

MODUL 1

HUKUM BOYLE

A. Tujuan Eksperimen

1. Menentukan nilai tekanan atmosfer
2. Membuktikan hukum Boyle

B. Dasar Teori

Hukum Boyle adalah salah satu hukum dasar dalam termodinamika, yang menghubungkan tekanan dan volume dari suatu gas ideal pada suhu konstan. Hukum ini dikemukakan oleh Robert Boyle pada abad ke-17 dan berlaku untuk gas ideal dalam kondisi isothermal, yaitu kondisi ketika suhu sistem tetap konstan (tidak berubah). Secara umum, Hukum Boyle menyatakan bahwa "pada suhu tetap, tekanan P dari suatu gas berbanding terbalik dengan volumenya V ". Artinya, ketika volume gas berkurang, tekanannya akan meningkat, dan sebaliknya, jika volume gas meningkat, tekanannya akan berkurang. Secara matematis, Hukum Boyle dapat dituliskan sebagai:

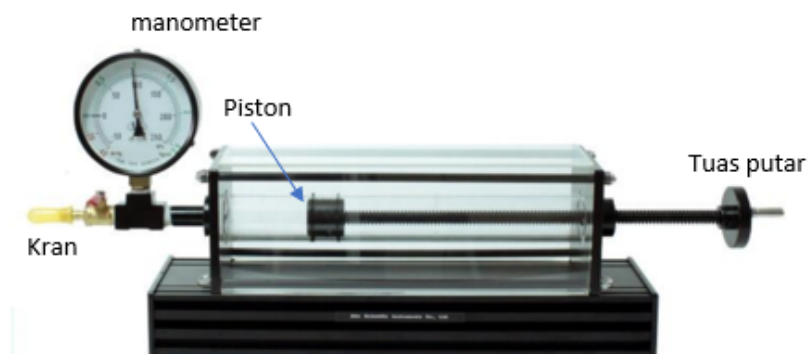
$$PV = \text{konstan}$$

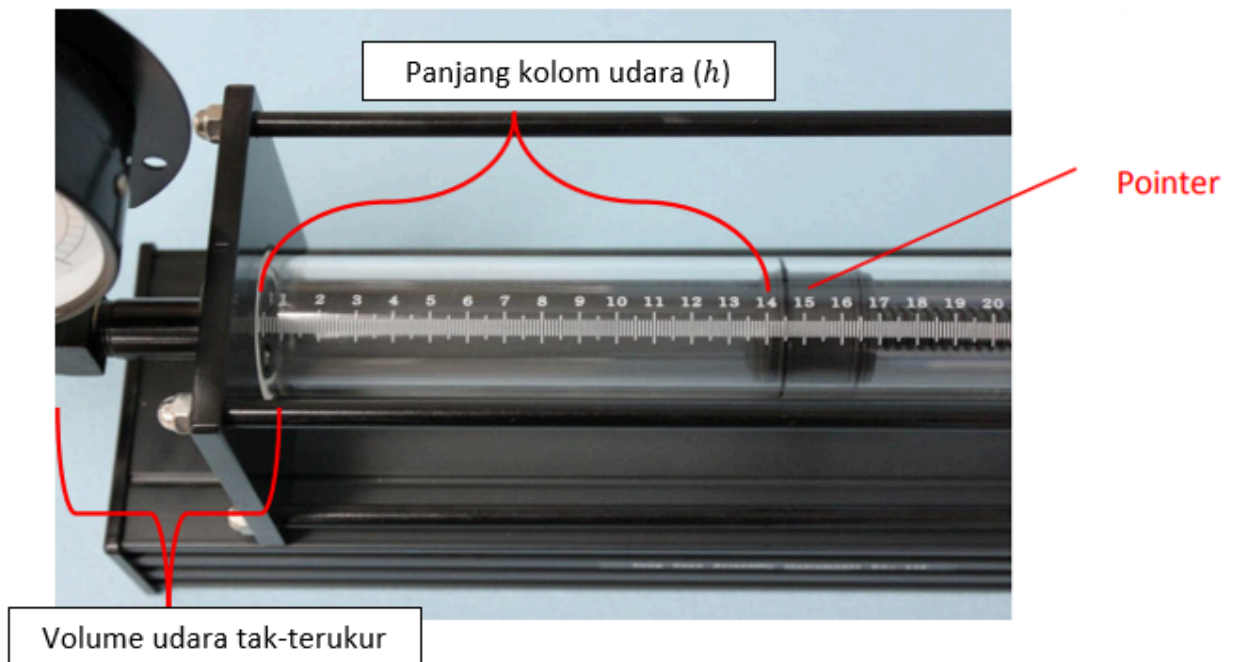
Sehingga hubungan antara tekanan dan volume pada keadaan A dengan tekanan dan volume pada keadaan B akan diberikan oleh persamaan:

$$P_A V_A = P_B V_B$$

Meskipun hukum Boyle dirumuskan untuk gas ideal, namun hukum tersebut juga tetap berlaku pada gas nyata pada suhu dan tekanan yang tidak terlalu tinggi selama prosesnya isothermal dan jumlah molekul udara tetap (tidak ada penambahan atau pengurangan gas dalam sistem).

Dalam eksperimen ini, akan digunakan perangkat pengamatan seperti ditunjukkan dalam gambar di bawah ini:





Panjang kolom udara dalam eksperimen ini adalah h , sehingga volumenya adalah $V = \pi r^2 h$. Tekanan udara yang terbaca di manometer (P_{man}) merupakan selisih antara tekanan udara dalam kolom (P_k) dengan tekanan udara luar (P_0), secara matematis dinyatakan oleh persamaan:

$$P_{man} = P_k - P_0$$

sehingga

$$P_k = P_{man} + P_0$$

Dengan demikian, hukum Boyle dalam kolom udara dapat dituliskan sebagai

$$P_k V = k$$

$$(P_{man} + P_0) (\pi r^2 h) = k$$

$$(P_{man} + P_0) h = \frac{k}{\pi r^2}$$

Karena jari-jari tabung (r) bernilai konstan, maka ruas kanan dari persamaan di atas dapat dituliskan sebagai

$$(P_{man} + P_0) h = C$$

$$P_{man} + P_0 = \frac{C}{h}$$

$$P_{man} = \frac{C}{h} - P_0$$

dengan $C = k/4\pi r^2$.

C. Prosedur Eksperimen dan Data Pengamatan

1. Siapkan perangkat eksperimen pengamatan hukum Boyle. Penjelasan tentang alat akan disampaikan oleh asisten.
2. Tentukan nilai skala terkecil dari manometer dan panjang kolom udara, kemudian tentukan nilai ketidakpastiannya untuk pengukuran tunggal

$$\Delta P_{man} =$$

$$\Delta h =$$

3. Buka kran dan geser piston dengan memutar tuas, sehingga piston berada pada posisi 24 cm
4. Tutup kran, catat posisi piston dan catat tekanan yang terbaca pada manometer (P_{man}).
5. Secara perlahan, putar tuas, geser piston ke kiri sehingga berada pada posisi 18 cm, catat posisi piston dan nilai tekanan yang terbaca pada manometer.
6. Geser piston 1 cm ke kiri, sehingga posisi piston berada di 17 cm, lalu catat tekanan yang terbaca pada manometer.
7. Lakukan prosedur 5 di atas dengan menggeser piston 1 cm, lalu lengkapi tabel data berikut, dengan mencatat Posisi Piston (h), Nilai Tekanan pada manometer (P_{man})

Tabel Data 1

h (cm)	$1/h$	P_{man} (kPa)

8. Buat grafik linear antara P_{man} terhadap h dengan metode garis terbaik.
9. Tentukan nilai tekanan udara luar berdasarkan grafik di atas dan bandingkan hasilnya dengan pengukuran langsung menggunakan barometer digital.

10. Hitung nilai error hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil pembacaan barometer digital dengan menggunakan rumus

$$\varepsilon = \frac{P_{0,graf} - P_{0,dig}}{P_{0,dig}} \times 100\%$$

11. Buatlah grafik untuk data pada tabel 1 di atas dengan menggunakan excel, bandingkan hasilnya dengan grafik yang dibuat dengan metode garis terbaik.
12. Buatlah grafik dengan metode kuadrat terkecil (metode regresi linear), dengan terlebih dahulu melengkapi tabel di bawah ini.

Tabel Data 2

$1/h$	$1/h^2$	P_{man}	$(1/h) P_{man}$
$\Sigma 1/h =$	$\Sigma 1/h^2 =$	$\Sigma P_{man} =$	$\Sigma (1/h) P_{man} =$

Persamaan garis lurus:

$$y = mx + c$$

dengan $y = P_{man}$ dan $x = 1/h$. Nilai gradien m dan konstanta c dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$m = \frac{N \left(\Sigma (1/h) P_{man} \right) - \left(\Sigma 1/h \right) \left(\Sigma P_{man} \right)}{N \left(\Sigma 1/h^2 \right) - \left(\Sigma 1/h \right)^2}$$

$$c = \frac{\left(\sum 1/h^2\right)\left(\sum P_{man}\right) - \left(\sum 1/h\right)\left(\sum (1/h) P_{man}\right)}{N\left(\sum 1/h^2\right) - \left(\sum 1/h\right)^2}$$

Lalu lengkapi tabel di bawah ini
Tabel Data 3

$1/h$	$1/h^2$	P_{man}	$(1/h) P_{man}$	$P_{man} - mx - c$
$\sum 1/h =$	$\sum 1/h^2 =$	$\sum P_{man} =$	$\sum (1/h) P_{man} =$	$\sum P_{man} - mx - c$

Ketidakpastian nilai gradien dan konstanta

$$\Delta m = \sqrt{\left(\frac{N}{N-2}\right) \frac{\sum (y_i - mx_i - c)^2}{N\left(\sum 1/h^2\right) - \left(\sum 1/h\right)^2}}$$

$$\Delta c = \sqrt{\left(\frac{\sum 1/h^2}{N-2}\right) \frac{\sum (y_i - mx_i - c)^2}{N\left(\sum 1/h^2\right) - \left(\sum 1/h\right)^2}}$$

13. Untuk membuktikan hukum Boyle, $P_A V_A = P_B V_B$, pilih percobaan ke-3 sebagai kondisi A dan percobaan ke 4 sebagai kondisi B, lalu lengkapi tabel di bawah ini. Gunakan nilai tekanan atmosfer dari hasil eksperimen ini.

$P_A =$	$\Delta P_A =$	$h_A =$	$\Delta h_A =$
$P_B =$	$\Delta P_B =$	$h_B =$	$\Delta h_B =$

14. Hitung $P_A h_A$

15. Hitung ketidakpastian dari $P_A h_A$, menggunakan rumus

$$\Delta(P_A h_A) = P_A \Delta h_A + h_A \Delta P_A$$

16. Hitung juga untuk yang kondisi B

17. Berdasarkan hasil pada prosedur 14, 15 dan 16, apakah hasil percobaan ini memenuhi hukum Boyle

18. Dari tabel data 1, buatlah grafik hubungan P terhadap h.