Heat Transfer

As mentioned previously, heat tends to move from higher temperature region to lower temperature region. The heat transfer may occur through conduction, convection, and radiation.

1. Conduction

Conduction is a common term of heat transfer in solid. In microscopic scale, conduction occurs because one particle (atom or molecule) move rapidly and vibrates and also interacts with the neighboring atoms and molecules. From that interaction, then heat can transfer from one particle to another.

Based on the ability to conduct heat, solids can be distinguished into conductors and isolators. Conductors are substance which are easy to conduct heat, such iron, copper, steel, aluminium and so on. While isolators are substances which are difficult or not able to conduct heat, such as stone, wood, paper, plastic, and so on.

In conductor materials, the heat transfer occurs passing through the “free electrons” and the speed of conduction heat can be determined by using the following equation.

$\frac{Q}{t}$ = $\frac{k A ∆T}{d}$

Where

Q = heat (J)

t = time (s)

k = thermal conductivity (W/mK)

A = surface area (m2)

d = length/thickness of substance (m)

$∆T$ = temperature difference (K)

Thermal conductivity (k) is the constant which expresses the ability of substance to conduct the heat.

1. Convection

Convection is the dominant form of heat transfer in liquids and gases. The heat transfer by convection occurs because there is the fluid flow that is different in density. Convection is commonly distinguished into free convection and forced convection.

In free convection, fluid flow occurs because the difference of density, while in forced convection the fluid flow is directed purposefully for a given purpose using instruments. The example of free convection is gases convection in sea wind or land wind phenomena. While the forced convection can be found on the instruments such as refrigerator and hair dryer.

The rate of heat convection when a hot object transfers heat to the fluids surrounding it can be determined by the following equation.

$\frac{Q}{t}$ = h A ΔT

$where$

Q = heat (J)

t = time (s)

h = coefficient of convection (W/m2K)

A = surface area (m2)

$∆T$ = temperature difference (K)

The coefficient of convection value depends on the form and position of an object and can be determined through an experiment.

1. Radiation

Radiation is one mechanism of heat transfer in the form of electromagnetic waves without passing through a medium. For example, the heat of sun can reach earth by the mechanism of radiation, therefore it is able to pass through free space.

Heat radiation complies the Stefan-Boltzmann`s law, that is energy emmited by a blackbody surface in the form of heat radiation per unit time (Q/t) is proportional with the surface area (A) and proportional with four degree of absolute temperature of that surface (T4).

Stefan-Boltzmann`s law can be expressed by the equation as follows.

$\frac{Q}{t}$ = $τ$ A T4

$where$

Q = heat (J)

t = time (s)

$τ$ = Stefan-Boltzmann`s constant (5.67 x 10-8W/m2K4)

A = surface area (m2)

T = temperature (K)

The above equation only valid for the perfect blackbody. The perfect blackbody is a body that can absorb and emit the heat radiation perfectly. For the object which are not perfectly blackbody, then holds the equation below.

$\frac{Q}{t}$ = e $τ$ A T4

$where$

Q = heat (J)

t = time (s)

e = emissivity (0$\leq $ e $\leq $ 1)

$τ$ = Stefan-Boltzmann`s constant (5.67 x 10-8W/m2K4)

A = surface area (m2)

T = temperature (K)

Emissivity is the measure of a heat radiation emission of an object is compared to the perfect blackbody. For perfect blackbody e = 1.

Perpindahan Kalor

Seperti disebutkan sebelumnya, kalor cenderung bergerak dari suatu tempat bersuhu lebih tinggi ke tempat bersuhu lebih rendah. Perpindahan panas tersebut dapat terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi.

1. Konduksi

Konduksi merupakan istilah umum perpindahan kalor pada zat padat. Dalam skala mikroskopis, konduksi terjadi karena satu partikel (atom atau molekul) bergerak cepat dan bergetar berinteraksi dengan atom – atom dan molekul – molekul tentangga. Dari interaksi tersebut, maka kalor dapat berpindah dari satu partikel ke partikel lain.

Berdasarkan kemampuan menghantarkan kalor, zat padat dapat dibedakan menjadi konduktor dan isolator. Konduktor adalah bahan – bahan yang mudah menghantarkan kalor, seperti besi, tembaga, baja, aluminium dan lain sebagainya. Sedangkan isolator adalah bahan – bahan yang sukar atau tidak dapat menghantarkan kalor, seperti batu, kayu, kertas, plastic dan lain sebagainya.

Pada bahan konduktor, perpindahan kalor terjadi melalui “electron – electron bebas” dan laju kalor konduksinya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$\frac{Q}{t}$ = $\frac{k A ∆T}{d}$

dengan

Q = kalor (J)

t = waktu (s)

k = konduktivitas termal (W/mK)

A = luas permukaan (m2)

d = panjang/tebal bahan (m)

$∆T$ = perbedaan suhu (K)

Konduktivitas termal (k) merupakan konstanta yang menyatakan kemampuan bahan menghantar kalor.

1. Konveksi

Konveksi merupakan bentuk dominan perpindahan kalor pada zat cair dan gas. Perpindahan kalor secara konveksi terjadi karena adanya gerakan fluida yang berbeda massa jenis. Konveksi biasanya dibedakan menjadi konveksi alamiah dan konveksi paksa.

Pada konveksi alamiah, aliran fluida terjadi karena perbedaan massa jenis, sedangkan pada konveksi paksa aliran fluida diarahkan secara sengaja untuk tujuan tertentu dengan menggunakan alat. Contoh konveksi bebas adalah konveksi gas pada peristiwa angin laut atau angin darat. Sedangkan konveksi paksa dapat ditemukan pada alat – alat seperti mesin pendingin, dan pengering rambut.

Laju kalor konveksi ketika suatu benda panas memindahkan kalor ke fluida di sekitarnya dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$\frac{Q}{t}$ = h A ΔT

$where$

Q = kalor (J)

t = waktu(s)

h = koefisien konveksi (W/m2K)

A = luas permukaan (m2)

$∆T$ = perbedaan suhu (K)

Harga koefisien konveksi bergantung pada bentuk dan kedudukan suatu benda dan dapat ditentukan melalui suatu percobaan.

1. Radiasi

Radiasi merupakan salah satu mekanisme perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik tanpa melalui suatu zat perantara. Sebagai contoh, panas matahari dapat mencapai ke bumi dengan mekanisme radiasi, sehingga mampu melewati ruang hampa.

Radiasi kalor memenuhi hokum Stefan-Boltzmann, yaitu Energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan benda hitam dalam bentuk radiasi kalor tiap satuan waktu (Q/t) sebanding dengan pangkat empat suhu mutlak permukaan itu (T4).

Hukum Stefan-Boltzmann dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$\frac{Q}{t}$ = $τ$ A T4$ $

dengan

Q = kalor (J)

t = waktu (s)

$τ$ = tetapan Stefan-Boltzmann`s (5.67 x 10-8W/m2K4)

A = luas permukaan (m2)

T = suhu (K)

Persamaan di atas hanya berlaku untuk benda hitam sempurna. Benda hitam sempurna adalah benda yang mampu menyerap dan memancarkan radiasi kalor secara sempurna. Untuk benda yang bukan benda hitam sempurna, maka berlaku persamaan berikut.

$\frac{Q}{t}$ = e $τ$ A T4$ $

dengan

Q = kalor (J)

t = waktu (s)

e = emisivitas (0 ≤ e ≤ 1)

$τ$ = tetapan Stefan-Boltzmann`s (5.67 x 10-8W/m2K4)

A = luas permukaan (m2)

T = suhu (K)

Emisivitas adalah ukuran suatu pancaran radiasi kalor suatu benda dibandingkan dengan benda hitam sempurna. Untuk benda hitam sempurna e = 1.

 Sample problem

A stem of one hundred fifty cm metal with section area of thirty cm2. One of its end touches the ice zero celcius and another end touches an object with temperature of one thousand Celsius. If its thermal conductivity is zero point nine calori divided by second centimeter Celsius, calculate the heat that propagate passing through the metal in ten second!

Sebatang logam 150 cm dengan luas penampang 30 cm2. Salah satu ujungnya menempel pada es 00C dan ujung lainnya menempel pada benda dengan suhu 1000C. Jika konduktivitas termalnya 0,9 kal/s cm0C, hitunglah kalor yang merambat melalui logam tersebut selama 10 sekon!

Solution

Penyelesaian

$\frac{Q}{t}$ = $\frac{k A ∆T}{d}$

$Q$ = $\frac{k A ∆T}{d}$ t

 = $\frac{\left(0,9\right)\left(30\right)\left(100\right)(10)}{150}$

 = 180 kalori (one hundred eighty calorie)