

PROBLEM SET MINGGU 2

ANALISIS RANGKAIAN AC TIGA FASA

Tingkat Kognitif C1 - C6 (Bloom's Taxonomy)

Nama: _____ NIM: _____

Tanggal: _____ Waktu: 180 menit

TINGKAT C1 (PENGETAHUAN/REMEMBER)

Soal 1 (10 poin): Sebutkan 5 keunggulan utama sistem tiga fasa dibandingkan sistem satu fasa dalam aplikasi sistem tenaga listrik.

Soal 2 (10 poin): Definisikan istilah-istilah berikut:

- a) Tegangan fasa
- b) Tegangan saluran
- c) Daya kompleks
- d) Faktor daya
- e) Sistem per-unit

TINGKAT C2 (PEMAHAMAN/UNDERSTAND)

Soal 3 (15 poin): Jelaskan perbedaan mendasar antara konfigurasi Y (bintang) dan Delta pada sistem tiga fasa, termasuk hubungan matematis antara tegangan dan arus fasa terhadap tegangan dan arus saluran.

Soal 4 (15 poin): Mengapa sistem per-unit sangat penting dalam analisis sistem tenaga listrik? Jelaskan minimal 3 alasan utama beserta contohnya.

TINGKAT C3 (APLIKASI/APPLY)

Soal 5 (20 poin): Sebuah motor induksi tiga fasa terhubung secara Delta (Δ) ke jaringan listrik 400 V, 50 Hz. Setiap fasa motor dapat dimodelkan sebagai impedansi $Z_\phi = (15 + j10) \Omega$. Terapkan formula yang relevan untuk menghitung:

- a) Arus yang mengalir pada setiap fasa motor (I_ϕ).
- b) Arus yang ditarik dari jaringan listrik (I_L).
- c) Daya kompleks total ($\vec{S}$) yang diserap oleh motor.
- d) Faktor daya (PF) motor tersebut.

Soal 6 (20 poin): Sebuah generator 3 fasa dengan konfigurasi Y menghasilkan tegangan fasa 7200 V. Generator ini mensuplai beban seimbang dengan impedansi per fasa $Z = 15 + j20 \text{ ohm}$ yang terhubung dalam konfigurasi Delta.

Hitunglah:

- a) Tegangan saluran generator
- b) Arus fasa beban
- c) Arus saluran total
- d) Daya aktif, reaktif, dan semu total

- e) Faktor daya sistem

Soal 7 (20 poin): Transformator 3 fasa memiliki rating 25 MVA, 33/11 kV dengan impedansi 6% pada rating basenya. Konversikan impedansi transformator ini ke sistem per-unit dengan base baru: 100 MVA, 33 kV.

Kemudian hitung impedansi dalam ohm yang dirujuk ke:

- a) Sisi tegangan tinggi (33 kV)
- b) Sisi tegangan rendah (11 kV)

TINGKAT C4 (ANALISIS/ANALYZE)

Soal 8 (20 poin): Sebuah pabrik memiliki dua pilihan untuk menghubungkan beban pemanas tiga fasa identik dengan impedansi per fasa $Z = 30 \Omega$ murni resistif. Opsi pertama adalah menghubungkannya dalam konfigurasi Bintang (Y), dan opsi kedua dalam konfigurasi Delta (Δ) pada sistem tegangan saluran 380 V. Analisislah kedua skenario tersebut dengan:

- a) Menghitung total daya aktif (P) yang diserap untuk masing-masing konfigurasi.
- b) Membandingkan besar arus saluran (I_L) yang ditarik dari sumber untuk kedua konfigurasi.

- c) Memberikan analisis singkat mengenai konfigurasi mana yang akan menghasilkan panas lebih banyak dan menarik arus lebih besar dari jala-jala.

Soal 9 (25 poin): Sebuah sistem distribusi 3 fasa, 20 kV mensuplai tiga jenis beban seimbang:

- Beban Industri: 2 MW, faktor daya 0.85 lagging (Y)
- Beban Komersial: 1.5 MW, faktor daya 0.9 lagging (Delta)
- Beban Kapasitif: 800 kVAR leading (Y)

Analisis sistem ini dengan menentukan:

- a) Komponen daya (P, Q, S) untuk setiap beban
- b) Total daya kompleks sistem
- c) Arus saluran total yang diperlukan dari sumber
- d) Faktor daya gabungan sistem
- e) Dampak jika beban kapasitif dilepas dari sistem

TINGKAT C5 (SINTESIS/CREATE)

Soal 10 (30 poin): Rancanglah sebuah skrip/program sederhana menggunakan **GNU Octave** yang berfungsi sebagai "Kalkulator Sistem Tiga Fasa". Program tersebut harus mampu:

- Menerima input dari pengguna berupa: nilai tegangan saluran, impedansi per fasa (bagian riil dan imajiner), dan tipe koneksi ('Y' atau 'Delta').
- Menghasilkan output berupa: arus fasa, arus saluran, daya aktif total (P), daya reaktif total (Q), daya semu total (S), dan faktor daya (PF).
- Berikan contoh penggunaan skrip Anda dengan menggunakan data dari **Soal 5** untuk memvalidasi bahwa program Anda bekerja dengan benar.

Soal 11 (30 poin): Rancang solusi sistem tenaga untuk kompleks industri kelapa sawit di Bengkulu dengan spesifikasi berikut:

- Total kebutuhan daya: 5 MW
- Suplai dari PLN: sistem 3 fasa, 20 kV, maksimal 3 MW
- Sisa kebutuhan dari generator diesel backup: 3 fasa, 6.3 kV
- Faktor daya minimum yang disyaratkan PLN: 0.9 lagging
- Beban utama: motor-motor induksi 3 fasa (faktor daya 0.8 lagging)

Rancang dan hitung:

- Konfigurasi sistem (termasuk transformator yang diperlukan)
- Rating transformator dalam per-unit (gunakan base 10 MVA, 20 kV)
- Kapasitor bank yang diperlukan untuk koreksi faktor daya
- Arus nominal pada setiap tingkat tegangan
- Diagram single-line sederhana sistem yang dirancang

TINGKAT C6 (EVALUASI/EVALUATE)

Soal 12 (25 poin): Anda adalah seorang insinyur listrik yang ditugaskan untuk menyuplai daya ke sebuah beban industri kritis sebesar 50 kW dengan faktor daya 0.75 lagging dari jaringan 400 V. Kabel suplai yang ada saat ini hanya mampu dialiri arus maksimum 95 A.

- a) Hitung arus yang akan ditarik oleh beban tersebut tanpa adanya koreksi.
- b) Evaluasi apakah kabel yang ada saat ini aman untuk digunakan.
- c) Jika tidak aman, usulkan solusi teknis yang paling efisien (misalnya, koreksi faktor daya atau penggantian kabel). Berikan justifikasi kuantitatif dan kualitatif untuk mendukung keputusan Anda.

Soal 13 (35 poin): Evaluasi kritis implementasi sistem tiga fasa untuk elektrifikasi desa terpencil di Bengkulu yang akan disuplai oleh PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) dengan kapasitas 500 kW.

Data sistem:

- Generator PLTMH: 3 fasa, 6.3 kV, 500 kW
- Jarak transmisi ke desa: 15 km
- Beban desa: 80% residensial (faktor daya 0.9), 20% komersial (faktor daya 0.85)
- Peak demand: 350 kW
- Konduktor yang tersedia: ACSR dengan $R = 0.5 \text{ ohm/km}$, $X = 0.4 \text{ ohm/km}$

Evaluasi dan berikan rekomendasi untuk:

- a) Pemilihan tingkat tegangan distribusi (apakah 6.3 kV langsung atau perlu step-up transformer?)
- b) Konfigurasi jaringan distribusi (Y vs Delta) dengan justifikasi teknis

- c) Analisis jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada saluran
- d) Strategi kompensasi daya reaktif
- e) Evaluasi kelayakan teknis dan rekomendasi perbaikan sistem
- f) Pertimbangan aspek regulasi (mengacu pada peraturan ESDM untuk sistem distribusi)

Sertakan perhitungan yang mendukung evaluasi Anda!

BONUS: IMPLEMENTASI OCTAVE (15 POIN)

Soal Bonus: Tulis program Octave lengkap untuk menyelesaikan **Soal 13**. Program harus mampu:

1. Menghitung parameter sistem untuk kedua opsi konfigurasi
2. Menganalisis jatuh tegangan dan rugi-rugi
3. Memvisualisasikan profil tegangan sepanjang saluran
4. Memberikan rekomendasi berdasarkan kriteria teknis

Tuliskan pseudocode atau kode Octave actual di ruang berikut:

RUBRIK PENILAIAN

Tingkat	Soal	Poin	Kriteria
C1	1-2	20	Pengetahuan fakta dan terminologi
C2	3-4	30	Pemahaman konsep dan prinsip
C3	5-7	60	Aplikasi rumus dan prosedur
C4	8-9	45	Analisis dan interpretasi data
C5	10-11	60	Sintesis dan perancangan solusi
C6	12-13	60	Evaluasi kritis dan rekomendasi
Bonus	Octave	15	Implementasi komputasi
Total		275	

Konversi Nilai (Contoh):

- A: 225-275 poin (82-100%)
- B: 176-224 poin (64-81%)
- C: 138-175 poin (50-63%)
- D: 110-137 poin (40-49%)
- E: < 110 poin (< 40%)

PETUNJUK Pengerjaan

1. Kerjakan soal secara berurutan dari C1 hingga C6
2. Tunjukkan semua langkah perhitungan dengan jelas
3. Gunakan satuan yang konsisten (SI atau per-unit sesuai konteks)
4. Untuk soal analisis dan evaluasi, berikan justifikasi yang logis
5. Soal bonus bersifat opsional tetapi sangat direkomendasikan
6. Diperbolehkan menggunakan kalkulator dan referensi rumus

RUMUS REFERENSI CEPAT

Konfigurasi Y:

$$\begin{aligned}
 V_L &= \sqrt{3}V_p \\
 I_L &= I_p \\
 P &= 3V_p I_p \cos \phi \\
 Q &= 3V_p I_p \sin \phi
 \end{aligned}$$

Konfigurasi Delta:

$$\begin{aligned}
 V_L &= V_p \\
 I_L &= \sqrt{3}I_p \\
 P &= 3V_p I_p \cos \phi \\
 Q &= 3V_p I_p \sin \phi
 \end{aligned}$$

Daya Tiga Fasa (Umum):

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3}V_L I_L \cos \phi \\
 Q &= \sqrt{3}V_L I_L \sin \phi \\
 S &= \sqrt{3}V_L I_L = \sqrt{P^2 + Q^2}
 \end{aligned}$$

Sistem Per-Unit:

$$Z_{pu(new)} = Z_{pu(old)} \times \frac{S_{base(new)}}{S_{base(old)}} \times \left(\frac{V_{base(old)}}{V_{base(new)}} \right)^2$$

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}}$$

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}V_{base}}$$

Referensi: Saadat, H. *Power System Analysis* Ch. 1-3; Glover, J.D. et al. *Power System Analysis and Design* Ch. 1-2

Software: GNU Octave untuk verifikasi perhitungan