

Analisis Koefisien Perpindahan Panas Konveksi dan Distribusi Temperatur Aliran Fluida pada *Heat Exchanger Counterflow* Menggunakan *Solidworks*

Dwi Arif Santoso

Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Jl. Margonda 100 Depok, 16424
E-mail : d.arif29@gmail.com

Abstrak

Counterflow Heat exchanger merupakan alat penukar kalor yang digunakan untuk memindahkan panas dari fluida yang bertemperatur lebih tinggi menuju fluida yang bertemperatur lebih rendah. Nilai koefisien perpindahan panas dipengaruhi oleh karakteristik aliran. Tujuan penelitian ini menganalisis nilai koefisien perpindahan panas konveksi dan mengetahui distribusi temperatur pada *heat exchanger* tipe *counterflow* menggunakan *solidworks*. Dua buah pipa digunakan dengan pipa air panas diameter 28,5 cm, pipa pendingin diameter 87,5 cm dan panjang pipa 120 cm yang digunakan pada penelitian. Perubahan temperature dikontrol pada temperatur air panas 85 °C, air pendingin 17 °C, dan air normal 32 °C. Debit aliran dijaga konstan. Hasil menunjukkan penurunan temperatur air panas 5 °C dan air dingin 3 °C. Nilai koefisien perpindahan panas dipengaruhi oleh variasi temperatur dan debit aliran.

Kata Kunci : *Heat Exchanger*, distribusi aliran, laju aliran massa, temperatur air, koefisien konveksi, bilangan nusselt, bilangan prandtl, bilangan reynold

Pendahuluan

Tujuan menggunakan *heat exchanger* untuk mengontrol sistem atau substansi temperatur dengan menambah atau menghilangkan energi termal. *Heat exchanger* merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari fluida yang bertemperatur lebih tinggi menuju temperatur lebih rendah. Keuntungan utama dari penukar panas pipa ganda dioperasikan dalam pola berlawanan arah (*counterflow*), yang merupakan pola aliran yang paling efisien. akan memberikan koefisien perpindahan panas tertinggi keseluruhan untuk desain penukar panas pipa ganda. Juga menukar panas pipa ganda dapat menangani tekanan tinggi dan temperatur. Analisis koefisien perpindahan panas konveksi dan distribusi temperatur aliran fluida pada *heat exchanger counterflow* menggunakan *solidworks*. Penukar panas adalah perangkat di mana energi ditransfer dari satu cairan lain permukaan penampang. Hal ini berbeda untuk Penukar panas tradisional, khususnya Penukar panas shell and tube.

Perpindahan panas yang dihitung dalam tabung melingkar dipelajari oleh regers dan mayhew. Mereka mengamati bahwa bahkan untuk alat uap panas, temperatur yang tinggi seragam dinding tidak diperoleh terutama disebabkan oleh distribusi kondensat uap atas permukaan coil. Pada aliran sepenuhnya dikembangkan dalam acurved pipa dengan fluks panas yang seragam untuk jumlah temperatur besar. Aliran dan temperatur dipelajari dengan eksperimen. Mereka menganggap bahwa aliran dibagi menjadi dua bagian, lapisan batas kecil dekat dinding pipa dan wilayah inti besar yang membuat aliran yang tersisa.

Tinjauan Pustaka

Pengertian Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan berpindahannya energi dari suatu daerah ke daerah lainnya. Dalam mempelajari perpindahan panas tidak hanya mencoba untuk menjelaskan bagaimana suatu energi dapat berpindah dari

satu daerah ke daerah lainnya, tetapi dapat juga mempelajari laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu.

Ilmu perpindahan panas melengkapi hukum pertama dan kedua termodinamika. Hukum pertama termodinamika, mengatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun dihilangkan tetapi hanya dapat berubah dari satu bentuk menjadi bentuk lain. Hukum termodinamika telah mengatur semua perubahan bentuk energi secara kwanlitas tetapi tidak juga membatasi arah perubahan bentuk itu. Adalah perpindahan bersih panas dari suatu daerah yang suhunya lebih rendah ke suatu daerah yang suhunya lebih tinggi, dikenal sebagai hukum kedua termodinamika.

Heat Exchanger

Secara umum pengertian alat penukar panas atau *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (super heated steam) dan air biasa sebagai air pendingin (cooling water). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung.

Heat Exchanger Counterflow

Keuntungan utama dari penukar panas pipa ganda adalah bahwa hal itu dapat dioperasikan dalam pola berlawanan arah / counterflow, yang merupakan pola aliran yang paling efisien. Artinya, akan memberikan koefisien perpindahan panas tertinggi keseluruhan untuk desain penukar panas pipa ganda. Penukar panas pipa ganda dapat menangani tekanan tinggi dan temperatur. Ketika beroperasi diberlawanan arah / counterflow, bisa beroperasi dengan suhu berlawanan.

Bilangan Reynold

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia ($v\rho$) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digu-

nakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen.

Hal ini didasarkan pada suatu keadaan bahwa dalam satu tabung / pipa atau dalam satu tempat mengalirnya air, sering terjadi perubahan menjadi aliran yang satu menajdi aliran yang lain. Perubahan bentuk aliran ini pada umumnya tidaklah terjadi secara tiba-tiba tetapi memerlukan waktu, yakni suatu waktu yang relatif pendek dengan diketahuinya kecepatan kritis dari suatu aliran.

$$Re_D = 4\dot{m}/(\pi.D.\mu)$$

Dimana : Re_D : Bilangan reynold

\dot{m} : Laju aliran massa (kg/s)

π : 3.14

D : Diameter pipa (m)

μ : Viskositas dynamic (N. s/m²)

Laminar : $Re < 2300$

Transisi : $Re = 2300$ Turbulen : $Re > 2300$

Bilangan Prandtl

Bilangan Prandtl (Pr) merupakan suatu nilai / harga yang dipakai untuk menentukan distribusi temperatur pada suatu aliran. Selain itu bilangan prandtl merupakan perbandingan dari viskositas kinematik (ν) terhadap termal diffusivitas (α). Bilangan prandtl merupakan ukuran efektifitas relatif dari momentum dan perpindahan energi secara difusi dengan kecepatan pada lapisan batas termal.

$$Pr = \nu/\alpha = \mu cp/k$$

Dimana : Pr : Bilangan Prandtl

ν : viskositas kinematik fluida (m²/s)

α : thermal diffusivity (m²/s)

cp : kalor spesifik (J/kg.^oK)

μ : viskositass dinamik fluida (N.s/m²)

k : konduktifitas kalor fluida (W/m.K)

Bilangan Nusselt

Komponen konduktif diukur di bawah kondisi yang sama dengan konveksi dengan kondisi fluida stagnan atau tidak bergerak. Aliran panas konduksi dan konveksi sifatnya sejajar satu sama lainnya dan terhadap permukaan normal terhadap bidang batas.

$$Nu_D = 0.023Re_D^{(4/5)}.Pr^n$$

Dimana : Re_D : Bilangan reynold

Pr : Bilangan prandtl

n : 0.4 (untuk pemanas) 0.3 (untuk pendingin)

Korelasi Dittus-Boelter

Korelasi yang khusus namun sederhana dan bisa digunakan pada berbagai aplikasi adalah korelasi pindah panas Dittus-Boelter untuk fluida dalam aliran turbulen. Korelasi ini dapat digunakan ketika konveksi adalah satu-satunya cara dalam memindahkan panas, tidak ada perubahan fase, dan tidak ada radiasi yang signifikan. Koreksi dari perhitungan ini ±15%.

Untuk aliran fluida pada pipa melingkar yang lurus dengan bilangan Reynolds antara 10000 dan 120000, ketika bilangan Prandtl di antara 0.7 dan 120, untuk titik yang jaraknya lebih dari sepuluh kali diameter pipa dan ketika permukaan pipa halus secara hidraulik.

$$h = Nu_D K / D$$

Dimana : h : Koefisien konveksi (W/m².K)
 Nu_D : Bilangan nusselt
 K :Konduktifitas thermal bahan (W/m.K)
 D : Diameter pipa (m)

$$U = 1 / (1/h_i + 1/h_o)$$

Dimana: U :Total koefisien konveksi (W/m².K)

h_i = koefisien konveksi dalam (W/m².K)
 h_o = koefisien konveksi luar (W/m².K)

Kapasitas Panas dan Panas Spesifik

Sifat-sifat air yang memberikan definisi asal dari kalori adalah banyaknya perubahan temperatur yang dialami air waktu mengambil atau melepaskan sejumlah panas. Istilah umum untuk sifat ini disebut kapasitas panas yang didefinisikan sebagai jumlah panas yang diperlukan untuk mengubah temperatur suatu benda sebesar 1 °C.

$$q = \dot{m}.cp.\Delta t$$

Dimana : q = Energi (Watt)
 ṁ = laju aliran massa (kg/s)
 Δt = perubahan suhu takhir - awal (°C)
 cp = kalor spesifik (J/kg.K)

Metode Penelitian

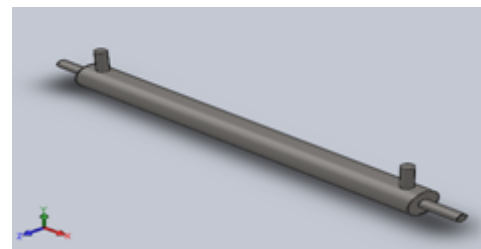
Pengujian ini dilakukan menggunakan aplikasi perangkat lunak solidworks dengan temperatur fluida panas temperatur 85 °C. Sedangkan fluida kerja dingin menggunakan 17 °C dan 32 °C. Beberapa tahap yang dilakukan, diantaranya yakni

Tahap Perancangan

Mendesain alat uji dengan bagian-bagian alat uji yaitu berupa tabung utama, pipa aliran panas berupa pipa inlet, pipa outlet panas, pipa aliran dan pipa aliran dingin berupa pipa inlet dingin, pipa outlet dingin.

Tabel 1: Dimensi Heat Exchanger

Panjang pipa	997 mm
Diameter luar pipa besar	87,5 mm
Diameter dalam pipa besar	84 mm
Diameter luar pipa kecil	28,5 mm
Diameter dalam pipa kecil	27 mm



Gambar 1: Heat Exchanger

Tahap Penginputan Data

Pada tahap penginputan data, input data terbagi dalam 2 tahap, yakni :

1. Penginputan suhu air panas 85 °C dengan air dingin 17 °C.
2. Penginputan suhu air panas 85 °C dengan air normal 32 °C

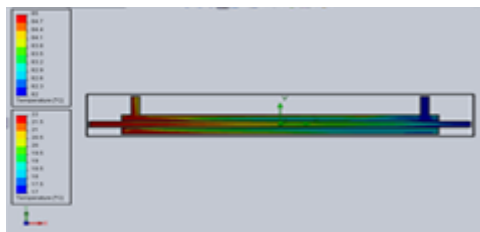
Tahap Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak solidworks, didapatkan output berupa parameter hasil simulasi menggunakan temperatur air panas 85 °C dengan temperatur input air dingin 17 °C dan 32 °C.

Simulasi dilakukan sebanyak 3 kali dalam 2 tahap, tahap pertama dalam simulasi adalah menggunakan input temperatur air panas 85 °C dengan air dingin 17 °C. Tahap kedua dengan temperatur air panas 85 °C dengan temperatur air normal 32 °C.

Pembahasan

Dengan menggunakan hasil yang telah dilakukan dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak solidworks, didapatkan output temperatur dari masing-masing percobaan, sehingga dengan hasil yang diperoleh bisa digunakan dalam menghitung, bilangan reynold, bilangan nusselt, nilai kesimbangan energi panas dan nilai koefisien konveksi, serta untuk menghitung nilai akhir dari total koefisien konveksi.

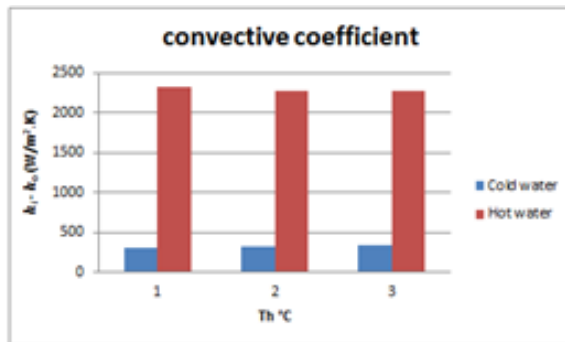


Gambar 2: Distribusi aliran temperatur 85 °C dengan air dingin 17 °C

Gradasi warna menunjukkan adanya distribusi temperatur aliran air panas dengan air dingin mengalir secara berlawanan karena *heat exchanger* yang digunakan tipe counterflow, sehingga pada air panas terjadi penurunan temperatur dari 85 °C di inlet menjadi 82 °C di outlet, sedangkan kenaikan temperatur dari inlet 17 menjadi 22 °C

Tabel 2: Nilai koefisien konveksi air panas dengan air dingin

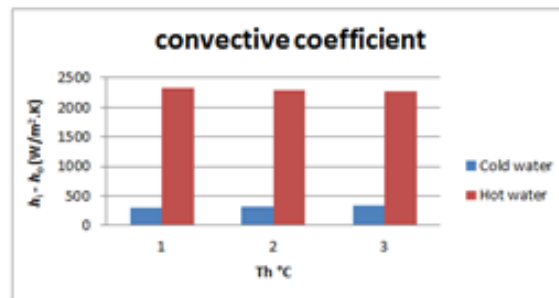
Nilai koefisien konveksi pada air panas					
NO	T_{in} (°C)	d (m)	Nu_D	K	h_i
1	85 °C	0,027	93,18101	0,673	2322,62295
2	82 °C	0,027	91,80522	0,671	2281,52973
3	79 °C	0,027	91,74348	0,669	2273,19956
Nilai koefisien konveksi pada air dingin					
NO	T_{in} (°C)	d (m)	Nu_D	K	h_o
1	17 °C	0,084	43,04192	0,583	298,731421
2	22 °C	0,084	45,5451	0,601	325,864346
3	25 °C	0,084	46,95374	0,607	339,296669



Gambar 3: Diagram hubungan koefisien konveksi pada air panas dengan air dingin $h_i - h_o$ vs T_h

Tabel 3: Nilai koefisien konveksi air panas dengan air normal

Nilai koefisien konveksi pada air panas					
NO	T_{in} (°C)	d (m)	Nu_D	K	h_i
1	85 °C	0,027	93,18031	0,673	2322,6055
2	83 °C	0,027	92,42454	0,671	2296,92098
3	81 °C	0,027	92,25063	0,670	2289,1823
Nilai koefisien konveksi pada air normal					
NO	T_{in} (°C)	d (m)	Nu_D	K	h_o
1	32 °C	0,084	50,49115	0,618	371,470604
2	34 °C	0,084	51,27535	0,621	379,071338
3	36 °C	0,084	52,20776	0,624	387,629074



Gambar 4: Diagram hubungan koefisien konveksi pada air panas dengan air normal $h_i - h_o$ vs T_h

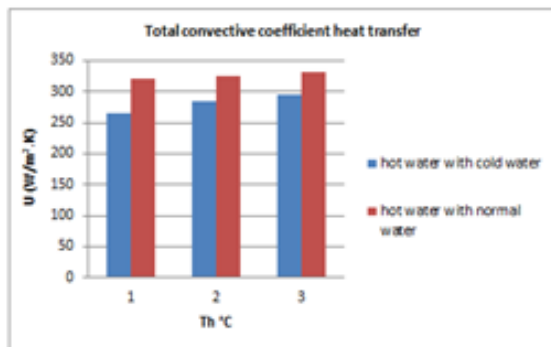
Dengan didapatkannya hasil dari perhitungan nilai koefisien konveksi pada air panas dengan air dingin, maupun nilai koefisien konveksi dari nilai air panas dengan air normal.

$$1/(1/h_i + 1/h_o)$$

Diketahui :
 U : Total koefisien konveksi (W/m².K)
 h_i : 2322,62295 (W/m².K)
 h_o : 298,731421 (W/m².K)

Tabel 4: Hasil nilai total koefisien konveksi

Total koefisien konveksi air panas					
NO	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	h_i	h_o	U
1	85 °C	17 °C	2322,62295	298,731421	264,6877744
2	82 °C	22 °C	2281,52973	325,864346	285,1387906
3	79 °C	25 °C	2273,19956	339,296669	295,2306802
Total koefisien konveksi air dingin					
NO	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	h_i	h_o	U
1	85 °C	32 °C	2322,6055	371,470604	320,2506665
2	83 °C	34 °C	2296,92098	379,071338	325,3734711
3	81 °C	36 °C	2289,1823	387,829074	331,6427641



Gambar 5: Diagram hubungan nilai total koefisien konveksi U vs T_h

Dari gambar diatas terlihat bahwa dalam kondisi temperatur air panas dengan air normal mengalami kenaikan nilai koefisien konveksi yang terjadi di dalam *heat exchanger*. Karena terjadi penurunan temperatur air panas sedangkan temperatur air normal mengalami kenaikan yang masing-masing keluar pada *outlet heat exchanger* dapat mempengaruhi naiknya nilai total koefisien konveksi.

Kesimpulan

Berdasarkan dari simulasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Perubahan temperatur yang terjadi di *heat exchanger* mempegaruhi naik atau turunnya nilai koefisien konveksi. Kecenderungan naiknya nilai total koefisien

konveksi dipengaruhi oleh hasil dari nilai koefisien konveksi.

2. Nilai total koefisien konveksi pada temperatur air panas 85 °C dengan air normal 32 °C adalah 320,2506665, sedangkan nilai total koefisien konveksi pada air panas 85 °C dengan air dingin 17 °C adalah 264,6877744. Jika membandingkan keduanya, nilai total koefisien konveksi pada temperatur air panas dengan air normal lebih besar dari nilai koefisien konveksi pada temperatur air panas dengan air dingin.
3. *Counterflow heat exchanger* pada pipa lurus terjadi perbedaan temperatur, pada air panas di inlet bertemperatur 85 °C dengan temperatur yang berada di outlet 82 °C mempunyai perbedaan temperatur 3 °C. Sedangkan di inlet pada air dingin bertemperatur 17 °C dengan temperatur yang berada di outlet 22 °C mempunyai perbedaan temperatur 5 °C. Nilai temperatur di outlet pada air dingin akan didapatkan kenaikan temperatur yang lebih besar. Sedangkan pada pipa air panas di inlet mengalami penurunan temperatur di outlet.

Daftar Pustaka

- [1] R.A. Seban, E. F. McLaughlin, "Heat transfer in tube coils with laminar and turbulent flow", International Journal of heat and Mass Transfer, 6, pp: 387-395, 1963.
- [2] G.F.C. Rogers, Y.R. Mayhew, "Heat transfer and pressure loss in helkically coiled tubes with turbulent flow", International Journal of heat and Mass Transfer, 7, pp: 1207-1216, 1964.
- [3] Y.Mori, W. Nakayama, "Study on forced convective heat transfer in curved pipe", International Journal of heat and Mass Transfer, 8, pp: 67-82, 1965.
- [4] Holman, JP. Alih bahasa E. Jasifi, "Perpindahan Kalor", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995
- [5] Kreith, Frank Arko Prijono, "Prinsip-prinsip perpindahan panas", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.

- [6] Cengel, Yunus A, "Thermodynamics and Heat Transfer, Second Edition". McGraw-Hill, Inc. New York, 1997.
- [7] Aswinsyah Hassan, Teuku, "Kajian Eksperimental Koefisien Konveksi pada *Heat Exchanger* Tipe Aliran Counter Flow", Skripsi, Universitas Gunadarma. Jakarta, 2012.