

Lembar Kerja

Dasar-Dasar Sistem Tenaga Listrik

Minggu 7: Sistem Distribusi

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Bengkulu

9 Agustus 2026

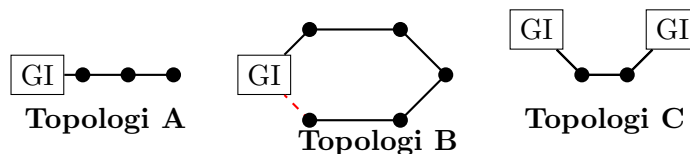
Petunjuk Pengerjaan:

- Kerjakan semua soal dengan sistematis
- Tunjukkan langkah-langkah perhitungan dengan jelas
- Gunakan GNU Octave untuk soal komputasi
- Diskusikan hasil dengan kelompok
- **Waktu pengerjaan: 2 x 50 menit (sesi kelas)**

1 Bagian A: Konsep Dasar (15 poin)

1.1 Soal A.1 - Topologi Jaringan (5 poin)

Perhatikan tiga topologi jaringan distribusi berikut:



- Identifikasi nama topologi A, B, dan C
- Jelaskan keunggulan dan kelemahan masing-masing topologi (minimal 2 untuk setiap)
- Topologi mana yang paling cocok untuk:
 - Daerah pedesaan dengan beban rendah?
 - Pusat kota dengan kebutuhan keandalan tinggi?
 - Pinggiran kota dengan beban sedang?
- Pada topologi B, jelaskan fungsi garis putus-putus merah

1.2 Soal A.2 - Komponen Sistem Distribusi (5 poin)

Sebutkan dan jelaskan fungsi dari komponen-komponen berikut dalam sistem distribusi:

- a) Recloser
- b) Sectionalizer
- c) Kapasitor Bank
- d) Voltage Regulator
- e) Transformator Distribusi

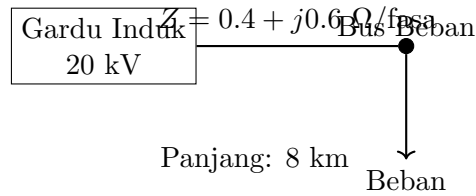
1.3 Soal A.3 - Standar Tegangan (5 poin)

- a) Sebutkan level tegangan standar untuk distribusi primer dan sekunder di Indonesia
- b) Berapa batas jatuh tegangan yang diizinkan menurut standar PLN untuk:
 - Jaringan Tegangan Rendah (JTR)?
 - Jaringan Tegangan Menengah (JTM)?
- c) Jika tegangan nominal distribusi sekunder adalah 220 V, hitung tegangan minimum dan maksimum yang diizinkan
- d) Mengapa jatuh tegangan yang berlebihan berbahaya bagi peralatan listrik konsumen?

2 Bagian B: Analisis Jatuh Tegangan (30 poin)

2.1 Soal B.1 - Jatuh Tegangan Saluran Tunggal (10 poin)

Sebuah feeder distribusi radial 20 kV menyuplai beban industri dengan data sebagai berikut:



Data beban tiga fasa:

- Daya aktif: $P = 3 \text{ MW}$
- Faktor daya: $\cos \phi = 0.85$ lagging

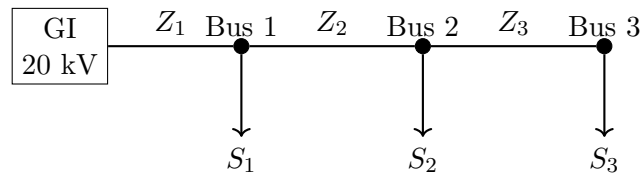
- Hitung daya reaktif beban (Q) dan daya semu (S)
- Hitung arus beban (I_L) dalam Ampere
- Hitung jatuh tegangan per fasa (ΔV) menggunakan rumus:

$$\Delta V = I(R \cos \phi + X \sin \phi)$$

- Hitung tegangan di bus beban (line-to-line) dalam kV
- Hitung persentase jatuh tegangan. Apakah masih dalam batas yang diizinkan?
- Hitung rugi-rugi daya aktif pada saluran ($P_{loss} = 3I^2R$)

2.2 Soal B.2 - Jaringan Distribusi dengan Multiple Beban (20 poin)

Sebuah feeder radial 20 kV melayani tiga beban seperti diagram berikut:



Data Impedansi Saluran (per fasa):

- Segmen GI - Bus 1: $Z_1 = 0.25 + j0.35 \, \Omega$ (5 km)
- Segmen Bus 1 - Bus 2: $Z_2 = 0.30 + j0.40 \, \Omega$ (6 km)
- Segmen Bus 2 - Bus 3: $Z_3 = 0.20 + j0.30 \, \Omega$ (4 km)

Data Beban Tiga Fasa:

- Bus 1: $P_1 = 1.5 \text{ MW}$, $Q_1 = 0.75 \text{ MVAR}$
- Bus 2: $P_2 = 1.0 \text{ MW}$, $Q_2 = 0.50 \text{ MVAR}$
- Bus 3: $P_3 = 0.8 \text{ MW}$, $Q_3 = 0.40 \text{ MVAR}$

Tegangan di Gardu Induk: $V_{GI} = 20 \text{ kV}$ (line-to-line)

Petunjuk: Gunakan metode *backward-forward sweep*:

1. **Backward sweep:** Hitung arus dari ujung (Bus 3) ke sumber
2. **Forward sweep:** Hitung tegangan dari sumber ke ujung

Tugas:

- a) Hitung arus kompleks pada setiap segmen saluran (gunakan asumsi tegangan nominal untuk iterasi pertama)
- b) Hitung tegangan pada setiap bus (Bus 1, Bus 2, Bus 3) dalam kV
- c) Hitung persentase jatuh tegangan di setiap bus
- d) Hitung total rugi-rugi daya aktif pada seluruh jaringan
- e) Apakah tegangan di semua bus masih dalam batas yang diizinkan ($\pm 5\%$)?
- f) Jika ada bus yang tegangannya di luar batas, usulkan solusi untuk memperbaikinya

3 Bagian C: Distributed Generation (20 poin)

3.1 Soal C.1 - Analisis Konseptual DG (8 poin)

- Jelaskan apa yang dimaksud dengan *Distributed Generation* (DG)
- Sebutkan minimal 4 jenis teknologi DG yang cocok untuk diterapkan di Bengkulu. Jelaskan potensi masing-masing.
- Jelaskan 3 manfaat utama dari integrasi DG ke jaringan distribusi
- Jelaskan 3 tantangan teknis yang muncul dari penetrasi DG yang tinggi
- Apa yang dimaksud dengan fenomena *voltage rise* akibat DG? Mengapa ini bisa terjadi?
- Apa yang dimaksud dengan *reverse power flow*? Bagaimana dampaknya terhadap sistem proteksi?

3.2 Soal C.2 - Kasus PLTS Atap (12 poin)

Seorang pelanggan PLN di Bengkulu merencanakan memasang PLTS atap dengan kapasitas 5 kWp di rumahnya. Konsumsi listrik rata-rata rumah tersebut adalah 400 kWh/bulan.

Data PLTS:

- Kapasitas: 5 kWp (DC)
- Efisiensi inverter: 96%
- Iradiasi solar rata-rata: 4.5 kWh/m²/hari
- Performance ratio: 85% (losses akibat suhu, debu, dll.)

Data Tarif (sesuai Permen ESDM No. 26/2021):

- Tarif konsumsi (impor dari PLN): Rp 1.500/kWh
- Tarif ekspor ke PLN: 65% dari tarif konsumsi = Rp 975/kWh

- Hitung produksi energi PLTS per hari (dalam kWh AC):

$$E_{AC} = P_{DC} \times \text{Iradiasi} \times PR \times \eta_{inverter}$$

- Hitung produksi energi PLTS per bulan (asumsi 30 hari)

- c) Asumsi konsumsi rumah merata sepanjang hari 400 kWh/bulan, sedangkan PLTS hanya produksi siang hari. Dengan pola konsumsi tipikal, sekitar 40% produksi PLTS dikonsumsi langsung (self-consumption), sisanya 60% diekspor ke grid.

Hitung:

- i. Energi yang dikonsumsi sendiri per bulan
 - ii. Energi yang diekspor ke PLN per bulan
 - iii. Energi yang masih perlu diimpor dari PLN per bulan
- d) Hitung tagihan listrik bulanan:
- i. Sebelum PLTS terpasang
 - ii. Setelah PLTS terpasang (dengan export-import scheme)
 - iii. Penghematan per bulan
- e) Jika biaya investasi PLTS adalah Rp 60 juta (sudah termasuk instalasi), berapa tahun waktu balik modal (*payback period*)?
- f) Diskusikan apakah investasi PLTS atap ini menguntungkan dari sisi ekonomi untuk pelanggan tersebut

4 Bagian D: Komputasi dengan GNU Octave (35 poin)

4.1 Soal D.1 - Implementasi Backward-Forward Sweep (35 poin)

Implementasikan algoritma *backward-forward sweep* untuk menganalisis jaringan distribusi radial pada Soal B.2 menggunakan GNU Octave.

Tugas:

- a) Tulis kode Octave lengkap dengan struktur berikut:
 - Input data: tegangan sumber, impedansi saluran, beban
 - Inisialisasi tegangan (flat start)
 - Loop iterasi backward-forward sweep
 - Kriteria konvergensi (toleransi error)
 - Perhitungan hasil: tegangan bus, jatuh tegangan, rugi-rugi
 - Tampilkan output dengan format rapi
- b) Jalankan program dan tampilkan hasil:
 - Tegangan magnitude dan sudut di setiap bus
 - Persentase jatuh tegangan
 - Arus di setiap segmen
 - Total rugi-rugi sistem
 - Jumlah iterasi hingga konvergen
- c) Buat plot grafik:
 - Profil tegangan sepanjang feeder (Bus GI, 1, 2, 3)
 - Jatuh tegangan kumulatif vs jarak
- d) Lakukan analisis sensitivitas: Bagaimana pengaruh peningkatan beban di Bus 3 sebesar 50% terhadap profil tegangan? Buat perbandingan grafik sebelum dan sesudah.
- e) **Bonus (5 poin):** Simulasikan penambahan kapasitor bank 500 kVAR di Bus 2. Bagaimana pengaruhnya terhadap:
 - Profil tegangan
 - Rugi-rugi sistem
 - Arus saluran

Catatan:

- Kode harus terkomentari dengan baik
- Gunakan fungsi untuk modularitas
- Lampirkan kode lengkap dan hasil output (screenshot/copy-paste)

Template Kode Octave:

```

% =====
% Analisis Jaringan Distribusi Radial
% Metode: Backward-Forward Sweep
% =====

clear; clc; close all;

% --- Data Sistem ---
Vbase = 20e3; % Tegangan base (V, line-to-line)
Sbase = 1e6; % Daya base (VA)
Vphase = Vbase / sqrt(3); % Tegangan fasa

% Impedansi saluran (Ohm, per fasa)
Z_line = [0.25+1j*0.35; % Z1
          0.30+1j*0.40; % Z2
          0.20+1j*0.30]; % Z3

% Beban (W dan VAR, tiga fasa)
P_load = [1.5e6; 1.0e6; 0.8e6]; % Daya aktif
Q_load = [0.75e6; 0.50e6; 0.40e6]; % Daya reaktif
S_load = (P_load + 1j*Q_load) / 3; % Daya kompleks per fasa

% --- Inisialisasi ---
n_bus = 4; % GI + 3 bus beban
V = Vphase * ones(n_bus, 1); % Flat start
max_iter = 50;
tol = 1e-6;

% --- Iterasi Backward-Forward Sweep ---
% [LENGKAPI KODE DI SINI]

% --- Hasil ---
% [LENGKAPI KODE DI SINI]

% --- Plotting ---
% [LENGKAPI KODE DI SINI]

```


5 Rubrik Penilaian

Bagian	Poin	Kriteria
A. Konsep Dasar	15	Pemahaman topologi, komponen, standar
B. Jatuh Tegangan	30	Perhitungan akurat, analisis sistematis
C. Distributed Generation	20	Pemahaman konsep, analisis kasus PLTS
D. Komputasi Octave	35	Kode benar, hasil valid, analisis mendalam
Total	100	
Bonus	5	Simulasi kapasitor bank

Catatan Penting

- Kerjakan secara berkelompok (maksimal 3 orang)
- Diskusi antar kelompok diperbolehkan, tetapi kode dan laporan harus unik
- Kumpulkan dalam bentuk:
 - Lembar jawaban tertulis untuk Bagian A, B, C
 - File .m (kode Octave) dan laporan PDF untuk Bagian D
- Deadline: 1 minggu setelah sesi kelas
- Presentasi hasil akan dilakukan minggu depan (5 menit per kelompok)

— SELAMAT MENGERJAKAN —

"Understanding distribution systems is key to bringing electricity to every corner of society."