

## Perencanaan *Wet Scrubber* pada Unit *Boiler* di Industri Minyak Goreng

Annisa Fitri Heriantini<sup>1\*</sup>, Ahmad Erlan Afiuddin<sup>1</sup>, Alma Vita Sophia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

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

### Abstrak

Proses kerja *coal boiler* menghasilkan emisi dalam bentuk partikulat dengan kandungan gas CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>2</sub>. Perusahaan mengantisipasi adanya dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh emisi *coal boiler* dengan mengadakan sebuah unit *gravity settling chamber* (GSC). Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa ukuran partikulat di industri minyak goreng ini sebesar 5 µm, sehingga dapat diketahui bahwa GSC bukan tipe *dust collector* yang sesuai karena GSC hanya digunakan untuk menghilangkan partikel dengan ukuran 40-60 µm. *Dust collector* yang mampu mengolah kandungan partikulat dan gas dalam satu waktu adalah *wet scrubber*. Perencanaan pengolahan partikulat yang lebih efektif di perusahaan ini terdiri dari proses perencanaan *wet scrubber* dan proses perencanaan jalur pengolahan partikulat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merencanakan proses pengolahan partikulat yang lebih efektif. Proses perencanaan *wet scrubber* membutuhkan data ukuran partikulat, kecepatan gas dan konsentrasi partikulat yang dapat diukur menggunakan metode gravimetri. Hasil uji konsentrasi partikulat menunjukkan partikulat yang lepas ke lingkungan masih melebihi baku mutu Pergub Jatim No. 10/2009, dengan hasil uji sebesar 0,2657 mg/Nm<sup>3</sup> dan 0,8345 mg/Nm<sup>3</sup>. Partikulat yang terdapat pada industri ini memiliki diameter 0,1-13 µm. Hasil perencanaan *wet scrubber* diperoleh dimensi *wet scrubber* dengan panjang 1,7 m; lebar 1,7 m dan tinggi 8 m. Hasil perencanaan jalur pengolahan partikulat menunjukkan diameter *duct* yang dibutuhkan sebesar 1,37 m.

**Keyword:** partikulat, *boiler*, *gravity settling chamber*, perencanaan dan *wet scrubber*

### 1. PENDAHULUAN

*Boiler* merupakan salah satu unit terpenting di industri minyak goreng sebagai penghasil *steam* untuk memasak minyak mentah. *Boiler* yang terdapat di industri minyak goreng ini berbahan bakar batu bara dengan kapasitas maksimal 20 ton per hari. Proses kerja *boiler* menghasilkan beberapa jenis limbah diantaranya yang berbentuk padat adalah *fly ash* dan *bottom ash* sedangkan gas buang yang dihasilkan berupa CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>. Perusahaan mengantisipasi adanya dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh emisi *coal boiler* seperti partikulat *fly ash* dan *bottom ash* dengan membangun sebuah unit *dust collector* berjenis GSC. Cholifah (2008) menyebutkan bahwa ukuran partikulat di industri minyak goreng ini sebesar 5 µm, sehingga dapat diketahui bahwa GSC bukan tipe *dust collector* yang sesuai karena GSC hanya digunakan untuk menghilangkan partikel dengan ukuran 40-60 µm (Theodore, 2008). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan peningkatan terhadap upaya pengendalian pencemaran udara dengan merencanakan sebuah *dust collector* yang lebih sesuai dengan kondisi pencemaran.

Analisa lapangan di area *boiler* menunjukkan kondisi pengendalian pencemaran udara yang telah dilakukan oleh perusahaan kurang efektif karena adanya partikulat *fly ash* emisi *boiler* yang mencemari area sekitar unit *boiler*. Partikulat *fly ash* yang beterbangan di area kerja unit menjadi pertanda bahwa upaya pengendalian pencemaran yang dilakukan oleh perusahaan kurang efektif. Penelitian lebih lanjut terkait peningkatan upaya pengendalian pencemaran udara sangat diperlukan. Beberapa jenis alat pengendali pencemaran udara yang dapat memperbaiki kondisi pengendalian pencemaran udara di unit *boiler* adalah *cyclone*, *wet scrubber*, *bag filter* dan *electrostatic precipitator*. Emisi yang keluar dari unit *boiler* terdiri dari partikulat dan gas buang CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>. Unit *boiler* membutuhkan *dust collector* yang mampu untuk mengolah emisi dengan kandungan gas dan partikulat dalam satu waktu. Satu-satunya jenis alat yang dapat direncanakan untuk mengoptimalkan kinerja GSC dan menanggulangi adanya pencemaran udara berbentuk gas maupun partikulat adalah *wet scrubber*.

### 2. METODE

Penelitian terkait peningkatan pengendalian pencemaran udara terdiri dari tiga tahap yaitu tahap pengumpulan data, tahap perencanaan jalur pengolahan partikulat dan tahap perencanaan *wet scrubber*. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer data sekunder. Data sekunder terkait konsentrasi

emisi cerobong dan diameter partikulat diperoleh dari hasil pemantauan rutin perusahaan dengan parameter pencemar NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, konsentrasi partikulat dan Opasitas. Data primer terkait konsentrasi udara ambien diperoleh dengan menggunakan alat berupa *high volume air sampler* (HVAS) menggunakan metode gravimetri yang mengacu pada SNI 19-7119.3-2005. Laju alir emisi gas boiler diketahui metode penentuan kecepatan aliran dan tingkat aliran volumetrik gas dalam emisi sumber tidak bergerak yang mengacu pada KEP-205/BAPEDAL/07/1996. Perhitungan perencanaan jalur pengolahan partikulat mengacu pada *Air Pollution Control Technology Handbook Second Edition* (Schnelle, 2016). Perencanaan dimensi *wet scrubber* mengacu pada *United States Environmental Protection Agency 2002 tentang Air Pollution Control Cost Manual Sixth Edition* EPA/452/B-02-001.

#### Konsentrasi Emisi

Pengukuran konsentrasi partikulat pada unit boiler menggunakan HVAS kemudian dilakukan pengukuran konsentrasi menggunakan metode gravimetri. Pengambilan sampel untuk menentukan nilai konsentrasi partikulat dibutuhkan beberapa alat seperti: desikator, timbangan analitik, penjepit dan HVAS. Bahan yang diperlukan dalam pengukuran konsentrasi emisi ini adalah kertas saring. Langkah kerja dalam pengukuran konsentrasi emisi adalah sebagai berikut: (1) Memasukkan kertas saring kedalam desikator selama 24 jam, untuk dihilangkan kandungan air di dalam kertas saring tersebut. (2) kertas saring yang telah dihilangkan kandungan airnya ditimbang menggunakan timbangan analitik untuk diketahui berat kertas saring sebelum ada partikulat. (3) Mempersiapkan alat HVAS dan menempatkan kertas filter pada *filter holder*. (4) Menyalakan HVAS dan lakukan pengambilan sampel selama 15 menit. (5) Memindahkan kertas saring dengan hati-hati dan menjaganya agar tidak ada partikel yang terlepas. (6) Melipat kertas saring dan menyimpannya. (7) Memasukkan kertas saring yang terdapat partikulat kedalam desikator selama 24 jam. (8) Menimbang kertas saring dengan timbangan analitik untuk diketahui berat kertas saring sesudah ada partikulat.

#### Kecepatan Aliran Emisi Boiler

Beberapa jenis peralatan yang digunakan untuk menentukan kecepatan aliran dan tingkat aliran volumetrik gas dalam emisi boiler adalah kantong tedlar, tabung pitot tipe S, termokopel, barometer, manometer, termometer dan *gas analyzer*. Langkah kerja dalam pengukuran ini yang pertama adalah merangkai seluruh peralatan yang digunakan sesuai dengan yang tercantum dalam KEP-205/BAPEDAL/07/1996. Langkah selanjutnya adalah memeriksa rakitan peralatan untuk memastikan tidak ada kebocoran. Kosongkan kantong tedlar lalu sambungkan rakitan pengambil contoh uji. Pasang pipa pengambil contoh uji di tengah cerobong atau di sebuah titik yang jaraknya minimum 0,1 meter dari dinding cerobong. Contoh uji diambil pada keadaan konstan dan bilas kantong tedlar dengan membuang isi gas dan ulangi 2 sampai 3 kali dan catat hasil pengukuran.

#### Perencanaan Jalur Pengolahan Partikulat

Perencanaan jalur pengolahan partikulat terdiri dari dua proses utama yaitu menentukan diameter *duct* dan menghitung total *energy loss* pada pipa dan sambungan. Menentukan diameter *duct* membutuhkan data awal berupa debit emisi boiler dan nilai *minimum control velocity*. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai luasan area *duct* dengan persamaan:

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

Menentukan besar diameter *duct* yang akan digunakan dapat diketahui dengan persamaan:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Nilai total *energy loss* pada pipa dan sambungan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$TP = [f \left(\frac{L}{D}\right) + (1 + K_H) + \sum K_x] \frac{\rho V^3}{2}$$

#### Perencanaan Dimensi Wet Scrubber

Proses perencanaan dimensi *wet scrubber* membutuhkan beberapa data utama diantaranya diameter partikulat, kandungan kelembaban, *particulate loading*, kecepatan gas dan densitas gas. Perencanaan dimensi *wet scrubber* terdiri dari beberapa tahapan. Tahap pertama dalam perencanaan dimensi *wet scrubber* adalah menentukan nilai *cut diameter* dengan persamaan:

$$Pt = 1 - \eta_d$$

Tahap kedua dalam proses perencanaan dimensi *wet scrubber* adalah menentukan *scrubber power*. Besar nilai *scrubber power* dapat diketahui dari grafik hubungan antara *cut diameter* dengan konstanta B. Nilai yang dapat diperoleh dari grafik tersebut adalah nilai *scrubber power* dan nilai *pressure drop* dalam *wet scrubber*. Tahap selanjutnya adalah menentukan nilai kecepatan pada *throat* dan dimensi *wet scrubber*. Nilai kecepatan pada *throat* ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan antara *pressure drop*, kecepatan pada *throat* dan L/G. Dimensi *wet scrubber* dapat ditentukan setelah nilai kecepatan pada *throat* diketahui. Penentuan dimensi *wet scrubber* diawali dengan menentukan luas permukaan *throat* dengan persamaan:

$$A = \frac{\Delta P \times 1270}{(V \times \rho \times \left(\frac{L}{G}\right))^{1/0.133}}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Konsentrasi Emisi

Hasil nilai konsentrasi partikulat dalam 2 sampel yang diambil dengan lokasi yang berbeda di area *boiler* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Konsentrasi Emisi Area *Boiler*

No	Nama Lokasi	Nilai Konsentrasi (mg/Nm <sup>3</sup> )	Baku Mutu (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	Area <i>Boiler</i> 1	0,2657	0,26
2	Area <i>Boiler</i> 2	0,8345	0,26

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi emisi di sekitar area *boiler* melebihi baku mutu yang berdasar pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009 tentang baku mutu udara ambien dan emisi sumber tidak bergerak. Hasil pengukuran konsentrasi emisi *boiler* di dua titik bernilai 0,2657 mg/Nm<sup>3</sup> dan 0,8345 mg/Nm<sup>3</sup>. Baku mutu konsentrasi emisi yang berdasar pada Pergub Jatim No. 10/2009 tentang baku mutu udara ambien dan emisi sumber tidak bergerak menyebutkan bahwa baku mutu konsentrasi emisi sebesar 0,26 mg/m<sup>3</sup>. Sehingga dapat diketahui bahwa konsentrasi emisi di area *boiler* melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Nilai konsentrasi emisi yang melebihi baku mutu tersebut menunjukkan bahwa penggunaan GSC sebagai unit pengendalian pencemaran partikulat yang dilakukan oleh perusahaan kurang efektif. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan melakukan pengadaan unit *wet scrubber* untuk menanggulangi adanya pencemaran udara berbentuk gas maupun partikulat hasil emisi *coal boiler*.

#### Kecepatan Aliran Emisi *Boiler*

Berdasarkan hasil pengujian kecepatan aliran dan tingkat aliran volumetrik gas dapat diketahui nilai kecepatan aliran gas sebesar 18,92 m/s. Pengujian kecepatan aliran dan tingkat aliran volumetrik gas juga digunakan untuk mengetahui besar debit dari suatu aliran gas. Besar debit dari aliran gas emisi *boiler* adalah 33,411 m<sup>3</sup>/detik.

#### Perencanaan Jalur Pengolahan Partikulat

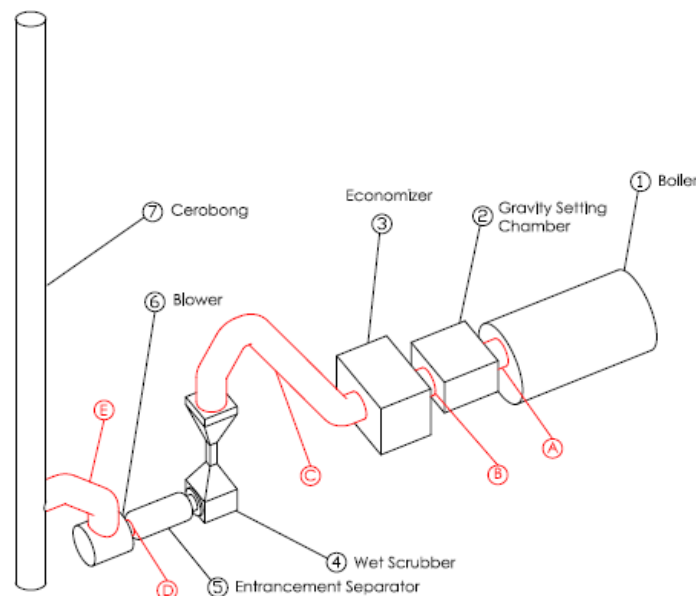
Proses perencanaan jalur pengolahan partikulat diawali dengan memperhitungkan besar nilai luasan area dengan persamaan:

$$A = \frac{Q}{V} \rightarrow A = \frac{70837,633 \text{ scfm}}{5000 \text{ ft/m}} \rightarrow A = 14,168 \text{ ft}^2 = 1,316 \text{ m}^2$$

Proses selanjutnya adalah menentukan besar diameter *duct* yang akan digunakan dapat diketahui dengan persamaan:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4(14,168 \text{ ft}^2)}{\pi}} \rightarrow D = 4,246 \text{ ft} = 1,294 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui bahwa diameter *duct* yang dibutuhkan sebesar 4,246 ft. Kondisi asli di pasaran tidak tersedia *duct* dengan diameter tersebut sehingga diperlukan adanya pembulatan ke nilai terdekat. Hasil pembulatan diperoleh nilai diameter *duct* sebesar 4,498 ft. Jalur pengolahan partikulat dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Perencanaan Jalur Pengolahan Partikulat

Proses akhir dari perencanaan jalur pengolahan partikulat adalah menghitung nilai total *energy loss* pada pipa dan sambungan yang dapat ditentukan dengan persamaan di bawah. Berikut adalah hasil perhitungan nilai total *energy loss* pada jalur A:

$$TP = [f \frac{(L)}{V} + (1 + K_H) + \sum K_x] \rightarrow TP = [f \frac{(0,55 \text{ m})}{100 \text{ ft}} \times 3,281 \text{ ft} + (1 + 0) + \sum K_x] \times 1,24 = 1,24 \text{ inch of H}_2\text{O}$$

Berikut adalah hasil perhitungan secara keseluruhan terkait nilai total *energy loss* pada pipa dan sambungan:

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Total *Energy Loss* pada Pipa dan Sambungan

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	70837,633	5000	14,168	4,246	4,498	15,884	4459,815
B	70837,633	5000	14,168	4,246	4,498	15,884	4459,815
C	70837,633	5000	14,168	4,246	4,498	15,884	4459,815
D	70837,633	5000	14,168	4,246	4,498	15,884	4459,815
E	70837,633	5000	14,168	4,246	4,498	15,884	4459,815

### Perencanaan Dimensi *Wet Scrubber*

Perencanaan peningkatan upaya pengendalian pencemaran udara dilakukan dengan menambah satu unit *dust collector* berjenis *wet scrubber* yang terletak setelah *economizer*. Penambahan *wet scrubber* diharapkan mampu untuk mengatasi permasalahan yang ada. Perhitungan desain *wet scrubber* mengacu pada *Wet Scrubbers for Particulate Matter*.

#### Menentukan nilai *cut diameter*

Partikulat berukuran 1  $\mu\text{m}$  diasumsikan tertangkap 90% untuk efisiensinya (kriteria desain koleksi efisiensi *wet scrubber* 81-100%).

$$Pt = 1 - \eta_d \rightarrow Pt = 1 - 0.9 \rightarrow Pt = 0.1$$

Dari nilai Pt dan B = 2,0, didapatkan nilai  $d_{\text{cut}}/d_{50} = 0,28$

$$d_{\text{cut}} = 1 \times 0.28 \rightarrow d_{\text{cut}} = 0.28 \mu\text{m}$$

#### Menentukan *scrubber power*

Dari grafik hubungan antara *cut diameter* diatas *pressure drop* dan *power* didapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Daya (P)} &= \frac{19 \text{ hp}}{1000 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}} \\ \text{Pressure Drop } (\Delta) &= 60 \text{ inch of H}_2\text{O} \\ \frac{L}{G} &= \frac{20 \text{ gallon}}{1000 \text{ acf}} \end{aligned}$$

#### Menentukan kecepatan pada *throat* dan dimensi *wet scrubber*

Asumsi penggunaan air atau L/G ratio adalah 20 gal/1000 acf, maka kecepatan pada *throat* dapat diperkirakan, yaitu:

$$\begin{aligned} V \text{ pada } \textit{throat} &= 490 \text{ ft/s} = 149,352 \text{ m/s} \\ V^2 \text{ pada } \textit{throat} &= 240100 \text{ ft/s} = 73182,48 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Maka kecepatan pada *throat* dari perhitungan yaitu:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{gas}} &= 0.0506 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 0,811 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \Delta P &= 5,4 \times 10^{-4} \times v^2 \times \rho_{\text{gas}} \times \left(\frac{L}{G}\right) \\ V^2 &= \frac{60 \text{ inch of H}_2\text{O}}{5,4 \times (10^{-4}) \times 0.0506 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times 20 \frac{\text{gallon}}{1000 \text{ acf}}} \\ &= 109793 \frac{\text{ft}}{\text{s}} = 33464,906 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Kecepatan rata-rata pada *throat* diambil dari nilai tengah dari kedua v tersebut yaitu dan nilai luas area *throat* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

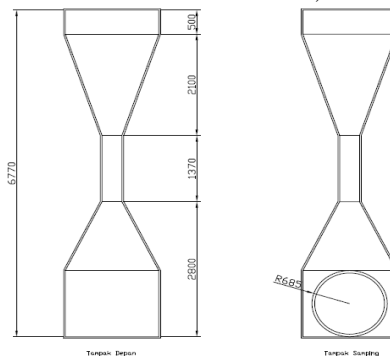
$$\begin{aligned} A_{\textit{throat}} &= \frac{60 \text{ inch of H}_2\text{O} \times 1270}{(174946,794 \times 0.0506 \times (60^{0.78}))^{1/0.133}} \\ &= 4,559 \text{ ft}^2 = 0,424 \text{ m}^2 \\ A_{\textit{throat}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (d)^2 \\ d_{\textit{throat}} &= \sqrt{4,559 \text{ ft}^2} \\ &= 2,280 \text{ ft} = 0,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena menggunakan *Rectangular Venturi*, maka  $d_{throat}$  = panjang *throat*, sehingga luas permukaan *throat* yaitu:

$$\begin{aligned} A_{\text{permukaan throat}} &= \text{panjang throat} \times \text{panjang throat} \\ &= 0,7 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \\ &= 0,49 \text{ m}^2 \\ &= 0,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang *throat* dan panjang *diverging section* dioptimalkan untuk *pressure recovery*. Untuk mengoptimalkan *pressure recovery*, maka diasumsi:

$$\begin{aligned} P_{\text{wet scrubber}} &= d_{\text{throat}} + d_{\text{duct}} \\ &= 0,7 \text{ m} + 1 \text{ m} \\ &= 1,7 \text{ m} \\ P_{\text{throat}} &= 3 \times d_{\text{throat}} \\ P_{\text{throat}} &= 3 \times 0,7 \text{ m} \\ &= 2,1 \text{ m} \\ P_{\text{diverging section}} &= 4 \times d_{\text{throat}} \\ P_{\text{diverging section}} &= 4 \times 0,7 \text{ m} \\ &= 2,8 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 2. Dimensi Wet Scrubber

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, konsentrasi emisi *boiler* di dua titik bernilai  $0,2657 \text{ mg/Nm}^3$  dan  $0,8345 \text{ mg/Nm}^3$ . Perencanaan *wet scrubber* yang telah dibahas menunjukkan dimensi *wet scrubber* yang dibutuhkan dalam pengolahan ini adalah panjang dan lebar 1,7 m dengan tinggi total sebesar 8,5 m. Diameter *duct* yang dibutuhkan untuk jalur pengolahan partikulat ini sebesar 1,37 m.

#### 5. DAFTAR NOTASI

- Pt = cut diameter
- $\eta_d$  = koleksi efisiensi
- A = luas area ( $\text{m}^2$ )
- D = diameter (m)
- TP = tekanan (Pa)
- V = kecepatan (m/s)

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- Cholifah, N. (2008). Perancangan *Local Exhaust Ventilation* (LEV) Sebagai Upaya Pengendalian Debu Batu Bara dari Hasil Proses Pembakaran Boiler Batu Bara. PPNS Surabaya: Jurnal Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
- Keputusan Kepala Bapedal No. 205 Tahun 1996 Tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Sumber Emisi Tidak Bergerak.
- SNI 19-7119.3. (2005). Udara ambien – Bagian 3: Cara Uji Partikel Tersuspensi Total Menggunakan Peralatan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan Metode Gravimetri.
- Schnelle, Karl B., Jr. 2016. *Air Pollution Control Technology Handbook Second Edition*. New York: CRC Press.
- Theodore, L. (2008). *Air Pollution Control Equipment*. Kanada: JohnWiley & Sons.
- U.S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*). (2002). *Air Pollution Control Cost Manual Sixth Edition*. Washington DC.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**