

Analisa Perpindahan Panas Pada *Heater Tank* FASSIP - 01

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

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

Abstrak

FASSIP-01 adalah sebuah piranti analisa pengembangan metode sirkulasi alamiah yang bertujuan dasar untuk mengedepankan aspek keamanan teknologi struktur untuk PLTN. Prototype FASSIP-01 memiliki beberapa komponen penting, salah satunya adalah Tabung Heater. Tabung ini berfungsi sebagai tabung induk pemanas untuk memanaskan pipa utama FASSIP – 01 yang melintas di dalamnya untuk kemudian terkena efek buoyancy dan bergerak mengikuti untaian. Penelitian FASSIP-01 telah dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) namun data yang dihasilkan belum ditemukan yang meliputi temperatur dan kecepatan aliran fluida. Dikarenakan kurangnya data pembanding awal, penulis melakukan beberapa asumsi yang dipakai sebagai acuan daripada penelitian ini. Selanjutnya data hasil simulasi kondisi asumsi tersebut dianalisa dan kemudian hasil simulasi dengan kondisi analisa menjadi hasil utama yang didapat dari penelitian ini. Dari penelitian yang dilakukan ditemukan bahwa telah terjadi peningkatan unjuk kerja yang meliputi laju perpindahan panas dan efektivitas yang dihasilkan. Laju perpindahan panas yang dihasilkan apabila tanpa permukaan tambahan pada pipa menunjukkan hasil 55.760,56 Watt dan efektivitas 56,4 %, sedangkan jika ditambahkan permukaan berbentuk juring berjumlah 2 buah maka akan menghasilkan daya sebesar 64.150,86 Watt dan efektivitas sebesar 64,9 % dengan efisiensi sebesar 98%.

Kata kunci: buoyancy, efektifitas, heater, tabung heater, permukaan tambahan, sirkulasi alamiah, simulasi.

Abstract

FASSIP – 01 was an analysis loop that developed natural circulation method purposed for leading safe and secure aspect on structure of nuclear power plant. The prototype of FASSIP – 01 had some important component of it, the one is Heater Tank. The tank was build as main heater to made main pipe of FASSIP – 01 heated, located inside of the tank that will affected with buoyancy and then flows following the loop. The research of FASSIP – 01 had been done at Indonesian Nuclear Researcher Agency (BATAN) but the result data was not completely found, included the temperature and real velocity of the flows. Caused by the less of main data that could be compared, we've made some assumption used for according to on this research. After all, the datas about simulation with assumption condition would be analyze and the result of simulation with real condition will be the main result as could as we got at this research. From this research, we could know that improvement of performance happened including heat transfer rate and effectivity. The heat transfer result if without the attachment of extended surface would be 55.760,56 Watt, dan the effectivity would be 56,4 %, at the other side if the attachment of extended surface with pie (segments) type with total amount is 2 was active so the heat transfer rate would be 64.150,86 Watt and the effectivity would be 64,9 % with the 98% efficiencies.

Keywords: buoyancy, effectivity, extended surface, heater, heater tank, natural circulation, simulation.

1. PENDAHULUAN

FASSIP-01 adalah sebuah *prototype* sistem pendinginan reaktor yang berwujud untaian alat yang memiliki fungsi sebagai simulator bekerjanya asas *natural circulation* yang dimaksudkan sebagai alternatif jika terjadinya kecelakaan pada reaktor nuklir. FASSIP-01 terdiri dari beberapa komponen penting, salah satunya adalah *Heater Tank*. Sistem FASSIP-01 menerapkan metode pertukaran kalor yang dirancang dan diuji coba oleh ilmuwan nuklir di BATAN, Serpong.

Heater Tank yang merupakan sebuah tangki berbentuk silinder yang berisi fluida dan kemudian dipanaskan oleh piranti heater bertipe *submerged* untuk kemudian mengalirkan temperatur panas kepada *section* yang melintasi di tengah – tengah tangki silinder. Fluida yang telah panas setelah melewati *heater tank* mampu mengalir menuju tangki pendingin untuk seterusnya bergerak mengalir secara kontinyu melalui untaian.

Hasil penelitian simulasi yang dilakukan di BATAN menunjukkan sistem penukar kalor FASSIP-01 belum bekerja secara sempurna, karena hanya mampu mengalirkan fluida dan mempertukarkan panas namun belum diketahui karakteristik dan unjuk kerjanya. Pada kesempatan kali ini penulis hendak mendesain kembali sistem pertukaran kalor di FASSIP-01 dan menganalisis perpindahan panas yang terjadi untuk mengetahui karakteristik dan unjuk kerja pada *Heater Tank* FASSIP-01.

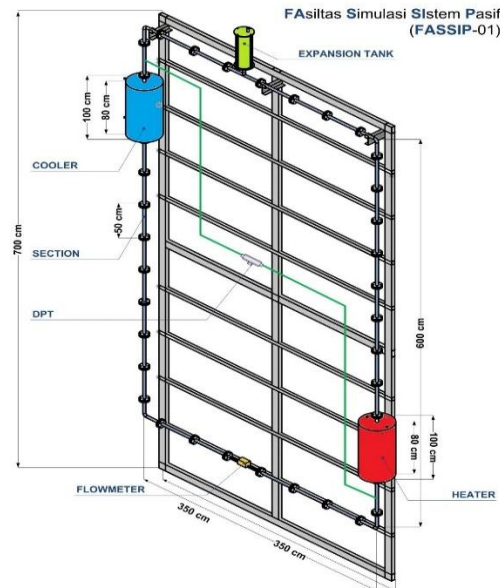
Seperti yang telah sering terjadi bawasannya penambahan *extended surface* yang dilakukan oleh para peneliti pada kebanyakan kasus alat penukar kalor ditujukan untuk meningkatkan laju perpindahan kalor yang terjadi pada alat penukar kalor tersebut. Dengan adanya peningkatan laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor maka hal tersebut akan berdampak pada meningkatnya efektifitas kerja alat penukar kalor itu sendiri.

Definisi FASSIP – 01

Sistem FASSIP-01 merupakan singkatan dari Fasilitas Simulasi Sistem Pasif. Dengan penomoran 01 yang dimaksudkan urut sesuai dengan generasi pembuatan. Sistem FASSIP-01 adalah sebuah simulasi dari reaktor PLTN yang terdiri dari komponen utama yaitu reaktor (yang diproyeksikan pada sebuah tangki *heater*) dan pendingin reaktor (yang diproyeksikan pada sebuah tangki *cooler*) yang dengan perpaduan konsep alam antara *natural circulation* dengan pengkondisian massa jenis zat mampu membuat sebuah PLTN agar mampu bekerja secara kontinyu tanpa henti. Reaktor nuklir itu sendiri adalah alat atau instalasi yang dijalankan dengan bahan bakar nuklir yang dapat menghasilkan reaksi inti berantai yang terkendali dan digunakan untuk pembangkitan daya, atau penelitian, dan / atau produksi radioisotop[1].

Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP-01) merupakan sebuah konseptual alat yang mampu bekerja tidak dengan adanya intervensi atau campur tangan dari efek luar yang dapat mempengaruhi performansi sistem itu sendiri[2].

Natural Circulation dan gaya gravitasi adalah dua fungsi alam yang tidak mampu dipisahkan dari konsep sistem FASSIP-01. Konsep *natural circulation* yang dimaksud adalah sebuah hukum alam dengan kondisi dimana sebuah zat yang memiliki densitas yang lebih besar (fluida menjadi berat) akan cenderung bergerak berbanding lurus dengan arah gravitasi normal (turun)[3]. Dan begitu pula sebaliknya, ketika di sebuah kondisi terdapat zat yang memiliki massa jenis yang lebih kecil (fluida menjadi ringan) maka akan bergerak dengan arah berbanding terbalik dengan arah gravitasi normal (naik). Kalimat terakhir biasa disebut juga dengan *Buoyancy Effect* atau efek apung sebuah zat yang dikarenakan massa jenisnya yang lebih kecil ketimbang massa jenis sekitarnya.

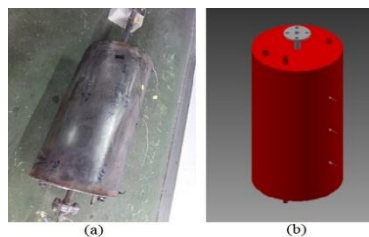


Gambar 1. Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP)-01 (Sumber: Juarsa, 2015)

Kecelakaan pada reaktor Three Mile Island dan Fukushima Daiichi yang tetap saja tak terbendung meski memiliki lapisan pelindung rangkap tiga [4] mendasari berdirinya riset ini. Sistem FASSIP-01 dengan metode pasif dari sebuah PLTN yang mampu diaplikasikan pada kondisi normal maupun kondisi non-normal (terjadinya kecelakaan) [2].

Heater Tank FASSIP – 01

Heater tank di sini difungsikan hanya untuk proyeksi dari reaktor nuklir. Karena pada dasarnya, reaktor bekerja akan menghasilkan panas maka dibikinlah sebuah proyeksi alat yang bisa bekerja juga untuk menghasilkan panas. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya *section* yang membentuk untaian berpola persegi panjang akan melintang di tengah – tengah *heater tank*. *Heater tank* total memiliki 8 lubang, yang terdiri dari 2 lubang untuk *section*, 2 lubang untuk memasukkan air dan mengeluarkan air dari dalam tangki, dan 4 lubang yang akan dipasang yang berguna sebagai spot untuk *heater element*.



Gambar 2 *Heater Tank* FASSIP-01 (a) dan *Heater Tank* FASSIP-01 Ilustrasi (b)

Air yang berada di dalam heater tank nanti, akan dipanaskan oleh *heater element* yang telah tersambung dengan *voltage regulator*. Ketika dipanaskan otomatis perpindahan panas akan terjadi dari temperatur fluida didalam tangki menuju fluida yang berada di dalam *section* yang melintang di dalam *heater tank*.

2. METODE

2.1. Deskripsi Penelitian

Laju perpindahan panas dan efektifitas dari *heater tank* akan menjadi fokus utama penulis untuk melakukan analisa terhadap *heater tank* kali ini. Melalui modifikasi fisik, diharapkan akan mengakibatkan perubahan data positif yang signifikan terhadap kinerja alat.

Ruang lingkup penelitian ini dilakukan secara analisis dan kajian literatur terkait, di mana pada tahap awal pengerjaannya dilakukan melalui proses simulasi dengan menggunakan berbagai kondisi awal (*initial condition*) dan kondisi batas (*boundary condition*) serta memasukkan beberapa parameter yang tidak diketahui. Hasil dari simulasi ini diuji kembali secara matematis dengan menggunakan persamaan perpindahan panas. Hasil simulasi dan perhitungan matematis kemudian digunakan untuk mendapatkan data analisa dari alat FASSIP-01. Data ini yang seterusnya dipakai untuk menghitung unjuk kerja alat, baik tanpa penambahan permukaan maupun dengan penambahan permukaan.

2.2. Data

- **Data Primer**

Data langsung yang bersumber dari observasi lapangan serta pengukuran parameter secara langsung ke lapangan, dalam hal ini seperti ukuran geometri untuk piranti FASSIP-01, jumlah unit serta keterangan – keterangan pendukung sewaktu dilaksanakannya kerja praktek di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

- **Data Sekunder**

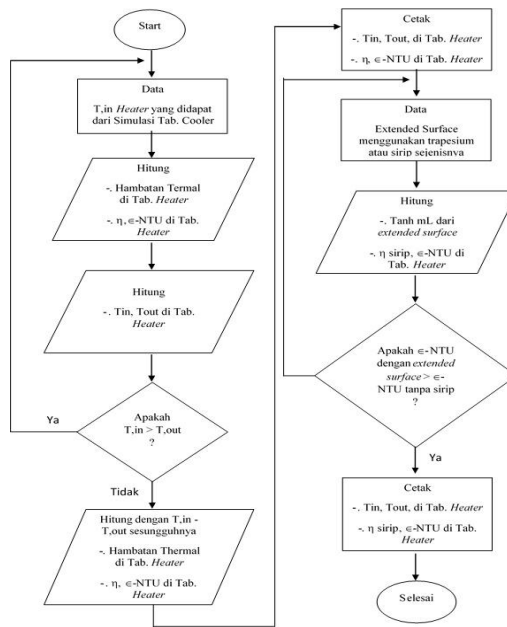
Data teoritis yang penulis dapatkan dari berbagai referensi pustaka, baik berupa buku, laporan/paper dari instansi mengenai materi terkait, ataupun jurnal serta artikel yang berhubungan dengan materi laporan. Sumber – sumber tersebut haruslah kredibel untuk menunjang hasil perhitungan sewaktu analisa berlangsung.

2.3. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah seperangkat laptop sebagai *hardware* dalam membantu menjalankan proses pembuatan gambar ilustrasi dan penyusunan laporan. Adapun *software* yang digunakan untuk menunjang dilakukannya analisa adalah, antara lain;

- *Heater Tank* FASSIP-01
- Aplikasi Autodesk Inventor 2015 untuk mendesain kembali *Heater Tank* FASSIP-01
- Aplikasi Origin8
- Aplikasi Ansys Fluent

2.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Keterangan

T_{in} sesungguhnya adalah temperatur fluida dingin yang masuk kedalam pipa utama hasil analisa perhitungan setelah dilakukannya simulasi terhadap *heater tank* FASSIP – 01. Sedangkan, T_{out} sesungguhnya adalah temperatur fluida dingin yang keluar dari pipa utama *heater tank* FASSIP – 01 hasil simulasi dengan masukan T_{in} sesungguhnya sebagai temperature masuk fluida dingin

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Pada Pipa Utama Heater Tank FASSIP – 01 Tanpa Permukaan Tambahan

3.1.1. Simulasi Heater Tank FASSIP – 01 Kondisi Inisial

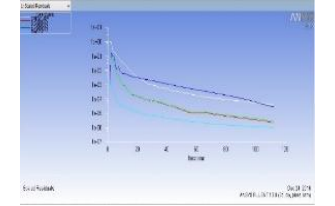
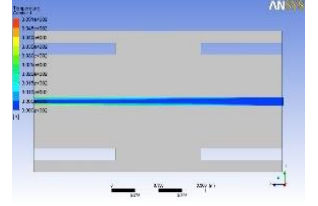
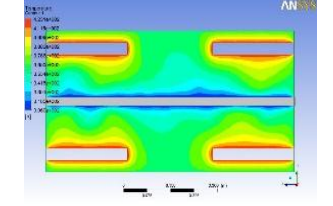
Seperti yang telah dijelaskan, bawasannya penelitian ini diawali dengan simulasi dengan kondisi asumsi untuk kemudian didapatkan kecepatan hasil analisa. Setelah itu simulasi pun diulang dan didapat beberapa parameter guna perhitungan

Tabel 1 Tabel input simulasi kondisi asumsi

Kecepatan (m/s)	Asumsi keadaan aliran	Re	Jenis Aliran	Kondisi Batas (INPUT)			
				Kecepatan (m/s)	Tin (°C)	Tw heater (°C)	Tw tabung (°C)
0,05	Forced convection	1581,48	Laminar	0,05	26	150	90

Proses simulasi pun dilakukan dan berhasil mencapai konvergensi pada iterasi ke-112, berikut adalah tabel output dari pada simulasi kondisi asumsi.

Tabel 2 Tabel output simulasi kondisi asumsi

Output		
To	Trata fluida tabung heater	Tfilm fluida pipa utama
28,85 °C	90.85 °C	27,425 °C
		
PLOT ITERASI	FLUIDA PIPA UTAMA	FLUIDA TABUNG HEATER

Setelah hasil temperatur keluaran diketahui maka pengujianpun dilakukan dengan mencari tau nilai sesungguhnya daripada kecepatan untuk kemudian mendapatkan temperatur sesungguhnya.

3.2. Analisa dan Simulasi Heater Tank FASSIP – 01 Kondisi Analisa

Setelah dilakukan simulasi seperti halnya diatas, maka perhitungan untuk mendapatkan kecepatan sesungguhnya pun dilakukan. Dengan formulasi dan nilai parameter perhitungan yang didapat dari tabel propertis pada referensi [5], maka berikut adalah alur perhitungannya,

1. Menghitung Rayleigh Number

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2} \quad (1)$$

$$Gr = 1 \times 10^{10}$$

2. Menghitung bilangan Rayleigh pada aliran

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (2)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 1 \times 10^{10} \cdot 5.63 = 5.63 \times 10^{10}$$

Aliran free convection dikategorikan turbulen apabila $Ra > 10^9$, maka dengan bilangan Rayleigh yang didapatkan sebesar nominal diatas maka kondisinya adalah turbulen free convection.

3. Mencari bilangan Nusselt dan kecepatan analisa

$$Nu = C \cdot Ra^{1/3} = C \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad (3)$$

$$Nu = Ra^{1/3} = (5.63 \times 10^{10})^{1/3}$$

$$Nu = Ra^{1/3} = 3832$$

$$3832 = Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}$$

$$3832 = Re^{0.8} \cdot 5.63^{0.4}$$

$$3832 = Re^{0.8} \cdot 2$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (4)$$

$$\left(\frac{3832}{2}\right)^{1/0.8} = \left(\frac{996.21 \text{ kg/m}^3 \cdot v \cdot 0.0254\text{m}}{0.0008 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}\right)$$

$$v = 0.4 \text{ m/s}$$

Kecepatan aliran fluida yang terjadi secara konveksi alamiah di pipa utama adalah 0.4 m/s.

4. Mencari nilai koefisien perpindahan panas konveksi pada pipa utama sesungguhnya

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k}, h = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (5)$$

$$h = \frac{3832 \cdot 0.613 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.8 \text{ m}} = 2936.27 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

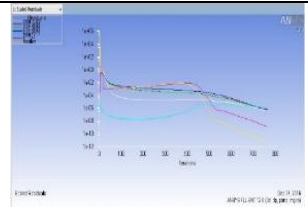
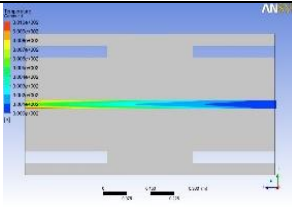
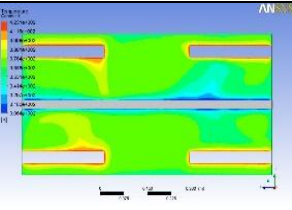
Maka, tabel input simulasi untuk kecepatan dan kondisi aliranpun diubah seperti pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 3. Tabel input simulasi kondisi analisa

Kecepatan (m/s)	Asumsi keadaan aliran	Re	Jenis Aliran	Kondisi Batas (INPUT)			
				Kecepatan (m/s)	Tin (°C)	Tw heater (°C)	Tw tabung (°C)
Kondisi Asumsi							
0,05	Forced convection	1581,48	Laminar	0,05	26	150	90
Kondisi Analisa							
0,4	Free convection	12676,3	Turbulen	0,4	26	150	90

Proses simulasi pun dilakukan dan berhasil mencapai konvergensi pada iterasi ke-763, berikut adalah tabel output dari pada simulasi kondisi analisa.

Tabel 4. Tabel output simulasi kondisi analisa

Output		
To	Trata fluida tabung heater	Tfilm fluida pipa utama
27,65 °C	93.75 °C	26,825 °C
		
PLOT ITERASI	FLUIDA PIPA UTAMA	FLUIDA TABUNG HEATER

Kemudian barulah temperatur hasil keluaran simulasi analisa ini yang digunakan sebagai acuan untuk menghitung nilai daripada efektivitas dan NTU. Dengan propertis seperti massa jenis dan nilai kalor jenis yang didapat dari referensi [5], maka hasilnya adalah,

$$q = (\rho \cdot A \cdot v) \cdot c_p \cdot (T_h - T_{c,o}) \quad (6)$$

$$q = \left(\rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \right) \cdot c_p \cdot (T_h - T_{c,o})$$

dengan $D_{dalam} = 0,0254m$

$$q = 55.760,56 \text{ Watt}$$

$$q_{max} = (\rho \cdot A \cdot v) \cdot c_{p,c} \cdot (T_h - T_{c,i}) \quad (7)$$

$$q_{max} = \left(\rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \right) \cdot c_p \cdot (T_h - T_{c,i})$$

dengan $D_{luar} = 0,033401m$

$$q_{max} = 98.829,48 \text{ Watt}$$

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \quad (8)$$

$$\varepsilon = 0,564 = 56,4 \%$$

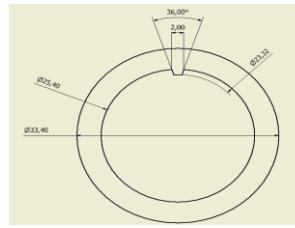
$$NTU = -\ln(1 - \varepsilon) \quad (9)$$

$$NTU = -\ln(1 - 0,564)$$

$$NTU = 0,83$$

Sebesar itu lah nilai daripada efektivitas dan NTU yang didapat dari hasil simulasi pada kondisi analisa. Penulis kemudian berinisiatif untuk menambahkan permukaan tambahan pada pipa bagian dalam, dan hasilnya terlihat mampu meningkatkan performansi daripada pipa utama itu sendiri.

Berikut adalah gambar permukaan tambahan beserta hasil perhitungan,



Gambar 4. Tampak atas permukaan tambahan pada pipa utama

Apabila permukaan yang ditambahkan tersebut berjumlah dua buah dan berdimensi seperti diatas, maka nilai permukaan totalnya pun akan meningkat.

$$A_{f,total} = N \cdot \left(2 \cdot w \cdot \left(L + \frac{t}{2} \right) \right) \quad (10)$$

$$A_{f,total} = 0.0096 \text{ m}^2$$

Maka, luas permukaan totalnya pun akan menjadi

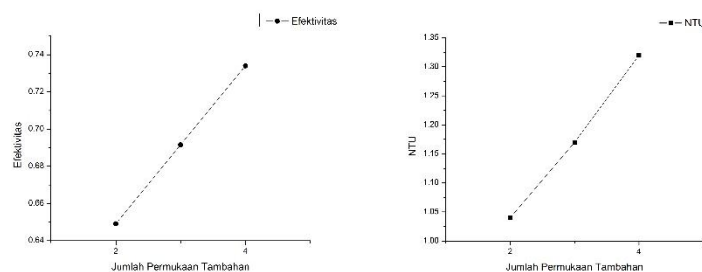
$$A_{total} = A_{f,total} + A_{tanpa \ sirip}$$

$$A_{total} = 0.0096 \text{ m}^2 + 0.0638 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 0.0734 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan perbandingan luasan dengan nilai heat transfer yang didapat, maka nilai heat transfer yang dihasilkan dengan luasan baru adalah sebesar 64.150,86 Watt, dengan efektivitas yang semula bernilai 56,4% meningkat menjadi 64,9%. Disisi lain, NTUpun juga meningkat yang semula bernilai 0,83 meningkat menjadi 1,04. Efisiensi terhadap sirip diketahui sejumlah 98% yang didapat dari hasil perhitungan berikut,

Disisi lain, ditemukan korelasi antara jumlah permukaan tambahan yang diaplikasikan dengan efektivitas dan NTU yang dihasilkan, seperti yang disajikan pada gambar



Gambar 5. Grafik korelasi jumlah permukaan tambahan dengan efektivitas - NTU

Grafik tersebut menjelaskan bawasannya, sesuai dengan konsep dasar perpindahan dasar perpindahan panas yang sangat bergantung daripada luas permukaan. Luas permukaan yang semakin besar akan mengakibatkan semakin besar pula laju perpindahan panas yang mampu disalurkan apabila permukaan tambahan tersebut diaplikasikan pada tempat yang benar.

4. SIMPULAN

1. Dari hasil penelitian ini, FASSIP-01 mampu bekerja namun kurang optimum. Dari hasil simulasi dan analisis ditemukan bahwa FASSIP-01 hanya mampu menaikkan temperatur fluida dari 26⁰C menjadi 27.65⁰C meskipun panas maksimum yang mampu dipertukarkan adalah sebesar 99.829,49 Watt. Efektivitasnya pun senilai 56,4% dan jumlah heat transfer yang mampu disalurkan (NTU) sebesar 0,83.
2. Dengan menambahkan permukaan tambahan berupa beberapa juring berjari – jari 0.023321 m yang diaplikasikan di dalam pipa utama, maka efektivitas alat heater meningkat. Semakin banyak juring yang ditambahkan, semakin besar efektivitas heater, panas yang dipertukarkan dan NTU yang dilepaskan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Tenaga Nuklir Nasional – Istilah-Istilah Dalam Bidang Nuklir
www.batan.go.id/prod_hukum/istilah.php diakses 20 Oktober 2016
- [2] Juarsa, Mulya., (2015), *Studi Eksperimental Fenomena Sirkulasi Alami Aliran Satu-Fasa untuk Pengembangan PRHS Menggunakan Untai FASSIP-01*, Usulan Penelitian Tahun 2015 PTKRN.
- [3] Vijayan, P.K. & Austregesilo, H. (1994), *Scaling laws for single-phase natural circulation loops*, Journal of Nuclear Engineering and Design 152 (1994) 331-347.
- [4] Institute de Radioprotection et de Surete Nucleaire (IRSN) – Understanding The Accident of Fukushima Daiichi
www.irsn.fr/EN/publications/thematic-safety/fukushima/Pages/overview.aspx diakses 20 Oktober 2016
- [5] 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.