PROBLEM SET 7 (TUGAS MANDIRI TERSTRUKTUR – EDISI LENGKAP)

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

Topik Minggu 7: Mesin DC, *Load Matching*, PWM, Pengereman 4-Kuadran, BLDC, & Octave

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

Capaian Pembelajaran (CPMK 4 / Minggu 7) & Pedoman Pengerjaan Tugas Mandiri Terstruktur

CPMK 4 (Sub-CPMK 7): Mahasiswa mampu memahami prinsip kerja dan karakteristik Mesin DC (Generator & Motor DC), pencocokan kurva beban mekanik (*load matching*), kendali kecepatan PWM H-Bridge, pengereman elektrik 4-kuadran, teknologi PMDC/BLDC, serta pemodelan berbasis GNU Octave.
Ketentuan Pengerjaan: Kerjakan secara mandiri pada kertas A4 rapi. Sertakan skema rangkaian, penurunan rumus analitis lengkap, serta lampirkan kode program dan kedua grafik keluaran simulasi GNU Octave (Soal C6). Dikumpulkan sebelum pelaksanaan **UTS Minggu 8**.

BAGIAN I: KONSTRUKSI, STANDAR INDUSTRI, & ANALISIS ELEKTROMEKANIS

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

(a) Jelaskan perbedaan konstruksi antara **belitan gelung (*lap*)** dan **belitan gelombang (*wave*)**, serta fungsi spesifik **kutub bantu (*interpole*)**, komutator berisolasi mika, dan sikat grafit karbon!

(b) Jelaskan arti spesifikasi *nameplate* motor standar **IEC 60034** berikut bagi seorang insinyur mesin: kode proteksi **IP55**, isolasi termal **Kelas F**, serta perbedaan siklus kerja **Duty Type S1 (*Continuous*)** vs **S3 (*Intermittent*)**!

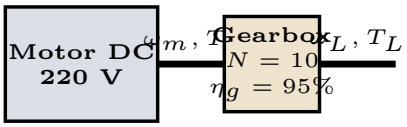
2. (C2 - Memahami | Bobot: 15 Poin)

(a) Uraikan mekanisme fisis mengapa GGL lawan (E_b) bertindak sebagai regulator arus otomatis saat beban mekanik poros berubah!

(b) Mengapa pada motor DC seri terjadi fenomena ***runaway speed*** saat tanpa beban, namun pada beban sangat berat kenaikan torsinya tidak lagi kuadratik murni ($T \propto I_a^2$) melainkan cenderung linier akibat **saturasi inti magnetik**?

(c) Jelaskan perbedaan prinsip konstruksi dan metode komutasi antara motor DC bersikat konvensional, **PMDC**, dan **BLDC (*Brushless DC*)**!

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



Sebuah motor DC shunt 220 V, 4 kutub memiliki belitan gelung ($Z = 600$ konduktor, fluks $\Phi = 0.02$ Wb, $R_a = 0.35\ \Omega$, $R_f = 110\ \Omega$). Motor memutar drum derek melalui ***gearbox* reduksi** dengan rasio $N = \omega_m/\omega_L = 10$ dan efisiensi roda gigi $\eta_g = 95\%$. Pada beban penuh, motor menarik arus jala-jala $I_L = 42$ A dengan rugi rotasional motor $P_{rot} = 550$ W.

Hitung: (a) Arus jangkar I_a, GGL lawan E_b, dan kecepatan putar poros motor (n_m) serta drum beban (n_L); (b) Torsi bangkitan (T_{dev}), torsi poros motor (T_{shaft}), dan torsi efektif pada poros drum beban (T_{drum}); (c) Efisiensi total sistem penggerak (η_{tot}); (d) Jika saat menurunkan muatan berat, drum memutar poros motor hingga 1150 rpm (**pengereman regeneratif**), hitung E_b' baru dan besar arus jangkar yang dikembalikan ke sumber!

FORMULA RUJUKAN TEKNIS & STANDAR INDUSTRI (IEEE Std 112 / IEC 60034)

- GGL & Torsi: $E_b = \frac{pZ}{60a}\Phi n = K_a\Phi\omega_m$, $T_{dev} = K_a\Phi I_a$; Dinamika Transien: $L_a\frac{di_a}{dt} + R_a i_a + E_b = v_t$, $J_{eq}\frac{d\omega_m}{dt} + B_{eq}\omega_m = T_{dev} - T_L^*$
- Transmisi Gearbox ($N = \omega_m/\omega_L$): $T_{drum} = N \cdot \eta_g \cdot T_{shaft}$, $J_{eq} = J_m + J_L/N^2$; Kendali PWM Chopper: $V_{avg} = D \cdot V_{dc}$
- Pengereman Elektrik: Regeneratif ($E_b > V_t, I_a < 0$); Dinamis ($I_a = \frac{-E_b}{R_a+R_{brake}}$); Plugging ($I_a = \frac{-V_t-E_b}{R_a+R_{plug}}$)

BAGIAN II: ANALISIS LOAD MATCHING, EVALUASI SISTEM, & SIMULASI OCTAVE

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

Berdasarkan motor DC shunt pada Soal 3 ($K_a\Phi = 1.91$ V · s/rad, $R_a = 0.35\ \Omega$): (a) Turunkan fungsi kecepatan sudut $\omega_m(T_{dev})$ dan tentukan titik operasi stabil (T^*, n^*) jika poros motor dihubungkan langsung ke beban torsi konstan $T_L = 57.3$ Nm! Buktikan apakah kriteria kestabilan $\frac{dT_L}{d\omega} > \frac{dT_{dev}}{d\omega}$ terpenuhi!

(b) Analisislah titik kecepatan baru (n') dan arus jangkar baru (I_a') pada beban 57.3 Nm tersebut di bawah dua skenario: **Skenario 1:** Tegangan jangkar dikendalikan via PWM Chopper dengan *duty cycle* $D = 0.75$ (Φ tetap 100%); **Skenario 2:** Tegangan penuh ($D = 1.0$), tetapi fluks medan dilemahkan 20% (*field weakening* $\Phi' = 0.8\Phi$). Bandingkan disipasi panas tembaga jangkar ($I_a^2 R_a$) antara kedua skenario tersebut!

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

Sebagai *Lead Mechanical Engineer*, evaluasilah pemilihan jenis motor DC (**Shunt, Seri, Kompon Kumulatif, atau BLDC**) beserta metode pengereman elektrik (**Regeneratif, Dinamis, atau Plugging**) dan siklus kerja IEC (**S1 atau S3**) yang paling optimal untuk tiga sistem berikut:

(a) **Mesin Kempa Baja (*Heavy Stamping Punch Press*) dengan Roda Gila (*Flywheel*):** Beban kejut periodik tinggi yang membutuhkan pelepasan energi kinetik inersia *flywheel* saat langkah kempa.

(b) **Derek Kargo Pelabuhan (*Harbor Gantry Crane Hoist*):** Membutuhkan torsi angkat awal raksasa dan pengereman terkendali saat menurunkan kontainer 40 ton.

(c) **Propulsi Traksi Kendaraan Listrik Modern (*Electric Vehicle*) & Spindel CNC Kecepatan Tinggi:** Membutuhkan efisiensi baterai maksimum, bebas perawatan sikat, dan pemulihan energi saat deselerasi.

Berikan justifikasi teknis komprehensif untuk setiap pilihan Anda!

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

(a) Perancangan Tahanan Pengasut (Starter) & Resistor Pengereman *Plugging*:

Untuk motor Soal 3 ($V_t = 220$ V, $R_a = 0.35\ \Omega$, $I_{a,\text{nom}} = 40$ A, $E_{b,\text{nom}} = 206$ V): (i) Rancang nilai tahanan starter R_{start} agar arus start awal tidak melebihi $1.5\,I_{a,\text{nom}}$ (60 A); (ii) Rancang nilai resistor pembatas *plugging* (R_{plug}) agar saat polaritas tegangan dibalik mendadak pada kecepatan nominal untuk penghentian darurat, arus balik puncak tidak melampaui $2.0\,I_{a,\text{nom}}$ (80 A)!

(b) Pemodelan & Simulasi GNU Octave:

Susun dan jalankan skrip **GNU Octave** (`simulasi_motor_dc.m`) yang menghasilkan dua figur beresolusi 300 DPI: (i) `karakteristik_motor_dc.png`: Memplot kurva $n - T$ motor shunt (nominal, PWM, *field weakening*) beserta perpotongan kurva beban konveyor dan pompa sentrifugal ($T_L \propto n^2$), serta komparasi motor seri model linier ideal vs model saturasi magnetik ($\Phi_{max}\tanh(I_a/I_{sat})$); (ii) `dinamika_dan_pengereman_dc.png`: Mensimulasikan sistem persamaan diferensial transien $(i_a(t), n(t))$ menggunakan metode numerik Euler saat *soft-start* dan beban kejut, serta memplot kurva pengereman Kuadran I–II. Lampirkan cetakan kode dan kedua grafik!

Verifikasi Dosen / Asisten:

(.....)

Tanggal Pemeriksaan: .....

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

Catatan Evaluasi & Umpan Balik Dosen Pengampu

Rubrik Pemeriksaan Pengerjaan Tugas Mandiri:

☐ Pemahaman konstruksi, IEC 60034, BLDC, & saturasi akurat (C1–C2)
☐ Perhitungan *gearbox*, *load matching*, PWM, & pengereman tepat (C3–C4)
☐ Evaluasi pemilihan motor & pengereman industri tajam (C5)
☐ Desain resistor *plugging* & simulasi transien GNU Octave valid (C6)