

EVALUASI DESAIN TERMAL KONDENSOR PLTN TIPE PWR MENGGUNAKAN PROGRAM *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER DESIGN*

Saut Mangihut Tua Naibaho¹⁾, Steven Darmawan¹⁾ dan Suroso²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin Universitas Tarumanagara, Jakarta

²⁾ Pusat Teknologi Reaktor Keselamatan Nuklir - BATAN

e-mail: suroso@batan.go.id

Abstract: *The study was executed to get a quick calculation method for the design of equipment heat exchanger type shell and tube with a program shell and tube heat exchanger design. The purpose of this study was to obtain the results of the validation program shell and tube heat exchanger design of a condenser with power 4368.75 kW and the results of the evaluation program shell and tube heat exchanger design on the thermal design condensers nuclear power plant AP1000 PWR type. Input data into the program is done by inserting the parameters temperature, flow rate, physical properties and geometrical dimensions of the available designs of heat exchanger equipment specifications. Parameter for comparison of data can be obtained from the results of other calculations or experimental data. The results of comparison of the validation program shell and tube heat exchanger with condenser design calculations showed the highest difference found on U_{tube} parameter equal to 1.3% lower than the design condition. This occurs because of differences in calculation between the program designed. The result evaluation of program shell and tube heat exchanger design toward the thermal design condensers nuclear power plant PWR type AP1000 obtained unknown parameters from the technical specifications.*

Keywords: *Validation and evaluation, heat exchanger type shell and tube, PWR AP1000, program shell and tube heat exchanger design.*

PENDAHULUAN

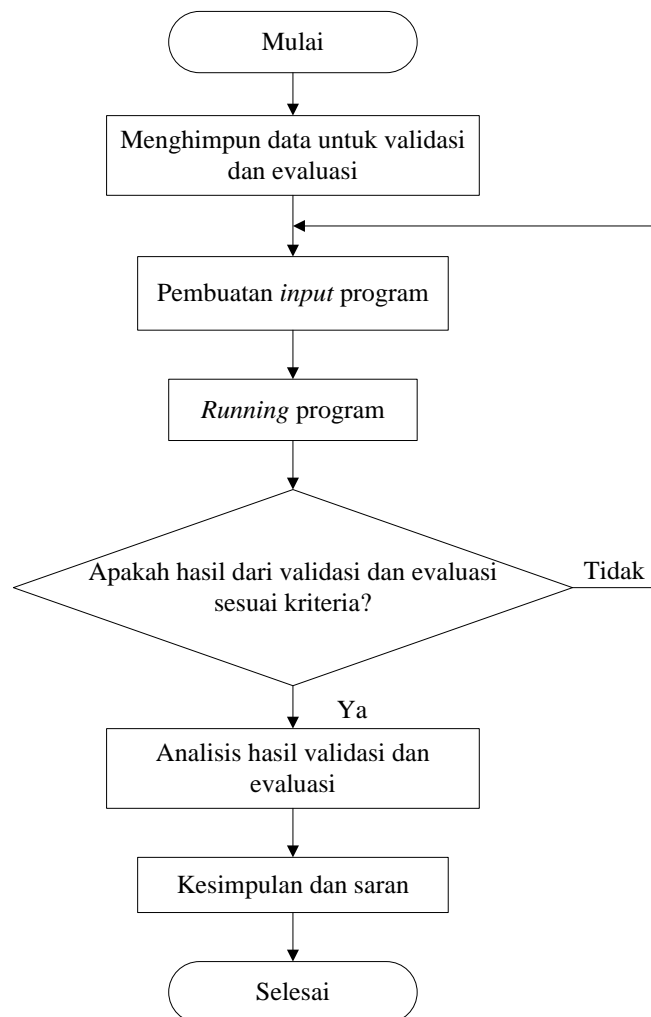
Kebutuhan akan energi yang besar menuntut disediakannya sumber energi yang memadai namun dengan tingkat polusi rendah. Permasalahan tersebut dapat dijawab dengan penggunaan PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) sebagai sumber energi, karena PLTN dapat menghasilkan energi yang besar namun dengan tingkat polusi rendah.

PLTN terdiri dari beberapa tipe, salah satunya adalah tipe PWR (*Pressurized Water Reactor*). PLTN tipe PWR merupakan pembangkit listrik yang menggunakan air sebagai pendingin reaktor. Sistem pendingin pada PWR terdiri dari tiga untai aliran pendingin yaitu untai primer, untai sekunder dan tersier. Pada untai primer, energi kalor dari reaktor dialirkan ke pembangkit uap kemudian oleh untai sekunder uap air dari pembangkit (*steam generator*) digunakan untuk menggerakkan turbin. Uap keluaran dari turbin dikondensasikan oleh alat kondensor menjadi air kondensat. Kondensor menggunakan air pendingin yang dialirkan pada untai tersier. PLTN tipe PWR pada umumnya menggunakan kondensor tipe permukaan (*surface condenser*), tipe kondensor ini merupakan jenis *shell and tube* di mana air pendingin disirkulasikan melalui *tube*, sementara uap panas dari turbin mengalir melalui sisi-*shell* kondensor.

Pada suatu instalasi PLTN kondensor merupakan komponen yang penting karena akan berpengaruh terhadap efisiensi turbin uap. Penggunaan kondensor yang tepat dapat meningkatkan kinerja PLTN secara keseluruhan. Penelitian dilakukan dengan mengevaluasi desain termal kondensor PLTN tipe PWR menggunakan program komputer. Program komputer yang digunakan untuk mengevaluasi desain adalah *shell and tube heat exchanger design*. Sebelum program digunakan untuk mengevaluasi kondensor dari PLTN tipe PWR, terlebih dahulu dilakukan validasi dengan membandingkan hasil perhitungan program dengan perhitungan numerik yang telah dilakukan. Hasil validasi program *shell and tube heat exchanger design* akan memperoleh faktor koreksi. Faktor koreksi tersebut akan digunakan untuk mengevaluasi kondensor dari PLTN tipe PWR. Hasil validasi program *shell and tube design* dan evaluasi desain kondensor suatu PLTN tipe PWR yang diperoleh meliputi nilai *pressure drop* sisi *shell* dan sisi *tube*, koefisien perpindahan panas total, sisi *shell* dan juga sisi *tube*, serta dimensi dari kondensor itu sendiri.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan menurut diagram alir Gambar 1. Validasi dilakukan terhadap kondensor dengan data spesifikasi teknis dan operasional sebuah kondensor yang diberikan pada Tabel 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian.

Tabel 1. Data spesifikasi teknis dan operasional untuk validasi^[6].

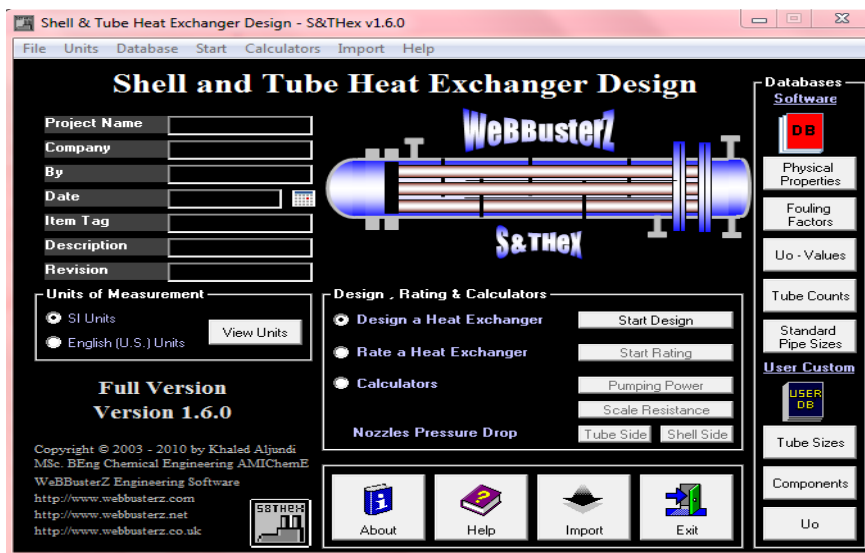
No.	Parameter	Desain
1.	Daya (kW)	4.368,75
2.	Jumlah <i>tube</i>	1.194
3.	<i>Shell/Tube pass</i>	1/4
4.	<i>Pitch tube</i> (mm)/layout	1,25/ Δ
5.	<i>Tube Diameter OD</i> (mm)	20
6.	<i>Shell Diameter ID</i> (mm)	1.130
7.	Luas Permukaan (m ²)	364
8.	Panjang <i>Tube</i> (m)	4,88
9.	ΔP sisi <i>Shell</i> (kPa)	1,322
10.	ΔP sisi <i>Tube</i> (kPa)	53,388

Evaluasi desain kondensor dilakukan pada PLTN tipe PWR dengan data teknis yang terdapat pada Tabel 2. *Software shell and tube heat exchanger design* merupakan program yang

digunakan untuk pengambilan data validasi maupun evaluasi. Pada Gambar 2 menunjukkan tampilan depan dari program tersebut.

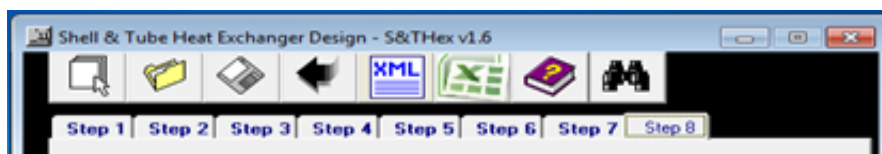
Tabel 2. Data spesifikasi teknis dan operasional kondensor PLTN tipe PWR.

No.	Parameter	Desain
1.	Suhu Air Panas Masuk ($^{\circ}\text{C}$)	50
2.	Suhu Air Panas Keluar ($^{\circ}\text{C}$)	40
3.	Suhu Air Pendingin Masuk ($^{\circ}\text{C}$)	26,7
4.	Suhu Air Pendingin Keluar ($^{\circ}\text{C}$)	30,5
5.	Laju Aliran Panas (m^3/h)	51.755
6.	Laju Aliran Dingin (m^3/h)	136.260
7.	Shell / Tube Pass	1/2
8.	Pitch Tube (mm) / Layout	1,25/ Δ
9.	Diameter Tube OD (mm), BWG 20	22,22
10.	Panjang Tube (m)	9,14



Gambar 2. Tampilan depan program *shell and tube heat exchanger design* [5].

Tahapan dalam pengimputan data ke program untuk mendapatkan hasil validasi maupun evaluasi terdiri dari 12 langkah. Gambar 3 dan 4 menunjukkan ke 12 langkah tersebut:



Gambar 3. Input langkah 1 – langkah 8



Gambar 4. Input langkah 9 – langkah 12.

Langkah 1 hingga 12 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 dan 4 pada perangkat lunak tersebut merepresentasikan parameter-parameter berikut secara berurutan;

- 1) Parameter jenis fluida, temperatur sisi *shell* dan sisi *tube*, dan juga laju alir (*flow rate*).
- 2) sifat fisis pada sisi *shell* dan sisi *tube*.
- 3) Besar daya dari alat penukar kalor.
- 4) Parameter dimensi dari alat penukar kalor.
- 5) Perhitungan nilai LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) dan *True Temperature Difference*.
- 6) Perhitungan nilai dari luas perpindahan panas (*Heat Transfer Area*) dengan mengklik “ 7- Calculate “.
- 7) Jumlah *tube* (*Number of Tube*) alat penukar kalor dengan mengklik “ 8- Calculate “.
- 8) Perhitungan bilangan *Reynolds* (Re), bilangan *Prandtl* (Pr), bilangan *Nusselt* (Nu), koefisien perpindahan kalor (hi) sisi *tube*, *Baffle Spacing* (jarak antar *baffle*), dan jumlah *baffles*.
- 9) Toleransi *baffle* (*Baffle Cut*) dan jenis *baffle* (*Baffle Type*), serta *Typical Baffle Clearance* dan *Baffle Tolerance*.
- 10) Perhitungan *Shell Side Heat Transfer Coefficient* (koefisien perpindahan panas sisi *shell*).
- 11) Perhitungan Menghitung *Overall Heat Transfer Coefficient* (U).
- 12) Perhitungan *Pressure Drop* (ΔP) pada sisi *tube* dan sisi *shell*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi program *shell and tube heat exchanger design* dilakukan terhadap kondensor dengan daya 4.368,75 kW. Setelah mendapatkan hasil validasi, kemudian program *shell and tube heat exchanger design* digunakan untuk mengevaluasi desain termal kondensor pada PLTN AP1000. Hasil validasi dan evaluasi ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil validasi program *shell and tube heat exchanger design* terhadap kondensor dengan daya 4.368,75 kW.

No.	Parameter	Desain	Hasil Desain	Penyimpangan (%)
1.	Beban Kalor (kW)	4.368,75	4.368,75	-
2.	Suhu Air Panas Masuk ($^{\circ}\text{C}$)	60	60	-
3.	Suhu Air Panas Keluar ($^{\circ}\text{C}$)	45	45	-
4.	Suhu Air Pendingin Masuk ($^{\circ}\text{C}$)	30	30	-
5.	Suhu Air Pendingin Keluar ($^{\circ}\text{C}$)	40	40	-
6.	Laju Aliran Panas (kg/jam)	45.000	45.000	-
7.	Laju Aliran Dingin (kg/jam)	376.200	376.200	-
8.	Jumlah <i>Tube per Pass</i>	298,5	298,5	-
9.	<i>Shell / Tube Pass</i>	1/4	1/4	-
10.	<i>Pitch Tube</i> (mm) / <i>Layout</i>	1,25/ Δ	1,25/ Δ	-
11.	Diameter <i>Tube OD</i> (mm)	20	20	-
12.	Diameter <i>Shell</i> (mm)	1.130	1.130	-
13.	Jumlah <i>baffle</i> (45 %)	-	5	-
14.	Luas Permukaan (m^2)	364	366,08	0,6
15.	Panjang <i>Tube</i> (m)	4,88	4,88	-
16.	LMTD ($^{\circ}\text{C}$)	17,38	17,38	-
17.	<i>Fouling Factor</i>	-	0,000025	-
18.	ΔP sisi <i>shell</i> (kPa)	1,322	1,3235	0,11
19.	ΔP sisi <i>tube</i> (kPa)	53,388	53,388	-
20.	U_{overall} ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1.049	1.049	-
21.	U_{Tube} ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)	7.097	7.003,4	1,3
22.	U_{Shell} ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1.447	1.443	0,28
23.	Bilangan Reynold sisi <i>tube</i>	44.208	44.200	0,02
24.	Bilangan Reynold sisi <i>shell</i>	121.235	121.000	0,19

Tabel 3 menunjukkan perbandingan hasil perhitungan *shell and tube heat exchanger design* dengan menggunakan program dan dengan desain kondensor. Tipe kondensor ini adalah *shell and tube* dengan arah aliran berlawanan. Adapun spesifikasi kondensor tersebut adalah diameter *shell* 1.130 mm, diameter *tube* 20 mm dan panjang *tube* 4,88 m. Jumlah *tube* sebanyak 1.194 buah dengan luas permukaan perpindahan panas 364 m². Nilai koefisien perpindahan panas total 1.049 W/m²°C. Suhu masuk dan keluar sisi *shell* yaitu 60 °C dan 45 °C dengan laju aliran 45.000 kg/Jam. Sementara itu suhu masuk dan keluar sisi *tube* 32 °C dan 40 °C dengan laju aliran 376.200 kg/Jam. Nilai *pressure drop* sisi *shell* 1,322 kPa dan sisi *tube* 53,388 kPa.

Tabel 4. Hasil evaluasi desain termal kondensor PLTN tipe AP1000

No.	Parameter	Desain	Desain Program	Penyimpangan (%)
1.	Beban Kalor (kW)	-	597.774	-
2.	Suhu Air Panas Masuk (°C)	50	50	-
3.	Suhu Air Panas Keluar (°C)	40	50	-
4.	Suhu Air Pendingin Masuk (°C)	26,7	26,7	-
5.	Suhu Air Pendingin Keluar (°C)	30,5	30,5	-
6.	Laju Aliran Panas (m ³ /h)	-	51.755	-
7.	Laju Aliran Dingin (m ³ /h)	136.260	136.260	-
8.	Jumlah <i>Tube per Pass</i>	-	32.036,5	-
9.	<i>Shell / Tube Pass</i>	1/2	1/2	-
10.	<i>Pitch Tube</i> (mm) / <i>Layout</i>	1,25/Δ	1,25/Δ	-
11.	Diameter <i>Tube</i> OD (mm)	22,22	22,22	-
12.	Diameter <i>Shell</i> (mm)	-	6.361	-
13.	Jumlah <i>baffle</i> (45 %)	-	2	-
14.	Luas Permukaan (m ²)	-	40.878,5	-
15.	Panjang <i>Tube</i> (m)	9,14	9,14	-
16.	LMTD (°C)	-	16,2	-
17.	<i>Fouling Factor</i>	-	0,0003	-
18.	ΔP sisi <i>shell</i> (kPa)	-	129,091	-
19.	ΔP sisi <i>tube</i> (kPa)	-	162,414	-
20.	$U_{overall}$ (W/m ² °C)	-	1.069	-
21.	U_{Tube} (W/m ² °C)	-	9.791	-
22.	U_{Shell} (W/m ² °C)	-	5.579	-
23.	Bilangan Reynold sisi <i>tube</i>	-	82.700	-
24.	Bilangan Reynold sisi <i>shell</i>	-	64.500	-

Berdasarkan spesifikasi yang ada kemudian dilakukan validasi terhadap program *shell and tube heat exchanger design*. Hasil validasi yang dilakukan terhadap kondisi desain kondensor menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan tertinggi hanya terjadi pada hasil perhitungan U_{tube} sebesar 1,3 %, dimana hasil perhitungan program lebih rendah dari kondisi desain. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan cara perhitungan antara program dengan desain. Sementara itu untuk hasil perhitungan parameter yang lain tidak ada yang lebih dari 1%, baik itu lebih tinggi ataupun lebih rendah dari kondisi desain. Hasil validasi ini menunjukkan bahwa perhitungan program *shell and tube heat exchanger design* cukup akurat sehingga layak digunakan untuk mengevaluasi desain termal kondensor PLTN tipe PWR AP1000.

Tabel 4 merupakan hasil evaluasi program *shell and tube heat exchanger design* terhadap desain termal kondensor PLTN tipe PWR AP1000. Hasil evaluasi desain program tidak dibandingkan terhadap desain kondensor dikarenakan keterbatasan data yang diperoleh dari spesifikasi teknis AP1000. Hanya beberapa parameter inputan saja yang diketahui sehingga dalam

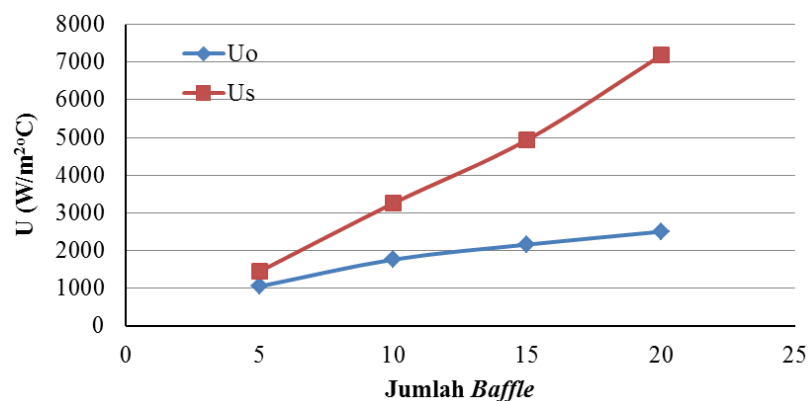
proses evaluasi ini hasil desain program digunakan untuk mengetahui parameter-parameter lain, seperti dimensi kondensor, koefisien perpindahan panas, *pressure drop*, dan lain-lain.

Variasi Jumlah Baffle

Di dalam perhitungan untuk memperoleh hasil validasi yaitu nilai koefisien perpindahan panas total (U_o), koefisien perpindahan panas sisi *shell*, *Reynold number* sisi *shell*, dan *pressure drop* sisi *shell* sehingga memenuhi kriteria desain perhitungan maka dilakukan variasi pada jumlah *baffle*. Pengaruh dari perubahan jumlah *baffle* tersebut seperti pada Tabel 5 di bawah ini :

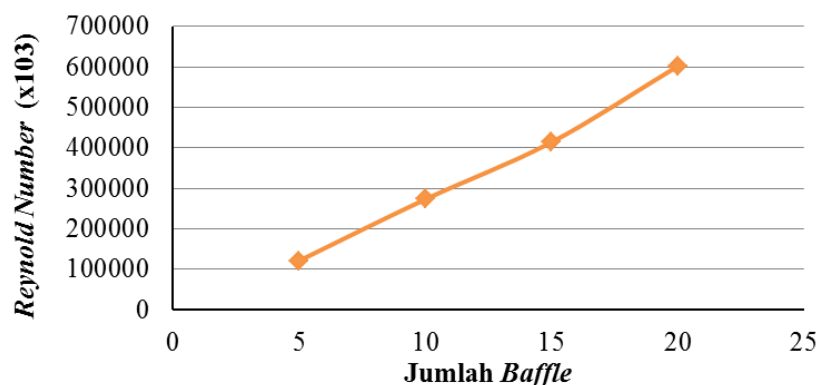
Tabel 5. Pengaruh variasi jumlah *baffle*

Jumlah Baffle	$U_{Overall}$ ($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$)	U_{shell} ($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$)	<i>Reynold Number</i> ($\times 10^3$)	ΔP_{Shell} (kPa)
20	2.500,73	7.178,11	602	328,242
15	2.159,15	4.936,45	414	106,159
10	1.761,27	3.255,2	273	30,526
5	1.049	1.443	121	1,324

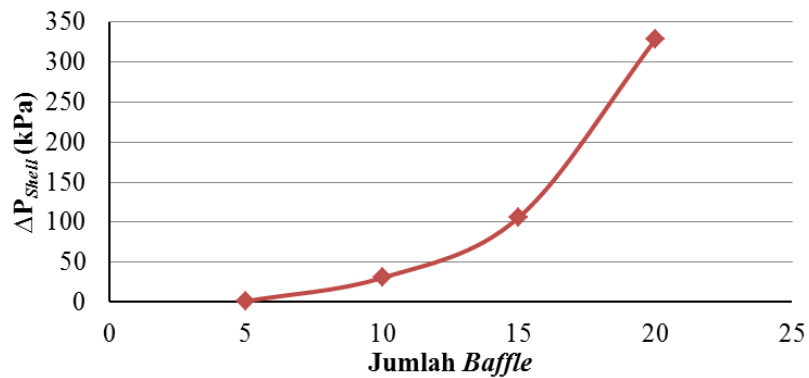


Gambar 5. Grafik koefisien perpindahan panas total (U_o) dan koefisien perpindahan panas sisi *shell* (U_s) terhadap jumlah *baffle*.

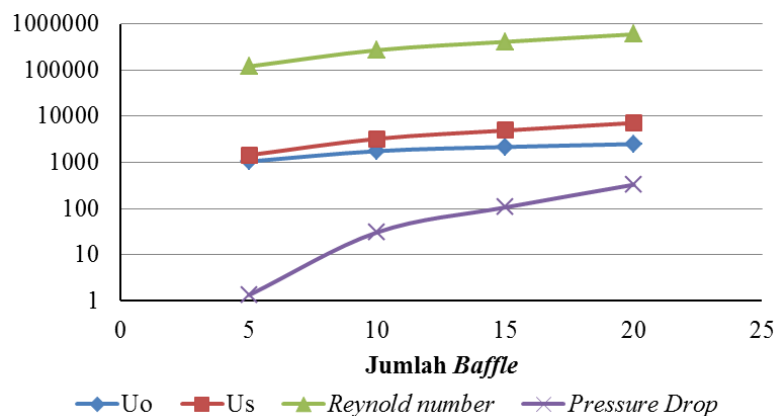
Dari keempat grafik di atas dapat dilihat bahwa variasi jumlah *baffle* berbanding lurus dengan kenaikan setiap nilai setiap variabel, dimana semakin banyak jumlah *baffle* makin semakin tinggi pula nilai dari setiap variabel. Secara keseluruhan pengaruh variasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 dimana terlihat bahwa variasi jumlah *baffle* paling berpengaruh terhadap nilai *pressure drop* sisi *shell* (ΔP_{shell}), hal ini dapat kita lihat dari interval kenaikan. Sementara untuk nilai variabel lain seperti koefisien perpindahan panas total (U_o), koefisien perpindahan panas sisi *shell* (U_s), dan juga *Reynold number* sisi *shell*, interval kenaikan nilai masing-masing terhadap jumlah *baffle* tidak terlalu tinggi.



Gambar 6. Grafik *Reynold number* sisi *shell* terhadap jumlah *baffle*



Gambar 7. Grafik *pressure drop* (ΔP_{Shell}) terhadap jumlah *baffle*



Gambar 8. Grafik antara jumlah *baffle* dengan koefisien perpindahan panas, *Reynold number* sisi *shell*, dan ΔP_{Shell} .

KESIMPULAN

Hasil validasi program *shell and tube heat exchanger design* terhadap kondensor berdaya 4.368,75 kW menunjukkan bahwa selisih tertinggi yang terjadi yakni pada nilai koefisien perpindahan panas sisi *tube* (U_{tube}) sebesar 1,3% lebih rendah daripada kondisi desain. Hal ini diperkirakan terjadi karena adanya perbedaan cara perhitungan antara desain teknis dengan program *shell and tube heat exchanger design*. Namun untuk parameter lain seperti jumlah *tube*, panjang *tube*, luas permukaan perpindahan panas dan nilai *pressure drop* tidak terdapat perbedaan yang signifikan yakni kurang dari 1%.

Sedangkan pada hasil evaluasi program *shell and tube heat exchanger design* terhadap kondensor PLTN tipe PWR AP1000 tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Sementara dikarenakan keterbatasan informasi mengenai karakteristik yang lain tentang kondensor AP1000 dimana hal ini merupakan rahasia dari perusahaan, tetapi hasil perhitungan validasi yang cukup meyakinkan menjadikan perhitungan ini telah sesuai dan mendapatkan hasil yang baik.

Jumlah *baffle* sangat mempengaruhi nilai dari koefisien perpindahan panas total, koefisien perpindahan panas sisi *shell*, *Reynold number* sisi *shell*, dan juga *pressure drop* sisi *shell*. Semakin banyak jumlah *baffle* maka semakin tinggi pula nilai dari setiap variabel tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dibyo, Sukmanto. Perhitungan Desain Termal Kondensor Pada Sistem Pendingin PWR. Epsilon. PTRKN-BATAN, November 2009.
- [2] Holman, JP., dan Jasfi, *Penukar Kalor*. Jakarta : Penerbit Erlangga, 1994
- [3] Kreith, Frank, Prijino, Arko. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*. Edisi ketiga. Jakarta :Penerbit Erlangga, 1995.
- [4] Cengel, A. Yunus. *INTRODUCTION TO THERMODYNAMICS AND HEAT TRANSFER*,

Second Edition. Mc Graw Hill.2008.

- [5] Aljundi, Khaled. *Webbustarz Engineering Software*. United States Of America, 2010.
- [6] Coulson., AND Ricardson's. *Chemical Engineering Design*, Volume 6. R.K Sinnott, 2005.
- [7] Massoud, M. *Engineering Thermofluids*.Germany : Springer, 2005
- [8] Whiteman, JL. *AP1000 European Design Control Document Revision 1*. Pittsburgh: Westinghouse, 2009.
- [9] Wu.E. Cummins, M.M. Corletti, T.L. Schulz. 2003. *Westinghouse AP1000 Advanced Passive Plant*. Spain: Westinghouse Electric Company, LLC.
- [10] Morris, M. *Mechanical Design of Heat Exchangers*. Tersedia <http://www.thermopedia.com/content/946/>. (5 Mei 2012).
- [11] Brogan, R.J. *Shell and Tube Heat Exchanger*. <http://www.thermopedia.com/content/1121/>. (5 Mei 2012).