

**One Day One Problem****Persiapan OSN Fisika Tingkat Nasional 2024****Day 6 – Balon Udara**

Sebuah balon karet berisi gas helium terbang tinggi ke angkasa dimana tekanan dan suhunya menurun seiring dengan ketinggian. Pada pertanyaan berikut, asumsikan bahwa bentuk balon tetap bola sempurna berapa pun beban yang dibawanya, dan abaikan volume beban. Asumsikan juga bahwa suhu gas helium di dalam balon selalu sama dengan suhu udara sekitar, dan perlakukan semua gas sebagai gas ideal. Konstanta gas universal adalah  $R = 8.31 \text{ J/molK}$  dan massa molar helium dan udara masing-masing adalah  $M_H = 4.00 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$  dan  $M_A = 28.9 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ . Percepatan gravitasi  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

**Bagian A**

- (a) Misalkan tekanan udara sekitar  $P$  dan suhu  $T$ . Tekanan di dalam balon lebih tinggi daripada di luar karena tegangan permukaan balon. Balon tersebut berisi  $n$  mol gas helium dan tekanan di dalamnya adalah  $P + \Delta P$ . Tentukan gaya angkat  $F$  yang bekerja pada balon sebagai fungsi dari  $P$  dan  $\Delta P$ .
- (b) Pada suatu hari pada musim panas di Korea, suhu udara  $T$  pada ketinggian  $z$  dari permukaan laut ditemukan memiliki ketergantungan sebagai  $T(z) = T_0(1 - z/z_0)$  dalam kisaran  $0 < z < 15 \text{ km}$  dengan  $z_0 = 49 \text{ km}$  dan  $T_0 = 303 \text{ K}$ . Tekanan dan massa jenis udara di permukaan laut masing-masing adalah  $P_0 = 1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  dan  $\rho_0 = 1.16 \text{ kg/m}^3$ . Untuk rentang ketinggian ini, tekanan memiliki bentuk

$$P(z) = P_0 \left(1 - \frac{z}{z_0}\right)^\eta.$$

Nyatakan  $\eta$  dalam parameter  $z_0$ ,  $P_0$ ,  $\rho_0$ , dan  $g$ , dan tentukan nilai numeriknya terhadap dua angka penting tersebut. Perlakukan percepatan gravitasi sebagai konstanta, tidak bergantung pada ketinggian.

**Bagian B**

Ketika sebuah balon karet berbentuk bola berjari-jari tak teregang  $r_0$  digelembungkan menjadi bola berjari-jari  $r$  ( $r \geq r_0$ ), permukaan balon akan mengandung tambahan energi elastis karena peregangan. Dalam teori sederhana, energi elastis pada suhu konstan  $T$  dapat dinyatakan dengan

$$U = 4\pi r_0^2 \kappa R T \left(2\lambda^2 + \frac{1}{\lambda^4} - 3\right),$$

Dimana  $\lambda = r/r_0$  ( $\lambda \geq 1$ ) adalah rasio ukuran-inflasi dan  $\kappa$  adalah konstanta dalam satuan  $\text{mol/m}^2$ .

- (c) Nyatakan  $\Delta P$  dalam parameter yang diberikan dalam persamaan energi elastis  $U$  dan buat sketsa  $\Delta P$  sebagai fungsi dari  $\lambda = r/r_0$ .
- (d) Konstanta  $\kappa$  dapat ditentukan dari jumlah gas yang dibutuhkan untuk mengembangkan balon. Pada  $T_0 = 303 \text{ K}$  dan  $P_0 = 1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ , sebuah balon yang tidak diregangkan ( $\lambda = 1$ ) mengandung  $n = 12.5 \text{ mol}$  helium. Diperlukan total  $n = 3.6n_0 = 45 \text{ mol}$  untuk mengembangkan balon hingga  $\lambda = 1.5$  pada

temperatur  $T_0$  dan tekanan  $P_0$  yang sama. Nyatakan parameter balon  $\alpha$ , yang didefinisikan sebagai  $\alpha = \kappa/\kappa_0$ , dalam bentuk  $n$ ,  $n_0$ , dan  $\lambda$ , dimana  $\kappa_0 = \frac{r_0 P_0}{4RT_0}$ . Evaluasi nilai  $\alpha$  sampai dua angka penting.

### Bagian C

Sebuah balon disiapkan seperti pada keadaan (d) di permukaan laut (dipompa hingga  $\lambda = 1.5$  dengan  $n = 3.6n_0 = 45$  mol gas helium pada  $T_0 = 303$  K dan  $P_0 = 1$  atm  $= 1.01 \times 10^{-5}$ ). Massa total termasuk gas, balon itu sendiri, dan muatan lainnya adalah  $M_T = 1.12$  kg. Sekarang biarkan balonnya naik dari permukaan laut.

- (e) Misalkan balon akhirnya berhenti di ketinggian  $z_f$ , dimana gaya angkat seimbang dengan berat total. Tentukan  $z_f$  dan rasio inflasi  $\lambda_f$  pada ketinggian saat itu. Berikan jawabannya dalam dua angka penting. Asumsikan tidak ada efek penyimpangan dan tidak ada kebocoran gas selama penerbangan ke atas.

Referensi: International Physics Olympiad (IPhO) 2004 Korea, Question No. 2

