

Analisis Perpindahan Panas Pada *Cooler Tank* FASSIP - 01

Aprianto Tangkesalu^{1)*}, I.G.B Wijaya Kusuma²⁾ dan I Nengah Suarnadwipa²⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Email: apriantotangkesalu@gmail.com

Abstrak

FASSIP-01 merupakan sebuah alat uji eksperimen yang dikhususkan untuk aliran satu-fasa dengan variabel parameter daya heater dan laju aliran pendingin di cooler. Pada sistem FASSIP-01 terdapat beberapa komponen penting salah satunya *cooler tank*. *Cooler tank* sendiri terdiri dari 2 bagian yaitu pipa *refrigerator* dan tabung *cooler*. Hasil eksperimen sementara yang telah dilakukan di BATAN di bagian *cooler tank* khususnya di pipa *refrigerator*, diperoleh perubahan temperatur yang meningkatkan dari keadaan awal, yang seharusnya tidak boleh mengingat fungsi dan kerjanya sebagai pendingin. Penelitian ini ditujukan untuk menganalisis lebih dalam sistem perpindahan panas yang terjadi pada *cooler tank* melalui metode simulasi dan perhitungan matematis, untuk mengetahui seberapa besar temperatur fluida yang dapat diturunkan di pipa *refrigerator* yang akan menjadi fluida pendingin pipa utama di tabung *cooler*, sekaligus unjuk kerja daripada alat dan peningkatan kerja jika ada permukaan tambahan pada pipa utama di bagian dalam tabung *cooler*. Dari hasil analisis penelitian yang dilakukan ditemukan bahwa temperatur *inlet-outlet* di pipa *refrigerator* turun dari 26⁰C menjadi 21,57⁰C setelah terjadi proses pendinginan. Sementara dengan penambahan permukaan pada pipa utama tabung *cooler* menunjukkan adanya peningkatan kerja meliputi laju perpindahan panas, efektivitas dan NTU. Laju perpindahan panas yang dihasilkan tanpa permukaan tambahan sebesar 1116,68 Watt dengan efektivitas 51% dan NTU 0,71. Sementara dengan adanya permukaan tambahan berupa cincin *rectangular* sebanyak 10 buah menghasilkan laju perpindahan panas sebesar 1456 Watt dengan efektivitas sebesar 67% dan NTU 1,10 dengan efisiensi \approx 82 %.

Kata kunci: *perpindahan panas, sirkulasi alamiah, gaya gravitasi, heater dan cooler, simulasi, penambahan permukaan*

Abstract

FASSIP-01 is an experimental test equipment that dedicated to a single-phase flow with variable heater power parameters and coolant flow rate in the cooler. In FASSIP-01 system, there are several important components, one is a cooler tank. Cooler tank consists from refrigerator pipes and cooler tubes. The experimental cooler tank results that had been done in BATAN, especially in refrigerator pipes, the temperature was increased from the initial state, which is should not be happened as the functions and works as cooler. This study aimed to analyze the heat transfer systems that occur on the cooler tank through simulation methods and mathematical calculations, to determine how much fluid temperature can be decreased in the refrigerator pipes which will be the fluid coolant in the cooler tubes, and performance that will increase in system if there is extended surface on the main pipe inside of the cooler tubes. From the analysis of research conducted found that the temperature at the inlet-outlet refrigerator pipes is decreased from 26⁰C into 21,57⁰C after cooling process. The extended surface on the main pipe cooler tubes showed an increase of work includes the heat transfer rate, effectiveness and NTU. The resulting rate of heat transfer without extended surface at 1116.68 Watt with effectiness 51% and NTU 0.71. While the extended surface with the form of a rectangular fins with 10 pieces

produces the heat transfer rate at 1456 Watt with effectiveness 67% and NTU 1.10 as the fins efficiency 82%.

Keywords: *heat transfer, natural circulation, gravitational force, heater and cooler, simulation, extended surface*

1. PENDAHULUAN

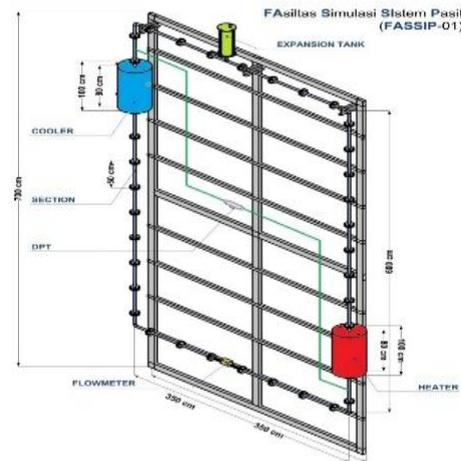
FASSIP-01 sejatinya merupakan sebuah alat uji eksperimen yang dikhususkan untuk aliran satu-fasa dengan variabel parameter daya heater dan laju aliran pendingin di cooler, Konsep sistem pasif adalah aliran fluida yang bergerak tanpa adanya intervensi gaya-gaya dari luar dan berbasis pada hukum-hukum alam yang berlaku, dimana fenomena laju aliran fluida dalam sistem pasif disebut sirkulasi alamiah (*natural circulation*) yang timbul berdasarkan perbedaan kerapatan fluida. Efek perubahan kerapatan fluida di daerah panas akan menimbulkan gaya buoyancy (gaya apung) dan efek perubahan kerapatan fluida di daerah dingin akan menimbulkan gaya gravitasi. Fenomena tersebutlah yang diharapkan dapat diimplementasikan pada PLTN sehingga ketika terjadi kegagalan manajemen termal, sirkulasi alamiah yang diterapkan dapat berfungsi sehingga dapat mencegah terjadinya kecelakaan reaktor nuklir.

Hasil eksperimen sementara yang telah dilakukan di BATAN khususnya di bagian laju pendinginan cooler, diperoleh perubahan temperatur meningkatkan dari keadaan awal, yang seharusnya tidak boleh mengingat fungsi dan kerjanya sebagai pendingin, dimana fluida dingin yang dihasilkan di pipa refrigerator akan disalurkan menuju ke tabung cooler untuk mendinginkan pipa utama dari FASSIP-01. Ini menunjukkan bahwa sistem penukar kalor di cooler tank FASSIP-01 belum bekerja sesuai fungsinya. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis hendak menganalisis dan mendesain kembali sistem perpindahan panas yang terjadi di *cooler tank* serta unjuk kerja daripada *cooler tank* FASSIP-01 itu sendiri.

Seperti yang kita ketahui bahwa adanya peningkatan laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor akan berdampak pada meningkatnya efektifitas kerja alat penukar kalor itu sendiri. Mengingat konsep kerja cooler tank FASSIP-01 yang merupakan aplikasi dari alat penukar kalor, menjadi dasar penulis untuk mencoba mendesain kembali pipa utama yang baru di tabung cooler dengan menambahkan extended surface dengan harapan untuk meningkatkan laju perpindahan kalor di tabung cooler sehingga dapat terjadi peningkatan efektifitas. meningkatkan unjuk kerja daripada FASSIP-01 secara keseluruhan.

Definisi dan Cara Kerja FASSIP – 01

FASSIP -01 (Fasilitas Simulasi Sistem Pasif) merupakan sebuah alat uji eksperimen yang dikhususkan untuk aliran satu-fasa dengan variabel parameter daya heater, laju aliran pendingin di cooler, perbedaan ketinggian heater dan cooler dan kondisi pipa terisolasi dengan tanpa isolasi [1].



Gambar 1. Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP)-01 (Sumber: Juarsa, 2015)

Cara kerja Untai FASSIP yaitu dengan konsep sistem pasif. Konsep sistem pasif adalah aliran fluida yang bergerak tanpa adanya intervensi gaya-gaya dari luar dan berbasis pada hukum-hukum alam yang berlaku. Fenomena laju aliran fluida dalam sistem pasif disebut sirkulasi alamiah (*natural circulation*) yang timbul berdasarkan perbedaan kerapatan fluida. Efek perubahan kerapatan fluida pada daerah panas akan menimbulkan gaya *buoyancy* dan efek perubahan kerapatan fluida di daerah dingin akan menimbulkan gaya gravitasi. Sehingga, implementasi sistem pasif pada PLTN dapat digunakan untuk kondisi normal maupun kondisi tidak-normal

Cooler Tank FASSIP-01

Cooler tank di FASSIP-01 terdiri dari 2 bagian yaitu pipa *refrigerator* dan tabung *cooler* .



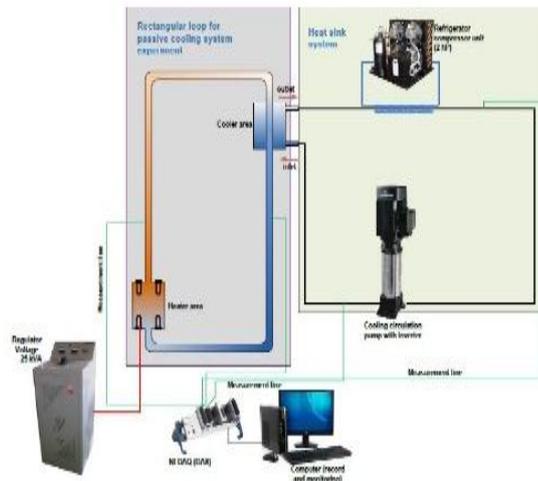
(a)

(b)

Gambar 2. pipa *refrigerator* (a) dan tabung *cooler* (b)

fungsi cooler pada Untai FASSIP-01 adalah untuk mendinginkan fluida air yang telah dipanaskan pada bagian heater agar memberikan efek perubahan kerapatan fluida yang akan menimbulkan Bergeraknya fluida air akibat gaya gravitasi [3]. Dimana cara kerja cooler pada Untai FASSIP-01 adalah air yang ada pada tabung cooler di gerakkan oleh pompa, yang kemudian keluar menuju bagian pipa refrigerator untuk didinginkan, dan air yang telah dingin kembali lagi ke tabung cooler untuk mendinginkan pipa utama sirkulasi Untai FASSIP-01 [1].

Berikut adalah loop/sirkulasi dari proses pendinginan tabung cooler :



Gambar 3. Loop/Sirkulasi dari proses pendinginan tabung cooler (sumber: Juarsa, 2015)

2. METODE

2.1. Deskripsi Penelitian

Dari data pengujian awal yang telah diperoleh, khususnya di bagian laju pendingin cooler ditemukan bahwa perubahan temperatur pada aliran air di pipa refrigerator meningkatkan dari keadaan awal 26°C menjadi 29°C , dimana semestinya temperatur yang diperlukan harus lebih rendah karena fungsinya sebagai pendingin.

Secara garis besar ruang lingkup dari penelitian ini dilakukan secara analisis dengan kajian literatur yang terkait, di mana pada tahap awal pengerjaannya dilakukan dengan menggunakan proses simulasi dengan menentukan kondisi awal (*initial condition*) dan kondisi batas (*boundary condition*) dari alat. Hasil dari simulasi tersebut akan kembali dibuktikan secara matematis dengan menggunakan persamaan perpindahan panas yang telah disertakan di teori dasar. Begitupun seterusnya hasil tersebut akan digunakan untuk menghitung unjuk kerja alat baik tanpa dan dengan permukaan tambahan.

2.2. Data

Data penelitian terdiri dari 2 yakni data primer dan data sekunder. Data primer sendiri merupakan data yang diperoleh langsung dari lapangan saat pengujian dari cooler tank FASSIP-01. Sementara data sekunder merupakan data teori yang berupa jurnal ataupun buku yang dihimpun dari instansi-instansi terkait.

2.3. Alat dan Bahan

Karena metode yang digunakan bersifat analisis sehingga alat dan bahan yang dibutuhkan hanya berupa laptop dan software yang digunakan untuk mendesain dan mensimulasikan alat. Adapun software yang digunakan :

- Autodesk Inventor
- Ansys Fluent

2.4 Langkah Penelitian

Analisis perpindahan panas pada cooler tank FASSIP-01 dilakukan melalui tahap-tahap sebagai berikut :

1. Membuat pemodelan pipa *refrigerator* dan tabung *cooler* berdasarkan dimensi data yang diperoleh, menggunakan aplikasi Autodesk Inventor dan melakukan simulasi menggunakan Ansys fluent
2. Melakukan analisis perpindahan panas yang terjadi pada sistem *cooler tank* dan sistem utama FASSIP-01 (menghitung hambatan termal, dan efektivitas-NTU)
3. Melakukan analisis penambahan permukaan pada dinding luar pipa utama tabung *cooler* berupa sirip (menghitung efektivitas-NTU dan efisiensi sirip)
4. Mengambil kesimpulan dari analisis yang dilakukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

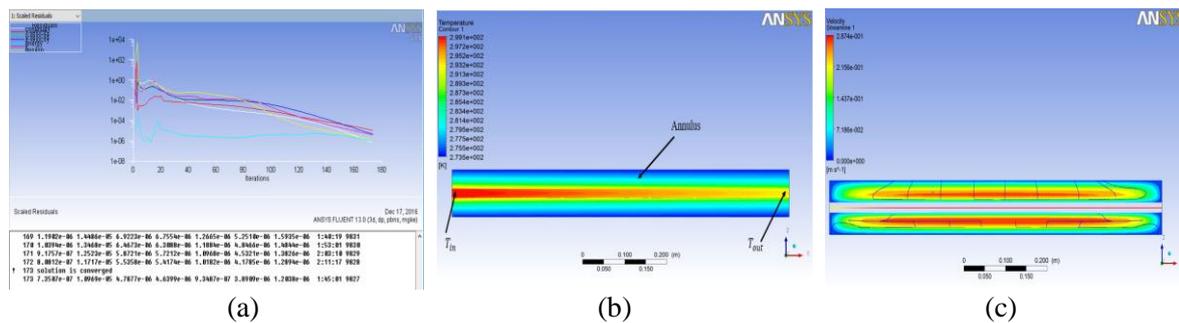
3.1. Analisis Perpindahan Panas Pada Cooler Tank FASSIP – 01

3.1.1. Simulasi Pipa Refrigerator dan Tabung Cooler

Langkah awal penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi untuk mengetahui bawasanya berapa temperatur fluida yang dapat didinginkan di pipa refrigerator dimana temperatur dingin tersebut akan disalurkan menjadi fluida pendingin pipa utama di tabung *cooler* adapun hasil simulasi disajikan pada tabel 1 dan 2

Tabel 1 Hasil simulasi pipa *refrigerator*

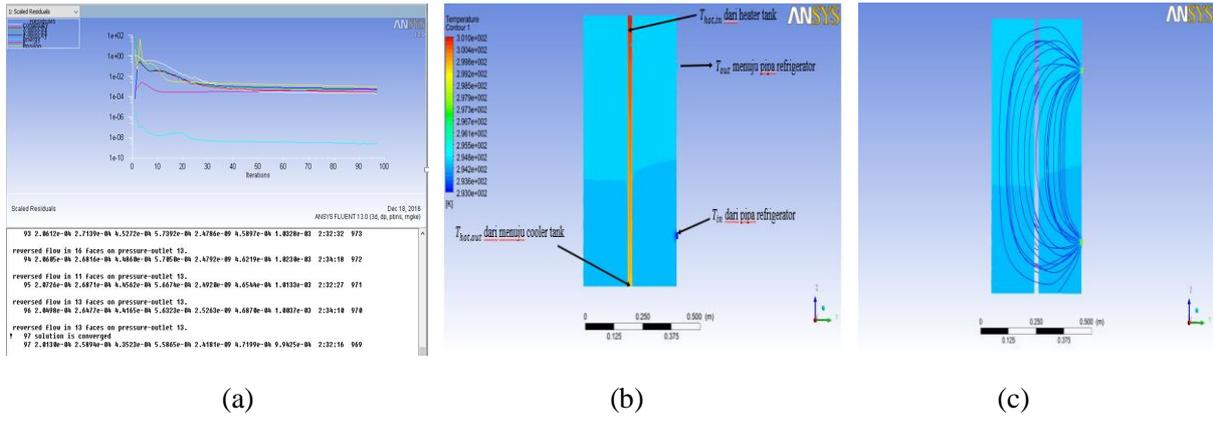
Input			output		
T_{in} (°C)	V_{in} pipa (m/s)	$T_{dinding\ luar\ annulus}$ (°C)	T_{out} (°C)	$T_{rata-rata\ annulus}$ (°C)	$V_{maks\ annulus}$ (m/s)
26	0.716	0.39	21	9	0.6



Gambar 4. Plot iterasi (a), fluid all zone pipa refrigerator (b), dan Velocity stream annulus (c)

Tabel 2. Hasil simulasi tabung *cooler*

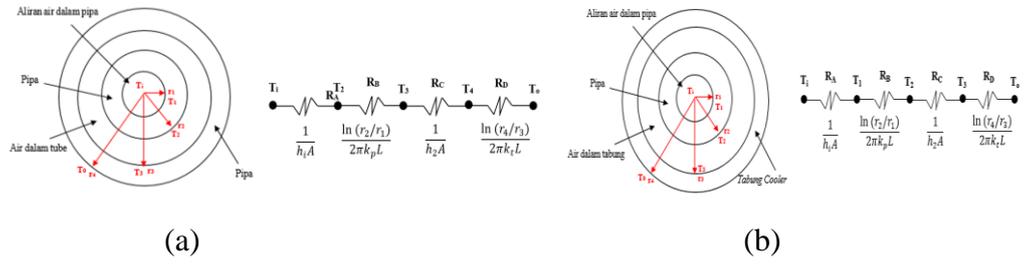
Input			output		
$T_{hot, in}$ pipa utama (°C)	V_{in} pipa utama (m/s)	$T_{cold, in}$ tabung <i>cooler</i> (°C)	$T_{hot, out}$ pipa utama (°C)	$T_{cold, out}$ tabung <i>cooler</i> (°C)	$V_{maks\ annulus}$ (m/s)
28	0.4	21	21	22	0.8



Gambar 5. Plot iterasi (a), Fluid all zones tab. cooler, velocity stream tab. Cooler (c)

3.1.2. Hambatan Termal dan Tout sesungguhnya Pada pipa refrigerator dan tabung cooler

Untuk mengetahui apakah simulasi yang dilakukan sudah benar maka dilakukan perhitungan matematis untuk mengetahui Tout sesungguhnya



Gambar 6. Aliran kalor Pipa refrigerator (a) dan aliran kalor tabung cooler (b)

$$q_{losses(refrigerator)} = \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}} = \frac{23,5 - 0,39}{1,29} = 17,9 \text{ watt} \quad (1)$$

$$q_{pipa\ refrigerator} = q_{annulus} - \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}} = -272866,65 \text{ Watt} \quad (-q \text{ menuju tab. Cooler})$$

$$q_{pipa\ refrigerator} = \dot{m} \cdot cp \cdot \Delta T$$

$$x = -1,93 + 23,5 = 21,57^\circ\text{C}$$

$$q_{losses(tab.cooler)} = \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}} = \frac{27,5 - 21,5}{1,064} = 5,63 \text{ watt} \quad (2)$$

$$q_{pipa\ utama} = q_{Tabung\ cooler} - \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}} = 2412,53 \text{ Watt}$$

$$q_{pipa\ utama} = \dot{m} \cdot cp \cdot \Delta T$$

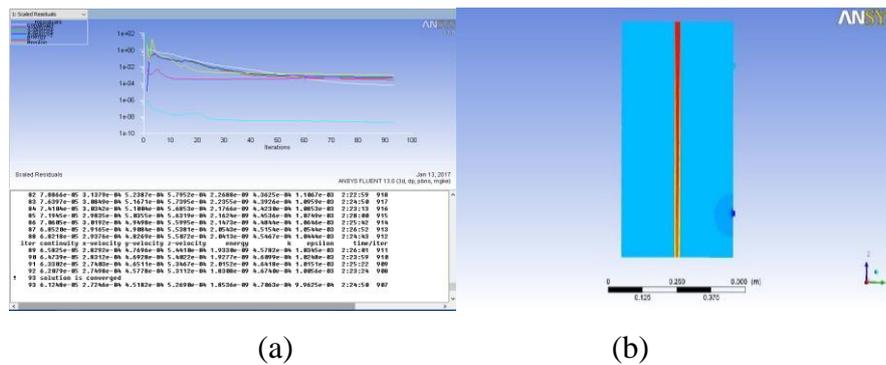
$$x = 0,02 + 27,5 = 27,52^\circ\text{C}$$

Korelasi antara perhitungan dan simulasi yang dilakukan telah sesuai sehingga dengan hasil yang diperoleh dimana mendekati nilai error yang kecil. T_{out} sesungguhnya di pipa refrigerator diperoleh 21,57 °C. Dan T_{out} sesungguhnya di tabung cooler diperoleh 27,52 °C

3.2 Analisa Efektivitas – NTU Pipa Utama Tabung Cooler Tanpa Permukaan Tambahan

Setelah dilakukan simulasi dan perhitungan matematis diperoleh temperatur inlet sesungguhnya pada tabung cooler sebesar $21,57^{\circ}\text{C}$ maka simulasi ketiga pun dilakukan untuk menentukan apakah nilai temperature outlet pipa utama di tabung cooler dari simulasi akan menghasilkan nilai yang mendekati dari $27,52^{\circ}\text{C}$ sebagai temperatur outlet pipa utama di tabung cooler, yang diperoleh dari hasil simulasi dan perhitungan matematis yang dilakukan sebelumnya. Batasan kondisi yang digunakan pada simulasi kali ini hampir sama dengan simulasi yang dilakukan sebelumnya hanya saja yang menjadi pembeda ialah temperatur inlet pada tabung cooler sebesar $21,57^{\circ}\text{C}$.

Adapun hasil simulasi yang telah *convergence* pada iterasi ke-93 pada gambar 7, sedangkan kuantitas temperature disajikan pada tabel 6.



Gambar 7. Plot iterasi (a) dan Tabung cooler (b)

Tabel 3 data kuantitas hasil sesungguhnya

No	Keterangan	Nilai
1	Temperatur inlet pipa utama	28°C
2	Temperatur outlet pipa utama	$27,5^{\circ}\text{C}$
3	Temperatur rata-rata pipa utama	$27,75^{\circ}\text{C}$
4	Temperatur inlet tabung cooler	$21,57^{\circ}\text{C}$
5	Temperatur outlet tabung cooler	$22,48^{\circ}\text{C}$
6	Temperatur rata-rata tabung cooler	$22,025^{\circ}\text{C}$
7	Kecepatan maksimal di t. cooler	$0,8\text{ m/s}$

perhitungan perpindahan panas pada di tabung cooler dapat dilakukan dengan persamaan :

$$q = (\rho \cdot A \cdot v) C_p \cdot (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (3)$$

Dimana untuk A (luas penampang) merupakan selisih antara diameter luar dan diameter dalam pipa utama. Sehingga :

Dengan d_{luar} sebesar $0,033401\text{ m}^2$ dan d_{dalam} sebesar $0,0254\text{ m}^2$

$$q = 1116,68\text{ watt}$$

Untuk mencari q_{max} dapat digunakan persamaan :

$$q_{max} = C_{min} \cdot (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (4)$$

$C_{min} = C_c = Ch$, dimana temperatur terendah dalam tabung cooler dengan $v_{max} = 0,8$ m/s berada pada angka $21,5$ °C dengan nilai C_p 4179 J/kg.°C, sementara untuk di pipa utama temperatur terendah dengan $v = 0,4$ m/s berada $27,5$ °C dengan C_p $4177,8$ J/kg.°C maka :

$C_c = 2913$ watt, $Ch = 336,9$ watt

Karena Ch memiliki nilai q yang lebih rendah dibandingkan C_c sehingga $C_{min} = Ch$.

$$q_{max} = C_{min} \cdot (T_{h,o} - T_{c,in}) = 2166 \text{ Watt}$$

Dengan demikian setelah memperoleh $q_{analisa}$ dan q_{max} maka efektivitas dan NTU pipa utama pada tabung cooler dapat diperoleh dengan persamaan :

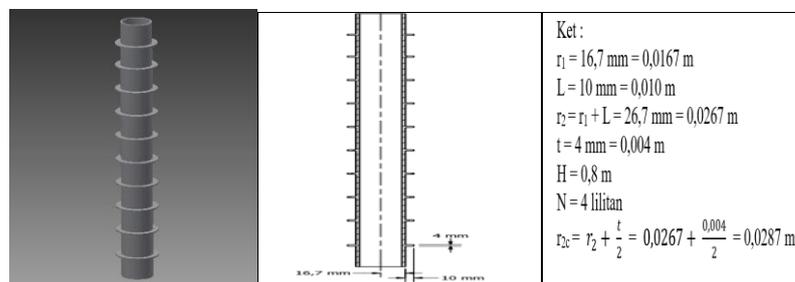
$$\varepsilon = \frac{q_{analisa}}{q_{max}} = \frac{1116,68}{2166} = 0,51 = 51\% \quad (5)$$

$$NTU = -\ln(1 - \varepsilon) = 0,71$$

Dengan demikian diperoleh efektivitas sebesar 51% dan NTU sebesar 0,71 pada pipa utama tabung cooler.

3.3 Analisa Perpindahan Panas Pipa Utama Tabung Cooler dengan Permukaan Tambahan

Model permukaan tambahan yang akan diterapkan ialah dengan penambahan cincin *rectangular* pada pipa utama yang disusun sebanyak 10 buah, dimana cincin *rectangular* tersebut terbuat dari material tembaga.



Gambar 8. Dimensi Extended surface

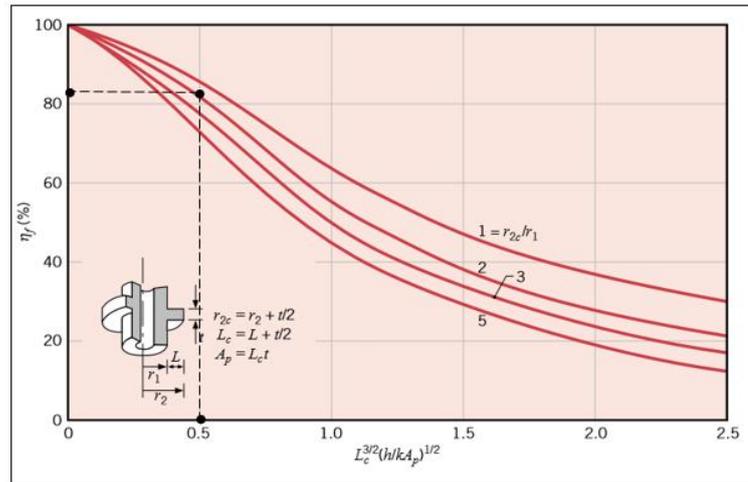
Mencari luas penampang pada permukaan tambahan

$$A_{fin} = 2\pi (r_{2c}^2 - r_1^2) \quad (6)$$

$$A_{fin} = 2 (3,14)(0,0287^2 - 0,0167^2) = 3,42 \times 10^{-3} m^2$$

Efisiensi Sirip Permukaan Tambahan

Maka untuk mencari efisiensi sirip kita dapat menggunakan diagram *Efficiency of annular fins of rectangular profile*, terlebih dahulu mencari nilai variabel yang diperlukan:



Gambar 9. Diagram Efisiensi Sirip

Dari gambar diagram dapat dilihat bawasanya nilai $\eta_{sirip} \approx 82\%$

sehingga ;

$$\eta_{sirip} = \frac{q_{sirip}}{h \cdot A_f \cdot \theta_b} = 34 \text{ Watt} \quad (7)$$

$$q_{total\ sirip} = q_{sirip} \times N \text{ (jumlah sirip)} = 340 \text{ watt}$$

Setelah diperoleh $q_{total\ sirip}$ maka langkah selanjutnya nilai q dari sirip dijumlahkan dengan nilai q pipa utama tanpa sirip

$$q_{total} = q_{tanpa\ sirip} + q_{total\ sirip} = 1456 \text{ Watt} \quad (8)$$

Dengan demikian efektivitas dan NTU pipa utama pada tabung cooler dengan permukaan tambahan dapat diperoleh :

$$\varepsilon = \frac{q_{analisa}}{q_{max}} = \frac{1456}{2166} = 0,67 = 67\% \quad (9)$$

$$NTU = -\ln(1 - \varepsilon) = 1,10$$

4. SIMPULAN

1. Hasil simulasi dan perhitungan matematis dengan data yang ada membuktikan bawasanya temperatur pada aliran fluida di pipa *refrigerator* tidak mengalami peningkatan melainkan mengalami penurunan dari keadaan temperatur awal sebesar 26°C menjadi $21,57^{\circ}\text{C}$, setelah terjadi proses pendinginan.
2. Sesuai dengan metode kerjanya, FASSIP-01 telah mampu bekerja sesuai dengan konsepnya namun tidak optimum. Dari hasil simulasi dan analisis ditemukan bahwa *cooler tank* FASSIP-01 hanya mampu menurunkan temperatur fluida dari 28°C menjadi $27,5^{\circ}\text{C}$ di pipa utama, meskipun panas maksimum yang mampu dipertukarkan adalah sebesar 2166 Watt.

3. Dengan menambahkan permukaan tambahan berupa cincin *rectangular* sebanyak 10 buah yang diaplikasikan di pipa utama tabung *cooler*, maka efektivitas alat *cooler* meningkat, di mana energi pendinginan meningkat menjadi 1456 watt dengan efektivitas sebesar 67% dan NTU sebesar 1,10.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Juarsa, Mulya., (2015), *Studi Eksperimental Fenomena Sirkulasi Alirah Aliran Satu-Fasa untuk Pengembangan PRHS Menggunakan Untai FASSIP-01*, Usulan Penelitian Tahun 2015 PTKRN.
- [2] Holman, J.P., (1995), *Perpindahan Kalor*, Edisi keenam, Jakarta: Erlangga.
- [3] Yang, Sun-Kyu, (2014), *Stability of flashing-driven natural circulation in a passive moderatorcooling system for Canadian SCWR*, *Journal of Nuclear Engineering and Design* 276 (2014) 259–276.
- [4] Incropera, Frank P., Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, David P. Dewitt, (2011), *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Seventh Edition. United States of America: John Wiley & Sons.