

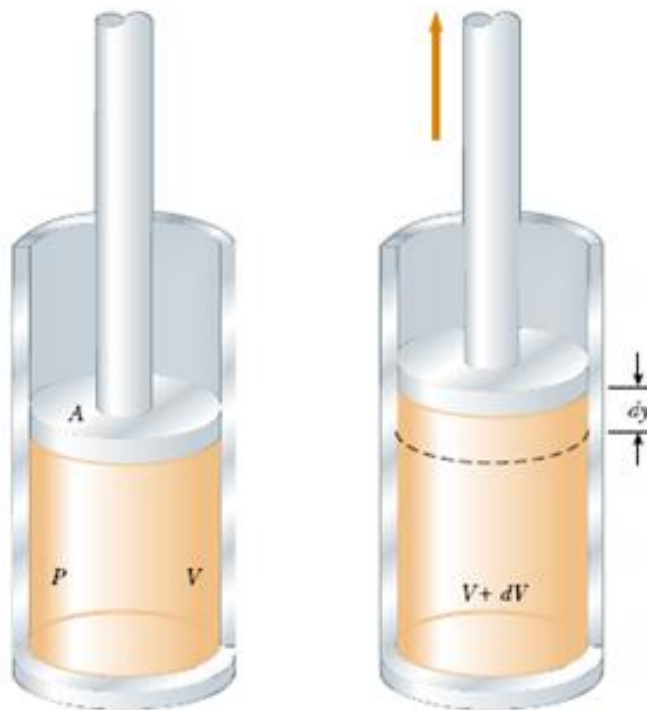
Kegiatan Belajar 3

Usaha Sistem Pada Lingkungan dan Proses Termodinamika

A. Usaha Sistem pada Lingkungannya

Dalam termodinamika, kita selalu menganalisis proses perpindahan energi dengan mengacu pada suatu sistem. Sistem adalah sebuah benda atau sekumpulan benda yang hendak diteliti yang menjadi pusat perhatian. Sedangkan benda-benda lainnya di alam semesta diluar sistem tersebut dinamakan dengan lingkungan. Biasanya sistem dipisahkan dengan lingkungan menggunakan “penyekat/pembatas/pemisah”.

Perhatikan suatu sistem berupa gas yang ada dalam suatu silinder yang dilengkapi tutup sebuah piston yang bebas bergerak seperti gambar 3.7.



Gambar 3.7. Sistem melakukan usaha pada lingkungannya

Usaha yang dilakukan oleh sistem sehubungan dengan perubahan volume gas dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$W = F \cdot s = F \cdot y \quad (3.14)$$

$$dW = F \cdot dy \quad (3.15)$$

Piston yang mempunyai luas penampang A dan tekanan gas P menghasilkan gaya yang mendorong piston sebesar $F = P A$. Usaha yang dilakukan oleh gas adalah:

$$dW = P \cdot A \cdot dy \quad (3.16)$$

Dimana:

$$A \cdot dy = dV \quad (3.17)$$

Sehingga:

$$dW = P \cdot dV \quad (3.18)$$

Untuk proses dari V_1 ke V_2 , kerja (usaha) yang dilakukan oleh gas adalah:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \, dV \quad (3.19)$$

Untuk menghitung integral ini kita perlu mengetahui bagaimana variasi tekanan selama proses berlangsung. Secara umum, tekanan tidak konstan sehingga penyelesaian integral tidak terlalu sederhana. Namun, jika kurva P terhadap V diketahui, kerja yang dilakukan oleh gas sama dengan luas area di bawah kurva pada diagram PV . Khusus untuk proses yang tekanannya konstan, Persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$W = P \cdot V \Big|_{V_1}^{V_2} \quad (3.20)$$

$$W = P(V_2 - V_1) = P \cdot \Delta V \quad (3.21)$$

keterangan:

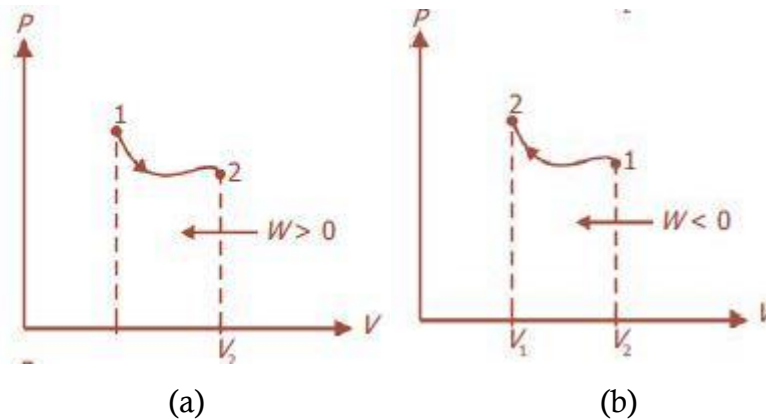
W = usaha (J)

P = tekanan (N/m^2)

V_1 = volume mula-mula (m^3)

V_2 = volume akhir (m^3)

ΔV = perubahan volume (m^3)



Gambar 3.8. Usaha W yang dilakukan oleh system sama dengan luas daerah di bawah kurva, (a) Usaha yang dilakukan oleh system adalah positif (arah proses ke kanan), (b) Usaha yang dilakukan oleh system adalah negative (arah proses ke kiri)

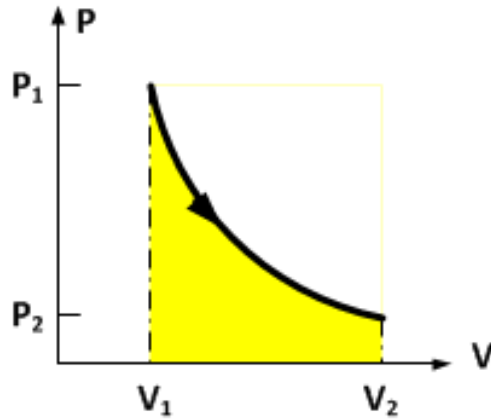
Usaha yang dilakukan oleh gas (sistem) sering disebut usaha luar. Apabila diagram PV diketahui, usaha luar akan lebih sederhana ditentukan secara grafik yaitu dengan menentukan luas area di bawah kurva pada diagram tersebut. Perhatikanlah Gambar 3.8a. Dari Persamaan (3.21) dapat kita lihat bahwa untuk tekanan P yang positif, usaha W akan positif bila gas memuai ($V_2 > V_1$) atau arah lintasan proses ke kanan (Gambar 3.8a). Sebaliknya, usaha W akan negatif bila gas memampat ($V_2 < V_1$) atau arah lintasan proses ke arah kiri (Gambar 3.8b).

B. Usaha Sistem pada Berbagai Proses Termodinamika

Dalam termodinamika, ada 4 (empat) proses utama yang terjadi yaitu proses isothermal, proses isokhorik, proses isobarik, dan proses adiabatik.

1. Proses isothermal

Proses isothermal adalah proses perubahan keadaan sistem pada suhu tetap sesuai dengan hukum (Gambar 3.9).



Gambar 3.9. Usaha pada proses isotermal

Proses ini mengikuti hukum Boyle, yaitu $PV = \text{konstan}$. Untuk menghitung usaha yang dilakukan oleh sistem, kita tentukan dahulu persamaan tekanan sebagai fungsi volume berdasarkan persamaan keadaan gas ideal, yaitu:

$$PV = nRT \quad (3.22)$$

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (3.23)$$

Dengan menggunakan rumus umum usaha yang dilakukan oleh gas pada system $W = \int_{V_1}^{V_2} P \, dV$

maka diperoleh:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \, dV \quad (3.24)$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} \, dV \quad (3.25)$$

$$W = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} \, dV \quad (3.26)$$

$$W = nRT \ln V \Big|_{V_1}^{V_2} \quad (3.27)$$

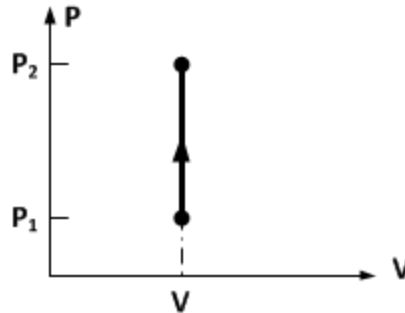
$$W = nRT (\ln V_2 - \ln V_1) \quad (3.28)$$

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (3.29)$$

R menunjukkan konstanta gas universal, n adalah jumlah mol, T suhu sistem, V_2 adalah volume akhir sistem dan V_1 adalah volume awal sistem.

2. Proses Isokhorik

Isokhorik diartikan bahwa keadaan suatu sistem mempunyai volume tetap. Jika volume tetap, perubahan volume yang terjadi pada sistem akan bernilai nol. Hasilnya adalah sistem dikatakan tidak melakukan usaha. (Gambar 3.10).



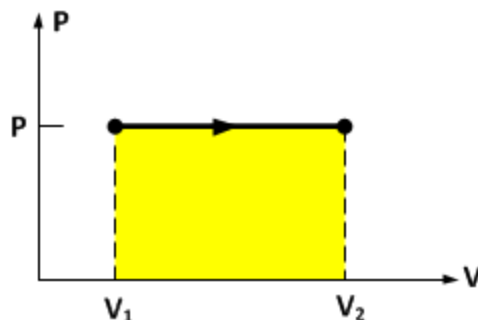
Gambar 3.10. Usaha pada proses isokhorik

Grafik di atas menunjukkan suatu proses volume konstan, tetapi sistem mengalami kenaikan tekanan daripada kondisi awalnya. Karena gas tidak mengalami perubahan volume, maka usaha yang dilakukan oleh gas sama nol.

$$W = P(V_2 - V_1) = P \cdot \Delta V = 0 \quad (3.30)$$

3. Proses Isobarik

Isobar diartikan sebagai suatu proses termodinamika dimana tekanan sistem berada dalam keadaan tetap. Proses isobar dibedakan menjadi dua ada pemampatan isobarik (volume sistem mengecil dari keadaan awal) dan pemuai isobarik (volume sistem membesar daripada volume awal). Grafik untuk pemuai isobar dapat dilihat seperti di bawah ini.



Gambar 3.11. Usaha pada proses isobarik

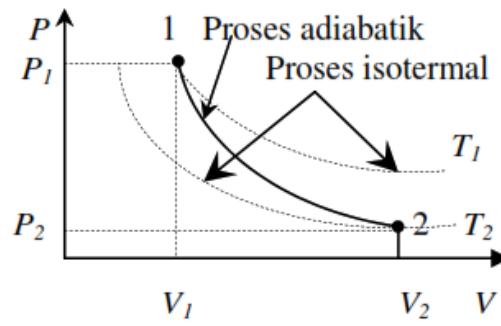
Jika mengamati grafik di atas, luas yang berada di bawah kurva berbentuk persegi panjang dengan pangsang delta V dan tinggi P. Jadi rumus usaha untuk proses isobar adalah:

$$W = P(V_2 - V_1) = P \cdot \Delta V \quad (3.31)$$

V_2 menunjukkan volume keadaan akhir dan V_1 menunjukkan volume pada keadaan awal.

4. Proses Adiabatik

Proses adiabatik adalah proses perubahan keadaan sistem tanpa adanya kalor yang masuk ke atau keluar dari sistem (gas), yaitu $Q = 0$ (Gambar 3.12).



Gambar 3.12. Usaha pada proses adiabatik

Kurva adiabatik lebih curam dibanding kurva isothermal. Grafik 3.12 menunjukkan bahwa pada proses adiabatik terjadi perubahan suhu, tekanan, dan volume. Proses ini mengikuti rumus Poisson sebagai berikut.

$$PV^\gamma = \text{tetap} \quad \text{atau} \quad P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad (3.32)$$

$$TV^{(\gamma-1)} = \text{tetap} \quad \text{atau} \quad T_1 V_1^{(\gamma-1)} = P_2 V_2^{(\gamma-1)} \quad (3.33)$$

Dengan $\gamma > 1$, merupakan hasil perbandingan kapasitas kalor gas pada tekanan tetap C_P dan kapasitas kalor pada volume tetap C_V . Besaran γ adalah konstanta Laplace.

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \quad (3.34)$$

Usaha yang dilakukan oleh sistem (gas) hanya mengubah energi dalam, sebab sistem tidak menerima ataupun melepas kalor. Besarnya usaha yang dilakukan oleh sistem dapat

ditentukan dengan menerapkan persamaan $W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$, maka akan menghasilkan hubungan sebagai berikut.

$$W = \frac{(P_1 V_1 - P_2 V_2)}{\gamma - 1} \quad (3.35)$$

Selain itu, dengan menggunakan hukum termodinamika I, usaha yang dilakukan oleh gas pada proses adiabatik juga dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$W = \frac{3}{2} nR(T_1 - T_2) \quad (3.36)$$

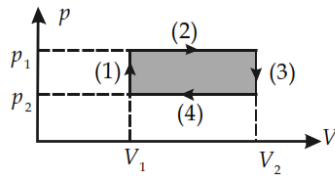
Apabila keadaan awal dan keadaan akhir dari suatu proses adiabatik diketahui, usaha yang dilakukan oleh gas pada proses adiabatik tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (3.35) atau (3.36).

Proses adiabatik sangat penting dalam bidang rekayasa. Beberapa contoh proses adiabatik adalah pemuaian gas panas dalam suatu mesin diesel, pemuaian gas cair dalam sistem pendingin, dan langkah kompresi dalam mesin diesel.

LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

1. Tentukan besar energy dalam, usaha (kerja) dan kalor pada keempat proses termodinamika! (Boleh dalam bentuk formula/rumus).
2. Suatu gas yang mengalami proses termodinamika memiliki grafik $p - V$ sebagai berikut.

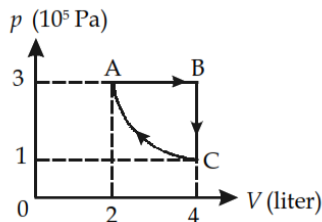


Menurut pemahaman Anda, bagaimanakah usaha pada gas yang terdapat pada proses 1, proses 2, proses 3, dan proses 4? Diskusikanlah hal tersebut bersama teman kelompokmu!

3. Gas ideal dalam tabung melakukan kerja dalam proses isobarik dari $V_1 = 2 \text{ m}^3$ menjadi $V_2 = 7 \text{ m}^3$. Tekanannya 3 atm. Hitunglah besarnya kerja yang dilakukan?
4. Suatu gas ideal monoatomik di dalam ruang tertutup memiliki tekanan $1,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dan volume 40 liter. Jika gas memuai secara isobarik sehingga volumenya menjadi 50 liter, gas akan menyerap kalor dari lingkungan sebesar 2 kJ.

Tentukanlah:

- a. usaha yang dilakukan gas, dan
 - b. perubahan energi dalam gas.
5. Suatu gas ideal mengalami proses menurut siklus, seperti diagram p - V berikut.



Tentukanlah kerja yang dihasilkan pada proses berdasarkan siklus tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Cengel & Turner. (2005). Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences. Boston: McGraw-Hill Higher Education.

Cengel & Boles. (2006). Thermodynamics, An Engineering Approach. Boston: McGraw Hill Higher Education.

Giancoli, D.C. (2004). Physics volume I. New Jersey: Prentice Hall

Halliday, D., Resnick, R. (1997). Physics, terjemahan: Patur Silaban dan Erwin Sucipto. Jakarta: Erlangga.

Tipler, P.A. (1998). Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga.

Serway, R. (1990). Physics for Scientists & Engine

Suparno, P. (2011). Pengantar Termodinamika. Yogyakarta: USD.

<https://fisikasaja.wordpress.com/2011/03/08/usaha-dan-panas-dalam-proses-termodinamika/>