

DESAIN DAN RANCANG BANGUN ALAT PENUKAR KALOR (HEAT EXCHANGER) JENIS SHELL DAN TUBE

Design of Heat Exchanger Shell and Tube

Bary Septian¹, Amiral Aziz^{1 2)}, Paul David Rey¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam
Assyafiyah Jakarta

²⁾ Balai Besar Teknologi Konversi Energi BPPT
Email : rih8531@gmail.com

ABSTRACT

Heat Exchanger is a tool for the process of transferring energy (heat), using fluid media both gas, hot, and cold, from one area to another because of differences in temperature and temperature. Therefore we need a design and design of a shell and tube heat exchanger, and fabricate the thermal and mechanical components into a heat exchanger. In addition, so that the design can be well directed, there are several things that must be done such as : calculation of the main components of the shell and tube and the design process of a heat exchanger (heat exchanger). The flow diagrams used are: starting with literature studies, preparing tools and materials for design, then calculating the main components of the shell and tube, making 2D and 3D images, the fabrication process, if the heat exchanger goes down, it will return to the main component calculation phase, if the tool functions properly then the design and design process is complete. Based on the TEMA Standard design and the use of the HTRI application, the required surface area based on the application is 8.27 m² while the manual calculation is 9.09 m². This shows that the design of the shell and tube heat exchanger is appropriate.

Keywords: Heat Exchanger, Design , Shell and tube

ABSTRAK

Heat Exchanger adalah alat untuk proses berpindahnya suatu energi (kalor), menggunakan media fluida baik gas, panas, maupun dingin, dari suatu daerah ke daerah lain karna adanya perbedaan temperature dan suhu. Maka dari itu diperlukan sebuah perancangan dan desain alat penukar kalor (heat exchanger) jenis shell and tube, dan memfabrikasi komponen komponen thermal dan mekanikal menjadi sebuah alat penukar kalor. Selain itu agar perancangan dapat terarah dengan baik, maka ada beberapa hal yang harus dilakukan seperti : perhitungan komponen utama shell and tube dan proses perancangan alat penukar kalor (heat exchanger). Diagram alir yang digunakan yakni : dimulai dengan studi literatur, persiapan alat dan bahan untuk perancangan, lalu perhitungan komponen utama shell and tube, pembuatan gambar 2D dan 3D, proses fabrikasi, jika alat penukar kalor mengalami kendala maka akan kembali ke tahap perhitungan komponen utama, jika alat berfungsi dengan baik maka proses perancangan dan desain selesai. Berdasarkan desain Standar TEMA serta penggunaan aplikasi HTRI surface area yang di butuhkan berdasarkan aplikasi yaitu 8,27 m² sedangkan perhitungan secara manual didapat 9,09 m². Hal ini menunjukkan bahwa desain alat penukar kalor jenis shell and tube sudah sesuai.

Kata Kunci : Rancang Bangun Heat Exchanger, Shell And tube

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Heat Exchanger adalah alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengubah temperature dan fasa suatu jenis fluida. Proses tersebut terjadi dengan memanfaatkan proses perpindahan kalor dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah. *Heat Exchanger* adalah suatu peralatan yan digunakan untuk mentransfer kalor dari *exchanger* secara konveksi. Dalam proses desain *Shell* dan tube *Heat Exchanger* sangat diperlukan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang

mempengaruhi Ukuran dari *shell* dan *tube Heat Exchanger* itu serta pertimbangan Desainnya. Dalam perkembangannya *heat exchanger* mengalami transformasi bentuk yang bertujuan meningkatkan efisiensi sesuai dengan fungsi kerjanya. Bentuk *heat exchanger* yang sering digunakan adalah *shell and tube* dengan berbagai pertimbangan bentuk ini dinilai memiliki banyak keuntungan baik dari segi fabrikasi, biaya, hingga unjuk kerja.

Heat exchanger merupakan media vital didalam dunia industri. Untuk itu dalam penelitian ini

direncanakan sebuah *heat exchanger* model *shell and tube* sederhana namun tetap mengacu pada kaidah desain yang ada. Sehingga didapat keuntungan sebagai metode pembelajaran mengenai proses desain, mekanisme kerja, hingga unjuk kerja *heat exchanger*.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai pada penulisan skripsi ini adalah :

1. Merancang Thermal dan mekanikal suatu alat penukar kalor (*heat exchanger*) dengan media kerja oli dan air.
2. Memfabrikasi dan merakit komponen – komponen menjadi suatu alat penukar kalor.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung *shell* berukuran 300 mm untuk *out shell*, 293,65 mm untuk *in shell*, dengan material *shell Seamless Pipa Carbon Steel ASTM A106* dengan ketebalan *shell* 3,175 mm dengan panjang *shell* 1000 mm.

2.2 Metode

A. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam kehidupan sehari-hari baik penyerapan atau pelepasan kalor, untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung. Kalor sendiri adalah salah satu bentuk energi.

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak musnah, contohnya hukum kekekalan massa dan momentum, ini artinya kalor tidak hilang. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk pertama ke bentuk yang kedua.

Kalor dapat berpindah dengan tiga macam yaitu:

1. Pancaran, sering juga dinamakan radiasi
2. Hantaran, sering juga dinamakan konduksi
3. Aliran, sering juga dinamakan konveksi

B. Alat Penukar Kalor

Penukar kalor banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan di industri. Sebagai contoh dalam kehidupan sehari-hari sering dipergunakan alat masak memasak yang semuanya sebenarnya merupakan alat penukar kalor. Di dalam mobil maupun alat transportasi lainnya banyak dijumpai radiator maupun alat pengkondisi udara kabin, yang keduanya juga merupakan penukar kalor. Di industri, banyak sekali peralatan penukar kalor seperti ketel uap (*boiler*), pemanas lanjut (*super heater*), pendingin oli pelumas (*oil cooler*), kondenser (*condenser*), dan lain-lain.

C. Fungsi Alat Penukar Kalor

Dalam praktek fungsi penukar kalor yang dipergunakan di industri lebih diutamakan untuk menukarkan energi dua fluida (boleh sama zatnya) yang berbeda temperaturnya. Pertukaran energi dapat berlangsung melalui bidang atau permukaan perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida atau secara kontak langsung (fluida bercampur). Energi yang dipertukarkan akan menyebabkan perubahan temperature fluida (kalor sensible) atau kadang dipergunakan untuk berubah fasa (kalor laten). Laju perpindahan energi dalam penukar kalor dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kecepatan aliran fluida, sifat-sifat fisik (viskositas, konduktivitas termal, kapasitas kalor spesifik, dan lain-lain), beda temperature antara kedua fluida, dan sifat permukaan bidang perpindahan kalir yang memisahkan kedua fluida. Walaupun fungsi penukar kalor adalah untuk menukarkan energi dua fluida atau dua zat, namun jenisnya banyak sekali. Hal ini terjadi karena biasanya desain penukar kalor harus menunjang fungsi utama proses yang akan terjadi didalamnya.

D. Jenis – Jenis Alat Penukar Kalor

Standar yang banyak dipergunakan dalam masalah penukar kalor ini yaitu TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturer Association*) yaitu suatu asosiasi para pembuat penukar kalir di Amerika dan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). TEMA lebih banyak membahas mengenai jenis penukar kalor, metode perhitungan kinerja dan kekuatannya (proses perancangan), istilah bagian-bagian dari penukar kalor (*parts*), dan dasar pemilihan dalam aplikasi penukar kalor untuk kebutuhan kehidupan sehari-hari khususnya di industri. Sedangkan ASME lebih memuat masalah prosedur dasar bagaimana membuat penukar kalor serta standard bahan yang akan atau biasa dipergunakan. Kedua aturan atau prosedur tersebut tidak lain bertujuan untuk melindungi para pemakai dari bahaya kerusakan, kegagalan operasi, serta kemana dan dengan alasan apa apabila terjadi "*complaint*" terhadap masalah yang terjadi. Hal ini dapat dimengerti karena pada umumnya penukar kalor bekerja pada temperature dan tekanan yang tinggi serta kadang-kadang menggunakan fluida yang bersifat kurang ramah terhadap kehidupan manusia.

Berdasarkan TEMA secara garis besar jenis penukar kalor dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan pemakaiannya di industri yaitu:

- Kelas R: untuk pemakaian dengan kondisi kerja yang berat, misalnya untuk industri minyak dan industri kimia berat.
- Kelas C: yaitu yang dibuat untuk pemakaian umum (*general purpose*), yang dasar

produksinya lebih memperhatikan aspek ekonomi dengan ukuran dan kapasitas pemindahan panas yang kecil. Kelas ini dipergunakan untuk pemakaian umum di industri.

Namun demikian didalam pembicaraan dikalangan akademisi, klasifikasi penukar kalor ini menjadi lebih luas karena dapat digolong-golongkan berdasarkan berbagai aspek, antara lain:

- Proses perpindahan kalor yang terjadi.
- Tingkat kekompakan permukaan pemindah kalor.
- Profil konstruksi permukaan.
- Susunan aliran fluida.
- Jumlah atau banyaknya fluida yang dipertukarkan energinya.
- Mekanisme perpindahan kalor yang dominan.

E. Jenis Penukar Kalor berdasarkan Proses Perpindahan Yang Terjadi.

Berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi, penukar kalor dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu tipe kontak langsung dan tipe tidak kontak langsung.

F. Jenis Penukar Kalor Berdasarkan Profil Kontruksi Permukaan

Berdasarkan profil konstruksi permukaan, penukar kalor yang banyak dipergunakan di industri antara lain dengan konstruksi tabung dan pipa (*shell and tube*), pipa bersirip (*tube with extendsurfaces/fins and tube*), dan penukar kalor pelat (*plate heat exchanger*).

G. Tipe Tabung Dan Pipa (*Shell And Tube*)

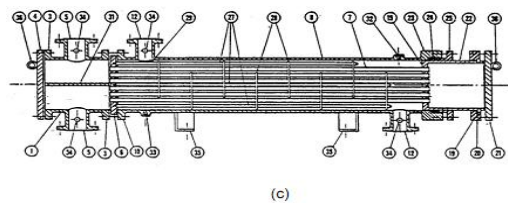
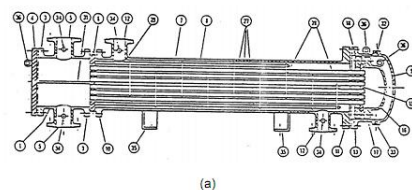
Tipe tabung dan pipa merupakan jenis penukar kalor yang paling banyak digunakan di industri khususnya industri perminyakan. Jenis ini terdiri dari suatu tabung dengan diameter cukup besar yang didalamnya berisi seberkas pipa dengan diameter relative kecil seperti diperlihatkan pada gambar 1(c) salah satu fluida yang dipertukarkan energinya dilewatkan didalam pipa atau berkas pipa sedang fluida yang lainnya dilewatkan diluar pipa atau didaam tabung.

Konstruksi dari penukar kalor jenis ini sangat banyak. Salah satu contohnya diperlihatkan pada gambar 1(c) yaitu jenis dengan konstruksi "*fixed tube sheet*" artinya pelat pemegang pipa-pipa pada kedua ujung pipa, keduanya memiliki konstruksi yang tetap (tidak dapat bergeser secara aksial dan arah sumbu tabung relative antara satu sisi dengan sisi lainnya) seperti terlihat pada gambar 1(b) contoh yang lain adalah jenis "*floating tube sheet*" artinya salah satu pelat pemegang pipa-pipa pada kedua ujung pipa dapat bergerak relative terhadap satunya karena tidak terjepit oleh flens

(mengambang) seperti ditunjukkan pada gambar 1(a).

Pergerakan relatif ini dimaksudkan sebagai kompensasi akibat pertambahan panjang bila terjadi perubahan temperature pada pipa sehingga tidak memberikan tambahan beban gaya pada baut pengencang flens tabung diluar pipa. Hal ini selain untuk alasan kekuatan bahan juga dimaksudkan untuk keamanan dalam al menghindari kebocoran.

Pada gambar 1(a) Nampak bahwa diameter tabung tidak sama sepanjang penukar kalor. Pebesar diameter dimaksudkan untuk menampung perubahan fasa dari fluida yang berada diluar pipa dan di dalam tabung. Alat ini diaplikasikan untuk proses penguapan atau pendidihan fluida diluar pipa. Jenis ini sering disebut dengan jenis ketel (*kettle*).



Gambar 1. Penukar Kalor Tipe Tabung Dan Pipa (*Shell and tube*)

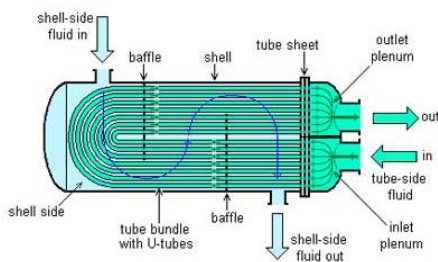
Nomenklatur dari gambar 1:

1. Tabung (*shell*)
2. Tutup tabung (*shell cover*)
3. Flens sisi alur (*shell flange channel end*)
4. Flens sisi tutup (*shell flange cover end*)
5. Nosel (*shell nozzle*)
6. Pemegang pipa mengambang (*floating tube sheet*)
7. Penutup tabung mengambang (*floating head cover*)
8. Flens mengambang (*floating head flange*)
9. Peralatan dibelakang flens (*floating head backing device*)
10. Pemegang pipa tetap (*stationary tubesheet*)
11. Kanal atau tutup tetap (*channel or stationary head*)
12. Tutup kanal (*channel cover*)
13. Nosel kanal (*channel nozzle*)
14. Batang penguat dan pemisah (*tie rod & spacer*)
15. Bafel atau pelat pendukung (*baffles or support plate*)
16. Bafel penahan semprotan (*impingement baffle*)

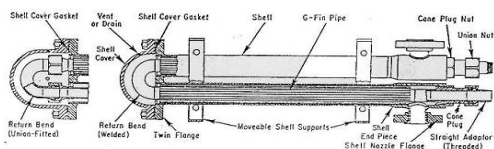
17. Partisi laluan (*pass penition*)
18. Penghubung pengeluaran gas (*vent connection*)
19. Penghubung tempat pembuangan (*drain connection*)
20. Tempat alat ukur (*instrument connection*)
21. Tempat penopang (*support saddles*)
22. Lobang tempat untuk mengangkat (*lifting lugs*)
23. Pipa-pipa (*tubes*)
24. Weir penyambung alat untuk melihat ketinggian cairan (*liquid level connection*)

Selain jenis seperti yang diperlihatkan pada gambar 1. untuk tipe tabung dan pipa masih ada jenis lain yang banyak pula dipergunakan di industri yaitu tipe pipa U (*U tube type*) seperti diperlihatkan pada gambar 2. dan tipe dua pipa (*double pipe type*) seperti diperlihatkan pada gambar 3. pada jenis yang terakhir ini setiap tabung berisi berkas pipa masing-masing.

Fluida yang dipertukarkan energinya dalam penukar kalor tipe tabung dan pipa ini dapat berwujud cair dan cair atau cair dan gas, atau cair dan gas dalam proses perubahan fasa menjadi gas.



Gambar 2. Penukar Kalor Tabung Dan Pipa Tipe Pipa U



Gambar 3. Penukar Kalor Tabung Dan Pipa Tipe Dua Pipa (Double Pipe)

H. Bagian - Bagian Komponen Alat Penukar Kalor

Proses pembuatan alat penukar kalor (*heat exchanger*) jenis shell and tube ini memerlukan alat pendukung diantaranya adalah:

Shell

Shell merupakan satu dari 2 komponen utama dalam system penukar panas ini. Shell ini berada pada bagian luar yang menutupi bagian *tube*. Shell ini mengalirkan fluida air. Bahan yang digunakan adalah Seamless Pipa Carbon Steel ASTM A106, dengan keunggulan sebagai berikut:

- Dinding Pipa yang lebih tebal sehingga tahan terhadap tekanan dan suhu tinggi.
- Tidak ada sambungan las, yang berarti lebih tahan terhadap korosi
- Memiliki bentuk silinder yang lebih baik.



Gambar 4. Shell

Berikut ini adalah spesifikasi dari *shell* yang digunakan:

Tabel 1. Spesifikasi Shell

Bagain Shell	Ukuran
D out shell	300 mm
D in shell	293,65 mm
Material shell	Seamless Pipa Carbon Steel ASTM A106
Ketebalan Shell	3,175 mm
Panjang shell	1000 mm

Tube

tube juga merupakan komponen utama dalam perpindahan panas shell and *tube*. *tube* merupakan bagian yang mengalirkan fluida minyak dan berada didalam bagian shell. Bahan yang digunakan adalah Stainlees SS 304.



Gambar 5. Tube

Dalam pemilihan bahan yang akan digunakan untuk *tube* ialah stainless SS 304. Dengan diameter dalam 13,40 mm dengan panjang 1000 mm. alasan penulis memilih bahan stainless SS 304 karna pada dasarnya dilapangan kebanyakan menggunakan material ini. Dengan kelebihan:

- Mudah dibentuk dan dapat di las
- Tahan karat
- Memiliki kualitas baik untuk proses *deep drawing*
- Memiliki daya tahan tinggi

- Mampu menyerap dan menghantarkan panas dengan baik
- Nilai jangka panjang pada alat dibanding logam lainnya
- Mampu menahan pada variasi suhu ekstrim

Tabel 2. Properti Stainless SS 304

Properti Mekanik	Metrik
Kekerasan (sifat kebjajaan), Brinell	123
Kekerasan (sifat kebjajaan), Knoop	138
Kekerasan (sifat kebjajaan), Rockwell B	70
Kekerasan (sifat kebjajaan), Vickers	129
Daya tarik, Ultimate	505 Mpa
Daya tarik, Yield	215 Mpa
Elongation at break (Daya tarik sampai material putus	70 %
Modulus Elastisitas	193 – 200 Gpa
Rasio Poisson	0,29
Charpy Impact	325 J
Modulus Geser	86 GPa

Tabel 3. Properti Elektrik

Properti Elektrik	Metrik
Ketahanan listrik	7.2e-005 ohm-cm
Permeabilitas magnetic	1.008

Tabel 4. Properti Suhu

Poperti Suhu	Mertik
CTE, linear 20 °C	0.5 J/g- °C
CTE, linear 250 °C	17.8 $\mu\text{m}/\text{m} - ^\circ\text{C}$
CTE, linear 500 °C	18.7 $\mu\text{m}/\text{m} - ^\circ\text{C}$
Kapasitas pana spesifik	0.5 J/g- °C
Konduktivitas termal	16.2 W/m-K
Titik lebur	1400 °C - 1455 °C
Solid	1400 °C
Likuid	1455 °C

I. Fluida Yang Digunakan Pada Shell

Adapun cairan fluida yang digunakan pada shell adalah air biasa dengan massa jenis 1000 kg/m^3 .



Gambar 6. Air

J. Fluida Yang Digunakan Pada tube

Adapun cairan fluida yang digunakan pada tube adalah oli dengan viskositas oli SAE 40.



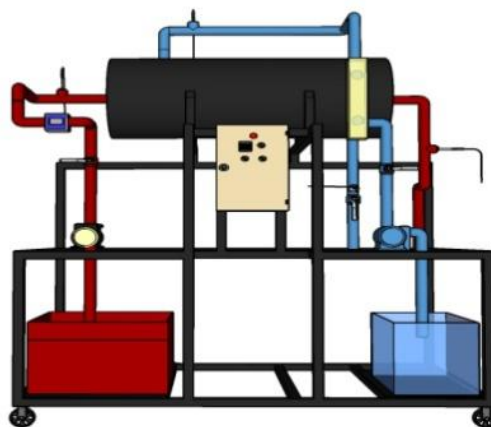
Gambar 7. Oli

K. Pembuatan Kerangka Alat Penukar Kalor

Kerangka yang direncanakan adalah kerangka berbahan besi hollow yang disambung dengan las.



Gambar 8. Proses Pembuatan Kerangka



Gambar 9. Alat Heat Exchanger Shell And Tube

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tahapan Perancangan

Berdasarkan Saunders (1988) Langkah-langkah dalam merancang alat penukar kalor adalah sebagai berikut :

Memperkirakan koefisien perpindahan kalor secara menyeluruh (U), berdasarkan pengalaman, atau menggunakan nilai – nilai yang diberikan, waktu yang ditetapkan untuk mengatakan desain yang kuat akan tergantung pada kedekatan nilai yang di perhitungkan

Hitung area sementara (A) dari Q/ (U ΔTm). Dengan Menggunakan diameter tabung, pitch, dan panjang yang diketahui atau diperkirakan, jumlah *tentative* tabung yang dibutuhkan dan dapat dihitung. Diameter tentatif *shell* untuk tipe *exchanger* yang diusulkan kemudian diambil dari jumlah tabung

Koefisien transfer kalor (a out & a in), dan kerugian tekanan (ΔPs dan ΔPt) dihitung sebagaimana di uraikan dalam bab ini untuk kedua sisi pipa *shell*

Koefisien perpindahan panas ini berhubungan dengan permukaan luar, kemudian perpindahan panas secara keseluruhan (U) di tentukan oleh kalkulasi.

$$U_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{a}\right) \left(\frac{d_o}{d_i}\right) + r_i \left(\frac{d_o}{d_i}\right) + r_i + r_o + \left(\frac{1}{a_o}\right)}$$

Kalkulasi (Uo) dibandingkan dengan nilai yang ditetapkan, kerugian tekanan dibandingkan dengan nilai yang dapat diterima. Jika tidak ada kemungkinan mengalir , getaran yang diinduksi, mungkin perlu untuk mengubah satu atau lebih parameter rancangan, yaitu diameter tabung, panjang tabung, susunan aliran samping, jenis buffel dan jarak, atau jumlah sisi *tube*.

Maka dengan begitu hal yang perlu diketahui adalah data mekanikal dan juga data thermal agar perancangan dapat dilakukan.

3.2 Beberapa Hal yang di tentukan dalam proses perancangan *heat exchanger* jenis *shell and tube*

a. Pada sisi *tube*

- Jenis Fluida : Oli
- Laju aliran oli : 0,1 kg/s
- Temperatur in : 60°C atau 273+60 = 333⁰K
- Temperatur out : 35°C atau 273+35 = 308⁰K
- Panas spesifik : 2847 J/kg.K
- Kerapatan (density) : 950 kg/m³

b. Pada sisi Shell

- Jenis Fluida : air (water)

- Laju aliran air : (dicari menggunakan persamaan qc=qh)
- Temperatur in : 32°C atau 273+32 = 305⁰K
- Temperatur out : 34,5°C atau 273+34,5 = 307,5⁰K
- Panas spesifik : 4186,8 J/kg.K
- Kerapatan (density) : 1000 kg/m³

Mencari laju aliran pada sisi shell dengan persamaan

$$q_c = q_h$$

$$\dot{m}_c \times C_p.c \times \Delta T_{air} = \dot{m}_h \times C_p.h \times \Delta T_{oli}$$

$$q_h = \dot{m}_h \times C_p.h \times \Delta T_{oli} = 0,1 \text{ Kg/s} \times 2847 \text{ J/Kg K} \times 25 \text{ } ^\circ\text{K} = 7117,5 \text{ W}$$

maka untuk mencari laju aliran pada sisi *tube* yaitu :

$$\dot{m}_c = \frac{7117,5 \text{ w}}{4186,8 \frac{\text{J}}{\text{Kg}} \times 2,5 \text{ } ^\circ\text{K}} = 0,679 \text{ kg/s} =$$

- q = Kalor Yang Dipindahkan (**Watt**)
- Cp = Panas Spesifik (**J/kg.K**)
- \dot{m} = Laju Aliran Massa (**kg/s**)
- T = Temperatur Massa (**°K**)
- c,h = Fluida Dingin, Fluida Panas
- i,o = Masuk , Keluar

Mencari ΔLMTD (Log Mean Temperature Difference)

$$\Delta T_1 = (T_{hi} - T_{co}) = (333-307,5) \text{ } ^\circ\text{K} = 25,5 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T_2 = (T_{ho} - T_{ci}) = (308-305) \text{ } ^\circ\text{K} = 3 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$LMTD = \frac{25,5 - 3 \text{ } ^\circ\text{K}}{\ln \frac{25,5 \text{ } ^\circ\text{K}}{3 \text{ } ^\circ\text{K}}}$$

$$LMTD = 10,51 \text{ } ^\circ\text{K}$$

1. Penentuan Data Mekanikal

- Material yang digunakan dalam pembuatan *tube* yaitu stainless aisi 304
- Desain Heat Exchanger : AEL

Tabel 5. Penentuan Jumlah *tube* Dan i.d *shell*

shell ID (mm)	15.88mm od. tube		19.05mm od tube	
	1 pass		1 pass	
	0.00	0.33	0.00	0.33
254	125	119	127	120
300	166	155	127	120
305	186	175	158	148

(10)

- Menghitung surface area berdasarkan desain

$$A = Nt \times \pi \times D_o \times L_{tube}$$

$$A = 166 \times 3,14 \times 0,015875 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$A = 8,275 \text{ m}^2$$

Keterangan :

Nt : Jumlah tube
L : Panjang tube (m)
Do : Diameter luar tube (m)

- Maka dapat di rangkum sebagai berikut

2. LMTD correction factor

$$P = \text{efisiensi panas} = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = \text{rasio kapasitas panas} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

Keterangan :

T₁ = Suhu keluar shell
T₂ = Suhu masuk shell
t₁ = Suhu keluar tube
t₂ = Suhu masuk tube

2. Menghitung Surface Are Yang diinginkan (Required)

$$A = Nt \times \pi \times D_o \times L_{tube}$$

$$A = 166 \times 3,14 \times 0,015875 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$A = 8,275 \text{ m}^2$$

3. Menghitung Surface Area Actual

$$A = \frac{q}{U \times \Delta T_m}$$

$$A = \frac{7117,5 \text{ w}}{74,44 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 10,51^\circ \text{K}}$$

$$A = 9,09 \text{ m}^2$$

4. Perhitugan Tegangan Pada shell dan tube shell longitudinal Stress

Diketahui :

Do : 306,35 mm → konversi : 12,0625 inch
Cs : 1.0 (berdasarkan TEMA)
ts : 3,175 mm → konversi : 0,125 inch
Ps : 450 Psi (berdasarkan spesifik material)

Dimana :

Cs : 1 (berdasarkan TEMA)
Do : diameter Luar shell (inch)
ts : ketebalan dinding shell (inch)
Ps : tekanan desain sisi shell (Psi)

$$S_s = \frac{C_s (D_o - t_s) P_s}{4 t_s}$$

$$S_s = \frac{1 (12,0625 - 0,125) \text{ inch} \times 450 \text{ Psi}}{4 \times 0,125 \text{ inch}}$$

$$S_s = \frac{179,65}{0,5}$$

$$S_s = 358,25 \text{ Psi}$$

5. Tube Longitudinal Stress

Perhitungan tube longitudinal stress bisa di cari dengan rumus

$$St = \frac{C_t \times F_q \times P_t \times G^2}{4 \times N \times t_t \times (d_o - t_t)}$$

Dimana :

Ct : 1 (berdasarkan TEMA)
Do : diameter luar tube
Pt : tekanan desain sisi tube (Psi)
N : jumlah tube
G : diameter dalam shell (inch)
T : ketebalan tubesheet (inch)
L : panjang tube (inch)

6. Mencari Nilai Fq

$$F_q = 0,25 + (F - 0,6) \left[\frac{300 \times t_s \times E_s}{K \times L \times E} \left(\frac{G}{T} \right)^3 \right]^{1/4}$$

7. Mencari Nilai K

Dimana :

Es : elastic modulus shell (Psi)
Et : elastic modulus tube (Psi)
Do : diameter luar shell (inch)
ts : ketebalan dinding shell (inch)
do : diameter luar tube (inch)
tt : ketebalan dinding tube (inch)

$$K = \frac{E_s \times t_s (D_o \times t_s)}{E_t \times t_s (d_o - t_t)}$$

$$= \frac{30 \times 10^6 \text{ Psi} \times 0,125 \text{ inch} (12,0625 - 0,125) \text{ inch}}{30 \times 10^6 \text{ Psi} \times 0,046 \text{ inch} (0,625 - 0,125) \text{ inch}}$$

$$= \frac{1,4925}{0,023}$$

$$= 64,89$$

8. Maka bisa dicari perhitungan Fq sebagai berikut :

$$F_q = 0,25 + (F - 0,6) \left[\frac{300 \times t_s \times E_s}{K \times L \times E} \left(\frac{G}{T} \right)^3 \right]^{1/4}$$

$$= 0,25 + \left(1 - 0,6 \right) \left[\frac{300 \times 0,125 \text{ inch} \times 30 \times 10^6 \text{ Psi}}{64,89 \times 35,437 \text{ inch} \times 30 \times 10^6 \text{ Psi}} \left(\frac{11,8125}{0,125} \right)^3 \text{ inch} \right]^{1/4}$$

$$= 0,25 + 0,4 \left[\frac{37,5}{2299,5} \times 843,9 \right]^{1/4}$$

$$= 0,65 [13,76]^{1/4}$$

$$= 0,65 \times 3,4$$

$$= 2,24$$

9. Maka Nilai tube Longitudinal Stress

$$St = \frac{C_t \times F_q \times P_t \times G^2}{4 \times N \times t_t \times (d_o - t_t)}$$

$$St = \frac{1 \times 2,24 \times 150 \text{ Psi} (11,8125)^2 \text{ inch}}{4 \times 166 \times 0,125 \text{ inch} \times (0,625 - 0,125) \text{ inch}}$$

$$St = \frac{3969}{41,5}$$

$$St = 95,61 \text{ Psi}$$

KESIMPULAN

1. Tipe dari heat exchanger yaitu AEL
2. Laju perpindahan panas yang dihasilkan alat penukar kalor yaitu 7117,5 watt.
3. Berdasarkan desain Standar TEMA serta penggunaan aplikasi HTRI surface area yang di butuhkan berdasarkan aplikasi yaitu 8,27 m² sedangkan perhitungan secara manual didapat 9,09 m². Hal ini menunjukkan bahwa

4. desain alat penukar kalor jenis *shell* and *tube* sudah sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bizzy, R Setiadi 2013. Studi perhitungan alat penukar kalor type *shell* and *tube* dengan program heat transfer reaserch inc. (HTRI) Palembang : Jurnal Rekayasa Mesin vol 3 Universitas Sriwijaya.
2. Crowe C. T Elger D.f Roberson D.F (2001). Engineering Fluyid mechanics. Jhon willey and sons
3. Dewi, Eka 2000, Pengaruh Kecepatan Terhadap Efektifitas *Heat Exchanger Shell And Tube*, Jurnal Jakarta.
4. E.A.D. Saunders, Heat Exchanger Selection, Design And Construction.
5. Geankoplis, C.J. 1987. Transport Process And Unit Operations. Allyn And Bacon Inc.
6. Hartono, Rudi, 2008. Penukar Panas. Cilegon, Banten : Penerbit Camelia.
7. Hotman J. P 1984. Perpindahan kalor. Edisi Kelima. Penerbit : Erlangga.
8. Koestoer, Randi Artono,2002. Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik.
9. M. While Frank dan Hariandja, Manahan, 1988. Mekanika Fluida (terjemah). Erlangga.
10. Heat Exchangers: Selection, Design & Construction E. A. D. Saunders Longman Scientific & Technical, 1988 - Heat exchangers