PROBLEM SET 3 (TUGAS MANDIRI TERSTRUKTUR – EDISI LENGKAP)

Mata Kuliah: Teknik Tenaga Listrik (2/3 SKS – Semester 3)

Topik Minggu 3: Analisis Fasor AC 1-Fasa, Segitiga Daya (P, Q, S), & Bank Kapasitor

Nama: .....
NPM: .....
Kelas/Klp: .....
Nilai Final: / 100

Capaian Pembelajaran (CPMK 2 / Minggu 3) & Pedoman Pengerjaan Tugas Mandiri Terstruktur

CPMK 2 (Sub-CPMK 3): Mahasiswa mampu mengingat definisi besaran AC dan segitiga daya, memahami arti fisik beda fasa arus induktif, menerapkan kalkulasi impedansi RLC, menganalisis dampak faktor daya terhadap rugi transmisi, mengevaluasi tekno-ekonomi kompensasi kapasitor, serta merancang bank kapasitor pabrik (Tingkat Kognitif Bloom C1 s.d. C6).

1. **[Tingkat Kognitif C1 – Mengingat | Skor: 10 Poin]**
   Jelaskan perbedaan mendasar antara:
   (a) Daya Aktif (P, satuan Watt), Daya Reaktif (Q, satuan VAR), dan Daya Semu (S, satuan VA).
   (b) Mengapa peralatan listrik seperti transformator dan generator selalu diberi rating kapasitas dalam satuan **kVA atau MVA**, bukan dalam kW?

2. **[Tingkat Kognitif C2 – Memahami | Skor: 15 Poin]**
   Pada rangkaian arus bolak-balik:
   (a) Jelaskan mengapa pada beban induktif (seperti belitan stator motor listrik) arus listrik selalu **tertinggal (*lagging*)** terhadap tegangan!
   (b) Mengapa perusahaan penyedia listrik (PLN) mengenakan tarif denda penalti kepada pelanggan industri yang memiliki faktor daya rata-rata $\cos\phi < 0.85$?

3. **[Tingkat Kognitif C3 – Menerapkan | Skor: 15 Poin]**
   Sebuah beban impedansi paralel terdiri dari:
   - Cabang 1: Pemanas resistif $R = 25\ \Omega$.
   - Cabang 2: Motor listrik dengan impedansi $Z_m = 12 + j16\ \Omega$.

   Beban disuplai dari tegangan $V = 220\angle 0^\circ$ V, 50 Hz. Hitunglah:
   (a) Arus cabang $\vec{I}_1$ dan $\vec{I}_2$.
   (b) Arus total $\vec{I}_{\text{total}}$ dan faktor daya total kombinasi beban.
   (c) Total daya aktif P_{total}, reaktif Q_{total}, dan semu S_{total}.

4. **[Tingkat Kognitif C4 – Menganalisis | Skor: 20 Poin]**
   Sebuah pabrik permesinan menyerap daya $P = 45$ kW pada tegangan 230 V, 50 Hz dengan faktor daya $\cos\phi_1 = 0.68$ *lagging*. Pabrik tersebut dipasok melalui kabel penghantar yang memiliki resistansi total $R_c = 0.08\ \Omega$:

   (a) Hitung arus saluran mula-mula (I_1) dan rugi daya tembaga pada kabel transmisi ($P_{\text{rugi},1} = I_1^2 R_c$).

   (b) Jika dipasang bank kapasitor paralel sehingga faktor daya naik menjadi $\cos\phi_2 = 0.96$ *lagging*, hitung arus saluran baru (I_2) dan rugi daya kabel baru ($P_{\text{rugi},2}$).

   (c) Analisis persentase penurunan rugi daya pada kabel saluran transmisi.

5. **[Tingkat Kognitif C5 – Mengevaluasi | Skor: 20 Poin]**
   Sebuah fasilitas industri kecil beroperasi 300 jam per bulan dengan beban rata-rata $P = 60$ kW pada faktor daya $\cos\phi = 0.72$ *lagging*. Ketentuan tarif PLN:

   - Batas faktor daya minimum tanpa denda adalah $\cos\phi_{\text{ref}} = 0.85$ ($\tan\phi_{\text{ref}} = 0.62$).
   - Kelebihan pemakaian daya reaktif kVARh dikenakan denda Rp 1.250 per kVARh.
   - Biaya pengadaan dan instalasi bank kapasitor otomatis (APFC) adalah Rp 28.000.000 dengan umur pakai 8 tahun.

   Hitung besarnya denda kVARh yang dibayar industri tersebut per bulan jika tanpa kapasitor bank, dan evaluasi *Payback Period* (waktu pengembalian modal) investasi bank kapasitor tersebut!

6. **[Tingkat Kognitif C6 – Merancang / Mencipta | Skor: 20 Poin]**
   Rancanglah sebuah unit Bank Kapasitor Otomatis (*Automatic Power Factor Controller* / APFC) bertingkat (3-step switching) untuk instalasi bengkel mesin CNC:

   - Daya aktif bengkel berfluktuasi: Beban Minimum $P_{\text{min}} = 10$ kW, Beban Menengah $P_{\text{med}} = 25$ kW, Beban Puncak $P_{\text{max}} = 40$ kW.
   - Faktor daya alami beban tanpa kompensasi adalah $\cos\phi_1 = 0.75$ *lagging*.
   - Target faktor daya terkoreksi adalah $\cos\phi_2 = 0.98$ *lagging*.
   - Tegangan kerja: 220 V AC, 50 Hz.

   Tentukan:

   (a) Total daya reaktif kapasitor $Q_{C,\text{total}}$ yang dibutuhkan pada beban puncak.

   (b) Pembagian kapasitas 3 step kapasitor (misal Step 1 : Step 2 : Step 3) agar kontroler dapat menyesuaikan kompensasi saat beban minimum, menengah, dan puncak.

   (c) Nilai kapasitansi (dalam μF) untuk masing-masing unit kapasitor tersebut.