LEMBAR KERJA MAHASISWA (LKM 14 – EDISI LENGKAP)

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

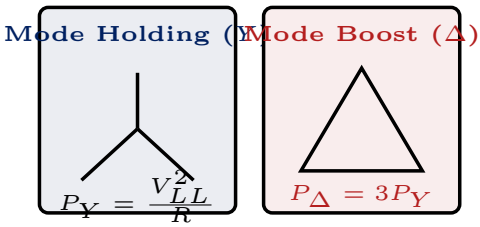
Topik Minggu 14: Dapur Perlakuan Panas, Kendali Y/Δ, Pemanas Induksi, & Pencahayaan Bengkel

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

Capaian Pembelajaran (CPMK 6 / Minggu 14 – Bobot 5%) & Petunjuk Pengerjaan LKM

CPMK 6 (Sub-CPMK 14): Mahasiswa mampu merancang kapasitas daya dapur pemanas listrik (*electric furnace*), menganalisis pengaturan daya bank pemanas 3-fasa Bintang-Segitiga (Y/Δ), menghitung kedalaman kulit (*skin depth*) pemanasan induksi roda gigi, serta merancang sistem pencahayaan bengkel CNC sesuai standar K3/SNI.
Instruksi Kerja: Diskusikan dalam kelompok (2–3 orang). Tuliskan penurunan rumus dan analisis rekayasa secara sistematis pada kotak jawaban yang disediakan.

AKTIVITAS 1: MATERIAL ELEMEN PEMANAS & KENDALI DAYA 3-FASA STAR-DELTA (C1–C3)



1.1 Pemilihan Material Elemen Pemanas & Batas Suhu:

Lengkapi batas temperatur operasi maksimum dan pilih material elemen pemanas yang paling tepat (**Nichrome NiCr, Kanthal FeCrAl, Silicon Carbide SiC, atau $MoSi_2$**) untuk aplikasi berikut!

- **Oven Tempering Baja (550°C):** ..... (T_{max} = ...)
- **Tungku Austenisasi Baja Perkakas (1250°C):** ..... (T_{max} = ...)
- **Dapur Tempa & Peleburan Tembaga (1500°C):** ..... (T_{max} = ...)
- **Tungku Sintering Keramik Maju (1750°C):** ..... (T_{max} = ...)

1.2 Perhitungan Bank Elemen Pemanas 3-Fasa Hubung Bintang (Y) vs Segitiga (Δ):

Sebuah tungku perlakuan panas 3-fasa (V_{LL} = 380 V, 50 Hz) memiliki tiga cabang elemen pemanas Kanthal yang identik, masing-masing beresistansi R = 4.813 Ω pada suhu kerja. Hitung tegangan per elemen (V_{ph}), arus jala-jala (I_L), dan daya pemanasan total (P_{tot}, kW) saat kontaktor diatur pada: **(a) Hubung Bintang (Y – Mode Menahan Suhu)**; dan **(b) Hubung Segitiga (Δ – Mode Pemanasan Cepat)**!

Ruang Jawaban Perhitungan Tegangan, Arus, & Daya Bank Pemanas Star (Y) vs Delta (Δ)

AKTIVITAS 2: NERACA ENERGI DAPUR PERLAKUAN PANAS BAJA (C3–C4)

2.1 Perancangan Kapasitas Daya & Konsumsi Energi Dapur *Hardening* Baja:

Sebuah tungku listrik digunakan untuk memanaskan **500** kg komponen roda gigi baja karbon (c_p = 0.50 kJ/(kg · K)) dari suhu ruang 25°C menuju suhu austenisasi 850°C dengan target waktu pemanasan **55** menit. (a) Hitung kalor sensibel teoritis Q_{th} (dalam kJ dan kWh) yang diserap oleh baja! (b) Jika tungku menggunakan bank pemanas pada Aktivitas 1.2 dalam mode **Hubung Segitiga (Δ, P_Δ = 90 kW)** dan berhasil mencapai 850°C tepat dalam 55 menit, hitung energi listrik yang terpakai (E_{elec}), efisiensi termal tungku (η_{th}), serta laju rata-rata rugi panas dinding tungku (kW)!

Perhitungan Kalor Teoritis, Efisiensi Termal η_{th}, & Laju Rugi Panas Dinding Tungku

AKTIVITAS 3: PEMANASAN INDUKSI & KEDALAMAN KULIT RODA GIGI BAJA (C4–C5)

Studi Kasus *Induction Surface Hardening* Roda Gigi Transmisi Otomotif:

Permukaan gigi dari sebuah roda gigi baja AISI 4140 ($\rho = 2.5 \times 10^{-7}\ \Omega \cdot \text{m}$, permeabilitas relatif rata-rata sebelum titik Curie $\mu_r = 100$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m) akan dikeraskan menggunakan pemanas induksi elektromagnetik agar tahan aus, sementara bagian inti gigi wajib tetap ulet (*tough core*) dengan kedalaman lapisan keras target sekitar **0.50** mm.

3.1 Komputasi Kedalaman Kulit (*Skin Depth* δ) & Pemilihan Frekuensi Inverter:

Gunakan persamaan kedalaman penetrasi arus pusar $\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}}$: (a) Hitung nilai *skin depth* δ (dalam mm) jika kumparan induktor dicatu langsung dari jala-jala frekuensi rendah $\mathbf{f_1 = 50}$ Hz vs jika dicatu oleh inverter frekuensi tinggi $\mathbf{f_2 = 100}$ kHz (10^5 Hz)!

(b) Evaluasilah mengapa frekuensi 50 Hz gagal melakukan *surface hardening* pada roda gigi tersebut (apa dampaknya terhadap keuletan inti roda gigi saat menerima beban kejut transmisi?), dan jelaskan pula apa yang terjadi pada nilai δ tepat ketika suhu permukaan baja melampaui **Titik Curie (770°C, di mana baja berubah menjadi non-magnetik** $\mu_r \to 1$)!

Langkah Perhitungan Skin Depth (δ pada 50 Hz vs 100 kHz) & Analisis Metalurgi Titik Curie

AKTIVITAS 4: PERANCANGAN PENCAHAYAAN BENGKEL PEMESINAN CNC (C3, C5, & C6)

4.1 Desain Tata Cahaya Metode Lumen & Audit Penghematan Energi:

Sebuah gedung **Workshop Pemesinan CNC & Metrologi** berukuran panjang 40 m dan lebar 20 m ($A = 800\ \text{m}^2$) wajib memenuhi iluminansi standar K3/SNI sebesar $\mathbf{E = 500}$ Lux. Faktor pemanfaatan ruang $CU = 0.65$ dan faktor penyusutan cahaya akibat debu bengkel $LLF = 0.80$.

(a) Rancang jumlah armatur lampu **Industrial High-Bay LED** 150 **W** (efikasi $\eta_L = 160$ lm/W, 1 lampu per armatur) yang dibutuhkan menggunakan **Metode Lumen**, dan susunlah tata letak matriks baris × kolom yang simetris!

(b) Jika sebelumnya bengkel menggunakan lampu **Metal Halide** 400 **W** dengan jumlah titik yang sama dan bengkel beroperasi 3.000 jam/tahun (tarif listrik industri Rp 1.500/kWh), hitung penghematan daya (kW) dan penghematan biaya listrik tahunan (Rp/tahun)!

Perancangan Jumlah Armatur High-Bay LED (Metode Lumen) & Penghematan Energi Tahunan

4.2 Keselamatan Kerja K3: Mitigasi Bahaya Efek Stroboskopik di Bengkel Bubut:

Jelaskan mengapa lampu tabung pelepas gas konvensional yang berkedip pada frekuensi $2f = 100$ Hz sangat berbahaya bagi operator mesin bubut yang memutar benda kerja pada 1500 rpm atau 3000 rpm, serta sebutkan dua solusi rekayasa kelistrikan untuk menghilangkannya!

Penjelasan Bahaya Ilusi Stroboskopik & Solusi Rekayasa di Bengkel Mesin

Tanda Tangan Dosen / Asisten:

Akt. 1 (Elemen/Y-Δ)	Akt. 2 (Tungku Baja)	Akt. 3 (Skin Depth)	Akt. 4 (Fotometri CNC)	Total Skor
20 Poin	25 Poin	25 Poin	30 Poin	100 Poin

(. . . . .)

Tanggal Pemeriksaan: . . . . . .