

# Performa *cyclone* dan *electrostatic precipitator* sebagai penangkap debu pada pabrik semen

Nur H. T. Molek\*, Saputri A. Renelda, S. Syaiful

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya  
Jln. Raya Palembang Prabumulih Km. 32 Inderalaya Ogan Ilir (OI) 30662  
\*Email: molek.nurhayyu@gmail.com

## Abstrak

Pencemaran udara dapat dikategorikan sebagai pencemaran yang sangat berbahaya dan juga memberikan dampak yang cukup besar bagi lingkungan disekitarnya. Cyclone dan electrostatic precipitator (EP) adalah contoh alat yang dapat mengurangi pencemaran udara di industri semen. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja cyclone dan EP. Perhitungan kinerja cyclone ditinjau dari jumlah putaran dalam gas dan diameter partikel, dan kinerja EP ditinjau dari kecepatan migrasi partikel dan resistivitas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan evaluasi dengan menggunakan data aktual. Data tersebut berupa laju alir, densitas, diameter partikel, kecepatan gas inlet, data desain EP dan Cyclone, serta emisi partikulat dan kondisi alat pada saat operasi. Hasil evaluasi menunjukkan efisiensi cyclone sebesar 95,5% dan EP sebesar 98,72%. Kedua nilai efisiensi ini masih memenuhi standar efisiensi alat, yang berarti kinerja cyclone dan EP tersebut masih baik.

**Kata kunci:** *cyclone*, *electrostatic precipitator*, pencemaran udara, penangkap debu.

## Abstract

Air pollution can be categorized as a very dangerous pollution and also has a significant impact on the surrounding environment. Cyclone and electrostatic precipitator (EP) are the examples of tools that can reduce air pollution in the cement industry. This study aims to evaluate the performance of cyclone and EP. The calculation of cyclone performance is viewed from the number of revolutions in the gas and the particle diameter, and the EP performance is evaluated from the particle migration speed and resistivity. The method that used in this work is an evaluation calculation using actual data. The data in the form of flow rate, density, particle diameter, inlet gas velocity, EP and Cyclone design data, as well as particulate emissions and tool conditions during operation. Evaluation results show cyclone efficiency of 95.5% and EP efficiency of 98.72%. Both of these efficiency values still meet the tool efficiency standards, which means that the performance of the cyclone and EP in a good condition.

**Keywords:** cyclone, electrostatic precipitator, air pollution, dust catcher.

## 1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara adalah salah satu jenis pencemaran yang termasuk dalam kategori pencemaran yang sangat berbahaya dan juga dapat memberikan dampak yang cukup besar bagi lingkungan disekitarnya terutama bagi kesehatan. Partikel polutan dari pencemaran ini memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga tidak dapat disadari oleh masyarakat (Flagan, 1988). Berdasarkan dari wujud fisiknya, pencemaran yang terdapat di udara tidak hanya berupa gas,

melainkan juga dapat berupa benda-benda padat sebagai partikel yang diantaranya berupa debu, asap dan bau (Wang, 2004).

Industri semen merupakan salah satu penyebab adanya pencemaran udara apabila gas yang dihasilkan oleh pabrik ini tidak dilakukan proses *treatment* terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan (Wahyu, 2004). Berkembangnya perindustrian dan pencemaran udara saat inilah yang menjadikan semakin diperlukannya suatu alat yang memiliki performa yang baik untuk menurunkan angka pencemaran udara yang

diakibatkan oleh limbah keluaran industri, khususnya pada industri semen (Agustia, 2013).

Industri semen merupakan industri yang tidak hanya memiliki bahan baku saja tetapi juga memiliki bahan koreksi. Bahan baku utamanya terdiri dari batu kapur dan tanah liat, bahan baku koreksi terdiri dari pasir besi dan pasir silika, ke empat bahan berupa material padat. Bahan-bahan tersebut menjadi partikel halus setelah melalui beberapa proses dan mengakibatkan kerugian apabila dibuang secara langsung ke lingkungan bersamaan dengan udara. Hal inilah yang menyebabkan dibutuhkan suatu treatment khusus untuk dapat memisahkan partikel debu dari udara.

Industri ini memiliki dua alat yang berfungsi untuk memisahkan debu dari udara sebelum dikeluarkan ke lingkungan melalui *stack*. Kedua alat tersebut yaitu *multicyclone* (tersusun atas 4 *cyclone*) dan *electrostatic precipitator*. Karakterja dari *cyclone* ialah menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan gaya gravitasi, serta adanya perbedaan massa jenis dalam pemisahannya sehingga yang memiliki partikulat yang memiliki massa jenis besar akan jatuh ke *hopper*, sedangkan udara yang memiliki massa jenis yang ringan akan terbuang ke bagian *topcyclone* (Augie, 2016). Alat pemisah debu lainnya yaitu *Electrostatic Precipitator* yang menggunakan listrik tegangan tinggi untuk memisahkan debu dari gas panas keluaran *raw mill* (Afrian, 2015).

*Cyclone separator* merupakan alat pembersih gas yang menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan gaya gravitasi yang diciptakan oleh aliran gas pemintalan untuk memisahkan partikel dari gas. Di dalam *cyclone* terjadi vortex, yang mengakibatkan partikulat dan gas akan terpisah, dimana partikulat yang bermassa jenis besar akan jatuh ke bawah dan udara yang bermassa jenis kecil akan naik ke atas. *Cyclone* dengan yang efisiensi tinggi cenderung memiliki *pressure drop*, sedangkan *cyclone throughput* rendah digunakan untuk volume yang besar dan tekanan rendah. Ketiga jenis *cyclone* ini memiliki desain dasar yang sama. Berbagai tingkat efisiensi pengumpulan dan operasi dicapai dengan cara memvariasikan dimensi *cyclone*. Efisiensi dari pengumpulan *cyclone* bervariasi sebagai fungsi densitas, ukuran partikel, dan desain *cyclone* (Afrian, 2015).

*Electrostatic Precipitator* (EP) adalah alat kontrol partikulat yang banyak digunakan, digunakan untuk membersihkan gas buang dari pembangkit listrik terbesar hingga digunakan sebagai pembersih udara rumah tangga skala kecil (Guntoro, 2009). Prinsip dasar pengoperasian EP adalah partikel bermuatan, kemudian medan listrik dikenakan pada daerah dimana gas bermuatan partikel mengalir, mengerahkan

kekuatan yang menarik pada partikel dan menyebabkan mereka bermigrasi ke muatan yang berlawanan. *Electrostatic Precipitator* menangkap partikel solid atau cairan dari aliran gas dengan menggunakan listrik tegangan tinggi untuk memberikan muatan pada debu. Debu yang telah bermuatan akan menempel pada *collecting plate* kemudian di tampung di *hopper* dan udara bersih keluar menuju lingkungan.

Menyadari sangat pentingnya kedua alat tersebut dalam industri semen, maka dilakukan analisa mengenai performa alat tersebut dengan tujuan untuk mengetahui prinsip kerja *cyclone* dan *electrostatic precipitator*, mengetahui parameter yang digunakan untuk analisa performa kedua alat tersebut dan mengetahui efisiensi *cyclone* dan *electrostatic precipitator* di industri semen. Perhitungan kinerja *cyclone* ditinjau dari jumlah putaran dalam gas dan diameter partikel, dan kinerja EP ditinjau dari kecepatan migrasi partikel dan resistivitas.

## 2. METODOLOGI

Metode yang digunakan adalah dengan melakukan perhitungan evaluasi menggunakan data aktual. Pengumpulan data berkaitan dengan data yang diperlukan dalam perhitungan untuk memperoleh hasil evaluasi yang aktual. Data berupa laju alir, densitas, diameter partikel, kecepatan gas inlet, data desain EP dan *Cyclone*, serta emisi partikulat. Data tersebut didapatkan dari *central control room*, unit Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), unit *Electrical Control*.

### Metode Pengolahan Data

Data kecepatan gas inlet, diameter partikel, densitas, emisi partikulat, dan kecepatan migrasi dijadikan data perhitungan. Perhitungan dilakukan untuk mencari efisiensi *cyclone* dan *electrostatic precipitator*, kemudian perhitungan yang diperoleh disajikan dalam bentuk grafik.

### Analisa Data

Data perhitungan *efisiensi cyclone dan electrostatic precipitator* dapat dibuat dalam bentuk grafik untuk melihat perbandingan selama 10 (sepuluh) hari. Dari gambar grafik data perhitungan yang dibuat terlihat bahwa nilai *efisiensi cyclone dan electrostatic precipitator* mengalami peningkatan.

### Kecepatan Migrasi Partikel

Kecepatan migrasi partikel adalah kecepatan gerak suatu partikel ketika diberi muatan negatif bergerak menuju elektroda plat

pengumpul. Variable yang mempengaruhinya yaitu ukuran partikel, kuat medan listrik dan viskositas gas. sehingga kecepatan migrasi partikel dapat dinyatakan dengan persamaan (Afrian, 2015):

$$\omega = \frac{2 \cdot K_o \cdot p_a \cdot E_c \cdot E_p}{3\mu} \quad (1)$$

Dimana :

$\omega$  = Kecepatan migrasi partikel (m/s)  
 $A$  = Jari-jari partikel (m)  
 $p$  = Tekanan (1 atm)  
 $E_c$  = Kuat medan listrik (v/m)  
 $E_p$  = Kuat medan precipitator (v/m)  
 Dapat dianggap bahwa =  $E_c = E_p = E$

$\mu$  = Viskositas gas (pascal . detik)  
 $K_o$  = Permittivity ( $8,85 \times 10^{-12}$  F/m)

Adapun persamaan lain untuk mencari kecepatan migrasi, yaitu :

$$\omega = -\frac{Q}{A} \ln(1 - \eta) \quad (2)$$

Dimana:

$\omega$  = Kecepatan migrasi partikel (m/s)  
 $Q$  = Laju aliran gas ( $m^3/s$ )  
 $A$  = Luas media penangkap ( $m^2$ )  
 $\eta$  = efisiensi EP standar

### Resistivitas Partikel

Resistivitas partikel adalah kemampuan suatu partikel untuk mengantarkan arus listrik yang bergantung terhadap besarnya medan listrik dan kerapatan arus, atau dalam kata lain adalah resistansi suatu partikel terhadap arus listrik. Resistivitas partikel ini memiliki keterkaitan dengan kecepatan migrasi partikel. Semakin baik resistansi partikel terhadap arus listrik, maka akan semakin tinggi pula kecepatan migrasi partikel tersebut untuk menempel di plat pengumpul pada electrostatic precipitator.

Berikut adalah persamaan untuk menghitung resistivitas partikel.

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

Dimana :

$\rho$  = Resistivitas ( $\Omega cm$ )  
 $R$  = Tahanan ( $\Omega$ )  
 $A$  = luas penampang ( $cm^2$ )  
 $L$  = panjang penghantar (cm)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan performa dan efisiensi alat cyclone dan EP diambil dari *central control room*, unit Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), unit *Electrical Control* pada industri semen seperti disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Emisi Partikulat

Tanggal	Emisi
01-Des	57,53
02-Des	57,404
03-Des	53,36
04-Des	55,56
05-Des	55,66
06-Des	55,15
07-Des	55,58
08-Des	55,37
09-Des	56,8
10-Des	57,67

### Perhitungan Efisiensi Cyclone

Prinsip kerja *cyclone* adalah dengan menggunakan gaya sentrifugal dan perbedaan massa jenis, sedangkan prinsip kerja *electrostatic precipitator* adalah dengan menggunakan listrik tegangan tinggi untuk memberikan muatan pada debu sehingga dapat menempel pada *collecting plate*.

Parameter yang mempengaruhi kinerja dari *cyclone* yaitu kecepatan gas masuk, ukuran partikel, maupun jumlah putaran gas pada *cyclone*, sedangkan parameter yang mempengaruhi kinerja *electrostatic precipitator* resistivitas partikel, kecepatan migrasi, temperatur, dan kondisi alat.

Efisiensi cyclone dihitung dengan meninjau jumlah putaran dalam gas dan diameter partikel. Jumlah putaran dalam gas ( $N$ ) dihitung menggunakan persamaan (3) (Green, 2008).  $N$  adalah jumlah putaran dalam gas, sedangkan  $L_c$  dan  $Z_c$  adalah tinggi silinder dan tinggi cone dalam satuan meter. Diketahui dari data actual mengenai geometri cyclone,  $H_c$  senilai 1,15 m,  $L_c$  dan  $Z_c$  masing-masing 4,6 m. dengan memasukkan data-data tersebut, maka didapatkan jumlah putaran dalam gas yaitu 6 (enam) putaran.

Perhitungan diameter partikel yang dipisahkan 50% ( $D_{pth}$ ) dilakukan dengan menggunakan persamaan (4).  $D_{pi}$  adalah diameter partikel ( $\mu m$ ) dan  $D_{pth}$  adalah diameter partikel yang dipisahkan 50% ( $\mu m$ ). Untuk diameter partikel sebesar 55  $\mu m$ , dengan  $D_{pth}$  sebesar 9,4  $\mu m$  dan merujuk pada Gambar 1,

didapatkan efisiensi pengumpulan partikel sebesar 92,5%.

$$N = \frac{1}{H_c} \left( L_c + \frac{Z_c}{2} \right) \quad (3)$$

$$D_{pth} = \sqrt{\frac{9\mu B_c}{\pi N_s v_{max} (\rho_p - \rho_g)}} \quad (4)$$

$$D_{pth} = \sqrt{\frac{9 \times 1,86 \times 10^{-5} \times 0,58}{3,14 \times 6 \times 56 \times (1040 - 0,52)}}$$

$$D_{pth} = 9,4 \times 10^{-6} \text{ m}$$

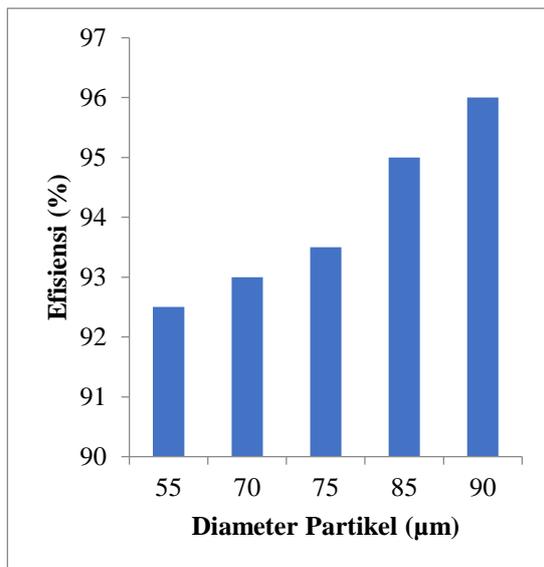
$$D_{pth} = 9,4 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\text{dpi}/D_{pth} = \frac{55 \text{ } \mu\text{m}}{9,4 \text{ } \mu\text{m}}$$

$$\text{dpi}/D_{pth} = 5,8$$

Dimana :

N = Jumlah Putaran dalam Gas  
 L<sub>c</sub> = Tinggi Silinder Cyclone (m)  
 Z<sub>c</sub> = Tinggi Cone (m)

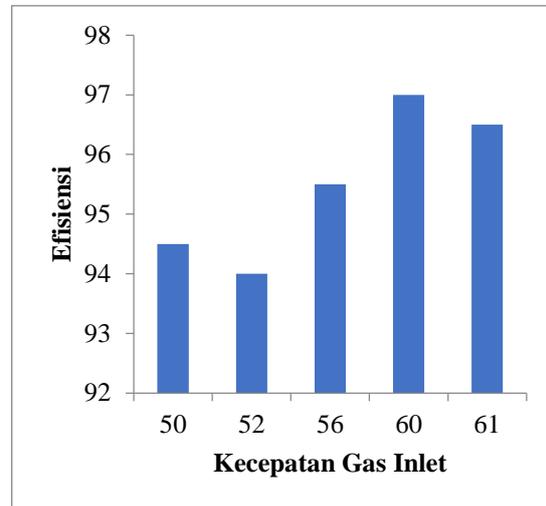


**Gambar 1.** Grafik hubungan antara diameter partikel terhadap efisiensi cyclone

Gambar 1 menunjukkan bahwa diameter partikel mempengaruhi efisiensi cyclone, semakin kecil diameter partikelnya, maka efisiensi cyclone semakin kecil pula. Hal ini dikarenakan partikel debu dengan diameter kecil akan memungkinkan untuk lolos dari cyclone.

Ditinjau dari prinsip kerja cyclone yang menggunakan prinsip gaya gravitasi, semakin kecil diameter partikel maka akan semakin kecil

pula gravitasinya, sehingga akan sulit cyclone untuk menangkapnya. Hal inilah yang menyebabkan performa cyclone berkurang ketika partikel debu memiliki diameter yang kecil apabila dibandingkan dengan diameter partikel yang lebih besar.



**Gambar 2.** Grafik hubungan kecepatan gas inlet terhadap efisiensi cyclone

Gambar 2 menunjukkan pengaruh kecepatan gas inlet terhadap efisiensi cyclone. Semakin cepat inlet gas kedalam cyclone, maka efisiensi akan semakin besar. Hal ini dikarenakan, dengan kecepatan inlet gas yang tinggi, partikel tidak kontak dengan udara luar secara lama, dan menyebabkan kemungkinan lolos akan semakin kecil, sehingga efisiensi performa cyclone semakin tinggi.

**Perhitungan Efisiensi Electrostatic Precipitator**  
 Resistivitas partikel dan kecepatan migrasi partikel merupakan parameter yang diperhatikan pada *electrostatic precipitator* untuk menentukan performa EP tersebut dalam keadaan baik atau tidak. Oleh karena itu dilakukan perhitungan resistivitas dan kecepatan migrasi partikel seperti di bawah ini.

1. Perhitungan Kecepatan Migrasi Partikel

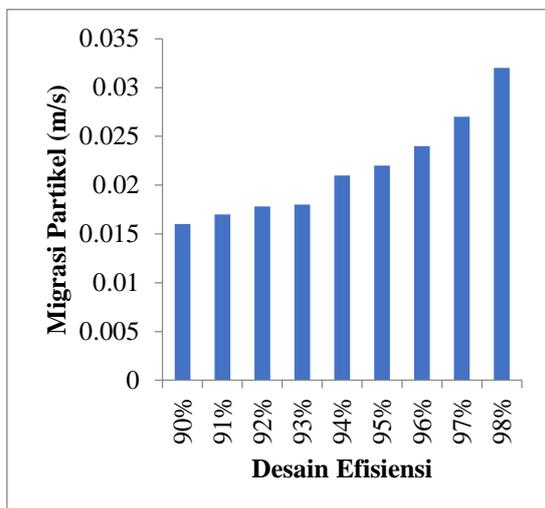
$$\begin{aligned} \omega &= \frac{Q}{A} \ln(1 - \eta) \\ &= \frac{1368,5 \text{ m}^3/\text{s}}{193.200 \text{ m}^2} \ln(1 - 0,95) \\ &= 0,0212 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Resistivitas

$$\begin{aligned} \rho &= R \frac{A}{l} \\ &= 1.600.000 \text{ } \Omega \cdot \frac{193.200 \text{ m}^2}{105 \text{ m}} \\ &= 2.944.000.000 \text{ } \Omega\text{m} \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan Efisiensi

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{partikel masuk} - \text{partikel keluar}}{\text{partikel masuk}} \times 100\% \\ &= \frac{4500 \text{ mg/m}^3 - 57,53 \text{ mg/m}^3}{4500 \text{ mg/m}^3} \times 100\% \\ &= 98,72 \%\end{aligned}$$



**Gambar 3.** Pengaruh efisiensi desain terhadap migrasi partikel

Dari perhitungan resistivitas partikel menunjukkan bahwa EP di industri semen ini dalam keadaan baik. Secara umum nilai resistivitas berada dalam range  $10^{-3} - 10^{14} \Omega\text{m}$ . Nilai resistivitas yang menunjukkan bahwa EP dalam keadaan baik adalah pada range  $10^7 - 10^{14} \Omega\text{m}$ . Hal ini terjadi pada nilai resistivitas yang didapat dalam perhitungan yaitu sebesar  $2,9 \times 10^9 \Omega\text{m}$ . Selain itu dari perhitungan kecepatan migrasi partikel menggunakan persamaan (2) menunjukkan bahwa partikel yang diberi muatan negatif memiliki kecepatan yang tinggi untuk bergerak ke electrode plat pengumpul yaitu dengan kecepatan  $2,2 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ .

Dengan menggunakan persamaan (5) didapatkan efisiensi electrostatic precipitator sebesar 98,72%. Gambar 3 yang menunjukkan efisiensi cyclone pada industri semen yaitu sebesar 95,5% dan desain efisiensi *electrostatic precipitator* sebesar 95%. Dengan memasukkan kecepatan migrasi partikel sebesar 0,0212 m/s ke dalam gambar 3 didapatkan efisiensi sebesar 95%. Semakin tinggi kecepatan gas yang masuk ke dalam cyclone, akan menghasilkan efisiensi yang semakin baik. Semakin besar kecepatan migrasi partikel, maka efisiensi pengumpulan partikel akan semakin tinggi.

## 4. KESIMPULAN

Cyclone dan electrostatic precipitator (EP) adalah contoh alat yang dapat mengurangi pencemaran udara di industri semen. Hasil evaluasi menunjukkan efisiensi cyclone sebesar 95,5% dan EP sebesar 98,72%. Kedua nilai efisiensi ini masih memenuhi standar efisiensi alat, yang berarti kinerja cyclone dan EP tersebut masih baik. yang juga telah memenuhi standar yaitu 95%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, N dkk. 2015. Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) berdasarkan Besarnya Tegangan DC yang digunakan terhadap Perubahan Emisi di Power Boiler Industri Pulp and Paper. *Jom FTEKNIK*. Vol. 2 (2): 1-10.
- Agustian, C.A dkk. 2013. Kajian Eksperimental Gas Cleaner yang dimodifikasi untuk Mengekstrak Tas dalam Producer Gas. *Jurnal FEMA*. Vol. 1(2): 73-83.
- Augie, G. 2016. *Cyclone Separator*. (Online). <https://id.scribd.com/doc/305805985/Cyclone-Separator>. (Diakses pada tanggal 28 Desember 2018).
- Flagan, R. C. Dan Seinfeld, J. H. 1988. *Fundamentals of Air Pollution Engineering*. London: Prentice-Hall.
- Green, D.W. dan Perry, R.H. 2008. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. McGraw-Hill: New York.
- Guntoro, H. 2009. *Electrostatic Precipitator*. (Online). <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/04/electrostatic-precipitator.html>. (Diakses pada tanggal 20 Desember 2018).
- Sinnott, R. K. 1999. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering*. Departement of Chemical and Biological Process Engineering University Of Walws Swansea: New York.
- Smidth, F. L. 2001. *Optimalisasi*. PT. Semen Baturaja: Baturaja.
- Wahyu, A. 2015. *Merancang Dust Collector*. (Online). <http://www.rancangdustcollector.com/>. (Diakses pada Tanggal 17 Maret 2019)
- Wang, K. L., dkk. 2004. *Air Pollution Control Eng*. New Jersey: Humana Press Inc.