

PROBLEM SET – MINGGU 7**Sistem Distribusi Tenaga Listrik****Program Studi Teknik Elektro****Universitas Bengkulu****Nama:** _____**NIM:** _____**C1 (Mengingat): Konsep dan Definisi Dasar**

Soal 1: Apa yang dimaksud dengan sistem distribusi tenaga listrik? Jelaskan posisinya dalam rantai penyaluran energi listrik dari pembangkit hingga konsumen.

Soal 2: Sebutkan level tegangan standar untuk sistem distribusi primer dan sekunder di Indonesia menurut standar PLN. Berikan contoh aplikasi untuk masing-masing level tegangan tersebut.

Soal 3: Apa yang dimaksud dengan *Distributed Generation* (DG)? Sebutkan minimal 4 jenis teknologi DG yang dapat diterapkan di Indonesia.

C2 (Memahami): Karakteristik Topologi dan Komponen

Soal 4: Jelaskan perbedaan karakteristik antara topologi jaringan distribusi Radial, Ring, dan Mesh dalam hal:

- a) Biaya investasi
- b) Keandalan sistem
- c) Kompleksitas proteksi
- d) Aplikasi yang sesuai

Soal 5: Mengapa impedansi urutan nol (Z_0) pada saluran distribusi overhead umumnya lebih besar dibandingkan impedansi urutan positif (Z_1)? Jelaskan faktor fisik yang mempengaruhinya dan implikasinya terhadap gangguan satu fasa ke tanah.

C3 (Mengaplikasikan): Perhitungan Jatuh Tegangan dan Rugi-Rugi

Soal 6: Sebuah feeder distribusi radial 20 kV melayani sebuah beban industri dengan karakteristik sebagai berikut:

- Daya aktif total (3 fasa): $P = 2.5 \text{ MW}$
- Faktor daya: $\cos \phi = 0.80$ lagging
- Impedansi saluran per fasa: $Z = (0.3 + j0.4) \Omega/\text{km}$
- Panjang saluran: 10 km
- Tegangan di gardu induk: 20 kV (line-to-line)

Hitunglah:

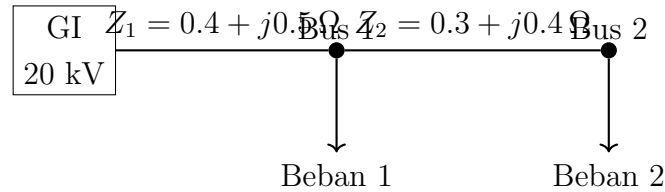
- a) Daya reaktif beban (Q) dalam MVAR
- b) Arus beban (I_L) dalam Ampere
- c) Jatuh tegangan per fasa menggunakan rumus:

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

- d) Tegangan di terminal beban (line-to-line) dalam kV
- e) Persentase jatuh tegangan. Apakah memenuhi standar PLN ($\pm 5\%$)?
- f) Rugi-rugi daya aktif pada saluran ($P_{loss} = 3I^2R$) dalam kW
- g) Persentase rugi-rugi terhadap daya yang disuplai

C3 (Mengaplikasikan): Analisis Multiple Load

Soal 7: Sebuah feeder distribusi radial 20 kV melayani dua beban seperti diagram berikut:



Data beban tiga fasa:

- Bus 1: $P_1 = 1.8$ MW, $Q_1 = 0.9$ MVAR
- Bus 2: $P_2 = 1.2$ MW, $Q_2 = 0.6$ MVAR

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

Menggunakan metode *backward-forward sweep* (asumsi tegangan flat start untuk iterasi pertama):

- Hitung arus kompleks pada segmen Z_1 dan Z_2
- Hitung tegangan pada Bus 1 dan Bus 2 (dalam kV line-to-line)
- Hitung persentase jatuh tegangan di setiap bus
- Hitung total rugi-rugi daya aktif pada seluruh jaringan (dalam kW)
- Apakah tegangan di kedua bus masih memenuhi standar?

C4 (Menganalisis): Dampak Distributed Generation

Soal 8: Sebuah feeder distribusi radial 20 kV yang awalnya melayani beban 3 MW ($PF = 0.85$ lagging) sepanjang 15 km akan diintegrasikan dengan PLTS ground-mounted berkapasitas 1.5 MW di tengah feeder (7.5 km dari gardu induk).

- a) Jelaskan bagaimana penambahan PLTS akan mempengaruhi:
 - Profil tegangan sepanjang feeder
 - Rugi-rugi daya pada saluran
 - Aliran daya dari/ke gardu induk
- b) Jika pada siang hari PLTS beroperasi pada kapasitas penuh (1.5 MW) sedangkan beban hanya 1.5 MW, apa yang akan terjadi? Jelaskan fenomena *reverse power flow* dan dampaknya terhadap sistem proteksi.
- c) Identifikasi minimal 3 tantangan teknis yang mungkin muncul dan berikan solusi untuk masing-masing tantangan tersebut.

C4 (Menganalisis): Analisis PLTS Atap

Soal 9: Seorang pelanggan PLN residensial merencanakan memasang PLTS atap dengan spesifikasi:

Data PLTS:

- Kapasitas: 6 kWp (DC)
- Efisiensi inverter: 97%
- Iradiasi solar rata-rata: 4.8 kWh/m²/hari
- Performance ratio: 80%

Data Konsumsi dan Tarif:

- Konsumsi rata-rata: 500 kWh/bulan
- Self-consumption ratio: 35% (produksi PLTS yang langsung dikonsumsi)
- Tarif impor dari PLN: Rp 1.600/kWh
- Tarif ekspor ke PLN: 65% × Rp 1.600 = Rp 1.040/kWh
- Biaya investasi PLTS: Rp 75 juta

Hitunglah:

a) Produksi energi PLTS per bulan (kWh AC):

$$E_{AC} = P_{DC} \times \text{Iradiasi} \times PR \times \eta_{inverter} \times 30 \text{ hari}$$

b) Energi yang dikonsumsi sendiri per bulan

c) Energi yang diekspor ke PLN per bulan

d) Energi yang masih harus diimpor dari PLN per bulan

e) Tagihan listrik per bulan sebelum dan sesudah instalasi PLTS

f) Penghematan biaya listrik per bulan

g) *Payback period* investasi PLTS dalam tahun

h) Analisis kelayakan ekonomis investasi ini untuk jangka waktu 25 tahun (umur PLTS)

C5 (Mengevaluasi): Evaluasi Strategi Perbaikan Sistem

Soal 10: Sebuah feeder distribusi di daerah pedesaan mengalami permasalahan sebagai berikut:

- Panjang feeder: 25 km
- Beban puncak: 3.5 MW, PF rata-rata = 0.75 lagging
- Jatuh tegangan di ujung feeder: 12% (melebihi standar!)
- Rugi-rugi sistem: 8%
- Keluhan konsumen: tegangan rendah saat beban puncak (190-200 V)

Evaluasi efektivitas dari masing-masing solusi berikut. Berikan peringkat (1 = paling efektif, 5 = paling tidak efektif) dan jelaskan alasan Anda:

- a) Instalasi voltage regulator di km 12.5
- b) Penambahan kapasitor bank 800 kVAR di ujung feeder
- c) Upgrade konduktor dari 70 mm² menjadi 150 mm² untuk 10 km pertama
- d) Rekonfigurasi jaringan dengan membangun tie-line ke feeder tetangga
- e) Instalasi PLTS 500 kWp di km 20

Untuk setiap solusi, diskusikan:

- Dampak terhadap profil tegangan
- Dampak terhadap rugi-rugi
- Estimasi biaya relatif (rendah/sedang/tinggi)
- Kompleksitas implementasi
- Manfaat jangka panjang

C6 (Menciptakan): Desain Sistem Distribusi

Soal 11: Anda ditugaskan untuk merancang sistem distribusi untuk sebuah kawasan perumahan baru dengan spesifikasi:

Data Kawasan:

- Jumlah rumah: 500 unit
- Daya tersambung per rumah: 5.500 VA
- Faktor diversitas: 0.60
- Faktor daya rata-rata: 0.85 lagging
- Area: 2 km $\times$ 1.5 km
- Target keandalan: SAIDI < 200 menit/tahun

Buatlah desain konseptual sistem distribusi yang mencakup:

- a) Perhitungan total beban puncak kawasan (gunakan faktor diversitas)
- b) Pemilihan topologi jaringan distribusi (radial/ring/mesh). Justifikasi pilihan Anda.
- c) Penentuan jumlah dan kapasitas transformator distribusi (20 kV/380 V) yang diperlukan. Asumsi: kapasitas standar transformator = 100 kVA, 160 kVA, 250 kVA, 400 kVA.
- d) Penentuan lokasi transformator untuk meminimalkan jatuh tegangan (buat sketsa layout sederhana)
- e) Rekomendasi peralatan proteksi yang diperlukan (recloser, sectionalizer, fuse)
- f) Strategi untuk mencapai target keandalan
- g) Rencana integrasi energi terbarukan (jika ada). Misalnya: PLTS komunal atau rooftop solar
- h) Pertimbangan untuk ekspansi di masa depan (+30% beban dalam 10 tahun)

Catatan: Buat asumsi yang wajar dan nyatakan dengan jelas untuk parameter yang tidak disebutkan.

Soal Bonus (+10 poin)

Soal 12: Implementasikan analisis jaringan distribusi dari Soal 7 menggunakan GNU Octave dengan metode *backward-forward sweep* iteratif.

- a) Tulis kode lengkap dengan:
 - Input data sistem
 - Loop iterasi hingga konvergen (toleransi $< 10^{-6}$ pu)
 - Perhitungan tegangan, arus, dan rugi-rugi
 - Output hasil dengan format tabel
- b) Buat plot profil tegangan sepanjang feeder (GI $\rightarrow$ Bus 1 $\rightarrow$ Bus 2)
- c) Lakukan analisis sensitivitas: Bagaimana profil tegangan dan rugi-rugi berubah jika:
 - Beban Bus 2 meningkat 50%
 - Kapasitor 400 kVAR dipasang di Bus 2
- d) Bandingkan hasil komputasi dengan perhitungan manual Anda di Soal 7

Submit: File .m (kode) dan output screenshot atau PDF

Tingkat Kognitif	Soal	Poin
C1 (Mengingat)	1, 2, 3	15
C2 (Memahami)	4, 5	15
C3 (Mengaplikasikan)	6, 7, 9	30
C4 (Menganalisis)	8, 9 (analisis)	20
C5 (Mengevaluasi)	10	10
C6 (Menciptakan)	11	10
Total		100
Bonus	12	+10

Rubrik Penilaian

Petunjuk Pengerjaan

- Kerjakan semua soal dengan sistematis dan tunjukkan langkah perhitungan
- Gunakan konstanta: $\sqrt{3} = 1.732$ untuk perhitungan 3 fasa
- Untuk soal analisis dan evaluasi, berikan argumen yang didukung data atau teori
- Soal bonus dikerjakan dengan GNU Octave
- Waktu pengerjaan: 1 minggu
- **Dikumpulkan:** Hardcopy jawaban + softcopy (untuk soal bonus)

— SELAMAT MENGERJAKAN —

*"The distribution system is the final mile of power delivery,
where reliability meets every customer's needs."*