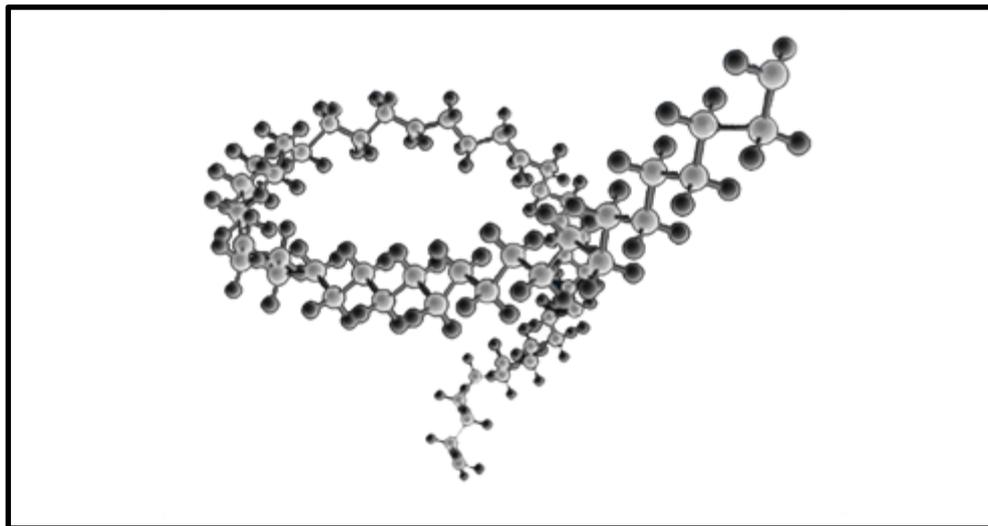


## BAB II

### STUDI LITERATUR

#### 2.1 *Polymer*

*Polymer* adalah rantai berulang dari atom yang panjang, terbentuk dari pengikat berupa molekul identik yang disebut monomer. Sekalipun biasanya merupakan bahan organik (memiliki rantai karbon), ada juga banyak polymer anorganik. Salah satu contoh dari *polymer* adalah plastik dan DNA. Pada Gambar 2.1 diperlihatkan ilustrasi mengenai rantai *polymer* [1].

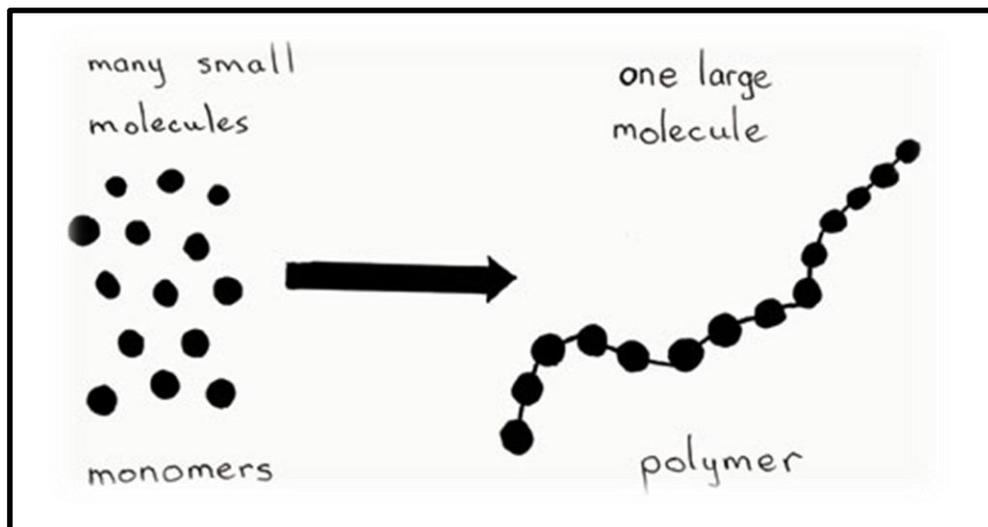


**Gambar 2.1** Ilustrasi rantai *polymer* [1]

*Polymer* didefinisikan sebagai substansi yang terdiri dari molekul-molekul yang menyertakan rangkaian satu atau lebih dari satu unit monomer. Manusia sudah berabad-abad menggunakan *polymer* dalam bentuk minyak, aspal, damar, dan permen karet. Tapi industri *polymer* modern mulai berkembang pada masa revolusi industri. Di akhir 1830-an, Charles Goodyear berhasil memproduksi sebetuk karet alami yang berguna dan dapat digunakan melalui proses “vulkanisasi”. 40 tahun kemudian, Celluloid (sebetuk plastik keras dari nitrocellulose) berhasil dikomersialisasikan. Adalah diperkenalkannya *vinyl*, *neoprene*, *polystyrene*, dan *nylon* pada

tahun 1930-an yang memulai ‘ledakan’ dalam penelitian *polymer* yang masih berlangsung sampai sekarang [1].

Meskipun istilah *polymer* lebih populer menunjuk kepada plastik, tetapi *polymer* sebenarnya terdiri dari banyak kelas material alami dan sintetik dengan sifat dan kegunaan yang beragam. Bahan *polymer* alami seperti shellac dan amber telah digunakan selama beberapa abad. Kertas diproduksi dari selulosa, sebuah polisakarida yang terjadi secara alami yang ditemukan dalam tumbuhan. *Biopolymer* seperti protein dan asam nukleat memainkan peranan penting dalam proses biologi. Pada Gambar 2.2 diperlihatkan ilustrasi perbedaan antara *Polymer* dan *Monomer* [1].



**Gambar 2.2** Ilustrasi perbedaan *monomer* dan *polymer* [1]

## 2.2 Klasifikasi *Polymer*

Teknologi *polymer* berdasarkan sumbernya dapat dikelompokkan dalam 3 kelompok, yaitu

1. *Polymer* Alam yang terjadi secara alami seperti karet alam, karbohidrat, protein, selulosa, dan wol.

2. *Polymer* Semi Sintetik yang diperoleh dari hasil modifikasi *polymer* alam dan bahan kimia seperti serat rayon dan selulosa nitrat.
3. *Polymer* Sintesis, yaitu *polymer* yang dibuat melalui polimerisasi dari monomer-monomer *polymer*, seperti formaldehida."

#### **A. Berdasarkan sumbernya**

Berdasarkan sumbernya *polymer* dibagi menjadi 2, yakni :

1. *Polymer* alami : kayu, kulit binatang, kapas, karet alam, rambut
2. *Polymer* sintetis
  - a. Tidak terdapat secara alami: nylon, poliester, polipropilen, polistiren
  - b. Terdapat di alam tetapi dibuat oleh proses buatan: karet sintetis
  - c. *Polymer* alami yang dimodifikasi: seluloid, cellophane (bahan dasarnya dari selulosa tetapi telah mengalami modifikasi secara radikal sehingga kehilangan sifat-sifat kimia dan fisika asalnya)

#### **B. Berdasarkan jumlah rantai karbonnya**

Berdasarkan jumlah rantai karbonnya *polymer* dibagi menjadi 6, yakni :

1. 1 ~ 4 : Gas (LPG, LNG)
2. 5 ~ 11 : Cair (bensin)
3. 9 ~ 16 : Cairan dengan viskositas rendah
4. 16 ~ 25 : Cairan dengan viskositas tinggi (oli, gemuk)
5. 25 ~ 30 : Padat (parafin, lilin)
6. 1000 ~ 3000 : Plastik (polistiren, polietilen, dll)

### **2.3 *Polymer* Termoplastik**

*Polymer* termoplastik merupakan jenis *polymer* yang memiliki sifat tidak tahan terhadap panas. Ketika jenis *polymer* ini dipanaskan, maka akan dengan mudah mencair dan berubah fasa serta terurai unsur kimianya [1].

Bahan-bahan yang termasuk kedalam *polymer* termoplastik ini antara lain:

*Polyethilene* : Botol plastik, mainan anak-anak, ember, isolator kawat.

*Polypropilene* : Kantong plastik, Tong sampah, bungkus snack, kotak DVD, pipa paralon,

*Polystrene* : *Styroform*

Pada Gambar 2.3 diperlihatkan contoh dari benda berbahan dasar *polymer*.



**Gambar 2.3** Ilustrasi benda berbahan dasar *polymer*

## 2.4 Sifat *polymer*

Adapun sifat-sifat atau karakteristik yang dimiliki oleh unsur berbahan *polymer*, antara lain:

### A. Sifat *Thermal*

Sifat *polymer* terhadap panas ada yang menjadi lunak jika dipanaskan dan keras jika didinginkan, *polymer* seperti ini disebut termoplastik. Contohnya adalah : plastik yang digunakan untuk kantong dan botol plastik. Sedangkan polimer yang menjadi keras jika dipanaskan disebut termoset. Contohnya adalah : melamin

## **B. Sifat Kelenturan**

*polymer* yang bersumber dari alam akan mempunyai kelenturan yang berbeda dengan *polymer* sintetis. Umumnya *polymer* alam agak sukar untuk dicetak sesuai keinginan, sedangkan *polymer* sintetis lebih mudah di cetak untuk menghasilkan bentuk tertentu. Karet akan lebih mudah mengembang dan kehilangan kekenyalannya setelah terlalu lama kena bensin atau minyak.

## **C. Ketahanan terhadap Mikroorganisme**

*Polymer* alam seperti wool, sutra, atau selulosa tidak tahan terhadap mikroorganisme atau ulat (rayap), sedangkan polimer sintetis lebih tahan terhadap mikroorganisme atau ulat.

## **D. Sifat Lainnya**

Sifat *Polymer* yang lainnya bergantung pada pemakaiannya untuk kemasan atau alat-alat industri. Untuk tujuan pengemasan harus diperhatikan beberapa kriteria, yakni:

- Toksisitasnya
- Daya tahan terhadap air, minyak atau panas
- Daya tembus udara (oksigen)
- Kelenturan
- Transparan

## **E. Kegunaan Dan Dampak *Polymer* Terhadap Lingkungan**

Dalam kehidupan sehari-hari banyak barang-barang yang digunakan merupakan *polymer* sintetis mulai dari kantong plastik untuk belanja, plastik pembungkus makanan dan minuman, kemasan plastik, alat-alat listrik, alat-alat rumah tangga, dan alat-alat elektronik. Setiap kita

belanja dalam jumlah kecil, misalnya diwarung, selalu kita akan mendapatkan pembungkus plastik dan kantong plastik (kresek).

Barang-barang tersebut merupakan *polymer* sintetis yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Akibatnya, barang-barang tersebut akan menumpuk dalam bentuk sampah yang tidak dapat membusuk. Atau menyumbat saluran air yang menyebabkan banjir. Sampah polimer sintetis jangan dibakar, karena akan menghasilkan senyawa dioksin. Dioksin adalah suatu senyawa gas yang sangat beracun dan bersifat karsinogenik (menyebabkan kanker).

Plastik *vinyl chloride* tidak berbahaya, tetapi monomer *vinyl chloride* sangat beracun dan mengandung zat karsinogenik yang mengakibatkan cacat lahir.

Plastik yang digunakan sebagai pembungkus makanan, jika terkena panas dikhawatirkan monomernya akan terurai dan akan mengkontaminasi makanan.

Untuk mengurangi pencemaran plastik, dapat dilakukan dengan cara :

1. Kurangi penggunaan plastik
2. Sampah plastik harus dipisahkan dengan sampah organik, sehingga dapat didaur ulang.
3. Jangan membuang sampah plastik sembarangan.
4. Sampah plastik jangan dibakar.

Untuk menghindari bahaya keracunan akibat penggunaan plastik, ada beberapa cara yang dapat dilakukan antara lain :

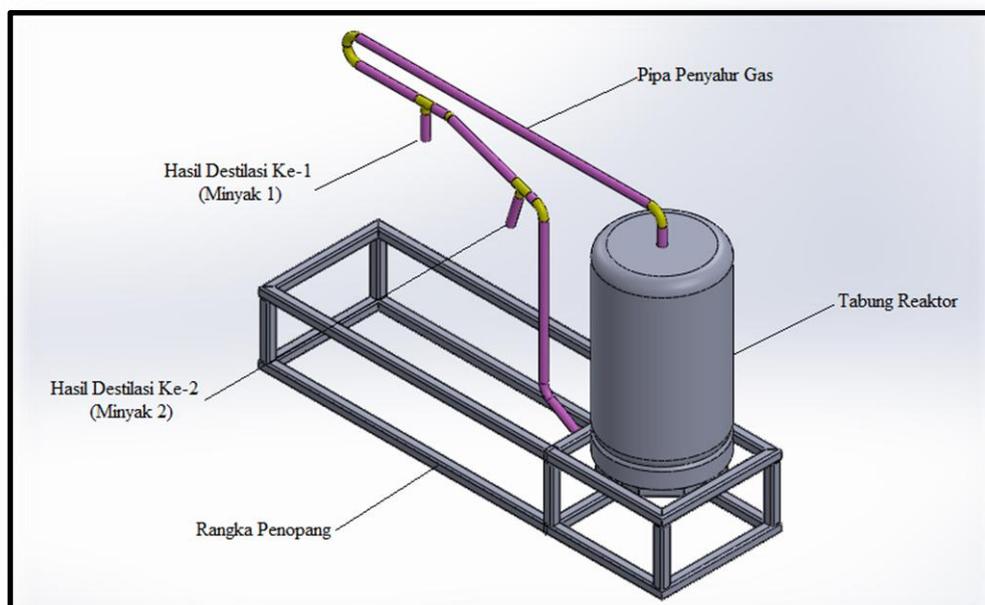
1. Gunakan kemasan makanan yang lebih aman, seperti gelas.
2. Gunakan penciuman, jika makanan/minuman bau plastik jangan digunakan.

## 2.5 *Pyrolysis*

*Pyrolysis* merupakan suatu metoda dekomposisi bahan kimia organik maupun non-organik melalui proses pemanasan dengan tanpa atau sedikit oksigen atau zat reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. *Pyrolysis* dilakukan dengan kasus hanya menyisakan senyawa karbon sebagai residu disebut Karbonisasi [2].

Metoda *pyrolysis* sendiri dapat diterapkan dalam penggunaan untuk menghasilkan suatu senyawa yang dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar berupa cairan [2].

Berikut ini Gambar 2.4 menunjukkan skema perancangan alat pirolisis untuk mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak,



**Gambar 2.4** Ilustrasi skema alat pirolisis

## 2.6 **Komponen-komponen Alat Pirolisis**

Alat pengubah sampah plastik ini terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain:

## **A. Tungku**

Tungku merupakan salahsatu komponen pada rangkaian alat, yang berfungsi untuk membakar dan menghasilkan panas yang diperlukan reaktor untuk mereaksikan bahan baku (plastik). Tungku tersebut menggunakan dapat bahan bakar gas LPG (*liquid petroleum gases*) sebagai bahan bakar utamanya atau jenis bahan bakar lainnya.

## **B. Reaktor**

Reaktor merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat/wadah direaksikannya bahan baku (plastik) dengan cara di panaskan tanpa campuran unsur-unsur lainnya. Proses pemanasan ini akan mengubah fasa plastik yang awalnya padat, hingga menjadi fasa uap/gas. Dalam komponen ini juga terjadi reaksi dekomposisi unsur-unsur kimia yang ada dalam plastik (*polymer*).

## **C. Pipa Penyalur**

Setelah bahan baku (plastik) diubah menjadi fasa uap/gas di dalam reaktor, maka pipa penyalur merupakan komponen yang bertugas untuk menyalurkan gas keluar dari reaktor menuju kondensor. Selain itu juga, dalam pipa penyalur dibuat agar terjadi pelepasan panas dari gas ke udara lingkungan yang besar, hal ini dimaksudkan agar kerja fluida pendingin pada kondensor untuk mendinginkan gas tidak terlalu besar.

## **D. Kondensor**

Kondensor merupakan salahsatu bagian terpenting dalam proses pirolisis ini. Pada komponen inilah, tetesan-tetesan cairan kondensat yang akan menjadi bahan bakar dihasilkan. Tetesan cairan ini, didapatkan dengan cara mengkondensasi gas dari hasil pemanasan dalam reaktor. Semakin baik proses pendinginan dalam kondensor, semakin banyak pula cairan kondensat yang dihasilkan.

## **E. Katup**

Katup dalam rangkaian alat pirolisis sama halnya dengan katup-katup yang ada. Katup ini berfungsi untuk menutup atau membuka saluran bagi fluida.

## **F. Rangka Penopang**

Rangka penopang merupakan komponen yang berfungsi sebagai dasar/alas bagi kedudukan komponen-komponen lain agar tetap berada pada posisinya ketika rangkaian alat beroperasi.

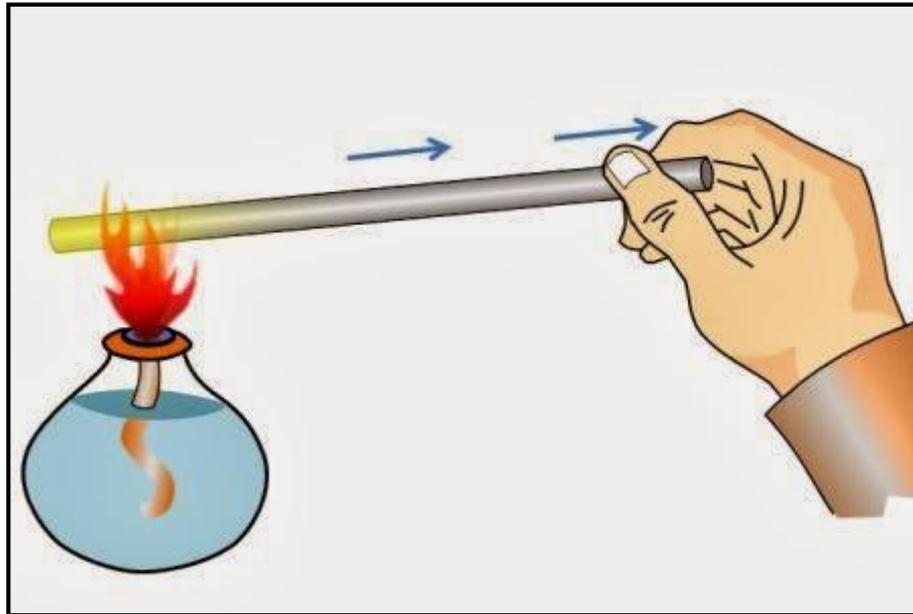
## **2.7 Perpindahan Panas**

Perpindahan panas adalah salah satu dari disiplin ilmu teknik termal yang mempelajari cara menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas, dan menukarkan panas di antara sistem fisik. Energi panas berpindah dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah. Perpindahan energi panas dari satu benda ke benda lain dilakukan secara konduksi, konveksi dan radiasi [5].

### **2.7.1 Perpindahan Panas Konduksi**

Konduksi adalah perpindahan panas antara dua buah permukaan benda tanpa disertai adanya perpindahan zat. Benda yang dapat menghantarkan panas dengan baik disebut konduktor. Setiap benda memiliki kemampuan yang berbeda-beda untuk menghantarkan panas. Sifat tersebut didefinisikan sebagai konduktifitas termal. Konduktivitas Thermal (Daya Hantar Panas) Adalah sifat bahan yang menunjukkan seberapa cepat bahan itu dapat menghantarkan panas konduksi. Pada umumnya nilai  $k$  dianggap tetap, namun sebenarnya nilai  $k$  dipengaruhi oleh suhu ( $T$ ). Perpindahan panas secara konduksi digambarkan dengan merambatnya panas pada

suatu benda konduktor. Gambar 2.5 merupakan ilustrasi perpindahan panas secara konduksi pada suatu benda [5].



**Gambar 2.5** Ilustrasi perpindahan panas konduksi [5]

Perpindahan panas secara konduksi diformulasikan sebagai perbandingan beda temperatur dengan besarnya tahanan termal dari suatu material ditunjukkan oleh Persamaan (2.1) .

$$\boxed{\frac{q}{A} = -kA \frac{dt}{dx}} \quad \equiv \quad \boxed{q = \frac{T_1 - T_2}{R_k}} \quad (2.1)$$

Dimana:

- q = Energi panas (kW)
- A = Luas penampang permukaan benda ( $m^2$ )
- k = Konduktifitas termal (W/m.K)
- dt = Beda temperatur (K)
- dx = Tebal benda (m)

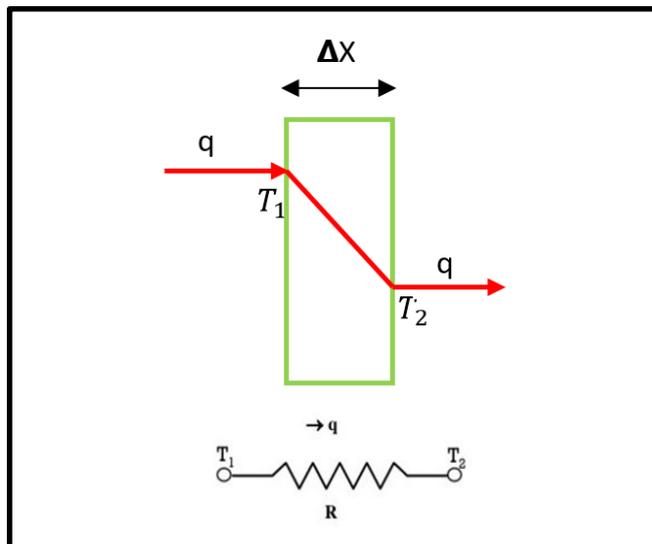
Pada kehidupan sehari-hari, terdapat beberapa permasalahan yang berkaitan dengan perpindahan panas pada suatu benda. Berikut akan dipaparkan beberapa permasalahan yang berkenaan dengan perpindahan panas pada suatu permukaan benda secara konduksi [5].

### 1. Perpindahan Panas pada Bidang Datar

Perpindahan panas secara konduksi pada bidang datar terbagi pada dua jenis yaitu:

#### a. Perpindahan Panas Tanpa Insulasi

Panas yang berpindah secara konduksi tanpa insulasi pada dua buah permukaan benda berbidang datar. Gambar 2.6 merupakan gambar skematik perpindahan panas konduksi tanpa insulasi pada bidang datar.

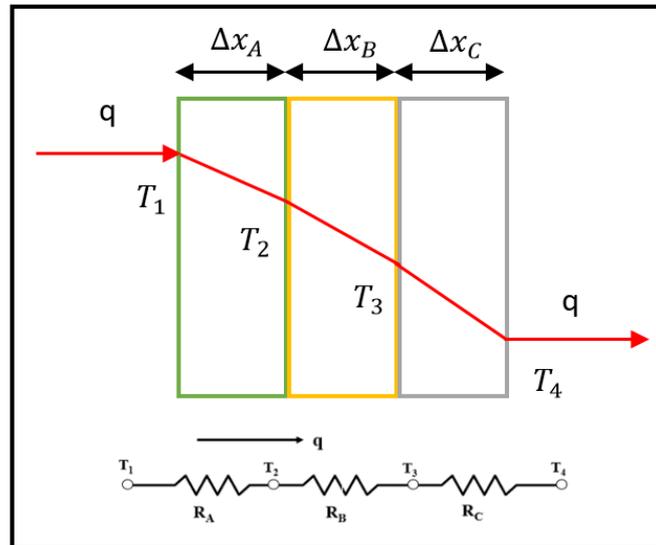


**Gambar 2.6** Skematik perpindahan panas konduksi pada bidang datar tanpa insulasi [5].

#### b. Perpindahan Panas dengan Insulasi

Panas yang berpindah secara konduksi dengan insulasi pada dua buah permukaan benda berbidang datar. Gambar 2.7 merupakan

gambar skematik perpindahan panas konduksi tanpa insulasi pada bidang datar.



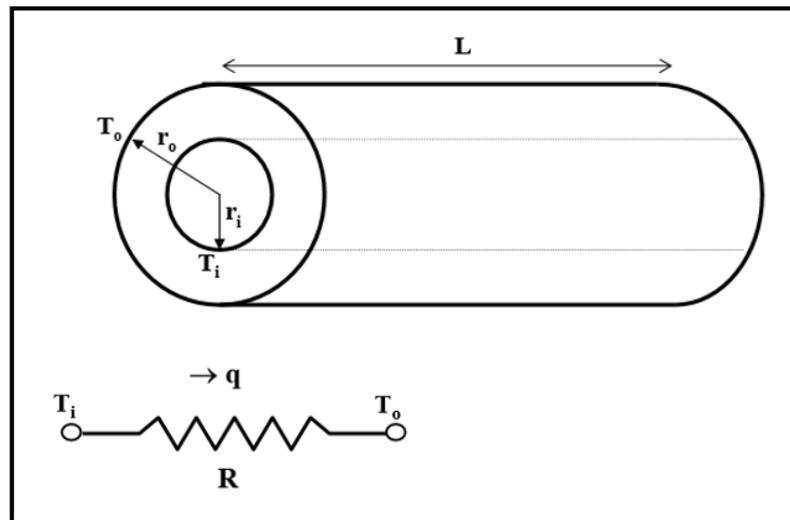
**Gambar 2.7** Skematik perpindahan panas konduksi pada bidang datar dengan insulasi [5].

## 2. Perpindahan Panas Pada Silinder Berongga

Perpindahan panas secara konduksi pada silinder berongga terdapat dua jenis yaitu:

### a. Perpindahan Panas Tanpa Insulasi

Panas yang berpindah secara konduksi tanpa insulasi pada dua buah permukaan benda silinder berongga. Gambar 2.8 merupakan gambar skematik perpindahan panas konduksi tanpa insulasi pada permukaan benda silinder berongga.



**Gambar 2.8** Skematik perpindahan panas konduksi tanpa insulasi pada benda silinder berongga [5]

Perpindahan panas pada benda silinder berongga dapat dianalisa melalui Persamaan (2.2):

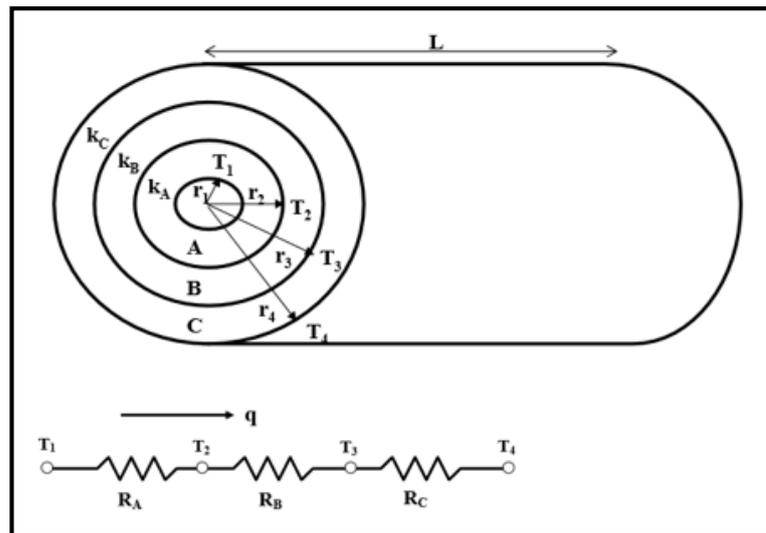
$$q = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \quad (2.2)$$

Dimana:

- $k$  = Konduktivitas Thermal (W/m.K)
- $L$  = Panjang Silinder (m)
- $t$  = Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $r$  = Jari-jari (m)

b. Perpindahan Panas Dengan Insulasi

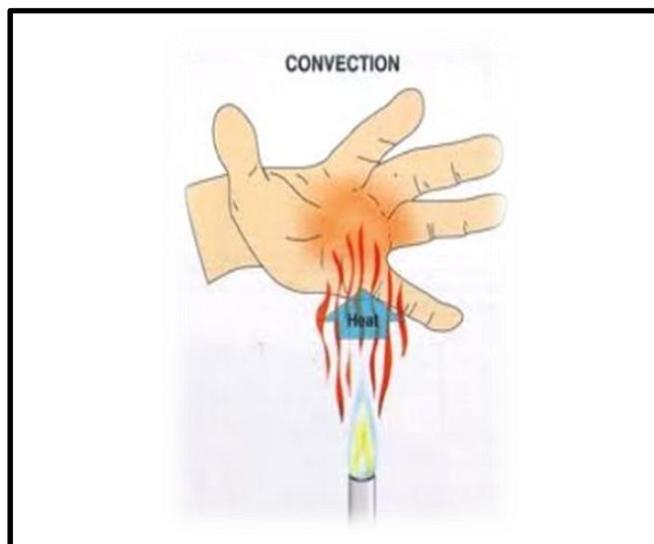
Panas yang berpindah secara konduksi dengan insulasi pada dua buah permukaan benda silinder berongga. Gambar 2.9 merupakan gambar skematik perpindahan panas konduksi dengan insulasi pada permukaan benda silinder berongga.



**Gambar 2.9** skematik perpindahan perpindahan panas konduksi pada dua buah permukaan benda silinder berongga [5]

### 2.7.1 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas). Perpindahan panas secara konveksi digambarkan dengan tangan yang terbakar oleh api. Gambar 2.10 merupakan ilustrasi dari perpindahan panas secara konveksi [5].



**Gambar 2.10** Ilustrasi perpindahan panas secara konveksi [5]

Perpindahan panas secara konveksi diformulasikan oleh hukum kedua termodinamika Newton. Hukum kedua termodinamika Newton menjelaskan bahwa perpindahan panas persatuan waktu dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas, luas penampang dan beda temperatur, ditunjukkan oleh Persamaan (2.3).

$$q_c = h_c A \Delta t \quad (2.3)$$

Dimana:

- $q_c$  = Perpindahan panas persatuan waktu
- $h_c$  = Koefisien perpindahan panas konveksi fluida (W/m.K)
- $A$  = Luas permukaan
- $\Delta t$  = Beda temperatur

Pada perpindahan panas konveksi, panas yang berpindah dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas menyeluruh,  $U$ . Koefisien perpindahan panas menyeluruh (*Overall heat transfer coefficient*) didefinisikan sebagai aliran panas menyeluruh sebagai hasil gabungan proses konduksi dan konveksi, ditunjukkan oleh Persamaan (2.4).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \Sigma \left( \frac{\Delta x}{k} \right) + \frac{1}{h_2}} \quad (2.4)$$

Dimana:

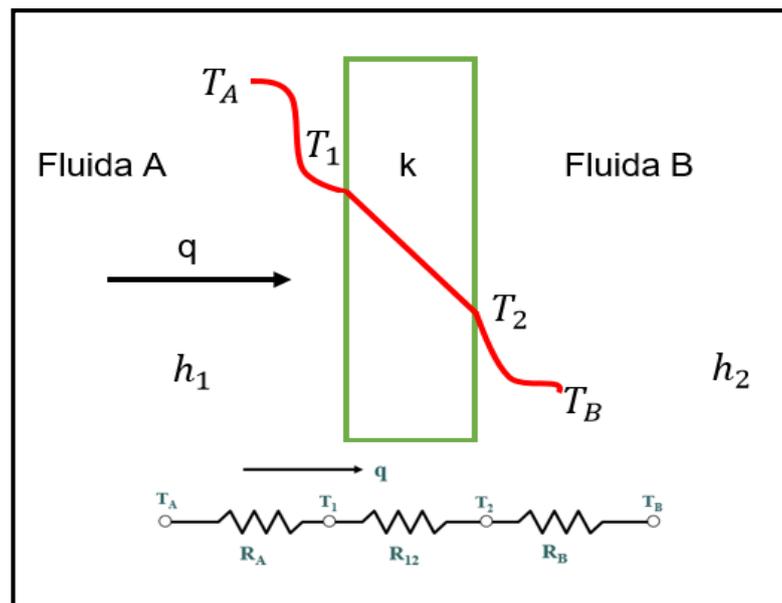
- $U$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m.K)
- $h_1$  = Koefisien perpindahan panas konveksi fluida 1 (W/m.K)
- $h_2$  = Koefisien perpindahan panas konveksi fluida 2 (W/m.K)
- $k$  = Koefisien perpindahan panas konduksi material (W/m.K)

$\Delta x$  = Tebal material (m)

Berikut akan dipaparkan beberapa permasalahan yang berkaitan dengan perpindahan panas secara konveksi pada suatu permukaan benda.

#### A. Koefisien Perpindahan Panas Secara Menyeluruh Pada Bidang Datar

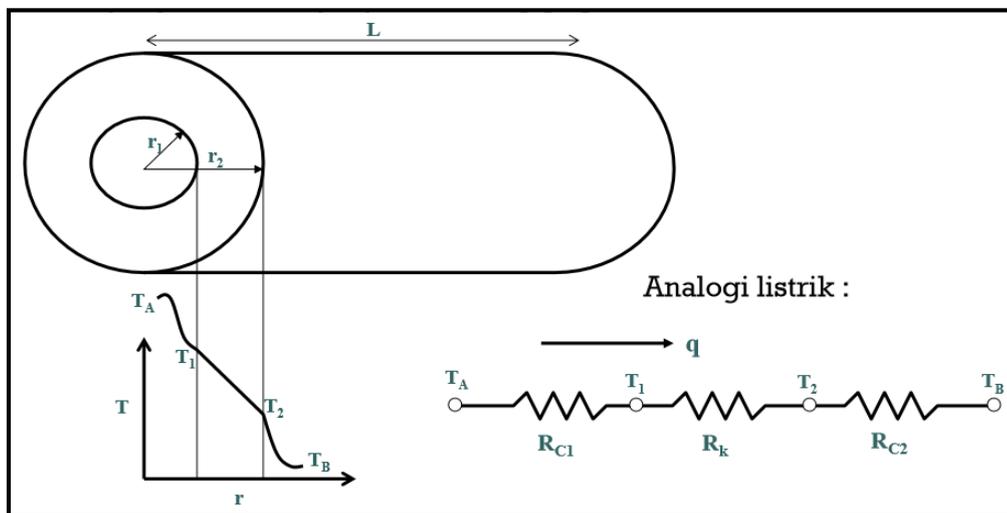
Panas berpindah dari suatu bidang datar dimana pada salah satu sisinya terdapat fluida panas A dan sisi lainnya terdapat fluida B yang temperaturnya lebih rendah dari temperatur fluida A. Gambar 2.12 merupakan gambar skematik perpindahan panas secara konveksi yang melibatkan koefisien perpindahan panas menyeluruh pada suatu bidang datar.



**Gambar 2.11** Perpindahan panas konveksi pada permukaan benda datar [5]

#### B. Koefisien Perpindahan Panas Secara Menyeluruh Pada Silinder Berongga

Suatu silinder berongga terkena lingkungan konveksi dipermukaan bagian dalam dan luar oleh fluida A dan fluida B. Temperatur kedua fluida adalah  $T_A$  dan  $T_B$ . Zat alir mengalir melalui pipa pada temperatur  $T_A$ . Perpindahan panas dari zat alir ke pipa secara konveksi diteruskan lewat pipa secara konduksi dan selanjutnya ke zat alir yang ada di luar pipa pada temperatur  $T_B$  secara konveksi. Gambar 2.13 merupakan gambar skematik perpindahan panas secara konveksi pada silinder berongga.



**Gambar 2.12** Skematik perpindahan panas konveksi pada ilinder berongga [5]

### 2.7.2 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi Adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik, tanpa memerlukan media perantara. Perpindahan panas secara radiasi diilustrasikan oleh seseorang yang sedang menghangatkan badan dekat perapian. Gambar 2.14 merupakan gambar ilustrasi perpindahan panas secara radiasi [5].



**Gambar 2.13** Ilustrasi perpindahan panas radiasi [5]

Perpindahan panas secara radiasi diformulasikan melalui Persamaan (2.5).

$$q_r = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2.5)$$

Dimana,

- $q_r$  = Perpindahan panas radiasi (W/m.K)
- $\varepsilon$  = Emisivitas benda hitam (W/m.K)
- $\sigma$  = Konstanta stefan-boltzman
- $A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)
- $T$  = Suhu mutlak permukaan benda (K)