

KUMPULAN SOAL TERJAWAB (SOLVED PROBLEMS)

MINGGU 7: SISTEM DISTRIBUSI & DISTRIBUTED GENERATION

Dasar-Dasar Sistem Tenaga Listrik (TTL-305) • Taksonomi Bloom C1 s.d C6

Panduan Bloom (C1 - C6)

Latihan soal beserta solusi lengkap (*solved problems*) Minggu 7 mencakup topologi distribusi (Radial, Ring, Mesh), perhitungan jatuh tegangan 20kV, rugi-rugi daya, serta dampak integrasi Pembangkitan Terdistribusi (*Distributed Generation* / PLTS Atap).

Level C1: Pengetahuan / Mengingat (Remembering)

Soal 7.1 (C1): Topologi Jaringan Distribusi Primer

Sebutkan 3 topologi utama sistem distribusi 20 kV beserta karakteristik utamanya dalam hal keandalan dan biaya investasi!

Solusi 7.1:

1. ****Topologi Radial:**** Biaya paling murah, struktur paling sederhana, namun keandalan paling rendah (gangguan di pangkal menghentikan seluruh konsumen di hilir).
2. ****Topologi Ring (Loop):**** Pasokan dari dua arah, keandalan lebih tinggi, pemeliharaan tanpa padam, biaya menengah.
3. ****Topologi Mesh (Jaring):**** Keandalan sangat tinggi, kontinuitas pasokan terjamin penuh, biaya investasi dan sistem proteksi paling mahal/kompleks.

Level C2: Pemahaman / Memahami (Understanding)

Soal 7.2 (C2): Dampak Penetrasi PLTS Atap pada Distribusi

Jelaskan fenomena *Reverse Power Flow* (aliran daya balik) dan kenaikan tegangan (*voltage rise*) di penyulang distribusi akibat penetrasi tinggi PLTS Atap di siang hari!

Solusi 7.2: Saat daya buangan PLTS Atap lokal melebihi konsumsi beban setempat, arus listrik akan mengalir balik dari konsumen menuju ke Trafo Gardu Induk (*Reverse Power Flow*). Persamaan jatuh tegangan $\Delta V \approx \frac{PR+QX}{V}$ berubah tanda akibat $P < 0$,

menyebabkan tegangan di ujung penyulang melonjak naik melebihi batas operasional aman PLN (+5%).

Level C3: Penerapan / Mengaplikasikan (Applying)

Soal 7.3 (C3): Kalkulasi Jatuh Tegangan Feeder Radial 20 kV

Penyulang radial 20 kV sepanjang 10 km menyalurkan arus $I = 120$ A dengan faktor daya 0.85 *lagging*. Konduktor memiliki resistansi $r = 0.25 \Omega/\text{km}$ dan reaktansi $x = 0.35 \Omega/\text{km}$. Hitung jatuh tegangan ΔV (Volts fasa-netral) dan persentase regulasi tegangan!

Solusi 7.3:

$$R = 0.25 \times 10 = 2.5 \Omega, \quad X = 0.35 \times 10 = 3.5 \Omega$$

$$\cos \theta = 0.85 \implies \sin \theta = \sqrt{1 - 0.85^2} = 0.5268$$

$$\Delta V_{LN} \approx I \cdot (R \cos \theta + X \sin \theta) = 120 \times (2.5 \times 0.85 + 3.5 \times 0.5268)$$

$$\Delta V_{LN} = 120 \times (2.125 + 1.8438) = 120 \times 3.9688 = 476.26 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V_{LN}}{V_{LN, \text{nominal}}} \times 100\% = \frac{476.26}{20.000/\sqrt{3}} \times 100\% = \frac{476.26}{11.547} \times 100\% = 4.12\%$$

Level C4: Analisis (Analyzing)

Soal 7.4 (C4): Analisis Momen Beban Penurunan Rugi-Rugi

Gunakan Metode Momen Beban untuk menghitung rugi-rugi daya total P_{loss} pada feeder distribusi 3-fasa dengan beban terdistribusi merata $P_{total} = 2$ MW sepanjang 6 km ($R = 1.5 \Omega$). Bandingkan jika seluruh beban terpusat di ujung feeder!

Solusi 7.4: - **Kasus Beban Terpusat di Ujung (I konstan):**

$$P_{loss, \text{terpusat}} = 3 \cdot I^2 \cdot R$$

- **Kasus Beban Terdistribusi Merata ($I(x)$ berkurang linier):**

$$P_{loss, \text{terdistribusi}} = 3 \int_0^L \left[I \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right]^2 \frac{R}{L} dx = \frac{1}{3} (3I^2 R) = \frac{1}{3} P_{loss, \text{terpusat}}$$

Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dengan beban terdistribusi merata tepat bernilai **1/3 kali (33.33

Level C5: Evaluasi (Evaluating)

Soal 7.5 (C5): Evaluasi Lokasi Optimal Kapasitor Shunt Distribusi

Evaluasi penurunan rugi-rugi daya jika Kapasitor Shunt dipasang pada aturan 2/3 lokasi penyulang (2/3 L) untuk mengompensasi 100% arus reaktif beban terdistribusi merata!

Solusi 7.5: Memasang kapasitor bank di posisi 2/3 panjang penyulang radial (metode *2/3 Rule*) memberikan pengurangan rugi-rugi daya reaktif paling optimal hingga **89

Level C6: Kreasi / Sintesis (Creating)

Soal 7.6 (C6): Skrip Octave Simulasi Jatuh Tegangan Feeder Radial

Rancang skrip Octave untuk mensimulasikan profil tegangan di setiap bus sepanjang penyulang radial 5-bus dengan integrasi PLTS Atap!

Solusi 7.6:

```
1 clear; clc;
2 V_sub = 20000 / sqrt(3); % Tegangan Base LN
3 R = [0.5, 0.4, 0.6, 0.3]; % Resistance segmen (Ohm)
4 X = [0.6, 0.5, 0.7, 0.4]; % Reactance segmen (Ohm)
5 P = [200e3, 150e3, 300e3, 100e3]; % Beban kW
6 Q = [100e3, 80e3, 150e3, 50e3]; % Beban kVAR
7
8 % Injeksi PLTS Atap di Bus 4
9 P(4) = P(4) - 400e3; % Net Power di Bus 4 (Injeksi)
10
11 V = zeros(1, 5); V(1) = V_sub;
12 for i = 1:4
13     I_seg_P = sum(P(i:end)) / (sqrt(3)*20e3);
14     I_seg_Q = sum(Q(i:end)) / (sqrt(3)*20e3);
15     dV = I_seg_P * R(i) + I_seg_Q * X(i);
16     V(i+1) = V(i) - dV;
17 end
18 plot(1:5, V*sqrt(3)/1e3, '-ob', 'LineWidth', 2);
19 xlabel('Bus Number'); ylabel('Voltage (kV)'); title('Profil_
    Tegangan_20kV_Feeder');
```