

Pengaruh Kegagalan Steam Trap terhadap Proses Pemanasan Air pada Tangki Hot Water pada Pembuatan Minuman dalam Kemasan

Tatang Setya Budi^{1*}, Tulus Subagyo²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Yudharta Pasuruan, Indonesia

Email: tatang.setyabudi@yahoo.com¹, tulus@yudharta.ac.id²

*Penulis Korespondensi: tatang.setyabudi@yahoo.com

Abstract: PT. Tirta Fresindo Jaya, specifically its Pasuruan plant as the producer of Pucuk Harum Tea beverage, requires a large supply of steam to support various production processes. This steam is used in the process of heating tea leaves, heating water through a heat exchanger, and heating chemicals and water in the cleaning in place (CIP) process. Steam pressure of 5 bar that is flowed to the process equipment will undergo condensation to produce condensate. To separate steam and condensate, steam traps are used, consisting of several types, namely mechanical, thermostatic, and thermodynamic. However, in operational practice, steam trap malfunctions often occur, either in the form of steam leaks that are wasted with condensate or failure to drain condensate from the system. This condition causes a decrease in the efficiency of the steam piping system and increases the workload of the boiler. As a result, fuel consumption and boiler feed water requirements become greater than ideal conditions. Therefore, this study aims to analyze the energy and operational losses caused by steam trap malfunctions, as well as evaluate their impact on boiler system performance and steam utilization efficiency at PT. Tirta Fresindo Jaya Pasuruan plant.

Keywords: Beverage Production Process; Energy Losses; Heat Exchanger; Steam Trap; Steam.

Abstrak: PT. Tirta Fresindo Jaya, khususnya plant Pasuruan sebagai produsen minuman Teh Pucuk Harum, membutuhkan pasokan uap (steam) dalam jumlah besar untuk menunjang berbagai proses produksi. Uap tersebut digunakan pada proses pemanasan daun teh, pemanasan air melalui heat exchanger, serta pemanasan bahan kimia dan air pada proses cleaning in place (CIP). Uap bertekanan 5 bar yang dialirkan ke peralatan proses akan mengalami kondensasi sehingga menghasilkan kondensat. Untuk memisahkan uap dan kondensat digunakan steam trap yang terdiri atas beberapa jenis, yaitu mekanis, termostatik, dan termodinamik. Namun, dalam praktik operasional sering terjadi kegagalan fungsi steam trap, baik berupa kebocoran uap yang terbuang bersama kondensat maupun kegagalan pembuangan kondensat dari sistem. Kondisi tersebut menyebabkan penurunan efisiensi sistem perpipaan uap dan meningkatkan beban kerja boiler. Akibatnya, konsumsi bahan bakar dan kebutuhan air umpan boiler menjadi lebih besar dari kondisi ideal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerugian energi dan operasional yang ditimbulkan akibat kegagalan fungsi steam trap, serta mengevaluasi dampaknya terhadap kinerja sistem boiler dan efisiensi penggunaan uap di PT. Tirta Fresindo Jaya plant Pasuruan.

Kata kunci: Kerugian Energi; Penukar Panas; Perangkat Uap; Proses Produksi Minuman; Uap.

1. LATAR BELAKANG

Pengolahan ultra high temperature merupakan salah satu bentuk teknik yang umumnya digunakan pada industri dalam bidang air minum. Dalam teknik ini uap adalah bahan pokok yang dimanfaatkan untuk mendukung proses cleaning in place dengan memberikan jalur dan untuk mendukung sterilisasi. Tekanan uap sebesar 5 bar pada header yang diperoleh dari keluaran boiler. Dalam proses ini apa yang dihasilkan oleh boiler kemudian didistribusikan melalui pipa menuju pelayanan. Dalam proses distribusi terjadi proses perpindahan panas yang terjadi dari pipa menuju lingkungan serta melewati heat exchange. Proses ini menimbulkan kondensasi uap yang dipisahkan dengan steam trap. Kemudian kondensat keluaran steam trap masuk ke tangki kondensat dan kembali ke boiler sebagai air umpan.

Perpindahan panas merupakan salah satu konsep penting yang menjelaskan mengenai perpindahan energi pada sebuah media yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu (Harjanti, 2022). Secara umum perpindahan panas dapat dibagi kedalam dua jenis yakni perpindahan panas konduksi, yakni perpindahan panas yang terjadi pada benda padat dari daerah bertemperatur tinggi menuju daerah bertemperatur rendah. Sebagaimana dijelaskan oleh Fourier, yang menjelaskan bahwa kecepatan aliran sejalan dengan luas permukaan yang dilalui oleh panas dan perbedaan suhu serta berbanding terbalik dengan tebal dinding yang dilalui. Kedua adalah perpindahan panas secara konveksi yang merupakan suatu perpindahan panas antara permukaan padat dengan fluida incompressible maupun compressible secara bergerak dan melibatkan konduksi dan gerakan fluida tersebut.

Ultra high temperature menggunakan Plate Heat Exchanger (PHE) yakni suatu alat perpindahan panas yang berbentuk grame lalu diberi polater sebagai sekat. perpindahan panas melayu alat yang berfungsi sebagai sekat konduktor. Menurut (Muhammad, 2019) kelebihan PHE dibandingkan HE adalah luas permukaan dalam perpindahan panas lebih besar dengan jumlah fluida yang sama, sehingga secara pinch analysis hal ini dapat menguntungkan karena lebih efisien. Sedangkan dari segi manufaktur menguntungkan sehingga tidak memerlukan tempat yang terlalu luas. Pasangan steam trafo sendiri merupakan istilah yang digunakan untuk jaringan terpenting dalam loop kondensat sebab menghubungkan penggunaan uap dengan pengembalian kondensat. Funginya adalah membuang konsendat tanpa membiarkan keluarnya live steam. Untuk mencapai penggunaan uap yang efisien maka peralatan proses uap harus disimpan dalam perangkat sebagainya seluruh rupa dapat diubah menjadi kondensat. Menurut Sholikhah dan Moentamaria (Holikhah et al., 2022) agar fungsi dari steam trap maksimal maka jaringan ini harus berada dalam kondisi sempurna.

Salah satu industri yang menggunakan Steam Trap ini adalah PT Tirta Fresindo Jaya Plant Pasuruan. Perusahaan ini menggunakan steam trap jenis termodinamik, termostatik dan mekanis, akan tetapi dalam penggunaan steam trap jenis ini ternyata seringkali mengalami kegagalan. terdapat setidaknya tiga bentuk kerusakan seperti blow thru yang terjadi akibat steam trap terkunci dalam keadaan terbuka penuh, kebocoran steam trap dengan keadaan terbuka sebagian, serta rapid cycling yang terjadi akibat gagalnya disc steam trap termostatik. Ketiga kondisi tersebut memicu terjadinya pemborosan uap yang berdampak pada pembengkakan konsumsi bahan bakar, air umpan dan kinerja pembuatan air umpan. Maka dari itu permasalahan ini menjadi bagian upaya yang akan dikaji dengan berfokus terhadap pengaruh steam trap pada proses pemanasan air pada tangki hot water untuk mengurangi uap yang hilang agar dapat melakukan efisiensi energi pada pembuatan uap di PT Tirta Fresindo

Jaya plant Pasuruan (Halim et al., 2016).

Dalam persoalan yang terjadi maka perlu dipahami mengenai Steam Trap. Secara definisi Steam Trap merupakan katup mandiri yang bekerja secara otomatis dalam menguras kondensat dan membuang udara serta gas yang tidak dapat terkondensasi dari pipa atau bejana yang berisi uap, dalam hal ini steam trap akan tetap tertutup saat ada uap. Namun menurut Staria (Satria, 2023) dalam beberapa desain perangkat uap akan memungkinkan uap dapat mengalir pada laju yang dapat dikontrol serta disesuaikan. Perangkat ini mampu berdifusi pada tekanan mulai vakum sampai 4500 psi dan melewati beban kondensat mulai dari nol yakni dalam kondisi sangat panas, hingga setinggi 100.000 lb/jam untuk peralatan proses tertentu.

Selain itu alat PHE secara aplikatif juga sangat penting, dimana aplikasi PHE sangat bervariasi dan beragam aplikasi dengan persyaratan yang berbeda beda. Sebagaimana dijelaskan oleh Septian dan Rey (Septian et al., 2021) seperti yang terjadi pada industri permen PHE haruslah aman terhadap makanan tahan terhadap panas tinggi sampai 130 C dan tahan terhadap soda api (caustic soda) (Sasmito et al., 2019). PHE sebagai pelat penukar panas biasanya juga memiliki ketebalan bervariasi mulai dari 0,5 hingga 3 mm dan jarak antar pelat antara 1,5 hingga 5 mm. Luas pelat juga cukup beragam mulai dari 0,03 hingga 1,5 m², dengan rasio lebar/panjang dari 2 hingga 3. Luas permukaan dan rangka penukar mulai dari terkecil 0,03 m² hingga 1500 m². Menurut (Allo, Luntungan, dan Maluegha 2024) laju yang terjadi pada aliran makanan cairan hingga batas 2500 m³/jam.

Berdasarkan pokok permasalahan yang terjadi pada penggunaan steam trap yang seringkali mengalami kegagalan di PT Tirta Fresindo Jaya Plant Pasuruan, maka penulisan artikel ini berfokus untuk mengkaji tentang Kerusakan pada steam trap mengakibatkan kehilangan uap yang besar dan berakibat pada uap yang terbuang dengan percuma serta pemborosan biaya pada pembuatan uap. Dan Kerusakan steam trap akan mengurangi efisiensi plate heat exchanger yang berpengaruh pada waktu lamanya proses pemanasan air. Penulisan artikel ini dibatasi pada kriteria seperti, Steam trap yang digunakan sebagai penelitian adalah jenis mekanis, termodinamik dan termostatik serta condensate removal device type ball float. Kondisi yang digunakan pada tekanan 5 bar dan 7 bar. Kondisi kegagalan yang dihitung adalah blow thru, leaking dan rapid cycling. Fluida yang mengalir adalah saturated steam. Perhitungan dilakukan pada uap hilang di steam trap.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan terdiri dari Sight Method, Sound Method, dan Temperature Method. Penelitian dilakukan selama bulan Juni sampai Juli tahun 2025 dengan objek penelitian pada system hot water di PT Tirta Fresindo Jaya Pasuruan. Untuk pengambilan data dilakukan saat proses produksi dan sebelum proses produksi. Dalam rangka mendapatkan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini maka terdapat beberapa media dan peralatan antara lain adalah:

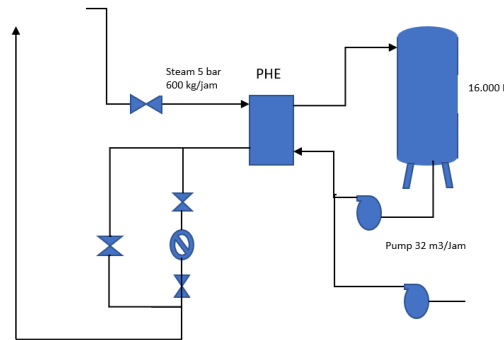
- a. Infrared Thermometer Krisbow KW06-559, yakni alat yang dipergunakan untuk mendeteksi temperatur suatu permukaan dengan cara menyentuh permukaan melalui sensor alat yang berupa sinar laser. Alat ini dipergunakan untuk memastikan adanya aliran atau rambatan panas pada sebuah benda.
- b. Stethoscope, yakni alat yang dipergunakan untuk mendeteksi aliran steam atau kondensat pada steam trap dengan cara penempatan ujung stetoskop pada permukaan steam trap serta suara aliran steam atau kondensasi dapat didengarkan melalui alat ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Plate Heat Exchanger dan Efisiensinya

Proses pemanasan dengan jumlah 16.000 liter air melalui teknik tertentu yang melewati media PHE steam akan disuplai dengan tekanan maksimal 5 bar untuk proses pemanasan air dengan suhu 30 °C menjadi 90 °C yang menimbulkan kondensat. Sehingga dalam proses menghitung jumlah uap yang mengalami kondensat dalam PHE perlu menghitung laju aliran uap, suhu masuk dan keluar uap serta suhu air pendinginan (Incropera et al., 2019). Maka untuk menghitung kebutuhan tersebut digunakan rumus-rumus seperti, Laju Aliran Panas yang dipindahkan dengan rumus: $Q = m \times c \times \Delta T$ dan Laju aliran massa uap yang terkondensasi dengan rumus: $m_{\text{kondensat}} = Q / c_{\text{uap}}$. Selain itu pertimbangan PHE dapat dipahami bahwa PHE tidak selalu beroperasi dengan efisiensi 100% karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti desain, kondisi operasional serta fouling (Cengel et al., 2020). Apabila efisiensi PHE diketahui bahwa hitung laju aliran massa uap yang terkondensasi dengan memperhitungkan efisiensi berdasarkan rumusan sebagai berikut: $m_{\text{kondensat_efektif}} = m_{\text{kondensat}} \times \text{efisiensi PHE}$ (Kakac et al., 2012).

Pada PT Tirta Fresindo Jaya sistem pemanas air pada Hot Water dapat dilihat dalam gambar berikut,



Gambar 1. Sistem Pemanas Air pada Hot Water.

Berdasarkan sistem tersebut diketahui beberapa parameter penting yakni:

- Laju aliran uap (m) = 600 kg/jam = 0.167 kg/s
- Tekanan uap = 5 bar , h_{fg} = 2107 kJ/kg
- Volume air 16000L
- Kapasitas panas jenis (c) 4,18 kJ/kg.°C
- Efisiensi PHE = 0.9 (90%)

Maka hasil perhitungan menunjukkan bahwa,

- 1) Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 16.000 \times 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \times 60 = 4.012.800 \text{ kJ}$$

- 2) Kondensat yang dihasilkan

$$\dot{m}_{\text{steam}} = Q/h_{fg} = 4.012.800/2.107 = 1.904 \text{ kg}$$

Kondensat yang efektif = Kondensat yang dihasilkan x efisiensi PHE

$$1.904 \times 90\% = 1.713 \text{ kg}$$

Karena steam yang terkondensasi berubah menjadi fase cair, maka kondensat efektif yang dihasilkan = 1.713 liter.

Berdasarkan hasil diatas maka diketahui bahwa dalam 1 hari industri dalam membuat minuman dalam kemasan sebanyak 16 batch yang dapat diartikan bahwa proses pemanasan air pada sistem hot water terjadi sebanyak 16 kali (Shah et al., 2003).

Sedangkan untuk mengukur suhu air keluar dari PHE, digunakan konsep kesetimbangan energi antara air dan steam. Berdasarkan data yang telah dihimpun sebelum kenaikan temperatur air pada tangki hot water, langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung energi yang diberikan oleh steam yang menunjukkan bahwa: $q_{\text{steam}} = h_{\text{steam}} - h_{\text{condensate}} \approx 2748 - 640 = 2108 \text{ kJ/kg}$. Sehingga Total panas yang diberikan oleh uap: $Q_{\text{total}} = \dot{m}_{\text{steam}} \times q_{\text{steam}} = 0.167 \times 2108 = 352 \text{ kW}$. Langkah kedua adalah menghitung suhu keluar dengan menggunakan kesetimbangan energi dengan cara menghitung uap jenuh 5

bar dan dihasilkan, $q_{\text{steam}} = h_{\text{steam}} - h_{\text{condensate}} \approx 2748 - 640 = 2108 \text{ kJ/kg}$. Sehingga Total panas yang diberikan oleh uap: $Q_{\text{total}} = m'_{\text{steam}} \times q_{\text{steam}} = 0.167 \times 2108 = 352 \text{ kW}$. Pada saat terjadi kenaikan suhu temperatur air pada tangki hot water diketahui data berubah, dan hasil perhitungan menjadi, Menghitung energi yang diberikan oleh steam pada uap jenuh 5 bar menghasilkan, $q_{\text{steam}} = h_{\text{steam}} - h_{\text{condensate}} \approx 2748 - 640 = 2108 \text{ kJ/kg}$. Sehingga Total panas yang diberikan oleh uap: $Q_{\text{total}} = m'_{\text{steam}} \times q_{\text{steam}} = 0.167 \times 2108 = 352 \text{ kW}$. Kedua adalah menghitung suhu keluar air menggunakan kesetimbangan energi, sehingga menghasilkan $Q_{\text{total}} = m'_{\text{air}} \times c_p \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) = 352 = 8.89 \times 4.18 \times (T_{\text{out}} - 36.5)$. $c_p \text{ air} = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$.

Sedangkan untuk mengetahui jumlah steam yang terkondensasi dalam PHE dilakukan dengan cara menghitung energi panas yang diberikan oleh steam ke air, lalu mengonversi energi tersebut menjadi massa steam yang mengembun. Langkah pertama adalah menghitung Energi yang Diperlukan untuk Memanaskan Air (Q), dengan rumus $m'_{\text{air}} \times c_p \times \Delta T$, sehingga $Q = 32.000 \text{ kg/jam} \times 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 9,5 ^\circ\text{C}$. $Q = 1.270.400 \text{ kJ/jam}$. Langkah kedua adalah menghitung Jumlah Steam yang Diperlukan untuk Memberikan Energi Ini dengan rumus $m'_{\text{steam}} = Q/h_{\text{fg}} = 1.270.400/2108$, maka $m'_{\text{steam}} \approx 602.5 \text{ kg/jam}$. Jumlah kondensat yang terjadi adalah $\pm 602.5 \text{ kg/jam}$. Maka dari itu laju aliran steam aktual dinyatakan sebesar 600 kg/jam dan nyaris seluruh stema yang masuk terkondensasi sebesar 99-100% menandakan desain PHE cukup optimal (Bejan, 2013).

Efisiensi PHE umumnya dihitung berdasarkan efektivitas penukar panas, yakni perbandingan panas yang benar-benar ditransfer terhadap panas maksimum yang mungkin ditransfer. Rumus yang digunakan untuk menghitung adalah:

$$\eta = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{maks}}} \times 100\%$$

Denngan:

Aktual = Panas yang benar-benar ditransfer

Q_{maks} = Panas maksimum yang bisa ditransfer (terbatas oleh fluida yang memiliki kapasitas panas terendah)

Berdasarkan rumus yang digunakan sebagai rumus dasar maka hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Massa alir air : $M_{\text{air}} = 32000 \text{ kg/jam} = 8,8889 \text{ kg/s}$
- Panas dibutuhkan ($30 \rightarrow 90 ^\circ\text{C}$): $Q = 8,8889 \times 4,186 \times 60 = 2232,53 \text{ kW}$
- Panas tersedia dari steam 600 kg/h
 $\dot{m}_{\text{s}} = 600/3600 = 0,1667 \text{ kg/s}$
Steam = $0,1667 \times 2080 = 346,67 \text{ kW/K}$

- d) Jika seluruh steam dipakai, kenaikan temperature actual :

$$\Delta T_{\text{actual}} = 346,67/37,21 = 9,32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Jadi } T_{\text{out}} = 30 + 9,32 = 39,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- e) Efektivitas relatif terhadap panas maksimum:

$$T_{\text{steam}} (\text{suhu jenuh}) = 151,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{maks}} = 37,21 \times (151,8 - 30) = 4532 \text{ kW}$$

$$\eta = 346,67/4532 \times 100\% = 7,7\%$$

- f) Steam yang diperlukan untuk mencapai 30→90°C:

$$\dot{m} = Q/h_{\text{fg}} = 2232,53/2080 = 1,0733 \text{ kg/s}$$

$$\text{dalam satuan jam } 1,0733 \text{ kg/s} \times 3600 = 3864 \text{ kg/h}$$

Kerugian Saat Terjadi Kerusakan Pada Steam Trap

Berdasarkan studi industri, sekitar 10-15% perangkat uap yang digunakan dalam fasilitas industri umumnya dapat rusak setiap tahun sebagai dampak dari komponen yang telah aus. Pada lingkungan dengan suhu, dan tekanan tinggi katup dan dudukan serta mekanisme perangkat uap dapat mengalami kondisi penurunan kinerja akibat beban kerja setiap harinya (Kays et al., 1998). Penurunan kinerja dapat terjadi yang memicu gagalnya perangkat uap untuk terbuka maupun tertutup. Oleh karena itu dalam kondisi yang gagal tersebut, dapat diketahui beberapa hal penting seperti yang diuraikan dibawah ini (Kreith et al., 2017).

Apabila gagal tertutup, maka akan terjadi live steam yang keluar bersama kondensat mengakibatkan inefisiensi energi sebab berkurangnya kemampuan Heat Exchanger untuk memanaskan fluida yang di dinginkan, peningkatan biaya bahan bakar serta berpotensi untuk merusak peralatan hilir, Maka dari itu apabila Flow steam 600 kg/jam dan harga batubara sebesar Rp. 900/kg, dengan rasio 175 kg batu bara per ton steam maka dapat dihitung:

1. Batubara yang terbang per jam : $600 \text{ kg steam/jam} \times 0.175 = 105 \text{ kg batubara/jam}$
2. Biaya batubara yang terbang : $105 \text{ kg/jam} \times 900 = 94.500/\text{jam}$

Sehingga dapat diestimasikan pemborosan biaya terbang yakni:

Tabel 1. Estimasi Pemborosan Harian, Bulanan, Tahunan.

Waktu	Perkiraan biaya terbang
Per Jam	Rp 94.500
Per hari (24 jam)	Rp 2.268.000
Per Bulan (30 hari)	Rp 68.040.000
Per Tahun (360 hari)	Rp 816.480.000

Apabila gagal terbuka, maka tidak akan ada pemborosan steam langsung, tetapi kerugiannya adalah tidak efisiensinya pemanasan sebab, steam tidak dapat menggantikan

kondensat yang tertahan, air tidak dapat dipanaskan dengan optimal, serta potensi kerusakan peralatan PHE, Valve dan Pipa apabila terjadi water hammer atau over flooding. Sehingga dapat dihitung perkiraan kerugian biaya sebagai berikut,

- a. Energi steam total per jam: $Q_{\text{steam total}} = 600 \text{ kg/kg} \times 2100 \text{ kJ/kg} = 1.2600.000 \text{ kJ/kg}$
- b. Energi yang terpakai efektif : $Q_{\text{terpakai}} = 40\% \times 1.2600.000 \text{ kJ/kg} = 504.000 \text{ kJ/kg}$
- c. Energi terbuang : $Q_{\text{hilang}} = 1.2600.000 - 504.000 = 756.000 \text{ kJ/kg}$
- d. Konversi ke batubara (175 kg steam per ton batubara)
 - 1) 1 kg steam = 0.175 kg batubara
 - 2) 600 kg steam/jam = 105 kg batubara/jam
 - 3) Jika hanya 40% maka 60% dari batubara terbuang
 - 4) Batubara terbuang = $60\% \times 105 = 63 \text{ kg/jam}$
 - 5) Kerugian biaya : $63 \times 900 = \text{Rp } 56.700$

Tabel 2. Kerugian Biaya.

Waktu	Biaya
Per jam	Rp 56.700
8 jam kerja	Rp 453.600
24 jam/hari	1.360.800
30 hari	40.824.000

Apabila steam trap mengalami rapid cycling, yakni kondisi trap terbuka dan tertutup dengan sangat cepat dan sering dalam durasi singkat. Kondisi yang tidak normal ini menandakan adanya masalah dalam operasi atau pemilihan steam trap tidak sesuai (Tiwari et al., 2013). Akibat rapid cycling kerugian memang tidak menyebabkan steam loss 100% seperti blow through, akan tetapi dapat menimbulkan efisiensi energi dan konsumsi steam tambahan dengan asumsi realitas sebesar 10-25% tergantung seberapa sering terjadi dan seberapa parah gangguannya.

Tabel 3. Kerugian Akibat Rapid Cycling.

Efisiensi Hilang	Steam Terbuang (kg/jam)
10%	60 kg/jam
15%	90 kg/jam
25%	150 kg/jam

Tabel 4. Batubara Yang Hilang = Steam Loss X 0,175.

Steam loss (kg/jam)	Batubara terbuang (kg/jam)	Biaya terbuang (Rp/jam)
60	10,5	Rp 9.450
90	15,75	Rp 14.175
150	26,25	Rp 23.625

Tabel 5. Estimasi Kerugian (Periode Operasi 24 Jam).

Efisiensi hilang	Kerugian per hari	Kerugian per bulan
10%	Rp 226.800	Rp 6.804.000
15%	Rp 340.200	Rp 10.206.000
25%	Rp 567.000	Rp 17.010.000

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai analisis pengaruh steam trap pada sistem hot water dalam proses produksi minuman kemasan, diperoleh beberapa kesimpulan utama. Pertama, penggunaan plate heat exchanger (PHE) dengan dimensi yang tersedia mampu meningkatkan suhu air secara bertahap sebesar 9,32 °C hingga mencapai 90 °C. Kedua, kondisi steam trap sangat berpengaruh terhadap kinerja PHE; ketika berfungsi normal, efisiensi pemanasan dapat mencapai 90%, sedangkan jika mengalami kerusakan, efisiensi menurun drastis hingga hanya 0,2% sehingga pemanasan air tidak dapat berlangsung. Ketiga, kerusakan atau kinerja steam trap yang tidak optimal berimplikasi pada kerugian ekonomi yang signifikan, dengan estimasi mencapai Rp. 816.480.000,00 dalam satu tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Yudharta Pasuruan, khususnya Program Studi Teknik Mesin, yang telah memberikan fasilitas dan kesempatan bagi penulis untuk melaksanakan penelitian ini. Terima kasih juga kepada PT. Tirta Fresindo Jaya Plant Pasuruan yang telah memberikan izin, data, serta akses lapangan sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik. Tidak lupa terima kasih kepada para dosen pembimbing dan rekan sejawat yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan berharga dalam proses penyusunan artikel ini.

DAFTAR REFERENSI

- Bejan, A. (2013). *Convection heat transfer* (4th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118671627>
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Halim, F., Kurniawan, N. J., & Yulina, I. (2016). *Proses pengolahan teh Pucuk Harum di PT. Tirta Fresindo Jaya Pasuruan* (Laporan penelitian tidak dipublikasikan).
- Harjanti, R. S. (2022). *Buku ajar perpindahan panas: Perpindahan panas pada evaporator*. Deepublish.

- Holikhah, M., & Moentamaria, D. (2022). Perancangan plate heat exchanger sebagai high temperature short time pasteurizer susu. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(3), 604–613. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i3.394>
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2022). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). Wiley.
- Kakaç, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat exchangers: Selection, rating, and thermal design* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11784>
- Kays, W. M., & London, A. L. (1998). *Compact heat exchangers* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Kreith, F., & Manglik, R. M. (2017). *Principles of heat transfer* (8th ed.). Cengage Learning.
- Muhammad, J. P. (2019). *Upaya mengatasi penurunan kinerja nitrogen gas generator untuk operasi pembuangan gas propane di kapal MT. Gas Harmony* (Skripsi/tesis tidak dipublikasikan).
- Sasmito, A. P., & Mujumdar, A. S. (2019). Numerical simulation of heat exchanger performance: A comprehensive review. *Applied Thermal Engineering*, 149, 1405–1420. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.095>
- Satria, M. (2023). *Identifikasi masalah dan pemilihan keputusan penggantian komponen steam trap tipe termodinamik pada pipa jalur uap PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang* (Laporan teknis tidak dipublikasikan).
- Septian, B., & Rey, P. D. (2021). Desain dan rancang bangun alat penukar kalor (heat exchanger) jenis shell dan tube. *Jurnal Baut dan Manufaktur: Jurnal Keilmuan Teknik Mesin dan Teknik Industri*, 3(1), 52–60.
- Shah, R. K., & Sekulic, D. P. (2003). *Fundamentals of heat exchanger design*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470172605>
- Tiwari, A. K., Ghosh, P., & Sarkar, J. (2013). Performance comparison of plate heat exchanger using different nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2), 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.10.050>