LEMBAR KERJA MAHASISWA (LKM 10 – OBE)

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

Topik Minggu 10: Motor Sinkron, Sudut Beban (δ), Starting Amortisseur, Kurva-V, & Perbaikan cos ϕ

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

Capaian Pembelajaran (CPMK 5 / Minggu 10) & Petunjuk Pengerjaan LKM

Sub-CPMK 10: Mahasiswa mampu memahami prinsip kerja dan aplikasi Motor Sinkron (karakteristik torsi dan kecepatan konstan, sudut beban dan starting motor sinkron, analisis Kurva-V, serta pemanfaatan motor sinkron untuk perbaikan faktor daya pabrik).
Instruksi: Diskusikan bersama kelompok dan tuliskan analisis matematis serta gambar fasor pada ruang yang tersedia.

AKTIVITAS 1: PRINSIP PENGUNCIAN MAGNETIK, SUDUT TORSI (δ), & STARTING (C1–C2 – 30 POIN)

1.1 Analisis Mekanisme Starting & Belitan Peredam (*Amortisseur*): Mengapa motor sinkron berdaya besar untuk penggerak kompresor sentrifugal tidak dapat berputar sendiri saat langsung dihubungkan ke suplai 3-fasa 50 Hz? Jelaskan tahapan starting menggunakan **belitan peredam (*damper winding*)** beserta alasan mengapa belitan medan DC tidak boleh dihubungkan ke sumber DC saat awal starting!

Ruang Analisis 1.1: Mekanisme Starting Motor Sinkron & Fungsi Belitan Amortisseur (15 Poin)

1.2 Konsep Sudut Torsi (δ) & Torsi Tarik Keluar (*Pull-Out Torque*): Ketika beban mekanik poros kompresor dinaikkan dari 25% menjadi 80% beban penuh, apakah kecepatan putar poros (n_m) melambat? Jelaskan besaran fisis apa yang berubah di dalam celah udara, dan apa yang terjadi jika torsi beban melampaui $T_{\max}$ pada $\delta = 90°$!

Ruang Analisis 1.2: Dinamika Sudut Beban (δ), Regulasi Kecepatan 0%, & Fenomena Slipping Poles (15 Poin)

AKTIVITAS 2: ANALISIS RANGKAIAN EKUIVALEN & TORSI KOMPRESOR SENTRIFUGAL (C3–C4 – 35 POIN)

Sebuah motor sinkron 3-fasa hubungan Bintang (Y), 400 V (*line-to-line*), 50 Hz, 6 kutub memiliki reaktansi sinkron $X_s = 2{,}0\ \Omega$/fasa ($R_a \approx 0$). Motor menggerakkan kompresor udara pabrik dengan menyerap daya listrik $P_{3\phi} = 45$ kW pada faktor daya $\cos\phi = 0{,}85$ ***leading* (*over-excited*)**.

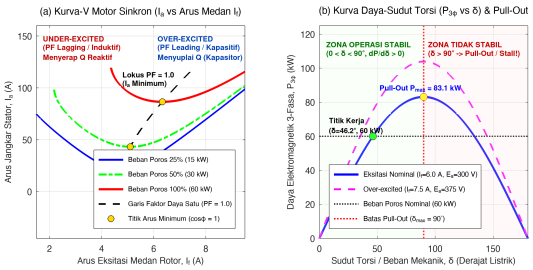
Tugas: (a) Hitung kecepatan sinkron (n_s), arus jangkar I_a, dan torsi induksi poros T_{ind}! (b) Hitung tegangan eksitasi internal E_a per fasa dan sudut beban δ! (c) Hitung torsi tarik keluar maksimum ($T_{\max}$) dan faktor keamanan stabilitas torsi ($T_{\max}/T_{\text{ind}}$)!

Ruang Perhitungan 2: Analisis Kecepatan, Arus, GGL Eksitasi (E_a), Sudut Beban (δ), & Pull-Out Torque (35 Poin)

AKTIVITAS 3: INTERPRETASI KURVA-V & DESAIN KOREKSI FAKTOR DAYA PABRIK (C5–C6 – 35 POIN)

3.1 Telaah Grafik Kurva-V Hasil Simulasi GNU Octave:
Perhatikan grafik **Kurva-V** dan **Kurva Daya-Sudut** (δ) di samping:

1. Tandai daerah ***Under-Excited*** **(Lagging)**, garis ***Unity Power Factor*** **(**$\cos\phi = 1.0$**)**, dan daerah ***Over-Excited*** **(Leading)**!
2. Mengapa titik minimum kurva I_a bergeser ke kanan (membutuhkan arus medan I_f lebih besar) saat beban mekanik naik dari 25% ke 100%?



Ruang Evaluasi 3.1: Analisis Daerah Operasi Kurva-V & Pergeseran Titik Faktor Daya Satu (15 Poin)

3.2 Studi Kasus Rekayasa Perbaikan Faktor Daya Pabrik (*Synchronous Condenser Design* – C6):
Sebuah pabrik pengolahan karet di Bengkulu memiliki beban total motor-motor induksi sebesar $P_{\text{awal}} = 800$ kW dengan faktor daya rata-rata $\cos\phi_1 = 0{,}72$ *lagging* pada jaringan 400 V, 50 Hz. Pabrik berencana menambah satu unit mesin penggiling utama (*main mill*) yang membutuhkan daya mekanik poros $P_{\text{poros}} = 180$ kW dan memilih menggunakan **Motor Sinkron** (efisiensi $\eta = 90\%$) yang sekaligus dioperasikan *over-excited* untuk menaikkan faktor daya keseluruhan pabrik menjadi $\cos\phi_{\text{baru}} = 0{,}94$ *lagging*.
Rancanglah:

1. Daya aktif masukan motor sinkron (P_{sync}), daya aktif total pabrik (P_{tot}), dan daya reaktif awal pabrik (Q_1);
2. Daya reaktif kapasitif (Q_{sync} dalam kVAR *leading*) yang wajib disuplai oleh motor sinkron;
3. Rating daya semu (S_{sync} dalam kVA) dan faktor daya operasi ($\cos\phi_{\text{sync}}$) yang harus tercantum pada spesifikasi pembelian motor sinkron tersebut!

Ruang Perancangan 3.2: Desain Spesifikasi Motor Sinkron Penggerak Mill & Kompensator Reaktif Pabrik (20 Poin)

Rubrik Penilaian OBE LKM 10: Aktivitas 1 (30%) | Aktivitas 2 (35%) | Aktivitas 3 (35%). Pastikan satuan SI (kW, kVAR, kVA, N·m, rad/s, derajat) dituliskan dengan tepat.