

KUMPULAN SOAL TERJAWAB (SOLVED PROBLEMS)

MINGGU 6: PEMBANGKITAN & DIVERSIFIKASI ENERGI

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 6 mencakup pembangkitan termal (PLTU), hidro (PLTA/PLTMH Musi/Tes), panas bumi (PLTP Hululais), diesel (PLTD Enggano), biomassa (PLTBg Agromuko), dan sinkronisasi generator.

Level C1: Pengetahuan / Mengingat (Remembering)

Soal 6.1 (C1): Syarat Sinkronisasi Generator Sinkron

Sebutkan 4 syarat mutlak yang harus dipenuhi sebelum sebuah generator sinkron dihubungkan (*paralel/sinkron*) ke *grid*!

Solusi 6.1: 1. Tegangan efektif (V_{rms}) generator harus sama dengan tegangan *grid* ($V_{gen} = V_{grid}$).
2. Frekuensi generator harus sama dengan frekuensi *grid* ($f_{gen} = f_{grid} = 50$ Hz).
3. Urutan fasa generator harus sama dengan urutan fasa *grid* ($A - B - C$).
4. Sudut fasa tegangan generator harus berada dalam posisi sejajar (0° selisih fasa) dengan *grid*.

Level C2: Pemahaman / Memahami (Understanding)

Soal 6.2 (C2): Perbandingan PLTA Musi vs PLTP Hululais

Jelaskan perbedaan mendasar karakteristik operasional antara PLTA Musi (3×70 MW) dan PLTP Hululais (2×55 MW) di Bengkulu dalam melayani beban *peaker* vs *baseload*!

Solusi 6.2: - **PLTP Hululais (Panas Bumi):** Beroperasi sebagai **Baseload Generation**. Pasokan uap geotermal stabil dan kontinyu, biaya marjinal rendah, namun membutuhkan waktu *start-up* lama. - **PLTA Musi (Hydro Run-of-River/Peaking):** Beroperasi fleksibel dengan respon cepat untuk mengatasi perubahan beban puncak (*Peaker Generation*) dan regulasi frekuensi sekunder.

Level C3: Penerapan / Mengaplikasikan (Applying)

Soal 6.3 (C3): Kalkulasi Daya Turbin PLTA Musi

PLTA Musi memanfaatkan beda tinggi terjun efektif $H = 400$ m dengan debit air $Q = 18 \text{ m}^3/\text{s}$. Efisiensi turbin $\eta_t = 92\%$ dan efisiensi generator $\eta_g = 96\%$. Hitung daya listrik total yang dihasilkan generator! ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

Solusi 6.3:

$$P_{hidrolik} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \times 9.81 \times 18 \times 400 = 70.632.000 \text{ W} = 70.63 \text{ MW}$$

$$P_{elektris} = P_{hidrolik} \times \eta_t \times \eta_g = 70.632.000 \times 0.92 \times 0.96 = 62.382.163 \text{ W} = 62.38 \text{ MW}$$

Level C4: Analisis (Analyzing)

Soal 6.4 (C4): Heat Rate Efisiensi Termal PLTU Bengkulu

PLTU Bengkulu ($2 \times 100 \text{ MW}$) membakar batubara kalori rendah (4000 kcal/kg) sebanyak 90 ton/jam untuk menghasilkan daya listrik 80 MW . Hitung *Heat Rate* (kJ/kWh) dan efisiensi termal pembangkit! ($1 \text{ kcal} = 4.184 \text{ kJ}$)

Solusi 6.4:

$$\text{Input Energi/jam} = 90.000 \text{ kg/jam} \times 4000 \text{ kcal/kg} \times 4.184 \text{ kJ/kcal} = 1.506.240.000 \text{ kJ/jam}$$

$$\text{Output Listrik/jam} = 80.000 \text{ kWh/jam}$$

$$\text{Heat Rate} = \frac{1.506.240.000 \text{ kJ/jam}}{80.000 \text{ kWh/jam}} = 18.828 \text{ kJ/kWh}$$

$$\eta_{thermal} = \frac{3600 \text{ kJ (1 kWh)}}{\text{Heat Rate}} \times 100\% = \frac{3600}{18.828} \times 100\% = 19.12\%$$

Level C5: Evaluasi (Evaluating)

Soal 6.5 (C5): Evaluasi Keekonomian PLTD Pulau Enggano

PLTD Enggano mengonsumsi $250 \text{ liter Solar/HSD per jam}$ untuk beban 600 kW . Harga solar industri di pulau terluar adalah $\text{Rp } 18.000/\text{liter}$. Evaluasi biaya bahan bakar per kWh (*Fuel Cost/kWh*) dan bandingkan dengan BPP nasional!

Solusi 6.5:

$$\text{SFC (Specific Fuel Consumption)} = \frac{250 \text{ liter/jam}}{600 \text{ kWh/jam}} = 0.4167 \text{ liter/kWh}$$

$$\text{Fuel Cost/kWh} = 0.4167 \text{ liter/kWh} \times \text{Rp } 18.000/\text{liter} = \text{Rp } 7.500/\text{kWh}$$

Biaya pembangkitan berbasis PLTD di pulau terluar Enggano sangat mahal (Rp 7.500/kWh) melampaui rata-rata BPP nasional (Rp 1.400/kWh), sehingga sangat mendesak dikombinasikan dengan PLTS Hybrid + BESS.

Level C6: Kreasi / Sintesis (Creating)

Soal 6.6 (C6): Skrip Octave Simulasi Karakteristik Governor Droop

Buat skrip Octave untuk mensimulasikan pembagian beban (*load sharing*) antara generator PLTA Musi (Droop 4

Solusi 6.6:

```
1 clear; clc;
2 P1_max = 70; R1 = 0.04; % PLTA Musi (70 MW, 4% Droop)
3 P2_max = 100; R2 = 0.05; % PLTU Bengkulu (100 MW, 5% Droop)
4 f0 = 50.0; % Frekuensi Nominal (Hz)
5 delta_P = 25; % Kenaikan Beban Grid 25 MW
6
7 % dP = - (P_max / R) * (df / f0)
8 % delta_P = df * ( (P1_max/(R1*f0)) + (P2_max/(R2*f0)) )
9 K1 = P1_max / (R1 * f0); K2 = P2_max / (R2 * f0);
10 df = - delta_P / (K1 + K2);
11
12 dP1 = - K1 * df; dP2 = - K2 * df;
13 fprintf('Penurunan_Frekuensi df = %.3f Hz (f = %.3f Hz)\n', df,
14         f0+df);
14 fprintf('Tambahan_Daya_PLTA_Musi = %.2f MW\n', dP1);
15 fprintf('Tambahan_Daya_PLTU_Bengkulu = %.2f MW\n', dP2);
```