

UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR LORONG UDARA TERHADAP KOEFISIEN PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PELAT DATAR

Jotho *)

ABSTRAK

Perpindahan panas dapat berlangsung melalui salah satu dari tiga cara : konduksi , radiasi dan konveksi. Mekanisme perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas melalui medium stasioner seperti tembaga , air atau udara. Perpindahan panas secara radiasi terjadi karena adanya pancaran foton yang terorganisir . Perpindahan panas secara konveksi terjadi pada fluida yang mengalir pada suatu benda padat atau mengalir di dalam suatu saluran sedangkan temperatur fluida dan benda padat berbeda sehingga akan terjadi perpindahan panas antara fluida dan benda padat, apabila perpindahan panas ini dibantu dengan kipas angin (fan) maka dinamakan dengan perpindahan panas secara konveksi paksa.

PENDAHULUAN

Pemanasan dan pendinginan fluida yang mengalir di dalam saluran tertutup merupakan satu di antara proses-proses perpindahan panas yang penting dalam perekayasaan. Didalam literatur dikenal ada tiga mekanisme perpindahan panas , yaitu : konduksi , konveksi dan radiasi . Mekanisme perpindah panas konduksi yaitu proses perpindahan melalui medium stasioner seperti : tembaga, air atau udara. Mekanisme perpindahan panas radiasi yaitu perpindahan oleh pancaran foton yang tak terorganisir. Perpindahan panas konveksi merupakan perpindahan energi dari benda-benda padat dan fluida yang bergerak.

Pelat logam yang panas akan cepat menjadi dingin apabila ditaruh kipas angin (fan) dibandingkan dengan ditempatkan pada udara tenang. Proses perpindahan panas seperti ini dinamakan dengan proses perpindahan panas konveksi.

PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI

Bila fluida mengalir pada suatu benda padat atau mengalir di dalam suatu saluran sedangkan temperatur fluida dan permukaan benda padat berbeda , maka akan terjadi perpindahan panas antara fluida dan permukaan benda padat, sebagai akibat dari gesekan fluida relatif terhadap permukaan. Mekanisme perpindahan panas seperti ini disebut perpindahan panas secara konveksi. Apabila pergerakan fluida dilakukan dengan bantuan alat lain seperti kipas angin (fan)

*) Jur Teknik Mesin Fakultas TekniknUniversitas Pandanaran

maka dinamakan perpindahan panas secara konveksi paksa. Jika pergerakan fluida terjadi akibat efek mengambang (buoyancy effect) akibat perbedaan temperatur dalam fluida, perpindahan panas seperti ini dinamakan dengan perpindahan panas secara konveksi bebas.

Perpindahan panas secara konveksi antara batas benda padat dan fluida terjadi dengan adanya suatu gabungan dari konduksi dan angkutan (transport) massa. Jika batas tersebut bertemperatur lebih tinggi dari fluida, maka panas terlebih dahulu mengalir secara konduksi dari benda padat ke partikel-partikel fluida di dekat dinding.

Energi yang di pindahkan secara konduksi ini meningkatkan energi di dalam fluida dan terangkut oleh gerakan fluida. Bila partikel-partikel fluida yang terpanaskan itu mencapai daerah yang temperaturnya lebih rendah, maka panas berpindah lagi secara konduksi dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin.

Karena kecepatan fluida pada permukaan pelat adalah nol maka perpindahan panas pada bagian permukaan pelat ini terjadi secara konduksi.

Dalam aliran laminar fluida bergerak dalam bentuk lapisan-lapisan, masing-masing partikel fluida mengalir mengikuti lintasan dengan lancar dan kontinu. Partikel-partikel fluida berada dalam urutan yang teratur pada setiap lapisan. Perpindahan panas antara pelat dan fluida terjadi secara konduksi molekuler dalam fluida.

Pada aliran turbulen fluida bergerak secara acak serta tidak teratur, menghasilkan pencampuran silang atau pusaran (eddy) yang membawa gumpalan-gumpalan fluida melintasi garis-garis aliran. Partikel-partikel ini berperan sebagai pembawa energi dan pemindah energi dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain dari fluida tersebut. Oleh karena itu kenaikan laju pencampuran akan menaikkan laju aliran panas dengan cara konveksi.

Untuk mempermudah perhitungan perpindahan panas antara permukaan yang lebih panas dengan temperatur T_w dan fluida yang mengalir dengan temperatur T_f , laju aliran panas didefinisikan sebagai :

$$q = h (T_w - T_f)$$

dimana :

$$q = \text{fluks panas (watt / m}^2 \text{)}$$

$$h = \text{koefisien perpindahan panas konveksi (watt / m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$T_w = \text{temperatur permukaan pelat (} ^\circ\text{C)}$$

$$T_f = \text{temperatur fluida yang mengalir (} ^\circ\text{C)}$$

Akan tetapi sebaliknya untuk perpindahan panas dari fluida yang lebih panas dengan temperatur T_f dan permukaan pelat yang lebih dingin T_w didefinisikan sebagai :

$$q = h (T_f - T_w)$$

Koefisien perpindahan panas konveksi h bervariasi terhadap jenis aliran (aliran laminar atau turbulen), sifat-sifat fisik fluida, temperatur rata-rata , juga dipengaruhi oleh mekanisme perpindahan panas konveksi .

Dalam memahami fenomena konveksi paksa aliran di dalam pipa yang terjadi, perlu diketahui parameter-parameter yang mempengaruhinya. Laju perpindahan panas konveksi pada beda temperatur yang ada dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_c = h_c \cdot A (T_{\text{permukaan}} - T_{\text{fluida}})$$

dimana koefisien perpindahan panas konveksi h_c dapat dihitung dari bilangan Nusselt (Nu) :

$$Nu = \frac{h_c \cdot D_h}{k}$$

Bagi aliran di dalam pipa dan saluran, panjang penting dalam bilangan Nusselt adalah garis tengah hidrolik yaitu D_h yang didefinisikan :

$$D_h = 4 \frac{\text{luas penampang aliran}}{\text{keliling basah}}$$

Untuk pipa dan tabung , luas penampang aliran $\pi D^2/4$ dan keliling basahnya πD maka diameter hidroliknya adalah sama dengan diameter dalam pipa $D_h = D$.

Dalam praktek rekayasa harga bilangan Nusselt untuk aliran didalam pipa biasanya ditentukan dari nilai-nilai empirik berdasarkan hasil eksperimen. Hasil-hasil eksperimen yang diperoleh dari eksperimen konveksi paksa dapat dikorelasikan dengan persamaan :

$$Nu = \phi (Re) \cdot \psi (Pr)$$

Dimana simbol ϕ dan ψ menandakan fungsi bilangan Reynold dan bilangan Prandtl.

Koefisien perpindahan panas konveksi (h_c) yang digunakan untuk membentuk bilangan Nusselt bagi perpindahan panas dari dinding saluran ke fluida yang melewatinya bergantung pada pemilihan temperatur acuan fluida . untuk fluida yang mengalir pada permukaan datar temperatur fluida yang jauh dari panas umumnya konstan.

Di dalam pipa panjang , dimana pengaruh lubang masuk diabaikan , dan alirannya termasuk jenis aliran laminar apabila nilai bilangan Reynolds di bawah 2100 . Dan termasuk jenis aliran peralihan dari laminar ke turbulen apabila harga bilangan Reynolds berkisar antara 2100 sampai 10000 . Untuk bilangan Reynolds di atas 10000 aliran menjadi turbulen penuh.

Jika sebuah pelat datar berada dalam keadaan diam ditempatkan di dalam aliran fluida yang kecepatannya U_∞ dan sejajar dengan pelat tersebut maka aliran fluida dekat permukaan pelat akan diperlambat akibat pengaruh viskositas fluida. Kecepatan fluida pada permukaan pelat adalah nol dan kecepatan fluida yang berada jauh dari pelat adalah U_∞ . Daerah dekat pelat yang dipengaruhi oleh viskositas dinamakan lapisan batas hidrodinamik.

Apabila terdapat perbedaan temperatur antara pelat dengan fluida maka selain lapisan batas hidrodinamik akan terdapat pula lapisan batas termal. Temperatur fluida yang berada pada permukaan pelat sebesar T_w dan temperatur yang berada jauh dari pelat besarnya adalah T_∞ . Tebal lapisan batas termal δ_t didefinisikan sebagai jarak dari pelat kesuatu titik yang temperaturnya mencapai 99 % dari harga T_∞ .

Untuk lapisan batas laminar di atas pelat datar dengan kecepatan aliran utama konstan dan temperatur pelat seragam maka diperoleh persamaan :

$$h_{cx} = 1,66 \, k / \delta_t$$

dimana :

h_{cx} = koefisien perpindahan panas konveksi lokal

k = konduktivitas termal fluida

δ_t = tebal lapisan batas termal

Persamaan ini menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas konveksi akan meningkat apabila tebal lapisan batas berkurang. Pengisapan pada pelat datar akan mempengaruhi tebal lapisan batas. Dengan berkurangnya tebal lapisan batas, koefisien perpindahan panas konveksi akan meningkat. Apabila suatu fluida berada di atas permukaan benda, distribusi kecepatan dan temperatur dari permukaan mempengaruhi perpindahan panas secara konveksi.

Berbagai pendekatan yang lazim dilakukan untuk gejala perpindahan panas konveksi paksa turbulen didasarkan atas analogi antara perpindahan energi dengan perpindahan momentum. Pendekatan dengan hakekat yang disederhanakan telah dijabarkan dengan pemisalan teoritik, dikenal dengan analogi Reynolds dihasilkan dengan menganggap bahwa mekanisme fluks energi identik dengan mekanisme fluks momentum bagi aliran fluida yang turbulen dengan ketentuan bilangan Prandtl turbulen (Pr_t) sama dengan satu. Dalam hal ini mekanisme transpor energi dan momentum diabaikan karena pengaruhnya sangat kecil pengaruhnya.

Aliran turbulen mempunyai kecepatan yang tidak teratur, berfluktuasi dalam ruang dan waktu. Ketidakteraturan arah dan derajat fluktuasi kemudian digambarkan sebagai faktor pusaran dalam kegiatan turbulen. Pola aliran turbulen yang sudah mantap apabila diamati dari acuan yang bergerak mengikuti aliran dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan pusaran yang kecil mulai tumbuh dari daerah bertegangan geser besar dengan intensitas yang tinggi. Komponen pusaran tersebut kemudian berdifusi ke dalam inti aliran dengan intensitas yang semakin merosot.

Dalam perjalanannya ke inti aliran, pusaran-pusaran kecil bisa berkelompok menjadi pusaran yang lebih besar . Dengan berubahnya waktu , gumpalan-gumpalan fluida berpindah dan berinteraksi satu dengan yang lain dengan bercampur aduk .

Cara interaksi fluida semacam ini merupakan media perpindahan yang baik bagi perpindahan panas, sehingga koefisien perpindahan panasnya lebih besar dibandingkan dengan perpindahan panas dalam aliran laminar yang berlangsung dengan mekanisme perpindahan molekular.

Selanjutnya Reynold menganggap bahwa pada aliran turbulen pengaruh difusivitas dan viskositas molekular diabaikan , dengan kata lain hanya mekanisme turbulen yang dominan.

Setelah dilakukan berbagai pengujian, ternyata hasil analogi Reynold memberikan prediksi yang cukup baik , tetapi terbatas hanya pada fluida yang bilangan Prandtl-nya mendekati satu ($Pr=1$).

Walaupun hasil yang diperoleh mempunyai kisaran Pr yang terbatas, analogi antara perpindahan panas dengan perpindahan momentum dapat diusulkan sebagai pendekatan untuk gejala perpindahan panas konveksi paksa pada aliran turbulen.

Konsep yang digunakan untuk mencari koefisien perpindahan panas konveksi adalah didasarkan kepada dua mekanisme perpindahan panas yaitu perpindahan panas secara konduksi dan perpindahan panas secara konveksi. Material yang mengalami perpindahan panas secara konduksi terbuat dari logam pejal yang berbentuk silinder dan mempunyai nilai konduktivitas termal tertentu . Logam ini dilapisi dengan bahan isolator tahan panas yang terbuat dari asbes dan gips. Pengisolasian bertujuan untuk menjaga panas yang terjadi di dalam logam tersebut berjalan pada satu arah (satu dimensi) dan untuk mengurangi panas ke arah radial sehingga mempermudah di dalam perhitungan

Pada lorong udara dipasang pemanas yang berfungsi untuk mengatur temperatur udara dalam lorong . Panas yang terjadi di dalam lorong udara dialirkan dengan cara menghidupkan fan . Dengan mengalirnya panas di dalam lorong udara tersebut maka akan terjadi perpindahan panas secara konveksi antara pelat datar dengan fluida yang mengalir.

Berdasarkan penjelasan perpindahan panas di atas maka berlaku persamaan :

$$k.A.(T_w - T) / L = h_c . A_c . (T_{\infty} - T_w)$$

$$h_c = \frac{k.A.(T_w - T)}{L.A_c.(T_{\infty} - T_w)}$$

Karena $A = A_c$ maka persamaannya menjadi :

$$h_c = \frac{k.(T_w - T)}{L.(T_{\infty} - T_w)}$$

Dimana :

H_c = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2{}^{\circ}C$)

k = konduktivitas termal bahan ($W/m{}^{\circ}C$)

T = temperatur tengah spesimen benda uji ($^{\circ}C$)

T_w = temperatur permukaan spesimen benda uji ($^{\circ}C$)

T_{∞} = temperatur fluida dalam lorong udara ($^{\circ}C$)

L = jarak antara titik T dan T_w (m)

Di dalam eksperimen ini parameter yang kita uji adalah nilai T , T_w dan T_{∞} adapun parameter-parameter yang lain besarnya sudah tetap dan tidak mengalami perubahan .

Sedangkan parameter temperatur mengalami perubahan dengan berubahnya temperatur yang ada pada lorong udara.

PROSES PENGAMBILAN DAN ANALISA DATA

Pengambilan data dilakukan dari kondisi transien sampai kondisi tunak (steady state) dengan selang waktu tiap perubahan suhu jarum penunjuk termocontroller 5 menit dan setiap data 60 detik. Perhitungan untuk menentukan korelasi berbagai parameter dilakukan pada kondisi tunak yang ditandai dengan tidak adanya perubahan temperatur spesimen benda uji terhadap waktu pada kecepatan aliran udara tertentu.

Parameter-parameter yang diukur dalam pengujian :

1. Temperatur pada pertengahan spesimen benda uji (termokopel)
2. Temperatur pada permukaan spesimen benda uji (termokopel)
3. Temperatur udara pada tengah-tengah terowongan (termokopel)
4. Temperatur ruangan (termometer)
5. Tekanan ruangan (barometer)
6. Laju aliran masuk dalam terowongan (anemometer turbin)

Pada proses perpindahan panas konveksi paksa ini, lorong udara dipasang sebuah pemanas untuk memberikan panas pada lorong udara dan dialirkan dengan ditarik oleh sebuah fan sehingga terjadi perpindahan panas menuju spesimen benda uji yang terbuat dari bahan duralumin. Pemanas yang digunakan dengan daya 1000 watt.

Saluran udara berfungsi sebagai jalan masuk (inlet) dan jalan keluarnya (outlet)

Udara dan sekaligus sebagai ruang uji. Saluran udara dalam pengujian ini terbuat dari kayu karena merupakan salah satu bahan isolator sebagai bahan penghambat hantaran panas.

Spesimen benda uji yang terbuat dari duralumin yang mempunyai nilai konduktivitas termal rata-rata yang cukup tinggi sebesar $164 \text{ watt/m}^\circ\text{C}$

Fungsi spesimen uji itu sendiri adalah sebagai pemindah panas yang dialirkan secara konduksi. Kemudian panas yang ada pada lorong udara akan mengalir menuju permukaan spesimen benda uji tersebut. Sehingga spesimen benda uji tersebut dapat dikatakan sebagai pembanding perpindahan panas konduksi dan konveksi. Pemasangan fan berfungsi untuk menghisap panas yang ada pada lorong udara, sehingga secara tidak langsung panas yang ada pada lorong udara akan dihisap oleh spesimen benda uji. Gejala yang demikian itu dinamakan dengan perpindahan panas konveksi paksa.

Peralatan-peralatan tambahan yang lain :

1. Pemanas listrik dengan daya 1000 watt dan tegangan 220 volt .
2. Termokopel untuk mengetahui besarnya temperatur
3. Regulator sebagai pengatur tegangan output
4. Thermocontroller sebagai pengontrol temperatur secara otomatis
5. Isolator asbes, tali dan gips untuk membungkus benda uji.
6. Anemometer turbin untuk mengukur kecepatan udara.

Dalam melakukan eksperimen, langkah – langkah dalam pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Memastikan kembali semua peralatan dan sambungan kabel sudah terpasang dengan baik
2. Menancapkan stop kontak pada sumber tegangan untuk menyalakan perangkat
3. Memutar potensiometer thermocontroller sesuai temperatur yang dikehendaki
4. Memutar potensiometer regulator sesuai kecepatan udara yang dikehendaki
5. Mencatat data – data eksperimen pada saat kondisi telah steady (tunak) ditandai dengan tidak adanya perubahan temperatur spesimen benda uji terhadap perubahan waktu

DATA PENGUJIAN

Dari pengujian yang dilakukan, pada suhu ruang 27°C dan tekanan ruang $29,23 \text{ bar}$ diperoleh data – data sebagai berikut :

No	Kecepatan (V)	Temperatur tengah benda uji (T)	Temperatur permukaan benda uji (T_w)	Temperatur fluida dalam lorong udara (T_∞)
1	1,0	20,47	29,20	75
2	1,0	20,60	29,67	80
3	1,0	20,83	30,07	85
4	1,0	21,17	30,67	90
5	1,0	21,60	31,10	95
6	1,0	22,00	31,60	100

7	1,0	22,60	32,53	105
8	1,0	23,23	33,43	110
9	1,0	24,20	34,60	115
10	1,0	25,10	35,30	120

ANALISA PERHITUNGAN KOEFISIEN PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI

Dengan menggunakan persamaan :

$$h_c = \frac{k.(T_w - T)}{L.(T_{\infty} - T_w)}$$

Untuk data yang pertama diperoleh :

$$T = 19,80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_w = 28,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\infty} = 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k = 176,25 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$L = 0,006 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh harga koefisien perpindahann panas konveksi :

$$h_c = \frac{k.(T_w - T)}{L.(T_{\infty} - T_w)}$$

$$h_c = \frac{176,25.(28,40 - 19,80)}{0,06.(75 - 28,4)}$$

$$= 561,1 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Dengan cara yang sama data –data yang lain kita dapatkan hasil sebagai berikut :

No	V	T	T _w	T _∞	h _c
1	1,0	20,47	29,20	75	561,1
2	1,0	20,60	29,67	80	532,8
3	1,0	20,83	30,07	85	500,6
4	1,0	21,17	30,67	90	479,5
5	1,0	21,60	31,10	95	448,1
6	1,0	22,00	31,60	100	425,7
7	1,0	22,60	32,53	105	417,0
8	1,0	23,23	33,43	110	406,7
9	1,0	24,20	34,60	115	396,2
10	1,0	25,10	35,30	120	370,1

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan data tersebut maka dapat diambil kesimpulan :

Kenaikan temperatur fluida dalam lorong udara (T_∞) untuk kecepatan yang konstan menyebabkan terjadinya penurunan harga koefisien perpindahan panas konveksi (h_c).

Di dalam praktek rekayasa, rancang bangun serta analisa semua jenis penukar kalor, harga koefisien perpindahan panas antara dinding saluran dan fluida yang mengalir adalah sangat penting, karena berhubungan dengan ukuran alat penukar kalor yang dibuat serta besarnya biaya yang harus dikeluarkan. Untuk menjaga penurunan laju perpindahan panas konveksi akibat penurunan harga koefisien perpindahan panas dapat dilakukan dengan mengatur turbulensi aliran fluida atau luas alat penukar kalor yang dirancang.

DAFTAR PUSTAKA

Ariantara, Bambang : **Studi Eksperimental Perpindahan Panas Konveksi Pada Pelat Datar Yang Mengalami Pengisapan Diskrit**, ITB 1991.

Frank Kreith : **Prinsip –Prinsip Perpindahan Panas**, Erlangga Jakarta 1986

Holman JP : **Perpindahan Kalor**, Erlangga, Jakarta 1984

Jen, Supardi : **Perencanaan dan Pembuatan Perangkat Percobaan Konveksi Paksa Turbulen Dalam Pipa**, ITB 1982.

Sudjana Dr, MA, M.Sc : **Metode Statika**, Tarsito, Bandung 1986

White Frank M : **Mekanika Fluida**, Erlangga, Jakarta 1988

Welty, Wilson Wick : **Fundamentals of Momentum Heat and Transfer**, Amerika 1976