

## Perancangan *Bag Filter* pada Unit *Rawmill* di Industri Semen

Brellian Mutiaraning Nareswari<sup>1\*</sup>, Ahmad Erlan Afiuddin<sup>1</sup>, Alma Vita Sophia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus-ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia 60111

\*E-mail: brelliannareswari@student.ppns.ac.id

### Abstrak

*Dust collector* berupa *Electrostatic Precipitator* (EP) dipasang setelah proses penggilingan bahan baku semen yakni pada unit *rawmill* sebagai pemisah partikulat semen dengan gas yang akan dibuang ke lingkungan. Bertambahnya kapasitas produksi dan masa pakai membuat EP kerap mengalami penurunan kualitas alat. Ketika kualitas alat menurun maka sistem operasi akan mati serta debu tidak akan tertangkap oleh EP. Konsentrasi partikulat tertinggi yang terekam oleh *continuous emission monitoring system* (CEMS) yang terpasang pada cerobong keluaran EP mencapai 208,2 mg/Nm<sup>3</sup> nilai tersebut telah melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam PERMENLHK No. P.19 Tahun 2017 yakni sebesar 70 mg/Nm<sup>3</sup>. Oleh karena permasalahan tersebut maka diperlukan *dust collector* pengganti dengan kemampuan yang setara yakni *bag filter*. Perencanaan *bag filter* membutuhkan data konsentrasi partikulat yang diukur menggunakan metode gravimetri. Desain *bag filter* terdiri dari perhitungan diameter *duct*, perhitungan daya *blower* perhitungan *filter length*, penentuan jenis kain *filter* serta perhitungan jumlah *bag*. Berdasarkan analisa, partikulat yang akan diolah memiliki konsentrasi sebesar 10,18 g/m<sup>3</sup> dan perhitungan nilai diameter pipa sebesar 1,376 m, daya *blower* masing – masing sebesar 114,404 HP dan 152,536 HP, *filter length* 2,9 m dan jenis kain *fiberglass* serta jumlah *filter* 546 buah.

**Kata Kunci:** partikulat, industri semen, *electrostatic precipitator*, dan *bag filter*.

## 1. PENDAHULUAN

*Electrostatic precipitator* yang terpasang pada unit *rawmill* telah beroperasi cukup lama. Ketika terjadi *trouble* pada EP maka sistem operasi akan mati serta debu tidak akan tertangkap oleh EP sehingga terlihat kebulan asap tebal. Konsentrasi partikulat tertinggi yang terekam oleh *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) yang terpasang pada cerobong keluaran EP mencapai 208,2 mg/Nm<sup>3</sup> nilai tersebut melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam PERMENLHK No. P.19 Tahun 2017 yakni sebesar 70 mg/Nm<sup>3</sup>.

Hasil *maintenance* yang telah dilakukan menunjukkan adanya minyak pada plat pengumpul EP yang berasal dari campuran limbah *drilling* dan *cutting* yang dicampurkan sebagai substitusi material semen. Hal ini menyebabkan partikulat tidak dapat menempel pada plat pengumpul sehingga lepas ke udara. Menurut (EPA, 1999) EP yang bekerja dengan cara kering tidak dapat mengumpulkan partikulat dengan efisien apabila terdapat minyak pada plat pengumpulnya. EP jenis lain yang dapat dioperasikan untuk emisi partikulat yang mengandung minyak adalah EP dengan mekanisme pembersihan basah yakni menggunakan air atau campuran detergen. EP dengan mekanisme pembersihan basah tidak akan dapat diterapkan pada industri semen, karena metode dalam proses pembuatan semen adalah metode kering yakni tanpa menggunakan air. Sebagai solusi dari permasalahan tersebut maka, *dust collector* yang terpasang pada unit *rawmill* yakni EP perlu digantikan dengan *dust collector* lain dengan kemampuan yang setara yakni *bag filter*. Selain itu, pengoperasian *bag filter* juga cukup mudah.

Penelitian pengendali partikulat bertujuan untuk mengetahui diameter *duct* yang digunakan untuk mengalirkan partikulat menuju *bag filter*, nilai perkiraan *net cloth area bag filter*, mengetahui jumlah kantong pada *pulse-jet bag filter*, dan mengetahui dimensi unit *pulse-jet bag filter*.

## 2. METODE

Penelitian ini membutuhkan data konsentrasi partikulat untuk perhitungan desain *bag filter*.

### Konsentrasi partikulat

Pengukuran konsentrasi partikulat pada sekitar area *rawmill* dimana *sample* partikulat diambil menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS) kemudian dilakukan pengukuran konsentrasi menggunakan metode gravimetri.

### Perencanaan duct

Perhitungan perencanaan jalur pengolahan partikulat diawali dengan menentukan kecepatan dalam *duct* dengan menggunakan Tabel *Range of Minimum Duct Velocities* yang didapatkan dari Schnelle, Karl B., Jr. (2016). Langkah selanjutnya adalah menghitung luasan *duct*

$$A_{duct} = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

Nilai diameter *duct* yang akan digunakan dapat diketahui dengan :

$$D = \left(\frac{4A}{\pi}\right)^{0,5} \quad (2)$$

*Total Energy Loss* pada pipa dapat diketahui dengan :

$$TP = \left[f \left(\frac{L}{D}\right) + (1 + K_H) + \sum K_x\right] \quad (3)$$

### Penentuan Blower

Daya blower yang dibutuhkan pada perencanaan ini dapat ditentukan dengan persamaan :

$$W = Q_{emisi} \times \Delta P_{total} \quad (4)$$

### Perencanaan Dust collector

Langkah awal mendesain *bag filter* berdasarkan Croom, M.L. (1995) adalah menghitung panjang filter menggunakan nilai *effective filtration velocity*

$$V_{ef} = V_{fn} \times A \times T \times P \times D \quad (5)$$

Langkah berikutnya adalah menentukan A/C ratio dengan tabel *Air-to-Cloth Ratio* yang terdapat pada buku Theodore, L. (2008). Kemudian nilai A/C ratio digunakan untuk menghitung *Area Filter* (A) dengan persamaan:

$$A = \frac{Q}{A/C \text{ ratio}} \quad (6)$$

Luas permukaan *bag* perlu dihitung untuk mengetahui jumlah *bag* yang dapat mengisi seluruh *area filter*.

Berdasarkan EPA (1998) luas permukaan *bag* dapat dihitung dengan persamaan :

$$A = \pi \times D \times L \quad (7)$$

Jumlah *bag* yang dibutuhkan untuk memenuhi area filter dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$N = \frac{A_f}{A_b} \quad (8)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Partikulat

Berdasarkan data yang berasal dari industri semen yang memproduksi sebesar 39,1 juta ton/tahun nilai konsentrasi partikulat pada proses penggilingan di *rawmill* adalah sebesar 10,18 g/m<sup>3</sup> dan debit sebesar 129500 m<sup>3</sup>/jam serta suhu partikulat maksimum sebesar 250°C.

### Perencanaan Duct

Menurut Schnelle, Karl B., Jr. (2016) perhitungan diameter *duct* diawali dengan mencari luasan *duct* yang didapat dari pembagian antara nilai debit yang akan masuk kedalam *duct* dan nilai *minimum control velocity* untuk kategori *very light dust* dengan nilai sebesar 5000 ft/m<sup>3</sup>.

Debit : 129500 m<sup>3</sup>/jam dikonversikan menjadi  $129500 \frac{m^3}{jam} \times \frac{1 m^3}{3600 detik} = 35,972 \frac{m^3}{detik}$  kemudian dikonversi menjadi satuan scfm  $35,972 \frac{m^3}{detik} \times 2118.88 = 76220,820 \text{ scfm}$

Menentukan nilai luasan area *duct*

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{76220,820 \text{ scfm}}{5000 \text{ ft/min}}$$

$$= 15,896 \text{ ft}^2$$

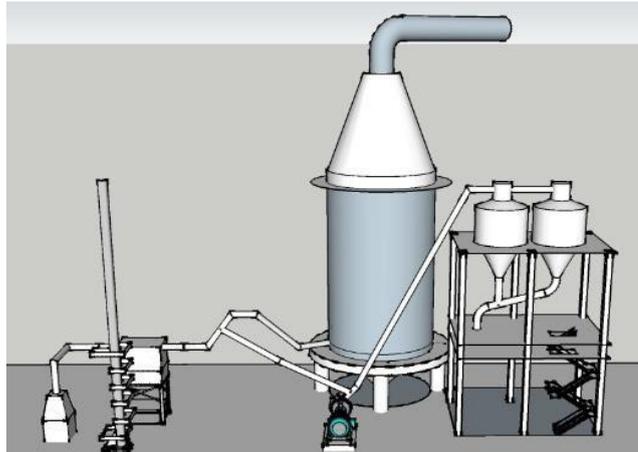
Menentukan diameter *duct*

$$D = \left( \frac{4A}{\pi} \right)^{0,5}$$

$$D = \left( \frac{4 \times 15,896 \text{ ft}^2}{\pi} \right)^{0,5}$$

$$D = 4,498 \text{ ft}$$

Hasil perhitungan diameter pipa sebesar 4,498 ft kemudian disesuaikan dengan diameter pipa yang tersedia dipasaran. Nilai diameter pipa dipasaran yang mendekati nilai 4.498 ft adalah 4,5 ft atau setara 54 inch. Jalur pengolahan partikulat dapat dilihat pada gambar 1



**Gambar 1.** Jalur pengolahan partikulat

Menghitung *Total Energy Loss* pada pipa

Nilai panjang pipa beserta jenis dan jumlah sambungan yang dibutuhkan untuk perhitungan *total energy loss* pada pipa didasarkan pada jalur pipa yang telah ditentukan. Jalur *dust collecting* yang telah terpasang kemudian diberi notasi agar mudah dalam perhitungannya.

**Tabel 1.** Perhitungan Diameter *Duct* pada Jalur Pengolahan Partikulat

| Duct | Flow (scfm) | Velocity (V in ft/min) | Area (A in ft <sup>2</sup> ) | D (ft) | D <sub>act</sub> (ft) | A <sub>act</sub> (ft <sup>2</sup> ) | V <sub>act</sub> (ft/min) |
|------|-------------|------------------------|------------------------------|--------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| A    | 76220.82    | 5000                   | 15.896                       | 4.498  | 4.5                   | 15.896                              | 1517.134                  |
| B    | 76220.82    | 5000                   | 15.896                       | 4.498  | 4.5                   | 15.896                              | 1517.134                  |
| C    | 76220.82    | 5000                   | 15.896                       | 4.498  | 4.5                   | 15.896                              | 1517.134                  |
| D    | 76220.82    | 5000                   | 15.896                       | 4.498  | 4.5                   | 15.896                              | 1517.134                  |
| E    | 76220.82    | 5000                   | 15.896                       | 4.498  | 4.5                   | 15.896                              | 1517.134                  |
| F    | 76220.82    | 5000                   | 15.896                       | 4.498  | 4.5                   | 15.896                              | 1517.134                  |

Jalur Pipa A

$$V = 4794,893 \text{ ft/min}$$

$$V(\text{std}) = \left( \frac{4005}{4794,893} \right)^2$$

$$V(\text{std}) = \left( \frac{4005}{4794,893} \right)^2$$

$$V(\text{std}) = 1,433 \text{ in of H}_2\text{O}$$

Perhitungan *friction* membutuhkan nilai *f* atau *friction factor* yang di dapat dari grafik *friction loss*. Nilai *f* pada seluruh jalur pipa pada penelitian ini adalah sama karena nilai diameter pipa dan nilai kecepatan pipa yang sama pada semua jalur yakni sebesar 0,028 in of H<sub>2</sub>O/100 ft.

$$L = 98,4252 \text{ ft}$$

$$f(D/V) = \left( \frac{0,028 \text{ in}}{100 \text{ ft}} \right) \times 98,4252 \text{ ft}/100$$

$$f\left(\frac{D}{V}\right) = 0,028 \text{ in of H}_2\text{O}$$

Jalur A memiliki beberapa aksesoris yakni 2 buah *elbow* 30 yang memiliki nilai *head loss constant* sebesar 0.3 dan tidak memiliki *hood*

$$K_H = 0 \quad K_x = 0,3$$

Perhitungan *total energy loss* pada jalur A sebagai berikut :

$$TP = (0,028 + 0,3) \times 0,143 = 0,471 \text{ in of H}_2\text{O}$$

$$\text{Total TP UP to fan} = -(0,471) = -0,471$$

#### Penentuan Blower

Terdapat 2 *blower* yang terpasang pada jalur *dust collecting* yang ditempatkan diantara *duct* A dan *duct* B serta diletakkan setelah unit *dust collector* menuju ke cerobong.

*Blower* 1

$$Q = 76220,820 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\Delta P = 5 - (-0,471) = 5,471 \approx 6$$

$$W_f = \frac{0.0001575 \times Q \times \Delta P_f}{\eta}$$

$$W_f = \frac{0.0001575 \times 100480 \text{ ft}^3/\text{min} \times 6}{0,83}$$

*Blower* 2

$$W_f = 114,402 \text{ HP}$$

$$Q = A_{\text{act}} \times V$$

$$= 50,24 \text{ ft}^2 \times 2000 \text{ ft}/\text{min}$$

$$= 100480 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\Delta P = 5 - (-2,868) = 7,868 \approx 8$$

$$W_f = \frac{0.0001575 \times Q \times \Delta P_f}{\eta}$$

$$W_f = \frac{0.0001575 \times 100480 \text{ ft}^3/\text{min} \times 8}{0,83}$$

$$W_f = 152,536 \text{ HP}$$

#### Perencanaan Bag Filter

Perencanaan *bag filter* diawali dengan menentukan jenis kain *filter* yang akan digunakan, dalam perencanaan ini jenis kain *filter* yang akan digunakan adalah *fiberglass* karena mampu bekerja pada suhu maksimum sebesar 550°F atau 287,78°C. Pada penelitian ini suhu partikulat maksimal yang akan masuk ke *bag filter* sebesar 250°C. Perencanaan *bag filter* ini menggunakan tipe pembersihan *pulse jet* dengan tekanan tinggi untuk membersihkan secara otomatis partikulat yang menempel pada *filter*. Dalam merencanakan *bag filter* memiliki beberapa tahapan yakni:

- Menentukan efektifitas kecepatan *filter*

Kecepatan *filter* ( $v_{ef}$ ) didapat setelah menentukan nilai kecepatan filtrasi ( $v_{fn}$ ) berdasarkan tipe pembersihan dengan *high pressure* dari limbah *refractory dust*, sehingga nilai  $v_{fn}$  sebesar 9 fpm, selanjutnya menentukan nilai Aplikasi dari partikulat dimana nilai A ini sebesar 1 dikategorikan sebagai debu yang mengganggu, kemudian menentukan nilai T atau suhu, untuk suhu gas sebesar 250°C adalah 0,8. Nilai P atau ukuran partikulat, dalam perencanaan ini nilai P sebesar 0,8 karena ukuran dari partikulat dibawah 3  $\mu\text{m}$ . Nilai D adalah konsentrasi dari partikulat, konsentrasi partikulat didapatkan sebesar 10,18  $\text{g}/\text{m}^3$  yang apabila dikonversi menjadi  $\text{gr}/\text{ft}^3$  adalah  $10,18 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{35,315 \text{ ft}^3} = 0,288 \text{ gr}/\text{ft}^3$  sehingga nilai D adalah 1,2 karena nilai konsentrasi partikulat dibawah 10  $\text{gr}/\text{ft}^3$ .

Perhitungan nilai efisiensi kecepatan *filter* ( $V_{ef}$ ) menggunakan persamaan berikut:

$$V_{ef} = V_{fn} \times A \times T \times P \times D$$

$$V_{ef} = 9 \text{ fpm} \times 1 \times 0,8 \times 0,8 \times 1,2$$

$$V_{ef} = 6,912 \text{ fpm}$$

- Menentukan Panjang *Filter*

Panjang *filter* ditentukan dengan cara menarik grafik menggunakan nilai efisiensi kecepatan ( $V_{ef}$ ) dan nilai *can velocity* ( $V_c$ ). Diketahui nilai  $V_{ef}$  adalah 6,912 fpm, nilai ini didapatkan dari perhitungan sebelumnya sedangkan nilai  $V_c$  untuk *refractory dust* adalah 200 fpm, nilai ini didapatkan dari tabel *can velocity* pada Croom, M.L. (1995), setelah mendapat nilai dari grafik kemudian melakukan interpolasi. Berikut adalah perhitungan interpolasi untuk menentukan panjang *filter*.

$$\frac{5 - 7,5}{5 - 6,912} = \frac{13 - 8,4}{13 - x}$$

$$\frac{-2,5}{-1,912} = \frac{4,6}{13 - x}$$

$$2,5x = -8,7952 + 32,5$$

$$x = 9,482 \text{ ft}$$

Nilai panjang *filter* sebesar 9,482 ft yang apabila dikonversi menjadi meter adalah sebesar  $9,482 \text{ ft} \times \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 2,891 \text{ m} \approx 2,9 \text{ meter}$ . Sehingga dari perhitungan diatas nilai panjang *filter* didapatkan sebesar 2,9 meter.

- Menentukan Jumlah *Filter*

Penentuan jumlah *filter* yang dibutuhkan dimulai dari menghitung luasan area *filter* (*net-cloth area*). Nilai debit yang digunakan sebesar 76220,82. Berdasarkan Theodore, L. (2008) nilai *air-to-cloth ratio* yang digunakan adalah untuk kategori bahan *cement* dan mekanisme pembersihan *pulse jet* yakni sebesar 8 ft/min. Maka perhitungan area *filter* :

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{76220,82 \text{ ft}^3/\text{min}}{8 \text{ ft}/\text{min}}$$

$$A = 9527,603 \text{ ft}^2$$

Menghitung luasan masing-masing *filter* kemudian didapat jumlah *filter* yang dapat memenuhi seluruh area *filter*. Nilai diameter *filter* dipasaran untuk jenis kain *fiberglass* adalah sebesar 7 inch atau 0,584 ft.

$$a = (\pi \times D \times H) + \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right)$$

$$a = (\pi \times 0,584 \times 9,482) + \left(\frac{\pi \times 0,584^2}{4}\right)$$

$$a = 17,664 \text{ ft}^2$$

Maka jumlah *filter* yang dibutuhkan adalah

$$N = \frac{A/a}{9527,601 \text{ ft}^2}$$

$$N = \frac{9527,603 \text{ ft}^2}{17,668 \text{ ft}^2}$$

$$N = 539,258 \approx 546 \text{ buah}$$

- Desain Dimensi Unit *Bag Filter*

*Bag filter* dengan jumlah 546 buah direncanakan memiliki dimensi panjang 8,8 meter, lebar 6,4 meter dan tinggi sebesar 8 meter. *Filter* direncanakan akan disusun menjadi 26 baris dan 21 buah pada tiap kolomnya dan jarak antar *filter* sebesar 10 cm.

#### 4. KESIMPULAN

Partikulat yang akan diolah memiliki konsentrasi sebesar 10,18 g/m<sup>3</sup> dan debit sebesar 129.500 m<sup>3</sup>/jam serta suhu partikulat maksimum sebesar 250°C. *Dust collector* berupa *bag filter* direncanakan memiliki dimensi *duct* sebesar 1,37 m serta daya blower masing-masing sebesar 114,404 HP dan 152,536 HP. Perhitungan *filter area* sebesar 9527,603 ft<sup>2</sup>. Jumlah *bag* didapatkan 546 buah dengan dimensi *bag* 2,9 m x 0,177 m dan jarak antar *bag* sebesar 0,1 m.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (1998). *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice 23rd Edition*, Amerika.
- Croom, M.L. (1995). *Filter Dust Collectors*. United States Of America: McGrawHill
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.19 Tahun 2017 Tentang Baku Mutu Emisi Bagi Usaha dan /atau Kegiatan Industri Semen
- Schnelle, Karl B., Jr. (2016). *Air Pollution Control Technology Handbook Second Edition*. New York : CRC Press
- Theodore, L. (2008). *Air Pollution Control Equipment*. New Jersey: John Willey & Sons.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). (1998). *Baghouses and Filters*. Washington, DC.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). (1999). *Electrostatic Precipitators*. Washington, DC

**Halaman ini sengaja dikosongkan**