

# Pengaruh Bahan Isolasi Termal Terhadap Perpindahan Kalor Pada Tangki Penyimpanan Steam Untuk Meminimalisir Heat Loss dan Tekanan

Nurliana Tarigan<sup>1\*</sup>, Mikaella Simamora<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Mekanika, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan, Indonesia

## INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 01 Juli 2023  
Revisi Akhir: 03 Juli 2023  
Diterbitkan Online: 05 Juli 2023

## KATA KUNCI

*Back pressure vessel (BPV), Bahan Isolasi Termal, Heat loss, Pressure*

## Keywords:

*Back pressure vessel (BPV), Thermal Insulation Material, Heat loss, Pressure*

## KORESPONDENSI

E-mail: [nurlianna@ptki.ac.id](mailto:nurlianna@ptki.ac.id)

## ABSTRAK

Back Pressure Vessel (BPV) merupakan tangki yang berfungsi sebagai tempat penampung steam yang dihasilkan oleh keluaran turbin. Pressure vessel digunakan sebagai penampung fluida, baik cair maupun gas. BPV tidak hanya berperan dalam menampung dan mendistribusikan steam saja, tetapi juga berfungsi sebagai pengontrol steam yang masuk dan keluar. Tekanan pada BPV 3.4 bar dan temperature 138°C. Tangki bertekanan ini merupakan salah satu alat proses suatu industri yang penting, khususnya untuk industri pengolahan minyak sawit. Dalam proses sebelum penyaluran steam, salah satu komponen terpenting adalah media penyimpanan steam, karna fungsi nya untuk menjaga steam yang didapat dari hasil keluaran turbin tidak hilang, agar dapat disalurkan. Maka, diperlukan tangki penyimpanan steam yang dapat menahan kehilangan panas sehingga temperature dan tekanan tidak turun. Maka, digunakan bahan insulasi (isolasi termal) yang memiliki sifat yang buruk dalam menghantarkan panas pada dinding tangki agar dapat menahan panas keluar dari tangki ke lingkungan secara cepat. Bahan isolasi termal glass woll lebih baik dari bahan isolasi termal rockwoll dan gelas woll sebesar 16.244,8158 Kcal/hour dengan perbandingan gelas woll dapat menahan panas lebih baik sebesar 116,5568 kcal/hour.

## ABSTRACT

Back Pressure Vessel (BPV) is a tank that serves as a reservoir for steam generated by the turbine output. Pressure vessels are used as reservoirs for fluids, both liquid and gas. BPV not only plays a role in storing and distributing steam, but also works as a controller of incoming and outgoing steam. Pressure at BPV 3.5 bar and temperature 138°C. This pressurized tank is one of the important industrial processing tools, especially for the palm oil processing industry. In the process prior to steam delivery, one of the most important components is the steam storage medium, because its function is to keep the steam obtained from the turbine output from being lost, so that it can be distributed. Therefore, a steam storage tank is needed that can withstand heat loss so that the temperature and pressure do not drop. Therefore, an insulating material (thermal insulation) is used which has poor properties in conducting heat to the tank wall in order to hold the heat out of the tank into the environment quickly. Glass woll thermal insulation material is better than rock woll thermal insulation material with the same thickness of thermal insulation material of 50 mm, the heat loss for rock wool is 16.361,3726 kcal/hour and glass wool is 16.244,8158 kcal/hour with a comparison of glass wool that can withstand heat. Better at 116,5568 kcal/hour.

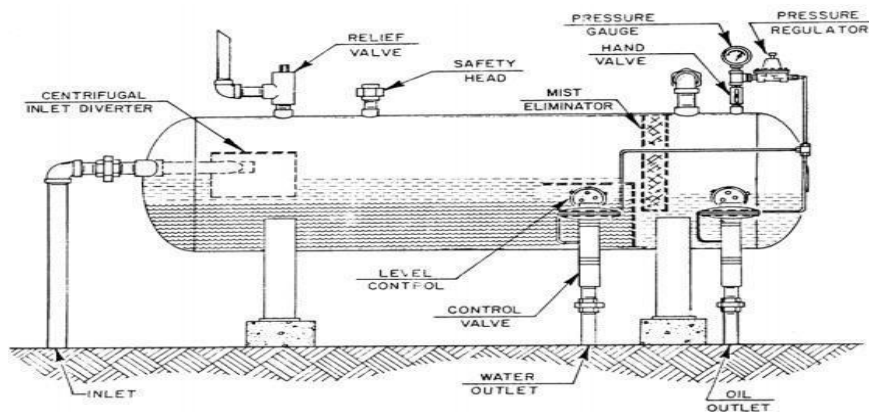
## PENDAHULUAN

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan sebuah unit produksi yang memerlukan sumber energi listrik yang besar untuk menggerakkan mesin-mesin serta peralatan lain yang memerlukan daya dalam jumlah besar. Kebutuhan energi tersebut dipasok dari ketel uap (boiler) dan generator set (genset) [1]. Boiler merupakan sebuah bejana bertekanan yang berfungsi untuk memanaskan air guna menghasilkan uap (steam) yang dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin. Kemudian uap sisa keluaran dari turbin akan ditampung disebuah bejana yaitu Back pressure vessel (BPV) berfungsi untuk disalurkan kebeberapa stasiun yang membutuhkan, diantaranya adalah stasiun sterilizer, stasiun digester, stasiun screw press, stasiun klarifikasi, stasiun kernel dan tangki timbun [2].

Steam memiliki kelemahan terutama dari sifatnya yang mudah kehilangan panas karena proses konduksi, konveksi, radiasi dan mudah mengalami kondensasi. Pada tangki BPV steam mengalami kerugian berupa kehilangan panas maka pada tangki dipasang isolator yang dapat mengisolasi panas yang dipakai seperti: rockwool dan plat aluminium [3].

Rockwool merupakan material yang digunakan untuk mengurangi hilangnya jumlah energi panas yang hilang ke lingkungan karena adanya perpindahan panas. Back pressure vessel atau tangki bertekanan berfungsi untuk distribusi uap ke unit-unit di pabrik kelapa sawit untuk menjaga temperatur terhadap BPV, maka BPV harus di isolasi yang berfungsi memperkecil hilangnya panas dengan cara terkonveksi [4].

Back pressure vessel digunakan sebagai penampung fluida, baik cair maupun gas. BPV (Back Pressure Vessel) adalah alat yang sangat berperan dalam distribusi uap di pabrik kelapa sawit [5]. BPV (Back Pressure Vessel) adalah alat yang berfungsi sebagai bejana penampung dan pendistribusi uap ke alat-alat yang membutuhkan uap [6].



**Gambar 1.** Bejana tekan silinder horizontal

Konduktivitas termal adalah suatu fenomena transport dimana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari suatu daerah benda panas ke daerah yang lain dari benda yang sama pada temperatur yang lebih rendah [7].

Nilai konduktivitas termal suatu material dapat ditentukan melalui pengukuran tak langsung. Nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Konduktivitas termal kebanyakan bahan merupakan fungsi suhu, dan bertambah sedikit kalau suhu naik, akan tetapi variasinya kecil dan sering kali diabaikan [7].

Nilai Konduktivitas termal merupakan sifat fisik bahan atau zat yang sangat penting dalam pemilihan untuk suatu aplikasi proses perpindahan kalor. Nilai konduktivitas termal yang tinggi menunjukkan laju perpindahan energi yang besar dan bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi disebut konduktor, sedangkan yang mempunyai harga ( $k$ ) yang rendah disebut isolator [8].

Mekanisme konduksi termal pada gas cukup sederhana. Energi kinetik molekul ditunjukkan oleh suhunya, jadi pada bagian bersuhu tinggi molekul- molekul mempunyai kecepatan yang lebih tinggi daripada yang

berada pada bagian bersuhu rendah. Nilai konduktivitas termal dari berbagai bahan pada °C dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Konduktivitas Termal Berbagai bahan pada °C

| Bahan                                     | Konduktivitas termal ( <i>k</i> ) |                 |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
|                                           | W/m · °C                          | Btu/h · ft · °F |
| <b>Logam</b>                              |                                   |                 |
| Perak (murni)                             | 410                               | 237             |
| Tembaga (murni)                           | 385                               | 223             |
| Aluminium (murni)                         | 202                               | 117             |
| Nikel (murni)                             | 93                                | 54              |
| Besi (murni)                              | 73                                | 42              |
| Baja karbon, 1% C                         | 43                                | 25              |
| Timbal (murni)                            | 35                                | 20,3            |
| Baja krom-nikel (18% Cr, 8% Ni)           | 16,3                              | 9,4             |
| <b>Bukan Logam</b>                        |                                   |                 |
| Kuarsa (sejajar sumbu)                    | 41,6                              | 24              |
| Magnesit                                  | 4,15                              | 2,4             |
| Marmar                                    | 2,08 – 2,94                       | 1,2 – 1,7       |
| Batu pasir                                | 1,83                              | 1,06            |
| Kaca, jendela                             | 0,78                              | 0,45            |
| Kayu maple atau ek                        | 0,17                              | 0,096           |
| Serbuk gergaji                            | 0,059                             | 0,034           |
| Wol kaca                                  | 0,038                             | 0,022           |
| <b>Zat Cair</b>                           |                                   |                 |
| Air raksa                                 | 8,21                              | 4,74            |
| Air                                       | 0,556                             | 0,327           |
| Amonia                                    | 0,540                             | 0,312           |
| Minyak lumas, SAE 50                      | 0,147                             | 0,085           |
| Freon 12, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> | 0,073                             | 0,042           |
| <b>Gas</b>                                |                                   |                 |
| Hidrogen                                  | 0,175                             | 0,101           |
| Helium                                    | 0,141                             | 0,081           |
| Udara                                     | 0,024                             | 0,0139          |
| Uap air (jenuh)                           | 0,0206                            | 0,0119          |
| Karbon dioksida                           | 0,0146                            | 0,00844         |

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 2.1 Spesifikasi Peralatan

Penelitian dilakukan dengan dua metode yaitu metode deskripsi transkrip dan metode observasi.

Tabel 1: Spesifikasi Alat

|               |                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------|
| Tipe          | <i>Back pressure vessel silinder horizontal</i> |
| Produksi      | PT. Ekarya Jativumas                            |
| No. Pabrik    | 0M/71/91                                        |
| Tahun         | 1991                                            |
| Tekanan Kerja | 3,4 kg/cm <sup>2</sup>                          |
| Tekanan Uji   | 6 kg/cm <sup>2</sup>                            |

Tabel 2: Data Pengamatan

|                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| Temperatur steam         | = 138 °C           |
| Temperatur Lingkungan    | = 32 °C            |
| Panjang                  | = 6000 mm ( 6 m )  |
| Diameter plat aluminium  | = 1700 mm (1,7 m)  |
| Diameter rockwool        | = 1660 mm (1,66 m) |
| Ketebalan Rockwool       | = 50 mm (0,05 m)   |
| Ketebalan plat aluminium | = 0.8 m (0,0008)   |

1. Menghitung jumlah heat loss pada lapisan bahan insulasi tangki back pressure vessel  
Perhitungan kehilangan panas pada steam *back pressure vessel* berdasarkan mekanisme panas konduksi

$$q = -KA \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\frac{Q}{L} = \frac{2\pi(T_1 - T_2)}{\frac{1}{K_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} + \frac{1}{k_2 \ln \frac{r_3}{r_2}} + \frac{1}{k_3 \ln \frac{r_4}{r_3}}}$$

Dimana:

- Q1 = Besarnya Kehilangan Panas Karena Transfer Panas Konduksi (Kcal/hour)
- k1 = Koefisien Konduktivitas Termal Material tangki (BTU/jam.ft°F)
- k2 = Koefisien Konduktivitas Termal Isolasi Rockwool (BTU/jam.ft°F)
- k3 = Koefisien Konduktivitas Termal Alumunium (BTU/jam.ft°F)
- L = Panjang tangki (m)
- r1 = Jari-Jari Dalam tangki (m)
- r2 = Jari-Jari Luar tangki (m)
- r3 = Jari-Jari tangki Terhadap Insulation Alumunium (m)
- r4 = Jari-Jari Pipa Terhadap Insulation Rockwool (m)
- T1 = Temperatur Steam masuk (°C)
- T2 = Temperatur Udara Sekitar (°C)

Maka, besarnya kehilangan panas per satuan panjang sebagai berikut:

$$Q1 = 2.280,1958 \frac{\text{Kcal}}{\text{hour}}$$

Perhitungan kehilangan panas pada steam back pressure vessel berdasarkan mekanisme panas secara konveksi. Rumus yang digunakan untuk menghitung kehilangan panas secara konveksi ( $Q_2$ ) yaitu:

$$Q_2 = h A (T_w - T_\infty)$$

Keterangan:

$Q_2$  = Kehilangan panas secara konveksi (W)

$h$  = Koefisien perpindahan panas secara konveksi ( $W/m^2.K$ )

$A$  = Luas permukaan hantar panas ( $m^2$ )

$T_w$  = Suhu steam (K)

$T_\infty$  = Suhu sekitar (K)

Jadi,

$$\begin{aligned} Q_2 &= h A (T_w - T_\infty) \\ &= 3,0898 \frac{W}{m^2.K} \cdot 3,14 \cdot 1,66 m^2 \cdot (411 - 305) K \\ &= 1.707,1768 \frac{Kcal}{hour} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= 2.280,1958 \frac{Kcal}{hour} + 1.707,1768 \frac{Kcal}{hour} + 12374 Kcal/hour \\ &= 16.361,37 \frac{Kcal}{hour} \end{aligned}$$

atau

Untuk mencari penurunan temperatur digunakan persamaan:

$$m_c = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{hfg + (C_p (T_1 - T_2))}$$

$$hfg + (C_p (T_1 - T_2)) = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{ms}$$

Untuk mencari nilai  $Q_{rad}$  digunakan persamaan

$$Q_{rad} = s \cdot \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4)$$

Dimana:  $s$  = emisivitas (0.9)

$\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzman ( $5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ )

$A$  = Luas penampang tangki ( $m^2$ )

$T_1$  = Temperatur BPV

$T_2$  = Temperatur sekitar

$$Q_{rad} = 0,9 \times 5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4 \times \frac{3,14}{4} \cdot (1,7)^2 \cdot 6 (411^4 - 305^4)$$

$$Q_{rad} = 5,103 \times 10^{-8} W/m^2K^4 \times 13,61 m^2 (29.376.588.816 - 8.653.650.625)$$

$$Q_{rad} = 14.392 W/m^2K^4 \times 0.8598455479 Kcal/hour \text{ (konversi)}$$

$$Q_{rad} = 12374 Kcal/hour$$

Jadi jumlah panas yang hilang adalah 12.374 kcal/hour secara radiasi. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan jumlah steam yang terkondensasi (ms)

$$m_c = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{hfg + (C_p \times (T_w - T_2))}$$

Dimana:

$Q_{rad}$  = Menghitung laju perpindahan panas secara radiasi (W)

$L$  = Panjang tangki ( 6 m)

$f$  = Nilai kekasaran tangki (0,1)

$h_{fg}$  = Nilai entalpi panas spesifikasi air 2297.3 Kj/kg  $C_p$  = Nilai

heat specific 1.975 kj/kg. K

$T_1$  = Temperatur

$T_2$  = Temperatur luar

Maka:  $m_s = 44,509$  kcal/hour

Jadi jumlah total kehilangan steam sebesar jika jumlah itu dimasukkan kedalam rumus termodinamika akan mendapatkan penurunan temperature (losses) dengan persamaan:

$$m_s = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{h_{fg} + (C_p \times (T_1 - T_2))}$$

$$T_2 = 137 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Jadi, setelah satu jam steam berada pada tangki sepanjang 6 m steam (uap panas) mengalami penurunan temperatur sebesar 1 °C dan berdasarkan hasil interpolasi maka di dapat penurunan tekanan sebesar (0.086)

2. Pengaruh bahan isolasi termal terhadap perpindahan kalor pada tangka penyimpanan steam untuk meminimalisir heat loss.

| Bahan         | Ketebalan | Heat loss<br>Kcal/hour | Konduktivitas termal (k) |                |
|---------------|-----------|------------------------|--------------------------|----------------|
|               |           |                        | W/m.°C                   | Btu/h.ft<br>°F |
| Rockwool      | 50        | 16.361,3726            | 0,038                    | 0,02195        |
| Glass<br>wool | 50        | 16.244,8158            | 0,036                    | 0,02081        |

Pemilihan bahan isolasi dengan nilai konduktivitas termal yang rendah memiliki nilai heat loss yang lebih rendah, hal ini dapat dilihat pada bahan isolasi bahan glass wool yang memiliki konduktivitas termal lebih rendah daripada isolasi bahan rockwool. Isolasi bahan glass wool lebih baik dari pada isolasi bahan rockwool dan, serta ketebalan isolasi dapat mengurangi kehilangan panas secara baik, semakin tebal isolasi maka kehilangan energi panas semakin kecil.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Total kehilangan panas pada tangki penyimpanan steam dengan panjang instalasi 6 meter dengan perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi sebesar: 16.361,37 Kcal/hour . Kehilangan tekanan pada tangki penyimpanan steam dengan temperature awal 138 °C dan tekanan 3,4 bar mengalami penurunan temperature sebesar 1 °C dan tekanan 3,314 bar, dan pemilihan bahan isolasi dengan nilai konduktivitas termal yang rendah memiliki nilai heat loss yang lebih rendah, Isolasi bahan glass wool lebih baik daripada isolasi bahan rockwool, serta ketebalan isolasi dapat mengurangi kehilangan panas secara baik, semakin tebal isolasi maka kehilangan energi panas semakin kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Darmadi *Et Al.*, “Analisa Hasil Gaya Tekan Untuk Memecahkan Nut Pada Dinding Pemecah Di Stasiun Ripple Mill,” 2023.
- [2] N. Fuada And Dan Naim Hamid, “Analisis Heat Loss Pada Sistem Uap Dan Performance Boiler Indomarine Di Pt. Eastern Pearl Flour Mills,” 2019.
- [3] B. Syam *Et Al.*, “Mechanical Response Of Open Channel Cover Made Of Concrete Foam Due To External Loadings,” In *Journal Of Physics: Conference Series*, Institute Of Physics Publishing, Mar. 2017. Doi: 10.1088/1742-6596/801/1/012097.
- [4] A. Yani And R. Ristyohadi, “Analisis Kehilangan Steam Dan Penurunan Temperatur Pada Jaringan Distribusi Steam Dari Pt. Kdm Ke Pt. Kni,” *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, Vol. 6, No. 2, Pp. 123–135, 2017.
- [5] A. Destiawan Wicaksono And T. Ayodha Ajiwiguna, “Pengaruh Bahan Insulasi Terhadap Perpindahan Kalor Pada Tangki Penyimpanan Air Untuk Sistem Pemanas Air Berbasis Surya Effect Of Insulation Material To Heat Transfer In Water Storage Tank For Solar Water Heating System,” 2017.
- [6] A. Difa Putri Utami, Z. Zurohaina, And A. Aswan, “Prototype Steam Power Plant (Analisis Heat Loss Pada Unit Boiler Furnace Dan Superheater),” *Kinetika*, Vol. 7, Pp. 1–4, 2016.
- [7] A. Destiawan Wicaksono, T. Ayodha Ajiwiguna, And T. Fisika, “Pengaruh Bahan Insulasi Terhadap Perpindahan Kalor Pada Tangki Penyimpanan Air Untuk Sistem Pemanas Air Berbasis Surya Effect Of Insulation Material To Heat Transfer In Water Storage Tank For Solar Water Heating System,” 2017.
- [8] W. P. Harahap, “Analisis Daya Solar Water Heater Dengan Perbedaan Ukuran Hexagonal Honeycomb Sebagai Penghantar Panas,” *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [Jimt]*, Vol. 1, No. 4, Pp. 1–10, 2021.