

## **ANALISIS PENURUNAN SISTEM KOMPRESOR PADA PEMBANGKIT PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA, TBK. KALIMANTAN SELATAN**

**Ilham Arif Firmansah<sup>1)</sup>, Aqli Mursadin<sup>2)</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat  
Jl. Akhmad Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan,  
70714 Telp. 0511 – 4773858  
email: ilham.firmansyah512@gmail.com

### ***Abstract***

*Supply of compressed air has an important role in continuity of operation power plant, failures that occur in operation of engine in this unit can affect all plant operations that can result in decreased production levels. To determine the magnitude of loss of pressure or energy loss lost in pressurized air piping system at plant located in PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk. Tarjun Plant-12. Evaluation of pressure reduction losses in the air system is focused on losses caused by system leakage and pressure drops in the distribution lines caused by several factors including friction in straight pipes, bends, fittings, reducers and existing components, and knowing the loss of costs due to compressor pressure drop. The pressure drop in the pipe is very dependent on pipe diameter, besides distance and supporting components on piping system also affect the pressure drop. Based on calculation, there was a decrease in pressure of 1603660,895 Pa, from pressure drop caused by friction of straight pipe and connection and actual condition of pipe surface which was likely to have been corroded, making surface rough. system decline that occurred in the compressor resulted in a loss of operational costs of 5,760,451 rupiah / week.*

***Keywords:*** *Pressure Drop, Head Losses Mayor, Head Losses Minor, Compressor*

### **PENDAHULUAN**

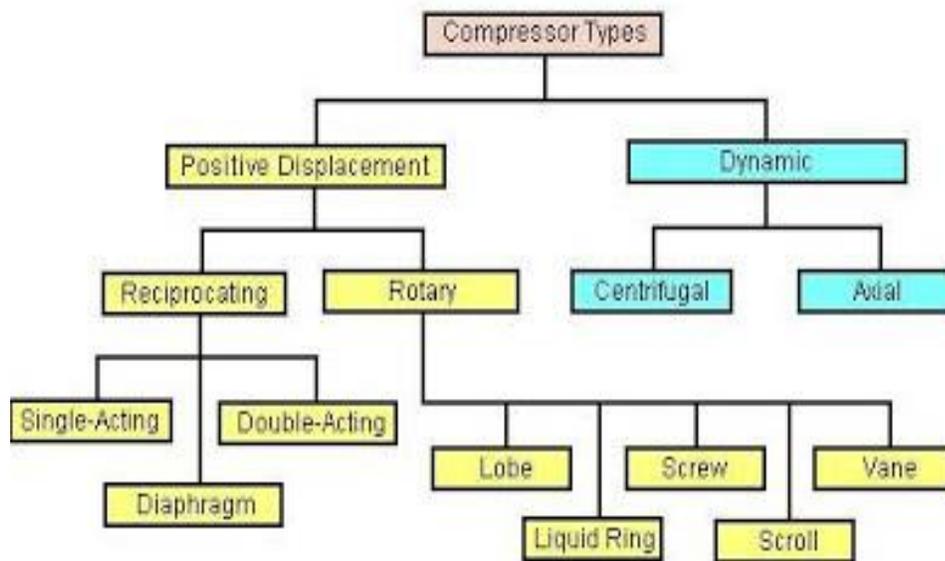
Suplai udara kompresi mempunyai peranan penting dalam kelangsungan operasi PLTU, kegagalan yang terjadi dalam pengoprasian mesin di unit ini dapat mempengaruhi seluruh kegiatan operasional pabrik yang dapat mengakibatkan tingkat produksi menurun. Kompresor udara merupakan alat pendukung pada sebuah pembangkit listrik bertenaga uap, guna menyuplai kebutuhan udara bertekanan pada *instrument air* dan *plant air*. Pada kondisi di lapangan dalam penyaluran sistem udara, pada pembangkit di perusahaan yang diteliti sering terjadi kurangnya tekanan udara yang diperlukan pada beberapa unit *instrument air* dan *plant air* yang dapat menyebabkan unit pembangkit mengalami *trip* sehingga akan mengganggu kinerja pada pembangkit tersebut. Maka berdasarkan masalah tersebut dapat dilakukan analisis tentang *pressure drop* pada *air instrument* dan *air plant* dengan menghitung jarak serta diameter pada sistem penyalur udara bertekanan serta menganalisa kerugian biaya yang disebabkan oleh penuruna tekanan udara di PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk. P-12 Tarjun.

### Penurunan Tekanan

Penurunan tekanan diakibatkan oleh gesekan resistensi pada aliran fluida yang mengalir. Hal utama resistensi pada aliran fluida yaitu pada kecepatan fluida yang melalui pipa dan nilai viskositas fluida tersebut. *Pressure drop* mengalami peningkatan selaras dengan pergesekan fluida pada jaringan pipa serta akibat dari material pipa yang memiliki nilai kekasaran yang relatif tinggi, banyaknya jumlah dan jenis sambungan pada pipa. Konvergensi pada sebuah tabung, divergensi dan kekasaran pada permukaan pipa serta sifat-sifat fisik lainnya akan mengakibatkan penurunan tekanan pada fluida. Kecepatan aliran tinggi atau nilai viskositas fluida yang tinggi akan mengakibatkan penurunan tekanan yang relatif besar pada pipa, berbagai jenis katup maupun siku-siku, kemudian kelajuan aliran yang rendah akan mengakibatkan penurunan tekanan yang relatif rendah.

### Kompresor

Kompresor adalah mesin mekanik yang bekerja untuk memproduksi udara bertekanan. Kompresor bekerja dengan cara mengumpulkan udara dari atmosfer yang kemudian dihisap untuk menghasilkan udara bertekanan yang digunakan sesuai dengan kebutuhan proses pada sebuah industri. Terdapat 2 jenis kompresor berdasarkan kompresinya yaitu kompresor dengan pemindahan positif (*positive displacement compressor*) dan kompresor dinamis (*dynamic compressor*). Jenis-jenis



kompresor dapat ditinjau pada Gambar 1.

Gambar 1. Jenis-Jenis Kompresor

### Kompresor Jenis Pemindahan Positif (*Positive Displacement Compressor*)

Kompresor jenis ini bekerja dengan memberikan tekanan udara. Gaya yang diberikan akan mengakibatkan tekanan pada udara yang keluar naik. Kemudian

kompresor ini dibagi menjadi dua jenis diantaranya : kompresor torak (*reciprocating compressor*) serta kompresor putar (*rotary compressor*).

1. Kompresor piston (*Reciprocating compressor*)

jenis ini memiliki dua jenis katup yaitu katup hisap dan katup tekan. Katup hisap berfungsi sebagai pintu masuk udara keruang kompresi. Setelah dikompresi udara akan diarahkan ke katup tekan.

2. Kompresor Putar (*Rotary Compressor*)

Kompresor jenis ini dapat memproduksi tekanan udara relatif tinggi, kompresor ini menghasilkan vibrasi yang relatif kecil dan menghasilkan keluaran yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kompresor piston. Disebabkan karena sudu-sudu putar kompresor yang merupakan gerakan bolak-balik, memiliki massa yang lebih kecil dari pada kompresor torak. Kemudian pada kompresor putar tidak memerlukan *valve* (Hanlon , 2001).

### **Kompresor Dinamik (*Dynamic Compressor*)**

Kompresor ini bekerja dengan cara memindahkan energi pada *impeller* dengan dasar pembelokan aliran sehingga energi kinetik dalam kompresor akan bertambah seiring dengan pertambahan kecepatan pada alirannya. Kompresor jenis ini dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu kompresor dengan *Sentrifugal* dan *axial*.

1. Kompresor Aksial (*Axial Compressor*)

Jenis ini memanfaatkan aliran udara paralel terhadap sumbu putar. Kompresor ini tersusun dari beberapa tingkat *impeller*, beberapa tingkat itu disebut dengan rotor yang dihubungkan dengan poros sentral yang berputar dengan kecepatan tinggi.

2. Kompresor *Sentrifugal*

Jenis *sentrifugal* adalah kompresor yang masuk dalam kategori kompresor dinamis. Cara kerja dari kompresor ini bergantung pada energi masukan dalam *impeller*. Kompresor udara *sentrifugal* menggunakan media pendingin air. Kompresor *sentrifugal* lebih sesuai jika diterapkan pada industri yang memiliki kapasitas yang lebih besar. Kompresor jenis ini digunakan pada industri semen di PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk. P-12 Tarjun, di bagian power plant untuk menyuplai udara bertekanan menuju unit atau bagian-bagian yang membutuhkan udara bertekanan sebagai *instrument air system* dan *plant air system*. Kompresor udara ini menggunakan penggerak dari putaran motor listrik.

### **Kerugian Sistem**

Kerugian yang terjadi dalam sistem perpipaan dapat terjadi pada tekanan atau aliran fluida yang didistribusikan. ini dapat diakibatkan adanya kebocoran dalam sistem atau dipengaruhi oleh desain pada sistem tersebut (jarak pipa, lekukan, sambungan / fitting, dll.).

### **Kebocoran Sistem**

Kebocoran sistem adalah sumber terbesar pemborosan energi selain kebocoran juga dapat berkontribusi pada beban produksi. Kebocoran mengakibatkan penurunan

sistem, yang mengganggu fungsi peralatan udara sehingga kurang efisien, mempengaruhi produksi. Saat sistem memiliki kebocoran yang signifikan, itu dapat menyebabkan beban kompresor lebih besar jadi ketika terjadi beban (pemuatan penuh) dapat mengalami peningkatan, secara otomatis pemakaian daya listrik akan menjadi lebih tinggi. kemudian, peningkatan waktu operasi dapat juga mengakibatkan peningkatan untuk perawatan kompresor.

Untuk mengetahui persentase dan laju aliran udara yang terbuang karena kebocoran sistem, dapat kita lakukan pengujian dengan cara berikut:

1. Mematikan peralatan yang memakai suplai udara bertekanan.
2. Nyalakan mesin dari kompresor, tunggu hingga stabil.
3. Catat waktu rata-rata yang diperlukan kompresor saat load dan unload.

Data yang didapat untuk mengetahui presentasi dari flowrate udara yang terbuang menggunakan rumus di bawah:

$$\text{Leakage}(\%) = \frac{(T \times 100)}{(T + t)} \quad (1)$$

$$Q \text{ loss} = \frac{Q \times T}{T + t} \quad (2)$$

di mana T adalah waktu *loading* (s), t adalah waktu *unloading* (s), Q adalah kapasitas kompresor ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), dan Q loss adalah flowate terbuang ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (Abdul Hamid, 2012).

### Penurunan Pada Sistem Pemipaan

Penurunan sistem perpipaan merupakan tingkat kehilangan energi yang besar yang bisa mengurangi tekanan aliran fluida pada penyalur. Umumnya, kehilangan sistem disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk hilangnya tekanan dalam sistem perpipaan merupakan tingkat kehilangan energi yang besar yang dapat mengakibatkan menurunnya tekanan aliran fluida di pemipaan. Secara umum, dua factor yang dapat menyebabkan kehilangan sistem, di antaranya:

1. Gesekan pada permukaan penyalur (*Head losses mayor*).
2. Sambungan pipa, belokan pipa dan perubahan diameter pipa (*Head losses minor*).

### Rugi-rugi Mayor

Kehilangan tekanan mayor merupakan kerugian yang dikarenakan gesekan fluida yang mengalir pada dinding pipa pada jaringan penyalur lurus. Bentuk aliran fluida dalam pipa dipengaruhi oleh angka reynolds, antara lain:

$$\text{Re} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (3)$$

di mana v adalah laju fluida ( $\text{m/s}$ ),  $\rho$  densitas pada fluida ( $\text{kg/m}^3$ ), D adalah diameter penyalur (m) dan  $\mu$  adalah viskositas dinamik fluida ( $\text{N.s/m}^2$ ) (Abdul Hamid, 2012). ada tiga macam jenis aliran berdasarkan bilangan Reynold.

1. Aliran berjenis laminar, Re kurang dari 2300.

2. Aliran berjenis transisi, Re lebih dari 2300 namun kurang dari 4000.
3. Aliran berjenis turbulen, Re lebih dari 4000.

Perhitungan untuk menyatakan nilai densitas fluida pada penyalur dapat dicari dengan rumus berikut,

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (4)$$

di mana P adalah tekanan alat ukur + tekanan atm (Pa), R adalah konstanta gas (287J/kg K) dan T merupakan temperatur mutlak (K) (Abdul Hamid, 2012).

Laju fluida (V) dalam *Reynold* dihitung dengan memakai rumus berikut:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

di mana Q merupakan *flowrate* (m<sup>3</sup>/s), A merupakan luas dari penampang (m) dan V adalah laju fluida (m/s) (Abdul Hamid, 2012).

Penurunan sistem akibat gesekan pada penyalur disebabkan oleh faktor gesekan pada dinding penyalur ditunjukkan oleh nilai (f). Faktor gesekan (f) dihitung melalui diagram Moody, terlebih dahulu nilai kekasaran relatif harus diketahui lebih awal. Kekasaran relatif dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Relative roughness} = \frac{e}{D} \quad (6)$$

di mana *e* adalah nilai roughness (dilihat pada tabel pipa roughness) dan D adalah diameter pipa (Abdul Hamid, 2012).

Sehingga hilangnya tekanan (*pressure loss*) mayor menurut Darcy-Weisbach, dapat dihitung memakai rumus di bawah:

$$\Delta p = f \times \rho \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2} \quad (7)$$

di mana  $\Delta p$  adalah kehilangan tekanan mayor (Pa), f adalah friction factor (Moody Diagram), L adalah panjang penyalur (m), D adalah diameter penyalur (m), V adalah laju fluida (m/s) dan  $\rho$  adalah densitas udara (kg/m<sup>3</sup>) (Abdul Hamid, 2012).

#### **Kerugian Minor (*minor preassure loss*)**

Kerugian minor merupakan kehilangan tekanan dipengaruhi oleh sambungan penyalur seperti *valve* (katup), tikungan (siku), filter (saringan), percabangan (tee), kehilangan di pintu masuk, kehilangan pada poros, pembesaran dari pipa (ekspansi), reduksi pipa (kontraksi) dan sebagainya.

Kerugian minor akibat lekukan dapat dicari memakai rumus berikut:

$$\Delta p = k \times \rho \times \frac{V^2}{2} \quad (8)$$

di mana  $\Delta p$  adalah kehilangan tekanan minor (Pa),  $k$  adalah koefisien pada hambatan,  $V$  adalah kecepatan pada fluida (m/s) dan  $\rho$  adalah densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ) (Abdul Hamid, 2012).

### **Penurunan Total Sistem Penyalur**

Penurunan total pada penyalur disebabkan karena jalur distribusi pipa dihitung dengan menambahkan kerugian mayor dan kerugian minor. Rumusnya adalah seperti di bawah ini:

$$\Delta p \text{ total penyalur} = \Delta p \text{ mayor} + \Delta p \text{ minor} \quad (9)$$

di mana,  $\Delta p$  total pemipaan adalah jumlah penurunan tekanan keseluruhan (Pa),  $\Delta p$  mayor adalah hasil perhitungan mayor (Pa), dan  $\Delta p$  minor adalah hasiln perhitungan minor (Pa) (Abdul Hamid, 2012).

### **Kerugian Sitem Akibat Komponen**

Selain penurunan mayor yang diakibatkan karena gesekan dalam penyalur dan penurunan minor yang diakibatkan alat kelengkapan pada penyalur. Kerugian juga dapat diakibatkan beberapa alat pendukung sistem, seperti sebelum maupun sesudah filter dan pengering udara. Kerugian yang diakibatkan komponen-komponen ini berpengaruh signifikan, ketika kondisi alat tidak bagus seperti filter tidak diganti karena adanya partikel penyumbat dan pada pengering udara.

### **Kerugian Sistem Total**

Jadi total kerugian sistem pada perpipaan udara terkompresi adalah jumlah dari penurunan mayor, penurunan minor dan kehilangan komponen. Sehingga total kerugian dalam sistem dapat dihitung memakai rumus di bawah ini:

$$\Delta p \text{ total} = \Delta p \text{ mayor} + \Delta p \text{ minor} + \Delta p \text{ komponen} \quad (10)$$

di mana  $\Delta p$  adalah penurunan total (Pa),  $\Delta p$  mayor adalah penurunan mayor (Pa),  $\Delta p$  minor adalah penurunan minor (Pa) dan  $\Delta p$  komponen adalah kerugian komponen (Pa) (Abdul Hamid, 2012).

### **Kerugian Biaya Akibat Penurunan Tekanan**

Kerugian biaya merupakan kerugian yang diakibatkan hilang atau turunnya tekanan yang berdampak terhadap biaya penggunaan kompresor. Adapun rumusan perhitungan kerugian biaya sebagai berikut:

$$\text{cost of electricity} = \left( \frac{\Delta p}{0.1} \right) \times V \times Rh \times 0.35 \times 0.007 \times Ce \quad (11)$$

di mana  $V$  adalah kapasitas kompresor (L/s),  $\Delta p$  adalah kerugian total (bar),  $Rh$  adalah *average compressor running hour/week (hour/week)* dan  $Ce$  adalah *cost of electricity (Rp/kWh)*, (Atlas Copco, *install air calculation*).

## **METODOLOGI PENELITIAN**

Merupakan metode atau langkah dengan tahapan yang jelas, disusun dengan cara sistematis saat kegiatan penelitian. Setiap tahap menentukan tahap selanjutnya maka harus dilakukan sangat cermat.

### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan mulai tanggal 24 April - 24 Mei 2019 dengan tempat pengambilan data dari *Utility Operation Dept* di PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk P-12 Tarjun, Kotabaru, Kalimantan Selatan.

### **Objek Penelitian**

Guna memperoleh data menggunakan objek penelitian pada PLTU PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk P-12 Tarjun adalah sebagai berikut:

1. *Computer Control Room* PLTU PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk P-12 Tarjun sebagai parameter yang diamati.
2. Sistem pemipaan pada kompresor di PLTU PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk P-12 Tarjun.

### **Studi Literatur**

Teori dan cara penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan yang berkaitan pada masalah yang diperoleh disajikan untuk dasar pada tahap selanjutnya, literatur dilakukan dengan mempelajari teori-teori yang digunakan untuk memperoleh penelitian yang ingin dicapai. literatur yang digunakan pada PLTU dan sistem kompresor diperoleh dari sumber beberapa buku dan jurnal yang diperoleh di internet.

### **Metode Pengumpulan Data**

Prosedur pengumpulan data dan standar sistematis agar mendapatkan data yang diinginkan. Dalam proses mengumpulkan atau pengambilan data, data yang diambil adalah data sekunder dan beberapa data primer diamati langsung dari peneliti.

Dikumpulkannya data digunakan untuk mengolah data, adapun data yang diteliti diantaranya:

1. Data yang didapat dari computer di *computer control room*.
2. Data instalasi pipa dan sambungan (*fitting*).
3. Data mesin penunjang sistem udara bertekanan.
4. Data *Air Dryer*
5. Data kebocoran sistem
6. Data parameter tekanan

### **Pengolahan Data**

Data yang telah didapat selanjutnya dikumpulkan supaya dapat dilakukan perhitungan pada penelitian. Langkah dalam pengolahan data yang digunakan adalah:

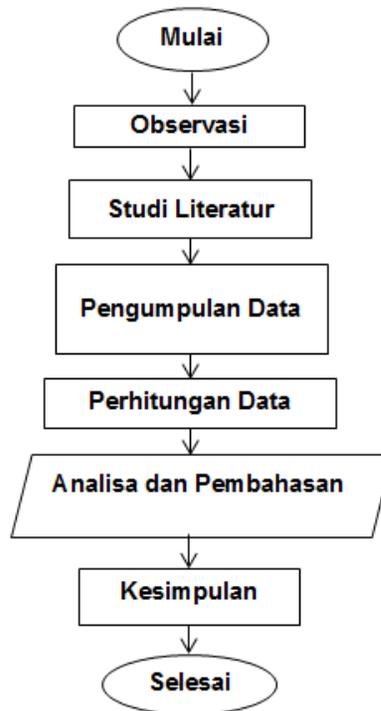
1. Perhitungan persentase bocornya penyalur pemipaan.
2. Perhitungan laju aliran udara pada sistem pemipaan.
3. Perhitungan penurunan sistem akibat rancangan dan instalasi pipa
4. Perhitungan kerugian biaya yang disebabkan oleh penurunan tekanan.

**Variable Data**

Sebagai langkah awal dalam melakukan sebuah penelitian, kita harus menentukan tujuan inti yang akan diteliti. Dalam penelitian ini parameter data yang akan diamati yaitu, Spesifikasi kompresor, Diameter pipa, Ukuran pipa, Jenis dan sambungan pipa, *Outlet pressure*, *Element outlet temp*, *Running hour*, *Loading hour*, *Minor losses*, serta *Major losses*.

**Diagram Alir Penelitian**

Dalam penelitian diagram alir penelitian dapat ditinjau dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PENELITIAN**

**Data Kompresor**

Adapun data kompresor yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data flowrate kompresor

| No. | Kompresor   | Model | Status Operasional | kapasitas kompresor (L/sec) | FAD (m <sup>3</sup> /menit) |
|-----|-------------|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1   | Atlas Copco | GA37  | Loading            | 104                         | 36,29                       |
| 2   | Atlas Copco | GA37W | Loading            | 104                         | 24,82                       |
| 3   | Atlas Copco | GA45  | Loading            | 104                         | 22,3                        |

|                                 |             |       |         |     |               |
|---------------------------------|-------------|-------|---------|-----|---------------|
| 4                               | Atlas Copco | GA30W | Loading | 104 | 35,69         |
| 5                               | Atlas Copco | GA45W | Loading | 104 | 20,14         |
| <b>Jumlah Free Air Delivery</b> |             |       |         |     | <b>139,24</b> |

### Data Air Dryer

Dua unit, *Air dryer* yang digunakan tergolong kejenis *refrigerant dryer* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data air dryer

| No. | Dryer   | Air Dryer Model | Working Air Flow (m <sup>3</sup> /Menit) | Power (Kw) | Working Pressure (Psi) |
|-----|---------|-----------------|--|------------|------------------------|
| 1   | Sullair | Sr450           | 45                                       | 8,7        | 217                    |
| 2   | Sullair | Sr270           | 27                                       | 6,7        | 217                    |

### Data Sistem Pemipaan

Adapun data pemipaan yang terdapat pada pembangkit di PT. Indocement Tunggal

| No. | Titik Pemipaan        | Material Penyalur   | Panjang Penyalur (m) | Diameter Penyalur (mm) | Jumlah <i>Fitting</i> |            |                   |
|-----|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------|-------------------|
|     |                       |                     |                      |                        | <i>Elbow</i>          | <i>Tee</i> | <i>Ball Valve</i> |
| 1   | <i>Instrument Air</i> | <i>Carbon steel</i> | 125                  | 60                     | 10                    | 6          | 10                |
| 2   | <i>Plant Air</i>      | <i>Carbon steel</i> | 142                  | 60                     | 11                    | 4          | 11                |

Prakarsa, Tbk. P-12 Tarjun-Kalimantan Selatan ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data pemipaan

### Data uji Kebocoran Sistem

Adapun data dari hasil pengujian sistem ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Data pengujian kebocoran sistem

| No. | Parameter                    | Pengamatan | Pengamatan | Pengamatan | Rata-rata |
|-----|------------------------------|------------|------------|------------|-----------|
|     |                              | 1          | 2          | 3          |           |
| 1   | kapasitas Kompresor (L/sec)  | 104        | 104        | 104        | 104       |
| 2   | Tekanan loading (Psi)        | 97         | 97         | 97         | 97        |
| 3   | tekanan unloading (psi)      | 105        | 105        | 105        | 105       |
| 4   | interval waktu loading (s)   | 58         | 63         | 56         | 59        |
| 5   | interval waktu unloading (s) | 210        | 199        | 215        | 208       |

**Data Tekanan Sistem Sebelum dan Sesudah Dryer**

Berikut ini merupakan data tekanan sistem sebelum dan sesudah *air dryer* yang ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Data tekanan sebelum dan sesudah dryer

| No. | Parameter Tekanan                  | Mininal | Maksimum | Rata-rata |
|-----|------------------------------------|---------|----------|-----------|
| 1   | sebelum dryer (Psi)                | 105,22  | 115,15   | 110,185   |
| 2   | sesudah dryer Instrument Air (Psi) | 53,14   | 92,55    | 72,845    |
| 3   | sesudah dryer Plant Air (Psi)      | 66,48   | 89,33    | 77,905    |

**Data Flowrate dan Temperatur Tiap Titik Pemipaan**

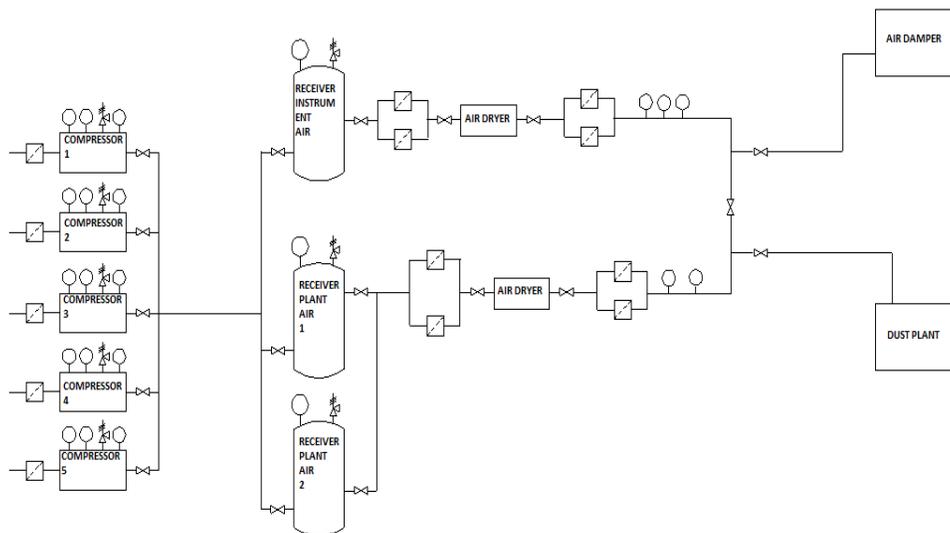
Berikut data *Flowrate* dan Temperatur Tiap Titik Pemipaan yang ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Data *flowrate* dan temperatur tiap titik pemipaan

| No. | Titik Pemipaan        | Flowrate (m <sup>3</sup> /menit) | Tekanan Kerja Minimal (Bar) | Temperatur Indikator (°C) |
|-----|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1   | <i>Instrument Air</i> | 20,91                            | 7                           | 60                        |
| 2   | <i>Plant Air</i>      | 16,59                            | 7                           | 60                        |

**Layout Piping Plant**

Layout Piping Plant dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Layout Piping Plant

**Analisa Data****Perhitungan Laju Aliran Udara Pada Masing-masing Pipa**1. Titik pemipaan *instrument air*

$$\text{Flowrate (Q)} = 20,91 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Diameter pipa} = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang pipa (A)} = \pi r^2 = 0,002826 \text{ m}^2$$

Jadi, kecepatan udara titik *instrument air* adalah

$$v = \frac{20,91 \text{ m}^3/\text{menit}}{0,002826 \text{ m}^2} = 119,66 \text{ m/s}$$

2. Titik pemipaan *plant air*

$$\text{Flowrate (Q)} = 16,59 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Diameter pipa} = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang pipa (A)} = \pi r^2 = 0,002826 \text{ m}^2$$

Jadi, kecepatan udara titik *Plant air* adalah

$$v = \frac{16,59 \text{ m}^3/\text{menit}}{0,002826 \text{ m}^2} = 97,84 \text{ m/s}$$

**Perhitungan kerugian Akibat Kebocoran Sistem**

Kapasitas spesifikasi kompresor yang digunakan (data pengukuran)

$$\text{FAD rata-rata} = 27,85 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,464 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Tekanan saat loading} = 97 \text{ psi}$$

$$\text{Tekanan saat unloading} = 105 \text{ psi}$$

$$\text{Jarak waktu loading} = 59 \text{ detik}$$

$$\text{Jarak waktu unloading} = 208 \text{ detik}$$

Maka, presentase yang didapat adalah,

$$\text{Leakage (\%)} = \frac{59}{59+208} \times 100 = 22,1 \%$$

Sedangkan untuk mengetahui *flowrate* yang terbuang dicari menggunakan rumus di bawah:

$$Q_{\text{loss}} = \frac{Q \times T}{T + t}$$

di mana Q adalah *flowrate* pada kompresor ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Maka, hasil perhitungan *flowrate* akibat bocornya sistem berdasarkan data di atas seperti ini:

$$Q_{\text{loss}} = \frac{0,464 \times 59}{59 + 208} = 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Analisa Penurunan Tekanan Pipa (*Pressure Drop*)****Kerugian Mayor (kerugian gesekan pipa)**

1. Titik pemipaan *instrument air*

Untuk menghitung berapa penurunan sistem pada penyalur *instrument air* akibat jarak pipa dan gaya gesek permukaan pipa, terlebih dahulu harus mencari nilai densitas, bilangan *reynold* dan nilai *friction factor*.

## a. Densitas udara

Densitas udara pada titik *Instrument air* dapat dicari dengan persamaan,

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

di mana:

$$P = (\text{tekanan alat ukur} + \text{tekanan atm}) \text{ Pa} \\ = (502310,6 \text{ Pa} + 101325 \text{ Pa}) = 603635,6 \text{ Pa}$$

$$R = 287 \text{ J/Kg K (dilihat pada termodinamika)}$$

$$T = 60^\circ\text{C} = (60^\circ\text{C} + 273) = 333 \text{ K}$$

$$\text{Maka, } \rho = \frac{603635,6 \text{ Pa}}{287 \times 333 \text{ K}} = 6,31 \text{ kg/m}^3$$

b. Bilangan *reynold*

Nilai *reynold* pada sistem *instrument air* adalah seperti berikut.

$$V \text{ (Laju aliran udara titik } \textit{Instrument air}) = 119,66 \text{ m/s}$$

$$D \text{ (Diameter pipa)} = 0,06 \text{ m}$$

$$\mu \text{ (Viskositas dinamik fluida)} = (\text{temperatur fluida } 60^\circ\text{C, jadi viskositas dinamik adalah } 0,019 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2)$$

maka, *Re (Instrument Air)*

$$Re = \frac{6,31 \text{ kg/m}^3 \times 119,66 \text{ m/s} \times 0,06 \text{ m}}{0,019 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2} = 2384382$$

Karena lebih  $Re > 4000$  maka, *Re (Instrument air)* adalah aliran turbulen.

c. *Friction factor (f)*

Material pipa yang terbuat dari *steel (Forged pipe)*, maka nilai  $\varepsilon = 0,025 \text{ mm}$ , maka besaran nilai *relative roughness* adalah sebagai berikut,

$$\textit{Relative roughness} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,025 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} = 4,16 \times 10^{-4}$$

Setelah diketahui nilai *relative roughness* dan bilangan *reynolds* maka untuk menentukan nilai *Friction factor (f)* dapat dilihat pada *moody diagram* yang kemudian nilai *f* yang didapat sebesar 0,016

Nilai di atas digunakan untuk menghitung penurunan tekanan ( $\Delta p$  mayor) pada sistem *instrument air* dengan cara berikut.

$$f \text{ (friction factor } \textit{instrument air}) = 0,016$$

$$L \text{ (panjang pemipaan } \textit{instrument air}) = 125 \text{ m}$$

$$D \text{ (diameter pemipaan } \textit{instrument air}) = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$$

$$V \text{ (pemipaan } \textit{instrument air}) = 119,66 \text{ m/s}$$

$$\rho \text{ (massa jenis } \textit{instrument air}) = 6,31 \text{ kg/m}^3$$

maka *losses mayor instrument air* adalah,

$$\Delta p = 0,016 \times 6,31 \text{ kg/m}^3 \times \frac{125}{0,06} \times \frac{119,66^2 \text{ m/s}}{2} = 1504320,82 \text{ Pa}$$

2. Titik pemipaan *plant air*

Untuk mengetahui besarnya penurunan tekanan pada titik perpipaan *plant air* karena panjang dan gesekan dalam pipa, pertama-tama harus mencari nilai densitas udara, nilai *reynold*, dan *friction factor*..

## a. Densitas udara

Densitas udara pada titik *plant air* dapat dicari dengan persamaan,

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

di mana:

$$P = P_a \text{ (tekanan alat ukur + tekanan atm)} \\ = (537136 \text{ Pa} + 101325 \text{ Pa}) = 638461 \text{ Pa}$$

$$R = 287 \text{ J/Kg K (dilihat pada termodinamika)}$$

$$T = 60^\circ\text{C} = (60^\circ\text{C} + 273) = 333 \text{ K}$$

$$\text{Maka, } \rho = \frac{638461 \text{ Pa}}{287 \times 333 \text{ K}} = 6,68 \text{ kg/m}^3$$

b. Bilangan *reynold*

Nilai *reynold* pada sistem *plant air* dengan cara berikut:

$$V \text{ (Laju aliran udara titik } plant \text{ air)} = 97,84 \text{ m/s}$$

$$D \text{ (Diameter pipa)} = 0,06 \text{ m}$$

$$\mu \text{ (Viskositas dinamik)} = \text{(temperatur fluida } 60^\circ\text{C, jadi viskositas dinamik adalah } 0,019 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2\text{)}$$

maka, *Re (plant air)*

$$Re = \frac{6,68 \text{ kg/m}^3 \times 97,84 \text{ m/s} \times 0,06 \text{ m}}{0,019 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2} = 2063909$$

Karena lebih  $Re > 4000$  maka, *Re (plant air)* adalah aliran turbulen.

c. *Friction factor (f)*

Material pipa yang terbuat dari *steel (Forged pipe)*, maka nilai  $\varepsilon = 0,025 \text{ mm}$ , maka besaran nilai *relative roughness* adalah sebagai berikut,

$$\text{Relative roughness} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,025 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} = 4,16 \times 10^{-4}$$

Setelah diketahui nilai *relative roughness* dan bilangan *reynolds* maka untuk menentukan nilai *friction factor (f)* dapat dilihat pada *moody diagram* yang kemudian nilai *f* yang didapat sebesar 0,016

Pada hasil hitungan sebelumnya kemudian dicari penurunan sistem ( $\Delta p$  mayor) pada titik *plant air* dengan cara berikut.

$$f \text{ (nilai } friction \text{ factor } plant \text{ air)} = 0,016$$

$$L \text{ (panjang penyalur } plant \text{ air)} = 142 \text{ m}$$

$$D \text{ (diameter pemipaan } plant \text{ air)} = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 V \text{ (pemipaan } plant \text{ air)} &= 97,84 \text{ m/s} \\
 \rho \text{ (massa jenis } Plant \text{ air)} &= 6,68 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{maka } losses \text{ mayor } plant \text{ air adalah,} \\
 \Delta p &= 0,016 \times 6,68 \text{ kg/m}^3 \times \frac{142}{0,06} \times \frac{97,84^2 \text{ m/s}}{2} = 1210699,69 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

### Kerugian Minor (Sambungan / Fitting)

#### 1. Titik *instrument air*

Penurunan diakibatkan oleh sambungan (*fitting*) pada titik pemipaan *instrument air* ( $\Delta p$  minor), dihitung dengan rumus dari data di bawah ini. Tabel 7. merupakan data sambungan/*fitting* dari titik pemipaan *Instrument air* dan nilai koefisien.

Tabel 7. Nilai koefisien hambatan *instrument air*

| INSTRUMENT AIR    |        |            |            |
|-------------------|--------|------------|------------|
| Jenis Sambungan   | Jumlah | Nilai k    | $\Sigma k$ |
| <i>Tee</i>        | 6      | 1,8        | 10,8       |
| <i>Elbow</i>      | 10     | 0,75       | 7,5        |
| <i>Ball valve</i> | 10     | 0,05       | 0,5        |
|                   |        | $\Sigma k$ | 18,8       |

Massa jenis udara ( $\rho$ ) *Instrument air* = 6,31 kg/m<sup>3</sup>

Kecepatan udara ( $v$ ) *Instrument air* = 119,66 m/s

Maka, penurunan tekanan pada titik *instrument air* yang disebabkan oleh sambungan (minor) adalah.

$$\Delta p = 18,8 \times 6,31 \text{ kg/m}^3 \times \frac{119,66 \text{ m/s}}{2} = 7097,51 \text{ Pa}$$

#### 2. Titik pemipaan *plant air*

Penurunan disebabkan adanya sambungan (*fitting*) pada saluran pemipaan *plant air* ( $\Delta p$  minor), dapat dihitung dengan rumus dari data di bawah ini. Tabel 8. merupakan data sambungan/*fitting* dari titik pemipaan *plant air* dan nilai koefisien.

Tabel 8. Nilai koefisien hambatan *plant air*

| PLANT AIR         |        |            |            |
|-------------------|--------|------------|------------|
| Jenis Sambungan   | Jumlah | Nilai k    | $\Sigma k$ |
| <i>Tee</i>        | 4      | 1,8        | 7,2        |
| <i>Elbow</i>      | 11     | 0,75       | 8,25       |
| <i>Ball valve</i> | 11     | 0,05       | 0,55       |
|                   |        | $\Sigma k$ | 16         |

Massa jenis udara ( $\rho$ ) *Plant air* = 6,68 kg/m<sup>3</sup>

Kecepatan udara ( $v$ ) *Plant air* = 97,84 m/s

Maka, penurunan tekanan pada titik *plant air* yang disebabkan oleh sambungan (minor) adalah.

$$\Delta p = 16 \times 6,68 \text{ kg/m}^3 \times \frac{97,84 \text{ m/s}}{2} = 5209,33 \text{ Pa}$$

### **Kerugian Total Tiap Titik Pemipaan**

Untuk mengetahui kerugian sistem penyalur total maka dapat dihitung dari rumus berikut.

$$\Delta p \text{ (total pemipaan)} = \Delta p \text{ mayor} + \Delta p \text{ minor}$$

#### 1. *Instrument air*

$$\Delta p \text{ Mayor} = 1504320,83 \text{ Pa}$$

$$\Delta p \text{ Minor} = 7079,51 \text{ Pa}$$

Jadi penurunan tekanan total titik pemipaan *instrument air* adalah

$$\Delta p \text{ total } \textit{instrument air} = 1504320,83 \text{ Pa} + 7079,51 \text{ Pa} = 1511400,34 \text{ Pa}$$

#### 2. *plant air*

$$\Delta p \text{ Mayor} = 1210699 \text{ Pa}$$

$$\Delta p \text{ Minor} = 5209,33 \text{ Pa}$$

Jadi penurunan tekanan total titik pemipaan *plant air* adalah

$$\Delta p \text{ total } \textit{plant air} = 1210699 \text{ Pa} + 5209,33 \text{ Pa} = 1215908,33 \text{ Pa}$$

### **Penurunan Tekanan Pada Komponen Penunjang**

Berdasarkan pengamatan tekanan, dihitung penurunan sistem komponen pada penyalur titik *instrument air* dan *plant air*.

Alat penunjang pemipaan titik *instrument air* : 1 *air dryer*, 4 *filter* dan 1 *receiver tank*.

Alat penunjang pemipaan titik *plant air* : 1 *air dryer*, 4 *filter* dan 2 *receiver tank*.

Adapun data pengukuran yang diperoleh antara lain,

#### 1. Tekanan penyalur sebelum *air dryer*

$$\text{Max value} = 115,15 \text{ psi} = 793931,51 \text{ Pa}$$

$$\text{Min value} = 105,22 \text{ psi} = 725466,55 \text{ Pa}$$

$$\text{Average value} = 110,185 \text{ psi} = 759699,03 \text{ Pa}$$

#### 2. Tekanan pada komponen pemipaan titik *instrument air* setelah *air dryer*

$$\text{Max value} = 92,55 \text{ psi} = 638109,95 \text{ Pa}$$

$$\text{Min value} = 53,14 \text{ psi} = 366387,5 \text{ Pa}$$

$$\text{Average value} = 72,845 \text{ psi} = 502248,73 \text{ Pa}$$

#### 3. Tekanan komponen pemipaan titik *plant air* setelah *air dryer*

$$\text{Max value} = 89,33 \text{ psi} = 615908,83 \text{ Pa}$$

$$\text{Min value} = 66,48 \text{ psi} = 458363,58 \text{ Pa}$$

$$\text{Average value} = 77,905 \text{ psi} = 537136,21 \text{ Pa}$$

Pengamatan di atas kemudian ditentukan pengurangan tekanan yang terdapat pada alat pendukung udara terkompresi dari setiap titik perpipaan, dengan rumus berikut.

$\Delta p$  Total komponen titik pemipaan =  $p$  rata-rata sebelum pengering udara –  $p$  rata-rata setelah pengering udara.

Jadi,  $\Delta p$  total alat penunjang pemipaan titik *instrument air* = 759699,03 Pa – 502248,73 Pa = 257450,3 Pa

$\Delta p$  total Komponen pemipaan titik *plant air* = 759699,03 Pa – 537136,21 Pa = 222562,82 Pa

### **Kerugian Total Penurunan Sistem**

Berdasarkan data perhitungan  $\Delta p$  *major losses* dan  $\Delta p$  *minor losses* serta  $\Delta p$  total Komponen pemipaan kita dapat menghitung total penurunan tekanan pemipaan pada sistem menggunakan persamaan di bawah

1. Titik pemipaan *instrument air*

$$\Delta p \text{ total } \textit{instrument air} = 1511400,34 \text{ Pa}$$

$$\Delta p \text{ total Komponen} = 257450,3 \text{ Pa}$$

2. Titik pemipaan *plant air*

$$\Delta p \text{ total plant air} = 1215908,33 \text{ Pa}$$

$$\Delta p \text{ total komponen} = 222562,82 \text{ Pa}$$

$\Delta p$  Total penurunan sistem =  $\Delta p$  Total titik pemipaan +  $\Delta p$  Total komponen titik pemipaan

Jadi,  $\Delta p$  Total penurunan sistem titik *instrument air* = 1511400,34 Pa + 257450,3 Pa = 1768850,64 Pa

$\Delta p$  Total penurunan sistem titik *plant air* = 1215908,33 Pa + 222562,82 Pa = 1438471,15 Pa

Karena kelima kompresor menyuplai dua sistem diantaranya *instrument air* dan *plant air*, maka untuk penurunan total sistem kompresor dihitung dari rata-rata total penurunan sistem kedua titik pemipaan tersebut.

$$\Delta p = \frac{1768850,64 \text{ Pa} + 1438471,15 \text{ Pa}}{2} = 1603660,895 \text{ Pa}$$

### **Kerugian Biaya Akibat Penurunan Sistem**

Dari hasil perhitungan kerugian Total Penurunan Sistem di atas dapat diketahui bahwa kompresor mengalami penurunan sistem, yang kemudian akan dimasukkan kedalam perhitungan kerugian biaya yang diakibatkan oleh penurunan sistem dengan persamaan di bawah berdasarkan data berikut.

$$\Delta p = 1603660,895 \text{ Pa} = 16,04 \text{ bar}$$

$$V = 104 \text{ L/s}$$

$$R_h = 104,25 \text{ /week}$$

$$C_e = 1352 \text{ Rp/kWh}$$

$$= \left( \frac{16,04}{0,1} \right) \times 104 \times 104,25 \times 0,35 \times 0,007 \times 1352 = \text{Rp. } 5760451 \text{ / minggu}$$

Jadi, kerugian biaya yang disebabkan oleh penurunan sistem kompresor pada pembangkit di PT. Indocement Tungal Prakarsa, Tbk. P-12 Kalimantan Selatan sebesar Rp. 5760451 / minggu.

### **Pembahasan**

Berdasarkan perhitungan dan pengamatan yang dilakukan, dapat diketahui terjadinya penurunan sistem kompresor pada pembangkit di PT. Indocement Tungal Prakarsa, Tbk. P-12 Kalimantan Selatan pada titik pemipaan *instrument air* maupun *plant air* baik itu penurunan mayor maupun minor. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi penurunan sistem kompresor yaitu material pipa, diameter pipa, panjang pipa, kekasaran pipa, terjadinya kebocoran, korosi pada pipa, umur pipa, serta kurangnya perawatan yang kurang baik terhadap komponen kompresor seperti pembersihan filter pada sistem pemipaan dan instalasi pada sistem pemipaan tersebut, selain itu penurunan sistem juga dipengaruhi oleh temperatur fluida, kecepatan fluida dan nilai densitas dari fluida yang digunakan.

Sedangkan untuk mengurangi terjadinya penurunan sistem yang terjadi pada kompresor pada saat ini, diperlukan pengecekan serta perawatan pada komponen baik itu pada kondisi pipa serta komponen-komponen penunjang seperti *filter* yang kemungkinan besar perlu dibersihkan.

### **KESIMPULAN**

Dari hasil perhitungan serta analisis diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penurunan sistem pada pipa sangat tergantung pada diameter pipa, selain itu jarak dan komponen penunjang pada sistem pemipaan juga berpengaruh terhadap penurunan tekanan. Berdasarkan perhitungan terjadi penurunan tekanan sebesar 1603660.895 Pa pada penurunan sistem diakibatkan oleh gaya gesek penyalur lurus dan sambungan (*fitting*) serta kondisi aktual permukaan pipa yang kemungkinan besar telah terjadi korosi sehingga membuat permukaannya menjadi kasar.
2. Penurunan sistem yang terjadi pada kompresor mengakibatkan kerugian biaya oprasional pada pembangkit PT. Indocement Tungal Prakarsa, Tbk. P12 Tarjun, sebesar Rp. 5.760.451 / Minggu.

## **REFERENSI**

Atlas Copco. *Install Air calculation “simple tool to assist the installer or user with the correct installation of the compressor”*.

Geankoplis, C.J.1997.*Transport Process and Unit Operation. 3<sup>rd</sup> Edition*. NewDelhi: Prentice-Hall of India.

Hamid Abdul, Hilman Muwardi, 2012. “Evaluasi Penurunan Tekanan Pada Pemipaan Sistem Udara Bertekanan Di PT. Indofood Sukses Makmu (*Bogasari Flour Mill*)”. Jakarta: Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.

Hanlon, P.C. 2001. *Compressor Handbook*. McGraw-Hill, New York.

Sunyoto, dkk.; *Teknik Mesin Industri*, Jilid 2. 2008.