PROBLEM SET 13 (TUGAS MANDIRI TERSTRUKTUR – EDISI LENGKAP)

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

Topik Minggu 13: Motor Induksi 1-Fasa, Pembelahan Fasa, Motor Universal, & Simulasi Octave

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

Capaian Pembelajaran (CPMK 5 / Minggu 13 – Bobot 5%) & Pedoman Pengerjaan Tugas Mandiri

CPMK 5 (Sub-CPMK 13): Mahasiswa mampu menganalisis Teori Medan Putar Ganda (*Double-Revolving Field*), prinsip pembelahan fasa (*phase-splitting*), rangkaian ekivalen maju-mundur, perancangan kapasitor pengasut, karakteristik motor universal, serta pemodelan berbasis GNU Octave.
Ketentuan Pengerjaan: Kerjakan secara mandiri pada kertas A4 rapi. Sertakan diagram fasor, penurunan rumus analitis lengkap, serta lampirkan kode program dan grafik keluaran simulasi GNU Octave (Soal C6).

BAGIAN I: TEORI MEDAN PUTAR GANDA, KONSTRUKSI, & ANALISIS FASOR

1. (C1 - Mengingat | Bobot: 10 Poin)

(a) Jelaskan perbedaan fisik (diameter kawat, jumlah lilitan, posisi alur stator, dan rasio R/X) antara **belitan utama (*main winding*)** dan **belitan bantu (*auxiliary winding*)** pada motor induksi 1-fasa!

(b) Jelaskan fungsi spesifik dari: (i) **Saklar Sentrifugal (*centrifugal switch*)**; (ii) **Kapasitor Elektrolit Start** (C_{start}) vs **Kapasitor Kertas-Minyak Jalan** (C_{run}); dan (iii) **Cincin Tembaga Hubung-Singkat (*shading coil*)** pada motor kutub bayangan!

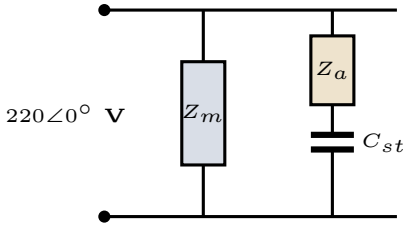
2. (C2 - Memahami | Bobot: 15 Poin)

(a) Berdasarkan **Teori Medan Putar Ganda (*Double-Revolving Field Theory*)**, turunkan mengapa fluks berdenyut $B(\theta, t) = B_{\max}\cos(\omega t)\cos(\theta)$ dapat diuraikan menjadi dua medan putar berlawanan arah, serta jelaskan mengapa torsi awal bernilai nol ($T_{start} = 0$) pada $s = 1$!

(b) Jelaskan mengapa menukar kabel Fasa (L) dan Netral (N) pada steker motor induksi 1-fasa **tidak mengubah arah putaran rotor**, serta gambarkan skema pengawatan yang benar untuk membalik arah putaran!

(c) Jelaskan prinsip kerja **Motor Universal** sehingga mampu menghasilkan torsi searah pada sumber AC maupun DC dan mencapai putaran > 15.000 RPM!

3. (C3 - Menerapkan | Bobot: 20 Poin)



Sebuah motor induksi 1-fasa 220 V, 50 Hz, 4-kutub memiliki impedansi saat start (*locked-rotor*, $n = 0$): belitan utama $Z_m = 3.0 + j4.0\ \Omega$ dan belitan bantu $Z_a = 8.0 + j3.5\ \Omega$. Sebuah kapasitor pengasut $C_{start} = 335\ \mu$F dihubungkan seri dengan belitan bantu.
Hitung: (a) Reaktansi kapasitif $X_C = \frac{1}{2\pi f C_{start}}$ dan impedansi total cabang bantu $Z_{a,\text{tot}} = R_a + j(X_a - X_C)$; (b) Arus fasor belitan utama $I_m\angle\theta_m$, arus fasor cabang bantu $I_a\angle\theta_a$, dan sudut pisah fasa $\alpha = |\theta_m - \theta_a|$; (c) Arus start total jala-jala $I_{L,\text{start}} = I_m + I_a$ beserta faktor daya saat start; (d) Saat motor berputar pada beban penuh $n = 1440$ rpm (saklar sentrifugal sudah terbuka), hitung slip maju s_f dan slip mundur s_b!

FORMULA RUJUKAN TEKNIS MOTOR 1-FASA & UNIVERSAL (IEEE Std 114 / IEC 60034)

- Medan Putar Ganda: $s_f = s = \frac{n_s - n}{n_s}$, $s_b = 2 - s$; Impedansi Maju/Mundur: $Z_f \approx \frac{R_2'}{2s} + j\frac{X_2'}{2}$, $Z_b \approx \frac{R_2'}{2(2-s)} + j\frac{X_2'}{2}$
- Torsi Start Pembelahan Fasa: $T_{start} = K \cdot I_m \cdot I_a \cdot \sin\alpha$, dengan $\alpha = |\theta_m - \theta_a|$; Kuadratur Ideal: $\alpha = 90^\circ \implies \theta_a = 90^\circ - |\theta_m|$
- Reaktansi Kapasitor: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$, $\tan\theta_Z = \frac{X_a - X_C}{R_a}$; Motor Universal: $T_{avg} = K_a k_s I_{rms}^2$, $E_b = K_a \Phi \omega_m$

BAGIAN II: ANALISIS RANGKAIAN, EVALUASI APLIKASI, & SIMULASI OCTAVE

4. (C4 - Menganalisis | Bobot: 20 Poin)

Sebuah motor induksi 1-fasa 4-kutub, 220 V, 50 Hz beroperasi pada putaran nominal $n = 1425$ rpm dengan saklar sentrifugal terbuka (hanya belitan utama yang aktif). Diketahui resistansi dan reaktansi rotor terrefleksi adalah $R'_2 = 4.0\ \Omega$ dan $X'_2 = 6.0\ \Omega$ (abaikan cabang magnetisasi paralel untuk penyederhanaan sehingga $Z_f \approx \frac{R'_2}{2s} + j\frac{X'_2}{2}$ dan $Z_b \approx \frac{R'_2}{2(2-s)} + j\frac{X'_2}{2}$). Jika arus belitan utama yang mengalir adalah $I_m = 6.0$ A: (a) Hitung daya celah udara maju ($P_{gf} = I_m^2 R_f$), daya celah udara mundur ($P_{gb} = I_m^2 R_b$), serta torsi elektromagnetik bersih $T_{net} = \frac{P_{gf} - P_{gb}}{\omega_s}$!

(b) Hitung daya mekanis kotor yang dikonversi $P_{conv} = (1-s)(P_{gf} - P_{gb})$ dan rugi tembaga total pada batang rotor! Mengapa rugi tembaga rotor motor 1-fasa selalu lebih besar daripada motor 3-fasa?

5. (C5 - Mengevaluasi | Bobot: 20 Poin)

Sebagai insinyur mesin yang bertanggung jawab atas pengadaan peralatan pabrik dan bengkel, evaluasilah pemilihan motor dan diagnosis masalah berikut:

(a) **Kompresor Udara Torak vs Blower Sentrifugal HVAC:** Mengapa kompresor torak wajib menggunakan motor **Capacitor-Start / CSCR** sedangkan blower HVAC menggunakan motor **Permanent-Split Capacitor (PSC)**? Apa yang terjadi jika motor PSC dipaksakan memutar kompresor torak?

(b) **Mesin Gerinda Sudut Portabel (*Hand Angle Grinder* 11.000 RPM):** Mengapa digunakan **Motor Universal** alih-alih motor induksi 1-fasa? Evaluasilah risiko keselamatan mekanikal jika batu gerinda pecah/terlepas mendadak saat mesin sedang menyala penuh!

(c) **Diagnosis Kerusakan:** Sebuah motor pompa air 1-fasa hanya berdengung keras saat dinyalakan, tetapi jika kipas pendingin belakangnya diputar sedikit menggunakan obeng, motor langsung berputar normal. Evaluasilah 2 komponen utama yang paling mungkin rusak!

6. (C6 - Merancang & Komputasi Saintifik GNU Octave | Bobot: 15 Poin)

(a) Perancangan Kapasitor Pengasut untuk Torsi Start Maksimum:

Sebuah motor 1-fasa 220 V, 50 Hz memiliki impedansi start belitan utama $Z_m = 2.5 + j3.5\ \Omega$ dan belitan bantu $Z_a = 6.5 + j3.0\ \Omega$. Rancang nilai kapasitor C_{start} (μF) agar tercapai kondisi: (i) Kuadratur fasa murni ($\alpha = 90°$); dan (ii) Tegangan kerja minimum kapasitor ($V_{C,\text{rating}}$) agar aman dari tegangan lebih saat saklar sentrifugal membuka!

(b) Pemodelan & Simulasi GNU Octave:

Susun dan jalankan skrip **GNU Octave** (`simulasi_motor1fasa_dan_termal.m`) yang menghasilkan figur `karakteristik_motor_1fasa.png` beresolusi 300 DPI: (i) Subplot 1: Memplot kurva torsi medan putar maju $+T_f(n)$, torsi medan putar mundur $-T_b(n)$, dan torsi bersih $T_{net}(n)$ dari $n = 0$ s.d. 1500 rpm yang membuktikan $T_{start} = 0$; (ii) Subplot 2: Memplot perbandingan kurva torsi-kecepatan motor *Capacitor-Start*, *Split-Phase* (dengan pembukaan saklar sentrifugal pada 75% $n_s = 1125$ rpm), *PSC*, dan *Shaded-Pole*. Lampirkan kode dan grafik!

C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total
10 Pts	15 Pts	20 Pts	20 Pts	20 Pts	15 Pts	100 Pts

Verifikasi Dosen / Asisten:

(.....)

Tanggal Pemeriksaan: .....

Catatan Evaluasi & Umpan Balik Dosen Pengampu

Rubrik Pemeriksaan Pengerjaan Tugas Mandiri:

☐ Pemahaman medan putar ganda, pembelahan fasa, & motor universal akurat (C1–C2)
☐ Evaluasi pemilihan motor & diagnosis kerusakan tajam (C5)
☐ Perhitungan fasor start & daya maju/mundur tepat (C3–C4)
☐ Desain kapasitor start & simulasi GNU Octave valid (C6)