

KAJI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA PORTABLE COLD BOX DENGAN THERMOELEKTRIK TEC1-12706

Denny M. E Soedjono¹⁾, Joko Sarsetiyanto²⁾, Gathot Dwi Winarno³⁾, Alichia Silfiyati⁴⁾
Program Studi D3 Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya
email: dsoedjono@gmail.com

ABSTRACT

Cold storage can be illustrated as a large building that functions like a refrigerator. Building with low temperatures can only function well if we ensure a sealed room in the sense that air can not be out and wear refrigeration (refrigeration) to maintain the temperature remains low. Therefore this research conducted a study on the application of TEC peltier 12076 on portable cold box. Design of portable cold box using thermoelectrical as the main component, heatsink, and the fan. Testing begins with the design of portable cold box, equipment procurement, and manufacturing tools. Furthermore, the data processing and calculation to get a heatsink thermoelectric heat rate at the hot and cold side as well as graphs of temperature distribution in the portable cold box. In the calculations show that, under conditions of maximum heatsink on the hot side can take the heat of 0.319 Watts, flat plate on the cold side can absorb heat at 4.676 Watt.

Key words : Thermoelectric, Heatsink, Heat Rate, Temperature Distribution

ABSTRAK

Cold storage dapat diilustrasikan sebagai sebuah bangunan yang fungsinya seperti lemari pendingin. Bangunan dengan temperatur rendah ini hanya dapat difungsikan dengan baik jika kita memastikan ruangan tertutup rapat dalam artian udara tidak dapat keluar masuk dan memakai alat pendingin (refrigeration) untuk menjaga temperatur tetap rendah. Pada penelitian ini dilakukan kajian tentang penerapan peltier TEC 12076 pada alat portable cold box. Perencanaan alat portable cold box menggunakan komponen utama termoelektrik, heatsink, dan fan. Pengujian diawali dengan proses perencanaan alat, pengadaan peralatan, dan pembuatan alat. Selanjutnya dilakukan pengolahan data dan perhitungan untuk mendapatkan heat rate pada heatsink termoelektrik sisi panas dan dingin serta grafik distribusi temperatur pada alat portable cold storage. pada perhitungan menunjukkan bahwa, dalam kondisi maksimum heatsink pada sisi panas dapat melepas kalor sebesar 0.319 Watt, plat datar pada sisi dingin dapat menyerap kalor sebesar 4.676 Watt.

Kata kunci : Termoelektrik, Heatsink, Heat Rate, Distribusi Temperatur

PENDAHULUAN

Cold box dapat diilustrasikan sebagai sebuah kotak yang fungsinya seperti lemari pendingin. Kotak dengan temperatur rendah ini hanya dapat difungsikan dengan baik jika kita memastikan ruangan tertutup rapat dalam artian udara tidak dapat keluar masuk dan memakai alat pendingin (refrigeration) untuk menjaga temperatur tetap rendah dengan mengeluarkan udara dingin.

Devi Ratna Sari² dalam penelitian terdahulu dengan judul kaji Eksperimental Perpindahan Panas Konveksi pada Heatsink Sisi Panas dan Sisi Dingin Thermoelektrik TEC 12706 menggunakan *polyurethane* dan *expanded polysterene foam* sebagai bahan dinding ruang pendingin serta menggunakan aluminium foil sebagai bahan pelapis dalam ruangan menghasilkan 16.1°C sedangkan penelitian yang kami lakukan adalah menggunakan *stainless steel* sebagai bahan dinding ruangan pendingin.

DASAR TEORI

Termoelektrik

Termoelektrik adalah suatu komponen yang mengaplikasikan efek peltier. Pada termoelektrik, ketika terjadi perbedaan suhu diantara kedua sisinya maka komponen ini

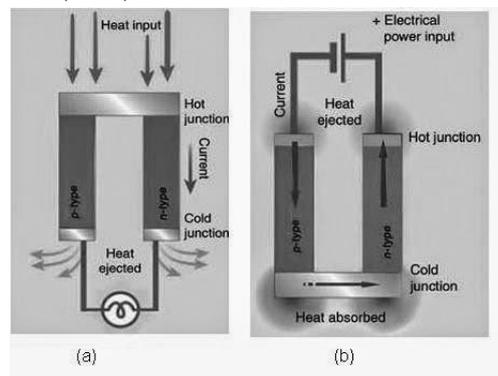
mengubahnya menjadi listrik, dan begitu pula sebaliknya, ketika tegangan listrik diberikan kepada komponen ini, maka termoelektrik dapat mengubahnya menjadi dua suhu yang berbeda.

Efek Seebeck

Pada 1821, J.T. Seebeck menyatakan bahwa logam yang berbeda yang dihubungkan pada dua lokasi berbeda, maka akan ada tegangan mikro yang timbul jika kedua sisi plat memiliki perbedaan temperatur. Efek ini disebut “Efek Seebeck”

Efek Peltier

Jean Charles Athanase Peltier menemukan suatu teori pembalikan efek Seebeck. Teori tersebut disebut Efek Peltier. Beliau menemukan bahwa ketika suatu termokopel diberikan tegangan, maka akan terjadi perbedaan temperatur pada kedua sisinya. Teori ini juga sering dikenal sebagai *Thermo-Electric Cooler* (TEC).



Gambar 1. (a) efek seebeck (b) efek peltier

Faktor Termal Elemen Peltier

Faktor termal yang mempengaruhi penggunaan elemen peltier, yaitu :
 Temperatur permukaan sisi panas (T_h)

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan panas. Dimana temperatur sisi panas dapat ditentukan dengan persamaan :

$$T_h = T_\infty + (\theta) (q_h)$$

dimana :

T_h = Temperatur sisi panas ($^{\circ}\text{C}$)

T_∞ = Temperatur Ambient ($^{\circ}\text{C}$)

θ = Tahanan termal dari elemen peltier ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

$$q_h = q_c + P_{in}$$

dimana :

q_h = Kalor yang dilepas pada bagian sisi panas (Watt)

q_c = Kalor yang dilepas pada bagian sisi dingin (Watt)

P_{in} = Daya input

$$q_h = 2N[(\alpha \times I \times T_h) - ((I^2 \times \rho)/2G) + k \times \Delta T \times G]$$

$$q_c = 2N[(\alpha \times I \times T_c) - ((I^2 \times \rho)/2G) - k \times \Delta T \times G]$$

dimana :

q_h = kalor pada sisi panas termoelektrik (watt)

q_c = kalor pada sisi dingin termoelektrik (watt)

N = jumlah junction pada modul

α = koefisiensi seebeck ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$)

T_h = temperatur sisi panas termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$)

T_c = temperatur sisi dingin termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$)

k = konduktifitas thermal (W/cmK)

G = A/L (m)

Temperatur permukaan sisi dingin (T_c)

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi dingin. Sisi dingin ini harus ditentukan agar temperaturnya lebih dingin dari temperatur yang diinginkan. Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin disebut juga delta temperatur (ΔT) yang ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta T = T_h - T_c$$

Pada elemen peltier konvensional, perbedaan temperatur (ΔT) yang dapat dihasilkan berkisar antara 30°C sampai 40°C tergantung dari jenis dan kualitas elemen peltier yang digunakan.

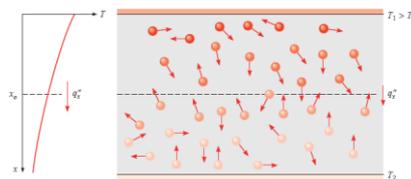
Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau *heat transfer* adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi panas atau kalor sebagai akibat dari adanya perbedaan temperatur diantara dua medium, misalnya : sesama medium padat atau medium padat dengan fluida. Energi yang berpindah dari medium yang bertemperatur lebih tinggi ke medium dengan temperatur yang lebih rendah. Perpindahan ini akan berlangsung terus sampai terjadi keseimbangan termal diantara kedua medium tersebut.

Konduksi

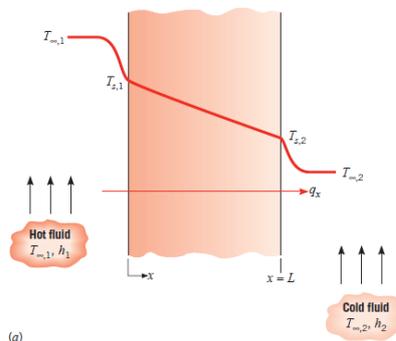
Proses perpindahan panas secara konduksi adalah suatu proses perpindahan panas dimana energi panas tersebut mengalir dari daerah yang bertemperatur lebih tinggi ke daerah bertemperatur lebih rendah dalam suatu medium padat atau fluida diam. Pada perpindahan panas secara konduksi hanya kalor yang berpindah sedangkan partikel partikel benda tidak mengalami perpindahan tempat. Mekanisme perpindahan panas pada zat padat atau fluida stasioner adalah dengan :

1. Ada medium
2. Medium tidak berpindah
3. Beda temperatur



Gambar 2. Penampang Molekul pada Proses Konduksi (Ref 1, hal 3)

Persamaan laju perpindahan panas konduksi suatu dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan Hukum Fourier oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) yang menyatakan bahwa “Laju perpindahan panas konduksi pada suatu plat sebanding dengan beda temperatur”. Diantara dua sisi plat dan luasan perpindahan panas, tetapi berbanding terbalik dengan tebal plat.



Gambar 3. Proses konduksi pada plat datar [1]

$$q_k = kA \frac{T_1 - T_2}{dx} = kA \frac{dt}{dx}$$

dimana :

q_k = Laju perpindahan panas konduksi (Watt)

k = Konduktivitas termal bahan (W/m K)

A = Luas penampang (m^2)

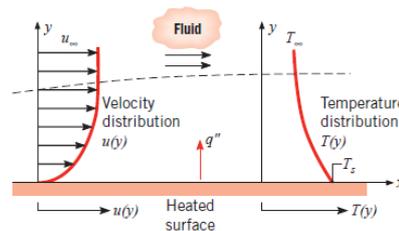
$\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur (K/m)

Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang bergerak atau sebaliknya, dimana diantara keduanya terdapat perbedaan temperatur. Mekanisme perpindahan panas antara permukaan benda padat dan fluida (cair atau gas) yang bergerak adalah :

1. Ada medium
2. Medium ikut berpindah
3. Terdapat perbedaan temperatur

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan makroskopik dari fluida diantara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (diffusi) biasanya lebih dominan di daerah dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut ($y = 0$) panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan aliran fluida (kearah sumbu x) meningkat sedikit lebih besar dari nol.



Gambar 4. Pertumbuhan lapisan batas pada perpindahan panas konveksi [1]

Untuk menghitung fluks panas konveksi dapat menggunakan sebuah persamaan yang dikenal dengan nama Newton's Law of Cooling yaitu:

$$q_{konv} = h (T_s - T_\infty) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$q_{konv} = h A (T_s - T_\infty) \text{ (Watt)}$$

dimana :

q_{konv} : laju perpindahan panas konveksi (Watt)

h : koefisien konveksi ($W/m^2 K$)

A : luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T_s : temperatur permukaan padat (K)

T_∞ : temperatur rata – rata fluida (K)

Koefisien perpindahan panas konveksi tergantung pada kondisi lapisan batas yang tergantung juga pada geometri permukaan, penyebab terjadinya aliran fluida, dan sifat-sifat termodinamika dari fluida. Besarnya konveksi tergantung pada :

1. Luas permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida (A)
2. Perbedaan temperatur antara permukaan benda dengan fluida (ΔT)
3. Koefisien konveksi (h), yang tergantung pada :
 - Viscositas fluida
 - Kecepatan fluida
 - Perbedaan temperatur antara permukaan dan fluida
 - Kapasitas panas fluida

- Rapat massa fluida
- Bentuk permukaan kontak

Konveksi pada Plat Datar

Perpindahan panas konveksi merupakan salah satu proses perpindahan panas yang cukup rumit karena dipengaruhi oleh banyak faktor. Koefisien konveksi dipengaruhi oleh; orientasi arah aliran terhadap obyek, ukuran (D:diameter dan A:luas permukaan) dan bentuk obyek (plat datar, silinder, bola), konduktivitas panas lapisan fluida (k), massa jenis fluida (ρ), kekentalan (μ : viskositas absolut) fluida, dan juga kapasitas panas jenis fluida pada tekanan konstan (c_p). Faktor-faktor tersebut dituangkan dalam: bilangan Nusselt, bilangan Reynolds, dan bilangan Prandtl, yang merupakan bilangan tak berdimensi hasil riset mereka khususnya dalam menemukan persamaan empiris untuk memprediksikan koefisien konveksi.

Bilangan Reynolds:

$$Re_x = \frac{\rho V x}{\mu}$$

Bilangan Nusselt:

$$Nu_x = \frac{hx}{k}$$

Aliran pada plat datar ditandai dengan adanya pertumbuhan lapisan batas yaitu garis yang memisahkan daerah yang kecepatan bervariasi (karena dipengaruhi tegangan geser) dengan daerah yang kecepatannya seragam (tidak dipengaruhi tegangan geser). Adanya variasi kecepatan mengindikasikan juga adanya variasi temperatur fluida jika temperatur permukaan plat tidak sama dengan temperatur fluida.

Jika temperatur permukaan dapat dianggap seragam (merata) maka bilangan Nusselt lokal :

$$Nu_x = \frac{hx}{k} = 0,332 ReL^{1/2} Pr^{1/3}$$

Untuk bilangan nusselt rata – rata :

$$Nu_x = \frac{hx}{k} = 0,664 ReL^{1/2} Pr^{1/3}$$

Semua sifat (property) fluida dicari pada temperatur film (T_f)

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

Fin pada Heatsink

Pembuatan sirip pada *heatsink* merupakan salah satu cara untuk memperbesar laju perpindahan panas dengan cara memperluas permukaan perpindahan panas. Penambahan sirip ini memperoleh dua keuntungan sekaligus yaitu dapat memperluas permukaan perpindahan panas yang tidak hanya permukaan konduksi tetapi juga permukaan konveksi.

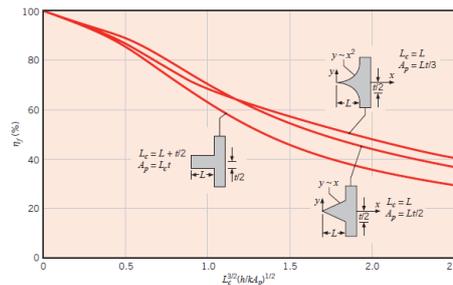
Effisiensi sirip dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \eta_f &= q_f / q_{\max} \\ &= q_f / h A_f \theta_b \end{aligned}$$

Keterangan :

- η_f = efisiensi sirip
- q_f = perpindahan panas pada sirip sebenarnya
- q_{\max} = perpindahan panas jika seluruh sirip bertemperatur sama dengan akar sirip
- h = koefisien konveksi di sekitar sirip
- A_f = luas permukaan sirip
- θ_b = perbedaan temperatur antara akar sirip dengan temperatur udara

Beberapa sirip yang lazim dipakai effisiensinya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 5. Efisiensi fin lurus [1]

METODOLOGI

Penelitian ini, membahas mengenai kaji esperimental portable cold box. Dalam pembahasannya terdapat 4 tahapan pokok yang dilakukan, diantaranya :

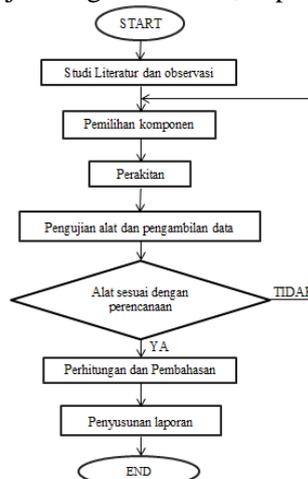
Tahap pertama adalah melakukan identifikasi masalah yang diduga terdapat berbagai masalah yang dapat diselesaikan dengan disiplin ilmu yang dipahami, kemudian dari berbagai permasalahan yang ada dirumuskan menjadi rumusan masalah, setelah rumusan masalah didapat, kemudian menentukan tujuan dan manfaat dari penelitian. Selain itu, perlu melakukan studi pustaka dari berbagai teori penunjang dan beberapa penelitian sebelumnya.

Tahap kedua adalah pemilihan komponen yang dibutuhkan seperti pemilihan fin, pemilihan fan, pemilihan *Peltier* serta pemilihan kelistrikan selanjutnya dilakukan perakitan sesuai dengan rancang bangun yang direncanakan. Dilakukan pengujian dan pengambilan data. Data-data yang diperlukan diambil dari data penelitian sebelumnya sebagai sumber yang terpercaya dan berisi tentang, *temperature, tegangan dan kuat arus* yang telah dirancang dari masing-masing *input-output*. Selama pengujian pengambilan data dilakukan pada *portable cold box* yang telah terpasang 8 thermocouple pada 4 dinding *portable cold box* dan 4 bagian yang ada di tengah *portable cold box*.

Tahap ketiga adalah pengolahan data. Data-data tersebut digunakan untuk mengetahui besar laju perpindahan panas Pelier baik pada sisi panas dan sisi dingin. Setelah perhitungan dilakukan, maka dapat ditarik suatu analisis.

Tahap keempat adalah melakukan analisis dengan menggunakan neraca keseimbangan energi serta mengevaluasi perhitungan *laju perpindahan panas*, mendapatkan koefisien perpindahan panas konduksi dan konveksi. Selanjutnya, membuat kesimpulan dan saran dari penelitian yang sudah dilakukan.

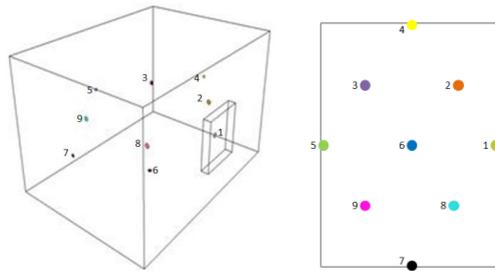
Di bawah ini adalah langkah-langkah percobaan dan pengambilan data dari *portable cold box* dengan menggunakan modul termoelektrik dengan total tegangan dan arus 12 volt dan 10 ampere. Untuk memperjelas alur dari pengerjaan tugas akhir ini, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 6. Diagram alir pembuatan portable cold box



Gambar 7. Portable cold box



Gambar 8. Letak titik pengamatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi temperaura dari hasil pengamatan didapat sebagai berikut

Tabel 1 Hasil Pengamatan Distribusi Temperatur

Menit ke-	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C
0	27	27	27	27	27	27	27	27	27
5	16	24	26	24	26	25	24	25	26
10	15	24	26	23	26	24	23	24	25
15	15	23	25	23	25	24	23	24	25
20	14	23	25	23	25	24	23	24	25
25	14	23	25	23	25	24	23	24	25
30	14	23	25	23	25	24	23	23	25
35	14	23	25	23	25	24	23	23	25
40	13	23	25	22	25	24	23	23	25
45	13	21	25	22	25	23	22	22	24
50	13	21	25	22	24	23	22	22	24
55	13	21	25	22	24	23	22	21	24
60	13	20	24	22	24	23	22	21	24
65	11	20	24	22	24	23	22	21	24
70	11	20	24	21	24	23	22	21	23
75	11	20	24	21	23	23	21	20	23
80	11	20	23	21	23	22	21	20	23
85	10	20	23	21	23	22	21	20	22
90	10	20	23	21	23	22	21	20	22
95	10	20	23	20	23	21	20	20	22
100	9	20	22	20	22	21	20	20	21
105	9	19	22	20	22	20	20	19	21
110	8	19	21	20	22	20	20	19	20
115	8	19	21	20	22	20	20	19	20
120	8	19	21	20	22	20	20	19	20

Perhitungan Konveksi pada Heatsink Sisi Panas



Gambar 9. Sketsa *heatsink* sisi panas

Dimensi *heatsink* sisi panas :

- W = 89 mm
- S = 5,2 mm
- t = 0,2 mm
- S-t = 5 mm
- L_f = 27,8 mm
- L_b = 30 mm
- N = 64

Kecepatan udara yang masuk *heatsink* sisi panas = 1,12 m/s

Temperatur saat kondisi maksimal

$$T_{\infty} = 27^{\circ}\text{C} = 27^{\circ}\text{C} + 273 = 300 \text{ K}$$

$$T_s = 39^{\circ}\text{C} = 39^{\circ}\text{C} + 273 = 312 \text{ K}$$

Asumsi :

1. Kondisi *steady state*
2. Nilai sifat dari fluida udara dalam sistem konstan
3. Udara / gas dalam kondisi ideal
4. Perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan
5. Aliran fluida pendingin dianggap memenuhi seluruh fin (*uniform*)

Nilai Sifat :

Nilai sifat yang akan dicari adalah nilai sifat dari udara karena beberapa alasan diantaranya sistem ini berhubungan langsung dengan udara, selain itu juga sebagai fluida pendingin *heatsink* pada sisi panas peltier dan data sifat dari udara ini didapat dari Tabel A.4 Fundamentals of Heat and Mass Transfer

Suhu udara rata – rata (T_f)

$$T_f \approx \frac{T_s + T_{\infty}}{2} = \frac{312\text{K} + 300\text{K}}{2} = 306\text{K}$$

Maka didapat :

- Massa jenis udara

$$\rho = 1.1614 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{(306-300)\text{K}}{(350-300)\text{K}} \quad (0.9950 - 1.1614) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 1.141$$

- Viskositas

$$\mu = 184.6 \times 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} + \frac{(306-300)\text{K}}{(350-300)\text{K}}$$

$$(208.2 \times 10^{-7} - 184.6 \times 10^{-7}) \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} = 187.43 \times 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

- Thermal Conductivity

$$k = 26.3 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mK}} + \frac{(306-300)\text{K}}{(350-300)\text{K}} (30.0 \times 10^{-3} - 26.3 \times 10^{-3}) \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$= 26.7 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

- Bilangan Prandtl

$$\text{Pr} = 0.707 + \frac{(306-300)\text{K}}{(350-300)\text{K}} (0.700 - 0.707) = 0.706$$

Heatsink yang dipakai dalam alat pendingin ruangan ini adalah berbahan aluminium sehingga dari nilai $T_f = 306^{\circ}\text{K}$ di dapat nilai koefisien konduksi heatsink ($k_{\text{aluminium}}$) pada tabel A.1 (buku fundamental of heat and mass transfer, seventh edition, incopera) dengan interpolasi sebagai berikut:

k heatsink (aluminium) pada temperatur 306⁰K

$$K_{\text{heatsink}} = 237 \frac{W}{mK} + \frac{(306-200)K}{(400-200)K} (240 - 237) \frac{W}{mK}$$

$$= 238.59 \frac{W}{mK}$$

Perhitungan Reynold Number dan Nusselt Number

- Reynold Number

$$ReL = \frac{\rho U \infty L}{\mu} = \frac{1.141 \frac{kg}{m^3} \times 1.12 \frac{m}{s} \times 0.0278}{187.43 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2}} = 1895.44$$

Dari nilai ReL sebesar 1895.44 maka bisa ditentukan bahwa aliran tersebut adalah aliran laminar karena diasumsikan sebagai lorong maka perhitungan menggunakan aliran internal dimana ΔT pada seluruh permukaan perpindahan panas sama, maka q'' diseluruh permukaan konstan sehingga NuL (Nusselt Number) di dapat dari:

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = 4.36$$

Dari Nusselt number tersebut maka akan bisa di temukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h):

$$h = \frac{k NuL}{L} = \frac{0.0267 \frac{W}{mK} \times 4.36}{0.0278 m} = 4.287 \frac{W}{m^2K}$$

Perhitungan Heat Rate pada Heatsink Sisi Panas

Heat rate pada heatsink dapat dihitung dari:

$$q_t = h A \Delta T$$

$$= 4.287 \frac{W}{m^2K} \times \pi \times 0.045^2 m^2 \times (312-300)$$

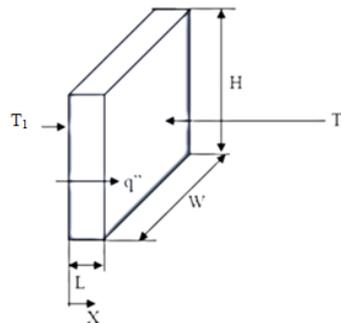
$$= 0.319 \text{ Watt}$$

Dari data-data yang telah didapatkan, maka diperoleh nilai heat rate sebesar 0.319 Watt.

Sedangkan: 1 watt = 859.84 kal/hour.

Maka selama percobaan dalam rentang waktu 2 jam didapatkan 274.288 kal/hour *heat rate* yang dapat dilepaskan *heatsink* pada sisi panas.

Perhitungan Heat Rate pada Plat Datar



Gambar 10. Sketsa Plat Datar

Dimensi Plat Datar :

- W = 190 mm
- H = 110 mm
- L = 0.5 mm

Asumsi :

1. Kondisi *steady state*
2. Udara / gas dalam kondisi ideal
3. Semua sifat konstan
4. Radiasi diabaikan

Menghitung Heat Rate Pada Dinding Yang Tertempel Termoelektrik

Titik pengamatan satu diketahui: $T_s = 8^{\circ}\text{C} = 281$

$$A = 0.19\text{m} \times 0.11\text{m}$$

Nilai sifat yang akan dicari adalah nilai sifat dari udara karena beberapa alasan diantaranya sistem ini berhubungan langsung dengan udara, data sifat dari udara ini didapat dari Tabel A.4 Fundamentals of Heat and Mass Transfer.

- $$v = 11.44 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (15.89 \times 10^{-6} - 11.44 \times 10^{-6}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$= 14.14 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$
- $$\mu = 159.6 \times 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (184.6 \times 10^{-7} - 159.6 \times 10^{-7}) \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$= 175.1 \times 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$
- $$k = 22.3 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mK}} + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (26.3 \times 10^{-3} - 22.3 \times 10^{-3}) \frac{\text{W}}{\text{mK}} = 24.78 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$
- $$\text{Pr} = 0.707 + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (0.700 - 0.707) = 0.711$$
- $$\alpha = 15.9 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (22.5 \times 10^{-6} - 15.9 \times 10^{-6}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$= 19.9 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$
- $$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{281} = 0.00355 \text{ K}^{-1}$$
- $$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Dari data di atas dapat menghitung:

$$\text{Ra}_L = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\nu\alpha}$$

$$= \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.00355 \text{ K}^{-1} \times (300 - 281) \text{ K} \times (0.11 \text{ m})^3}{14.04 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 19.7 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$= 3.129 \times 10^6$$

Dari nilai Ra_L sebesar 3.129×10^6 maka bisa ditentukan bahwa aliran tersebut adalah aliran laminar karena ($10^4 \leq \text{Ra}_L \leq 10^9$) maka dapat dihitung Nu_L (Nusselt Number) sebagai berikut:

$$\text{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 \text{ Ra}_L^{1/6}}{[1 + 0.492/\text{Pr}^{9/16}]^{4/9}}$$

$$= 0.68 + \frac{0.670 (3.129 \times 10^6)^{1/6}}{[1 + 0.492/0.711^{9/16}]^{4/9}}$$

$$= 22.311$$

Dari Nusselt number tersebut maka akan bisa di temukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h):

$$h = \frac{k \text{ Nu}_L}{L} = \frac{24.78 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mK}} \times 22.311}{0.11 \text{ m}} = 5.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Maka heat rate di dapat dari:

$$q_{\text{konveksi}} = h A \Delta T$$

$$= 5.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} (0.19 \text{ m} \times 0.11 \text{ m}) \times (281 - 300)$$

$$= -1.99 \text{ Watt}$$

Tanda minus pada hasil heat rate tersebut menunjukkan bahwa menyerap kalor. Kalor yang diserap oleh plat datar berbahan stainless steel sebesar 1.99 Watt.

Dengan cara yang sama didapatkan harga heat rate pada:

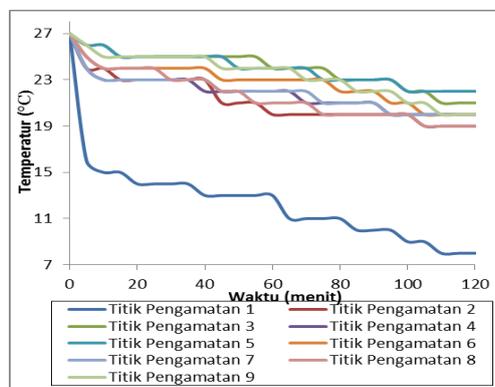
- Dinding sebelah kanan dan kiri sebesar -0.42 W
- Dinding terjauh dari termoelektrik sebesar -0.37 W
- Dinding bagian bawah sebesar -0.53 W
- Dinding bagian atas sebesar -0.944 W

Total Heat Rate di Dalam

$$q_{\text{konveksi}} = (-1.99\text{Watt}) + (-0.84\text{Watt}) + (-0.37\text{Watt}) + (-0.53\text{Watt}) + (-0.94\text{Watt}) \\ = -4.674 \text{ Watt}$$

Tanda minus pada hasil diatas menunjukkan menyerap kalor, maka diperoleh nilai heat rate total sebesar 4.676 Watt.

Grafik Distribusi Temperatur



Gambar Waktu vs Temperatur pada keseluruhan titik

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa hanya dinding yang terkena peltier secara langsung yang mampu mencapai temperatur terendah dari temperatur awal sedangkan untuk delapan titik pengamatan yang lain tidak bisa mencapai temperatur yang rendah. Ini disebabkan tidak adanya sirkulasi secara merata di dalam ruang portable cold storage.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada sistem pendingin Termoelektrik kinerja pada sisi dingin dipengaruhi oleh sisi panas termoelektrik. Semakin banyak panas yang dapat dilepaskan pada sisi panas termoelektrik, maka semakin efisien kinerja termoelektrik tersebut dalam mendinginkan suatu ruangan.
2. Pada penelitian ini *heatsink* pada sisi panas dapat melepas kalor sebesar 0.319 watt sedangkan pada sisi dingin dapat menyerap kalor sebesar 4.676 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Incropera, Frank P. dkk. 2011. "Fundamentals of Heat And Mass Transfer, Seventh Edition". United State of America : John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Sari ,Devi Ratna. 2011. "Kaji Eksperimental Perpindahan Panas Konveksi Pada Heatsink Sisi Panas dan Sisi Dingin Termoelektrik TEC 12706". Surabaya: Program Studi D-III Teknik Mesin FTI-ITS
- [3] Wilson, J.S. 2005. "Sensor Technology Handbook". Elsevier Inc,America.

- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -