

PERANCANGAN PEMANAS AIR DENGAN SUMBER PANAS DARI KONDENSOR MESIN *REFRIGERATOR* 0,5 PK

¹Nanang Burhan, ²Rega Dwi Adisetya, ³Oleh Oleh, ⁴Iman Dirja

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

¹nanang.burhan@ft.unsika.ac.id, ²rega123@gmail.com, ³olehkrw1969@gmail.com, ⁴Imandirja68@gmail.com

INFO ARTIKEL

Diterima : 08 April 2021

Direvisi : 03 Juli 2021

Disetujui : 19 Oktober 2021

Kata Kunci :

CFD, Mesin Pendingin, Pemanas Air, *Refrigerator*, Temperatur, *Tube*

ABSTRAK

Mesin pendingin atau *refrigerator* sangat dibutuhkan guna membuat makanan dan kebutuhan rumah tangga lainnya agar tetap segar dan awet dengan cara menukar atau membuang panas pada makanan tersebut. Panas yang dibuang dari *refrigerator* bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan alat pemanas dengan menggunakan prinsip penukar panas. Tujuan dari penelitian ini yaitu merancang sebuah alat pemanas air dengan memanfaatkan panas dari kondensor mesin *refrigerator* 0,5 PK sebagai keuntungan tambahan. Perancangan dimulai dengan identifikasi permasalahan, menghitung kebutuhan panas, menentukan dimensi dan juga komponen utama pemanas air. Berdasarkan hasil analisa di mana dimensi *tube* sebesar diameter 8 mm, tebal 2 mm dengan panjang sebesar 0,5 meter dan tangki berkapasitas 20 liter, didapatkan bahwa *refrigerator* 0,5 PK dengan *Freon* yang keluar sebesar 65°C hanya mampu memanaskan air sebanyak 3 Kg dari temperatur 28° menjadi 60° dalam waktu 59 menit, dengan beban panas sebesar 130,74 Watt dan hasil yang dicapai dari CFD menunjukkan panas yang masuk pada *tube* sebesar 65°C akan berkurang setelah mencapai 1/3 dari panjang *tube*.

I. PENDAHULUAN

Umumnya mesin *refrigerator* atau disebut kulkas yang digunakan pada rumah tangga digunakan hanya untuk menyimpan makan atau sayuran agar tetap awet dan segar. Mesin kulkas ini lebih banyak digunakan karena memiliki keunggulan-keunggulan diantaranya bentuk yang sederhana dan kompak.

Dalam sistem pendinginannya, lemari es terdiri dari beberapa komponen. *Pertama*, bahan pendingin atau *refrigerant* (umumnya menggunakan *Freon*) merupakan zat yang oleh kompresor ditekan dan mengalir dalam sistem, dapat berbentuk gas atau cair, untuk menyerap panas dari evaporator dan membuangnya di kondensor. *Kedua* kompresor, yang berfungsi menaikkan tekanan dan temperatur *refrigerant* dari rendah menjadi tinggi (*refrigerant* dalam fase uap). Dengan adanya perbedaan ini, menyebabkan *refrigerant* dapat mengalir dari evaporator ke kondensor pada bagian yang paling atas. *Ketiga* kondensor, merupakan sebuah alat penukar kalor dimana *refrigerant* melepas kalor ke udara luar. Disini *refrigerant* berubah menjadi cair dengan suhu ruangan atau suhu dingin lanjut, tetapi tekanannya masih tetap tinggi. Cairan ini akan mengalir ke pengering, sebagai komponen ketiga.

Mesin *refrigerator* atau mesin pendingin bekerja menggunakan prinsip dasar proses pendinginan atau refrigerasi yang pada hakekatnya adalah proses memindahkan energi panas dari satu lingkungan ke lingkungan lainnya dengan cara-cara tertentu. Hukum termodinamika yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sangat penting dalam pengoperasian sistem ini.

Bagian dari mesin kulkas ini terdiri dari ruang pendingin, *freezer* yang diletakkan di bagian dalam lemari ruang pendingin yang dikondisikan dan kondensor sebagai pembuang panas yang diletakkan di bagian luar ruang dan ditempatkan pada plat pembuang panas di bagian belakang,

samping-sampingnya kulkas. Panas dari makanan atau sayur-sayuran dalam ruangan pendingin diserap oleh evaporator kemudian diangkut oleh *refrigerant* dan dialirkan ke kondensor untuk selanjutnya dibuang ke lingkungan melalui plat-plat tersebut.

Pembuangan panas melalui dinding atau plat-plat akan terasa panas pada saat terjadi pengangkutan sumber panas dari makanan. Dengan perpindahan panas konveksi alamiah panas tersebut kemudian panas berpindah ke lingkungan sekitar. Temperatur plat-plat tempat pembuangan panas tersebut memiliki temperatur sekitar 40-50°C. Pada bagian keluar kompresor menuju kondensor tempat aliran *Freon* bersirkulasi, temperatur pipa tembaga memiliki temperatur antara 50-65°C. Untuk melakukan proses pemindahan panas pada mesin *refrigerator* ini diperlukan suatu alat yang dinamakan alat penukar panas.

Penukar panas (*Heat Exchanger*, HE) merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan energi panas melalui dinding atau sekat. Berpindahannya panas tersebut karena adanya perbedaan energi diantara kedua daerah/zat tersebut. Perpindahan panas tersebut melibatkan parameter-parameter penting dari kedua daerah/zat tersebut.

Ditinjau dari laju aliran panas yang dibuang oleh kondensor ke udara, mesin pendingin atau kulkas akan memiliki nilai ekonomi yang tinggi bila panas yang dibuang dimanfaatkan. Salah satu pemanfaatan dari panas yang dibuang dari *refrigerator* adalah menjadikan panas buangan itu sebagai pemanas air dengan menggunakan prinsip kerja penukar panas.

Pada penelitian ini akan menyajikan “Perancangan Pemanas Air dengan Sumber Panas dari Kondensor Mesin *Refrigerator* 0,5 PK”. Dengan melakukan modifikasi kondensor mesin *refrigerator* satu pintu untuk pemanas air dengan kapasitas 20 liter. Modifikasi kondensor yang dirancang berupa *heater* dengan sumber panas dari aliran *Freon* dan memiliki kemampuan yang sama dengan kemampuan kondensor. Bila beban pemanasan pada

penukar panas ini terpenuhi maka panas dari *refrigerant* akan dibuang melalui kondensor dan selanjutnya memanaskan air.

II. METODE PENELITIAN

Dalam melaksanakan penelitian, beberapa langkah yang dilaksanakan oleh peneliti meliputi:

A. Identifikasi Masalah

Perancangan dimulai dengan melakukan identifikasi masalah dan mencari studi kasus. Identifikasi masalah meliputi hasil pengamatan dari permasalahan yang ada di lingkungan masyarakat dan juga dari hasil studi terkait topik-topik yang sudah ada sebelumnya. Pada studi kasus ini, perancangan dibuat dengan cara memodifikasi penukar panas kondensor yang dipasang antara pipa saluran kompresor dan katup *expansi*. Perancangan penukar kalor ini memanfaatkan panas yang dibuang oleh kondensor.

Laju aliran panas pada kondensor memiliki temperatur yang masih besar yaitu 65°C dan dapat dimanfaatkan untuk menghangatkan air. Berdasarkan hasil pengukuran pada pipa tembaga bagian *outlet* kompresor diperoleh temperatur sebesar $50 - 65^{\circ}\text{C}$. Laju aliran panas ini dibuang begitu saja ke lingkungan tanpa memberikan keuntungan lain pada sistem pendingin yang dipakai. sehingga perlu alat lain yang mampu mengubah panas menjadi bermanfaat pada mesin pendingin tersebut.

B. Pengumpulan Data

Dalam metode pengumpulan data langkah-langkah yang digunakan sebagai berikut :

- Menentukan kemungkinan penukar panas sebagai pemanas air dengan memanfaatkan panas yang dibawa oleh *refrigerant* dalam saluran sirkulasi kulkas.
- Menentukan pemasangan sistem penukar panas yang dirancang ke dalam rangkaian sirkulasi *refrigerant* mesin pendingin.
- Mengukur besarnya temperatur keluar dari kompresor saat beroperasi.
- Menentukan aliran air yang dibutuhkan untuk menyerap panas.
- Menentukan jenis material yang digunakan sebagai penukar kalor.
- Menentukan jenis *refrigerant*.
- Menentukan dimensi dari penukar kalor.
- Menentukan jenis aliran yang digunakan apakah aliran searah atau aliran berlawanan arah.

C. Perhitungan Data

- Menghitung besarnya laju aliran panas pada kondensor yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air.
- Menghitung luas perpindahan panas yang dipakai sebagai penukar panas yang ditempatkan pada wadah penampung air.

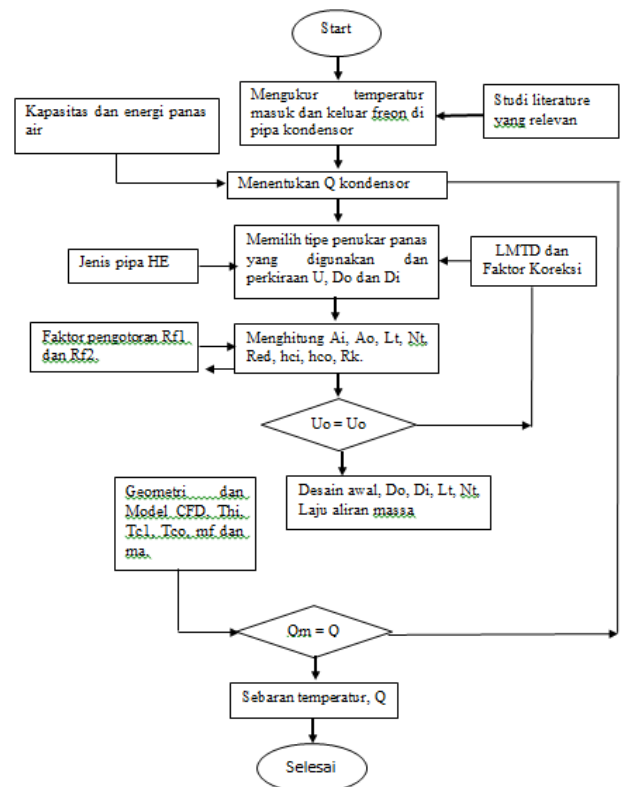
D. Pemilihan Komponen Utama Pemanas Air

Pemilihan komponen utama pemanas air dilakukan berdasarkan kebutuhan perancangan yang sudah diperhitungkan. Komponen-komponen yang dipilih harus benar-benar sesuai guna memaksimalkan hasil dari perancangan yang dibuat.

E. Pembuatan Model dan Simulasi

Pembuatan model dan simulasi ini dilakukan menggunakan CFD yang terintegrasi dengan Ansys 14.5 32 bit untuk melihat distribusi termal dan laju aliran panas yang terjadi pada *Freon* dan pipa yang terbenam dalam air.

Selanjutnya metodologi atau alur proses pada penelitian ini secara jelas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Dimensi dan Jenis Material

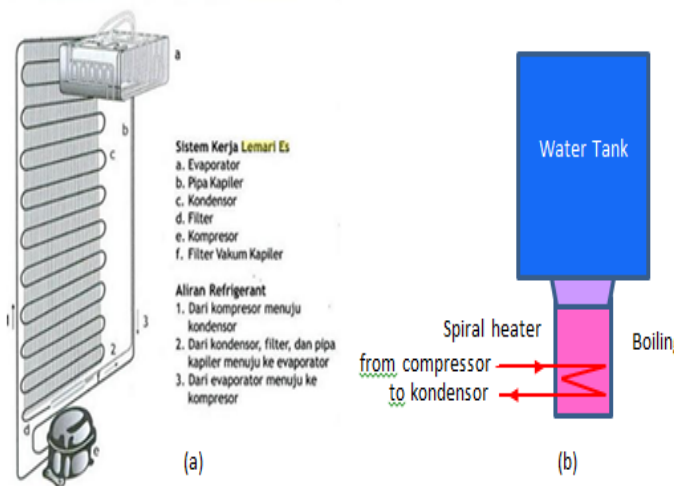
Mesin *refrigerator* pemanas air ini dibuat dengan spesifikasi :

- Mesin pendingin *refrigerator* atau kulkas tipe satu pintu kapasitas listrik 0,5 PK.
Bagian ini yang digunakan adalah kondensornya, keluar dari kompresor, *Freon* masuk ke dalam penukar panas spiral yang dirancang. Keluar dari penukar kalor yang spiral *Freon* kemudian masuk ke kondensor.
- Tangki air dengan kapasitas penyimpan 20liter air.
Pemilihan tangki air sebesar ukuran 1 galon (19liter) dibatasi oleh kemampuan mesin pendingin

yang mempunyai kapasitas kecil yaitu 0,5 PK. Letak tangki air berada di atas mesin pendingin atau sampingnya.

- c. Pipa / tube terbuat dari tembaga berukuran \varnothing 8 mm dan tebal 0,2 mm sepanjang 0,5 meter. Pipa tersebut digulung spiral menjadi 2 gulungan dan digunakan untuk mengalirkan Freon dari mesin pendingin.
- d. Shell dari tube baja tahan karat berukuran 0.150 m x 0,20 m.

Rancangan penukar panas ini menggunakan air sebagai media pendinginnya yang diletakkan pada wadah atau tangki dengan temperatur 28°-30° C. Kemudian pada saluran refrigerant sisi masuk ke kondensor dipasang penukar panas sebagai pemanas air. sebelum dan sesudah modifikasi dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2 Modifikasi kondensor dengan spiral heat exchanger. (a) kondisi sirkuit asal pabrik. (b) penambahan spiral heater.

Berikut merupakan data pengukuran temperatur dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I
DATA PENGUKURAN TEMPERATUR

NO	BAGIAN	SIMBOL	TEMPERATURE (°C)
1	Pipa sisi masuk kondensor	Th1	62
2	Pipa sisi keluar kondensor	Th2	40
3	Kondisi awal air Temperatur pelat kondensor	Tc1 Tp	28 40

Pengukuran temperatur Freon diukur pada sisi masuk dan keluar dari pipa penukar panas (kondensor). Pengukuran dilakukan pada bagian luar pipa-pipa yang menuju maupun yang keluar dari kondensor menggunakan termokopel digital. Pengukuran ini sebetulnya kurang akurat tetapi hasil yang diperoleh mendekati temperatur Freon yang diukur. Ujung-ujung dari thermometer digital ditempelkan pada pipa-pipa tersebut dan dilindungi oleh silicon greace untuk menghindari dari temperatur udara luar.

Adapun kebutuhan air panas adalah sebagai berikut:

$$Va = A h \tag{1}$$

dimana :

$$Va = \text{volume air, m}^3$$

$$A = \text{luas penampang shell, m}^2$$

$$A = \frac{\pi D_s^2}{4} \tag{2}$$

$$D_s = 0.15 \text{ m}$$

$$h = \text{panjang shell, m}$$

$$h = 0.20 \text{ m}$$

maka volume air dalam shell adalah :

$$Va = \frac{\pi (0.15 \text{ m})^2}{4} 0.2 \text{ m}$$

$$Va = 0.0035325 \text{ m}^3$$

B. Perhitungan Desain kebutuhan Panas dan Penukar Panas

1. Panas Tersedia dari Kondensor

$$Gr = \frac{g \beta (T_w - T_\infty) L^3}{\nu^2} \tag{3}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 1/Tr$$

$$\beta = \frac{1}{(50 + 28)/2}$$

$$\beta = \frac{1}{39} = 0.02564$$

$$T_w = 50^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 28^\circ\text{C}$$

$$\nu = 15.69 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

diperoleh :

$$Gr = \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 0.02564 \frac{1}{\text{C}} (50 - 28)^\circ\text{C} 1.2^3 \text{ m}}{(15.69 \cdot 10^{-6})^2 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Gr = 38842534488.12$$

Dari tabel udara diperoleh bilangan prandtl sebesar 0.708, sehingga bilangan Nuselt untuk udara pada plat vertikal adalah:

$$Nu_L = 0,555 (Gr Pr)^{1/4} \tag{4}$$

$$Nu_L = 0,555 (38842534488.12 \cdot 0.708)^{1/4}$$

$$Nu_L = 226.01$$

Koefisien perpindahan panas konveksi alamiah untuk udara konduktivitas termal sebesar $0.02624 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ yang bergerak alamiah pada plat vertikal adalah:

$$\bar{h}_{cp} = \frac{Nu_L k}{L} \quad (5)$$

$$\bar{h}_{cp} = \frac{226.01 \cdot 0.02624 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{1.2 \text{ m}}$$

$$\bar{h}_{cp} = 4.942 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Sehingga panas yang dibuang ke udara melalui dinding plat (depan dan belakang) adalah :

$$\dot{Q}_c = h_{cp} A_p (T_w - T_\infty) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_c = 4.942 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} 2(1.2 \text{ m } 0.5 \text{ m})(50 - 28)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_c = 130.47 \text{ Watt}$$

2. Laju Alir Massa Freon

$$\dot{Q}_c = \dot{m}f C_{pf} (Thk - Thm) \quad (7)$$

dimana panas jenis Freon $978,1 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ temperatur Freon masuk kondensator sebesar 65°C dan keluar sebesar 40°C , maka diperoleh laju aliran massa Freon sebesar:

$$\dot{m}f = \frac{130.47 \text{ Watt}}{978,1 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (65 - 40)^\circ\text{C}} \quad (8)$$

$$\dot{m}f = 0.005334 \text{ kg/s}$$

3. Kebutuhan Energi Panas Air

$$Q_a = m_a C_{pa} (T_a - T_o) \quad (9)$$

Dimana :

m_a = massa air, kg/s

$m_a = \rho_a V_a$

V_a = Volume air dalam tangki, m^3

$$V_a = 0.0035325 \text{ m}^3$$

ρ_a = rapat massa air, kg/m^3

$$\rho_a = 980 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{\text{air}} = 980 \text{ kg/m}^3 0.0035325 \text{ m}^3$$

$$m_a = 3.462 \text{ kg}$$

Temperatur awal air T_o dalam tangki adalah 28°C dan temperatur akhir T_a yang diharapkan adalah 60°C dengan panas jenis air sebesar $C_p = 4174 \text{ J/kg K}$.

$$Q_a = 3.462 \text{ kg } 4174 \text{ J/kg K } (60 - 28)$$

$$Q_a = 462412.416 \text{ Joule}$$

sehingga waktu pemanasan air yang dibutuhkan selama:

$$t = \frac{462412.416 \text{ J}}{130.47 \text{ J/s}}$$

$$t = 3544 \text{ detik}$$

$$t = 59 \text{ menit}$$

4. Laju Aliran Massa Air

$$\dot{m}_a = \frac{m_a}{t} \quad (10)$$

$$\dot{m}_a = \frac{3.462 \text{ kg}}{3544 \text{ detik}}$$

$$\dot{m}_a = 0.000977 \text{ kg/s}$$

5. Menentukan LMTD

Thm = Temperatur Freon masuk kondensator

$$Thm = 65^\circ\text{C}$$

Thk = Temperatur Freon keluar kondensator

$$Thk = 40^\circ\text{C}$$

Tcm = Temperatur air awal

$$Tcm = 28^\circ\text{C}$$

Tck = Temperatur air keluar

$$Tck = 60^\circ\text{C}$$

Maka LMTD dengan persamaan 2.8 adalah:

$$\text{LMTD} = \frac{(Thm - Tck) - (Thk - Tcm)}{\text{Ln} \frac{(Thm - Tck)}{(Thk - Tcm)}} \quad (11)$$

$$\text{LMTD} = \frac{(65 - 60) - (40 - 28)}{\text{Ln} \frac{(65 - 60)}{(40 - 28)}}$$

$$\text{LMTD} = 7,996^\circ\text{C}$$

6. Perkiraan Koefisien Perpindahan Panas Global

Pada penelitian ini fluida kerja terdiri atas Freon dan fluida air. Dari nilai kira-kira koefisien perpindahan panas global U berkisar antara $280 - 850 \text{ W/m}^2\text{C}$. Harga U dipilih nilai terendah yaitu $705,65 \text{ W/m}^2\text{C}$.

7. Luas Perpindahan Panas

$$A_o = \frac{Q_c}{F U \text{ LMTD}} \quad (12)$$

Faktor koreksi F dari beda temperatur antara sisi masuk dan keluar untuk setiap perbandingan R dan P , diperoleh:

$$R = \frac{T_{ci} - T_{co}}{T_{hi} - T_{ho}} \quad (13)$$

$$R = \frac{(28 - 60) \text{ } ^\circ\text{C}}{(65 - 40) \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = 1,214$$

Dan untuk P :

$$P = \frac{T_{ho} - T_{hi}}{T_{ci} - T_{hi}} \quad (14)$$

$$P = \frac{(40 - 65) \text{ } ^\circ\text{C}}{(28 - 65) \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$P = 0,636 = 0,7$$

Dari grafik diperoleh faktor koreksi sebesar $F = 0,7$, sedangkan untuk koefisien perpindahan panas global sementara dipilih $705,65 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ sesuai dalam gambar bab II. Maka luas perpindahan panas pada pipa bagian luar adalah:

$$A_o = \frac{130,47 \text{ J/s}}{0,7 \cdot 705,65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot 7,996 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad (15)$$

$$A_o = 0,033 \text{ m}^2$$

Dengan demikian panjang pipa (*tube*) yang digunakan sebagai penukar panas spiral adalah:

$$L = \frac{A_o}{\pi D_o} \quad (16)$$

$$L = \frac{0,033 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,008 \text{ m}}$$

$$L = 1,09 \text{ m}$$

Sehingga luas perpindahan panas bagian dalam pipa tembaga A_i adalah:

$$A_i = \pi D_i L \quad (17)$$

$$A_i = \pi ((8 - 2(0,2))/1000) \text{ m} \cdot 1,09 \text{ m}$$

$$A_i = 0,026 \text{ m}^2$$

8. Koefisien Panas Pada Pipa

8.1 Konveksi Paksa

a. Freon di dalam Pipa

Konveksi paksa di dalam pipa berdasarkan bilangan Reynold's dapat dihitung dengan persamaan 2.14 berikut :

$$Red = \frac{\rho_f V_f D}{\mu_f} \quad (18)$$

Dengan diameter dalam pipa $D_i = 7,6 \text{ mm} = 0,0076 \text{ m}$ dengan temperatur rata-rata dari sisi masuk $T_{hi} = 65^\circ\text{C}$ dan dari sisi keluar $T_{ho} = 40^\circ\text{C}$ adalah:

$$T_f = \frac{T_{ho} + T_{hi}}{2} \quad (19)$$

$$T_f = 65$$

$$T_f = 52,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Diperoleh sifat-sifat *Freon*:

$$\mu_f = 0,0000254 \text{ kg/m s}$$

$$k_f = 0,072 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\rho_f = 1305,8 \text{ kg/m}^3$$

$$Pr = 3,5$$

Kecepatan aliran *Freon* dalam pipa berdiameter hidrolis $\varnothing 7,6 \text{ mm}$ adalah :

$$V_f = \frac{\dot{m}_f}{\rho_f A_{id}} \quad (20)$$

Dimana luas penampang aliran pipa bagian dalam adalah :

$$A_{id} = \frac{\pi D_i^2}{4} \quad (21)$$

$$A_{id} = \frac{\pi \cdot 0,0076^2}{4}$$

$$A_{id} = 0,0000453 \text{ m}^2$$

Maka kecepatan aliran dalam pipa adalah :

$$V_f = \frac{0,005334 \text{ kg/s}}{1305,8 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0000453 \text{ m}^2}$$

$$V_f = 0,0901 \text{ m/s}$$

Maka bilangan Reynold's diperoleh:

$$Red = \frac{1305,8 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0901 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0076 \text{ m}}{0,0000254 \text{ kg/m s}}$$

$$Red = 3521,17$$

dari Red , maka aliran tersebut adalah jenis aliran turbulen. Dengan persamaan 2.15 maka diperoleh:

$$Nud = 0,023 Red^{0,8} Pr^{0,4} \quad (22)$$

$$Nud = (0,023 \cdot 122855,5^{0,8}) \cdot 3,5^{0,4}$$

$$Nu_L = 164,7$$

sehingga koefisien perpindahan panasnya \bar{h}_{ci} adalah:

$$\bar{h}_{ci} = \frac{Nud \cdot k_f}{D_p} \quad (23)$$

$$\bar{h}_{ci} = \frac{164,7 \cdot 0,072 \text{ W/m } ^\circ\text{C}}{0,0076 \text{ m}}$$

$$\bar{h}_{ci} = 1560,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b. Air di Luar Pipa

Luas frontal aliran yang dilewati oleh air yang melewati pipa-pipa dalam *shell* dalam arah tegak lurus dengan pipa adalah:

$$A_t = A_s - A_{id} \quad (24)$$

Dimana :

Sehingga luas *frontal shell* tanpa pipa A_s adalah:

$$A_s = \pi D_s^2 / 4 \quad (25)$$

$$A_s = 3.14 (0.15)^2 \text{ m} / 4$$

$$A_s = 0,0177 \text{ m}^2$$

Maka luas *frontal shell* A_t dengan pipa adalah:

Maka A_t adalah:

Maka kecepatan air sepanjang dalam *shell* adalah:

$$V_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a A_s} \quad (26)$$

$$V_a = \frac{0,0374 \text{ kg/s}}{980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 0,177 \text{ m}^2}$$

$$V_a = 0,00192 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold's untuk air dalam *shell* adalah:

$$Re_l = \frac{\rho_a V_a L}{\mu_a} \quad (27)$$

Dimana sifat-sifat air diperoleh dari temperatur rata-rata sisi masuk dan keluar air adalah:

$$T_a = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (28)$$

$$T_a = \frac{(28 + 60) \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_a = 44 \text{ }^\circ\text{C}$$

Diperoleh :

$$\rho_a = 993 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_a = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$Pr = 4,53$$

$$K_a = 0,637 \text{ W/m }^\circ\text{C}$$

Sehingga bilangan Reynold's sepanjang pipa adalah:

$$Re_l = \frac{993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 0,00192 \frac{\text{m}}{\text{s}} 0,6 \text{ m}}{6,82 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}}$$

$$Re_l = 1102,8$$

Untuk aliran yang melewati plat datar sepanjang $L = 0,6$ meter termasuk ke dalam aliran laminar. Bilangan Nusselt untuk aliran tersebut adalah:

$$\bar{N}_{ul} = 0,332 Re_l^{1/2} Pr^{1/3} \quad (29)$$

$$\bar{N}_{ul} = 0,332 (1102,8)^{1/2} (4,53)^{1/3}$$

$$\bar{N}_{ul} = 21,79$$

Maka koefisien perpindahan panas rata-rata antara air dengan bagian luar pipa sebanyak N_t tembaga adalah:

$$\bar{h}_{co} = \frac{\bar{N}_{ul} k_a}{L} \quad (30)$$

$$\bar{h}_{co} = \frac{21,79 \cdot 0,637 \frac{\text{W}}{\text{m }^\circ\text{C}}}{0,008 \text{ m}}$$

$$\bar{h}_{co} = 1735,94 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

8.2 Konduksi

Bahan pipa yang digunakan adalah pipa tembaga dengan konduktivitas termal $k_a = 386 \text{ W/m }^\circ\text{C}$, sehingga persamaannya adalah:

$$\dot{Q}_k = \frac{2\pi kt L (T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{D_o/2}{D_i/2}\right)} \quad (31)$$

Maka tahanan termal pada pipa adalah:

$$R_k = \frac{\ln\left(\frac{D_o/2}{D_i/2}\right)}{2\pi kt L} \quad (32)$$

$$R_k = \frac{\ln\left(\frac{8/2}{7,6/2}\right)}{2\pi \cdot 386 \frac{\text{W}}{\text{m }^\circ\text{C}} \cdot 1,09 \text{ m}}$$

$$R_k = 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

9. Faktor Pengotoran

Harga untuk pengotoran yang terjadi pada air di bagian luar pipa adalah $R_{fo} = 0,0002 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ dan untuk *Freon* di dalam pipa R_{fi} adalah $0,0002 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

10. Koefisien Perpindahan Panas Global

Perpindahan panas dari fluida panas yaitu *Freon* ke fluida dingin air diperoleh sebagai berikut:

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i h_{ci}} + \frac{A_o \ln\left(\frac{D_o/2}{D_i/2}\right)}{2\pi k_a L N_t} + R_{fo} + R_{fi} \frac{A_o}{A_i} + \frac{1}{h_{co}}} \quad (33)$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{0,712 \text{ m}^2 \ln\left(\frac{8}{7,6}\right)}{0,673 \text{ m}^2 \frac{1560,3 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}} + \frac{0,712 \text{ m}^2 \ln\left(\frac{8}{7,6}\right)}{2 \pi 386 \frac{\text{W}}{\text{m }^\circ\text{C}} 0,6 \text{ m } 56} + \frac{0,0002 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}} + 0,0002 \frac{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}} \frac{0,712 \text{ m}^2}{0,673 \text{ m}^2} + \frac{1}{1735,94 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}}$$

$U_o = 600,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

Persentase perbedaan harga U sebagai perkiraan awal dan Uo hasil perhitungan adalah:

$$\%U = \frac{U-U_o}{U} * 100 \tag{34}$$

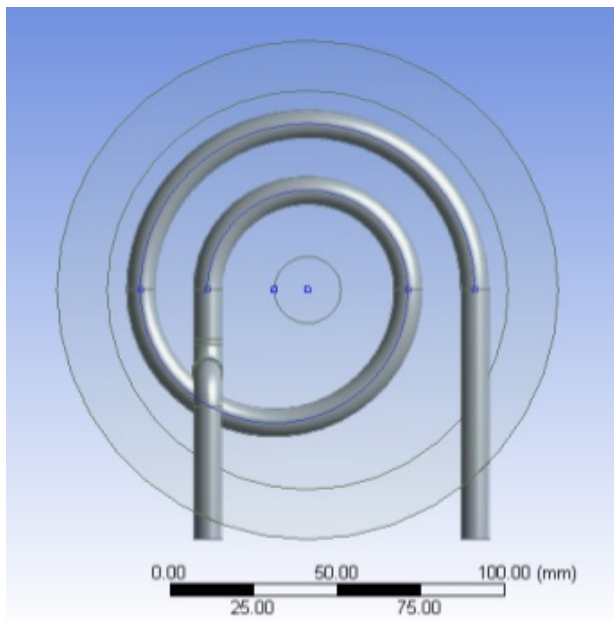
$$\%U = \frac{600,8 - 705,65}{705,65} * 100$$

$$\%U = 0,149$$

Maka harga U awal dikoreksi kembali dengan memasukkan Uo ke tahap awal perhitungan.

11. Dimensi Shell dan Tube

Desain untuk shell dibatasi oleh ukuran panjang kondensor Lc = 0,2 meter dan diameter Lt = 0.15 meter. Secara simulasi desain Shell and Tube secara jelas dapat dilihat pada Gambar 3.

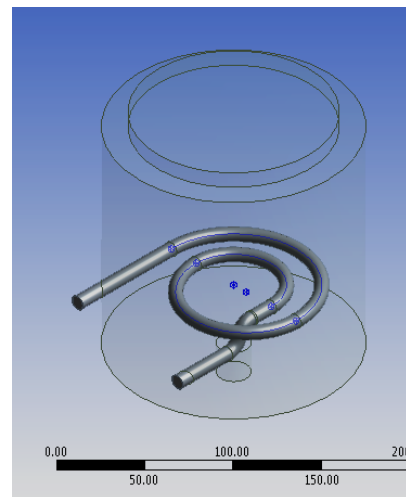


Gambar 3 Dimensi spiral

12. Urutan Pemodelan

a. Geometri

Pada Ansys 14.5 pembuatan geometri dilakukan secara bertahap dari mulai sketch sampai objek 3D penukar panas spiral dan heat tank. Secara jelas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Geometri penukar panas spiral

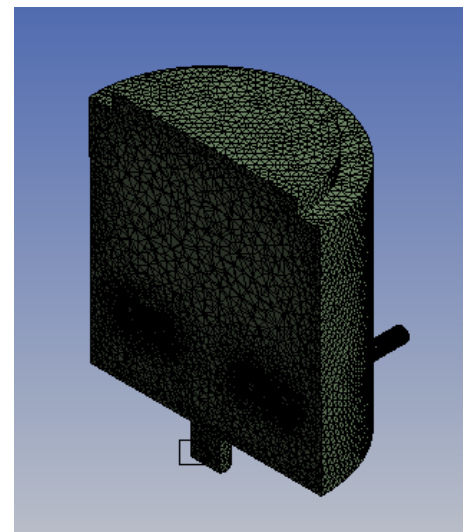
b. Membuat Mesh

Selain membangun mesh pada geometri tersebut, dilakukan inisialisasi pada bagian-bagian geometri tersebut seperti pada Tabel II.

TABEL II
BOUNDARY CONDITIONS

NO	BAGIAN	INISIAL	TYPE
1	Aliran Freon masuk	In freon	Mass flow inlet
2	Aliran Freon keluar	Out freon	Pressure Outlet
3	Aliran air masuk	In water	Mass flow inlet
4	Aliran air keluar	Out water	Pressure Outlet
5	Dinding isolasi	Wall	Wall

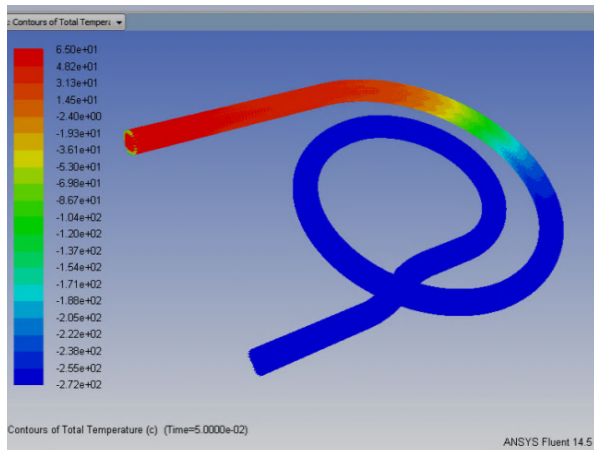
Kemudian untuk gambar hasil mesh dan inisialisasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Mesh penukar panas spiral

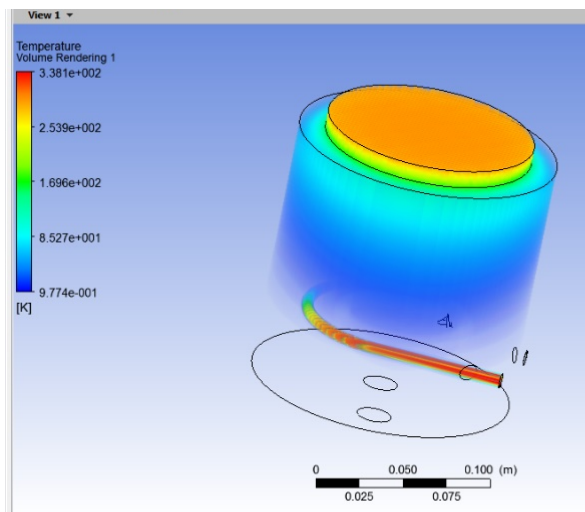
c. CFD Post

Distribusi temperatur dan panas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Distribusi temperatur pada freon

Pada tahap ini, pembuatan model dan simulasi yang dilakukan selesai. Bila hasil akhir tidak sesuai maka perlu dilakukan revisi dimulai dari geometri hingga hasil simulasi. Pada Gambar 7 diperlihatkan hasil kontur temperatur.



Gambar 7 Kontur temperatur penukar panas

13. Hasil Simulasi CFD

Pada simulasi ditunjukkan hasil distribusi pada Freon dan air dalam penukar panas seperti pada Gambar 8. Berdasar hasil repor untuk perpindahan panas untuk Freon diperoleh sebagai berikut:

Total Heat Transfer Rate (w)

<i>in_freon</i>	725.0112
<i>out_freon</i>	537.879

Net 214.1322

Sedangkan untuk panas yang diterima air adalah:

Total Heat Transfer Rate (w)

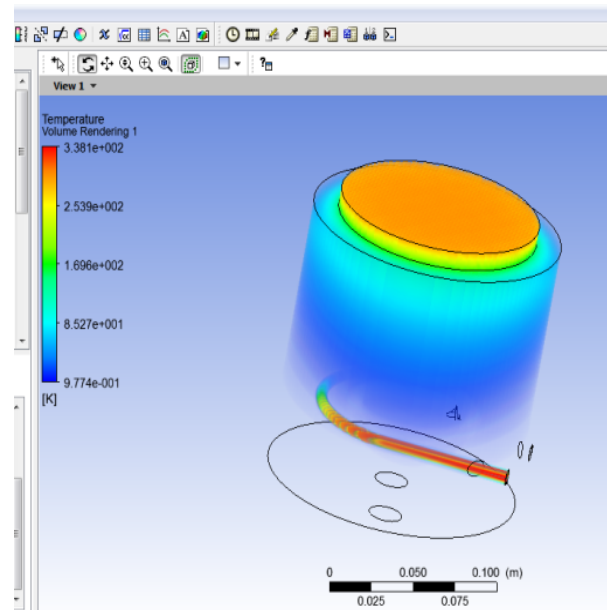
<i>in_water</i>	397.81132
<i>out_water</i>	617.9668

Net -220.15548

selisih antara panas dari Freon dengan air adalah:

$$\Delta T = 214.1322 - 220.15548$$

$$\Delta T = -6 \text{ Watt}$$



Gambar 8 Distribusi temperatur pada freon dan air dalam penukar panas

IV. KESIMPULAN

Mesin pendingin *refrigerator* atau kulkas tipe satu pintu dengan ukuran 0,5 PK mempunyai temperatur Freon keluar dari kompresor sebesar 65°C mampu memanaskan air sebanyak 3 kg. Proses pemanasan air dari temperatur 28°C menjadi 60°C membutuhkan waktu selama 59 menit. Beban panas yang diserap oleh air besarnya sama dengan beban panas yang dibuang oleh kondensor melalui plat dinding belakang mesin pendingin sebanyak 130,74 Watt.

Komponen utama penukar kalor adalah *tube* dari pipa tembaga berbentuk spiral berfungsi sebagai penukar panas dari Freon ke air. *Shell* berfungsi sebagai tangki air yang akan dipanaskan. Panjang *tube* yang digunakan adalah 1.09 m dengan diameter pipa *tube* sebesar 8 mm dengan ketebalan 0.2 mm. Sedangkan untuk dimensi *shell* memiliki diameter 0.15 m dengan panjang 0.2 meter. Pemasangan penukar kalor ini diletakan setelah pipa atau *tube* keluar dari kompresor. Panas yang dibuang akan dimanfaatkan oleh penukar panas spiral untuk memanaskan air sebelum dibuang ke lingkungan.

Hasil yang dicapai dari simulasi menggunakan CFD, menunjukan bahwa panas yang masuk ke dalam *tube* memiliki temperatur 65°C pada jarak 1/3 dari panjang *tube* akan berkurang. Ini terjadi perpindahan panas yang tidak seragam pada seluruh permukaan *tube*. Temperatur air dalam *shell* tetap akan meningkat terutama pada bagian permukaan tangki air. Temperatur air dalam tangki hanya mencapai 54°C bila dilihat dari distribusi temperatur pada air dan Freon.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Antony, Dachry. *Efek Kekasaran Pipa terhadap Gesekan*. Tugas Akhir. FT Universitas Indonesia. 2012.
- [2] Arora, C.P., *Refrigeration and Air Conditionong*, Second Edition, Tata McGraw_Hill Inc., Singapore, 2001
- [3] Aziz, Azridjal., Performansi Mesin Refrigerasi Kompresi uap Terhadap Massa Refrigeran Optimum Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 2, No 1, 2005, pp 29-33.
- [4] Cengel, Yunus A., dan Boles, Michael A., *Thermodynamics An Engineering Approach*, 7th Edition, McGraw Hill Companies, New York, 2011.
- [5] Dincer, Ibrahim, *Refrigeration System and Applications*, Second Edition, Wiley, UK, 2010.
- [6] Holman, J.P, Jasfi, *Perpindahan kalor*, Edisi ke Enam, Erlangga, Jakarta, 1986.
- [7] Kakak, Sadik & Liu, Hongtan, *Heat Exchangers, Selection. Rating, and Thermal Design*, Second edition, CRC Press, New York, 2002.
- [8] Kreit, Frank, *Perpindahan Panas*, Third Edition, Mc Graw-Hill, New York, 1994.
- [9] Perkins dan Reynolds, Harahap, Filino, *Termodinamika Teknik*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [10] Sumarjo, jojo, Ratna Dewi Anjani, dan Aa Santosa. Perencanaan Alat Penukar Kalor Untuk Pengereng Kain dengan Memanfaatkan Energi Panas dari Gas Buang Mesin Diesel. *Jurnal Barometer*, Vol.3 No 1, Januari, 2018.
- [11] White, Frank, M, *Fluid Mekaanics*, Mc Graw Hill, USA, 1994.