

ANALISIS PENGARUH VARIASI *BAFFLE* TERHADAP *EFEKTIVITAS* DAN *PRESSURE DROP* PADA *HIGH PRESSURE HEATER*

Dimas Aji Setyawan¹⁾, Nu Rhahida Arini¹⁾, dan Rif'ah Amalia¹⁾

¹⁾Sistem Pembangkit Energi, PENS, Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111
E-mail: dimas.aji34439@gmail.com

Abstract

A high-pressure heater (HPH) is a shell-and-tube heat exchanger that heats the feedwater before it enters an economizer. The heat source for heating feedwater is by utilizing superheated steam from a turbine extraction, so that HPH can increase the efficiency of the steam power plant. Over time, HPH has several problems, namely decreasing effectiveness and pressure drop. These problems can be overcome by optimization, namely designing HPH by varying the baffle spacing and baffle cut. Optimization can be done by computational fluid dynamics (CFD) method using OpenFOAM v8 software and Kern method. Then from the optimization will be known baffle variations that provide optimal value of effectiveness and pressure drop. From the analysis of heat transfer using the Kern method, it can be seen that the greater the baffle cut and baffle spacing, the lower the effectiveness and pressure drop, and obtain the optimal variation, namely baffle cut 32% and baffle spacing 455 mm which obtains a good heat transfer rate and without excessive pressure drop.

Keywords: *Baffle Spacing, Baffle Cut, Effectiveness, Pressure Drop, High-Pressure Heater*

Abstrak

High-pressure heater (HPH) adalah sebuah shell-and-tube heat exchanger yang berfungsi memanaskan feedwater sebelum masuk ke economizer. Sumber kalor untuk memanaskan feedwater dengan memanfaatkan uap superheated dari ekstraksi turbine, sehingga HPH dapat meningkatkan efisiensi dari PLTU. Seiring berjalannya waktu, HPH memiliki beberapa permasalahan yaitu efektivitas yang menurun dan pressure drop. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan optimasi yaitu mendesain HPH dengan memvariasikan baffle spacing dan baffle cut. Optimasi dapat dilakukan dengan metode computational fluid dynamics (CFD) menggunakan software OpenFOAM v8 dan metode Kern, kemudian dari optimasi tersebut akan diketahui variasi baffle yang memberikan nilai efektivitas dan pressure drop yang optimal. Dari analisis perpindahan kalor menggunakan metode Kern dapat diketahui bahwa semakin besar baffle cut dan baffle spacing, maka efektivitas dan pressure drop semakin kecil dan memperoleh variasi yang optimal yaitu baffle cut 32% dan baffle spacing 455 mm yang memperoleh tingkat perpindahan kalor yang baik dan pressure drop yang tidak berlebih.

Kata Kunci: *Baffle Spacing, Baffle Cut, Efektivitas, Pressure Drop, High-Pressure Heater*

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi dalam dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Agar hasil produksi uap air di *steam generator* menjadi maksimal maka dibutuhkan proses *re-heating*. Maka dari itu

dibutuhkan alat *re-heating* dengan memasang alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang dapat membantu kerja dari *steam generator*.

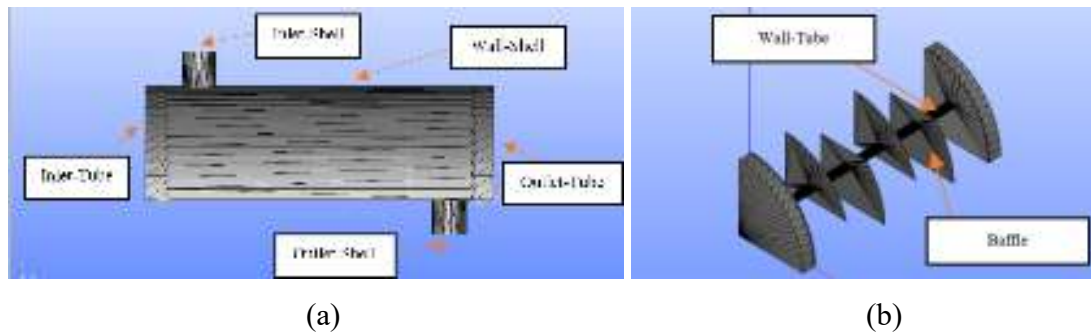
Heat exchanger (HE) merupakan alat yang berfungsi untuk melakukan proses perpindahan kalor antara dua atau lebih fluida dengan temperatur yang berbeda. *High-pressure heater* (HPH) merupakan salah satu penukar kalor yang berbentuk *shell-and-tube heat exchanger* (SHE) yang memanaskan *feedwater* bertekanan tinggi dengan memanfaatkan uap kalor lanjut (*superheated steam*) dari hasil ekstraksi turbin sebagai sumber kalornya. Setelah *feedwater* terjadi proses perpindahan kalor lalu masuk ke *economizer*. Proses ini menyebabkan *steam generator* beroperasi tidak berat untuk menaikkan temperatur dari *feedwater* tersebut dan efisiensi *steam generator* menjadi meningkat. HPH terdapat 3 zona perpindahan kalor yaitu zona *desuperheating*, *condensing (multiphase)*, dan *subcooling*. Diantara 3 zona tersebut terdapat nilai *pressure drop* terbesar ke terkecil berurutan yaitu di zona *desuperheating*, *subcooling*, dan *condensing* (Damayanti & Widodo, 2016). Seiring berjalannya waktu, HPH memiliki beberapa permasalahan yaitu efektivitas yang menurun dan *pressure drop*, sehingga dapat diatasi dengan optimasi yaitu mendesain geometri HPH dengan memvariasikan *baffle spacing* (jarak antar *baffle*) dan *baffle cut* (luasan bagian yang terpotong). Optimasi dapat dilakukan dengan metode *computational fluid dynamics* (CFD) menggunakan *software* OpenFOAM v8 dan metode Kern.

Dari penjelasan sebelumnya maka perlu dilakukannya optimasi pada HPH agar memperoleh nilai efektivitas dan *pressure drop* yang optimal yaitu mendesain HPH dengan memvariasikan *baffle spacing* dan *baffle cut*. Setelah itu mengambil hasil simulasi dan perhitungan, kemudian dianalisis. Dengan variasi tersebut nantinya akan dianalisis bagaimana pengaruhnya terhadap tingkat *pressure drop* dan efektivitas HPH. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan “Analisis Pengaruh Variasi *Baffle* terhadap Efektivitas dan *Pressure Drop* pada *High Pressure Heater*”.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan simulasi CFD dengan bentuk 3D menggunakan *software* OpenFOAM v8 pada HPH dengan variasi *baffle spacing* dan *baffle cut*. Jenis aliran yang terjadi pada HPH ini yaitu *crossflow*, maka dibutuhkan langkah – langkah simulasi yaitu tahap *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing* secara runtut. Pada

tahap *pre-processing*, membuat geometri dari zona *desuperheating* HPH menggunakan *software* Salome-Meca 2019 dengan memvariasikan *baffle spacing* dan *baffle cut*.



Gambar 1. Pemodelan simetri dari zona *desuperheating* HPH (a) penamaan *boundary patch* sisi luar HPH (b) penamaan *boundary patch* sisi dalam HPH

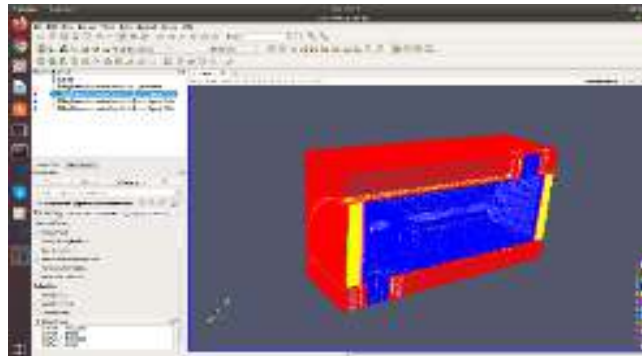
Meshing merupakan proses diskritisasi untuk menghasilkan jalur fluida untuk bergerak. Jenis bentuk *meshing* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *hexahedron*. Setelah dilakukan *meshing*, *mesh properties* didapatkan sebagai berikut : 337676 *points*, 981450 *faces*, 950550 *internal faces*, 322000 *cells*, dan 6 *faces per cell*.

Kemudian pada tahap *processing* menggunakan model turbulensi RAS (Reynolds Averaged Simulation) k-Epsilon. Simulasi pada penelitian ini menggunakan solver *chtMultiRegionFoam*, karena *solver* tersebut untuk kasus *steady state*, perpindahan kalor antar *region* (*solid region* dan *fluid region*), aliran turbulensi, dan penukar kalor (Greenshields, 2020). Jadi *solver* tersebut dapat diterapkan untuk simulasi pada HPH. Selanjutnya melakukan perhitungan manual dengan menggunakan perhitungan metode Kern.

Metode Kern adalah suatu metode berdasarkan eksperimental (empirik) pada *heat exchanger* komersial dengan toleransi standar dan akan memberikan prediksi yang cukup memuaskan dari koefisien perpindahan kalor untuk desain standar, cukup akurat untuk perhitungan *preliminary design*, dan perhitungan metode Kern tidak memperhitungkan aliran *bypass* dan kebocoran (Towler & Sinnott, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 2 merupakan hasil simulasi CFD pada variasi $B_c = 15\%$ dan $B_s = 300$ mm. Selanjutnya melakukan perhitungan manual dengan menggunakan perhitungan metode Kern untuk mencari nilai efektivitas dan *pressure drop* pada zona *desuperheating* HPH dengan variasi *baffle spacing* dan *baffle cut*.



Gambar 2. Hasil Meshing

Perhitungan metode Kern dengan melakukan perhitungan *heat transfer coefficient* (h), *overall heat transfer coefficient* (U), efektivitas, dan *pressure drop*. Perhitungan perpindahan kalor dengan *baffle spacing* yang tetap 417,51 mm dengan variasi *baffle cut* 15% - 45%. Pemilihan *baffle spacing* 417,51 mm karena merupakan *baffle spacing* zona *desuperheating* yang tertera pada *manual book* HPH, sedangkan data *baffle cut* di *manual book* HPH tidak tertera sehingga mengambil rentang *baffle cut* 15% - 45% yang umum digunakan di industri (Towler & Sinnott, 2013).

Dari perhitungan perpindahan kalor dengan *baffle spacing* (B_s) yang tetap 417,51 mm dengan variasi *baffle cut* (B_c) 15% - 45%, maka akan didapatkan *baffle cut* yang optimal. Dari *baffle cut* yang optimal tersebut akan dilakukan variasi *baffle spacing* 310 mm, 417,51 mm, 465 mm, 620 mm, 775 mm, 929 mm. Pemilihan *baffle spacing* tersebut berdasarkan standar TEMA (*The Tubular Exchanger Manufacturers Association*), minimal *baffle spacing* 0,2 dari ID *shell* dan maksimal sama dengan ID *shell* (Mukherjee, 1998).

Perhitungan perpindahan kalor dengan metode Kern adalah sebagai berikut :

- *Tube-side heat transfer coefficient* (h_i) :

$$h_i = \frac{k_f}{a_i} \cdot j_h \cdot Re \cdot Pr^{0,333} \quad (1)$$

- *Shell-side heat transfer coefficient* (h_o) :

$$h_o = \frac{k_f}{d_e} \cdot j_h \cdot Re \cdot Pr^{0,333} \quad (2)$$

- Efektivitas :

$$\varepsilon = \frac{2}{(1+r + \beta \left(\frac{1 + \exp[-\beta \cdot NTU]}{1 - \exp[-\beta \cdot NTU]} \right))} \quad (3)$$

- *Tube-side Pressure Drop* :

$$\Delta P_t = N_p \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{d_i} \right) + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot U_t^2}{2} \quad (4)$$

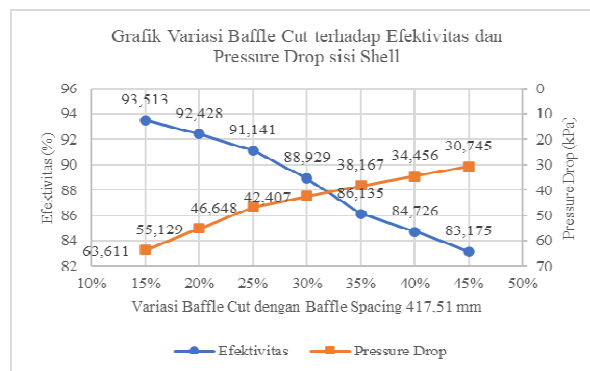
- *Shell-side Pressure Drop* :

$$\Delta P_s = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left(\frac{L}{l_b} \right) \cdot \frac{\rho \cdot U_s^2}{2} \quad (5)$$

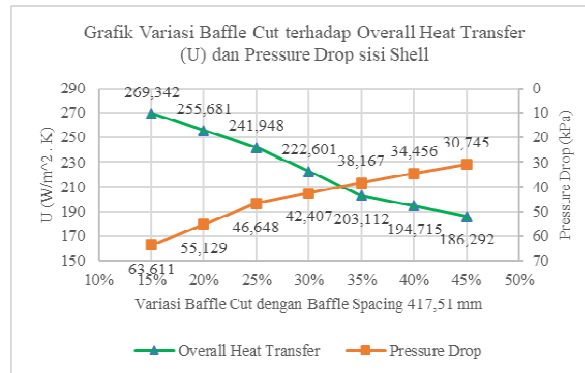
Hasil perhitungan efektivitas dan *pressure drop* variasi *baffle* dapat dianalisis sebagai berikut.

Tabel 1
Nilai Efektivitas dan *Pressure Drop* pada $B_s = 417,51$ mm dan Variasi *Baffle Cut*
Variasi 1 (*Baffle Spacing* = 417,51 mm)

<i>Baffle Cut</i>	U (W/m ² .K)	Efektivitas (%)	<i>Pressure Drop</i> sisi	
			<i>Tube</i> (kPa)	<i>Shell</i> (kPa)
15%	269,342	93,513	2,722	63,611
20%	255,681	92,428	2,722	55,129
25%	241,948	91,141	2,722	46,648
30%	222,601	88,929	2,722	42,407
35%	203,112	86,135	2,722	38,167
40%	194,715	84,726	2,722	34,456
45%	186,292	83,175	2,722	30,745



Gambar 3. Grafik Variasi *Baffle Cut* terhadap Efektivitas dan *Pressure Drop* sisi Shell



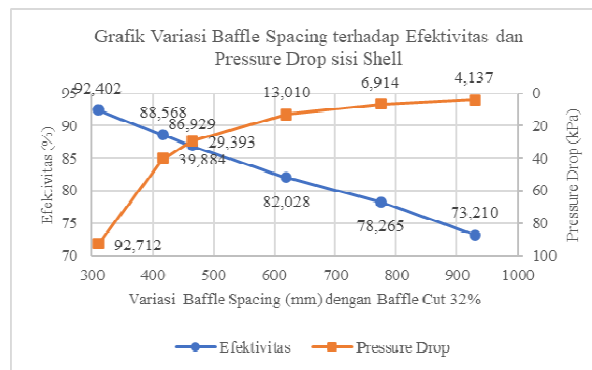
Gambar 4. Grafik Variasi *Baffle Cut* terhadap *Overall Heat Transfer Coefficient* (U) dan *Pressure Drop* sisi *Shell*

Pada Gambar 3 dan 4 dapat dianalisis bahwa *trendline* mengalami penurunan nilai efektivitas dan *pressure drop* seiring semakin besar nilai *baffle cut* yang divariasikan. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai *overall heat transfer coefficient* (U) yang semakin menurun. Nilai *overall heat transfer coefficient* (U) dipengaruhi oleh koefisien perpindahan kalor sisi *shell* (h_o). Koefisien perpindahan kalor sisi *shell* (h_o) sebanding dengan *heat transfer factor* (j_h). Sehingga semakin kecil nilai *heat transfer factor* (j_h), maka semakin kecil nilai koefisien perpindahan kalor sisi *shell* (h_o).

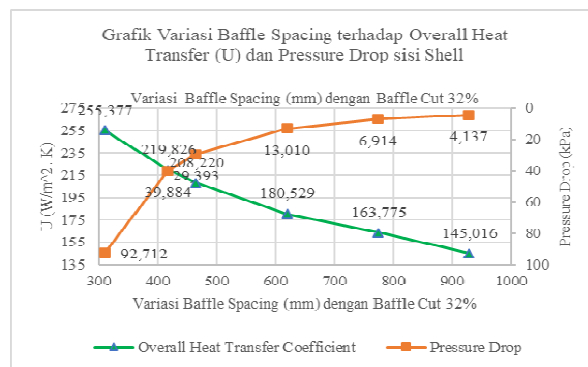
Dari grafik tersebut didapatkan *baffle cut* yang optimal berdasarkan titik temu (2 garis yang saling berpotongan antara *effectiveness trendline* dengan *pressure drop trendline*) pada grafik tersebut yaitu dengan variasi 32%. *Baffle cut* 32% merupakan *baffle cut* yang optimal berdasarkan jurnal, karena direntang 25% s.d. 35% merupakan rentang nilai *baffle cut* yang direkomendasikan (Yousufuddin, 2018). Sehingga dari *baffle cut* 32% dapat dilakukan variasi *baffle spacing*.

Tabel 2
Nilai Efektivitas dan *Pressure Drop* pada $B_c = 32\%$ dan Variasi *Baffle Spacing*
Variasi 2 (*Baffle Cut* = 32%)

<i>Baffle Spacing</i> (mm)	U (W/m ² .K)	Efektivitas (%)	Pressure Drop sisi Tube (kPa)	Pressure Drop sisi Shell (kPa)
310	255,377	92,402	2,722	92,712
417,51	219,826	88,568	2,722	39,884
465	208,22	86,929	2,722	29,393
620	180,529	82,028	2,722	13,01
775	163,775	78,265	2,722	6,914
929	145,016	73,21	2,722	4,137



Gambar 5. Grafik Variasi *Baffle Spacing* terhadap Efektivitas dan *Pressure Drop* sisi *Shell*



Gambar 6. Grafik Variasi *Baffle Spacing* terhadap *Overall Heat Transfer* (U) dan *Pressure Drop* sisi *Shell*

Pada Gambar 5 dan 6 dapat dianalisis bahwa *trendline* mengalami penurunan nilai efektivitas dan *pressure drop* seiring semakin besar nilai *baffle spacing* yang divariasikan. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai *overall heat transfer coefficient* (U) yang semakin menurun. Nilai *overall heat transfer coefficient* dipengaruhi oleh koefisien perpindahan kalor sisi *shell* (h_o). *Baffle spacing* yang semakin besar menyebabkan luasan area aliran semakin besar pula, sehingga *mass flow velocity* menjadi semakin kecil dan menghasilkan nilai Reynolds yang kecil pula, sehingga koefisien perpindahan kalor sisi *shell* (h_o) menurun. Sehingga semakin besar luasan area aliran, maka semakin kecil nilai koefisien perpindahan kalor sisi *shell* (h_o).

Dari grafik tersebut didapatkan *baffle spacing* yang optimal berdasarkan titik temu pada grafik tersebut yaitu dengan variasi 455 mm. *Baffle spacing* 455 mm merupakan *baffle spacing* 0,293 ID *shell* yang optimal karena mendekati rentang *baffle spacing* yang rekomendasikan oleh jurnal, karena di rentang 0,3 s.d. 0,6 ID *shell* merupakan

rentang nilai *baffle spacing* yang direkomendasikan (Mukherjee, 1998). Maka *baffle cut* 32% dan *baffle spacing* 455 mm merupakan variasi *baffle* yang optimal yang memperoleh tingkat perpindahan kalor yang baik dan *pressure drop* yang tidak berlebihan. Selanjutnya mencari nilai karakteristik perpindahan kalor dari $B_c = 32\%$ dan $B_s = 455$ mm. Didapatkan nilai koefisien perpindahan kalor di sisi *shell* (h_o) sebesar $215,082 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ dan sisi *tube* (h_i) sebesar $10348,379 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, nilai efektivitas sebesar 86,741 %, *pressure drop* di sisi *shell* dan sisi *tube* masing – masing sebesar 31,26 kPa dan 2,722 kPa.

SIMPULAN

Dari hasil analisis sebelumnya dapat disimpulkan bahwa dari *baffle spacing* 417,51 mm dengan variasi *baffle cut* 15% s.d. 45% didapatkan semakin besar *baffle cut*, maka efektivitas dan *pressure drop* semakin kecil serta mendapatkan nilai *baffle cut* yang optimal yaitu 32 %. Sehingga *baffle cut* 32% dapat dilakukan variasi *baffle spacing*. Dari *baffle cut* 32% dan variasi *baffle spacing* 310 mm s.d. 929 mm didapatkan semakin besar *baffle spacing*, maka efektivitas dan *pressure drop* semakin kecil serta mendapatkan nilai *baffle spacing* yang optimal yaitu 455 mm. Jadi *baffle cut* 32% dengan *baffle spacing* 455 mm memperoleh tingkat perpindahan kalor yang baik dan *pressure drop* yang tidak berlebihan dengan nilai efektivitas sebesar 86,741 % dan *pressure drop* di sisi *shell* dan sisi *tube* masing – masing sebesar 31,26 kPa dan 2,722 kPa. Untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya, disarankan menambahkan variasi *mass flowrate*, *baffle orientation* atau tipe *baffle* untuk mengetahui pengaruh dari variasi tersebut terhadap performansi HPH.

DAFTAR PUSTAKA

- Towler, G. & Sinnott, R. (2013). *Chemical Engineering Design : Principles, Practice, and Economics of Plant and Process Design 2nd edition*. Butterworth-Heinemann.
- Mukherjee, R. (1998). Effectively Design Shell-and-Tube Heat Exchangers. *American Institute of Chemical Engineers*, 9-10.
- Yousufuddin, S. (2018). Design and Optimization of a Shell and Tube Heat Exchanger with Different Baffle Spacing Arrangement for Cooling Lean Diethanolamine. *SciFed Journal of Chemical Research*, 5-6.

Greenshields, C. J. (2020). OpenFOAM Version 8 User Guide. The OpenFOAM Foundation Ltd.

Damayanti, M. U. & Widodo B. U. K. (2016). Analisis Termal High Pressure Feedwater Heater di PLTU PT. XYZ. *Jurnal Teknik ITS Vol. 5 No. 2*, 5-6.