

KUMPULAN SOAL TERJAWAB (SOLVED PROBLEMS)

MINGGU 9: PROTEKSI SISTEM TENAGA & ARUS GANGGUAN

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 9 mencakup jenis gangguan hubung singkat (simetris tak-simetris SLG, LL, DLG), komponen proteksi (Relai, CB, CT/PT), serta perhitungan arus gangguan Per-Unit.

Level C1: Pengetahuan / Mengingat (Remembering)

Soal 9.1 (C1): Klasifikasi Jenis Gangguan Hubung Singkat

Sebutkan 4 jenis gangguan hubung singkat pada saluran transmisi beserta persentase frekuensi kejadiannya di lapangan!

Solusi 9.1: 1. ****Single Line-to-Ground (SLG / Fasa-Tanah):**** Gangguan paling sering terjadi (70% – 80%).
2. ****Line-to-Line (LL / Fasa-Fasa):**** Gangguan tak-simetris (15% – 20%).
3. ****Double Line-to-Ground (DLG / Dua Fasa-Tanah):**** Gangguan tak-simetris (5%).
4. ****Three-Phase Fault (LLL / 3-Fasa Simetris):**** Gangguan paling parah namun paling jarang terjadi (2% – 5%).

Level C2: Pemahaman / Memahami (Understanding)

Soal 9.2 (C2): Filosofi Dasar Proteksi Sistem Tenaga

Jelaskan 4 kriteria utama dalam merancang sistem proteksi tenaga listrik: Kecepatan (**Speed**), Selektivitas (**Selectivity**), Keandalan (**Reliability**), dan Ekonomis (**Economy**)!

Solusi 9.2: - ****Kecepatan:**** Relai dan CB harus mengisolasi gangguan secepat mungkin (< 100 ms) untuk mencegah kerusakan fisik trafo/generator dan menjaga stabilitas transien. - ****Selektivitas:**** Hanya memutus zona atau saluran yang terganggu tanpa memadamkan daerah sehat di sekitarnya. - ****Keandalan:**** Menjamin relai pasti bekerja saat ada gangguan (**dependability**) dan tidak boleh salah trip saat tidak ada gangguan

(*security*). - **Ekonomis:** Biaya instalasi perangkat proteksi harus seimbang dengan nilai aset yang dilindungi.

Level C3: Penerapan / Mengaplikasikan (Applying)

Soal 9.3 (C3): Kalkulasi Arus Gangguan 3-Fasa Simetris

Sebuah generator 50 MVA, 13.8 kV memiliki reaktansi subtransien $X_d'' = 0.15$ pu. Terjadi gangguan 3-fasa simetris tepat di terminal generator saat tanpa beban pada tegangan nominal (1.0 pu). Hitung arus gangguan subtransien I_f'' dalam Ampere!

Solusi 9.3:

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{base}} = \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13.800} = 2.091,85 \text{ A}$$

$$I_{f,pu}'' = \frac{V_{f,pu}}{X_d''} = \frac{1.0}{0.15} = 6.6667 \text{ pu}$$

$$I_f'' = I_{f,pu}'' \cdot I_{base} = 6.6667 \times 2.091,85 \text{ A} = 13.945,67 \text{ A} \quad (13.95 \text{ kA})$$

Level C4: Analisis (Analyzing)

Soal 9.4 (C4): Analisis Komponen Simetris Gangguan Fasa-Tanah (SLG)

Pada gangguan Single Line-to-Ground (SLG) fasa A ke tanah tanpa tahanan gangguan ($Z_f = 0$), jaringan memiliki impedansi urutan $Z_1 = j0.2$ pu, $Z_2 = j0.2$ pu, dan $Z_0 = j0.1$ pu. Hitung arus gangguan total fasa A ($I_{a,fault}$) dalam per-unit!

Solusi 9.4: Pada gangguan SLG, ketiga jaring urutan (Positif, Negatif, Nol) terhubung secara seri:

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{1.0 \angle 0^\circ}{j0.2 + j0.2 + j0.1} = \frac{1.0}{j0.5} = -j2.0 \text{ pu}$$

$$I_{a,fault} = 3 \cdot I_{a1} = 3 \times (-j2.0 \text{ pu}) = -j6.0 \text{ pu} \quad (|I_{a,fault}| = 6.0 \text{ pu})$$

Level C5: Evaluasi (Evaluating)

Soal 9.5 (C5): Evaluasi Setting Arus Relai Arus Lebih (OCR)

Evaluasi *setting* arus kerja (I_{set}) dan rasio CT untuk relai arus lebih (OCR) pada saluran transmisi yang memiliki arus beban maksimum $I_{max} = 400$ A dengan faktor keamanan 1.25 dan rasio CT 500/5 A!

Solusi 9.5: 1. ****Arus Sekunder Beban Maksimum:**** $I_{sec,max} = 400 \times \frac{5}{500} = 4.0 \text{ A}$.
 2. ****Setting Arus Pick-Up Relai ($I_{pick-up}$):**** $I_{set} = 1.25 \times 4.0 \text{ A} = 5.0 \text{ A}$ (sekunder CT) atau 100% dari rating 5A. Relai dijamin tidak memicu pemutusan palsu saat beban puncak 400A, tetapi akan merespons instan jika arus gangguan melebihi 500A primer.

Level C6: Kreasi / Sintesis (Creating)

Soal 9.6 (C6): Skrip Octave Matriks Z_{bus} Arus Gangguan 3-Fasa

Buat skrip Octave untuk membentuk matriks $Z_{bus} = Y_{bus}^{-1}$ dan menghitung arus gangguan 3-fasa simetris di setiap bus sistem!

Solusi 9.6:

```

1 clear; clc;
2 % Matriks Ybus 3-Bus
3 Ybus = [ -j14,  j10,  j4;
4           j10, -j15,  j5;
5           j4,  j5,  -j9 ];
6 Zbus = inv(Ybus); % Matriks Impedansi Bus
7
8 V_prefault = 1.0;
9 I_fault_bus = zeros(1, 3);
10 for k = 1:3
11     I_fault_bus(k) = V_prefault / abs(Zbus(k,k));
12     fprintf('Arus_Gangguan_3-Fasa_di_Bus_%d= %.2f p.u.\n', k,
13           I_fault_bus(k));
14 end

```