

## MODUL 5

# ENTROPI

### PENDAHULUAN

Modul ini merupakan modul kelima dari mata kuliah Termodinamika yang menjelaskan tentang entropi sistem dan perubahannya. Entropi timbul karena pernyataan hukum termodinamika ke 2. Tidak ada proses yang dapat mengubah semua panas menjadi kerja, dan panas hanya dapat di transfer dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Tidak ada proses yang terjadi secara reversible di alam ini. Kriteria-kriteria tersebut memberikan penjelasan keberadaan entropi dari setiap panas yang terkonversi menjadi kerja. Nilai entropi pada setiap proses selalu lebih besar dari nol (positif) dan jumlahnya di alam semesta terus meningkat karena terakumulasi. Pada tinjauan molekuler, peningkatan entropi pada suatu zat berarti meningkatnya ketidakteraturan molekul, atau disebut tingkat ketidakteraturan suatu zat.

Pada kegiatan belajar ini akan kita pelajari bagaimana entropi dan perubahan entropi dari suatu keadaan. Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan mampu menguraikan konsep entropi gas ideal dan perubahan entropi serta konsep azas entropi secara logis, kritis dan mandiri. Secara lebih khusus lagi, Anda diharapkan dapat:

1. menguraikan konsep entropi gas ideal
2. menguraikan perubahan entropi
3. menguraikan entropi serta konsep azas entropi

Agar Anda memperoleh hasil yang maksimal dalam mempelajari modul ini, ikuti petunjuk pembelajaran berikut ini.

1. Sebelum membaca materi in yang mau dipelajari, bacalah bagian Pendahuluan modul ini, sampai Anda memahami betul apa, untuk apa, dan bagaimana mempelajari modul ini.
2. Bacalah bagian demi bagian, temukan kata-kata kunci dan kata-kata yang Anda anggap baru.
3. Carilah dan baca pengertian kata-kata tersebut dalam daftar kata-kata sulit dalam modul ini atau dalam kamus yang ada.

4. Tangkaplah pengertian demi pengertian dari isi modul ini melalui pemahaman sendiri, tukar pikiran dengan sesama mahasiswa, dan dosen Anda.
5. Mantapkan pemahanan Anda melalui diskusi dengan sesama teman mahasiswa.
6. Lakukan semua kegiatan yang diajarkan sesuai dengan petunjuk modul. Karena di dalam pembelajaran modul ini kita akan melakukan beberapa pengamatandan percobaan.

## Entropi dan Perubahannya

Pengalaman sehari-hari menunjukkan bahwa sebuah kolam tidak membeku di musim panas. Jika sebuah benda panas berinteraksi dengan benda dingin, maka tak terjadi bahwa benda panas tersebut semakin panas dan benda dingin semakin dingin, meskipun proses-proses tersebut tidaklah melanggar hukum kekekalan energi yang dinyatakan sebagai hukum pertama termodinamika.

Hukum kedua termodinamika berkaitan dengan apakah proses-proses yang dianggap taat azas dengan hukum pertama, terjadi atau tidak terjadi di alam. Hukum kedua termodinamika seperti yang diungkapkan oleh Clausius mengatakan, "Untuk suatu mesin siklis maka tidak mungkin untuk menghasilkan efek lain, selain dari menyampaikan kalor secara kontinu dari sebuah benda ke benda lain pada temperatur yang lebih tinggi".

Bila ditinjau siklus Carnot, yakni siklus hipotesis yang terdiri dari empat proses terbalikkan: pemuaian isothermal dengan penambahan kalor, pemuaian adiabatik, pemampatan isothermal dengan pelepasan kalor dan pemampatan adiabatik; jika integral sebuah kuantitas mengitari setiap lintasan tertutup adalah nol, maka kuantitas tersebut yakni variabel keadaan, mempunyai sebuah nilai yang hanya merupakan ciri dari keadaan sistem tersebut, tak peduli bagaimana keadaan tersebut dicapai. Variabel keadaan dalam hal ini adalah entropi. Perubahan entropi hanya gayut keadaan awal dan keadaan akhir dan tak gayut proses yang menghubungkan keadaan awal dan keadaan akhir sistem tersebut.

Hukum kedua termodinamika dalam konsep entropi mengatakan, "Sebuah proses alami yang bermula di dalam satu keadaan kesetimbangan dan berakhir di dalam satu keadaan kesetimbangan lain akan bergerak di dalam arah yang menyebabkan entropi dari sistem dan lingkungannya semakin besar".

### A. Pengertian Entropi

Istilah entropi secara literatur berarti transformasi, dan diperkenalkan oleh Clausius. **Entropi** adalah sifat termodinamika yang penting dari sebuah zat, dimana harganya akan meningkat ketika ada penambahan kalor dan menurun ketika terjadi pengurangan kalor. Dalam hal ini, sulit untuk mengukur entropi, tetapi akan mudah untuk mencari perubahan entropi dari suatu zat. Pada jangkauan kecil temperature, kenaikan

atau penurunan entropi jika dikalikan dengan temperature akan menghasilkan jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan oleh suatu zat. Secara matematis:

$$dQ = T \cdot dS$$

dimana:  $dQ$  = Kalor yang diserap

$T$  = temperatur absolut

$ds$  = kenaikan entropi.

Persamaan di atas juga bisa digunakan untuk kalor yang dilepaskan oleh suatu zat, dalam hal ini  $dS$  menjadi penurunan entropi. Para ahli teknik dan ilmuwan menggunakan entropi untuk memberikan jawaban cepat terhadap permasalahan yang berkaitan dengan ekspansi adiabatik.

Entropi adalah ukuran banyaknya energi atau kalor yang tidak dapat diubah menjadi usaha. Besarnya entropi suatu sistem yang mengalami proses reversibel sama dengan kalor yang diserap sistem dan lingkungannya dibagi suhu mutlak sistem tersebut ( $T$ ). Entropi adalah fungsi keadaan, nilainya pada suatu keadaan setimbang dapat dinyatakan dalam variabel-variabel yang menentukan keadaan sistem. Asas kenaikan entropi dapat dinyatakan bahwa entropi selalu naik pada tiap proses ireversibel. Karena itu dapat dikatakan bahwa entropi dari suatu sistem terisolasi sempurna selalu naik tiap proses ireversibel.

Dalam proses adiabatik,  $d'Q = 0$ , dan dalam proses adiabatik ireversibel  $d'Q_r = 0$ . Oleh karena itu dalam proses adiabatik reversibel,  $ds = 0$  atau ini berarti bahwa entropi  $S$  tetap. Proses demikian ini disebut pula sebagai proses insentropik. Jadi:

$$d'Q_r = 0 \text{ dan } dS = 0$$

Dalam proses isothermal reversibel, suhu  $T$  tetap, sehingga perubahan entropi

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{d'Q_r}{T} = \frac{1}{T} \int_1^2 d'Q_r = \frac{Q_r}{T}$$

Untuk melaksanakan proses semacam ini maka sistem dihubungkan dengan sebuah reservoir yang suhunya berbeda. Jika arus panas mengalir masuk kedalam sistem, maka  $Q_r$  positif dan entropi sistem naik. Jika arus panas keluar dari sistem  $Q_r$  negatif dan entropi sistem turun.

Contoh proses isothermal reversibel ialah perubahan fase pada tekanan tetap. Arus panas yang masuk kedalam sistem per satuan massa atau per mol sama dengan panas transformasi 1, sehingga perubahan entropi jenisnya menjadi:

$$S_2 - S_1 = \frac{1}{T}$$

Jika dalam suatu proses terdapat arus panas antara sistem dengan lingkungannya secara reversibel, maka pada hakekatnya suhu sistem dan suhu lingkungan adalah sama. Besar arus panas ini yang masuk kedalam sistem atau yang masuk kedalam lingkungan disetiap titik adalah sama, tetapi harus diberi tanda yang berlawanan. Karena itu perubahan entropi lingkungan sama besar tapi berlawanan tanda dengan perubahan entropi sistem dan jumlahnya menjadi nol. Sebab sistem bersama dengan lingkungannya membentuk dunia, maka boleh dikatakan bahwa entropi dunia adalah tetap. Hendaknya diingat bahwa pernyataan ini berlaku untuk proses reversibel saja.

Keadaan akhir proses irreversibel itu dapat dicapai dengan ekspansi reversibel. Dalam ekspansi semacam ini usaha luar harus dilakukan. Karena tenaga dakhil sistem tetap, maka harus ada arus panas yang mengalir kedalam sistem yang sama besarnya dengan usaha luar tersebut. Entropi dalam gas dal proses reversibel ini naik dan kenaikan ini sama dengan kenaikan dalam proses sebenarnya yang irreversibel, yaitu ekspansi bebas.

## **B. Asas Kenaikkan Entropi**

Hukum keseimbangan / kenaikan entropi menyatakan bahwa “Panas tidak bisa mengalir dari material yang dingin ke yang lebih panas secara spontan”. Entropi adalah tingkat keacakan energi. Jika satu ujung material panas, dan ujung satunya dingin, dikatakan tidak acak, karena ada konsentrasi energi. Dikatakan entropinya rendah. Setelah rata menjadi hangat, dikatakan entropinya naik.

Dalam pembahasan proses-proses ireversibel dalam pasal terdahulu, didapatkan bahwa entropi dunia (universe) selalu naik. Hal ini juga benar untuk semua proses ireversibel yang sudah dapat dianalisa. Kesimpulan ini dikenal sebagai asas kenaikan entropi dan dianggap sebagai bagian dari hukum kedua termodinamika. Asas ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

**“Entropi dunia selalu naik pada setiap proses ireversibel”**

Jika semua sistem yang berinteraksi di dalam suatu proses di lingkungan dengan bidang adiabatik yang tegar, maka semua itu membentuk sistem yang terisolasi sempurna dan membentuk dunianya sendiri. Karena itu dapat dikatakan bahwa entropi dari suatu sistem yang terisolasi sempurna selalu naik dalam proses ireversibel yang terjadi dalam sistem itu. Sementara itu entropi tetap tidak berubah dalam sistem yang terisolasi jika sistem itu mengalami proses reversibel.

### C. Entropi Dalam Mesin Carnot

Dalam mesin Carnot, dapat dilihat bahwa besaran  $dQ=T$  adalah besaran keadaan, karena perubahannya untuk satu siklus adalah nol

$$\frac{\Delta Q}{T} = \frac{Q_h}{T_h} - \frac{Q_c}{T_c} = 0.$$

(tanda negatif karena  $Q_c$  adalah panas yang keluar sistem), nilai di atas nol karena  $Q_c=Q_h = T_c=T_h$ . Sehingga besaran  $dQ=T$  adalah besaran keadaan, tetapi pada proses Carnot, semua proses adalah proses reversibel, karena itu didefinisikan suatu besaran keadaan yang disebut entropi  $S$ ,

$$dS = \frac{dQ_{\text{rev}}}{T}$$

dengan  $dQ_{\text{rev}}$  adalah panas yang ditransfer dalam proses reversibel.

Untuk proses irreversibel, perubahan entropinya dapat dicari dengan mencari suatu proses reversibel yang memiliki keadaan awal dan akhir yang sama dengan proses irreversibel yang ditinjau (ini karena perubahan entropi adalah besaran keadaan). Pada proses reversibel, perubahan entropi total, yaitu perubahan entropi sistem dan lingkungannya adalah nol, karena untuk setiap bagian prosesnya besar panas yang diberikan sistem ke lingkungan sama dengan besar panas yang diberikan lingkungan pada sistem, dan selama proses sistem dan lingkungan memiliki suhu yang sama (ingat definisi proses reversibel). Sehingga total perubahan entropi:

$$\Delta S_{\text{tot}} = \frac{\Delta Q_{\text{sistem}}}{T_{\text{sistem}}} + \frac{\Delta Q_{\text{lingk}}}{T_{\text{lingk}}} = 0.$$

Untuk proses yang irreversible, karena prosesnya tidak berada dalam keadaan kesetimbangan termal, maka total perubahan entropi selalu positif. Tinjau suatu perpindahan panas dari benda yang panas pada suhu  $T_h$  ke lingkungannya yang dingin pada suhu  $T_c$  (dengan  $T_h > T_c$ ). Panas yang diberikan benda  $\Delta Q$  sama

#### **D. Satuan Entropi**

Satuan entropi bergantung pada satuan kalor yang digunakan dan temperatur mutlak. Entropi dinyatakan per satuan massa zat. Kita tahu bahwa: “**Perubahan entropi = Kalor yang diberikan atau dilepaskan / Temperatur mutlak**”

Sehingga jika satuan kalor adalah kcal dan temperatur dalam  $^{\circ}\text{K}$ , maka satuan entropi adalah **kcal/kg/ $^{\circ}\text{K}$** . Karena entropi dinyatakan per satuan massa zat, maka adalah benar jika entropi disebut sebagai entropi spesifik.

Secara teoritis, entropi suatu zat adalah nol pada temperatur nol absolut. Sehingga di dalam perhitungan entropi, referensi dasar yang mudah harus dipilih sehingga dari referensi ini pengukuran dilakukan. Perlu dicatat bahwa air pada  $0^{\circ}\text{C}$  diasumsikan mempunyai entropi nol, dan perubahan entropi dihitung dari temperatur ini.

## LATIHAN

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

1. Jelaskan definisi dari entropi!
2. Berikan contoh konteks entropi dalam kehidupan sehari-hari!
3. Suatu gas argon dengan tekanan 1,2 atm pada suhu ruang memiliki volume awal 500 cm<sup>3</sup>, pada pendinginan hingga suhu -25 °C volumenya berubah menjadi 50,5 cm<sup>3</sup>. Berdasarkan data tersebut, tentukan nilai perubahan entropi dari gas argon 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.

<https://www.silabus.web.id/entropi/>

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.