

KUMPULAN SOAL TERJAWAB (SOLVED PROBLEMS)

MINGGU 13: SMART GRID, IBR, ESS, BEMS & DIgSILENT

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 13 mencakup teknologi Smart Grid (AMI, PMU), Inverter-Based Resources (IBR / Grid-Forming), Baterai ESS, BEMS, serta pengenalan DIgSILENT PowerFactory.

Level C1: Pengetahuan / Mengingat (Remembering)

Soal 13.1 (C1): Fitur Utama Smart Grid IBR

Sebutkan 4 teknologi kunci pembentuk *Smart Grid* modern dan definisikan istilah *Inverter-Based Resources* (IBR)!

Solusi 13.1:

1. ****AMI (Advanced Metering Infrastructure):**** Meteran digital pintar 2-arah.
2. ****PMU (Phasor Measurement Unit):**** Pengukuran fasor tegangan/arus real-time terenkripsi GPS.
3. ****ESS (Energy Storage Systems):**** Sistem penyimpanan energi baterai/BESS.
4. ****Self-Healing Grid:**** Automasi pemulihan gangguan tanpa intervensi manusia.

Inverter-Based Resources (IBR) adalah pembangkit listrik EBT (seperti PLTS dan PLTB) yang menghubungkan daya listriknya ke grid melalui konverter elektronika daya.

Level C2: Pemahaman / Memahami (Understanding)

Soal 13.2 (C2): Grid-Following vs Grid-Forming Inverter

Jelaskan perbedaan mendasar antara kendali *Grid-Following* (GFL) dan *Grid-Forming* (GFM) pada inverter penetrasi EBT tinggi!

Solusi 13.2:

- ****Grid-Following (GFL):**** Beroperasi sebagai sumber arus yang mengikuti frekuensi dan sudut tegangan *grid* menggunakan *Phase-Locked Loop* (PLL). Membutuhkan *grid* kuat untuk dapat beroperasi.
- ****Grid-Forming (GFM):**** Beroperasi sebagai sumber tegangan independen yang menentukan frekuensi dan tegangan

grid sendiri (mensimulasikan inersia sintetis generator sinkron), sangat krusial untuk *Low Inertia Grid*.

Level C3: Penerapan / Mengaplikasikan (Applying)

Soal 13.3 (C3): Sizing Baterai BESS Peak Shaving

Pabrik membutuhkan penyelesaian *Peak Shaving* sebesar 2 MW selama 3 jam puncak. Jika *Depth of Discharge* (DoD) baterai Li-ion dibatasi 80% dan efisiensi *round-trip* $\eta = 90\%$, hitung kapasitas energi nominal BESS (kWh) yang harus diinstal!

Solusi 13.3:

$$\text{Energi Terpakai} = P \times t = 2000 \text{ kW} \times 3 \text{ jam} = 6000 \text{ kWh}$$

$$\text{Kapasitas Nominal BESS} = \frac{\text{Energi Terpakai}}{\text{DoD} \times \eta} = \frac{6000}{0.80 \times 0.90} = \frac{6000}{0.72} = 8.333,33 \text{ kWh} \quad (8.33 \text{ MWh})$$

Level C4: Analisis (Analyzing)

Soal 13.4 (C4): Analisis Penurunan Inersia Grid Sistem Sumatera

Sistem tenaga memiliki total inersia awal $H_{sys} = 5.0 \text{ s}$ dengan total kapasitas generator 4000 MW. Jika 1000 MW generator fosil digantikan oleh PLTS (inverter GFL tanpa inersia), hitung inersia efektif baru sistem (H_{new})!

Solusi 13.4:

$$H_{new} = \frac{\sum(S_i \cdot H_i)}{S_{total}} = \frac{(3000 \text{ MW} \times 5.0 \text{ s}) + (1000 \text{ MW} \times 0 \text{ s})}{4000 \text{ MW}} = \frac{15000}{4000} = 3.75 \text{ s}$$

Inersia sistem merosot tajam sebesar **25

Level C5: Evaluasi (Evaluating)

Soal 13.5 (C5): Evaluasi Penghematan Energi BEMS Gedung

Evaluasi penghematan energi tahunan (kWh) dan biaya (Rp) dari penerapan strategi *Demand Response* BEMS yang mereduksi beban HVAC sebesar 50 kW selama 4 jam kerja per hari (250 hari/tahun) dengan tarif Rp 1.450/kWh!

Solusi 13.5:

$$\text{Penghematan Energi/tahun} = 50 \text{ kW} \times 4 \text{ jam/hari} \times 250 \text{ hari/tahun} = 50.000 \text{ kWh/tahun}$$

$$\text{Penghematan Biaya/tahun} = 50.000 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.450/\text{kWh} = \text{Rp } 72.500.000/\text{tahun}$$

Level C6: Kreasi / Sintesis (Creating)

Soal 13.6 (C6): Skrip Octave Simulasi Kurva Duck Curve PLTS

Rancang skrip Octave untuk memplot profil beban bersih (*Net Load*) akibat penetrasi tinggi PLTS yang membentuk *Duck Curve*!

Solusi 13.6:

```
1 clear; clc;
2 hours = 0:23;
3 load_base = [20, 18, 16, 15, 16, 20, 30, 40, 45, 48, 50, 52, 53,
4             52, 50, 48, 46, 50, 55, 54, 48, 40, 30, 24];
5 pv_gen     = [0, 0, 0, 0, 0, 1, 5, 15, 25, 32, 35, 36, 35,
6             32, 25, 15, 5, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0];
7 net_load = load_base - pv_gen;
8 plot(hours, load_base, '--k', hours, net_load, '-b', 'LineWidth',
9       2);
10 xlabel('Hour_of_Day'); ylabel('Power_(MW)'); legend('Gross_Load',
11             'Net_Load_(Duck_Curve)');
12 title('Dampak_Penetrasi_PLTS:_Profil_Duck_Curve');
```