

STUDI PERHITUNGAN ALAT PENUKAR KALOR TIPE SHELL AND TUBE DENGAN MENGGUNAKAN POLONOMIAL PANGKAT 4 (EMPAT)

Budiyono*)
Program Studi Teknik Mesin Diploma Tiga
Fakultas Teknik Dan Ilmu Komputer
Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan
Jl Pahlawan No 10 Kajen Kabupaten Pekalongan Telp (0285) 385313
Budiyonosp75@gmail.com

Ringkasan

Untuk mengurangi biaya produksi , perancangan alat penukar kalor terlebih dahulu sangatlah efektif dari pada membeli alat penukar yang sudah jadi . Perancangan ini berupa dimensi alat penukar kalor tipe *shell and tube* menggunakan metode perhitungan polonomial pangkat 4 dan metode analisa perhitungan dengan menggunakan program Exel . Perhitungan dimensi alat penukar kalor ini bertujuan untuk mempermudah dalam perancangan dan pembuatan alat penukar kalor . Aalat penukar kalor yang dirancang adalah alat penukar kalor tipe shell and tube yang banyak digunakan Di Perusahaan Garmen atau *Textile* di Pekalongan. Adapun panas yang dihasilkan dari Gas Buang Diesel sebesar 250 °C – 300 °C, dimana gas buang yang berasal dari Diesel tersebut dialirkan ke alat penukar kalor sehingga Udara panas yang dikeluarkan menuju ke alat pengering mempunyai temperature sebesar 70C dan kapasitas dari alat pengering sebesar 36kg/1 jam dan $Q= 1098$ W dan temperatur 70 °C, Sehingga dilakukan perancangan alat penukar kalor yang dibutuhkan untuk mengalirkan udara panas yang sudah di naikan temperaturnya. Gas buang yang berasal dari PLTD dengan laju aliran massa 2.72 kg/s, perancangan alat penukar kalor dengan tipe cangkang and pipa, dimana aliran panas gas buang melalui shell dan udara melalui pipa.

Kata kunci : Alat Penukar Kalor , Polonomial Pangkat , Dimensi

To reduce production costs , designing a heat exchanger in advance is very effective than buying a ready - made exchanger . This design is in the form of dimensions of a shell and tube type heat exchanger using the polonomial power 4 calculation method and the calculation analysis method using the Exel program. Calculation of the dimensions of this heat exchanger aims to simplify the design and manufacture of heat exchangers. The heat exchanger designed is a shell and tube type heat exchanger which is widely used in Garment or Textile Companies in Pekalongan. The heat generated from the Diesel Exhaust Gas is 250 C - 300 C, where the exhaust gas originating from the Diesel is channeled to the heat exchanger so that the hot air released to the dryer has a temperature of 70C and the capacity of the dryer is 36 kg. /1 hour and $Q = 1098$ W and a temperature of 70 oC, so that the design of a heat exchanger is needed to circulate the hot air that has been raised in temperature. The exhaust gas that comes from PLTD with a mass flow rate of 2.72 kg/s, the design of a heat exchanger with shell and pipe type, where the flue gas heat flows through the shell and air through the pipe. Keywords: Heat Exchanger, Power Polonomial, Dimension

Keywords: Heat Exchanger, Power Polonomial, Dimension

http://ejournal.politeknikhpk.ac.id/index.php/surya_teknika

PENDAUULUAN

Alat penukar kalor di industri industri garmen atau textile banyak tumbuh dipekalongan. Alat penukar kalor lebih rentan mengalami kerusakan dikarenakan bahan kimia yang diprosesnya yang bersifat korosif bila bersentuhan dengan logam . Untuk mengurangi biaya produksi , perancangan alat penukar kalor terlebih dahulu sangatlah efektif dari pada langsung membeli alat penukar kalor yang sudah jadi [1]

Salah satu tipe alat penukar kalor yang paling banyak digunakan adalah *shell and tube* Alat ini terdiri dari sebuah shell silinder dibagian luar dan sejumlah tube dibagian dalam dimana temperature fluida didalam tube berdedan dengan diluar tube (didalam shell) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida didalam tube dan diluar tube . Adapun daerah yang berhubungan dengan dalam tube disebut tube side dan yang luar disebut shell side[2] .

Adapun tujuan dari penulisan adalah merancang dimensi Aalat penukar kalor dengan menggunakan metode polonomial pangkat 4 yaitu :

1. Perhitungan dimensi alat penukar kalor tipe *shell and tube* dengan fluida panas berupa gas dan fluida pendingin berupa udara .
2. Mencari koefisien perpindahan kalor keseluruhan , mencari luas perpindahan panas , dan factor pengotoran guna mengetahui kualitas dari alat penukar kalor yang direncanakan.
3. Membanding hasil perhitungan dengan program Exel dengan perhitungan manual

Dalam melakukan perancangan ini , penulis hanya menganalisa data yang diperoleh dari lapangan untuk dilakukan perhitungan manual dan program exel dengan memperhatikan standar yang ditentukan dalam mendesain alat penukar kalor[3].

Adapun dalam mengumpulkan data data penulis mengambil dari beberapa metode yaitu :

1. Observasi yaitu mengumpulkan data dengan pengamatan secara langsung dilapangan.
2. Wawancara yaitu pencarian data dengan menanyakan secara langsung kepada pembimbing dilapangan tentang hal hal yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas.
3. Pustaka yaitu pengumpulan data dengan acuan buku buku pendukung yang mempunyai hubungan dengan alat yang ditinjau.

Adapun sistematis pembahasan dalam penulisan laporan ini terdiri dari : Pendahuluan , Tinjauan pustaka , Metodologi perancangan , Perhitungan dan analisa data , kesimpulan dan saran

TINJAUAN PUSTAKA

Perpindahan Kalor.

Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari berpindahannya suatu energy (berupa kalor) dari suatu sistem ke sistem lain karena adanya perbedaan temperature. Perpindahan kalor tidak akan terjadi pada sistem yang temperaturnya sama. Perbedaan temperatur menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor . Sama dengan perbedaan tegangan sebagai penggerak arus listrik. Proses perpindahan kalor terjadi dari suatu sistem yang memilik temperature lebih tinggi ke temperature yang lebih rendah . Keseimbangan pada masing masing sistem terjadi ketikan sistem memiliki temperature yang sama [4].Perpindahan kalor dapat berlangsung dengan 3 (tiga) cara yaitu :

Perpindahan kalor konduksi.

- a. Perpindahan kalor konveksi (Alami dan paksa)
- b. Perpindahan kalor radiasi.

Alat Penukar Kalor .

Menurut Dean A Barlet (1996) bahwa alat penukar kalor memiliki tujuan mengontrol suatu sistem (temperature) dengan menambahkan atau menghilangkan energi termal dari suatu fluida ke fluida lainnya. Walaupun ada banyak perbedaan ukuran. Tingkat kesempurnaan dan penukar kalor menggunakan slemen elemen kokduksi termal yang memisahkan dua fluida[5] . Salah satu dari elemen tersebut memindahkan energy kalor ke elemen yang lainnya.

Klasifikasi Alat Penukar Kalor.

Alat penukar kalor dapat diklasifikasi dalam beberapa kelompok sebagai berikut [6]:

1. Berdasarkan proses perpindahan kalor
 - a. Perpindahan kalor secara langsung
 - b. Perpindahan kalor secara tidak langsung.
2. Berdasarkan konstruksi
 - a. Konstruksi tabung (tubular)
 - b. Konstruksi tipe pelat.
 - c. Konstruksi dengan luas permukaan diperluas
 - d. Konstruksi regeneatif
3. Berdasarkan Jenis aliran
 - a. Aalat penukar kalor aliran sejajar (*parallel Flow*)
 - b. Alat penukar kalor aliran berlawanan (*counter Flow*)
 - c. Alat penukar kalor aliran silang
4. Berdasarkan pengaturan aliran
 - a. Aliran dengan satu pass
 - b. Aliran dengan multi pass
5. Berdasarkan banyaknya fluida yang digunakan
 - a. Dua jenis fluida
 - b. Tiga jenis fluida atau lebih
6. Berdasarkan mekanisme perpindahan kalor.
 - a. Konveksi satu fasa

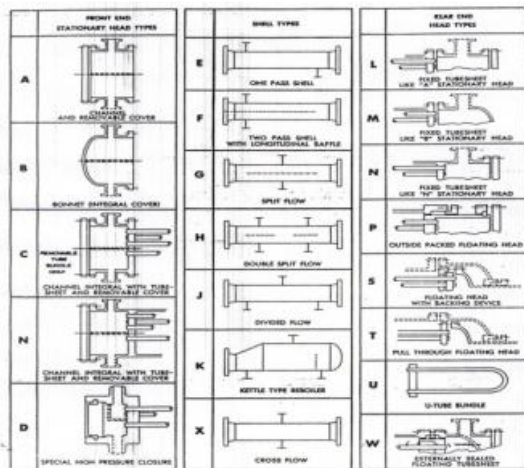
- b. Konveksi dua fasa
- c. Kombinasi perpindahan kalor secara konveksi dan radiasi.

Berdasarkan standar “ Tubular Exchanger Manufacture Association “ (TEMA) terdapat 3 macam kelas alat penukar kalor :

1. Kelas R , untuk peralatan yang bekerja dengan kondisi berat . Biasa digunakan di industri minyak.
2. Kelas C dibuat untuk penggunaan secara umum . Didasarkan pada segi ekonomi dan ukuran kecil digunakan untuk proses proses umum industri.
3. Kelas B untuk pelayanan proses kimia

Standar TEMA juga mengklasifikasi alat penukar kalor menurut tipe shell and tube yaitu :

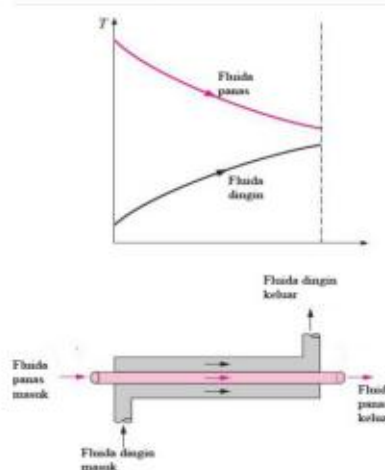
1. Huruf pertama : A , B , C , N dan D Menunjukkan tipe ujung muka
2. Huruf kedua : E , F , G , H , I , K dan X Menunjukkan tipe shell
3. Huruf ketiga : L , M , D , U , P , S , T dan W menunjukkan tipe ujung belakang.



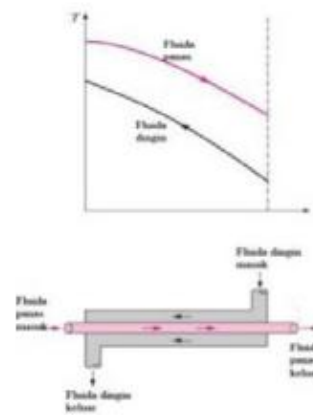
Gambar 1 Standar TEMA berdasar tipe bagaian alat penukar kalor

Alat Penukar Kalor Aliran Sejajar

Alat penukar kalor tipe aliran sejajar memiliki arah aliran dari dua fluida yang bergerak secara sejajar . Kedua fluida masuk dan keluar pada sisi penukar panas yang sama. Temperatur fluida yang memberikan energy akan selalu lebih tinggi disbanding temperature fluida yang menerima sejak memasuki alat penukar kalor hingga keluar. Temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperature fluida yang memberikan kalor :



Gambar 2 Profil temperature alat penukar kalor aliran sejajar alat penukar kalor aliran berlawanan. Alat penukar kalor tipe aliran berlawanan , memiliki arah aliran yang berlawanan . Perpindahan kalor terjadi antara satu ujung bagian yang panas dari kedua fluida dan juga bagian yang paling dingin. Temperatur keluar fluida dingin dapat melebihi temperature keluar fluida panas.



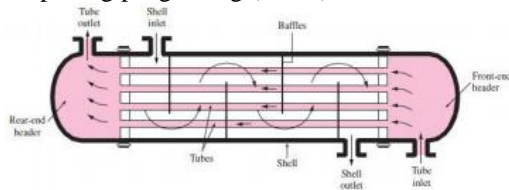
Gambar 3 Profil temperature alat penukar kalor aliran berlawanan

Alat Penukar Kalor Tipe “ Shell and Tube “

Alat penukar kalor tipe ini adalah salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan adanya sekumpulan “ tube” yang sipasangkan didalam “shell” terbentuk silinder di mana dua jenis mengalir secara terpisah, Masing masing melalui sisi “tube” dan sisi “shell” alat penukar kalor tipe ini sering digunakan di industri kimia dan textile . Satu fluida mengalir didalam pipa , sementara fluida lain dialirkan dalam shell. Agar aliran dalam shell turbulen dalam shell turbulen dan untuk memperbesar koefisien

http://ejournal.politeknikhpk.ac.id/index.php/surya_teknika

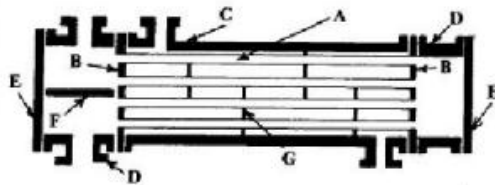
perpindahan panas konveksi, maka pada shell dipasang penghalang (baffle).



Gambar 4 Alat penukar kalor tipe “shell and tube”

Komponen Komponen Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor tipe “shell and tube” memiliki komponen komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksinya. Adapun komponen komponen dari alat penukar kalor tipe ini adalah :



Gambar 5 Komponen alat penukar kalor tipe ‘shell and tube’

- A. Tube sheets
- B. Shell and shell side nozzles
- C. Tube side channels and nozzles
- D. Channel Covers
- E. Pass divides
- F. Raffles

Perancangan Alat Penukar Kalor Tipe : Shell and Tube

Setelah mendesain alat penukar kalor dibutuhkan data dari laju aliran (flow Rate), temperature masuk dan temperature keluar, dan tekanan untuk operasi kedua fluida. Data ini dibutuhkan terutama untuk fluida gas jika densitas gas tidak diketahui. Untuk fluida berupa cair (liquid), data tekanan operasi tidak terlalu dibutuhkan karena sifat sifatnya tidak banyak berubah apabila tekannya berubah. Langkah langkah yang biasa dilakukan dalam merencanakan atau mendesain alat penukar kalor adalah :

1. Penentuan Heat duty (Q) yang diperlukan, penukar kalor yang direncanakan harus memenuhi atau melebihi syarat ini.
2. Menentukan ukuran (size) alat penukar kalor dengan perkiraan yang masuk akal untuk koefisien perpindahan kalor keseluruhannya.
3. Menentukan fluida yang akan mengalir disisi tube atau shell. Biasanya sisi tube direncanakan untuk fluida yang bersifat korosif, beracun, bertekanan tinggi, bersifat mengotori dinding, Hal ini dilakukan agar

lebih mudah dalam proses pembersihan atau perawatannya.

4. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan jumlah tube (N) yang digunakan dengan menggunakan rumus :

$$A = N (\pi d) L$$

Dimana

d = diameter luar tube (mm)

L = Panjang Tube (m)

5. Menentukan ukuran shell. Langkah ini dilakukan setelah kita mengetahui jumlah tube yang direncanakan kemudian perkiraan jumlah pas dan tube pitch yang akan digunakan.
6. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan jumlah baffle dan jarak yang digunakan. Biasanya Baffle memiliki jarak yang seragam dan minimum jaraknya 1/5 dari diameter shell tapi tidak kurang dari 2 inchi.
7. Langkah yang terakhir adalah memeriksa kinerja dari alat penukar kalor yang telah direncanakan. Hitung koefisien perpindahan panas disisi tabung dan sisi shell hitung factor pengotorannya apakah sesuai dengan standar yang diizinkan dan penurunan tekanan disisi tube dan shell

Beda Temperatur Rata Rata Logaritma (LMTD)

Faktor perhitungan pada alat penukar kalor adalah masalah perpindahan panasnya. Apabila panas yang dilepaskan besarnya sama dengan Q persatuan waktu, maka panas itu diterima fluida yang dingin sebesar Q tersebut dengan persamaan :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Dimana :

Q = Kalor yang dilepaskan/ diterima (w)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($W/m^2 C^0$)

A = Luas Perpindahan Panas (m^2)

ΔT = Selisih Temperatur Rata rata (o C)

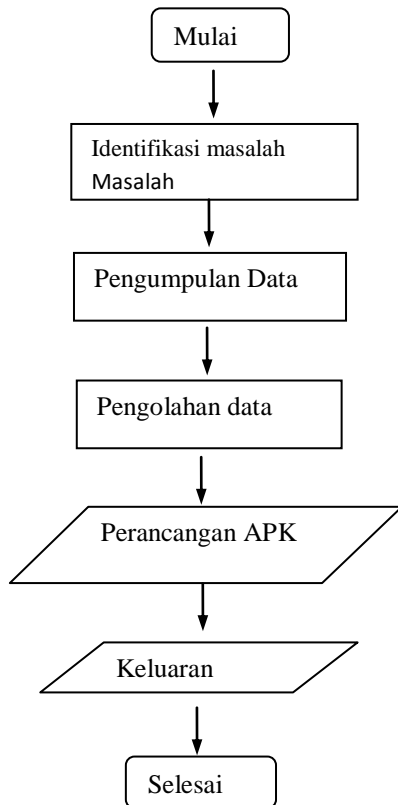
Sebelum menentukan luas permukaan kalor (A) maka terlebih dahulu ditentukan nilai LMTD. Hal ini berdasarkan selisih temperature dari fluida yang masuk dan keluar dari kalor.

$$LMTD = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}}$$

METODOLOGI PERANCANGAN

Diagram Alir (flow Chart)

Diagram alir perencanaan alat penukar kalor (APK) tipe shell and tube



Gambar 5 Diagram alir perancangan APK

PERHITUNGAN ALAT PENUKAR KALOR

perancangan alat penukar kalor sesuai dengan kebutuhan panas atau aliran gas buang yang sesuai untuk mengeringkan ikan di alat pengering pakaian/celana. Sehingga tahap-tahapan yang akan dilalui dalam penelitian ini adalah:

1. Analisis sistem perpindahan panas yang terjadi di alat penukar kalor
2. Menentukan kondisi optimum dari alat penukar kalor

Laju perpindahan energi panas yang diterima oleh aliran fluida dingin dapat ditentukan melalui persamaan:

Diketahui untuk data alat penukar kalor:

Laju aliran massa udara, m_c : 1.6 kg/s

Temperatur aliran air udara, T_{ci} : 303 K

Temperatur aliran air udara, T_{co} : 333 K

Untuk menentukan laju perpindahan kalor pada media udara adalah

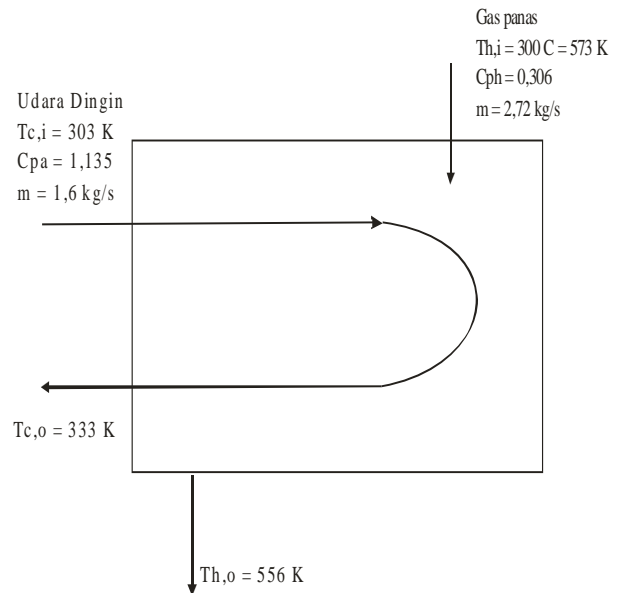
$$Q_c = m_c \cdot C_p (T_{ci} - T_{co})$$

$m_c = 1.6 \text{ kg/s}$

$c_p = 1135 \text{ J/kg.K}$

$T_{ci} = 303 \text{ K}$

$T_{ho} = 333 \text{ K}$



Gambar 6. Diagram Alir Dan skema perpindahan kalor

Maka selanjutnya, besarnya laju perpindahan energi panas yang diterima oleh aliran fluida udara dapat dihitung:

$$Q_c = 1.6 \text{ kg/s} \cdot 1135 \text{ J/kg.K} \cdot (333-303)$$

$$Q_c = 54.48 \text{ kW}$$

Temperatur aliran gas keluar alat penukar kalor dapat dihitung melalui persamaan laju perpindahan energi panas yang dilepaskan oleh aliran fluida gas, yaitu:

Bagi aliran fluida gas, diketahui:

Laju aliran massa gas, m_h : 2.73 kg/s

Temperatur aliran gas masuk, Th_i : 573 K

Dengan mengasumsikan alat tersebut diatas adalah adiabatik maka besarnya:

$$Q_h = Q_c = 54480 \text{ W}$$

Sementara itu, sifat-sifat gas yang dievaluasi pada temperatur kira-kira 573 K memberikan harga $C_{ph} = 1176 \text{ J/kg.K}$ (pada Tabel G-1 sifat-sifat fluida).

Maka, dengan menggunakan persamaan diatas diperoleh temperatur gas keluar dari alat penukar kalor yaitu:

$$Th_o = Th_i - Q_c / m_h C_{ph}$$

$$Th_o = 556 \text{ K}$$

Selanjutnya untuk mengetahui kalor yang terjadi didalam alat penukar kalor yang akan didesain, maka terlebih dahulu dilakukan analisis besarnya nilai $C_{(c)}$ setelah dilakukan analisis besarnya nilai $C_{(c)}$ dihitung laju perpindahan kalor sebagai berikut :

a. Penentuan $C_{(c)} = m_{(c)} C_{p(c)}$

Yaitu besarnya nilai C pada fluida pendingin udara diperoleh:

$$C_{(c)} = C_{max} = 16.0 \text{ kg/s} \times 1135 \text{ J/kgK} = 18.2 \text{ kW/K}$$

http://ejournal.politeknikhpk.ac.id/index.php/surya_teknika

- b. Penentuan $C_{(h)} = m_{(h)} C_{p(h)}$
Yaitu besarnya nilai C pada fluida pendingin gas diperoleh:
 $C_{(h)} = C_{min} = 27.2 \text{ kg/s} \times 306 \text{ J/kgK} = 2.724 \text{ kW/K}$
Sehingga dapat ditentukan besarnya nilai dari C_{min}/C_{max} sebesar 0.458
- c. Kemudian dapat ditentukan nilai dari efisiensi *exergetic* dari APK tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{h,in} - T_{c,in}} \quad \text{Untuk } C_h = C_{min}$$

maka dapat dihitung besarnya nilai efisiensi *exergetic*nya yaitu:

dimana:

$$\begin{aligned} T_{h,in} &= 573 \text{ K} \\ T_{h,out} &= 556 \text{ K} \\ T_{c,in} &= 303 \text{ K} \\ C_{min} &= 2.724 \text{ kW/K} \end{aligned}$$

Maka, besarnya efisiensinya adalah:

$$\varepsilon = \frac{(2.724 \times (573 - 556))}{(2.724 \times (573 - 303))} = 0.111$$

- d. Perhitungan NTU
Penentuan dari Number Thermal Unit (NTU) pada APK ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$NTU = \frac{Ln \left[\frac{1 - \varepsilon \cdot C_{min}/C_{max}}{1 - \varepsilon} \right]}{1 - C_{min}/C_{max}}$$

Dimana:

$$\varepsilon = 0.111$$

$$C_{min}/C_{max} = 0.458$$

Maka, diperoleh besar nilai NTU yaitu:

$$NTU = \frac{Ln \left[\frac{1 - (0.111 \times 0.458)}{1 - 0.111} \right]}{1 - 0.458} = 0.217$$

- a. Penentuan nilai UA pada APK
Menggunakan persamaan berikut ini:

$$UA = C_{min} NTU$$

Dimana:

$$\begin{aligned} C_{min} &= 2.724 \text{ kW/K} \\ NTU &= 0.217 \end{aligned}$$

Sehingga dapat ditentukan besarnya nilai UA, yaitu:

$$UA = 2.724 \times 0.217 = 3.9486581 \text{ kW/K}$$

- e. Penentuan ΔT_{LMTD}

Dengan menggunakan persamaan dibawah ini yaitu:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left\{ \frac{(T_{h,i} - T_{c,o})}{(T_{h,o} - T_{c,i})} \right\}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} T_{h,in} &= 573 \text{ K} \\ T_{h,out} &= 556 \text{ K} \\ T_{c,in} &= 303 \text{ K} \end{aligned}$$

$$T_{c,out} = 333 \text{ K}$$

Maka, diperoleh besarnya nilai dari ΔT_{LMTD} , yaitu:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(573 - 333) - (556 - 303)}{\ln \left\{ \frac{(573 - 333)}{(556 - 303)} \right\}} = 140.45 \text{ K}$$

- f. Perhitungan laju perpindahan kalor pada APK (Q_{APK})
Laju perpindahan kalor pada APK dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_{APK} = U A \Delta T_{LMTD}$$

Dimana:

$$UA = 3.9486581 \text{ kW/K}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 140.45 \text{ K}$$

Maka, dapat dihitung besarnya nilai laju perpindahan kalor pada APK yaitu:

$$Q_{APK} = 3.9486581 \text{ kW/K} \times 140.45 \text{ K} = 375.616 \text{ kW}$$

Penentuan densitas fluida kerja dari gas dan udara.
Dengan menggunakan beberapa langkah dalam pengerjaan untuk mendapatkan besarnya nilai densitas masing fluida kerja di APK, diperoleh dari persamaan-persamaan berikut ini:

Sehingga apabila diurutkan dari langkah-langkah tersebut dapat diperoleh dari masing-masing densitas fluida kerja tersebut yaitu:

1. Untuk udara yaitu:

$$\rho_c = \frac{1}{2} (\rho_{in} + \rho_{out})_c$$

Dimana:

$$\rho_{in} = 11.6489 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{out} = 10.0658 \text{ kg/m}^3$$

Maka, diperoleh densitas udara yaitu:

$$\rho_c = \frac{1}{2}(11.6489 + 10.0658) = 10.8573 \text{ kg/m}^3$$

2. Untuk gas yaitu:

$$\rho_h = \frac{1}{2}(\rho_{in} + \rho_{out})_h$$

Dimana:

$$\rho_{in} = 0.97198 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{out} = 0.6522 \text{ kg/m}^3$$

Maka, diperoleh densitas udara yaitu:

$$\rho_h = \frac{1}{2}(0.97198 + 0.6522) = 0.8120 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan Polinomial Sederhana untuk Alat Penukar Kalor

Dimana tahapan-tahapan pengerjaan dengan menggunakan polinomial pangkat 4 seperti berikut

$$\text{Udara} \rightarrow \omega_1 = \left(\frac{4\dot{m}_{uf}}{\pi \mu_{uf}} \right) = \left(\frac{4 \times 1.6 \text{ kg/s}}{3.14 \times 0.000041 \text{ kg/s.m}} \right) = 497125.9$$

$$\text{Gas} \rightarrow \omega_2 = \left(\frac{\dot{m}_{sf}}{\mu_{sf}} \right) = \left(\frac{2.72 \text{ kg/s}}{0.457 \text{ kg/s.m}} \right) = 59518$$

$$\frac{\text{Re}_{Dh}}{\text{Re}_D} = \frac{4}{\pi \gamma} \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{4}{3.14 \times 1.2} \times \frac{59518}{497125.9} = 1.27$$

$$z = \frac{f_o}{f} = \left(\frac{\text{Re}_{Dh}}{\text{Re}_D} \right)^{-0.2} = (1.27)^{-0.2} = 0.953$$

$$t_1 = \frac{UA}{2 C p_{uf} \dot{m}_{uf} \text{Pr}_{uf}^{-2/3}} = \frac{3.948 \text{ kW/K}}{(2 \times 1.135 \text{ J/KgK} \times 1.6 \text{ kg/s} \times 0.71)^{-2/3}} = 0.09$$

$$t_2 = \frac{UA}{0.5 \gamma Z \pi C p_{sf} \dot{m}_{sf} \text{Pr}_{sf}^{-2/3}} = \frac{3.948 \text{ kW/K}}{0.5 \times 1.2 \times 0.953 \times 3.14 \times 0.306 \text{ J/KgK} \times 2.72 \text{ kg/s} \times 0.72} = 0.21$$

$$t_3 = \frac{t_2}{Z} = \frac{0.21}{0.953} = 0.22$$

$$s_1 = \frac{4\dot{m}_{uf}}{\pi} = \frac{4 \times 1.6 \text{ kg/s}}{3.14} = 2 \text{ kg/s}$$

$$s_2 = \frac{\Delta P_{sf} \rho_{sf} 10^5}{s_1^2} = \frac{0.51 \times 86.759582 \times 10^5}{2^2} = 1066109.48$$

$$s_3 = \left(\frac{\rho_{air}}{\rho_{out}} + \frac{\rho_{air}}{\rho_{in}} \right) = \left(\frac{86.759582}{55.865273} \right) - \left(\frac{86.759582}{117.65389} \right) = 0.15$$

$$r_1 = \frac{\Delta P_{sf} \rho_{sf} 10^5}{\dot{m}_{sf}^2} = \frac{0.033 \times 2.4355268 \times 10^5}{2.72^2} = 3.62$$

$$r_2 = \left(\frac{\rho_{sf}}{\rho_{out}} + \frac{\rho_{sf}}{\rho_{in}} \right) = \left(\frac{2.4355268}{3.6252338} \right) - \left(\frac{2.4355268}{1.2458199} \right) = -0.4$$

$$r_3 = \frac{\pi}{4} Z \gamma = \frac{3.14}{4} \times 0.953 \times 1.2 = 0.9$$

$$v_1 = 2 \frac{t_1}{s_2} + \frac{t_3}{t_2} = 2 \times \frac{0.31}{1066109.48} + \frac{0.22}{0.12} = 0.0000014$$

$$v_2 = 2 \frac{t_3}{s_2} = 2 \times \frac{0.22}{0.12} = 3.66$$

Selanjutnya dapat diperoleh konstanta untuk persamaan polinomial pangkat 4 yaitu seperti dibawah ini:

$$a = v_2 \frac{r_1}{r_3} = 0.0060$$

$$b = v_1 \frac{r_1}{r_3} = 0.00059$$

$$c = -\frac{r_2}{r_3} - v_2 s_2 = -324.02$$

$$d = s_3 - v_1 s_2 = -0.09688$$

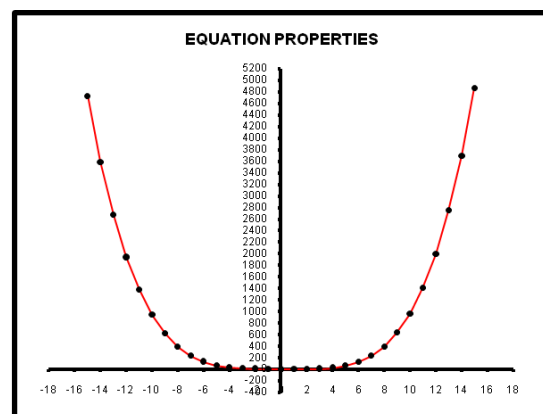
Dimana persamaan dasar dari polinomial tersebut adalah seperti persamaan dibawah ini:

$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$ M aka hasil yang diperoleh dari persamaan diatas:

$$a \tilde{A}^4 + b \tilde{A}^3 + c \tilde{A} + d = -1606.7$$

Sehingga diperoleh nilai A = 0.0165

Apabila dibuatkan grafik persamaan polinomial pangkat 4 seperti Gambar 7 dibawah ini:



Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan luas permukaan alat penukar kalor berdasarkan hasil

http://ejournal.politeknikhpk.ac.id/index.php/surya_teknika

metode optimasi dengan persamaan polynomial pangkat empat, didapatkan parameter diameter pipa, panjang pipa, jumlah pipa, luas pipa, koefisien pindah panas dengan cara trial dan error. Dengan menggunakan persamaan berikut ini:

a. Apabila dicoba pada diameter = 0.01 m

Dapat dihitung untuk jumlah tube yang dibutuhkan dengan persamaan dibawah ini:

$$n = \frac{(v_1 + v_2 \tilde{A})^{\frac{1}{2}}}{D^2} = 33 \text{ buah}$$

Untuk, bilangan Reynold dialat penukar kalor sebesar:

$$Re_D = \omega_1 \frac{1}{nD} = 1.5 \cdot 10^5$$

Selanjutnya dapat dihitung faktor pengaruh dari gesekan fluida dengan APK:

$$f \cong \begin{cases} 0.079 Re_D^{-0.25}, & 3 \times 10^3 < Re_D < 2 \times 10^4 \\ 0.046 Re_D^{-0.20}, & 2 \times 10^4 < Re_D < 10^6 \end{cases}$$

Faktor gesekan dipengaruhi dari bilangan Reynold, hasil bil. Reynold sebesar 317391.9095, maka digunakan persamaan dibawah ini:

$$f = 0.046 Re_D^{-0.2} = 0.046 \times (317391.9095)^{-0.2} = 0.00425$$

Kemudian dapat diketahui panjang tube yang dibutuhkan dengan persamaan berikut ini:

$$L = \frac{\left(\frac{FL}{D}\right) D}{f} = 1.6 m$$

Selanjutnya dapat dihitung luas perpindahan kalor yang terjadi, pada persamaan berikut ini:

$$A = n(\pi DL) = 1.6407 m^2$$

Untuk langkah selanjutnya dapat dihitung koefisien perpindahan kalor pada persamaan berikut ini:

$$U = \frac{UA}{A} = 135 W / m^2 K$$

Selanjutnya apabila dilakukan langkah yang sama menggunakan cara trial dan error untuk D = 0.02 dan 0.03 m dapat dibuatkan tabel seperti pada Tabel 4.2. dibawah ini:

Tabel .1. Hasil perhitungan metode optimasi polynomial pangkat 4

No	D (m)	n	Re _D	f	L (m)	L/D	A (m ²)	U (W/m ² K)
1	0.01	33	1.5 × 10 ⁵	0.00425	1.6	157	1.64	135
2	0.012	23	1.8 × 10 ⁵	0.00409	2.0	163	1.70	130
3	0.012	21	1.9 × 10 ⁵	0.00374	2.1	164	1.71	129
3	0.018	9	2.8 × 10 ⁴	0.00352	3.0	178	1.86	119

Penentuan dimensi alat penukar kalor hasil perhitungan polynomial

Dengan menggunakan metode optimasi perhitungan dimensi utama alat penukar kalor untuk diberikan udara panas sekitar 60°C untuk disuplaikan ke mesin pengering celana dan jeans. pada Tabel 4.2 untuk banyaknya tube dan panjang tube yang dibutuhkan dengan pertimbangan adanya faktor gesekan dan juga bilangan Reynold yang mempengaruhi kinerja fluida dan koefisien perpindahan kalor yang terjadi didalam, sehingga pada Tabel 4.3. diperoleh faktor yang berpengaruh apabila ingin diketahui faktor konveksi (baik untuk udara dan gas) serta konduksi terhadap nilai UA (koefisien perpindahan panas pada satuan luas).

Sehingga dengan memperhatikan hasil aspek perhitungan tersebut diperoleh dimensi utama dari alat penukar kalor tersebut yaitu seperti pada Tabel

4.4 berikut ini:4.4 berikut ini:

Tabel 2. Dimensi utama hasil polynomial pangkat 4

No	Parameter / Dimensi	Simbol	Desain	Satuan
1	Diameter <i>Shell</i>	D_s	900	mm
2	Panjang	L	1.6	m
3	Jumlah <i>Tube</i>	N_t	33	Buah
4	Diameter <i>tube</i>	d_o	0.01	m
5	Beban Termal	Q	83000	W
6	Temperatur udara masuk	T_{ci}	30	°C
7	Temperatur udara keluar	T_{co}	60	°C
8	Temperatur gas masuk	T_{hi}	300	°C
9	Temperatur gas keluar	T_{ho}	283	°C
10	Laju Aliran Massa gas	m_h	2.72	kg/s
11	Laju Aliran Massa udara	m_c	1.6	kg/s
12	LMTD	ΔT_{LMTD}	240.45	°C
13	Susunan antar <i>tube</i>	CL	30	Derajat
14	Jumlah <i>OnePass</i>	CTP	0.93	-

Berdasarkan metode optimasi dengan polynomial perencanaan dimensi alat penukar kalor dihitung dengan menggunakan trial and eror, dimana diameter, tebal, dan jumlah pipa merupakan data variable. Kontruksi alat penukar kalor optimum, dipilih dikarenakan bahwa kondisi optimumnya dimana adanya kinerja kompak dari kriteria yang dihasilkan seperti pada Tabel 4.1. diatas terlihat bahwa hasil yang kompak diperoleh pada kondisi no 1 yaitu diameter tube adalah 0.01 m dan jumlah tube 33 buah, dimana dipengaruhi oleh bilangan Reynold sebesar $1.5 \cdot 10^5$, dan memiliki faktor gesekan sebesar 0.00425, dan luas penampang perpindahan panas pada 1 m dan juga koefisien perpindahan panas yang terjadi sebesar $135 \text{ W/m}^2\text{K}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiyo, "Optimasi Alat Penukar Kalor Dengan Pemanfaatan Gas Buang Pembakaran Ketel Uap Untuk Pengeringan Pakaian," *Surya Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [2] A. Bejan, *Heat transfer, second edition*. 1995.
- [3] I. Bizzy and R. Setiadi, "Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Dengan Program Heat Transfer Research Inc. (Htri)," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 67–76, 2013.
- [4] E. dan A. I. R. Kiswoyo, "Perancangan Dan Validasi Desain Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Menggunakan Computational Fluid Dynamics," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin Vol. 8, No. 2, Mei 2017*, vol. 8, no. 2, pp. 39–46, 2017.
- [5] S. Yulianto, M. Qadri, and Fa. Maghfurah, "Perencanaan pembuatan alat penukar kalor jenis shell and tube skala laboratorium," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. 2014*, no. November, pp. 1–4, 2014.
- [6] S. Ihsan, "Analisa Perhitungan Jumlah Tube Dan Diameter Shell Pada Kondensor Berpendingin Air Pada Sistem Refrigerasi NH_3 ," *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2017, doi: 10.36048/jtpii.v2i1.2351.