

# Analisa Kehilangan Panas Secara Konveksi Pada Saluran Steam (Pipa) Dari Turbin Ke BPV (*Back Pressure Vessel*) Pada PKS (Pabrik Kelapa Sawit) Kapasitas 45 Ton/Jam Studi Kasus Turangie Palm Oil Mill PT. PP. London Sumatra Indonesia, Tbk

Robi Alisyahbana Sinuraya<sup>1\*</sup>, Zulham Effendi<sup>2</sup>, Siti Aisyah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia  
Jl. Rumah Sakit H., Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang,  
Sumatera Utara

<sup>2</sup>Prodi D4 Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia  
Jl. Rumah Sakit H., Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang,  
Sumatera Utara

<sup>3</sup>Prodi D4 Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia  
Jl. Rumah Sakit H., Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang,  
Sumatera Utara

\*Corresponding author: [robialisyahbana@gmail.com](mailto:robialisyahbana@gmail.com)

## Abstract

*Steam is a potential energy source that is widely used in industries such as petrochemical, power generation, oil and gas, fertilizer, food and manufacturing. Even though it is profitable in the palm oil processing industry, the use of steam has disadvantages, especially heat loss by convection. The main objective and need for this research is to find out how much convection heat ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) is lost over the distance and thickness of the pipe insulator from the turbine to the BPV and provide an effective solution for optimizing the use of heat energy from steam, taking into account factors -factors such as the type of insulation and good insulation conditions. The method used in this research is quantitative descriptive. The results of this research are that with a steam pipe length from the turbine to the BPV of 7.52 meters, there is a heat loss outside the steam pipe insulator of  $4.7^\circ C$  and a heat loss in the thickness of the steam pipe insulator from the turbine to the BPV of  $155.39 W/m^2 \cdot ^\circ C$ . If we compare it to calories of heat loss per hour,  $1 \text{ watt}/\text{meter}^2 \text{ K}$  is equal to  $0.85985 \text{ kilocalories (IT)}/\text{hour meter}^2 \cdot ^\circ C$ . So in one hour the number of calories lost in pipe heat from the turbine to the BPV is  $133.61 \text{ kilocalories (IT)}/\text{hour meter}^2 \cdot ^\circ C$ . If the pipe length is longer, such as in the liquid ammonia industry with a pipe length of around 1200 meters, the heat loss will be greater.*

**Keywords:** BPV, energy, heat, steam, turbine.

## Abstrak

Uap (*steam*) adalah sumber energi potensial yang luas digunakan di industri seperti petrokimia, pembangkit listrik, minyak dan gas, pupuk, makanan, dan manufaktur. Meski menguntungkan dalam industri pengolahan kelapa sawit, penggunaan steam memiliki kelemahan, terutama kehilangan panas secara konveksi. Tujuan utama dan perlunya dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa jumlah panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) yang hilang pada jarak dan ketebalan isolator pipa dari turbin ke BPV dan memberikan solusi efektif untuk mengoptimalkan penggunaan energi panas dari uap, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jenis isolasi dan kondisi isolasi yang baik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah deskriptif kuantitatif. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa dengan panjang pipa uap dari turbin ke BPV 7,52 meter, terdapat kehilangan panas pada luar isolator pipa uap sebesar  $4,7^\circ C$  dan kehilangan panas pada ketebalan isolator pipa uap dari turbin ke BPV sebesar  $155,39 W/m^2 \cdot ^\circ C$ . Jika kita bandingkan ke kalori kehilangan panas perjam,  $1 \text{ watt}/\text{meter}^2 \text{ K}$  sama dengan  $0.85985 \text{ kilokalori (IT)}/\text{jam meter}^2 \cdot ^\circ C$ . Jadi dalam satu jam jumlah kalori kehilangan panas pipa dari turbin menuju BPV sebanyak  $133,61 \text{ kilokalori (IT)}/\text{jam meter}^2 \cdot ^\circ C$ . Jika panjang pipa lebih panjang, seperti pada industri amonia cair dengan panjang pipa sekitar 1200 meter, kehilangan panas pun akan semakin besar.

**Kata kunci:** BPV, energi, panas, *steam*, turbin.

## 1. Pendahuluan

Uap (*steam*) merupakan sumber energi yang memiliki potensi besar dan

umumnya digunakan dalam berbagai sektor industri seperti petrokimia, pembangkit listrik, minyak dan gas, pupuk, makanan dan minuman, serta manufaktur. Selain bersifat

bersih, uap juga memiliki keunggulan lain dibandingkan dengan sumber energi lainnya, termasuk dampak lingkungan yang minim, kemudahan perpindahan lokasi, potensi energi yang tinggi, dan variasi suhu yang menjadikannya ideal untuk transfer panas dalam pertukaran panas dan peralatan sejenisnya. Meskipun demikian, uap juga memiliki kelemahan, terutama dalam hal kehilangan panas yang mudah terjadi, salah satunya melalui konveksi [1].

Upaya-upaya telah dilakukan untuk mengurangi kehilangan energi panas, salah satunya melalui isolasi pada saluran pipa uap. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas isolasi pipa uap dalam meminimalkan kehilangan energi panas. Pendekatan ini melibatkan efektivitas berbagai jenis isolasi pipa dan analisis terhadap kerugian energi panas yang disebabkan oleh kerusakan isolasi uap. Tujuan perlunya dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa jumlah panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) yang hilang pada jarak dan ketebalan isolator pipa dari turbin ke BPV dan memberikan solusi efektif untuk mengoptimalkan penggunaan energi panas dari uap, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jenis isolasi dan kondisi isolasi yang baik [2].

Dalam konteks pembangkit listrik kelapa sawit, penggunaan uap sangat krusial untuk mencapai perebusan optimal pada *sterilizer*. *Steam* yang dihasilkan oleh *boiler* diarahkan menuju turbin untuk menghasilkan listrik di pabrik. Setelah melewati turbin, uap disalurkan ke BPV (*Back Pressure Vessel*) dan selanjutnya ke seluruh stasiun yang membutuhkan uap dalam operasional pabrik. Fokus penelitian ini terletak pada kehilangan panas yang terjadi pada saluran pipa uap dari turbin ke BPV [3].

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dengan panjang pipa uap dari turbin ke BPV 7,52 meter, terdapat kehilangan panas pada luar isolator pipa uap sebesar  $4,7^\circ C$  dan kehilangan panas pada ketebalan isolator pipa uap dari turbin ke BPV sebesar  $155,39 W/m^2 \cdot ^\circ C$ . Jika kita bandingkan ke kalori kehilangan panas perjam,  $1 \text{ watt/meter}^2$  K sama dengan  $0,85985 \text{ kilokalori (IT)/jam meter}^2 \cdot ^\circ C$ . Jadi dalam satu jam jumlah kalori kehilangan panas pipa dari turbin menuju BPV sebanyak  $133,61 \text{ kilokalori (IT)/jam meter}^2$

$^\circ C$ . Jika panjang pipa lebih panjang, seperti pada industri amonia cair dengan panjang pipa sekitar 1200 meter, kehilangan panas pun akan semakin besar. Dengan demikian, yang harus dilakukan untuk mengatasi kehilangan panas secara konveksi ini ialah dengan menerapkan langkah-langkah cara mengatasi kehilangan panas pada pipa tersebut salah satunya memastikan bahwa saluran distribusi berfungsi dengan baik dan tidak mengalami kebocoran yang dapat menyebabkan kehilangan panas yang signifikan [4].

### Suhu

Suhu adalah suatu parameter yang mengukur tingkat kepanasan atau kesejukan suatu objek atau sistem. Dalam ilmu fisika, suhu didefinisikan sebagai karakteristik yang terkait dengan kesetimbangan termal antara dua objek atau lebih. Ketika panas ditransfer ke objek tertentu, suhu objek tersebut akan berubah karena objek tersebut menerima atau kehilangan panas. Namun, perlu diingat bahwa hubungan antara unit panas dan unit suhu tidak selalu tetap, karena perubahan suhu akibat penerimaan panas dalam jumlah tertentu bergantung pada kapasitas termal objek tersebut.

Apabila objek dalam keadaan panas, maka suhu objek tersebut akan tinggi, dan sebaliknya, jika objek tersebut dalam keadaan dingin, maka suhu objek tersebut akan rendah. Perubahan suhu objek, baik menjadi lebih panas atau lebih dingin, seringkali akan mengakibatkan perubahan bentuk atau fase objek tersebut. Sebagai contoh, perubahan fase air menjadi es atau uap air terjadi karena pengaruh suhu yang rendah atau tinggi [5].

### Panas

Panas merupakan salah satu bentuk energi yang mampu berpindah dari sistem yang memiliki suhu tinggi ke sistem lain atau ke lingkungan dengan suhu yang lebih rendah melalui batas antara sistem tersebut. Kondisi fisik dari sebuah benda dapat berubah antara padat, cair, atau gas tergantung pada suhu dan tekanan yang ada. Suhu suatu benda mencerminkan jumlah energi yang dimilikinya, dan akibatnya, perubahan suhu dapat memengaruhi sifat dan kondisi fisik dari benda tersebut. Sebagai contoh, logam akan mencair apabila terkena panas yang mencukupi, sementara

air akan mendidih saat dipanaskan. Energi panas selalu mengalir dari sistem yang lebih panas menuju sistem yang lebih dingin, sehingga kedua sistem tersebut akan mencapai suatu kesetimbangan suhu. Semakin tinggi kenaikan suhu benda, semakin banyak panas yang diserap atau ditransfer dalam proses tersebut.

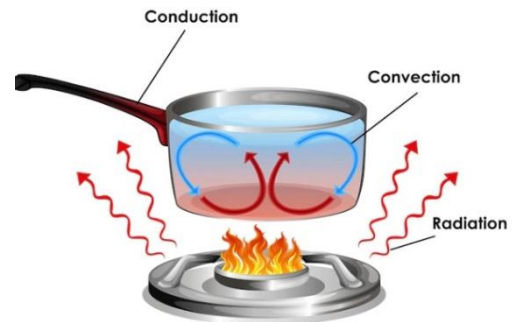
Panas ialah variabel ekstensif yang terkait dengan jumlah substansi, sementara suhu atau temperatur merupakan variabel intensif yang tidak dipengaruhi oleh jumlah zat. Jumlah panas yang ada sering kali diwakili dengan simbol  $Q$  dan tergantung pada jumlah, jenis, dan massa substansi yang terlibat. Ketiga faktor ini digabungkan dalam konsep kapasitas panas. Satuan standar yang digunakan untuk mengukur panas adalah Joule dalam sistem metrik. Namun, satuan kalori juga umum digunakan untuk mengukur panas (1 Joule setara dengan 0,239 kalori). Dalam proses pengolahan tandan buah sawit (TBS), panas memainkan peran penting, khususnya dalam bentuk uap yang digunakan untuk memanaskan *sterilizer* dalam proses perebusan TBS [6].

### Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah transfer energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara dua lokasi yang berbeda. Konsep utama dalam perpindahan panas adalah bagaimana energi panas bergerak dari satu tempat ke tempat lain dan seberapa cepat perpindahannya terjadi dalam situasi tertentu. Perpindahan panas mencakup dua proses, yaitu pemasukan dan pengeluaran panas. Proses ini terjadi secara alamiah, di mana panas selalu mengalir dari sistem yang memiliki suhu lebih tinggi ke sistem yang memiliki suhu lebih rendah. Perpindahan panas akan berhenti ketika kedua sistem mencapai kesetimbangan termal dan memiliki suhu yang sama. Perbedaan suhu adalah kondisi kunci yang memungkinkan terjadinya perpindahan panas. Jumlah panas yang dialirkan dapat diukur dengan menggunakan simbol  $Q$  dan diukur dalam satuan energi joule (J). Ketika kedua sistem mencapai kesetimbangan suhu, tidak akan ada aliran panas yang terjadi antara keduanya [7].

Dalam perpindahan panas, terdapat istilah laju aliran panas yang merujuk pada aliran energi yang terjadi dalam waktu

tertentu, yang sering kali diukur dalam watt (W). Laju aliran panas dapat pula diukur per satuan luas, yang dikenal sebagai fluks panas atau aliran panas spesifik, dinyatakan dalam notasi  $q$  dot. Baik  $Q$  dot maupun  $q$  dot dinyatakan dalam bentuk vektor yang menunjukkan arah perpindahan panas [8].

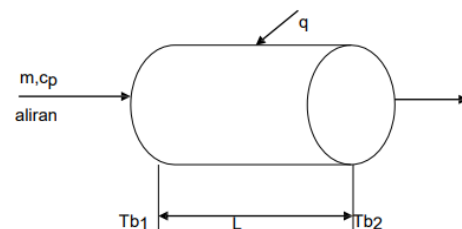


Gambar 1. Proses Perpindahan Panas

Ilmu perpindahan panas memiliki tujuan utama untuk tidak hanya menggambarkan proses perpindahan energi panas dari satu objek ke objek lain, tetapi juga untuk dapat memprediksi tingkat perpindahan panas yang terjadi dalam situasi-situasi tertentu. Terdapat tiga mode perpindahan panas yang berbeda, yakni konduksi, konveksi, dan radiasi [9].

### Perpindahan Panas Konveksi (Aliran)

Perpindahan panas melalui konveksi terjadi ketika panas dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain dalam fluida atau gas melalui pergerakan molekul-molekulnya. Setiap molekul mengangkut sejumlah panas yang dapat diukur dalam bentuk joule per molekul.



Gambar 2. Proses Perpindahan Konveksi Pada Tabung

Ketika molekul-molekul dalam fluida atau gas bersentuhan dengan permukaan dinding atau pipa pemanas, sebagian dari panas yang mereka bawa akan diserap oleh dinding atau pipa tersebut, sementara sisa panas akan terus dibawa oleh molekul-molekul tersebut saat mereka menjauhi sumber panas [10].

Pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir dalam saluran tertutup, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2, merupakan sebuah contoh dari perpindahan panas. Tingkat perpindahan panas pada perbedaan suhu tertentu dapat diestimasi menggunakan rumus berikut;

$$Q_{konv} = hA(T_s - T_f) \quad (1)$$

Dimana

$Q_{konv}$  = Laju perpindahan panas secara konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A$  = Luas area permukaan terbuka ( $m^2$ )

$T_s (T_1)$  = Temperatur dinding dalam pipa ( $^\circ C$ )

$T_f$  = Sifat fisis fluida pada suhu lapisan film ( $^\circ C$ )

Tanda negatif ( - ) digunakan sesuai dengan prinsip II termodinamika, sementara panas yang selalu dipindahkan memiliki tanda positif ( + ).

Proses konveksi perpindahan panas melibatkan perpaduan konduksi dan pergerakan fluida, baik yang dapat dikompresi maupun tidak. Semakin tinggi kecepatan pergerakan fluida, semakin besar tingkat perpindahan panas konveksinya. Dalam proses pendinginan suatu benda padat yang terpapar udara dingin, ada beberapa tahapan yang terlibat. Pertama, panas dari permukaan padat akan berpindah melalui konduksi ke partikel-partikel lapisan fluida yang berdekatan. Selanjutnya, panas tersebut akan diangkut menjauh dari permukaan benda padat melalui mekanisme konveksi. Dalam konveksi, ada dua proses yang terjadi secara bersamaan. Yang pertama adalah konduksi di dalam fluida

sebagai akibat dari pergerakan acak partikel-partikel fluida. Yang kedua adalah pergerakan makroskopis fluida yang menggantikan fluida yang telah terpanaskan di sekitar permukaan benda padat dengan fluida yang lebih dingin. Perbedaan massa jenis zat dapat memicu inisiasi proses konveksi. Ketika fluida mengalir di atas permukaan padat yang panas, panas akan dipindahkan dari dinding benda padat ke fluida melalui konduksi. Energi panas tersebut kemudian akan dibawa oleh fluida ke arah hilir dan di sepanjang fluida melalui konduksi di dalam fluida tersebut. Proses perpindahan energi ini disebut perpindahan panas konveksi. Untuk menghitung jumlah panas yang hilang melalui konveksi, dapat digunakan rumus-rumus berikut:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2)$$

$$h = \frac{nu.k}{Lc} \quad (3)$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_f)D^3}{\nu^2} Pr \quad (4)$$

$$Lc = D \quad (5)$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2} \quad (6)$$

$$Tf = \frac{(T^1 + T_4)}{2} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (8)$$

$$nu = \frac{h.k}{Lc} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[ 1 + \left\{ \frac{0,559}{Pr} \right\}^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (9)$$

Dimana :

1. Rumus: Luas area permukaan terbuka

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Keterangan;

$A$  : Luas area permukaan terbuka ( $m^2$ )

$\pi$  : Jari-jari lingkaran

$D^2$  : Diameter permukaan pipa ( $m$ )

2. Rumus: Koefisien perpindahan panas

$$h = \frac{nu.k}{Lc}$$

Keterangan;

- $h$  : Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 $nu$  : (Nusselt) rasio pindah panas  
 $k$  : Konduktifitas thermal fluida  
 $Lc$  : ( $D$ ) Diameter permukaan pipa ( $m$ )

3. Rumus: Rayleigh Number

$$Ra = \frac{g\beta(Ts - Tf)D^3}{\nu^2} Pr$$

Keterangan;

- $Ra$  : Rayleigh Number  
 $g$  : Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )  
 $\beta$  : Koefisien ekspansi volum ( $1/Tf$ ),  $1/K$   
 $Ts (T_1)$  : Temperatur dinding dalam pipa ( $^\circ C$ )  
 $Tf$  : Sifat fisis fluida pada suhu Lapisan film ( $^\circ C$ )  
 $D^3$  : Diameter permukaan pipa ( $mm$ )  
 $Pr$  : Bilangan prandtl (*property steam table*)  
 $\nu^2$  : Viskositas kinematic (*property steam table*)

4. Rumus: Sifat fisis fluida pada suhu lapisan film

$$Tf = \frac{(T^1 + T_4)}{2}$$

Keterangan;

- $Tf$  : Sifat fisis fluida pada suhu Lapisan film ( $^\circ C$ )  
 $T^1$  : Temperatur dinding dalam pipa ( $^\circ C$ )  
 $T_4$  : Temperatur isolasi aluminium foil

5. Rumus: Koefisien ekspansi volum

$$\beta = \frac{1}{Tf}$$

Keterangan;

- $\beta$  : Koefisien ekspansi volum ( $1/Tf$ ),  $1/K$   
 $Tf$  : Sifat fisis fluida pada suhu Lapisan film ( $^\circ K$ )

6. Rumus:  $nu$  (Nusselt) rasio pindah panas

$$nu = \frac{h.k}{Lc} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left\{ \frac{0,559}{Pr} \right\}^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Keterangan;

- $nu$  : (Nusselt) rasio pindah panas  
 $h$  : Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 $k$  : Konduktifitas thermal fluida  
 $Lc$  : ( $D$ ) Diameter permukaan pipa ( $m$ )  
 $Ra$  : Rayleigh Number  
 $Pr$  : Bilangan prandtl (*property Steam table*)

## 2. Metode Penelitian

### Tempat dan Waktu Penelitian

Dalam pelaksanaan studi ini, peneliti menjalankan penelitian di pabrik kelapa sawit (PKS) Turangie POM milik PT. PP. London Sumatra Indonesia, Tbk., yang memiliki kapasitas pengolahan tandan buah segar (TBS) sebanyak 45 ton per jam. Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2023, dan obyek penelitian dibagi menjadi empat bagian, yaitu:

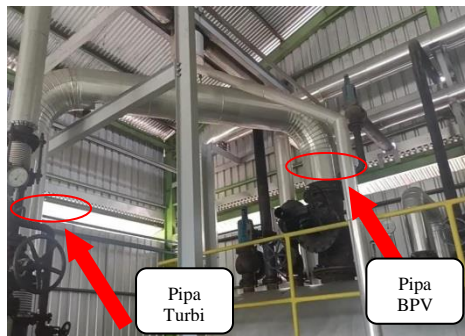
1. Thermometer turbin yang berdekatan dengan pipa output line steam menuju *back pressure vessel* (BPV).
2. Pangkal pipa *output line steam* turbin menuju *back pressure vessel* (BPV).

3. Pangkal pipa *input line steam back pressure vessel* (BPV) dari turbin.
4. Thermometer *back pressure vessel* (BPV) yang berdekatan dengan pangkal pipa *input line steam back pressure vessel* (BPV) dari turbin.

Lokasi obyek penelitian seperti ditunjukkan pada gambar 3, 4, dan 5 dibawah ini:



Gambar 3. Thermometer turbin yang berdekatan dengan pipa *output line steam* menuju *back pressure vessel* (BPV)



Gambar 4. Pangkal pipa *output line steam* turbin menuju *back pressure vessel* (BPV) dan pangkal pipa *input line steam back pressure vessel* (BPV) dari turbin



Gambar 5. Thermometer *back pressure vessel* (BPV) yang berdekatan dengan pangkal pipa *input line steam back pressure vessel* (BPV) dari turbin

## Alat dan Bahan Penelitian

### Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah;

1. Thermogun
2. Meteran Gulung
3. Jangka Sorong
4. Pipa *Line Steam* Turbin Ke BPV

### Bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah *steam*.

### Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data ini memanfaatkan beberapa referensi sebagai panduan untuk melakukan analisis data. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini melibatkan beberapa pendekatan, antara lain;

#### 1. Metode Studi Literatur

Dalam penelitian ini, metode studi literatur digunakan untuk mengumpulkan data teknis yang berkaitan dengan obyek penelitian yang terdapat dalam dokumen kontrol PT. PP. London Sumatra Indonesia Tbk Turangie Palm Oil Mill. Selain itu, penelitian ini melibatkan studi berbagai sumber referensi, seperti tesis, penelitian terdahulu, artikel jurnal, materi yang ditemukan di internet terkait pemanfaatan energi uap dalam transfer panas, potensi penggunaan energi *steam* sebagai sumber daya untuk menggerakkan turbin uap, karya ilmiah, dan literatur lain yang relevan untuk mendukung penyelidikan dan permasalahan yang akan dibahas.

#### 2. Metode kaji lapangan

Dalam metode penelitian lapangan, informasi diperoleh dengan cara mengumpulkan data secara langsung di lokasi studi. Data yang dikumpulkan meliputi:

- a. *Steam (Kg Uap/ Jam)*

- b. Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )
3. Variabel Tetap
- a. Diameter pipa *line steam* turbin ke BPV
  - b. Panjang pipa *line steam* turbin ke BPV
  - c. Ketebalan pipa dan ketebalan insulasi panas pipa *line steam* turbin ke BPV

### Teknik Analisa Data

Penelitian ini mengadopsi pendekatan analisis deskriptif kuantitatif yang berfokus pada hasil penelitian lapangan. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk data, dan data tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan rumus-rumus yang berkaitan dengan perpindahan panas melalui konveksi. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menyimpulkan permasalahan yang teridentifikasi dalam penelitian.

### Tahapan Penelitian

- a. Penggalan data penelitian yang terdapat di lokasi penelitian.
- b. Proses pemrosesan data penelitian yang diperoleh dengan memanfaatkan formula atau ekspresi matematis.
- c. Evaluasi data penelitian yang diperoleh.
- d. Deduksi kesimpulan dari temuan yang dihasilkan dalam penelitian yang telah dijalankan.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

Manfaat uap dalam industri sangat beragam dan penting karena memiliki sifat panas tinggi, kemampuan perpindahan panas yang efisien, serta kapabilitas untuk menghasilkan energi mekanis melalui turbin dan mesin uap. Industri pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit, seperti pabrik kelapa sawit (PKS), merupakan salah satu contoh industri yang mengubah TBS menjadi *crude palm oil* (CPO) atau minyak mentah kelapa sawit. Penggunaan uap adalah bagian integral dari operasional PKS, dihasilkan melalui pemanasan air dengan

bantuan *boiler*. Uap yang dihasilkan dari *boiler* ini dialirkan melalui jaringan pipa ke turbin, yang berfungsi sebagai sumber energi listrik dalam PKS. Uap bekas dari turbin disimpan dalam wadah yang disebut *back pressure vessel* (BPV) sebelum dialirkan ke berbagai stasiun yang membutuhkan uap dalam proses pengolahan di PKS.

Meskipun uap memiliki banyak keunggulan, seperti kehandalan dalam menyediakan energi, uap juga memiliki kelemahan. Salah satunya adalah kemampuannya untuk kehilangan panas dengan cepat. Upaya telah dilakukan untuk mengurangi kerugian energi panas, termasuk melalui penggunaan isolasi pipa uap. Analisis isolasi pipa uap dilakukan untuk mengurangi kerugian energi panas dengan membandingkan efektivitas isolasi dan menganalisis dampak kerusakan isolasi pada energi panas yang hilang.

Sebelum mencari besarnya kehilangan panas secara konveksi pada saluran setam (pipa) dari turbin menuju BPV kita harus mengetahui tentang data-data dari pipa yang dipakai.

Material yang digunakan dalam pipa yang menghubungkan turbin ke *back pressure vessel* (BPV) di pabrik kelapa sawit (PKS) Turangie Palm Oil Mill adalah A335-P11, yang sesuai dengan standar ASME dan sering disebut sebagai pipa baja tanpa sambungan *chrome moly* (*seamless chrome moly alloy steel*) karena mengandung chromium dan molybdenum. Kehadiran kedua unsur ini membuat pipa mampu menahan suhu tinggi hingga mencapai  $510^{\circ}\text{C}$ . Selain mempertimbangkan jenis material, penting juga untuk memperhitungkan ketebalan pipa agar sesuai dengan tekanan operasional PKS. Tiap pipa memiliki ketebalan yang berbeda tergantung pada *schedule* (SCH) yang digunakan. Contohnya, untuk pipa berdiameter 24,52" dengan *schedule* 80, ketebalan pipa distribusi adalah sekitar 8 mm. Informasi lebih lanjut mengenai pipa yang menghubungkan turbin ke BPV

terdapat dalam Tabel 1. yang akan memberikan informasi detail tentang karakteristik pipa steam yang mengalir dari turbin menuju back pressure vessel (BPV).

Tabel 1. Tabel data saluran pipa distribusi steam turbin ke BPV

Type	Schedule
Diameter	80
Pipa	24,48 Inch = 0,622 m
Ketebalan	8 mm =
Pipa	0,008 m
Panjang	7,52 m
Pipa	62,5 mm =
Rockwool	0,0625 m
Insulating	3 mm =
Aluminiu m Foil	0,003 m

Dengan memiliki data mengenai pipa dan kondisi lapisan isolasi termal pada pipa yang menghubungkan turbin ke *back pressure vessel* (BPV), peneliti dapat melakukan perhitungan perpindahan panas melalui konveksi. Ini akan membantu dalam mengevaluasi permasalahan penelitian seperti yang tercantum di bawah ini:

1. Apa sebab terjadinya kehilangan panas pada jalur pipa line steam turbin menuju BPV?
2. Apa tindakan yang efektif untuk memperbaiki situasi dan mengatasi kerugian yang disebabkan oleh penurunan panas?

### **Pembahasan Kehilangan Panas Konveksi**

Dalam perjalanan uap melalui pipa *line* dari turbin ke BPV, perhatian yang serius harus diberikan pada masalah kerugian panas. Para peneliti telah melakukan pengamatan langsung di lapangan, mengukur jarak pipa line steam dari turbin ke BPV sejauh 7,52 meter. Awalnya, suhu panas pada bagian luar pipa *output* dari turbin adalah 63,7<sup>0</sup>C, namun ketika sampai pada pipa *line input* BPV, suhu panas pada bagian luar pipa tersebut telah turun menjadi 59<sup>0</sup>C. Saat uap

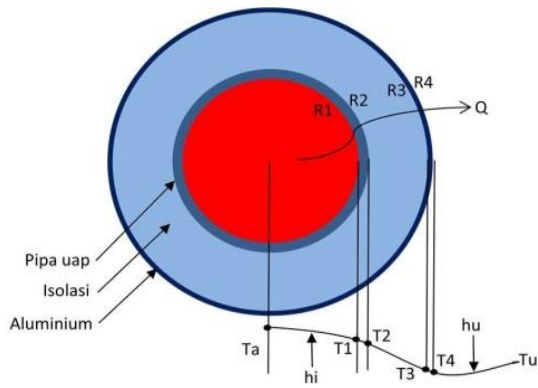
didistribusikan, energi termalnya dapat hilang, terutama karena terjadi perpindahan panas melalui radiasi dari pipa distribusi ke lingkungan sekitar. Kehilangan panas ini berhubungan dengan entalpi penguapan dan entalpi laten uap superpanas. Setelah kehilangan entalpi ini, uap akan mengalami perubahan fase menjadi cairan atau kondensat. Hal ini memiliki potensi untuk mengurangi efisiensi sistem, meningkatkan biaya operasional, dan dapat berdampak pada kinerja keseluruhan sistem.

Kehilangan panas dalam pipa *line* uap terjadi melalui dua mekanisme utama: radiasi dan konveksi. Radiasi adalah pengiriman panas melalui sinar panas yang dipancarkan dari permukaan pipa, sedangkan konveksi terjadi ketika panas diserap oleh udara sekitar pipa. Semakin tinggi suhu uap, semakin besar kerugian panas yang terjadi.

Pipa yang tidak memiliki isolasi atau memiliki isolasi yang buruk dapat mengalami kerugian panas yang signifikan. Ini terjadi karena panas yang dihasilkan oleh uap akan tersebar ke lingkungan sekitarnya, mengakibatkan penurunan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Kerugian panas dalam pipa *line* uap dapat bertambah seiring berjalannya waktu jika tidak ada pemantauan dan perawatan yang tepat. Keausan isolasi atau kerusakan pada pipa dapat memperburuk situasi.

Pada gambar 6. Digambarkan pipa beserta lapisan perlindungan termalnya, yang berfungsi sebagai representasi visual untuk membantu penulis dalam menyajikan perhitungan kerugian uap pada jalur distribusi dan penulis juga berusaha untuk menghitung perpindahan panas secara konveksi dengan mengintegrasikan data yang sudah tersedia agar mengetahui berapa kehilangan panas dan kerugian yang disebabkan karena akibat kehilangan panas secara konveksi ini.



Gambar 6. Ilustrasi Pipa Steam

- d1 = 622 mm = 0,622 m
- d2 = 8 mm = 0,008 m
- d3 = 62,5 mm = 0,0625 m
- d4 = 3 mm = 0,003 m
- k1 = Kond. Termal pipa = 50 kkal/m.jam°C
- k2 = Kond. Termal isolasi = 0,075 kkal/m.jam°C
- k3 = Kond. Termal isolasi = 0,075 kkal/m.jam°C
- k4 = kond. Termal Aluminium = 150 kkal/m.jam°C

Keterangan;

- d1: Diameter Pipa
- d2: Ketebalan Pipa
- d3: Ketebalan Isolator 1 (Rockwool Insulation)
- d4: Ketebalan Isolator 2 (Aluminium Foil)
- K1: Konduktifitas Thermal Pipa
- K2: Konduktifitas Thermal Isolasi 1
- K3: Konduktifitas Thermal Isolasi 2
- K4: Konduktifitas Thermal Isolasi 3

Perhitungan kehilangan panas secara konveksi dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_{konv} = hA(T_s - T_f)$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A = \frac{3,14}{4} 0,622^2 = 0,303704$$

$$h = \frac{nu \cdot k}{Lc}$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_f)D^3}{v^2} Pr$$

$$Lc = D$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$Tf = \frac{(T^1 + T_4)}{2}$$

$$Tf = \frac{(155 + 59)}{2}$$

$$Tf = 107^\circ C = 380,15^\circ K$$

$$\beta = \frac{1}{Tf}$$

$$\beta = \frac{1}{380,15^\circ K} = 0,00263054$$

Berdasarkan tabel steam properti pada suhu 380,15 °K uap memiliki:

$$pr = 0,689$$

$$k = 0,03365$$

$$v = 25,90 \times 10^{-6}$$

$$Cp = 1,0140$$

Sehingga

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_f)D^3}{v^2} Pr$$

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,00263054 (155 - 59) \times (0,622)^3}{(25,90 \times 10^{-6})^2} 0,689$$

$$611692374 \frac{68730282}{106953125}, \approx 6,11 \times 10^8$$

$$Ra = 6,11 \times 10^8$$

$$nu = \frac{h \cdot k}{Lc} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left\{ \frac{0,559}{Pr} \right\}^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$nu = \frac{h \cdot k}{Lc} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387(6,11 \times 10^8)^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left\{ \frac{0,559}{0,689} \right\}^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$nu = \frac{h \cdot k}{Lc} = 98,7$$

$$h = \frac{nu \cdot k}{Lc}$$

$$h = \frac{98,7 \times 0,03365}{0,622}$$

$$h = 5,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Jadi

$$Q_{konv} = hA(T_s - T_f)$$

$$Q_{konv} = 5,33 \cdot 0,303704 \cdot (155 - 59)$$

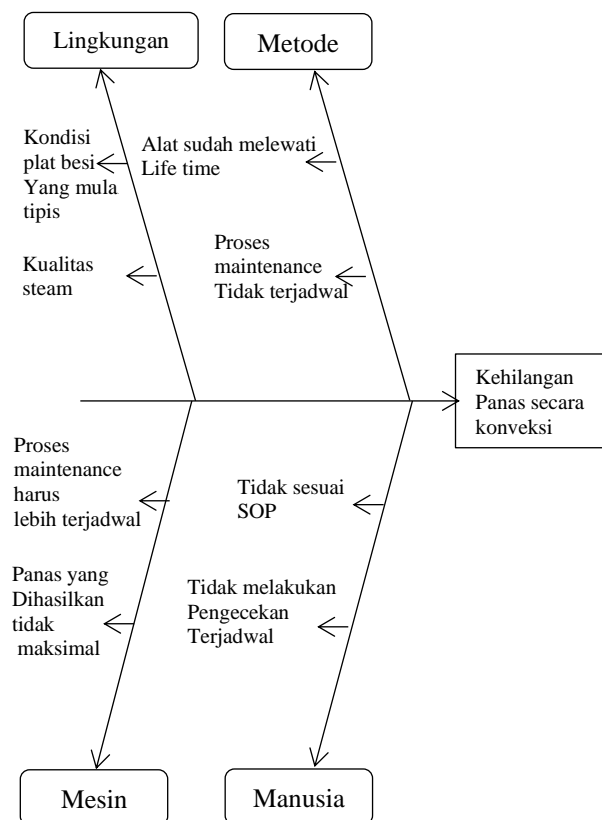
$$Q_{konv} = 155,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Jadi jumlah panas yang hilang adalah  $155,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ . Jika kita bandingkan ke kalori kehilangan panas perjam, 1 watt/meter<sup>2</sup> K sama dengan 0.85985 kilokalori (IT)/jam meter<sup>2</sup> °C. Jadi dalam satu jam jumlah kalori kehilangan panas pipa dari turbin menuju BPV sebanyak 133,61 kilokalori (IT)/jam meter<sup>2</sup> °C.

Dalam perjalanan uap melalui pipa line dari turbin ke BPV, perhatian yang serius harus diberikan pada isu terkait kehilangan panas. Tim peneliti telah melakukan survei lapangan yang komprehensif, dengan mengukur jarak pipa *line steam* dari turbin ke BPV sepanjang 7,52 meter. Pada awalnya, suhu panas pada bagian luar pipa output dari turbin mencapai  $63,7^{\circ}\text{C}$ , namun ketika mencapai pipa line input BPV, suhu panas pada bagian luar pipa tersebut telah turun menjadi  $59^{\circ}\text{C}$ . Dengan

jarak 7,52 meter kehilangan panas terdapat penurunan  $4,7^{\circ}\text{C}$ . Ini diukur dalam pipa yang cukup terbilang bagus dan sedikit kerusakan, karena kondisi PKS yang cukup terbilang bagus. Jika pada PKS yang kondisi pelindung panasnya banyak yang sudah terbuka, dan pipa pada *line steam* yang banyak bocor kehilangan panas juga semakin besar dalam pendistribusian steam ke stasiun stasiun yang membutuhkan steam dalam proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi CPO.

Untuk mencapai hasil analisis yang mendalam sesuai dengan tujuan penelitian ini, diperlukan penggunaan alat-alat yang relevan dengan data yang telah berhasil dikumpulkan. Hal ini sangat penting agar kita dapat dengan lebih jelas mengidentifikasi faktor-faktor yang menjadi penyebab kerusakan yang signifikan. Mari kita bahas lebih lanjut mengenai identifikasi penyebab kehilangan panas pada pipa *line steam* turbin menuju BPV yang telah dibagi menjadi empat kategori utama yang bisa kita lihat pada gambar 7 sebagai berikut;



Gambar 7. Identifikasi Kehilangan Panas Secara Konveksi

a. Dalam rangka mencapai kualitas kerja yang optimal dalam setiap tahapan proses, keberadaan pengawasan memegang peran sentral. Pengawasan ini bukan hanya bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana kemampuan dan ketaatan peraturan karyawan, tetapi juga untuk memastikan bahwa setiap tindakan yang diambil oleh pekerja dapat tersinkronisasi dengan harmoni yang sempurna. Dalam konteks ini, perlu ditekankan bahwa hasil pengamatan saat ini menunjukkan kekurangan dalam sistem pengawasan yang diterapkan oleh pihak perusahaan.

b. Mesin

*Preventive maintenance* adalah salah satu strategi yang sangat penting dalam upaya mempertahankan performa mesin agar selalu beroperasi pada tingkat optimal. Dalam rangka mencapai tujuan ini, perlu dilakukan pemantauan dan pemeliharaan secara berkala. Namun, hasil observasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pelaksanaan *preventive maintenance* saat ini kurang efektif, dan ini tampak jelas dalam berbagai aspek, seperti jadwal *maintenance* yang tidak optimal dan seringkali masalah dalam pasokan *spare part* yang diperlukan saat proses perawatan [11].

c. Metode

Tentukan waktu pemasangan yang optimal dalam proses produksi menjadi salah satu elemen yang sangat krusial. Dalam upaya mencapai efisiensi dan hasil yang sesuai dengan target yang telah ditetapkan, pengaturan standar waktu pengerjaan menjadi hal yang tidak bisa diabaikan. Dengan adanya standar waktu yang telah ditetapkan, kita dapat mengarahkan usaha kita menuju pencapaian target sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan [12].

d. Lingkungan

Dalam konteks proses pengolahan, keberlanjutan operasional alat dan peralatan merupakan faktor kunci dalam mencapai hasil yang optimal. Oleh karena itu, tindakan perawatan sebelum dan setelah setiap pekerjaan harus diutamakan untuk memastikan bahwa alat tersebut tetap dalam kondisi prima. Hal ini sangat penting guna memastikan bahwa pekerjaan dilakukan dalam lingkungan yang bersih dan nyaman, yang pada gilirannya akan meningkatkan efisiensi serta kenyamanan kerja.

**Alternatif Solusi**

Kehilangan panas, tanpa diragukan lagi, merupakan salah satu aspek yang berpotensi menimbulkan sejumlah kerugian yang signifikan, yang berkisar dari menurunnya kualitas hasil produksi hingga penggunaan bahan bakar yang berlebihan untuk memenuhi kebutuhan produksi. Oleh karena itu, pengurangan kehilangan panas, terutama yang terjadi melalui proses konveksi, adalah salah satu prioritas utama dalam menjaga efisiensi operasional [13].

Dalam upaya untuk meminimalisir dampak negatif dari kehilangan panas akibat konveksi, kita dapat menerapkan berbagai strategi yang telah terbukti efektif. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi kehilangan panas ini adalah sebagai berikut ;

- a. Menjaga suhu pada saat pembakaran *boiler* tetap stabil merupakan salah satu kunci utama dalam mengatasi potensi konveksi. Dengan menjaga suhu saat pembakaran boiler dalam kondisi yang optimal, kita dapat meminimalkan potensi perubahan panas yang dapat mengakibatkan konveksi yang tidak diinginkan.
- b. Pemeriksaan yang cermat terhadap seluruh sistem saluran distribusi juga menjadi faktor penting dalam mengurangi kehilangan panas. Pastikan

bahwa saluran distribusi berfungsi dengan baik dan tidak mengalami kebocoran yang dapat menyebabkan kehilangan panas yang signifikan.

- c. Tindakan pemeriksaan dan perbaikan berkala sangat penting dalam menjaga integritas sistem. Dengan melakukan pemantauan rutin dan perbaikan yang diperlukan, kita dapat mengidentifikasi dan mengatasi kerusakan secara dini, yang akan menghindarkan kerugian yang lebih besar di masa depan.

Dengan menerapkan langkah-langkah ini, kita dapat mengoptimalkan efisiensi operasional, meningkatkan kualitas hasil produksi, dan mengurangi biaya operasional yang tidak perlu. Ini adalah langkah yang sangat berharga dalam menjaga keberlanjutan dan kesuksesan dalam dunia industri.

#### 4. Kesimpulan

Kehilangan uap panas yang terjadi disebabkan oleh laju perpindahan panas yang berlangsung secara serentak di dalam jalur distribusi tersebut. Hal ini merupakan salah satu aspek yang sangat penting untuk dipahami dengan mendalam, karena kerugian uap ini dapat memiliki dampak yang signifikan pada kinerja sistem secara keseluruhan.

Penurunan suhu yang cukup mencolok terjadi sebagai akibat dari perubahan fase yang terjadi.

Pemasangan lapisan pelindung panas (*insulation*) di sepanjang jalur distribusi merupakan langkah terbaik dalam menjaga agar tidak terjadi kehilangan panas. Meskipun demikian, steam memiliki sifat unik yang membuatnya rentan terhadap perpindahan panas, seperti konduksi, konveksi, dan radiasi. Ini mengakibatkan.

#### Referensi

- [1] A. Yani dan R. Ristyohadi, "Analisis Kehilangan Steam Dan Penurunan

Temperatur Pada Jaringan Distribusi Steam Dari Pt. Kdm Ke Pt. Kni," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 123–135, 2017, doi: 10.24127/trb.v6i2.558.

- [2] Abdul Latif, "Analysis of the Work Performance of the Sterilizer of Crude Palm Oil Jenis-Jenis Sterilizer," vol. 6, no. 1, pp. 39–50, 2022.

- [3] S. Aisyah, dkk. Pratama, "Analisa Head Losses pada Diameter Pipa terhadap Terbentuknya Kavitasi Pompa," *JTEP J. Keteknikan Pertan.*, vol. 9, no. 1, pp. 17–22, 2021.

- [4] U. M. Area, "Analisis Pengaruh Unjuk Kerja Air Priheater Skripsi Oleh: Syah Rinal Efendi Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan Skripsi Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas M," 2021.

- [5] A. Muh Syaifullah, "Proses pengolahan kelapa sawit PT Perkebunan Nusantara XIV unit usaha PKS Luwu," 2021.

- [6] M. T. Nizya Mukti Pratama dan Danial, "Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Dengan Menggunakan Metode Langsung," *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 105–110, 2021.

- [7] D. I. Pt, A. S. N. Agro, and S. Nusantara, "Analisa Kebutuhan Steam Di Stasiun Sterilizer Dengan Sistim Perebusan 90 Menit Di PT.ASN (Agro Sinergi Nusantara)," *J. Mhs. ...*, vol. 1, no. 1, pp. 96–103, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.utu.ac.id/JMM/article/view/5799>

- [8] I. B. Rahardja, dkk, "Pengaruh Penggunaan Boiler 20 Ton Uap / Jam Terhadap Kenaikan Kapasitas Pabrik 40 Ton / Jam Pabrik Minyak Kelapa Sawit ( Pmks ) Xyz," *J. Teknol. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, vol. 13, no. 2, pp. 227–236, 2021.

- [9] B. Santoso, dkk, “Perhitungan Debit Uap Boiler dan Ketercapaian Kebutuhan Uap Pabrik Kapasitas 45 Ton/Jam,” *J. Citra Widya Edukasi Vol XI*, vol. XI, no. 1, pp. 143–150, 2019.
- [10] M. Saputra, dkk, “Efektivitas Perawatan Unit Boiler: Studi Kasus Di Pt. Beurata Subur Persada,” *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, p. 70, 2020, doi: 10.35308/jmkn.v6i1.2311.
- [11] B. S. Sinaga, dkk, “Analisa Realibility dan Maintainability Pada Mesin Screw Press Dengan Menggunakan Metode Distribusi Normal Di Pabrik Kelapa Sawit Realibility and Maintainability Analysis Of Screw Press Machines With Normal distribution Methods In Palm Oil Mill,” *Penelit. Agro Fabr.*, 2008.
- [12] M. R. Tarigan dan G. Supriyanto, P. Studi, T. Pertanian, and F. T. Pertanian, “Analisis Kualitas Air dan Pemakaian Air pada Water Tube Boiler di Pabrik Kelapa Sawit,” vol. 1, pp. 663–671, 2023.
- [13] Z. Ulum, et al, “An introduction of scada-based based back pressure vessel (BPV) at palm oil factory with biomass energy,” *J. Phys. Conf. Ser.*, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1811/1/012046.