

KUMPULAN SOAL TERJAWAB (SOLVED PROBLEMS)

MINGGU 5: SALURAN TRANSMISI PANJANG & FENOMENA TRANSMISI

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

Panduan Kognitif Taksonomi Bloom (C1 - C6)

Dokumen ini menyajikan latihan soal lengkap beserta solusi penyelesaian (*solved problems*) Minggu 5 mencakup 6 tingkat kognitif Bloom: C1 Mengingat, C2 Memahami, C3 Mengaplikasikan, C4 Menganalisis, C5 Mengevaluasi, dan C6 Merancang.

Level C1: Pengetahuan / Mengingat (Remembering)

Soal 5.1 (C1): Pengertian Efek Ferranti, Skin Effect, Proximity Effect

Jelaskan definisi singkat dari tiga fenomena khusus pada saluran transmisi: Efek Ferranti, *Skin Effect*, dan *Proximity Effect*!

Solusi 5.1:

1. **Efek Ferranti:** Kenaikan tegangan di ujung penerima ($V_R > V_S$) saat saluran transmisi panjang beroperasi tanpa beban atau beban sangat ringan akibat dominasi arus *charging* kapasitif.
2. **Skin Effect:** Kecenderungan arus AC frekuensi tinggi/50Hz mengalir terkonsentrasi di dekat permukaan luar konduktor, menyebabkan penampang efektif berkurang dan $R_{ac} > R_{dc}$.
3. **Proximity Effect:** Distorsi kerapatan arus pada konduktor akibat pengaruh medan magnet dari konduktor lain di sekitarnya.

Level C2: Pemahaman / Memahami (Understanding)

Soal 5.2 (C2): Peran Reaktor Shunt Kapasitor Shunt

Jelaskan perbedaan fungsi dan lokasi penempatan antara Reaktor Shunt (*Shunt Reactor*) dan Kapasitor Shunt (*Shunt Capacitor*) pada sistem transmisi!

Solusi 5.2:

- **Reaktor Shunt:** Dipasang paralel di ujung saluran transmisi panjang. Berfungsi **menyerap daya reaktif kapasitif berlebih** untuk **menekan Efek Ferranti** dan mencegah tegangan lebih (*overvoltage*) saat beban ringan.
- **Kapasitor Shunt:** Dipasang di gardu induk dekat pusat beban. Berfungsi **memasok daya reaktif lokal**, memulihkan jatuh tegangan, dan menaikkan faktor daya saat kondisi beban berat.

Level C3: Penerapan / Mengaplikasikan (Applying)

Soal 5.3 (C3): Kenaikan Tegangan Efek Ferranti

Saluran transmisi SUTET 500 kV sepanjang 400 km memiliki konstanta propagasi $\beta = 0.00125$ rad/km. Hitung tegangan ujung penerima V_R saat saluran tanpa beban ($I_R = 0$) jika tegangan pengirim $V_S = 500$ kV!

Solusi 5.3: Formula Efek Ferranti tanpa beban:

$$V_R = \frac{V_S}{\cos(\beta \cdot l)}$$

$$\beta \cdot l = 0.00125 \text{ rad/km} \times 400 \text{ km} = 0.50 \text{ radian} = 0.50 \times \frac{180^\circ}{\pi} = 28.65^\circ$$

$$\cos(28.65^\circ) = 0.8776$$

$$V_R = \frac{500 \text{ kV}}{0.8776} = 569.75 \text{ kV}$$

Tegangan ujung penerima mengalami kenaikan sebesar 69.75 kV (13.95%) di atas tegangan pengirim!

Level C4: Analisis (Analyzing)

Soal 5.4 (C4): Matriks ABCD Hiperbolik Saluran Panjang

Saluran transmisi 300 km memiliki $Z_c = 400 \Omega$ dan konstanta fasa $\beta = 0.0012$ rad/km (abaikan resistansi $R = 0$). Hitung matriks ABCD fungsi hiperbolik!

Solusi 5.4:

1. **Kalkulasi $\beta \cdot l$:**

$$\beta \cdot l = 0.0012 \times 300 = 0.36 \text{ rad} = 20.63^\circ$$

2. **Elemen A dan D :**

$$A = D = \cos(\beta \cdot l) = \cos(20.63^\circ) = 0.9359$$

3. **Elemen B :**

$$B = jZ_c \sin(\beta \cdot l) = j400 \times \sin(20.63^\circ) = j400 \times 0.3523 = j140.92 \Omega$$

4. **Elemen C :**

$$C = j \frac{1}{Z_c} \sin(\beta \cdot l) = j \frac{1}{400} \times 0.3523 = j0.000881 \text{ S}$$

Level C5: Evaluasi (Evaluating)**Soal 5.5 (C5): Evaluasi Kompensasi Reaktor Shunt**

Evaluasi kebutuhan daya reaktif reaktor shunt ($Q_{reactor}$) yang harus dipasang di ujung penerima Soal 5.3 agar tegangan penerima V_R kembali turun tepat ke 500 kV!

Solusi 5.5:

1. **Arus Charging Tanpa Kompensasi:**

$$I_C = C \cdot V_R = (j0.000881) \times \left(\frac{500.000}{\sqrt{3}} \right) = j254.33 \text{ A}$$

2. **Daya Reaktif Reaktor ($Q_{reactor}$):** Untuk menetralkan kenaikan tegangan, reaktor harus menyerap arus terbelakang $I_L = I_C = 254.33 \text{ A}$.

$$Q_{reactor} = \sqrt{3} \cdot V_R \cdot I_L = \sqrt{3} \times 500.000 \text{ V} \times 254.33 \text{ A} = 220.25 \text{ MVAR}$$

Dibutuhkan bank Reaktor Shunt berkapasitas ****220 MVAR**** di gardu induk penerima.

Level C6: Kreasi / Sintesis (Creating)**Soal 5.6 (C6): Skrip Octave Simulasi Profil Tegangan Saluran Panjang**

Rancang skrip GNU Octave untuk menyimulasikan profil tegangan sepanjang saluran transmisi dari $x = 0$ hingga $x = 400 \text{ km}$ pada kondisi tanpa beban!

Solusi 5.6:

```

1 %
  =====
2 % SKRIP OCTAVE: SIMULASI PROFIL EFEK FERRANTI SALURAN PANJANG (C6
  )
3 %
  =====

4 clear; clc;
5
6 l_total = 400;           % Panjang Total (km)
7 z = 0.03 + 0.35j;        % Impedansi per km
8 y = 4.2e-6j;             % Admitansi per km
9 gamma = sqrt(z * y);
10 Zc = sqrt(z / y);
11
12 VS = 500e3 / sqrt(3);    % Tegangan LN Pengirim (V)
13 x = 0:10:l_total;       % Vektor Jarak km
14
15 % V(x) tanpa beban = VS * cosh(gamma*(l-x)) / cosh(gamma*l)
16 Vx = zeros(size(x));
17 for i = 1:length(x)
18     dist = l_total - x(i);
19     Vx(i) = abs(VS * (cosh(gamma * dist) / cosh(gamma * l_total))
20         );
21 end
22 fprintf('Tegangan Pengirim (x=0) = %.2f kV\n', Vx(1)*sqrt(3)/1
23     e3);
23 fprintf('Tegangan Ujung (x=400) = %.2f kV\n', Vx(end)*sqrt(3)/1
    e3);

```