

KUMPULAN SOAL TERJAWAB (SOLVED PROBLEMS)

MINGGU 1: PENGANTAR SISTEM TENAGA LISTRIK & KOMPUTASI

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

Panduan Tingkat Kognitif Taksonomi Bloom (C1 - C6)

Dokumen ini menyajikan latihan soal lengkap beserta solusi penyelesaian (*solved problems*) yang dirancang untuk menguji 6 tingkat kognitif: **C1**: Pengetahuan (Mengingat), **C2**: Pemahaman (Memahami), **C3**: Penerapan (Mengaplikasikan), **C4**: Analisis (Menganalisis), **C5**: Evaluasi (Mengevaluasi), dan **C6**: Kreasi (Merancang/Sintesis).

Level C1: Pengetahuan / Mengingat (Remembering)

Soal 1.1 (C1): Komponen Gardu Induk & Tingkat Tegangan

Sebutkan 5 pilar utama hirarki Sistem Tenaga Listrik beserta tingkat tegangan operasinya yang umum digunakan pada grid PT PLN (Persero) di Indonesia!

Solusi 1.1:

1. **Pembangkitan (Generation)**: Generator sinkron menghasilkan tegangan 6 kV – 24 kV.
2. **Transmisi Tegangan Tinggi / Ekstra Tinggi**: Saluran SUTT (150 kV) dan SUTET (500 kV).
3. **Sub-Transmisi**: Gardu Induk penurunan tegangan 150 kV → 70 kV atau 150 kV → 20 kV.
4. **Distribusi Primer (Tegangan Menengah)**: Saluran SUTM / SKTM 20 kV.
5. **Distribusi Sekunder & Beban (Tegangan Rendah)**: Jaringan JTR 380 V (3-Fasa) dan 220 V (1-Fasa).

Level C2: Pemahaman / Memahami (Understanding)

Soal 1.2 (C2): Perbedaan Pemutus Sirkuit (CB) dan Sakelar Pemisah (PMS)

Jelaskan perbedaan fungsi mekanis dan operasional antara Pemutus Sirkuit (*Circuit Breaker / PMT*) dan Sakelar Pemisah (*Disconnecting Switch / PMS*)! Kapan masing-masing boleh dioperasikan?

Solusi 1.2:

- **Circuit Breaker (CB/PMT):** Dirancang untuk memutus arus listrik dalam kondisi **berbeban normal maupun saat terjadi gangguan (hubung singkat)**. CB dilengkapi media pemadam busur api listrik (seperti gas SF_6 , vakum, atau minyak). Boleh dioperasikan secara langsung dalam keadaan berarus.
- **Disconnecting Switch (PMS):** Berfungsi sebagai **pemisah fisik secara visual** untuk keamanan personil pemeliharaan. PMS **hanya boleh dioperasikan saat saluran TANPA BEBAN (arus nol)**. Mengoperasikan PMS saat berarus akan menimbulkan pembusuran api (*arcing*) berbahaya yang dapat merusak peralatan.

Level C3: Penerapan / Mengaplikasikan (Applying)

Soal 1.3 (C3): Perhitungan Daya Kompleks 3-Fasa

Sebuah pabrik menyerap daya aktif $P_{3\phi} = 1.2$ MW dari saluran distribusi 20 kV (tegangan antar-saluran $V_L = 20$ kV) dengan faktor daya $\cos \theta = 0.85$ terbelakang (*lagging*). Hitunglah:

- a) Daya semu total $S_{3\phi}$ (MVA) dan daya reaktif total $Q_{3\phi}$ (MVAR).
- b) Arus saluran (I_L) yang mengalir pada jaringan transmisi tersebut.

Solusi 1.3:

- a) **Daya Semu ($S_{3\phi}$) dan Daya Reaktif ($Q_{3\phi}$):**

$$S_{3\phi} = \frac{P_{3\phi}}{\cos \theta} = \frac{1.2 \text{ MW}}{0.85} = 1.4118 \text{ MVA}$$

$$\theta = \arccos(0.85) = 31.79^\circ$$

$$Q_{3\phi} = S_{3\phi} \cdot \sin(\theta) = 1.4118 \times \sin(31.79^\circ) = 1.4118 \times 0.5268 = 0.7437 \text{ MVAR}$$

b) Arus Saluran (I_L):

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \implies I_L = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \theta}$$
$$I_L = \frac{1.2 \times 10^6 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 20.000 \text{ V} \times 0.85} = \frac{1.200.000}{29.444,86} = 40.75 \text{ A}$$

Level C4: Analisis (Analyzing)

Soal 1.4 (C4): Analisis Efisiensi Peninggian Tegangan Transmisi

Daya aktif sebesar $P = 150 \text{ MW}$ akan ditransmisikan sejauh 100 km melalui saluran transmisi dengan resistansi total $R = 8 \Omega$ (faktor daya $\cos \theta = 0.90$). Bandingkan besar arus saluran I dan rugi-rugi daya $P_{loss} = 3I^2R$ jika daya disalurkan pada dua opsi tegangan: 1. Tegangan Menengah $V_{L1} = 20 \text{ kV}$ 2. Tegangan Tinggi $V_{L2} = 150 \text{ kV}$ Berapa kali lipat penekanan rugi-rugi daya yang dicapai?

Solusi 1.4:

1. Opsi 1 ($V_{L1} = 20 \text{ kV}$):

$$I_1 = \frac{150 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20.000 \times 0.90} = 4.811,25 \text{ A}$$

$$P_{loss,1} = 3 \times (4.811,25)^2 \times 8 = 3 \times 23.148.148 \times 8 = 555,55 \text{ MW}$$

(Rugi-rugi daya melebihi kapasitas pembangkit yang ditransmisikan, artinya jaringan tidak layak!)

2. Opsi 2 ($V_{L2} = 150 \text{ kV}$):

$$I_2 = \frac{150 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 150.000 \times 0.90} = 641,50 \text{ A}$$

$$P_{loss,2} = 3 \times (641,50)^2 \times 8 = 3 \times 411.522 \times 8 = 9,87 \text{ MW}$$

3. Analisis Penekanan Rugi-rugi:

$$\text{Rasio Penekanan Rugi-rugi} = \frac{P_{loss,1}}{P_{loss,2}} = \left(\frac{150 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \right)^2 = 7.5^2 = 56.25 \text{ kali}$$

Peninggian tegangan sebesar $7.5\times$ menekan arus $7.5\times$ dan mengurangi rugi-rugi daya sebesar **56.25 kali lipat!**

Level C5: Evaluasi (Evaluating)

Soal 1.5 (C5): Evaluasi Keandalan Interkoneksi Grid vs Isolated Grid

Sistem kelistrikan Provinsi Bengkulu menerima daya dari PLTA Musi (3×70 MW) dan PLTU Bengkulu (2×100 MW) dengan total beban puncak 220 MW. Evaluasi apa yang terjadi pada frekuensi sistem jika terjadi kontingensi $N-1$ (trip mendadak 1 unit PLTU 100 MW) pada dua skenario: 1. Bengkulu beroperasi secara terisolasi (*Isolated Grid*). 2. Bengkulu terinterkoneksi dengan Tol Listrik 275 kV Sumatera (*Interconnected Grid*).

Solusi 1.5:

- **Skenario 1 (Isolated Grid):** Total daya mampu pasok sebelum trip = 410 MW. Saat unit PLTU 100 MW trip, pasokan sisa = 310 MW. Namun inersia sistem lokal sangat kecil, hilangnya 100 MW dari beban 220 MW (45.4% beban) akan menyebabkan laju penurunan frekuensi (*Rate of Change of Frequency / ROCOF*) sangat tinggi. Frekuensi grid akan anjlok di bawah 49.0 Hz dan memicu pengereman darurat (*Under Frequency Load Shedding / UFLS*) atau *blackout* total.
- **Skenario 2 (Interconnected Grid Sumatera):** Saat unit PLTU trip, kekurangan daya 100 MW langsung dikompensasi secara instan oleh daya inersia dan *spinning reserve* dari generator di seluruh grid Sumatera (seperti PLTA Musi, PLTP Hululais, PLTU Sebalang, dll). Penurunan frekuensi sistem jauh lebih kecil ($\Delta f < 0.2$ Hz) sehingga sistem tetap stabil tanpa *blackout*.
- **Kesimpulan Evaluasi:** Sistem terinterkoneksi (*Interconnected Grid*) memiliki keandalan dan resiliensi yang jauh lebih tinggi dalam mempertahankan kontinuitas pelayanan listrik bagi masyarakat.

Level C6: Kreasi / Sintesis (Creating)

Soal 1.6 (C6): Perancangan Skrip GNU Octave & Simulasi MATPOWER

Rancang sebuah skrip GNU Octave (`simulasi_minggu1.m`) untuk menghitung arus kompleks dan daya aktif/reaktif, serta menyusun skrip struktur *casefile* MATPOWER sederhana 2-bus untuk kasus pembangkitan di Bengkulu!

Solusi 1.6:

1

%

=====

```

2 % SKRIP GNU OCTAVE: SIMULASI PENGANTAR SISTEM TENAGA (SOAL C6)
3 %
4
5
6 % --- BAGIAN 1: PERHITUNGAN DAYA KOMPLEKS BEBAN BENGKULU ---
7 V_bus = 150e3 / sqrt(3);           % Tegangan Fasa-Netral GI (V)
8 Z_line = 12 + 36j;                 % Impedansi Transmisi (Ohm)
9 S_load = 80e6 + 40e6j;             % Daya Kompleks Beban (VA)
10
11 % Hitung Arus Kompleks (I = (S/V)*)
12 I_line = conj(S_load / (sqrt(3) * 150e3));
13 P_loss = 3 * (abs(I_line)^2) * real(Z_line);
14
15 fprintf('==_HASIL_KALKULASI_FASOR_OCTAVE_==\n');
16 fprintf('Arus_Saluran_Transmisi=%.2fA\n', abs(I_line));
17 fprintf('Rugi-Rugi_Daya_Aktif=%.2fMW\n', P_loss / 1e6);
18
19 % --- BAGIAN 2: SINTESIS CASEFILE MATPOWER (2-BUS GRID BENGKULU)
20
21 function mpc = case_bengkulu_2bus()
22     mpc.version = '2';
23     mpc.baseMVA = 100;
24
25     % busdata: [bus_i  type  Pd  Qd  Gs  Bs  area  Vm  Va  baseKV
26                 zone]
27     mpc.bus = [
28         1  3  0  0  0  0  1  1.0  0  150  1; % Bus 1:
29             Slack (PLTA Musi)
30         2  1  80  40  0  0  1  1.0  0  150  1 % Bus 2:
31             PQ (GI Pekalongan)
32     ];
33
34     % gen: [bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin]
35     mpc.gen = [
36         1  85  42  100  -50  1.0  100  1  210  0
37     ];
38
39     % branch: [fbus tbus r x b rateA rateB rateC ratio angle
40                 status]
41     mpc.branch = [
42         1  2  0.02  0.08  0.01  100  100  100  0  0  1
43     ];
44 end

```
