyederhanaan Komputasi Matriks:** Mencegah terjadinya masalah *ill-conditioned matrix* saat menyelesaikan persamaan aliran daya numerik.

Level C3: Penerapan / Mengaplikasikan (Applying)

Soal 2.3 (C3): Perhitungan Rangkaian Beban Delta 3-Fasa

Beban tiga fasa seimbang terhubung Delta (Δ) dihubungkan ke sumber 380 V (tegangan antar-saluran). Setiap lengan impedance bernilai $Z_{\Delta} = 15 + j20 \Omega$. Hitunglah: (a) Arus fasa beban (I_{ph}) dan arus saluran (I_L), dan (b) Daya aktif total $P_{3\phi}$ (kW) dan daya reaktif total $Q_{3\phi}$ (kVAR).

Solusi 2.3:

$$|Z_{\Delta}| = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25 \Omega, \quad \theta = \arctan(20/15) = 53.13^\circ$$

$$I_{ph} = \frac{V_L}{|Z_{\Delta}|} = \frac{380 \text{ V}}{25 \Omega} = 15.2 \text{ A}$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph} = \sqrt{3} \times 15.2 = 26.33 \text{ A}$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta = \sqrt{3} \times 380 \times 26.33 \times \cos(53.13^\circ) = 10.3968 \text{ kW}$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \theta = \sqrt{3} \times 380 \times 26.33 \times \sin(53.13^\circ) = 13.8624 \text{ kVAR}$$

Level C4: Analisis (Analyzing)

Soal 2.4 (C4): Konversi Basis Per-Unit Trafo & Generator

Sebuah generator 100 MVA, 13.8 kV memiliki reaktansi $X_g = 0.20$ p.u. pada basisnya sendiri. Generator ini terhubung ke trafo 120 MVA, 13.8 kV/150 kV dengan reaktansi $X_t = 0.10$ p.u.. Hitunglah nilai per-unit total $X_{total,pu}$ pada basis baru sistem: $S_{base,new} = 200$ MVA dan $V_{base,new} = 150$ kV di sisi transmisi!

Solusi 2.4: Formula perubahan basis per-unit:

$$X_{pu,new} = X_{pu,old} \times \left(\frac{V_{base,old}}{V_{base,new}} \right)^2 \times \left(\frac{S_{base,new}}{S_{base,old}} \right)$$

1. **Reaktansi Generator ($X_{g,new}$):** Tegangan basis lama di sisi generator = 13.8 kV.
Basis baru di sisi generator = $150 \times (13.8/150) = 13.8$ kV.

$$X_{g,new} = 0.20 \times \left(\frac{13.8}{13.8} \right)^2 \times \left(\frac{200}{100} \right) = 0.40 \text{ p.u.}$$

2. **Reaktansi Trafo ($X_{t,new}$):**

$$X_{t,new} = 0.10 \times \left(\frac{150}{150} \right)^2 \times \left(\frac{200}{120} \right) = 0.1667 \text{ p.u.}$$

3. **Reaktansi Total Seri ($X_{total,pu}$):**

$$X_{total,pu} = X_{g,new} + X_{t,new} = 0.40 + 0.1667 = 0.5667 \text{ p.u.}$$

Level C5: Evaluasi (Evaluating)

Soal 2.5 (C5): Evaluasi Bahaya Bergesernya Titik Netral (Unbalanced Y Load)

Sebuah sistem 3-fasa 4-kawat 380 V ($V_{LN} = 220$ V) menyuplai beban Bintang (Y) tak seimbang: $I_a = 100$ A (pf = 1.0), $I_b = 80$ A (pf = 1.0), $I_c = 60$ A (pf = 1.0). Evaluasi arus yang mengalir pada kawat netral dan potensi dampaknya jika kawat netral terputus secara tidak sengaja!

Solusi 2.5:

$$I_a = 100 + j0$$

$$I_b = 80 \cos(-120^\circ) + j80 \sin(-120^\circ) = -40 - j69.28$$

$$I_c = 60 \cos(120^\circ) + j60 \sin(120^\circ) = -30 + j51.96$$

$$I_a + I_b + I_c = (100 - 40 - 30) + j(0 - 69.28 + 51.96) = 30 - j17.32 \text{ A}$$

$$|I_n| = \sqrt{30^2 + (-17.32)^2} = \sqrt{900 + 300} = \sqrt{1200} = 34.64 \text{ A}$$

Arus sebesar 34.64 A mengalir pada kawat netral. Jika kawat netral putus, titik netral akan bergeser (*floating neutral*). Akibatnya, tegangan fasa pada beban teringan (C) akan melonjak drastis mendekati tegangan saluran (380 V), memicu kerusakan isolasi alat elektronik konsumen.

Level C6: Kreasi / Sintesis (Creating)

Soal 2.6 (C6): Skrip GNU Octave Konversi Impedansi & Per-Unit

Buatlah skrip GNU Octave lengkap untuk mengonversi impedansi fisik sirkuit ke per-unit dan mengubah jaringan Delta tidak seimbang menjadi ekivalen Bintang (Y)!

Solusi 2.6:

```
1 %  
    =====  
2 % SKRIP OCTAVE: KONVERSI PER-UNIT & TRANSFORMATION DELTA-Y (C6)  
3 %  
    =====  
4 clear; clc;  
5  
6 % 1. PER-UNIT CONVERSION  
7 S_base = 100e6;           % 100 MVA  
8 V_base = 150e3;           % 150 kV  
9 Z_base = (V_base^2) / S_base; % Impedansi Basis (Ohm)  
10  
11 Z_physical = 18 + 54j;     % Impedansi Saluran Fisik (Ohm)  
12 Z_pu = Z_physical / Z_base;  
13  
14 fprintf("=== HASIL KONVERSI PER-UNIT ===\n");  
15 fprintf("Z_base = %.2f Ohm\n", Z_base);  
16 fprintf("Z_pu = %.4f + j%.4f p.u.\n\n", real(Z_pu), imag(Z_pu));  
17  
18 % 2. UNBALANCED DELTA TO STAR (Y) CONVERSION  
19 Z_ab = 30 + 40j;  
20 Z_bc = 20 + 30j;  
21 Z_ca = 10 + 15j;  
22  
23 Z_sum = Z_ab + Z_bc + Z_ca;  
24  
25 Z_a = (Z_ab * Z_ca) / Z_sum;  
26 Z_b = (Z_ab * Z_bc) / Z_sum;  
27 Z_c = (Z_bc * Z_ca) / Z_sum;  
28  
29 fprintf("=== HASIL IMPEDANSI EKIVALEN BINTANG (Y) ===\n");  
30 fprintf("Z_a = %.2f + j%.2f Ohm\n", real(Z_a), imag(Z_a));  
31 fprintf("Z_b = %.2f + j%.2f Ohm\n", real(Z_b), imag(Z_b));  
32 fprintf("Z_c = %.2f + j%.2f Ohm\n", real(Z_c), imag(Z_c));
```

