

KUMPULAN SOAL TERJAWAB (SOLVED PROBLEMS)

MINGGU 10: KONTROL TEGANGAN, DAYA REAKTIF & KUALITAS DAYA

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 10 mencakup OLTC, SVC/STATCOM, analisis THD harmonisa, fenomena *Voltage Sag/Swell*, serta kompensasi kapasitor bank.

Level C1: Pengetahuan / Mengingat (Remembering)

Soal 10.1 (C1): Pengertian Kualitas Daya (Power Quality)

Sebutkan 3 fenomena utama gangguan Kualitas Daya (*Power Quality*) pada sistem distribusi beserta batas toleransi standar IEEE 519!

Solusi 10.1: 1. ****Voltage Sag:**** Penurunan tegangan 10% – 90% durasi 0.5 siklus s.d 1 menit.
2. ****Voltage Swell:**** Kenaikan tegangan 110% – 180% durasi 0.5 siklus s.d 1 menit.
3. ****Harmonisa (THD):**** Distorsi gelombang sinus akibat beban non-linear. Standar IEEE 519 membatasi $THD_v \leq 5\%$.

Level C2: Pemahaman / Memahami (Understanding)

Soal 10.2 (C2): Perbandingan SVC vs STATCOM

Jelaskan keunggulan kompensator statis STATCOM dibandingkan SVC (*Static VAR Compensator*) berbasis Thyristor saat terjadi penurunan tegangan drastis (*Voltage Sag*)!

Solusi 10.2: - ****SVC (TCR/TSC):**** Arus injeksi daya reaktif sebanding lurus dengan tegangan ($I_q \propto V$). Saat tegangan anjlok drastis (V rendah), kemampuan injeksi VAR SVC berkurang secara kuadratis ($Q \propto V^2$). - ****STATCOM (VSC Converter):**** Mampu menginjeksikan arus daya reaktif maksimum secara independen konstan meskipun tegangan grid anjlok sangat rendah.

Level C3: Penerapan / Mengaplikasikan (Applying)

Soal 10.3 (C3): Kalkulasi THD Tegangan Harmonisa

Gelombang tegangan nonsinusoidal terukur memiliki komponen fundamental $V_1 = 220$ V, harmonisa ke-3 $V_3 = 22$ V, dan harmonisa ke-5 $V_5 = 11$ V. Hitung nilai V_{rms} total dan *Total Harmonic Distortion* (THD_v)!

Solusi 10.3:

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_3^2 + V_5^2} = \sqrt{220^2 + 22^2 + 11^2} = \sqrt{48400 + 484 + 121} = \sqrt{49005} = 221.37 \text{ V}$$
$$THD_v = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2}}{V_1} \times 100\% = \frac{\sqrt{22^2 + 11^2}}{220} \times 100\% = \frac{\sqrt{605}}{220} \times 100\% = \frac{24.60}{220} \times 100\% = 11.18\%$$

Level C4: Analisis (Analyzing)

Soal 10.4 (C4): Kalkulasi Kapasitor Perbaikan Faktor Daya

Pabrik menyerap $P = 500$ kW pada $pf_1 = 0.70$ *lagging*. Hitung kapasitas Bank Kapasitor (Q_c dalam kVAR) yang dibutuhkan untuk menaikkan faktor daya menjadi $pf_2 = 0.95$ *lagging*!

Solusi 10.4:

$$\theta_1 = \arccos(0.70) = 45.57^\circ \implies Q_1 = P \cdot \tan \theta_1 = 500 \times \tan(45.57^\circ) = 510.10 \text{ kVAR}$$
$$\theta_2 = \arccos(0.95) = 18.19^\circ \implies Q_2 = P \cdot \tan \theta_2 = 500 \times \tan(18.19^\circ) = 164.32 \text{ kVAR}$$
$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 510.10 \text{ kVAR} - 164.32 \text{ kVAR} = 345.78 \text{ kVAR}$$

Level C5: Evaluasi (Evaluating)

Soal 10.5 (C5): Evaluasi Resonansi Pararel Kapasitor Bank Trafo

Evaluasi frekuensi resonansi (f_r) jika Bank Kapasitor 350 kVAR dipasang pada sekunder trafo 1 MVA dengan reaktansi $X_t = 5\%$. Apakah berisiko mengalami resonansi harmonisa ke-5 (250 Hz)?

Solusi 10.5:

$$h_r = \sqrt{\frac{S_{sc_trafo}}{Q_c}} = \sqrt{\frac{S_{trafo}/X_t}{Q_c}} = \sqrt{\frac{1000 \text{ kVA}/0.05}{350 \text{ kVAR}}} = \sqrt{\frac{20.000}{350}} = \sqrt{57.14} = 7.56$$
$$f_r = 7.56 \times 50 \text{ Hz} = 378 \text{ Hz}$$

Frekuensi resonansi berada pada ordo ke-7.56 (378 Hz), cukup jauh dari harmonisa dominan ke-5 (250 Hz), sehingga sistem aman dari Amplifikasi Resonansi Pararel.

Level C6: Kreasi / Sintesis (Creating)

Soal 10.6 (C6): Skrip Octave Analisis FFT Spektrum Harmonisa

Buat skrip Octave untuk memproses sinyal arus terdistorsi dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) dan menghitung THD!

Solusi 10.6:

```
1 clear; clc;
2 t = 0:0.0001:0.04; % 2 siklus 50Hz
3 i_t = 100*sin(2*pi*50*t) + 20*sin(2*pi*150*t) + 10*sin(2*pi*250*t
4 );
5 I_fft = abs(fft(i_t));
6 I1 = I_fft(3); I3 = I_fft(7); I5 = I_fft(11);
7 THD_i = (sqrt(I3^2 + I5^2) / I1) * 100;
8
9 fprintf('Arus_Fundamental = %.2f A\n', I1);
10 fprintf('Total_Harmonic_Distortion (THD_i) = %.2f%%\n', THD_i);
```