

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA HEAT EXCHANGER TIPE T147D MENGGUNAKAN SIRIP DURI BENTUK KERUCUT

Suyatno¹⁾ Helen Riupassa²⁾ Abraham J. Bayani³⁾

¹⁾Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin

²⁾Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin

³⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Kebumihan Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan sirip duri bentuk kerucut terhadap laju perpindahan panas pada heat exchanger Tipe T147D.

Proses penelitian dilakukan dengan cara mengambil data pada objek yang diteliti dalam hal ini sirip duri bentuk kerucut terhadap laju perpindahan panas pada heat exchanger Tipe T147D.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran berlawanan arah pada sirip duri bentuk kerucut lebih baik dari aliran searah dengan efisiensi sirip dingin dan sirip panas 57.91% dan Log Mean Temperature Difference (LMTD) 13.88 °C

Kata Kunci : Heat exchanger, laju perpindahan panas, sirip duri bentuk kerucut, aliran searah dan lawan arah.

1. PENDAHULUAN

Alat penukar kalor atau heat exchanger adalah alat yang digunakan untuk menukar atau mengubah temperatur fluida atau mengubah phasa fluida dengan cara mempertukarkan kalornya dengan fluida lain. Arti dari mempertukarkan disini adalah memberikan atau mengambil kalor. Pemahaman teknologi *heat exchanger* membutuhkan pengetahuan dalam bidang termodinamika, mekanika fluida, heat tranfer, ilmu material dan ilmu proses produksi.

Heat exchanger umumnya merupakan peralatan dimana dua jenis fluida yang berbeda temperaturnya dialirkan kedalamnya dan saling bertukar kalor melalui bidang-bidang perpindahan panas atau dengan cara kontak langsung (bercampur). Bidang perpindahan panas ini umumnya berupa dinding pipa-pipa atau sirip-sirip yang dipasangkan pada pipa (fin).

Kalor dapat dipindahkan diantara kedua fluida tersebut, besarnya sangat tergantung pada kecepatan aliran fluida, arah alirannya, sifat-sifat fluida, kondisi permukaan dan luas bidang perpindahan panas serta beda temperatur diantara kedua fluida. Fluida yang mengalir didalam heat exchanger kadang-kadang mengandung zat-zat yang mengendap atau menggerak pada permukaan pipa atau bereaksi dan menyebabkan korosi atau kerusakan lainnya, sehingga performaheat exchanger dapat menjadi turun. Dengan demikian untuk menunjang program maintenance peralatan ini, sebaiknya pengetahuan dasar perlu dikuasai agar dapat diperoleh keuntungan yang optimal.

Tujuan Penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan sirip duri bentuk kerucut terhadap laju perpindahan panas pada *heat exchanger* Tipe T147D

Heat exchanger merupakan alat didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger*. Secara umum pengertian alat penukar panas (*heat exchanger*) adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung

secara efisien, pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antar fluida terdapat dinding yang memisahkan maupun keduanya bercampuran langsung. Penukar panas sangat luas dipakai dalam industri seperti kilang minyak, pabrik kimia, pembangkit listrik dan lain-lain. Salah satu contoh alat penukar panas adalah radiator mobil dimana cairan pendingin memindahkan panas mesin keudara sekitar.

1.1 Fungsi Heat Exchanger Tipe T147D

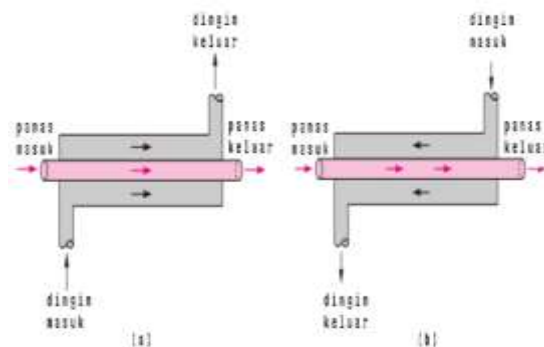
Fungsi penukar kalor dipergunakan di industri lebih diutamakan untuk menukarkan energy dua fluida (boleh sama zatnya) yang berbeda temperaturnya. Pertukaran energy dapat berlangsung melalui bidang atau permukaan perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida atau secara kontak langsung (fluidanya bercampur). Energi yang dipertukarkan akan menyebabkan perubahan temperature fluida (kalor sensible) atau kadang dipergunakan untuk berubah fase (kalor laten). Laju perpindahan energi dalam penukar kalor dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kecepatan aliran fluida, sifat-sifat fisik (viskositas, konduktivitas thermal, kapasitas kalor spesifik, dan lain-lain). Jadi fungsi penukar kalor (*heat exchanger*) adalah peralatan yang di gunakan untuk melakukan proses pertukaran kalor antara dua fluida, (panas atau dingin) maupun gas, dimana fluida mempunyai temperature yang berbeda. Pengambilan data ini dilakukan secara langsung dengan melakukan eksperimental pada alat penukar kalor water heat exchanger tipe T147D

1.2 Macam-macam Heat Exchanger (Penukar Panas)

Penukar panas (*heat exchanger*) adalah alat yang digunakan untuk menukar panas antara dua fluida yang berbeda temperatur dengan menjaga agar kedua fluida tidak saling bercampur. Penukar panas ini biasanya digunakan dalam dunia keteknikan (*engineering*) seperti pada kondesor pengkondisi udara (AC), radiator mobil, pemanas uap pada PLTU, kondensasi hasil industri dan lain-lain. Perpindahan panas yang biasanya berperan pada alat ini adalah konveksi yang terjadi pada masing-masing fluida dan juga konduksi yang terjadi pada dinding-dinding yang memisahkan kedua fluida. Perbedaan kebutuhan perpindahan panas, perbedaan perangkat keras yang tersedia dan perbedaan ketersediaan tempat membuat penukar panas memiliki berbagai macam jenis, namun demikian berbagai jenis yang ada bisa dikelompokkan menjadi tiga jenis penukar panas:

a. Pipa konsentris

Jenis penukar panas yang paling sederhana adalah jenis pipa konsentris, penukar panas ini terdiri dari dua pipa yang disusun secara konsentris dengan diameter yang berbeda. Jenis penukar panas ini juga dibagi menjadi dua berdasarkan pada arah aliran fluida, yakni: *parallel flow* dan *counter flow*. Pada jenis *parallel flow* aliran fluida mengalir dengan arah yang sama sedangkan pada *counter flow* fluida mengalir dengan arah yang berlawanan. Penukar panas jenis ini biasanya digunakan pada pendinginan cairan limbah industri yang akan dibuang ke lingkungan.



Gambar 1. Compact heat exchanger

b. Compact heat exchanger

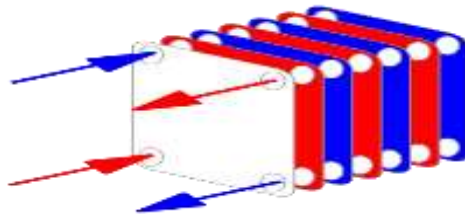
Penukar panas jenis lainnya adalah compact heat exchanger. Jenis ini dirancang untuk mendapatkan luas permukaan konveksi yang besar per satuan volumenya. Luas permukaan yang besar pada jenis penukar panas ini didapatkan dengan cara memasang pelat tipis atau sirip berombak yang dipasang secara berdekatan pada dinding yang memisahkan dua fluida. Perbandingan luas permukaan konveksi dengan volumenya disebut *area density* β . Nilai yang ideal atau disarankan untuk jenis penukar kalor ini adalah lebih dari $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (atau $200 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$), Nilai demikian akan menghasilkan perpindahan panas yang tinggi.

c. Shell dan Tube

Sedangkan untuk penukar panas jenis ketiga adalah jenis *shell-and-tube*. Jenis ini adalah jenis yang paling banyak digunakan pada dunia industri. Pada penukar panas ini terdiri dari banyak sekali pipa (bahkan bisa mencapai ratusan) yang dikemas dalam cangkang (shell) dan dipasang secara paralel dengan cangkang. Penukaran panas terjadi ketika salah satu fluida mengalir pada tabung-tabung dan juga fluida yang mengalir pada cangkang. Dinding penyekat (baffle) biasanya dipasang dengan tujuan sebagaiudukan pipa agar tidak melengkung sekaligus untuk menambah turbulensi pada fluida yang mengalir di luar pipa.

1.3 Tipe Aliran pada Alat Penukar Panas

Tipe aliran di dalam alat penukar panas ini ada 4 macam aliran yaitu:



Gambar 2. *Counter current flow* (aliran berlawanan arah)

b. *Parallel flow/co current flow* (aliran searah)

c. *Cross flow* (aliran silang)

d. *Cross counter flow* (aliran silang berlawanan).

1.4 Proses Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat di definisikan sebagai suatu proses koefisien perpindahannya dan suatu energi (kalor) dari suatu daerah ke daerah lain akibat adanya perpindahan suhu tersebut. Ada berapa proses perpindahan kalor yaitu:

a. Proses perpindahan kalor secara konduksi

Konduksi adalah proses transport panas dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium berlainan yang bersinggungan serta secara langsung. secara umum laju aliran kalor secara konduksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = -KA \cdot \frac{dT}{dx}$$

Dimana :

q = laju perpindahan panas (w)

A = luas penampang dimana panas mengalir (m^2)

k = konduktivitas thermal bahan, ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)

T = temperatur ($^\circ\text{C}$)

x = jarak (panjang) perpindahan kalor (m)



Tanda negatif pada persamaan diatas diberikan supaya memenuhi hukum termodinamika yaitu kalor mesti mengalir ke suhu yang lebih rendah seperti ditunjukkan gambar dibawa ini.

b. Proses perpindahan kalor secara konveksi

Konveksi yaitu perpindahan panas yang terjadi antara permukaan dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida(cairan/gas)

c. Proses perpindahan kalor secara radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara.



Gambar 3. Aplikasi konduksi, konveksi dan radiasi

1.5 Lapisan Batas Termal

Sebagaimana lapisan batas hidrodinamik (*hydrodynamic boundary layer*) kita definisikan sebagai daerah aliran dimana gaya-gaya viskos dirasakan, lapisan batas-termal (*thermal boundary layer*) di definisikan sebagai daerah di mana terdapat gradien suhu dalam aliran. Gradien suhu itu adalah akibat proses pertukaran kalor antara fluida dengan dinding.

1.6 Tipe aliran

Jika panjang kalor termal adalah panjang yang dibutuhkan dari awal daerah perpindahan kalor untuk mencapai angka Nusselt (Nu). Maka perpindahan kalor ke fluida dimulai segera setelah fluida memasuki saluran, lapisan batas kalor dan kecepatan mulai berkembang dengan cepat, maka keduanya diukur dari depan saluran. Fluida akan melakukan kontak dengan permukaan dinding tabung sehingga viskositas menjadi penting dan lapisan batas akan berkembang.

a. Tipe-tipe Aliran

a. $Re < 4000$ (Aliran Laminar)

b. $Re > 4000$ (Aliran Turbulen)

b. Bilangan *Reynolds* untuk aliran dalam pipa dapat di definisikan dengan.

$$Re = \frac{\rho \cdot u_m \cdot d}{\mu}$$

Dimana:

ρ = densitas fluida (kg/m^3)

u = kecepatan rata-rata terhadap waktu dalam arah (m/det)

d = diameter pipa (m)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

Bilangan Nusselt untuk aliran laminar yang sudah jadi atau berkembang penuh (*fully developed turbulent flow*). Dalam tabung licin, maka dipakai jika dan untuk mencari angka nusselt dengan persamaan sebagai berikut:

$$Nud = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n$$

Dimana.

$n = 0,3$. untuk pendinginan.

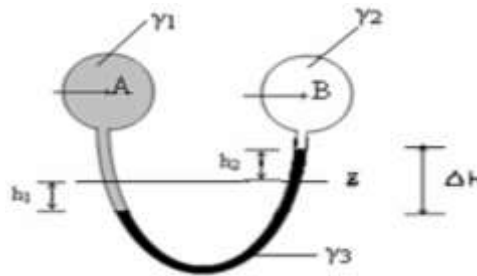
$n = 0,4$. untuk pemanasan.

Re = adalah bilangan Reynolds

Pr = adalah bilangan Prandtl

1.7 Tekanan

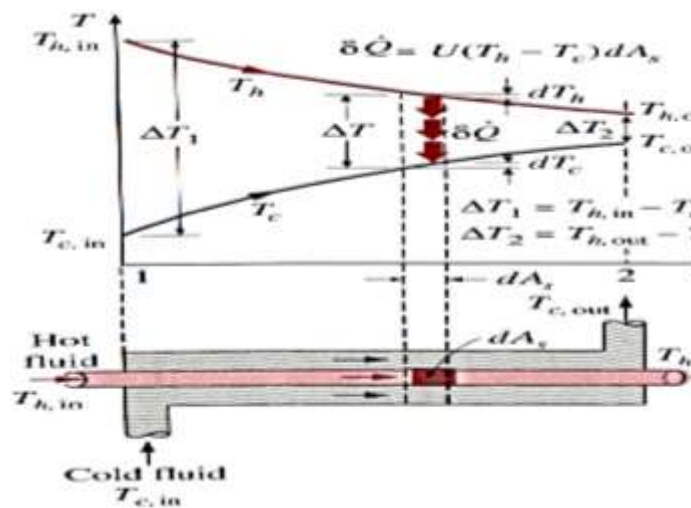
Pada tekanan dinyatakan sebagai gaya per satuan luas. Untuk keadaan dimana gaya (F) terdistribusi merata atas suatu luas (A) terhadap tekanan. Penurunan tekanan (ΔP) pada dua titik, pada ketinggian yang sama dalam suatu fluida adalah seperti pada gambar 2.6 dibawah ini;



Gambar 4. Manometer Diferensial

1.8 Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Suhu fluida di dalam penukar panas pada umumnya tidak konstan, tetapi berbeda dari satu titik ke titik lainnya pada waktu panas mengalir dari fluida yang panas ke fluida yang dingin. Untuk tahanan termal yang konstan, laju aliran panas akan berbeda-beda sepanjang lintasan alat penukar panas, karena harganya tergantung pada beda suhu antara fluida yang panas dan fluida yang dingin pada penampang tertentu. Profil suhu pada alat penukar kalor pipa ganda searah dapat diamati pada gambar berikut:



Gambar 5. Distribusi *temperature* aliran searah pada penukar kalor pipa ganda

$$\Delta T_{lmtcd} = \frac{(Th_3 - Tc_4) - (Th_1 - Tc_6)}{\ln [(Th_3 - Tc_4)/(Th_1 - Tc_6)]}$$

Dimana:

Th_1 = Temperatur aliran fluida panas ($^{\circ}\text{C}$)

Th_3 = Temperatur aliran fluida panas ($^{\circ}\text{C}$)

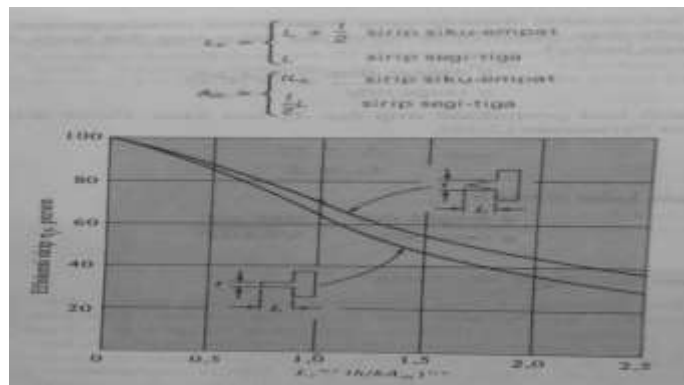
Tc_4 = Temperatur aliran fluida dingin ($^{\circ}\text{C}$)

Tc_6 = Temperatur aliran fluida dingin ($^{\circ}\text{C}$)

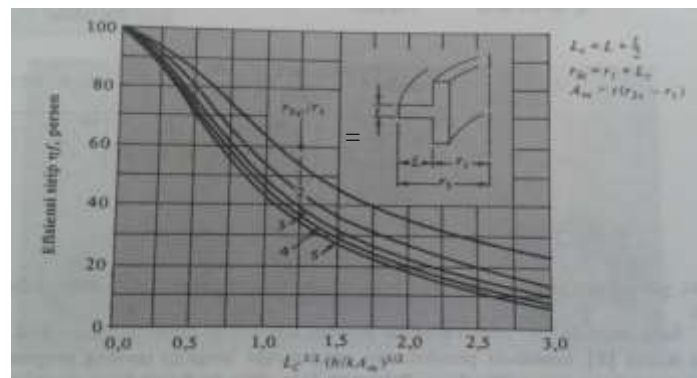
Benda suhu ini disebut benda suhu rata-rata logaritmik (*Log Mean Temperature Difference=LMTD*). Artinya benda suhu pada satu ujung penukar kalor dikurangi beda suhu pada ujung yang satu lagi dibagi dengan logaritma alamiah daripada perbandingan kedua beda suhu tersebut. LMTD ini juga berlaku apabila suhu salah satu fluida tersebut konstan.

1.9 Sirip pendingin

Maka dalam pengembangan di atas, telah kita turunkan rumus untuk perpindahan kalor dari batang atau sirip yang penampang-penampangnya seragam yang mencuat dari dinding datar. Dalam penerapan praktis luas penampang sirip tidak seluruhnya seragam, untuk menunjukkan efektivitas sirip dalam memindahkan kalor tertentu, kita rumuskan suatu parameter baru, yang disebut efisiensi sirip (*fin efficiency*):



Gambar 6. Efisiensi sirip siku empat dan segi tiga



Gambar 7. Efisiensi sirip siku empat, menurut rujukan

$$\eta_f = \frac{\text{kaloryang sebenarnya dipindahkan}}{\text{kaloryang dipindahkan kalau seluruh muka sirip berada pada suhu dasar}}$$

Untuk kasus diatas maka untuk efisiensi sirip menjadi:

$$\eta_f = \frac{\sqrt{hPkA} \theta_o \tanh mL}{hPL\theta_o} = \frac{\tanh mL}{mL}$$

Sirip yang dibahas diatas diandaikan cukup dalam sehingga aliran kalor dapat dianggap satu-dimensi. Maka mL dapat dinyatakan sebagai berikut.

Dimana z ialah kedalaman sirip dan t tebalnya. Jika sirip cukup dalam maka suku $2z$ menjadi sangat besar dibanding dengan $2t$ sehingga.

$$mL = \sqrt{\frac{2hz}{ktz}} L = \sqrt{\frac{2h}{kt}} L$$

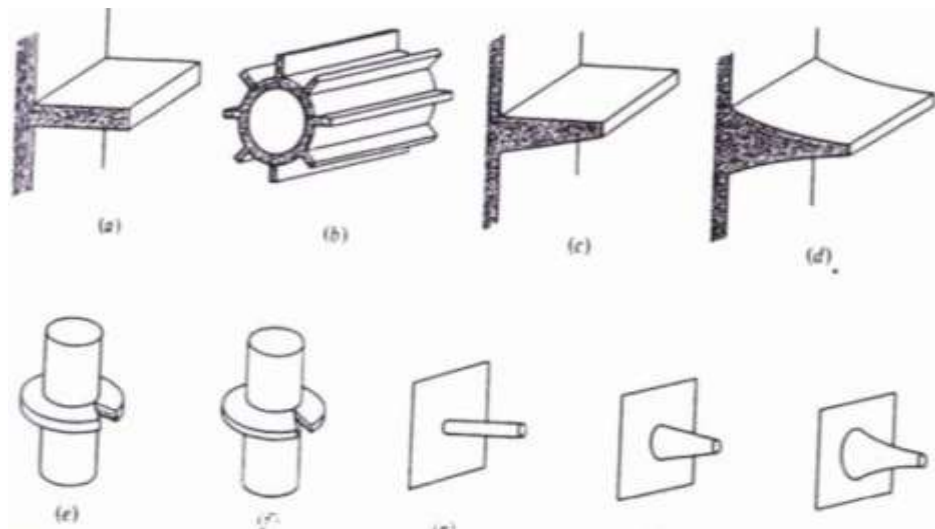
L ialah profil bidang sirip, yang kita defenisikan sebagai.

$$Am = Lt$$

Sehingga:

$$mL = \sqrt{\frac{2h}{kAm}} L^{3/2}.$$

Dalam semua kasus sirip yang ujungnya diisolasi, digunakan panjang yang dikoreksi, L_c yaitu:



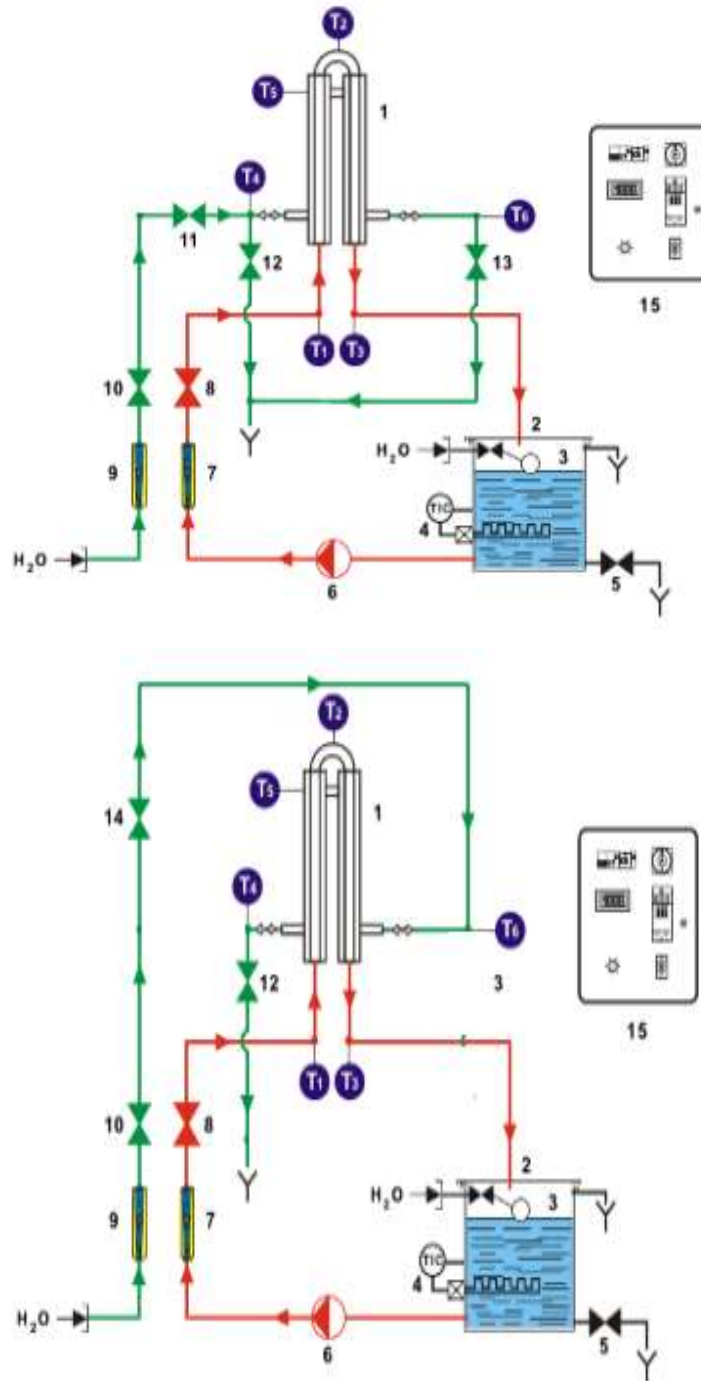
Gambar 2.8 Berbagai Jenis Sirip menurut Kern dan Kraus

- Sirip longitudinal (memanjang) dengan profil siku empat.
- Tabung silinder dengan profil siku empat .
- Sirip longitudinal dengan profil trapesoida.
- Sirip longitudinal dengan profil parabola.
- Tabung silinder dengan sirip radial berprofil siku empat.
- Tabung silinder dengan sirip radial berprofil kerucut terpotong.
- Duri bentuk silinder .

- h. Duri bentuk kerucut terpotong.
- i. Duri bentuk parabola.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat Uji



Gambar 8. Skema Alat Uji

Keterangan :

1. Pipa penukar kalor konsentrik
 2. Tangki re-siklus dan penyuplai
 3. Pelampung
 4. Pemanas air
 5. Keran pada sisi pembuangan tangki
 6. Pompa resiklus dengan debit 0,3 s/d 4,8 m³/jam
 7. Flowmeter 0 s/d 300 liter/jam pada sirkuit utama
 8. Keran pengaturan laju alir pada sirkuit utama
 9. Flowmeter 0 s/d 300 liter/jam pada sirkuit sekunder
 10. Keran pengaturan laju alir pada sirkuit sekunder
 11. - 14. Keran-keran untuk membuat aliran bolak-balik dan searah pada sirkuit sekunder
 12. Papan elektrik
- TIC. Termostat digital untuk mengontrol termoresistan
- T1. Temperatur air panas di sisi masuk pada sirkuit utama
- T2. Temperatur pertengahan air panas pada sirkuit utama
- T3. Temperatur air panas di sisi keluar pada sirkuit utama
- T4. Temperatur air dingin di sisi masuk pada sirkuit sekunder
- T5. Temperatur pertengahan air dingin pada sirkuit sekunder
- T6. Temperatur air dingin di sisi keluar pada sirkuit sekunder

Secara Ringkasan dan komponen-komponen utama mudah untuk ditemukan dari unit T147D

1. Pipa penukar kalor konsentrik;
2. Sirkuit utama flow meter (air panas)
3. Sirkuit sekunder flow meter (air dingin)
4. Tangki pemulihan air panas
5. Pemanas listrik
6. Pompa untuk resikulasi aliran
7. Sirip duri bentuk kerucut.



Gambar 9. Heat Exchanger Tipe T147D



Gambar 10. Sirip Duri Bentuk Kerucut

2.2 Variabel penelitian

1. Variabel bebas (*independent variabel*): adalah temperatur reservoir
2. Variabel terikat (*dependent variable*): adalah temperatur fluida panas masuk (T1) temperatur, V_f fluida panas keluar (T3) temperatur fluida dingin masuk (T4) temperatur fluida dingin keluar (T6) debit fluida panas (Qh) dan debit fluida dingin (Qc).
3. Variabel terkontrol: adalah volume air (38 L)

2.3 Prosedur pengujian *heat exchanger* tipe T147D

Heat exchanger merupakan peralatan yang di gunakan untuk memindahkan energi panas dari fluida yang bersuhu tinggi ke fluida yang bersuhu rendah, untuk mengetahui performansinya temperatur fluida outputnya selalu diukur oleh instrumentasi plant. Alat penukar panas (*heat exchanger*) merupakan suatu alat yang sangat penting dalam proses pertukaran kalor. Alat tersebut untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda temperatur dan dipisahkan oleh suatu sekat pemisa. Alat penukar kalor yang diuji adalah alat penukar panas jenis aliran searah. Dalam pengujian ini fluida yang digunakan adalah laju aliran massa kedua fluida yang merupakan variabel yang divariasikan sehingga akan diperoleh temperatur kedua fluida. Pada posisi masuk dan keluar penukar panas pada berbagai kondisi laju aliran massa yang ditetapkan. Dari kedua fluida tersebut dapat diketahui karakteristik performa dari alat penukar panas.

Langkah Pengujian :

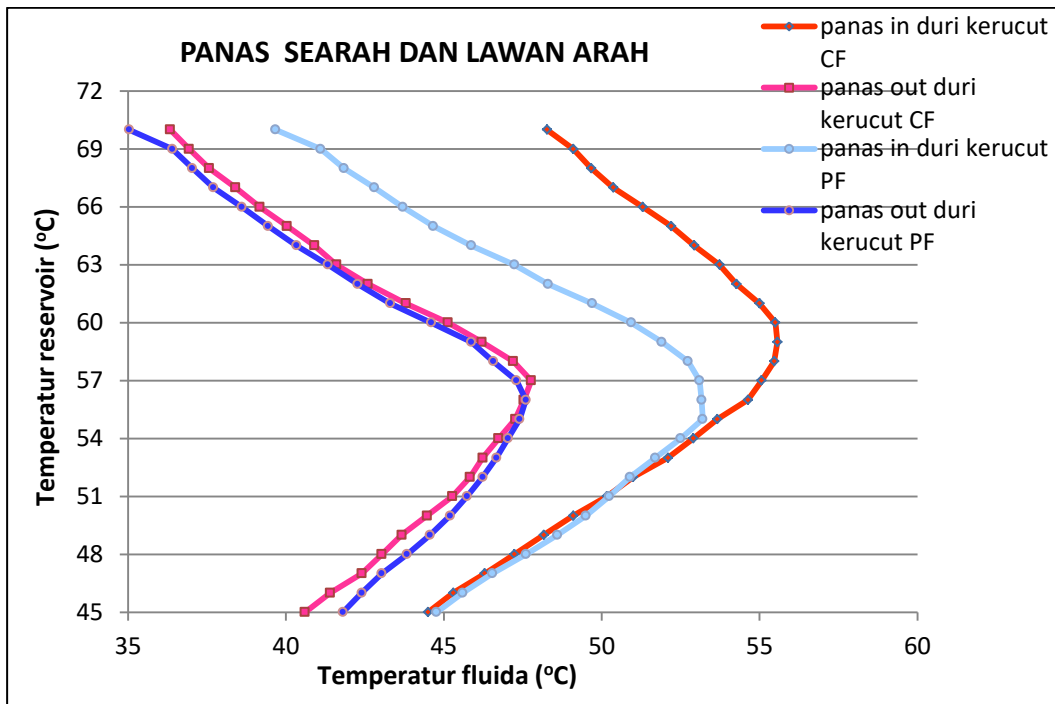
1. Elemen pemanas heat dinyalakan sehingga fluida yang berada didalam reservoir tank menjadi panas dengan temperatur fluida maksimal 70°C .
2. Fluida tersebut mengalir dengan menggunakan pompa melewati flow meter dengan perantaran kran pembuka dan memasuki T1 (inlet) pintu masuk fluida panas (T1, F1 fluida dicatat).
3. Selanjutnya fluida mengalir ke sirkuit primer temperatur intermedia atau fluida panas T2.
4. Dari T2 fluida mengalir ke T3 yang adalah saluran keluar fluida panas dan kembali ke reservoir tank (T3, F3 fluida dicatat).

5. Dengan menggunakan pompa, fluida dingin dialirkan melewati flow meter dengan perantaran Kran pembuka kemudian fluida melewati klep valve dan mengalir ke pintu masuk air dingin temperature T4 (T4,F4 fluida di catat).
6. Aliran fluida dingin melewati T4 masuk dan bercampur dengan fluida panas T5 kemudian keluar melewati T6 atau pintu keluar air dingin dan kembali ke reservoir tank penampung fluida. Untuk mengetahui fluida yang masuk dan keluar digunakan thermocouple digital. Dan untuk mengetahui debit aliran yang masuk didalam pipa aliran digunakan flow meter, sehingga akan didapatkan data-data yang diperlukan, Percobaan ini di ulang sampai tiga kali kemudian hasilnya di rata-rata sehingga didapatkan hasil yang maksimal.
7. Point 1 sampai 6 diulangi selama 3 kali dan kemudian dilanjutkan untuk lawan arah. Aliran fluida dingin melewati T6 masuk dan bercampur dengan fluida panas T5 kemudian keluar melewati T4 atau pintu keluar air dingin dan kembali ke reservoir tank penampung fluida.

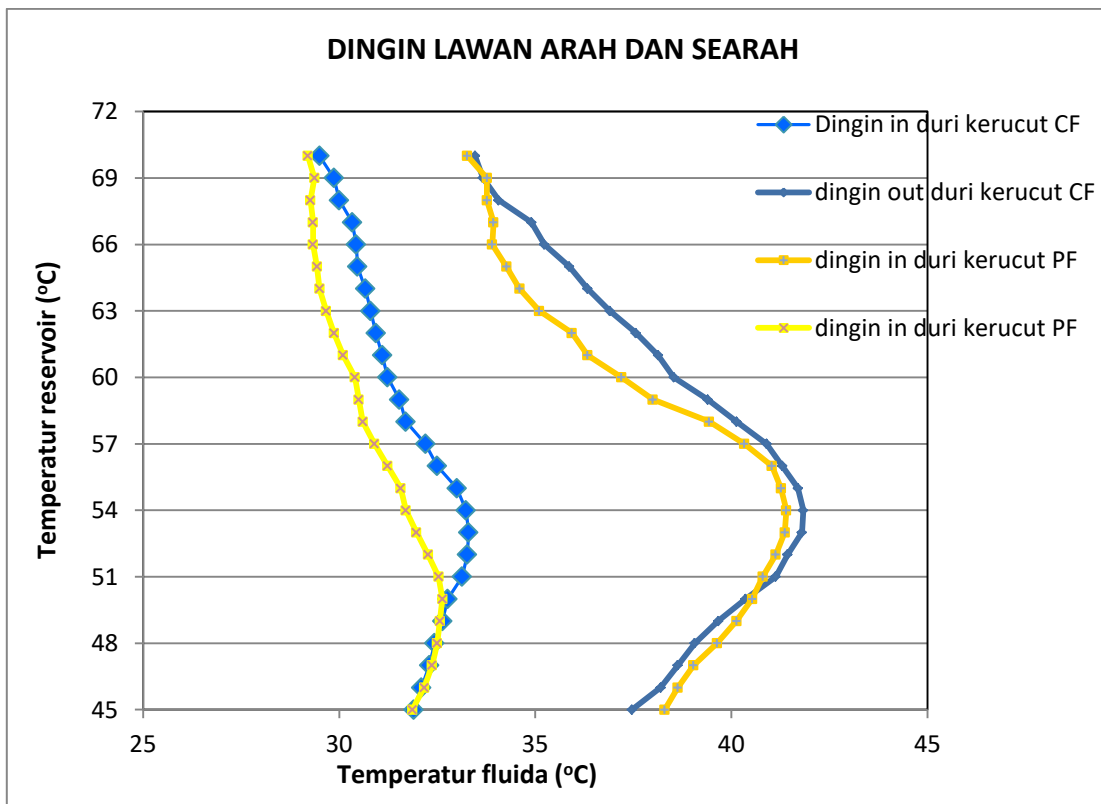
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Analisa

Uraian	Duri bentuk kerucut		Satuan
	Paralel	Counter	
Temp rata fluida panas (\bar{T}_h)	45.483	45.894	$^{\circ}C$
Temp rata fluida dingin (\bar{T}_c)	34.2	30.675	$^{\circ}C$
Luas penampang (A)	0.000387	0.000387	m^2
Kecepatan aliran fluida, (u_m)	0.095500	0.092091	m/s
Temp actual	39.462	38.284	$^{\circ}C$
Re	3177.831	3002.471	m
Nu_d	26.308	25.377	
A_o	0.020912	0.020912	m^2
A_i	0.027977	0.002798	m^2
h_o	559.920	720.875	$W/m^2^{\circ}C$
h_i	749.082	5388.356	$W/m^2^{\circ}C$
U	70.903	7.530	$W/m^2^{\circ}C$
LMTD	5.267	13.878	$^{\circ}C$
Am (Lc)	0.000007	0.000092	m^2
Am (Lh)	0.000008	0.000072	m^2
mL (dingin)	10.975	29.432	m
mL (panas)	9.808	26.305	m
η_f	56.193758	57.911166	%



Gambar 11. Grafik Temperatur Reservoir vs Fluida Panas



Gambar 12. Grafik Temperatur Reservoir vs Fluida Dingin

Dari gambar grafik di atas temperatur reservoir vs temperatur fluida diatas merupakan hasil gabungan grafik antara temperatur reservoir °C , temperatur fluida dingin masuk (T4) temperatur fluida dingin keluar (T6), temperatur panas masuk (T1), dan temperatur panas keluar (T3). Dari keterangan diatas hasil gabungan grafik ini keduanya memiliki kecenderungan untuk bertemu pada saat mencapai titik normal dimana tidak terjadi proses perpindahan panas dan dari trendnya temperatur fluida panas makin menurun karena fluida panas melepaskan kalor atau melepaskan panas ke fluida dingin, lalu temperatur fluida dingin menyerap kalor fluida panas sehingga temperaturnya dari fluida dingin semakin meningkat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Aliran searah efisiensi sirip dingin dan sirip panas 56.19 % dan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) 5.27 °C.
- 2) Aliran lawan arah efisiensi sirip dingin dan sirip panas 57.91 % dan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) 13.88 °C.

Sehingga dari kedua aliran dapat diketahui bahwa aliran lawan arah lebih bagus di bandingkan aliran searah

DAFTAR PUSTAKA

- Ary Bachtiar Krishna, 2004. Studi Pengaruh Beban Panas Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Vertikal Chanel. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Anang Fatkhur, 2012. Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Saluran Persegi Dengan Twisted Tape Insert With Centre Wing, Jurnal Teknik Mesin.Vol. 11 Nomor 1 September 2013.
- Holman, J.P 1997. Perpindahan Kalor. Edisi Ke Enam. Diterjemahkan Jakarta: Erlangga..
- Rachmadi Gewa Saputra, (2014). Studi Eksperimen Analisa Performa Compact Heat Exchanger Circular Tubes Continuous Plate Fin Untuk Pemanfaatan Waste Energy Jurnal Teknik Pomits Vol.3, No.1, (2014) Issn: 2337-3539
- S.P. Garnaik, 2002. *Infrared Thermography* : A versatile Technology for condition monitoring and Energy Conservation. National Productivity Council, Kanpur, India.
- <http://digilib.unimus.ac.id/files/disk1/105/jtptunimus-gdl-syamsudinr-5219-2-bab2.pdf>.

