

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Rachid Kibboua (2004) telah melakukan penelitian secara komprehensif tentang kondensasi laminar yang ditanam pada *porous media*. Dalam penelitian tersebut, pipa elips ditanam pada media berpori yang diisi dengan uap jenuh dengan mengambil tekanan eksternal berupa arsiran dan tegangan permukaan. Dan ditemukan hasil yang menunjukkan bahwa tabung dengan bagian elips yang ditanam pada media berpori memiliki tingkat yang lebih baik daripada transfer panas sebuah tabung silinder yang tidak ditanam pada media berpori. Kemudian ditemukan peningkatan yang signifikan dalam transfer panas saat menggunakan bahan berpori sedangkan tegangan permukaan tidak memiliki dampak yang berarti.

Frantisek Stepanek. (2006) melakukan penelitian dengan cara simulasi untuk mengetahui karakteristik media berpori dengan metode kapilaritas kondensasi. Penelitian tersebut menggunakan dua langkah yaitu simulasi dari kapilaritas kondensasi yang diberikan pada media berpori dengan melihat volume cairan, dan kemudian evaluasi metode dengan melihat distribusi ukuran pori yang dihitung dari fraksi yang diisi dengan volume cairan dan *vapor*. Kemudian didapatkan hasil, terdapat distribusi ukuran pori yang berbeda-beda, Kemudian pori dikelompokkan menjadi 3 kelompok media berpori yang ditinjau dari strukturnya. Yang pertama vycor glass, kedua nano partikel dan yang ketiga *porous solid* yang terbuat dari bahan yang padat

Eko Siswanto (2011) melakukan eksperimental *porous media* dengan mengamati kondensasi laminar tujuannya adalah agar diketahui bagaimana pengaruh perlakuan ambien temperatur terhadap aliran dinamik migrasi kondensat pada *porous media* dengan RH yang berbeda. Kemudian hasil dari penelitian eksperimental tersebut terbukti bahwa aliran yang diteliti tidak hanya seragam (dominan periodik), tetapi juga ditemukan aliran tidak seragam.

A. Alahmer (2011) melakukan studi dengan menghitung pengaruh perubahan kelembaban relatif pada jumlah panas yang dibuang dari kompartemen penumpang dan efek kelembaban relatif melalui desain pendinginan. Kemudian didapatkan hasil semakin besar kelembaban relatif dalam penumpang kompartemen, maka semakin berkurang

jumlah panas yang dibuang sehingga membuat sistem AC lebih efisien dalam hal konsumsi bahan bakar.

Haykal (2013) melakukan penelitian menggunakan metode numerik berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan memvariasikan posisi *inlet* terhadap perpindahan panas dan massa pada *cooling tower*. Dari simulasi numerik didapat adanya variasi posisi inlet memberikan perbedaan distribusi temperatur maupun kelembaban relatif sepanjang ruangan *cooling tower*, namun tidak memberikan perbedaan yang cukup signifikan di sisi keluaran *cooling tower*.

2.2 Kelembaban relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif (ϕ) adalah perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di dalam udara dan tekanan jenuh uap air pada temperatur yang sama. Berikut ini adalah rumus kelembaban relatif (ϕ) :

$$\phi = \frac{\text{tekanan uap air parsial}}{\text{tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama}} = \frac{p_s}{p_w} \text{ (Stoecker; 1996:40) (2-1)}$$

Dengan :

ϕ = kelembaban relatif [%]

p_s = tekanan parsial uap air (dalam keadaan jenuh) [Pa]

p_w = tekanan jenuh air murni (pada suhu yang sama) [Pa]

2.3 Media Berpori (*Porous Media*)

Media berpori adalah suatu fasa padat yang memiliki rongga-rongga didalamnya yang dapat dialiri oleh fluida yang berfungsi memperluas permukaan perpindahan panas. Misalnya: (air, minyak, dan gas). beberapa packing yang dipakai dalam kolom distilasi, adsorpsi, katalis, dsb.

Selain itu, media berpori juga diasumsikan dengan ilmu hidrologi serta tubuh manusia seperti pembuluh darah, filter dan membran biologis.

2.4 Porositas

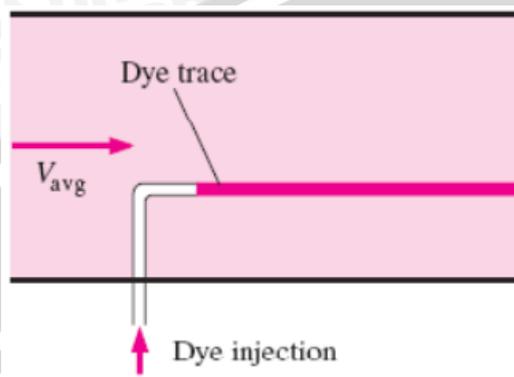
Porositas adalah perbandingan volume pori-pori terhadap volume keseluruhan material. Perbandingan ini dinyatakan dalam persen. Porositas dirumuskan sebagai berikut :

$$\phi = \frac{\text{volume pori-pori}}{\text{volume keseluruhan material}} \times 100\% \quad (2-2)$$

2.5 Aliran Laminar, Turbulen, dan Transisi

2.5.1 Aliran Laminar

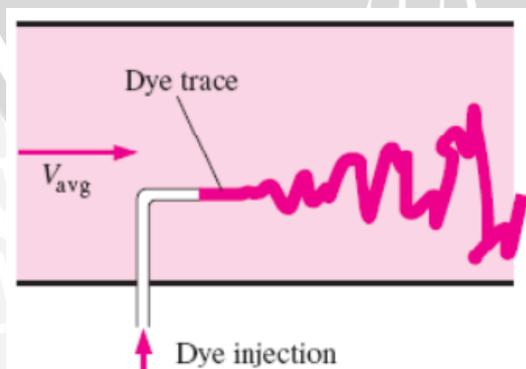
Fluida dengan aliran laminar adalah fluida yang alirannya memiliki lintasan lapisan batas yang panjang, sehingga seperti berapis-lapis yang mempunyai kecepatan yang relatif tinggi menuju lapisan yang mempunyai kecepatan relatif lebih rendah. Aliran laminar mempunyai bilangan Re kurang dari 2300. Pada Aliran laminar partikel fluida bergerak secara berurutan dengan kecepatan yang konstan pada lintasannya.



Gambar 2.1 : Aliran laminar pada sebuah pipa
Sumber : Cengel (2010:06)

2.5.2 Aliran Turbulen

Fluida yang alirannya tidak tenang (berputar-putar) disebut turbulen. Aliran turbulen mempunyai bilangan Re lebih dari 4000. Aliran turbulen memiliki ciri-ciri tidak mengikuti lintasan fluida, yang diakibatkan tingginya kecepatan fluida yang berfluktuasi dan bergerak secara acak. Kecepatan fluida yang bergerak mengakibatkan fluida saling berinteraksi dan bergerak secara acak sehingga proses perpindahan momentum dan massa terjadi dalam skala mikroskopik. Aliran turbulen yang acak meningkatkan laju pencampuran partikel dan merupakan proses difusi yang baik sehingga perpindahan panas yang terjadi meningkat.



Gambar 2.2 : Aliran turbulen pada sebuah pipa
Sumber : Cengel (2010:06)

2.5.3. Aliran Transisi

Fluida dengan aliran transisi adalah fluida yang alirannya merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran ini memiliki bilangan Reynold antara 2300-4000. Menurut hasil percobaan oleh Reynold, apabila bilangan Reynold kurang daripada 2300, aliran biasanya merupakan aliran laminar. Apabila bilangan Reynold lebih besar daripada 4000, aliran biasanya adalah turbulen. Sedang antara 2300 dan 4000 aliran dapat laminar ke turbulen tergantung pada faktor-faktor lain yang mempengaruhi.

2.6 Bilangan Reynold

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan Reynold digunakan untuk menentukan jenis aliran apakah yang terjadi, turbulen, laminar, atau transisi. Terdapat suatu angka tidak bersatuan yang disebut Angka Reynold (*Reynolds Number*). Bilangan *reynold* dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (\text{Potter, 1997: 260}) \quad (2-3)$$

dengan :

- v = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa [m/s]
- D = diameter pipa [m]
- ν = viskositas kinematik [m²/s]
- μ = viskositas absolut/dinamik [N.s/ m²]
- ρ = densitas [kg/m³]

Pada bilangan Reynold yang besar, gaya inersia yang berhubungan dengan densitas dan kecepatan fluida nilainya relatif lebih besar terhadap gaya viskositas. Sehingga gaya viskos tidak dapat menahan fluktuasi fluida yang cepat dan acak. Hal ini mengakibatkan timbulnya turbulensi pada aliran tersebut. Untuk bilangan Reynold yang kecil, maka gaya viskos fluida dapat menghambat gaya inersianya sehingga aliran fluida menjadi laminar. Berikut ini adalah gambar pola aliran fluida secara melintang (*cross flow*) yang melewati sebuah silinder dengan bilangan Reynold.

2.7 Grashof Number

Adalah angka tak berdimensi dalam dinamika fluida dan perpindahan panas yang mendekati rasio daya apung untuk gaya viskos yang bekerja pada fluida. Grashof number digunakan pada konveksi alamiah. Angka grashof ditemukan oleh Franz Grashof.

Dirumuskan sebagai berikut :

$$Gr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)d^3}{\nu^2} \quad (JP, Holman ; 1988 : 317) \quad (2-4)$$

Dimana :

Gr = Grashof number

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

β = Koefisien Ekspansi Termal (K^{-1})

T_w = Temperatur Dinding (K)

T_∞ = Temperatur *Free Stream* (K)

d = Diameter pipa (m)

ν = Viskositas Kinematik (m^2/s)

2.8 Prandtl Number

Bilangan prandtl adalah perbandingan antara difusivitas momentum (viskositas kinematik) dengan difusivitas thermal. Bilangan Prandtl dapat ditemukan dalam tabel properti bersama sifat-sifat fluida lainnya seperti viskositas dan konduktivitas termal.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k} \quad (Cengel ; 2011; 341) \quad (2-5)$$

Dimana :

Pr = Prandtl number

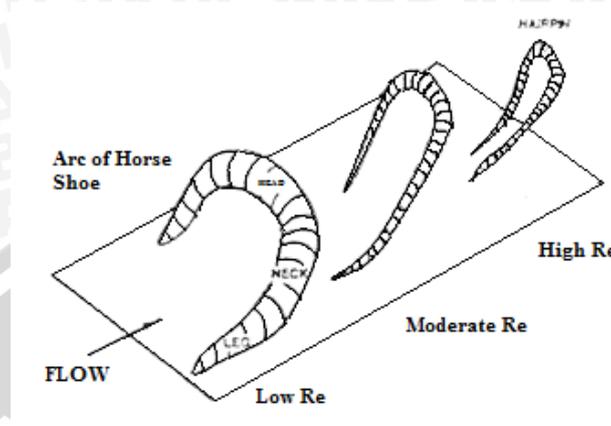
ν = Viskositas Kinematik (m^2/s)

α = Difusivitas Termal (m^2/s)

2.9 Vortex

Vortex dapat didefinisikan sebagai massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (*streamline*) membentuk lingkaran konsentris. Gerakan vortex berputar disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antar lapisan fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. Vortex sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh di dalamnya. Wujud dari *vortex* adalah tiga

dimensi dan nilai bilangan *Reynolds* dapat menyebabkan berubahnya *vortex*. *Vortex* akan berbentuk seperti tapal kuda untuk bilangan *Reynolds* yang rendah, dan akan semakin tinggi bilangan reynold semakin meruncing bentuknya seiring semakin besarnya nilai bilangan Reynolds.



Gambar 2.3 Geometri *Vortex* menurut besar bilangan *Reynolds*.
Sumber: Gerhart (1985: 607).

2.10 Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Semakin besar viskositas suatu fluida, maka semakin sulit fluida mengalir dan semakin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Koefisien viskositas adalah besaran yang digunakan untuk menentukan viskositas zat cair. Satuan SI untuk koefisien viskositas adalah Ns/m^2 atau pascal sekon (Pa.s). Viskositas merupakan sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut (Streeter, 1986: 8). Hukum viskositas Newton menyatakan bahwa tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas untuk laju perubahan bentuk sudut fluida yang tertentu maka tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tergantung pada kohesinya dan pada laju perpindahan momentum molekularnya. Viskositas dapat diamati ketika menjatuhkan sebutir kelereng ke dalam gelas kaca yang berisi minyak goreng, maka kelereng tersebut akan mengalami perlambatan dalam kecepatan. Hal ini terlihat ketika kelereng jatuh lebih lambat saat berada di dalam minyak goreng dibandingkan saat masih di udara. Perlambatan yang terjadi dikarenakan adanya gesekan di dalam fluida. Saat kelereng di dalam minyak goreng, kelereng mengalami tiga gaya, yaitu gaya berat, gaya ke atas fluida, dan gaya gesekan fluida. Alat yang digunakan untuk mengukur viskositas yaitu viskometer. Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu

2.10.1 Viskositas Dinamik

Yaitu rasio antara shear, stress, dan shear rate. Viskositas dinamik disebut juga koefisien viskositas. Dapat dituliskan persamaan 2-6 sebagai berikut :

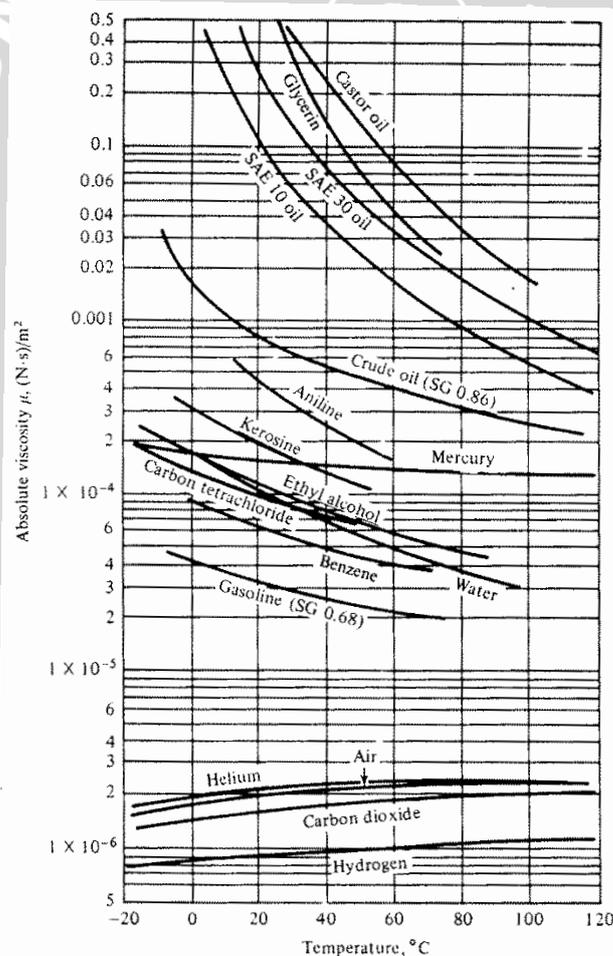
$$F = \mu \cdot \frac{AU}{t} \quad (\text{Streeter, 1996: 4}) \quad (2-6)$$

Dengan:

F = gaya geser pada fluida [N]

μ = viskositas Absolut [N.s/ m²]

U/t = kecepatan sudut garis ab atau laju perubahan bentuk sudut fluida dan dapat ditulis du/dy [m²/s]



Gambar 2.4 Viskositas dinamis berbagai fluida pada 1 atm.
Sumber: White (1994: 387)

2.10.2 Viskositas Kinematik

Viskositas dinamik dibagi dengan densitasnya. Viskositas ini dinyatakan dalam satuan stoke (St) pada cgs dan m^2/s pada SI. Berikut ini persamaanya :

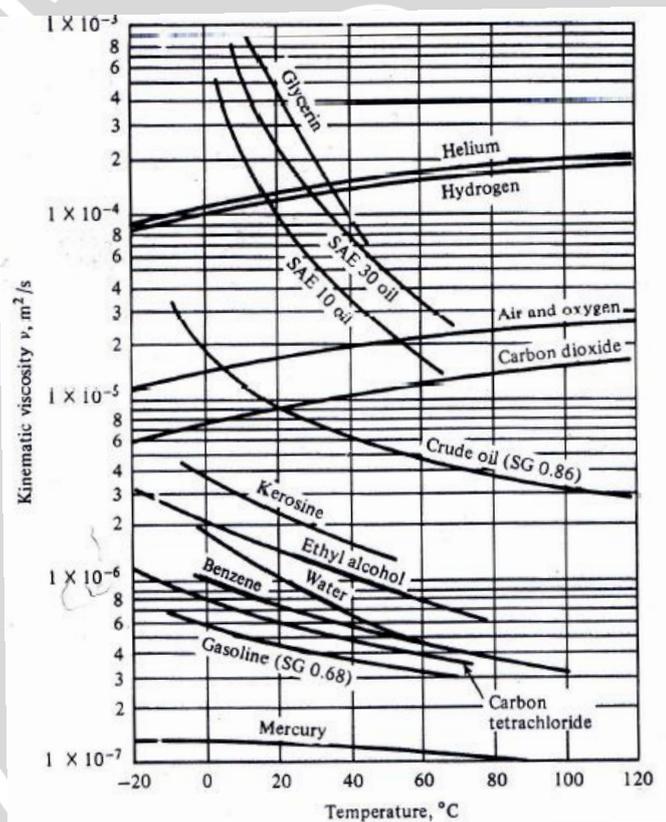
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{White, 1994: 23}) \quad (2-7)$$

dengan :

ν = viskositas kinematik [m^2/s]

μ = viskositas dinamik [$N.s/m^2$]

ρ = densitas / massa jenis [kg/m^3]



Gambar 2.5 Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm.
Sumber: White (1994: 388).

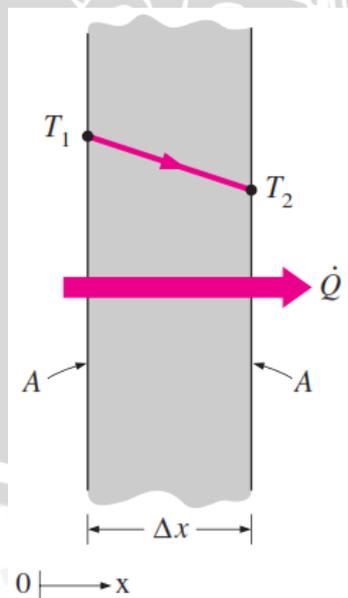
2.11 Perpindahan Panas

Perpindahan panas didefinisikan sebagai transfer energi dari suatu sistem ke sistem lainnya diakibatkan oleh perbedaan temperatur, perpindahan panas terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem yang bersuhu rendah dan kemudian berhenti setelah kedua sistem

mencapai temperatur yang sama, syarat utama terjadinya perpindahan panas adalah perbedaan temperatur. Perpindahan panas tidak akan terjadi apabila dari kedua sistem mempunyai temperatur yang sama. Terdapat tiga metode perpindahan panas yaitu perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi.

2.11.1 Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah di dalam medium yang bersinggungan langsung. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan panas serta energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa energi akan berpindah secara konduksi. Perpindahan kalor konduksi dapat terjadi baik pada benda padat, benda cair dan gas. Pada benda padat perpindahan kalor konduksi terjadi karena kombinasi getaran molekul pada kisi-kisinya dan perpindahan energi oleh elektron bebas, dimana pada saat dipanaskan gerakan dari atom dan elektron bebas yang sebelumnya bergetar dengan setimbang akan berubah menjadi getaran yang lebih besar sehingga menumbuk atom-atom dan elektron disekitarnya sedangkan pada benda cair dan gas perpindahan kalor konduksi terjadi karena adanya tumbukan dan difusi pada molekul selama mengalami gerak acak yang diakibatkan oleh kenaikan temperatur. Berikut ini merupakan gambar perpindahan panas konduksi melalui sebuah dinding.



Gambar 2.6 Perpindahan panas konduksi
Sumber: Cengel (2003:18)

Dapat dirumuskan sebagai berikut:

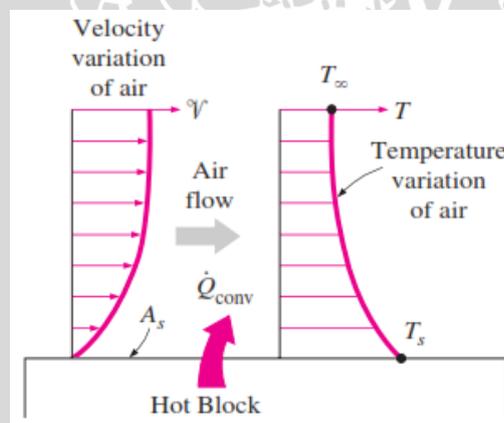
$$Q = -k e. A \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x} \quad (\text{Incropera, 1996 :45}) \quad (2-8)$$

Dimana :

- Q = Laju perpindahan panas konduksi (Watt)
 k = Konduktivitas termal bahan (W/m °C)
 A = Luas penampang pada posisi normal arah perpindahan panas (m²)
 (T₁-T₂) = Beda temperatur pada penampang (°C)
 ΔX = Tebal material (m)

2.11.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan kalor antara permukaan padat dengan fluida cair maupun gas yang bergerak dan melibatkan konduksi serta gerakan dari fluida tersebut. Semakin cepat gerak fluida maka laju perpindahan kalor konveksi juga akan semakin tinggi, adanya gerakan fluida akan semakin cepat menggantikan fluida yang telah panas disekitar permukaan benda padat dengan fluida dingin atau sebaliknya sehingga dihasilkan temperatur fluida yang lebih dingin atau lebih panas pada lapisan-lapisan fluida yang saling berinteraksi melakukan perpindahan panas, hal ini menyebabkan laju perpindahan kalor akan semakin tinggi.



Gambar 2.7 Perpindahan panas konveksi dari suatu plat
 Sumber: Cengel (2003:26)

Laju perpindahan panas konveksi pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = - hA (T_w - T_\infty) \quad (\text{J.P. Holman, 1994: 11}) \quad (2-9)$$

Dengan :

- Q = Laju aliran panas konveksi (Watt)

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2C)

A = Luas penampang (m^2)

T_w = Temperatur dinding ($^{\circ}C$)

T_{∞} = Temperatur sekeliling ($^{\circ}C$)

Tanda minus (-) pada rumus diatas digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+). Koefisien perpindahan panas (h) menyatakan besarnya laju perpindahan panas di daerah dekat dengan pada permukaan, koefisien perpindahan panas konveksi bukan merupakan properti dari fluida, dapat ditentukan pada sifat – sifat fluida, dan kecepatan aliran fluida. Sehingga koefien perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh keadaan.

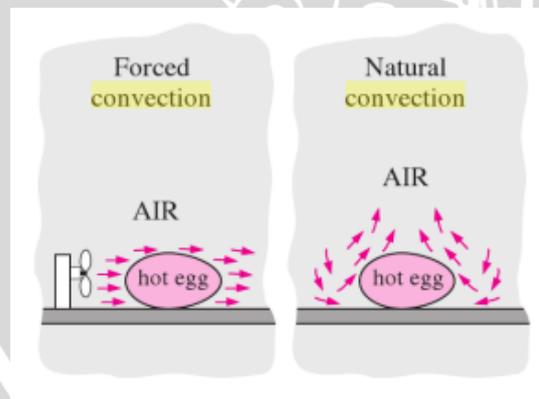
Berdasarkan gerakan fluida perpindahan panas konveksi dikelompokkan menjadi

1. Konveksi Bebas (*Free Convection*)

Pada konveksi bebas gerakan perpindahan fluida terjadi karena adanya perbedaan densitas atau kerapatan fluida yang disebabkan oleh adanya perbedaan atau gradien temperatur, proses ini terjadi secara alamiah sehingga sering disebut konveksi alami.

2. Konveksi Paksa (*Forced Convection*)

Pada konveksi paksa terdapat adanya gaya atau energi dari luar, misalnya oleh pompa,kipas (*fan*) atau blower. Perpindahan panas yang dihasilkan akan lebih tinggi dari konveksi bebas.



Gambar 2.8 Perpindahan panas konveksi paksa dan konveksi bebas pada sebuah telur
Sumber: Cengel (2003:94)

Pada penelitian ini radiasi diabaikan dikarenakan temperature yang digunakan dibawah $100^{\circ}C$

2.12 Konduktivitas Thermal

Konduktivitas termal dari material dapat didefinisikan sebagai laju perpindahan panas melalui ketebalan unit bahan per satuan luas per perbedaan suhu. Konduktivitas termal material adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Harga tertinggi untuk konduktivitas termal menunjukkan bahwa material adalah konduktor panas yang baik, dan harga terendah untuk konduktivitas termal menunjukkan bahwa material adalah bukan penghantar panas yang baik atau disebut isolator.

2.12.1 Konduktivitas Termal Efektif

Media berpori akan bersentuhan dengan *vapor* yang memasuki *chamber* dan akan mengisi pori – pori yang ada pada media berpori. Oleh karena itu, selama perpindahan panas berlangsung *porous media* memiliki perubahan konduktivitas termal efektif. Konduktivitas termal efektif tersebut adalah konduktivitas termal efektif lapisan porous media dengan *void*-terisi *vapor*

Konduktivitas termal efektif porous media dalam kondisi vapor-void k_{eff} didefinisikan sebagai,

$$K_{eff} = \left[(1 - \varepsilon^{2/3}) + \frac{\varepsilon^{2/3}}{(1 - \varepsilon^{1/3}) + \varepsilon^{1/3} (k_p/k_a)} \right] k_p \quad (2-10)$$

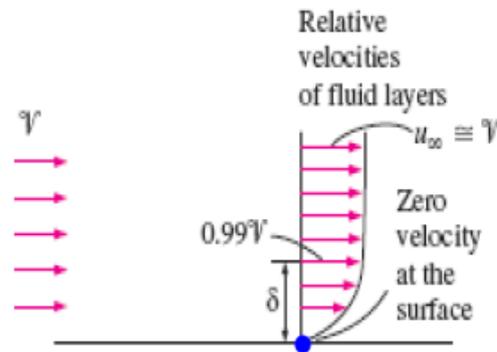
dimana

- ε : porositas *porous media*, (%)
- k_p : konduktivitas termal partikel porous media (W/m°C)
- k_a : konduktivitas termal *vapor* (W/m°C)

2.13 Lapisan batas

2.13.1 Lapisan batas kecepatan (*Velocity Boundary Layer*)

Untuk mengenal konsep dari lapisan batas, Fluida dianggap mengalir diatas plat datar hingga pada suatu titik tertentu maka akan membentuk lapisan batas dan kecepatan fluida, dimana viskositas diabaikan dianggap tidak berpengaruh. Pada gambar 2.12 ketika partikel-partikel fluida bersentuhan dengan permukaan diasumsikan kecepatannya nol. (*no slip*). Partikel-partikel ini kemudian beraksi untuk memperlambat gerakan dari partikel-partikel dalam lapisan fluida sambungan yang mana beraksi untuk memperlambat gerakan dan partikel-partikel dalam lapisan selanjutnya dan demikian seterusnya.

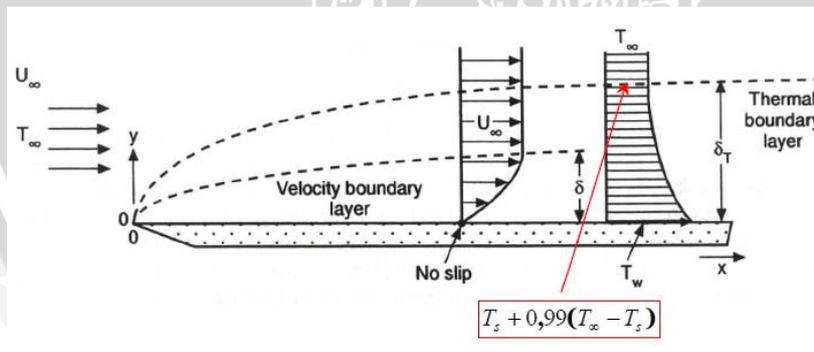


Gambar 2.9 Velocity Boundary Layer

Sumber : Cengel ; 2011 : 340

2.13.2 Lapisan Batas Termal (Thermal Boundary Layer)

Selain lapisan batas kecepatan juga terdapat lapisan batas termal apabila fluida dengan temperature tertentu mengalir di atas suatu permukaan dengan temperatur yang berbeda. Lapisan batas termal dapat diartikan sebagai sebagai fluida didalam daerah gradient temperatur. Terjadinya proses pertukaran panas antara fluida dengan permukaan dinding bagian dalam membentuk gradient temperatur. Perbedaan lapisan batas kecepatan dengan lapisan batas termal adalah, lapisan batas kecepatan berkembang ketika hanya ada fluida yang mengalir diatas permukaan, sedangkan lapis batas thermal akan berkembang jika fluida aliran bebas dan temperatur permukaan berbeda. Gambar dibawah ini memberikan penjelasan mengenai *thermal boundary layers* yang terjadi pada pipa bundar



Gambar 2.10 Thermal Boundary Layer

Sumber :Incopera, Frank P ; 1996 : 290

Pada *inlet* pipa, temperatur T_s adalah aliran fluida seragam karena lapisan batasnya mulai berkembang. Mengalirnya suatu fluida menyebabkan ketebalan lapisan batas akan selalu bertambah. Selanjutnya terjadi geseran antara fluida dan dinding dan antar partikel-partikel yang berdampingan hingga ketebalan mencapai pusat pipa. Pada daerah *inlet*, apabila temperatur fluida lebih besar dibandingkan dengan temperatur dinding, maka gradien

temperatur fluida di dalam boundary layer dan temperturnya akan menjadi lebih kecil dibandingkan di luar *boundary layer*.

2.14 ANSYS Workbench

ANSYS *Workbench* adalah suatu program yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan metode numerik atau perangkat lunak simulasi rekayasa yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*). Pengembangan perangkat lunak ANSYS ini bertempat di *Southpointe business park, Cecil Township, Pennsylvania, Amerika Serikat*. Perusahaan tersebut didirikan oleh Dr. John A. Swanson pada tahun 1970 sebagai Swanson Analysis Systems, Inc (SASI), yang tujuan utamanya adalah untuk mengembangkan dan memasarkan analisis elemen hingga perangkat lunak untuk fisika structural yang bisa mensimulasikan permasalahan statis, dinamis, dan perpindahan panas. SASI kemudian mengembangkan bisnisnya dengan berkembangnya teknologi computer dan rekayasa sesuai kebutuhan. Kemudian pada tahun 1994 SASI dijual kepada TA *Associates* yang kemudian diberi nama ANSYS perangkat lunak yang terkemuka, sebagai produk andalan mereka. Dan perusahaan tersebut diberi nama baru yaitu ANSYS, Inc. ANSYS terus berkembang terhadap permodelan di bidang rekayasa. Berikut ini adalah produk dari ANSYS :

1. Workflow Technology

- ANSYS *Workbench*
- *Geometry Interfaces*
- *Simulation process and Data Management*
- *High Performance Computing*

2. Simulation Technology

- *Systems and Multiphysics*
- *Electronics*
- *Structural Analysis*
- *Fluid Dynamics*

2.15 Hipotesa

Semakin tinggi *relative humidity* pada *vapor* maka semakin besar laju perpindahan panas yang terjadi pada *porous media*, sehingga gradien temperatur yang dihasilkan pada *porous media* akan semakin besar.