

## Evaluasi Kinerja Insulasi Pipa Uap Panas *Fire Tube Boiler* Pada Industri Kilang Minyak Dan Gas

Delsi Natalia Siahaya<sup>1)</sup> Azmain. N. Hatuwe<sup>2)</sup> Jeffry Malakauseya<sup>3)\*</sup>

<sup>1,2)</sup>Prodi Teknologi Rekayasa Sistem Mekanikal Migas, Polnam

<sup>3)</sup> Prodi Teknik Mesin Politeknik Negeri Ambon

[delsisiahaya@gmail.com](mailto:delsisiahaya@gmail.com) [noor.azmain@gmail.com](mailto:noor.azmain@gmail.com) [malakauseyajeff@gmail.com](mailto:malakauseyajeff@gmail.com)

### ABSTRACT

*The steam pipe functions as a conduit for hot steam from the boiler to other unit. During the transport process in the pipe, it is expected that heat loss from the steam is minimized, so that the required on the steam pipe unit is in need. Therefore, hot pipes need to be insulated. In this study, the insulation on the steam pipe is made of rock wool with a thickness of 7,5 cm. After a long period of operation, it is necessary to evaluate the insulation performance in retaining the rate of heat loss. The method used in this research is in theoretical review, where the data is obtained from field observations and then analyzed using equations from supporting references. From the discussion results, it is found heat loss in the pipe occurs through conduction and convection, also influenced by variations in ambient temperature. The average total heat loss is 15,715.90 Watts. The percentage of heat loss compared to the total steam transported through the pipe is 0,3376% on average, and the insulation performance in preventing heat loss is considered still effective.*

**Keywords:** *Insulation, Boiler, Steam pipe, Refinery.*

### ABSTRAK

Pipa uap panas berfungsi sebagai penyalur uap panas dari boiler ke unit lainnya. Selama proses transport di dalam pipa diharapkan uap panas di minimalkan kehilangan panasnya (*heat lost*), agar panas yang dibutuhkan dapat sampai pada unit yang membutuhkan. Untuk itu pipa panas perlu dipasang insulasi, demikian halnya insulasi yang terpasang pada pipa uap panas yang menjadi objek penelitian ini terbuat dari bahan *Rock woll* dengan ketebalan 7,5 cm. Setelah beroperasi sekian lama, sehingga perlu di evaluasi kinerja insulasi dalam hal menahan laju panas yang hilang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian deskriptif, dimana data yang diperoleh berdasarkan proses pengamatan pada objek penelitian boiler di PPSDM Migas Cepu, selanjutnya di analisa menggunakan persamaan-persamaan dari referensi yang mendukung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *heat lost* pada pipa terjadi secara konduksi dan konveksi, yang turut dipengaruhi oleh variasi temperatur lingkungan. Total panas yang hilang rata-rata 15715,90 Watt. Persentasi *heat lost* dibandingkan total uap panas yang disalurkan melalui pipa panas rata-rata sebesar 0,3376 %, dan kinerja insulasi dalam melindungi *heat lost* dinilai masih baik.

**Kata kunci :** *Insulasi, Boiler, Pipa uap panas, Kilang*

### Pendahuluan

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) adalah lembaga pemerintah di bawah Kementrian Energi dan sumber Daya Mineral (ESDM) yang bertanggung jawab untuk mengembangkan kompetensi sumber daya manusia di sektor minyak dan gas bumi. PPSDM Migas juga berfokus pada pelatihan dan sertifikasi tenaga kerja migas, baik untuk pegawai pemerintah maupun swasta yang memiliki keahlian dan sertifikasi standar nasional dan internasional. PPSDM Migas memiliki fasilitas dengan kelengkapan unit-unit tertentu salah satunya adalah *fire tube boiler* (boiler pipa

api). *Fire tube boiler* adalah jenis *boiler* yang menggunakan tabung api sebagai media pemanas air. Komponen boiler terdiri dari Drum ketel, *Superheater*, *Economizer*, *Furnace*, *Sight Glass* dan *Safety valve*. Insulasi yang digunakan pada pipa uap *fire tube boiler* adalah *rockwool* insulasi jenis ini terbuat dari serat alami yang mampu menjaga kestabilan suhu ruangan agar tetap stabil, tahan hingga temperature tinggi hingga 1400°F dan mencegah pertumbuhan jamur. Pipa uap panas berfungsi sebagai penyalur uap panas dari boiler ke unit lainnya. Selama proses transport di dalam pipa diharapkan uap panas di minimalkan kehilangan panasnya (*heat lost*), agar panas yang disalurkan dapat sampai pada unit yang membutuhkan. Untuk itu pipa panas perlu dipasang insulasi, demikian halnya insulasi yang terpasang pada pipa uap panas yang menjadi objek penelitian ini terbuat dari bahan rock woll dengan ketebalan 7,5 cm. Setelah beroperasi sekian lama, sehingga perlu di evaluasi kinerja insulasi dalam hal menahan laju panas yang hilang. Teknik yang dilakukan untuk mengevaluasi insulasi pipa panas, yaitu dengan melakukan kajian teoritis menggunakan rumus empiris perpindahan panas. Data-data yang dibutuhkan diperoleh melalui pengamatan dilapangan, seperti temperatur uap panas, temperatur dinding pipa, jenis material baik pipa dan insulasi serta dimensi pipa. Diharapkan dari hasil penelitian ini diperoleh informasi dari kemampuan insulasi dalam menahan laju perindahan panas konduksi melalui dinding pipa. Besarnya kehilangan panas akan menjadi pertimbangan terhadap pemakaian kesinambungannya.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Pengertian Pipa**

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk jalannya fluida antar peralatan (*equipment*) dalam suatu pabrik atau dari suatu tempat ke tempat yang lain, sehingga proses produksi dapat berlangsung (Swadika, 2014). Aplikasi sistem perpipaan dapat ditemukan di berbagai tempat pada semua jenis industry. Mulai dari sistem perpipaan tunggal maupun sistem perpipaan bercabang yang sangat kompleks. Sistem perpipaan (*piping system*) ini sendiri secara umum terdiri dari komponen-komponen seperti pipa, katup, fitting, (*elbow, reducer, tee*) *flange nozzle*, penyangga pipa (*pipe support* dan *pipe hanger*). Pada sistem perpipaan yang tentunya tidak terlepas dari adanya perpindahan panas yang terjadi di dalam pipa. Perpindahan panas yang terjadi dari suatu sistem ke lingkungan merupakan hal yang sangat penting guna mendapatkan keseimbangan temperatur pada sistem tersebut. Jika panas dari sistem tidak dibuang ke sistem lainnya maka dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem itu sendiri. Pada sistem perpipindahan panas pada pipa steam dengan merek ASTM 300 ini juga saling berkaitan dengan *fire tube boiler* yang di dimiliki oleh PPSDM Migas Cepu ini dimana pada *fire tube boiler* sistem perpipaan yang digunakan untuk proses distribusi uap panas sampai ke kilang minyak.

Dalam aplikasi industri sistem perpipaan digunakan untuk:

- a) Mengangkut bahan bakar gas alam atau minyak
- b) Mendukung sistem pendinginan atau pemanasan
- c) Menyediakan distribusi air atau udara bertekanan

### **Jenis-Jenis Pipa**

Dalam pembuatan pipa harus sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, mulai dari pemilihan bahan dan penggunaannya. Secara umum pembuatan pipa dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu :

1. Jenis pipa tanpa sambungan yaitu pipa yang dalam pembuatannya tidak dilakukan sambungan pengelasan.
2. Jenis pipa dengan sambungan yaitu pipa yang dalam pembuatannya dilakukan sambungan pengelasan.

Berdasarkan material atau bahan pipa, terbagi atas :

1. *Carbon steel.*
2. *Carbon moly.*
3. *Galvaneees.*
4. Ferro nikel.
5. *Stainless steel.*
6. PVC (paralon).
7. *Chrome moly.*

### ***Fire Tube Boiler***

*Fire Tube Boiler* adalah jenis *boiler* yang menggunakan tabung api sebagai media pemanas air. Dalam desain *boiler* ini gas hasil pembakaran bahan bakar melewati tabung-tabung yang dikelilingi oleh air. Saat gas panas ini melewati tabung, panasnya akan ditransfer ke air yang berada di sekitar tabung, menghasilkan uap bertekanan, yang hasilnya akan didistribusikan ke kilang minyak dan gas. Pada dasarnya *Boiler* dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria, seperti desain, jenis bahan bakar yang digunakan, kapasitas dan tekanan kerja.

### **Insulasi Pipa Steam**

Salah satu masalah umum yang sering terjadi saat membangun jalur pipa panas bumi adalah kehilangan panas, termasuk pipa steam pada boiler pipa api. Perpindahan panas dari suhu tinggi ke suhu rendah adalah penyebabnya. Insulasi digunakan untuk mencegah panas berpindah dari pipa (uap) ke lingkungan sekitar. Uap yang dihasilkan dari pembakaran memiliki suhu dan tekanan tertentu yang dapat digunakan selama proses produksi. Uap yang dialirkan melalui pipa ke peralatan proses setelah dibuat dalam boiler atau unit pembangkit steam. Selama distribusi, panas dapat berpindah ke lingkungan dan pipa dilapisi dengan isolator untuk mengurangi terjadinya kehilangan panas. Selama proses ini, perpindahan panas terus terjadi, yang mengakibatkan kondensasi sebagian kecil uap di dalam pipa. Untuk mencegah kondensat uap yang terbentuk, kondensat harus dikeluarkan dari pipa. Dalam proses pensuplayan uap menuju kilang minyak proses penambahan lapisan insulasi atau bahan tertentu pada pipa yang digunakan sangat diperlukan untuk mengurangi atau mencegah kehilangan panas dari pipa tersebut. Ini penting untuk efisiensi energi dan untuk menjaga suhu pipa agar tidak mempengaruhi lingkungan sekitarnya. Insulasi pipa juga pada umumnya menggunakan bahan insulasi termal seperti *fiberglass*, busa poliuretan atau bahan lain yang memiliki kemampuan insulasi yang baik. Kehilangan panas adalah masalah yang selalu ada dalam perancangan jalur pipa panas bumi, akibat dari perpindahan panas dari suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah. Untuk mencegah panas berpindah dari dalam pipa (uap) ke lingkungan sekitar, digunakan insulasi. Kemampuan insulasi dalam mempertahankan panas sangat penting untuk mengurangi kehilangan energi, tergantung pada bahan yang digunakan. Pada *boiler fire tube* yang dimiliki oleh PPSDM Migas Cepu jenis insulasi pipa yang digunakan adalah *Rockwool* dengan jenis pipa yang di pakai ASTM 300. Penelitian ini dilakukan pada jalur pipa uap dalam sistem panas bumi, di mana dilakukan evaluasi kehilangan panas pada tiga jenis material insulasi: *calcium silicate*, *rockwool*, dan *foam glass*. Selain itu, ditentukan juga suhu dinding pipa untuk berbagai ketebalan insulasi, yang dipengaruhi oleh besar perpindahan panas yang terjadi. Dengan batasan keamanan yang mengharuskan suhu dinding pipa tidak melebihi 45°C, ditentukan ketebalan minimum insulasi yang harus diterapkan pada jalur pipa tersebut. Setelah pembakaran uap yang dihasilkan dari proses pembakaran memiliki suhu dan tekanan tertentu yang membantu proses produksi. Setelah pembakaran, uap ini dialirkan melalui pipa menuju kilang, dimana ia digunakan untuk menghasilkan uap sesuai dengan kebutuhan produksi. Perjalanan uap dimulai dari akumulator steam hingga digunakan dalam proses produksi, pengolahan minyak mentah pada unit kilang. Selama perpindahan panas dari *outlet* steam ke lingkungan sekitar suhu *steam* berubah dari

outlet steam hingga proses pengukusan proses perpindahan panas ini, yang terjadi di pipa yang menghubungkan outlet steam ke proses uap, dapat merugikan karena suhu steam di dalam pipa akan menurun, dan penurunan suhu ini dapat memperlambat proses produksi uap. Salah satu cara untuk mempertahankan suhu steam tetap stabil adalah dengan mengisolasi saluran pipa. Pemilihan material insulasi yang tepat sangat penting karena semakin baik insulasinya, semakin stabil suhu steam akan terjaga. Material insulasi yang digunakan dapat mengurangi kehilangan panas pada steam. Kondensat uap yang terbentuk harus dikeluarkan dari pipa untuk mencegah humming yang dapat merusak peralatan. Alat yang digunakan untuk memisahkan embun dari steam adalah steam trap. Steam trap sendiri adalah alat yang digunakan untuk mengeluarkan kondensat dan gas yang tidak dapat dikondensasikan. Fungsi dari steam trap yaitu untuk mendukung efisiensi energi di kilang minyak bumi dan memastikan operasionalnya berjalan dengan baik, pipa biasanya diisolasi menggunakan beberapa jenis material. Tiga jenis isolasi yang umum digunakan untuk pipa panas adalah *mineral wool*, *calcium silicate*, dan *ceramic fiber blanket*. Pada insulasi pipa jenis TWA ini adalah insulasi jenis *Rockwool* dengan ketebalan 75 mm dan ketahanan panas hanya bisa mencapai 500. Prinsip kerja insulasi pipa panas pada boiler adalah dengan mengurangi atau mencegah kehilangan panas dari pipa, sehingga panas yang dihasilkan dapat dipertahankan dan tidak terbuang sia-sia. Insulasi dilakukan dengan menggunakan bahan insulasi yang memiliki kemampuan termal yang baik untuk mengurangi konduktivitas panas dan mempertahankan suhu pipa dalam memproduksi uap pada boiler. Komponen-komponen insulasi terdiri dari material insulasi seperti *rockwool*, *glasswool*, *aluminium foil*, serta paduan *glasswool rockwool*. Selain itu, komponen lain yang dapat mencakup lapisan pelindung tambahan, seperti *aluminium foil*, untuk meningkatkan efisiensi insulasi.

### **Model Perpindahan Panas**

Adapun model perpindahan panas, sebagai berikut:

#### **1) Prinsip dan Teori Dasar Perpindahan Panas**

Salah satu jenis energi yang tidak dapat diciptakan atau dihancurkan adalah panas yang dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lain. Panas dapat meningkatkan suhu zat, mengubah tekanan, reaksi kimia, atau performa kelistrikan selama proses. Perpindahan panas dapat terjadi secara langsung (fluida panas bercampur langsung dengan fluida dingin tanpa memisahkan) atau secara tidak langsung (fluida panas dan dingin terpisah oleh penghalang). Faktor utama yang menyebabkan perpindahan energi dalam bentuk panas adalah perubahan suhu. Konduksi, konveksi dan radiasi adalah tiga cara utama perpindahan panas, menurut penelitian literatur. Perpindahan panas juga dapat terjadi melalui metode gabungan dari ketiga metode di atas.

### **Perpindahan Panas Secara Konduksi (Hantaran)**

#### **1. Perpindahan Panas Secara Konduksi (Hantaran)**

Uap panas yang mengalir dari area dengan suhu tinggi ke area dengan suhu rendah melalui media penghantar yang tetap tanpa bergerak, ini disebut perpindahan panas secara konduksi. Ini menunjukkan bahwa konduksi adalah proses di mana panas berpindah melalui bahan pada. Perpindahan panas secara konduksi dijelaskan oleh hukum fourier, yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (D.Q Kern, 2018 Hal-2) :

$$Q_k = -kA \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- $Q_k$  = Laju perpindahan kalor (Btu/hr)
- $k$  = Konduktivitas thermal (Btu/ft °F)

A = Luas penampang yang tegak lurus dengan arah laju perpindahan kalor  
 (ft<sup>2</sup>)

$dT/dx$  = *Gradient* temperatur dalam arah x (°F/ft)

$dT/dx$  = *gradient* temperatur dalam arah x (°F/ft)

### Perpindahan Panas Secara Konveksi

#### 2. Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas melalui zat alir terjadi karena pergerakan moleku-molekul dalam zat cair atau gas.

$$Q_c = h_c \cdot A \cdot (T_w - T_s) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$Q_c$  = Laju perpindahan panas konveksi, Btu/ h

$h_c$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (Btu/h. ft<sup>2</sup>. °F)

A = Luas permukaan perpindahan panas (ft<sup>2</sup> atau m<sup>2</sup>)

$T_w$  = Temperatur permukaan padat (°F atau K)

$T_s$  = Temperatur fluida yang jauh dari permukaan benda padat (F atau K)

### Rumus empiris untuk konveksi bebas

Selama bertahun-tahun telah diketahui bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi bebas rata-rata untuk berbagai situasi dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi berikut :

$$Nu_f = C (Gr_f Pr_f)^m \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana subskrip *f* menunjukan bahwa siat-sifat untuk gugus tak-berdimensi dievaluasi pada suhu film.

$$T_f = \frac{T_\infty + T_w}{2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

### konveksi bebas dari silinder horizontal

Nilai konstanta *C* dan *m* untuk silinder menurut rujukan 4, dan 76. (Ramalan dari Morgan) merupakan yang paling akurat untuk *Gr Pr* di sekitar 10<sup>-5</sup>. Persamaan yang lebih rumit yang dapat digunakan untuk rentang *Gr Pr* yang luas, diberikan oleh Churchill dan Chu.

$$Nu^{1/2} = 0,60 + 0,387 \left\{ \frac{Gr Pr}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{16/9}} \right\}^{1/6} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Untuk 10<sup>-5</sup> < *Gr Pr*

Persamaan yang lebih sederhana juga terdapat pada rujukan 70, tetapi berlaku hanya pada aliran laminar dari 10<sup>-6</sup> < *Gr<sub>d</sub> Pr* < 10<sup>6</sup> :

$$Nu_d = 0,36 + \frac{0,518 (Gr_d Pr)^{1/4}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{4/9}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Sifat-sifat dalam persamaan (5) dan (6), ditentukan pada suhu film. Perpindahan kalor dari silinder horizontal ke logam cair dapat dihitung menurut Rujukan 46 :

$$Nu_d = 0,53 (Gr_d Pr^2)^{1/4} \quad \dots\dots\dots (7)$$

### Sistem Radial – silinder

Suatu silinder panjang dengan jari-jari dalam  $r_i$ , jari-jari luar  $r_o$ , dan panjang  $L$  seperti gambar 2-3. Silinder ini mengalami beda suhu  $T_i - T_o$ ; untuk silinder yang panjangnya besar dibandingkan dengan diameternya, dapat kita andaikan bahwa aliran berlangsung menurut arah radial, sehingga koordinat ruang yang kita perlukan untuk menentukan sistem hanyalah  $r$ . Hukum Fourier kita gunakan lagi dengan menyisipkan rumus luas yang sesuai. Luas bidang aliran kalor dalam sistem silinder ini ialah. Sehingga hukum Fourier menjadi

$$q_r = -kA_r \frac{dT}{dr}$$

### Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama Waktu penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan yaitu (April-Juni 2024). Tempat penelitian di PPSDM Migas Cepu, Jl.Sorogo No.1, Kampungbaru, Karangboyo, Kec.Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah 58315.

Pada tahap ini penelitian yang dilakukan adalah kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja insulasi pipa uap panas *fire tube boiler* pada industri kilang minyak dan gas.

#### 1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari objek yang diamati dan dicatat untuk pertama kalinya pada unit boiler.

##### Data Spesifikasi Boiler

Merek	Boiler TWA JIS B 8201
Tipe & Ukuran	<i>Fire Tube Boiler &amp; ID.2500 X 4800</i>
Kapasitas Uap	6000kg/jam
Tekanan operasi	10 kg/cm <sup>3</sup>
Tekanan maksimal	12 kg/cm <sup>3</sup>
Tekanan steam	Min.200° C pada P = 4kg/cm <sup>3</sup>
Bahan bakar	<i>Heavy oil fuel</i>
Pipa uap panas	ASTM A300
Diameter	5 inche
Panjang pipa Boiler ke kilang	250 m
Jenis insulasi	<i>Rockwool</i> , konduktivitas <i>thermal</i> 0,046 kkal/m.°C
Tebal insulasi	7,5 cm

(Sumber: PPSDM Migas, 2024)

#### 2. Data sekunder

Merupakan data yang diperoleh melalui studi pustaka yang relevan dalam penulisan skripsi ini. Data yang diperlukan antara lain:

1. Data pipa uap panas
2. Data operasional boiler terhadap kebutuhan uap.
3. Jenis insulasi yang digunakan

#### b. Alat Pengumpulan Data

Untuk memperoleh informasi yang di butuhkan dalam penelitian ini maka dilakukan pengumpulan data sehingga data yang di perlukan sebagai berikut :

1. Observasi : pengamatan secara langsung di lapangan untuk mendapatkan data.
2. Wawancara: sumber utama dalam wawancara ini adalah tenaga ahli di bidang boiler mengingat penelitian ini terkait dengan evaluasi ketebalan insulasi pipa steam.
3. Studi kepustakaan : melalui jurnal-jurnal dan data dari skripsi sebelumnya untuk menunjang penulisan skripsi ini.

### Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja insulasi pipa fire tube boiler pada industry kilang minyak dan gas perhitungannya sebagai berikut :

Analisis perhitungan kehilangan panas yang terjadi pada pipa baja berinsulasi. Perhitungan ini dilakukan dengan mengevaluasi beberapa faktor penting, seperti suhu cairan di dalam pipa, suhu lingkungan luar pipa, serta ketebalan dan jenis insulasi yang digunakan.

Hasil perhitungan ini akan memberikan gambaran tentang seberapa besar panas yang hilang melalui pipa baja dan epektifitas insulasi dalam mengurangi kehilangan panas. Data analisis kehilangan panas ini sangat penting untuk memahami bagaimana sistem dapat dioptimalkan, sehingga panas yang hilang dapat diminimalkan berikut perhitungannya.

Energi yang hilang secara konduksi melalui dinding pipa ditentukan besarnya melalui perhitungan sebagai berikut :

$$q_k = \frac{2\pi \cdot L \cdot (T_i - T_o)}{\ln(\frac{r_1}{r_o})/k_1 + \ln(\frac{r_2}{r_1})/k_2}$$

Diketahui:

L = Panjang pipa keseluruhan = 250 m

T<sub>i</sub> = 200 °C

T<sub>o</sub> = 63,5 °C

r<sub>o</sub> = 0,06113 m

r<sub>1</sub> = 0,0706 m

r<sub>2</sub> = 0,1456 m

Konduktivitas baja = 14,62 kkal/m.°C

Konduktivitas Rockwool = 0,046 kkal/m.°C

Sehingga,

$$q_k = \frac{2\pi \cdot 250 \cdot (200 - 63,5)}{\ln(\frac{0,0706}{0,06113})/14,62 + \ln(\frac{0,1456}{0,0706})/0,04}$$
$$q = 13.497,24 \text{ kkal/jam}$$
$$q_k = 15.697 \text{ Watt}$$

*Heat lost* secara konduksi melalui dinding pipa dan lapisan insulasi berlangsung setiap dengan nilai yang sama sebesar 15.697 *Watt*, dikarenakan temperature uap di dalam pipa sebesar 200 °C dianggap konstan. Pertimbangan ini diambil mengingat hasil pengukuran temperature luar pipa seragam sebesar 63,5 °C.

Bentuk *heat lost* yang terjadi pada pipa adalah secara konveksi, panas hilang dari pipa ke udara lingkungan. Besarnya *heat lost* secara konveksi ini besarnya tergantung ada temperature udara luar yang berubah nilainya perjam. Sehingga panas yang hilang setiap jam selama 1 hari bisa tidak sama, sebagaimana diuraikan dalam perhitungan kehilangan *heat lost* 1 hari, dalam hal ini diambil hari senin, sedangkan data temperature terdapat pada tabel 1, sebagai berikut:

a. Kondisi *heat lost* secara konveksi pada jam 07.00 WIB

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2}$$

Dimana :

$$T_w = 63,5^{\circ}\text{C} \text{ (berdasarkan tabel-4.4)}$$

$$T_{\infty} = 27^{\circ}\text{C} \text{ (berdasarkan tabel-4.4)}$$

$$T_f = \left[ \frac{(63,5+27)}{2} \right] + 273$$

$$\beta = 1/T_f = 1/318,25 = 3,142 \times 10^{-3}$$

$$K = 0,02624 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\nu = 15,69 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}^{\circ}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Pr} = 0,708$$

$$\text{Gr}_d \text{Pr} = \frac{g \cdot \beta (T_w - T_{\infty}) d^3}{\nu^2} \text{Pr}$$

$$\text{Gr}_d \text{Pr} = \frac{9,81 \cdot 0,003142 (63,5 - 27) 0,2912^3}{(15,69 \times 10^{-6})^2} 0,708$$

$$\text{Gr}_d \text{Pr} = 1,2536 \times 10^{-3}$$

$$\text{Nu}_d = 0,53 (\text{Gr}_d \text{Pr})^{1/4}$$

$$\text{Nu}_d = 0,53 (1,25365 \times 10^{-3})^{1/4}$$

$$\text{Nu}_d = 9,97287 \times 10^{-2}$$

$$h = \frac{k \cdot \text{Nu}_d}{d} = \frac{0,0263158 \times 9,97287 \times 10^{-2}}{0,2912}$$

$$h = 0,00236448 \text{ w/m}^2\text{C}$$

Panas yang hilang sepanjang pipa =

$$q_h = h \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot (T_w - T_{\infty})$$

$$q_h = 0,00236448 \times \pi \times 0,291250 \times (63,5 - 27)$$

$$q_h = 19,7283 \text{ Watt}$$

Total panas yang hilang =

$$Q = q_k + q_h$$

$$Q = 15.697 \text{ Watt} + 19,7283 \text{ Watt}$$

$$Q = 15.716,73 \text{ Watt}$$

Sehingga persentase *heat lost* dibandingkan energy yang dihasilkan oleh ketel dan disalurkan melalui pipa panas ke unit lainnya adalah sebagai berikut:

Pada jam 07.00 hari senin *heat lost* yang terjadi,  $q = 15716,73 \text{ watt}$

Sehingga persentase *heat lost* adalah:

$$q\% = (q/Q) \times 100\%$$

$$q\% = (15716,73/4.655.000) \times 100\%$$

$$q\% = 0,3376 \%$$

Persentase *heat lost* pada waktu yang lain hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

**Tabel 5. Data persentase *heat lost***

JAM	SENIN	SELASA	RABU	KAMIS	JUMAT
	HEAT LOST %				
	Watt	Watt	Watt	Watt	Watt
07.00	0,3376311	0,3376311	0,3376311	0,3376311	0,3376311
08.00	0,3376219	0,3376311	0,3376311	0,3376219	0,3376311
09.00	0,3376219	0,3376219	0,3376219	0,3376219	0,3376219
10.00	0,3376125	0,3376125	0,3376031	0,3376125	0,3376125
11.00	0,3376031	0,3375934	0,3375934	0,3376031	0,3376031
12.00	0,3375934	0,3375837	0,3375837	0,3375934	0,3375934
Rata-rata	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34



(Sumber: PPSDM Migas,2024)

Data yang ditampilkan pada tabel 5, memberikan penjelasan bahwa lapisan insulalasi yang terpasang dapat menahan heat lost dibawah 0,4 % . dapat dikatakan bahwa insulasi pada pipa masih berfungsi dengan baik, menahan panas yang keluar melalui dinding pipa.

Besaran nilai *heat lost* yang terjadi pada pipa secara konveksi, berdasarkan perhitungan kehilangan heat lost 1 hari dengan data temperature (table-1), maka diperoleh, heat lost pada pukul 07.00 WIB sebesar 15.716,73 watt, pukul 08.00 WIB sebesar 15.716,299 watt, pukul 09.00 WIB sebesar 15.716,299 watt, pukul 10.00 WIB sebesar 15.715,86 watt pukul 11.00 WIB sebesar 15.715,422 watt pukul 12.00 WIB sebesar 15.714,975 watt. Evaluasi ini didasarkan pada pengukuran suhu beberapa titik di sepanjang pipa (di dalam pipa, permukaan pipa, dan lingkungan sekitar). Hasil ini menunjukkan *heat lost* yang paling tinggi terjadi pada pukul 08.00 dan 09.00 WIB, sehingga pengaruh yang ditimbulkan berdampak pada ditimbulkan berdampak pada kinerja dari insulasi pipa uap *fire tube boiler*.

Besaran nilai *heat lost* yang terjadi pada pipa secara koduksi, berdasarkan perhitungan kehilangan *heat lost* 1 hari dengan data temperature (tabel-1), maka diperoleh, hasil sebesar 15.697 watt. Hasil ini menunjukkan nilai *heat lost* yang diperoleh sama besar dikarenakan temperature uap di dalam pipa sebesar 200°C dianggap konstan. Pertimbangan ini di ambil mengingat hasil pengukuran temperature luar pipa seragam sama besar yaitu 63,5°C. sehingga pengaruh yang ditimbulkan berdampak pada kinerja dari insulasi pipa uap *fire tube boiler*.

Untuk itu dapat dinyatakan bahwa evaluasi kinerja insulasi pipa uap panas *fire tube boiler* pada industri kilang minyak dan gas, dalam perhitungan secara konveksi dan konduksi ini besarnya tergantung ada temperature udara luar yang berubah nilainya perjam. Sehingga panas yang hilang setiap jam tidak sama, sebagaimana diuraikan dalam perhitungan kehilangan heat lost 1 hari, dari hasil perhitungan di atas didapatkan hasil presentase *heat lost* sebagaimana terlampir pada tabel hasil yang didapatkan sebesar 0,4% sehingga dapat disimpulkan bahwa insulasi yang terpasang pada pipa uap *fire tube boiler* masih berfungsi dengan baik.

## **Penutup**

### **Kesimpulan**

Dari hasil uraian analisis pada bab pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Heat lost pada pipa uap panas terjadi secara konduksi dan konveksi , rata-rata sebesar 15.715,90 Watt.
2. Persentasi heat lost dibandingkan total uap panas yang disalurkan melalui pipa panas rata-rata sebesar 0,3376 %
3. Kecilnya persentase kehilangan insulasi dinilai masih bekerja dengan baik, mengurangi kehilangan panas

### **Saran**

1. Penelitian tentang *heat lost* lebih lanjut dibutuhkan terhadap pipa uap panas dengan variasi ketebalan insulasi.

## **Referensi**

- Abdul Hamid, Indah Agus Setiorioni, (2018), Evaluasi Penggunaan Isolator Pada Sistem Perpindahan Panas Suatu Alat Heat Exchanger
- Hidayanto, S.(2016). Analisis Performa Water Tube Boiler Kapasitas 115 TON/Jam DI PT. PERTAMINA REFINERY UNIT VI BALONGAN INDRAMAYU> SEMARANG : UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
- J.P.Holman, Perpindahan Kalor, Erlangga, Jakarta 1993
- Kurniawan, A., & Rianse, R. (2021). "Evaluasi Kinerja Insulasi Pipa pada Sistem Boiler." Jurnal Teknik Mesin dan Energi, 3(1), 23-30. Kurniawan, A., & Rianse, R. (2021). "Evaluasi Kinerja Insulasi Pipa pada Sistem Boiler." Jurnal Teknik Mesin dan Energi, 3(1), 23-30.
- Samsol, Kris Pudyastuti, Nicko Matthew Lie, (2019), Material Insulasi Terhadap Efek Kehilangan Panas Pada Jalur Pipa Panas Bumi.
- Teymourian, E., Mirsalim, M, Mohamadi, M,(2018), Thermal Efficiency in Fire TubeBoilers An Overview of InsulationTechnologies
- Perpindahan Panas (Heat Transfer) | UNP PRESS
- <https://www.gnetindonesia.com/blogs/apa-itu-rockwool-dan-keunggulannya,2024>