LEMBAR KERJA MAHASISWA (LKM 12 – EDISI LENGKAP)

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

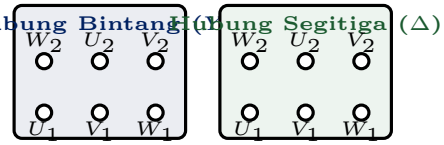
Topik Minggu 12: Metode Starting (DOL, $Y-\Delta$, Soft-Starter), VFD (V/f), Hukum Afinitas, & Pengereman

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

Capaian Pembelajaran (CPMK 5 / Minggu 12 – Bobot 6%) & Petunjuk Pengerjaan LKM Terstruktur

CPMK 5 (Sub-CPMK 12): Mahasiswa mampu menganalisis dan mengevaluasi metode pengasutan motor induksi 3-fasa (*DOL*, *Star-Delta* $Y-\Delta$, *Autotransformer*, *Soft Starter*), regulasi kecepatan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD / Inverter) dengan kendali V/f konstan, audit penghematan energi Hukum Afinitas pompa/fan ($P \propto n^3$), serta metode pengereman elektrik (*Plugging*, *DC Injection*, & *Dynamic Braking*).
Instruksi Kerja: Diskusikan dalam kelompok (2–3 orang). Tuliskan penurunan rumus dan analisis rekayasa secara sistematis pada kotak jawaban yang disediakan.

AKTIVITAS 1: ANALISIS PENGASUTAN BINTANG-SEGITIGA ($Y-\Delta$) VS BEBAN MEKANIK



1.1 Pembuktian Reduksi 1/3 Starter $Y-\Delta$ & Terminal 6-Pin (C1–C2):
(a) Gambarkan garis hubungan plat tembaga pada kotak terminal 6-pin di samping untuk konfigurasi **Bintang (Y)** saat start dan **Segitiga (Δ)** saat jalan normal!
(b) Buktikan secara matematis mengapa perubahan hubungan belitan stator dari Δ ke Y menurunkan **arus saluran start** ($I_{start,Y}$) dan **torsi start** ($T_{start,Y}$) menjadi tepat $\frac{1}{3}$ (33.3%) dari nilai DOL (Δ)!

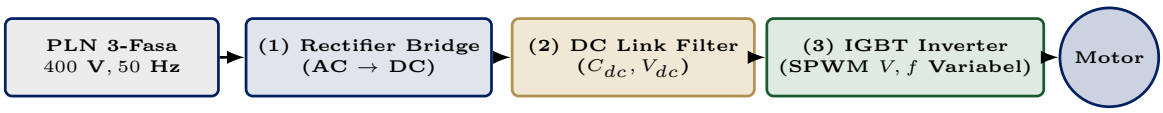
Penurunan Rumus $I_{start,Y} = \frac{1}{3} I_{start,\Delta}$ dan $T_{start,Y} = \frac{1}{3} T_{start,\Delta}$

1.2 Evaluasi Kelayakan Starting: Konveyor Batubara Bermuatan vs Pompa Sentrifugal (C3–C5):
Sebuah motor induksi 22 kW, 400 V, 50 Hz, 4 kutub memiliki arus nominal $I_{nom} = 42$ A dan torsi nominal $T_{nom} = 145$ Nm. Pada pengasutan DOL (Δ), motor menarik arus $I_{start,\Delta} = 6.0 \times I_{nom}$ dan membangkitkan torsi $T_{start,\Delta} = 1.8 \times T_{nom}$.
(a) Hitung I_{start} dan T_{start} untuk tiga opsi pengasutan: **(i) DOL**, **(ii) Star-Delta ($Y-\Delta$)**, dan **(iii) Soft-Starter** dengan setelan tegangan awal $V_{start} = 0.70\, V_{nom}$!
(b) Evaluasilah apakah starter $Y-\Delta$ berhasil mengasut: **Kasus A:** Pompa sentrifugal ($T_{L,\text{start}} = 35$ Nm), dan **Kasus B:** Sabuk konveyor batubara miring yang start dalam keadaan bermuatan penuh ($T_{L,\text{start}} = 115$ Nm)! Jika gagal, rekomendasi apa yang harus diambil?

Perhitungan Komparasi Starting & Keputusan Rekayasa (Kasus Pompa vs Konveyor Bermuatan)

AKTIVITAS 2: ARSITEKTUR VFD, KENDALI V/f KONSTAN, & AUDIT ENERGI HUKUM AFINITAS

2.1 Blok Konversi Daya VFD & Hukum Kendali *Constant Volts-per-Hertz* (V/f) (C2–C4):
Perhatikan diagram blok VFD di bawah. (a) Jelaskan fungsi ketiga blok utama (**Penyearah**, **DC Link Bus**, dan **Inverter IGBT SPWM**) serta hitung tegangan DC Bus ($V_{dc} \approx \sqrt{2}V_{LL}$) untuk jala-jala 400 VAC! (b) Mengapa saat menurunkan frekuensi di bawah 50 Hz, VFD wajib menurunkan tegangan secara proporsional ($V/f = 8.0$ V/Hz konstan), sedangkan di atas 50 Hz terjadi pelemahan medan (*field weakening*)?



Penjelasan Fungsi Blok VFD, Tegangan DC Bus, & Hukum Kendali Constant V/f

2.2 Audit Penghematan Energi VFD pada Blower Industri (Hukum Afinitas $P \propto n^3$) (C3–C5):

Sebuah blower sentrifugal ventilasi pabrik digerakkan oleh motor induksi 45 kW, 400 V, 50 Hz, 4 kutub yang beroperasi 7000 jam/tahun. Pada putaran penuh (50 Hz, debit udara 100%), motor menyerap daya listrik $P_1 = 40$ kW. Selama ini debit udara diturunkan menjadi 70% menggunakan *damper* (katup cekik mekanis) yang masih menyerap daya listrik 34 kW. Jika *damper* dibuka penuh dan dipasang **VFD**: (a) Berapa frekuensi (f_2), tegangan keluaran VFD (V_2), dan kecepatan sinkron baru (n_{s2}) untuk menghasilkan debit 70%? (b) Hitung daya listrik baru (P_2) berdasarkan Hukum Afinitas ($P_2/P_1 = (Q_2/Q_1)^3$), energi kWh yang dihemat per tahun dibanding *damper*, serta penghematan rupiah per tahun (tarif Rp 1.500/kWh)!

Perhitungan Parameter VFD (f_2, V_2) & Audit Penghematan Biaya Listrik Tahunan (Affinity Laws)

AKTIVITAS 3: METODE PENGEREMAN ELEKTRIK (PLUGGING VS DC INJECTION BRAKING)

Bandingkan mekanisme fisis antara **Pengereman Balik Fasa (*Plugging*)** dan **Pengereman Injeksi Arus Searah (*DC Injection Braking*)** pada mesin gergaji bundar kayu berinersia tinggi! Mengapa pada *DC Injection Braking* poros gergaji dijamin berhenti halus pada 0 rpm tanpa risiko berputar balik, sedangkan pada *Plugging* wajib dipasang sensor *Zero-Speed Switch*?

Analisis Perbandingan Plugging ($s \approx 2$) vs DC Injection Braking (Medan Stasioner $n_s = 0$)

Tanda Tangan Dosen / Asisten:

Akt. 1.1 ($Y-\Delta$)	Akt. 1.2 (Beban Start)	Akt. 2 (VFD & Afinitas)	Akt. 3 (Pengereman)	Total Skor
20 Poin	25 Poin	35 Poin	20 Poin	100 Poin

(.....)
Tanggal Pemeriksaan: .....