

## PERANCANGAN HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE UNTUK PREHEATER FEED WATER MEMANFAATKAN GAS BUANG BOILER PABRIK GULA TASIKMADU

Aura Danar Pangestu<sup>1</sup>, Dony Hidayat Al-Janani<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima 01 04 2019

Disetujui 10 04 2019

Dipublikasikan 14 04 2019

#### Keywords:

Heat exchanger; pabrik gula; solidworks

### Abstrak

*Boiler* adalah salah satu mesin *thermal* yang menghasilkan uap, uap tersebut dihasilkan dari air yang dipanaskan hingga mendidih. Boiler sering digunakan pada industri secara luas, peningkatan efisiensi *boiler* perlu dilakukan untuk mengurangi kerugian kalor dan menekan konsumsi bahan bakar *boiler*. Penggunaan *heat exchanger* untuk memanaskan air dengan memanfaatkan gas buang *boiler* merupakan metode yang tepat untuk menghemat bahan bakar *boiler* serta mempercepat pembentukan uap dan dapat mengurangi kerugian kalor pada *boiler* Pabrik Gula Tasikmadu. Penelitian kali ini bertujuan untuk membuat rancangan *heat exchanger* yang dapat memanfaatkan gas buang *boiler* untuk mempercepat pemanasan air umpan *boiler* dan menghemat konsumsi bahan bakar *boiler* berdasarkan data *boiler* Pabrik Gula Tasikmadu. Perhitungan perancangan menggunakan standar TEMA. Hasil penelitian ini adalah spesifikasi dan desain *heat exchanger*, serta perhitungan simulasi menggunakan *soft-ware solidworks*.

### Abstract

Boiler is a thermal machine that produces steam, steam is produced from water that is heated to a boil. Boilers are often used in industry widely, increasing boiler efficiency needs to be done to reduce heat losses and reduce boiler fuel consumption. The use of heat exchangers to heat water by utilizing boiler exhaust gas is the right method to save boiler fuel and accelerate steam formation and can reduce heat losses in the Tasikmadu Sugar Factory boiler. This research aims to design a heat exchanger that can utilize boiler exhaust gas to accelerate the heating of boiler feed water and save boiler fuel consumption based on data from the Tasikmadu Sugar Factory boiler. The design calculation uses the TEMA standard. The results of this study are the specifications and design of heat exchangers, as well as simulation calculations using solidworks software.

## PENDAHULUAN

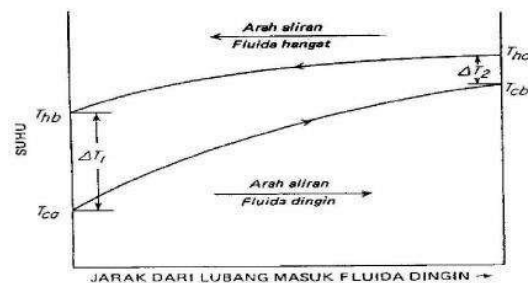
*Boiler* adalah salah satu mesin *thermal* yang menghasilkan uap, uap tersebut dihasilkan dari air yang dipanaskan hingga mendidih, lalu uap air yang mendidih tadi dialirkan pada suatu sistem dengan tekanan tertentu (Prakosa, 2015). *Boiler* sering digunakan pada industri secara luas. Penyebabnya adalah karena uap yang dihasilkan *boiler* memiliki banyak sifat yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam industri, sifat itu antara lain, memiliki kandungan panas yang tinggi, dapat memberikan panas dengan temperatur yang konstan, diproduksi dari bahan yang mudah didapat yaitu air, bersih, tidak berbau, tidak memiliki rasa, sifat panasnya dapat digunakan berulang-ulang, dapat membangkitkan tenaga saat digunakan untuk pemanas, mudah didistribusikan dan dikontrol (Istanto, 2005).

Krisis energi yang terjadi saat ini membuat negara berlomba-lomba untuk mencari alternatif bahan bakar selain bahan bakar tambang. Meskipun di Indonesia banyak *boiler* yang masih menggunakan bahan bakar tambang seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam namun ada juga industri yang menggunakan bahan bakar lain. Contohnya pada Pabrik Gula Tasikmadu menggunakan ampas tebu sebagai bahan bakar *boiler*. Penggunaan ampas tebu sebagai bahan bakar sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Elfiano dkk (2014) karena dapat menghasilkan nilai kalor yang cukup baik dibandingkan dengan arang kayu apabila digunakan sebagai briket. Akan tetapi ampas tebu yang tersedia tidak dapat memenuhi kebutuhan. Kendala tersebut yang membuat pabrik harus mencari alternatif bahan bakar lain untuk dapat mengoperasikan *boiler*.

Bahan bakar yang dipakai sebagai alternatif adalah serpihan kayu yang didapatkan dengan cara membeli. Kayu dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti batu bara pada kondisi kering udara (kadar air 12%) karena memiliki nilai kalor yang cukup baik yaitu sekitar 4000 kkal/kg (Cahyono dkk, 2008). Mengingat harga bahan bakar yang terus merangkak naik maka banyak perusahaan yang menekan konsumsi bahan bakar tanpa mengurangi hasil produksi. Salah satu cara untuk menekan konsumsi bahan bakar adalah dengan meningkatkan efisiensi *boiler*. Salah satu metode menaikkan efisiensi adalah dengan memanfaatkan gas buang pembakaran untuk meningkatkan suhu air (Bahrudin, 2014). Metode tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan *heat exchanger*. Metode ini dapat menjadi solusi untuk Pabrik Gula Tasikmadu Karanganyar Jawa Tengah agar dapat menekan biaya pengeluaran untuk membeli bahan bakar alternatif. Metode tersebut juga merupakan suatu cara untuk mempercepat waktu pemanasan air dan juga pemanfaatan panas dari gas buang *boiler* (Murni, 2011). Tugas akhir kali ini penulis mencoba merancang *heat exchanger* yang digunakan sebagai pemanas air umpan pada Pabrik Gula Tasikmadu Karanganyar Jawa Tengah.

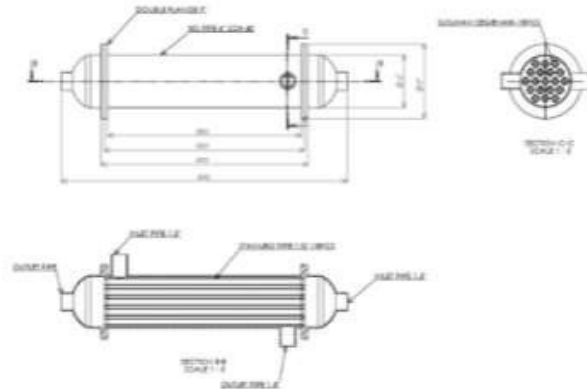
## METODE PENELITIAN

*Heat exchanger* yang akan dirancang adalah tipe *shell and tube*. Tipe ini berdasarkan aliran yang terjadi didalamnya dibedakan menjadi aliran *searah* (*Co-Current*) dan aliran berlawanan (*Counter Current*) (Wicaksono dkk, 2017). *Heat exchanger* yang akan dirancang menggunakan fluida panas berupa uap dan fluida dingin berupa air, dalam *heat exchanger* pertukaran panas yang terjadi adalah secara silang atau *cross flow* arah aliran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alira Silang dan Profil Suhu (Fahrudin, 2010)

Model dan spesifikasi heat exchanger menyerupai Gambar 2, namun ada beberapa perbedaan seperti dimensi dan juga jumlah pipa dalam tube.



**Gambar 2.** Desain Spesifikasi Heat Exchanger Shell and Tube (Kiswoyo & Ramadhan, 2017)

Perancangan dimulai dengan melakukan observasi pada Pabrik Gula Tasikmadu. Observasi dilakukan untuk mendapatkan data awal perancangan sesuai kondisi lapangan untuk nantinya rancangan heat exchanger dapat disesuaikan dengan komponen boiler Pabrik Gula Tasikmadu. Data awal yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi Awal Heat Exchanger

Parameter	Keterangan
Diameter Tube ( $d_{po}$ )	26,67 mm
Laju Aliran Masuk Shell ( $\dot{m}_h$ )	2,57 kg/s
Laju Aliran Masuk Tube ( $\dot{m}_c$ )	1,60 kg/s
T. Fluida Dingin Masuk Tube ( $T_{ci}$ )	30 oC
T. Fluida Dingin Keluar Tube ( $T_{co}$ )	80 oC
T. Fluida Panas Masuk Tube ( $T_{hi}$ )	200 oC
Constanta Tube Pass (CTP)	0,93
Constanta Line (CL)	0,87
Kapasitas Uap	40 ton/jam
Diameter Shell ( $D_s$ )	0,7366 m
Jumlah Baffle ( $N_b$ )	8
Tebal Tube ( $t$ )	0,0039116 m
Jumlah Tube Pass ( $N_p$ )	1
Pitch Ratio ( $P_t$ )	0,0333375 m

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

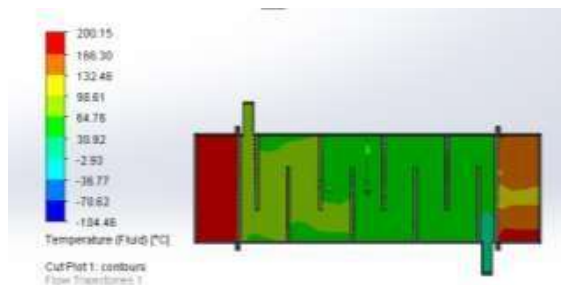
<p>1. Laju perpindahan panas (<math>Q</math>)</p> $Q_c = m_s \times C_{pair} \times (T_{co} - T_{ci})$ $Q_c = 2.652.022$ <p>2. Suhu rata-rata fluida dingin (<math>T_c</math>)</p> $T_c = \frac{(T_{ci} + T_{co})}{2} = 55^\circ C$	<p>3. Suhu keluar fluida panas (<math>T_{ho}</math>)</p> $Q_h = Q_c$ $m_t \times C_{pgas} \times (T_{hi} - T_{ho}) = Q_c$ $T_{ho} = 129^\circ C$
<p>4. Rata-rata suhu fluida panas (<math>T_h</math>)</p>	<p>11. Luas perpindahan panas (<math>A_o</math>)</p> $A_o = \pi \times D_{po} \times L \times N_t$

<p> <math display="block">T_h = \frac{(T_{hi} + T_{ho})}{2}</math> <math display="block">T_h = 165^\circ\text{C}</math> </p> <p>5. LMTD (Log Mean Temperature Difference)</p> $LMTD = \frac{(T_{hi} + T_{co}) - (T_{ho} + T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} + T_{co})}{(T_{ho} + T_{ci})}}$ <p><math>LMTD = 110, 52^\circ\text{C}</math></p> <p>6. Efektivitas termal</p> $P = \frac{(T_{ho} + T_{hi})}{(T_{ci} + T_{hi})}$ <p><math>P = 0,42^\circ\text{C}</math></p> <p>7. Perbandingan kapasitas kalor</p> $R = \frac{(T_{ci} + T_{co})}{(T_{ho} + T_{hi})}$ <p><math>P = 0,42^\circ\text{C}</math></p> <p>8. Factor koreksi</p> $F = \frac{\sqrt{(R^2 + 1)} \times \ln \left( \frac{1 - P}{1 - (PXR)} \right)}{R - 1 \times \ln \left[ \frac{2 - Px(R + 1 - \sqrt{(R^2 + 1)})}{2 - Px(R + 1 + \sqrt{(R^2 + 1)})} \right]}$ <p><math>F = 0,92</math></p> <p>9. Menentukan diameter dalam</p> $D_{pi} = D_{po} - 2xt$ <p><math>D_{pi} = 0,01884\text{m}</math></p> <p>10. Jumlah Tube</p> $N_t = 0,785x \frac{(CTP)}{(CL)} x \frac{D_s^2}{\left(\frac{p_t}{D_{po}}\right)^2 x D_{po}}$ <p><math>N_t = 356 \text{ batang}</math></p>	<p><math>A_o = 53,96</math></p> <p>12. Luas area sisi tube</p> $A_t = \frac{N_t x \pi x (D_{pi})}{4x N_p}$ <p><math>A_t = 0,0991\text{m}^2</math></p> <p>13. Bilangan Reynold sisi tube</p> $Re_t = \frac{M_t x D_{pi}}{\rho_{gas} x A_t x u_{gas}}$ <p><math>Re_t = 346.398,36</math></p> <p>14. Koefisien perpindahan panas dalam tube</p> $Nu_t = \frac{h_i x D_{pi}}{k_{gas}} = 0,023x Re_t^{0,4} x P_{gas}^{0,4}$ <p><math>h_i = 791,05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>15. Diameter ekivalen</p> $D_e = \frac{4x(P_t)^2 - \pi x(D_{po})^2}{\pi x D_{po}}$ <p><math>D_e = 0,02641\text{m}</math></p> <p>16. Jarak antar tube</p> $C = P_t - D_{po}$ <p><math>C = 0,0066\text{m}</math></p> <p>17. Jarak antar baffle</p> $B = \frac{L}{N_b + 1}$ <p><math>B = 0,2\text{m}</math></p>
<p>18. Luas area sisi shell</p> $A_s = \frac{D_s x C x B}{P_r}$ <p><math>A_s = 0,029\text{m}^2</math></p> <p>19. Bilangan Reynold sisi shell</p> $Re_s = \frac{m_t x D_e}{\rho_{air} x A_s x u_{air}}$ <p>20. Koefisien perpindahan panas pada shell</p> $Nu_s = \frac{h_o x D_e}{k_{air}}$ $= \{0,35 + 0,56 + (Re_s)^{0,52}\} x (P_r)^{0,3}$ <p><math>h_o = 3.599 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>21. Koefisien perpindahan panas menyeluruh</p> $U_o = \frac{1}{\frac{D_{po}}{D_{pi}} x \frac{1}{h_i} x \frac{D_{po}}{2xk} x \ln \frac{D_{po}}{D_{pi}} + \frac{1}{h_o}}$ <p><math>U_o = 470,73 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p>	<p>26. Perpindahan panas maksimum</p> $f_t = (0,79x \ln(Re_t) - 1,64)^{-2}$ <p><math>f_t = 0,014</math></p> <p>27. Kecepatan gas buang di dalam tube</p> $V_t = \frac{m_t}{\rho_{gas} x A_t}$ <p><math>V_t = 310,72\text{m/s}</math></p> <p>28. Penurunan tekanan di dalam tube</p> $\Delta P_t = \frac{\rho_{gas} x V_t^2}{2xgc} x \left[ \frac{f_t x L x N_p}{D_{pi}} + 4x N_p \right]$ <p><math>\Delta P_t = 314.219,33\text{N/m}</math></p> <p>29. Friction factor pada shell</p> $f_s = \exp[0,57 - 0,19x \ln(Re_s)]$ <p><math>f_s = 0,26</math></p> <p>30. Kecepatan air di dalam shell</p> $V_s = \frac{m_s}{\rho_{air} x A_s}$ <p><math>V_s = 0,442\text{m/s}</math></p>

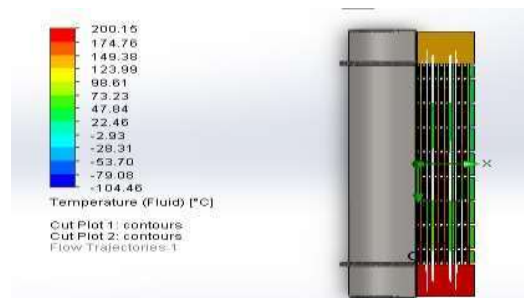
<p>22. Kapasitas kalor fluida dingin  <math>C_c = m_s \times C_{p_{air}}</math>  <math>C_c = 53.040,44 W/K</math></p> <p>23. Kapasitas kalor fluida panas  <math>C_h = m_t \times C_{p_{gas}}</math>  <math>C_h = 36.412,5 W/K (C_{min})</math></p> <p>24. Perpindahan panas maksimum  <math>Q_{max} = 4.369.500 W</math>  <math>Q_{max} = C_{min} \times (T_{hi} - T_{ci})</math></p> <p>25. Perpindahan panas maksimum  <math>\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = 60,69\%</math></p>	<p>31. Penurunan tekanan pada <i>shell</i>  <math>\Delta P_s = \frac{\rho_{air} \times V_s^2}{2 \times g_c} \times \frac{D_s}{D_e} \times f_s \times (N_b + 1)</math>  <math>\Delta P_s = 6.228,64 N/m^2</math></p> <p>32. Kebutuhan bahan bakar              Nilai bakar ampas = 4.625.530 J/Kg              Bahan bakar yang dibutuhkan  <math>= \frac{Q}{\text{Nilai bakar ampas}} \times \text{efisiensi boiler}</math>              Bahan bakar dibutuhkan = 0,42 g/s</p>
--	--

### VALIDASI RANCANGAN

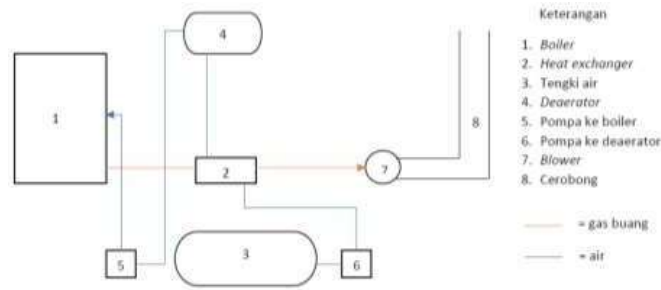
Validasi perancangan menggunakan *software solidworks*, dengan hasil perhitungan distribusi suhu dapat dilihat pada Gambar 3 untuk gambar tampak samping dan 4 untuk gambar tampak atas. Validasi perancangan boiler menggunakan *software solidworks* sebelumnya telah dilakukan oleh Shofiudin, dan Al Janan (2018) serta dapat menghasilkan rancangan kelayakan boiler tersebut. Gambar 3 menjelaskan bahwa fluida dingin atau air mengalir dari pipa bawah menuju pipa atas. Fluida dingin ini mengalir melalui sisi *shell*, warna fluida ketika masuk *shell* berwarna biru ini menandakan fluida tersebut berada pada suhu sekitar 30 °C hingga berubah menjadi hijau yang menandakan suhu fluida sekitar 64 °C dan untuk fluida yang keluar *shell* memiliki suhu sekitar 98 °C. Gambar 4 lebih menunjukkan perubahan suhu fluida panas atau gas buang yang mengalir pada *tub*. Instalasi gas buang dan air dapat dilihat pada Gambar 5. Arah aliran suhu dapat dilihat pada Gambar 6.



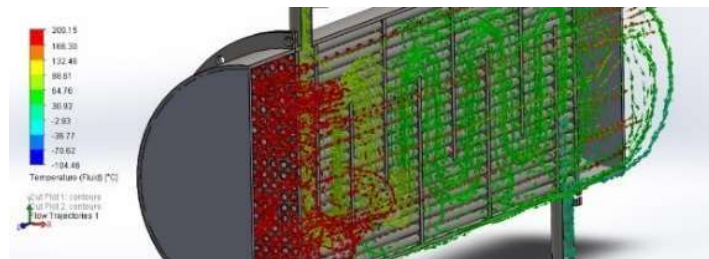
Gambar 3. Hasil analisa pada sisi samping



Gambar 4. Hasil analisa pada sisi atas



Gambar 5. Instalasi gas buang dan air umpan boiler



Gambar 6. Arah aliran fluida

## SIMPULAN

Berdasarkan perhitungan perancangan *heat exchanger shell and tube* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari perancangan *Heat exchanger* adalah dapat menghemat bahan bakar sebesar 0,42 kg/s
2. Spesifikasi heat exchanger
 

a. Jenis fluida dingin : Air	k. Jumlah baffle : 8
b. Jenis fluida panas: Gas buang boiler	l. Jarak baffle : 200 mm
c. Suhu air masuk heat exchanger : 30 °C	m. Panjang shell : 1810 mm
d. Suhu gas masuk heat exchanger: 200 °C	n. Tube pass ( $N_p$ ) : 1
e. Suhu air keluar heat exchanger : 80 °C	o. Diameter luar tube ( $d_{po}$ ) : 26,67 mm
f. Suhu gas keluar heat exchanger : 127,67 °C	p. Diameter dalam tube ( $d_{pi}$ ) : 18,84 mm
g. Laju aliran massa fluida dingin : 12,68 kg/s	q. Panjang tube : 1810 mm
h. Laju aliran massa fluida panas : 37,5 kg/s	r. Jumlah tube : 356 batang
i. Diameter shell : 736,6 mm	s. Susunan tube : persegi
j. Ketebalan shell : 25,4 mm	t. Ketebalan tube : 3,9116 mm
3. Efektivitas heat exchanger sebesar 60,69 %
4. Hasil validasi perhitungan CFD menggunakan software *solidworks* adalah sebagai berikut:
 

a. Inlet gas : 198,399 °C	
b. Outlet water : 70,672 °C	
c. Inlet water : 30 °C	
d. Outlet Gas : 131,924 °C	

## DAFTAR PUSTAKA

- Bahrudin, Imam. 2014. Peningkatan Efisiensi Boiler Dengan Menggunakan Economizer. *Makalah*. Training Cadet Angkatan XIV PT REA Kaltim Plantations.
- Cahyono, Tekat Dwi. Dkk. 2008. Analisis Nilai Kalor dan Kelayakan Ekonomis Kayu Sebagai Bahan Bakar Substitusi Batu Bara di Pabrik Semen. *Forum Paskasarjana*. Vol 31. No. 2.
- Elfiano, Eddy. Dkk. Analisa Proksimat dan Nilai Kalor pada Briket Bioarang Limbah Ampas Tebu dan Arang Kayu. *Jurnal Aptek*. Vol 6. No. 1
- Fahrudin, R. 2010. Perancangan Pengendali Model Predictive Control (MPC) Pada Sistem Heat Exchanger Dengan Jenis Karakteristik Shell and Tube. Tesis. Program Studi Teknik Kontrol Industri Universitas Indonesia. Depok.
- Kiswoyo, E., A. I. Ramadhan. 2017. Perancangan Dan Validasi Desain Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Menggunakan Computational Fluid Dynamic. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 8(2): 39-46.
- Murni. 2011. Menaikkan Efisiensi Boiler Dengan Memanfaatkan Gas Buang Untuk Pemanas Ekonomiser. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011*. Universitas Wahid Hasyim Semarang. Semarang. 57-61.
- Prakosa, A. W. 2015. Perancangan Heat Recovery Boiler Blowdown Di Pt Nestle Indonesia Kejayan Factory. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Shofiudin, Muhammad. Dan Al Janan, Doni Hidayat. 2018. Perancangan Dan Validasi Horizontal Water Tube Boiler Industri Kecil Tahu Menggunakan Software Solidworks. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol 16. No. 2.
- Soekardi, C. 2015. Analisis Pengaruh Efektivitas Perpindahan Panas Dan Tahanan Termal Terhadap Rancangan Termal Alat Penukar Kalor Shell & Tube. *Sinergi* 19(1): 19-24.
- Wicaksono, Chandra. Dkk. 2017. Perancangan Eco Heat Exchanger Type 1-2 Shell And Tube dan Pengaruh Jumlah Baffle Terhadap Transfer Panas. *Jurnal Chemurgy*. Vol. 1. No. 1.