

## PERANCANGAN INSTALLASI SISTEM PENGENDALIAN EMISI DEBU PADA AREA PENGEMASAN BUBUK ZAT ADIKTIF

**Erlanda Augupta Pane<sup>1,\*</sup>, Galih Taqwatomo<sup>1</sup>, Ismail<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila,  
Srengseng Sawah, Jagakarsa - Jakarta, 12640, Indonesia

\*E-mail: erlanda.pane@univpancasila.ac.id

Diterima: 11 Februari 2019

Direvisi: 7 Maret 2019

Disetujui: 14 Maret 2019

### ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk merancang ulang instalasi sistem pengendalian emisi debu yang terdapat pada area pengemasan produk bubuk zat adiktif. Hal ini terjadi karena sistem unit pengendali emisi debu tidak dapat beroperasi secara optimal untuk mencegah intensitas paparan emisi di area pengemasan sehingga dapat mengganggu kinerja operator dan kondisi lingkungan. Metode penelitian menggunakan metode Perancis, yang dibagi menjadi pengamatan data untuk mendapatkan data nyata, mendesain ulang desain sistem kontrol emisi debu dan melakukan pengujian untuk mendapatkan data penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan ulang sistem unit kontrol emisi debu difokuskan pada perubahan jenis *filter* dari *cartridge filter* menjadi *sleeves/bag filter*. Tipe ini memiliki spesifikasi kinerja total *airflow* sebesar 4767 m<sup>3</sup>/jam dan nilai *surface area filter* sebesar 37.8 m<sup>3</sup>, di mana jumlah total filternya adalah 32 buah dengan setiap *filter* memiliki diameter 125 mm dan panjang 3 m. Bentuk *fitting duct* dan *suction point* yang juga dirancang ulang pada sistem instalasi dapat meningkatkan kinerja sistem. Hasilnya dapat meningkatkan daya kipas dari 4,27 kW menjadi 5,5 kW yang disesuaikan dengan spesifikasi pemasangan sistem yang ada untuk mengelola emisi debu di area pengemasan. Kondisi ini mampu menghasilkan penghematan efisiensi motor mekanik hingga 77%.

**Kata kunci:** *fitting duct, packaging, section point, sistem pengendalian emisi*

### ABSTRACT

*This research was conducted to redesign the installation system for controlling dust emissions in the packaging area of addictive powder products. This condition occurs due to the dust emission control unit system cannot operate optimally to prevent the intensity of emissions exposure in the packaging area, thus it can disrupt the operator's performance and environment condition. The research method uses the French method, that divided into the data observations to obtain real data, redesigns the design of dust emission control systems and conducting a test to obtain research data. The results showed that the redesign of the dust emission control unit system was focused on changing the type of filter from the cartridge filter into the sleeves/bag filter. This type has a total airflow specification of 4767 m<sup>3</sup>/h and the surface area filter is 37.8 m<sup>3</sup>, of which the total number of filters is 32 with each filter having a diameter of 125 mm and a length of 3 m. The shape of duct fittings and suction points that are also redesigned on the installation system can improve system performance. The results are able to increase fan power from 4.27 kW to 5.5 kW which is adjusted to the existing system installation specifications to manage dust emissions in the packaging area. This condition is capable to produce mechanical motor efficiency savings up to 77%.*

**Keywords:** *emision control system, fitting duct, packaging, section point*

## PENDAHULUAN

Proses pengemasan merupakan proses akhir sistem penanganan produk sebelum produk tersebut didistribusikan ke pihak konsumen, dimana proses pengemasan melalui tiga tahapan antara lain *mixing material*, *bag filling*, dan *packer bag* (Glock et al. 2019). Kualitas produk menjadi faktor utama pada proses pengemasan, dikarenakan proses pengemasan memiliki tujuan untuk melindungi dan menjaga kualitas produk dari efek buruk yang disebabkan oleh pemaparan kontaminasi dari lingkungan eksternal (Schaefer & Cheung 2018; Rohim & Kristanto 2016), selain itu bagian kemasan menjadi nilai tambah penjualan yang menjanjikan terhadap para konsumen (Hao et al. 2019; Libyawati et al. 2017).

Khususnya, proses pengemasan produk dalam bentuk bubuk zat adiktif mendapatkan penanganan yang lebih selektif diakibatkan adanya dampak pemaparan kontaminasi partikulat emisi debu dari lingkungan yang cukup tinggi, dimana partikulat merupakan bagian terkecil dari total polutan yang dihasilkan di area pengemasan (Hardiansyah & Afiuddin 2018). Partikulat ini memiliki pengaruh buruk yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan mampu menurunkan kualitas lingkungan serta material produk (Hendrawati & A 2016). Partikulat emisi debu memiliki ukuran yang dibagi ke dalam tiga kategori utama yaitu partikulat dengan ukuran 5-10 nm, partikulat dengan ukuran 2-5 nm, dan partikulat dengan ukuran < 2 nm (Azreen 2014; Sui et al. 2016).

Sektor industri dalam menangani hal tersebut menggunakan instalasi sistem pengendali emisi debu, dengan pendekatan model yang mengacu terhadap strategi kontrol efisiensi sistem dan pengaturan karakteristik emisi debu yang dibuang ke lingkungan (Kumar et al. 2015; Yang et al. 2016). Karakteristik emisi debu mengikuti karakteristik buangan partikulat emisi debu yang diijinkan oleh regulasi standar yang mana dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik standar emisi debu

No.	Jenis Partikulat	Standar Internasional (Schnelle et al. 2016)	Standar Nasional (Indonesia & Nasional Nasional 2005)
1.	NO <sub>2</sub>	0.001 – 0.01 ppm	3 ppm
2.	SO <sub>2</sub>	0.001 – 0.01 ppm	0.00025 ppm
3.	CH <sub>4</sub>	1 ppm	1 ppm
4.	CO	1 ppm	0.029 ppm
5.	Partikulat	0.01 ppm	0.01 ppm

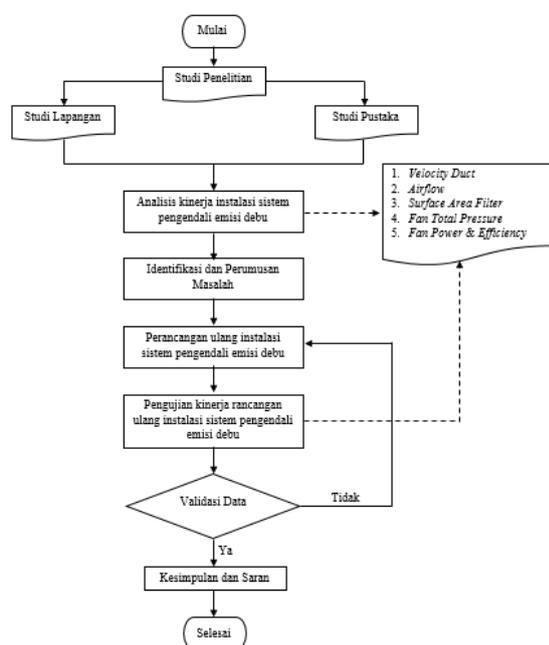
Namun, pada beberapa instalasi sistem pengendali emisi debu masih ditemukan kondisi yang tidak optimal dalam penanganan emisi debu dikarenakan kurangnya daya hisap sistem terhadap emisi debu secara optimal yang diakibatkan beberapa parameter kinerja sistem yang bermasalah. Parameter yang menjadi kunci dalam kinerja sistem tersebut antara lain nilai *velocity duct* dan ukuran dimensi sistem (Kumar et al. 2015). Sehingga perlu adanya perancangan ulang instalasi sistem sesuai dengan kebutuhan area pengemasan dan kondisi regulasi standar. Perancangan ulang sistem ini memiliki tujuan untuk mengurangi resiko gangguan kesehatan pekerja serta mencegah pencemaran udara di area pengemasan pabrik.

## METODE PENELITIAN

Kondisi instalasi sistem pengendali emisi debu pada area pengemasan industri bubuk zat adiktif yang berjalan tidak sesuai dengan regulasi standar yang telah ditetapkan oleh pemerintah (Indonesia & Nasional 2005) menjadi dasar permasalahan pada penelitian. Hal ini mengakibatkan sejumlah kandungan emisi debu yang tidak terkontrol menyebar di area pengemasan sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan operator yang beraktivitas pada area pengemasan tersebut. Karakteristik buangan emisi debu yang terdiri dari kualitas dan kuantitas menjadi parameter pengukuran kinerja dari sistem instalasi pengendali emisi debu tersebut.

Metode penelitian menggunakan metode *French*, yang mana metode ini terdiri dari tahapan observasi, studi pustaka, dan pengujian. Metode *French* tersebut dapat

ditunjukkan pada diagram alir penelitian Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 dapat dijelaskan bahwa tahapan awal penelitian melakukan studi penelitian yang dibagi menjadi dua tahapan yaitu studi lapangan dan studi pustaka. Studi lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi spesifikasi dan kondisi kinerja dari instalasi sistem pengendali emisi debu yang terdapat di area pengemasan barang; yang mana hasil dari studi lapangan tersebut dibandingkan dengan studi pustaka yang menjelaskan kondisi standar instalasi sistem pengendalian emisi debu.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

Hasil studi penelitian tersebut dilanjutkan dengan penentuan identifikasi dan perumusan masalah mengenai bagian dari instalasi sistem pengendali emisi debu yang bermasalah. Hal ini diketahui dari kondisi aktual di lapangan yang dibandingkan terhadap kondisi standar. Proses ini didukung dengan adanya pengujian parameter kinerja dari instalasi sistem yang menjadi faktor awal kondisi sistem. Parameter-parameter yang diukur antara lain nilai *airflow*, *fan total pressure*, *surface area*, dan *power fan* (BPH). Karakteristik sistem saluran pipa (*ducting*) pengendali emisi debu juga perlu diperhitungkan mengenai hal *velocity duct* yang dibutuhkan untuk mengalirkan emisi debu ke lingkungan luar. Setelah mengetahui kondisi bagian sistem instalasi pengendali emisi debu yang bermasalah, maka dilakukan proses perancangan ulang, yang mana hasil

dari perancangan ulang tersebut dilakukan pengujian kembali dengan mengacu terhadap kondisi standar instalasi sistem pengendali emisi debu. Kondisi karakteristik emisi debu hasil buangan dapat diketahui melalui pengukuran kualitas dan kuantitas debu yang keluar pada bagian *outlet* dengan terpusat pada bagian *chimney*.

### Studi Lapangan dan Studi Pustaka

Studi lapangan melakukan observasi dan identifikasi mengenai instalasi sistem pengendali emisi debu yang terdapat di area pengemasan barang industri bubuk zat adiktif, yang mana sistem tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kondisi unit pengendalian emisi debu area pengemasan

Tipe unit instalasi sistem pengendali emisi debu yang ditunjukkan pada Gambar 2 merupakan instalasi sistem tipe *fabric filter*. Tipe ini terdiri dari sistem filtrasi emisi debu dengan menggunakan tipe *cartridge filter* dan bagian *fan* yang disambungkan pada atap unit pengendalian emisi debu. Spesifikasi tipe instalasi sistem tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Spesifikasi unit pengendali emisi debu

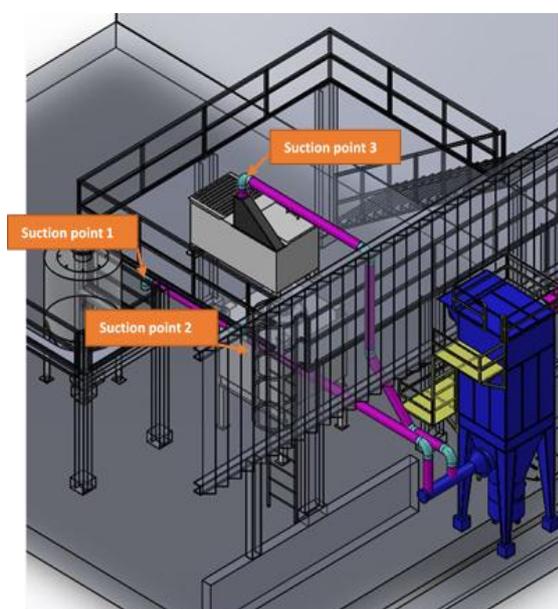
No.	Deskripsi	Keterangan
1.	<i>Power fan</i>	5.5 kW
2.	<i>Tipe filter</i>	<i>Cartridge filter</i>
3.	$\varnothing$ <i>Inlet unit</i>	250 mm
4.	Jumlah <i>filter</i>	4 buah
5.	Dimensi unit (p x l x t)	(1550 x 1000 x 2250) mm

Instalasi sistem pengendali emisi debu tersebut memiliki sistem saluran pipa (*ducting*) sebagai media alir untuk emisi debu yang dibuang ke lingkungan luar. Sistem *ducting* tersebut dapat

dilihat pada Gambar 3, sedangkan spesifikasinya dapat dilihat pada data Tabel 3.

**Tabel 3.** Spesifikasi instalasi sistem *ducting* emisi debu

No.	Deskripsi	Keterangan
1.	Material <i>duct</i>	PVC
2.	Ø <i>main duct</i>	250 mm
3.	Ø <i>suction point 1</i>	75 mm
4.	Ø <i>suction point 2</i>	75 mm
5.	Ø <i>suction point 3</i>	150 mm
6.	Tipe <i>hood</i>	<i>Opening-capturing hood</i>
7.	Jumlah <i>suction point</i>	3 buah



**Gambar 3.** Skema instalasi sistem *ducting* emisi debu

Berdasarkan Tabel 2 dapat dijelaskan bahwa instalasi sistem *ducting* emisi debu memiliki *main duct* yang merupakan saluran utama pertemuan dari tiga saluran *suction point*, yang mana setiap *suction point* mewakili setiap sumber aktivitas yang dilakukan pada area pengemasan barang. Posisi *suction point 1* merupakan saluran yang berasal dari proses *packer bag*, *suction point 2* merupakan saluran dari proses *bag filling*, dan *suction point 3* merupakan saluran yang berasal dari proses *mixing material*. Ketiga saluran *suction point* mengirimkan emisi debu untuk dilakukan pembersihan sebelum dibuang ke arah lingkungan luar.

### Pengujian Kinerja Instalasi Sistem *Ducting* Emisi Debu

Kondisi instalasi sistem *ducting* dilakukan pengujian mekanisme kinerja yang meliputi parameter *velocity duct*. Parameter *velocity duct* menentukan kecepatan emisi debu yang dibuang dengan bantuan *fan power* untuk menghisap dari area pengemasan barang menuju lingkungan luar. Ketiga bagian *suction point* memiliki kondisi *velocity duct* yang berbeda satu sama lain sesuai dengan kondisi kandungan emisi debu yang dihasilkan. Hasil dari pengujian kinerja tersebut dibandingkan dengan kondisi standar *velocity duct* yang terjadi di bagian *suction point*. Hal ini dijadikan sebagai bahan evaluasi dan perumusan solusi untuk perancangan ulang instalasi sistem *ducting* emisi debu.

### Pengujian Analisis Parameter Instalasi Sistem Emisi Debu

Perhitungan kinerja sistem pengendali emisi debu dilakukan dengan melakukan pengukuran pada beberapa parameter yang mempengaruhi mekanisme kinerja dari sistem tersebut antara lain *airflow*, *surface area filter*, *fan total pressure*, dan *BPH-power fan*. Mekanisme pengukuran parameter dapat dijelaskan pada sub-sub bab berikut ini.

#### *Airflow*

Perhitungan kondisi parameter *airflow* mempertimbangkan parameter *velocity duct* yang terjadi pada ketiga bagian *suction point*; dimana kondisi *velocity duct* yang digunakan mengikuti kondisi regulasi standar sehingga mempengaruhi proses pengukuran *airflow* yang dibutuhkan untuk sistem instalasi tersebut. Kondisi *velocity duct* yang diijinkan untuk sistem instalasi pengendalian emisi debu pada industri bubuk zat adiktif sebesar 16.5 – 20 m/s (Zhang et al. 2019). Selain kondisi *velocity duct*; ukuran dimensi saluran *ducting* menjadi parameter yang mempengaruhi parameter *airflow*. Perhitungan *airflow* untuk setiap bagian *suction point* dapat menggunakan Persamaan 1 (Schnelle et al. 2016)

$$Q_n = 320 \cdot \sqrt{x} \cdot L [cfm] \quad (1)$$

Keseluruhan kondisi *airflow* pada ketiga bagian *suction point* dapat diukur keseluruhannya dengan menggunakan Persamaan 2 (Schnelle et al. 2016)

$$Q_{total} = \sum_{n=3} Q_n \quad (2)$$

### Surface area filter

Parameter *surface area filter* dilakukan perhitungan untuk mengetahui ukuran dimensi *filter* dan tipe *filter* yang digunakan untuk mengatasi emisi debu. Karakteristik emisi debu yang melalui area *filter* menjadi parameter dasar pada perhitungan *surface area filter*, yang mana dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Dimensi partikel emisi debu pada area pengemasan

No.	Bagian Area	Concentration Dust (g/m <sup>3</sup> )	Diameter Partikel (µm)
1.	Filling & Packaging Material	4.5 – 15	2 – 15
2.	Mixing Material	1.5 – 4.5	7 - 15

Sumber: (Jia et al. 2017)

Berdasarkan karakteristik emisi debu yang dijelaskan pada Tabel 4; dapat diketahui bahwa emisi debu tersebut memiliki kandungan material *sodium carbonate* yang tinggi, hal ini juga dibuktikan dari hasil studi lapangan; sehingga tipe filter yang sesuai untuk menanggulangi emisi debu tersebut menggunakan filter dengan tipe *bag filter*. Tipe *bag filter* memiliki keunggulan dengan karakteristik pori filter yang lebih rapat dan tidak berlipat sehingga mudah dibersihkan serta memperkecil terjadinya *blocking filter*. Penggunaan tipe filter tersebut juga memperhatikan kondisi *air to cloth ratio*, sebagai parameter rasio udara lingkungan untuk membersihkan kandungan emisi debu. Emisi *sodium carbonate* memiliki *air to cloth ratio* sebesar 126 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h (Zhang et al. 2019). Berdasarkan beberapa parameter yang telah dijelaskan sebelumnya, maka kondisi *surface area filter* dapat diukur dengan menggunakan Persamaan 3 (Schnelle et al. 2016).

$$S_A = \frac{Q_{total}}{A} \quad (3)$$

Sedangkan, untuk jumlah filter yang digunakan dapat diukur dengan menggunakan Persamaan 4 (Schnelle et al. 2016).

$$Z_{bag} = \frac{S_A}{\phi_{bag} \cdot \pi \cdot L_{bag}} \quad (4)$$

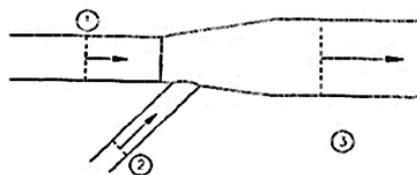
### Perhitungan kebutuhan instalasi sistem

Perhitungan kebutuhan instalasi sistem merupakan perhitungan yang diperlukan setelah melakukan analisis parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja instalasi sistem pengendali emisi debu. Proses perhitungan kebutuhan instalasi sistem meliputi perhitungan ukuran dimensi bagian-bagian sistem yang mengalami perubahan dengan disesuaikan kondisinya terhadap kondisi regulasi standar sistem. Kondisi *velocity duct* yang disesuaikan dengan kondisi standar instalasi sistem menjadi parameter dasar pada perhitungan kebutuhan instalasi sistem dengan pengaruh dari hasil analisis total *airflow* yang terjadi di dalam sistem *ducting* emisi debu. Perhitungan kebutuhan instalasi sistem meliputi perhitungan ukuran dimensi *suction part*, yang mana dapat dilihat pada Persamaan 5 dan 6 (Schnelle et al. 2016).

$$A_n = \frac{Q_n}{v} \quad (5)$$

$$r_s = \sqrt{\frac{A_n}{\pi}} \quad (6)$$

Perhitungan pengukuran dimensi *suction part* juga mempengaruhi ukuran dimensi *tee-way* yang merupakan titik pertemuan antara ketiga bagian *suction part* sebelum menuju ke *main duct*, yang mana dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Bentuk penampang *tee-way*

Bagian *tee-way* yang digunakan pada sistem instalasi memiliki dua bagian yaitu *tee-way*<sub>1</sub> yang merupakan titik pertemuan antara *suction part* 1 dan 2; dimana pengukuran dimensinya dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7 sampai dengan 9 (Schnelle et al. 2016).

$$T_{w_1} = Q_1 + Q_2 \quad (7)$$

$$A_{T_{w-1}} = \frac{Q_1 + Q_2}{v} \quad (8)$$

$$r_{Tw-1} = \sqrt{\frac{A_{Tw-1}}{\pi}} \quad (9)$$

Dan, *tee-way*<sub>2</sub> yang merupakan titik pertemuan antara *tee-way*<sub>1</sub> dan *suction part* 3; dimana pengukuran dimensinya dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 10 sampai dengan 12 (Schnelle et al. 2016)

$$T_{W_2} = T_{W_1} + Q_3 \quad (10)$$

$$A_{Tw-2} = \frac{T_{W_2}}{v} \quad (11)$$

$$r_{Tw-2} = \sqrt{\frac{A_{Tw-2}}{\pi}} \quad (12)$$

### Perhitungan Fan Total Pressure

Perhitungan *fan total pressure* pada sistem instalasi pengendali emisi debu yang dibutuhkan untuk area pengemasan bubuk zat adiktif memerlukan data yang dijelaskan pada Tabel 5.

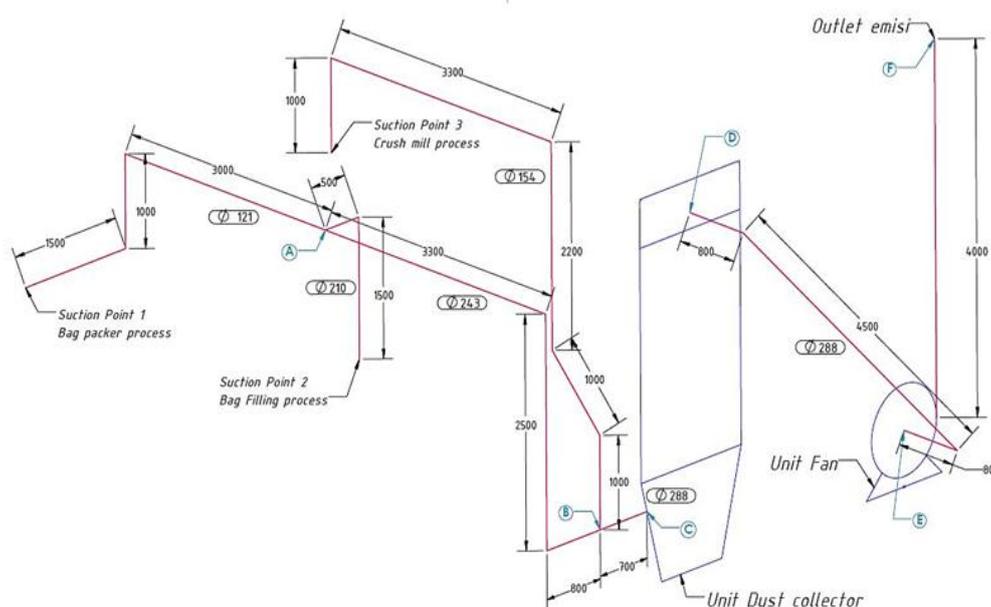
**Tabel 5.** Data proses sumber emisi debu

No.	Bagian	Qty Hood (buah)	Diameter suction (in)	Tipe Hood
1.	Packer bag	1	4.8	Plain duct end

2.	Bag filling	1	8.3	Flanged duct end
3.	Mixing material	1	6	Capture Hood

Data Tabel 5 merupakan data aktual ukuran dimensi dari hasil studi lapangan. Perhitungan *fan total pressure* dimulai dari titik hisapan yang terjauh pada saluran *ducting* emisi debu dan kemudian nilai *static pressure* nya per setiap segmen yang dijumlahkan sesuai dengan pembagian *no-segment* pada saluran *ducting*. Saluran *ducting* emisi debu dibagi menjadi 8 titik hubungan antara satu bagian dengan bagian lainnya; yang mana setiap bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 5, dan spesifikasi antara setiap hubungan dapat dilihat pada data Tabel 6.

Perhitungan pencarian nilai *fan total pressure* (FTP) meliputi beberapa perhitungan parameter antara lain nilai *Velocity Pressure* (VP), *hood entry loss duct* (HSP =  $h_e$ ), *friction loss* (FL), dan *fitting loss* (fl). Penentuan parameter FL memerlukan kondisi nilai  $H_f$  yang mana setiap diameter saluran *ducting* memiliki nilai  $H_f$  yang berbeda dan tergantung dari kondisi parameter *velocity duct*.



**Gambar 5.** Skema instalasi pengendali emisi debu

**Tabel 6.** Spesifikasi instalasi pengendali emisi debu per-segment

No-Segment	Diameter Line (in)	Airflow (CFM)	Panjang Duct (ft)	Qty Elbow (pcs)	Qty tee-way (pcs)
1 – A	4.76	500	18.04	2 - 90 <sup>0</sup>	-
2 – A	8.26	1500	6.56	1 - 90 <sup>0</sup>	1 - 30 <sup>0</sup>
A – B	9.52	2000	21.65	2 - 90 <sup>0</sup>	-
3 – B	6.06	806	26.9	2 - 90 <sup>0</sup> + 2 - 45 <sup>0</sup>	1 - 30 <sup>0</sup>
B – C	11.33	2805	2.29	-	-
C – D	11.33	2805	18.04	Dust collector unit	
D – E	11.33	2805	20.01	2 - 90 <sup>0</sup>	-
E - F	11.33	2805	13.1	-	-

Keseluruhan perhitungan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 13 sampai dengan 16 (Schnelle et al. 2016)

$$VP = \left( \frac{v}{4005} \right)^2 \quad (13)$$

$$HSP = x \cdot VP \quad (14)$$

$$FL = L_{duct} \cdot H_f \quad (15)$$

nilai faktor  $H_f$  dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Nilai konstanta  $H_f$

Diame ter (in)	Nilai Konstanta $H_f$				
	1000 fpm	2000 fpm	3000 fpm	4000 fpm	5000 fpm
4.5	0.0685	0.0649	0.0628	0.0614	0.0603
6	0.0482	0.0456	0.0442	0.0432	0.0424
8	0.0339	0.0321	0.0311	0.0304	0.0298
9	0.0293	0.0278	0.0269	0.0263	0.0258
11	0.0229	0.0217	0.0210	0.0206	0.0202

Sumber: (Xue & Sun 2018)

$$fl = ((Z_{elbow} \cdot Elbow_{loss}) + (Z_{Tw} \cdot Tw_{loss})) \quad (16)$$

Hasil dari perhitungan parameter-parameter tersebut dijumlahkan untuk menentukan kondisi *static pressure* pada setiap *no-segment* yang dihitung dengan menggunakan Persamaan 17 dan total dari keseluruhan *static pressure* pada keseluruhan bagian *no-segment* dihitung dengan Persamaan 18 (Schnelle et al. 2016)

$$SP_n = [HSP + (FL \cdot fl \cdot VP)]_n \quad (17)$$

$$SP_{in} = \sum_{n=7} SP_n \quad (18)$$

Nilai *static pressure* dalam posisi outlet diketahui melalui nilai *static pressure* pada saluran *no-segment line* D-E yang ditunjukkan pada Persamaan 19 (Schnelle et al. 2016)

$$SP_{out} = SP_7 \quad (19)$$

Setelah mengetahui nilai  $SP_{in}$  dan  $SP_{out}$  maka dapat diketahui nilai *fan total pressure* (FTP) yang dibutuhkan untuk sistem pengendalian emisi yang dijelaskan pada Persamaan 20 (Schnelle et al. 2016)

$$FTP = (SP_{out} + VP_{out}) - (SP_{in} + VP_{in}) \quad (20)$$

#### Perhitungan BPH unit fan dan efisiensi mekanikal motor

Perhitungan daya untuk unit *fan* atau BPH diukur dengan menggunakan parameter total *airflow*, nilai *fan total pressure*, koefisien *friction*, dan efisiensi mekanikal yang diasumsikan sebesar 100 % yang telah didapatkan sebelumnya. Proses perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 21 (Schnelle et al. 2016).

$$BPH = \frac{Q_{total} \cdot FTP}{CF \cdot \eta_t} \quad (21)$$

#### Pengujian Instalasi Sistem Pengendali Emisi Debu Setelah Perancangan Ulang

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada instalasi sistem pengendali emisi debu yang ada, maka dilakukan proses perancangan ulang. Beberapa bagian dari instalasi sistem yang mengalami perancangan ulang dilakukan pengujian kinerja yang disesuaikan dengan

parameter-parameter yang telah dijelaskan sebelumnya.

Proses pencarian efisiensi mekanikal motor pada instalasi sistem pengendali emisi debu yang telah dilakukan perancangan ulang dapat diukur dengan menggunakan Persamaan 21; yang mana dengan menggunakan kondisi BPH yang tertera pada sistem instalasi pengendali emisi debu yang dijelaskan pada Tabel 1 yaitu sebesar 5.5 kW atau 7.38 Hp.

Evaluasi kondisi kualitas buangan emisi debu yang dikeluarkan dari instalasi sistem pengendali emisi debu juga diukur yang meliputi kualitas dan kuantitas emisi debu; yang mana dibandingkan terhadap regulasi aman buangan emisi debu dengan kondisi standar. Kondisi buangan emisi debu yang cukup baik, dimana hasilnya lebih rendah dari nilai regulasi, maka perancangan ulang instalasi sistem pengendalian emisi debu berhasil.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Analisis Awal Instalasi Sistem Pengendali Emisi Debu

Hasil studi lapangan pada instalasi sistem pengendali emisi debu yang memiliki ukuran dimensi sesuai dengan Tabel 1 dan Tabel 2 menjelaskan kinerja performa dari instalasi sistem tersebut. Parameter kinerja yang menjadi fokus awal pada pengukuran adalah *velocity duct*, yang mana merupakan suatu ukuran kecepatan emisi debu pada bagian saluran (*ducting*) sistem pengendali yang akan dibersihkan dan dibuang menuju lingkungan luar. Data parameter *velocity duct* instalasi sistem awal dapat ditunjukkan pada data Tabel 8.

**Tabel 8.** Kondisi *velocity duct* aktual instalasi sistem pengendali emisi debu

No.	Bagian	Velocity Duct
1.	<i>Suction Point 1</i>	5.4 m/s
2.	<i>Suction Point 2</i>	6.8 m/s
3.	<i>Suction Point 3</i>	3.3 m/s

Berdasarkan data Tabel 8 dapat dijelaskan bahwa kondisi *velocity duct* pada setiap *suction point* memiliki kondisi tidak mencapai regulasi standar yang diperlukan oleh *suction point* untuk mengatur aliran emisi debu yaitu sebesar 16.5 - 20 m/s; hal ini juga akan

mempengaruhi kondisi *airflow* yang terjadi di bagian *suction point*.

Hasil parameter *velocity duct* tersebut didapatkan dari kondisi performa *fan* yang digunakan sebagai motor penggerak untuk mengalirkan emisi debu di sepanjang saluran *duct* pengendali emisi debu. Kondisi performa *fan* yang dimaksud dapat dilihat pada data Tabel 9.

**Tabel 9.** Kondisi performa *fan* motor penggerak

No.	Deskripsi	Keterangan
1.	<i>Power fan</i>	5.5 kW
2.	<i>Fan total pressure</i>	330 mmH <sub>2</sub> O

Berdasarkan hasil analisis instalasi sistem pengendalian emisi debu yang ditampilkan pada Tabel 8 dan Tabel 9 dapat dijelaskan bahwa sistem pengendalian emisi debu pada area pengemasan barang tidak dapat melakukan hisapan emisi secara optimal. Sehingga hal ini akan berdampak terhadap parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja instalasi sistem pengendalian emisi debu, antara lain *airflow*, *surface area filter*, dan efisiensi mekanikal motor yang digunakan.

Kondisi rendahnya nilai *velocity duct* dan performa kinerja *fan* juga disebabkan oleh dua faktor antara lain keterbatasan bentuk dan bahan material untuk instalasi sistem pengendalian emisi debu terutama pada bagian saluran pipa (*ducting*) emisi debu; yang mana material yang digunakan berasal dari PVC yang membuat nilai *fitting loss pressure* tinggi dan tidak stabilnya nilai *airflow* pada setiap *suction point* dikarenakan ukuran dimensi *suction point* yang tidak sesuai dengan regulasi standar. Beberapa perbaikan pada instalasi sistem dengan melakukan perancangan ulang dapat dimanfaatkan dengan tujuan untuk mengurangi dampak negatif yang diakibatkan oleh emisi debu.

### Perbaikan instalasi sistem pengendalian emisi debu pada area pengemasan industri

Mekanisme perbaikan yang dilakukan pada instalasi sistem pengendali emisi debu difokuskan terhadap proses perancangan ulang kepada beberapa bagian yang terdapat di instalasi sistem meliputi antara lain:

### Perubahan diameter suction point

Kebutuhan nilai *airflow* pada setiap *suction point* yang ditunjukkan pada Tabel 10 menjadi parameter dasar perubahan diameter *suction point*.

**Tabel 10.** Nilai *airflow* bagian *suction point*

No.	Bagian	Keterangan
1.	<i>Suction point 1</i>	850 m <sup>3</sup> /h
2.	<i>Suction point 2</i>	2548 m <sup>3</sup> /h
3.	<i>Suction point 3</i>	1369 m <sup>3</sup> /h
Total nilai		4767 m <sup>3</sup> /h

Diameter *suction point* yang optimum untuk kondisi *airflow* tersebut juga memiliki keterkaitan terhadap kondisi nilai *velocity duct*, yang mana kondisi standar *velocity duct* yang diijinkan pada instalasi sistem pengendalian emisi debu di industri adalah sebesar 16.5 – 20 m/s. Oleh karena itu, dengan memperhatikan kondisi *airflow* dan kondisi standar *velocity duct* yang terjadi di dalam *suction point*, maka terjadi peningkatan dimensi diameter *suction point*, yang mana datanya dapat ditunjukkan pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Dimensi diameter *suction point*

No.	Deskripsi	Ø <i>Suction Point</i>		Δ (%)
		Awal	Perbaikan	
1.	<i>Suction point 1</i>	75 mm	121 mm	42 %
2.	<i>Suction point 2</i>	75 mm	210 mm	65 %
3.	<i>Suction point 3</i>	150 mm	154 mm	3 %

Berdasarkan data Tabel 11 dapat dijelaskan bahwa peningkatan terbesar diameter *suction point* terletak pada posisi 2, yaitu bagian *bag filling*. Bagian *bag filling* merupakan bagian pengisian zat adiktif pada tas pengisi dan sebagai tempat sumber emisi debu; sehingga perlu terjadi peningkatan diameter yang cukup besar untuk menanggulangi emisi debu yang keluar ke area lingkungan luar.

Peningkatan diameter *suction point* dilakukan pengujian kinerja dengan mengacu terhadap kondisi standar *velocity*

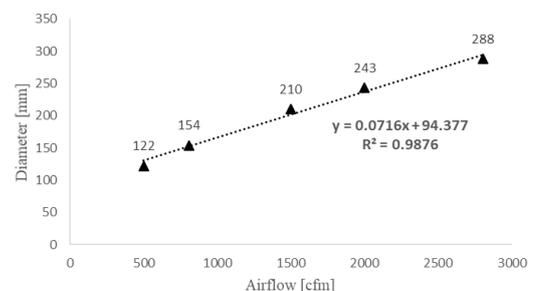
*duct*, sehingga hasilnya dapat dilihat pada data Tabel 12.

**Tabel 12.** Hasil pengukuran *velocity duct*

No.	Bagian	Hasil Pengukuran
1.	<i>Suction point 1</i>	19.05 m/s
2.	<i>Suction point 2</i>	25.3 m/s
3.	<i>Suction point 3</i>	> 30 m/s

Berdasarkan data Tabel 12 dapat dijelaskan bahwa peningkatan diameter *suction point* memberikan peningkatan nilai *velocity duct* dan kondisi peningkatan tersebut telah sesuai dengan kondisi standar instalasi sistem pengendalian emisi debu yang ditetapkan oleh Pemerintah.

Hubungan variabel antara *airflow* terhadap diameter *ducting* dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik hubungan variabel *airflow* dan diameter *ducting*

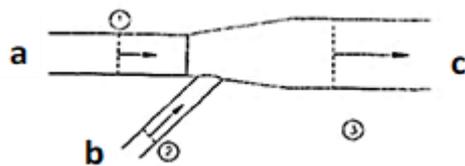
Berdasarkan Gambar 6 dapat dijelaskan bahwa nilai regresi hubungan antara *airflow* dan diameter *ducting* sebesar  $y = 0.0716x + 94.377$  dengan nilai kemiringan sebesar 0.0716 yang memiliki hubungan bersifat positif yang dapat diartikan yaitu semakin besar nilai *airflow* maka dimensi diameter *ducting* juga semakin besar. Sedangkan, nilai koefisien determinasi yaitu  $R^2$  dengan sebesar 0.9876 dapat diartikan bahwa sebesar 98.76% perancangan nilai diameter dipengaruhi oleh kondisi *airflow*. Nilai koefisien korelasinya tersebut mendekati nilai 1, sehingga dikatakan bahwa kondisi variabel diameter *ducting* terhadap nilai *airflow* memiliki hubungan yang sangat berpengaruh antar variabel.

Bentuk *tee-way* yang menjadi letak penggabungan ketiga *suction point* juga mengalami perubahan dengan mengikuti perubahan yang terjadi pada bagian *suction point*, dimana *tee-way* mengalami

perubahan bentuk menjadi *unsymmetrical*. Bentuk *unsymmetrical tee-way* memiliki tujuan untuk mencegah terjadinya *drop airflow* yang berlebihan pada setiap titik percabangan *suction point*. Berdasarkan bentuk sistem instalasi pengendalian emisi debu pada area pengemasan bubuk zat adiktif pada skema Gambar 6, maka perubahan dimensi *tee-way* di titik A dan B dapat ditunjukkan pada Tabel 13.

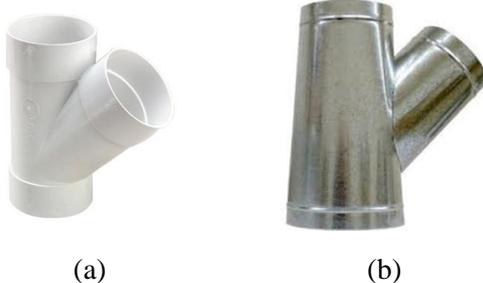
**Tabel 13.** Dimensi diameter *tee-way*

<i>Tee-way</i> A (mm)	<i>Tee-way</i> B (mm)
$\varnothing_a = 121$	$\varnothing_a = 154$
$\varnothing_b = 210$	$\varnothing_b = 243$
$\varnothing_c = 243$	$\varnothing_c = 288$



Perubahan bentuk *tee-way* dari kondisi *symmetrical* menjadi bentuk *unsymmetrical* tersebut dapat dilihat kondisinya pada Gambar 7.

*Tee-way* kondisi awal      *Tee-way* kondisi perbaikan



**Gambar 7.** *Tee-way symmetrical* (a) dan *unsymmetrical* (b)

**Perubahan bentuk *fitting duct***

Penggunaan *fitting duct* yang memiliki bentuk tidak standar dapat meningkatkan nilai *static pressure* per *segment fitting duct* dan berpengaruh terhadap nilai *fitting loss*. Perubahan pada bentuk *fitting duct* yang disesuaikan terhadap kondisi standar dapat membantu menurunkan nilai *fitting loss*, dikarenakan nilai *fitting loss* yang kecil dapat meringankan beban kerja sistem *fan* yang digunakan. Penggunaan bentuk *fitting*

*duct* yang disesuaikan dengan kondisi standar serta perubahan bentuknya dapat terlihat pada Gambar 8.

*Fitting-duct* kondisi awal      *Fitting-duct* kondisi perbaikan



**Gambar 8.** *Fitting duct elbow short radius* (a) dan *elbow long radius* (b)

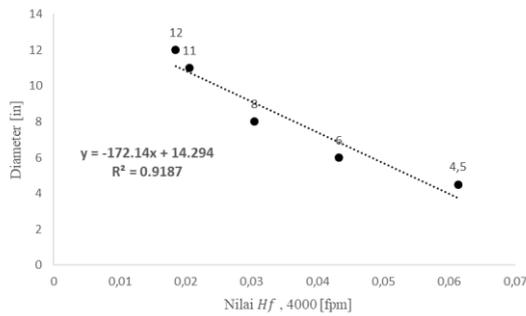
Perubahan bentuk *fitting duct* dan perubahan *tee-way* sebagai satu kesatuan instalasi sistem pengendalian emisi debu dilakukan pengujian performa kinerjanya, dimana kondisinya dapat dilihat pada data Tabel 14.

**Tabel 14.** Penurunan nilai *fitting loss*

No-Line	Nilai <i>fitting loss</i>		$\Delta$ (%)
	<i>Fitting Duct</i> awal	<i>Fitting duct</i> perbaikan	
1-A	0.84	0.48	43%
2-A	0.6	0.42	30%
A-B	0.84	0.48	43%
3-B	1.14	0.9	44%
D-C	0.84	0.48	43%

Berdasarkan data Tabel 8 dapat dijelaskan bahwa perubahan bentuk *fitting duct* dengan *tee-way* mampu menurunkan kondisi *fitting loss* sebesar 30 % sampai dengan 43%. Kondisi *fitting loss* merupakan kondisi dimana aliran udara yang masuk ke dalam *ducting* mengalami gesekan terhadap permukaan *ducting* yang berpengaruh terhadap kondisi *fan total pressure*. Penurunan nilai *fitting loss* mampu meningkatkan nilai *pressure*, dimana pada kondisi awal didapatkan nilai *pressure* sebesar 330 mmH<sub>2</sub>O mengalami peningkatan nilai *pressure* sebesar 349 mmH<sub>2</sub>O. Peningkatan nilai *pressure* berpengaruh terhadap daya isap *fan* untuk menyerap emisi debu yang terdapat di area pengemasan produk.

Hubungan antara variabel *friction loss* ( $H_f$ ) terhadap kondisi diameter *ducting* juga dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Grafik hubungan *friction loss* dan diameter *ducting*

Berdasarkan Gambar 9 dapat dijelaskan bahwa nilai regresi pada grafik sebesar  $y = -172.14x + 14.294$ , dengan nilai kemiringan ( $a$ ) sebesar  $-172.14$ , sehingga hal ini dapat dikatakan bahwa kedua hubungan antara *friction loss* dan diameter *ducting* terjadi korelasi negatif, yang mana semakin besar suatu dimensi diameter penulis maka nilai  $H_f$  akan semakin kecil. Sedangkan, nilai koefisien determinasi ialah  $R^2 = 0.9187$  dari hasil tersebut diartikan bahwa 91.87% perancangan nilai diameter dipengaruhi oleh nilai  $H_f$ . Nilai koefisien korelasinya tersebut yang mendekati nilai 1, sehingga dikatakan bahwa nilai variabel diameter dan *friction loss* memiliki hubungan yang cukup berpengaruh antar variabel.

Berdasarkan hasil dari perubahan ukuran dimensi pada bagian-bagian yang terdapat pada instalasi sistem pengendali emisi debu dapat dirangkum kondisi keseluruhan performa kinerja dari sistem tersebut yang ditunjukkan pada data Tabel 15.

**Tabel 15.** Spesifikasi hasil analisis kebutuhan unit pengendali emisi

No.	Deskripsi	Keterangan
1.	Power fan	4.27 kW
2.	Fan total pressure	349 mmH <sub>2</sub> O
3.	Surface area filter	37.8 m <sup>2</sup>
4.	Velocity duct	20.25 m/s
5.	Tipe filter	Sleeves/bag filter "polyster felt"
6.	Jumlah filter	32 buah
7.	Ø sleeves filter	125 mm
8.	Panjang filter	3 m

Kondisi perubahan instalasi sistem pengendali emisi debu yang terjadi pada bagian *suction point*, *tee-way* dan *fitting duct* mengakibatkan juga perubahan efisiensi mekanikal motor yang digunakan untuk menggerakkan *fan* sebagai

penarik atau penghisap emisi debu ke dalam saluran *ducting* untuk dibuang ke lingkungan luar. Meskipun *power fan* yang diperlukan menurun menjadi sebesar 4.27 kW, akan tetapi kondisi efisiensi mekanikal motor akan mengalami penghematan penggunaan daya motor hingga mencapai 77% apabila kondisi *fan power* yang digunakan sesuai dengan instalasi sistem pengendali emisi debu sebelumnya yaitu sebesar 5.5 kW.

Proses pengujian dan pengukuran kualitas emisi debu pada instalasi sistem pengendalian emisi debu di bagian outlet telah dilakukan dengan menggunakan standar Regulasi Pemerintah yang tertuang pada peraturan regulasi yang dijelaskan pada data Tabel 1 mengenai kondisi emisi debu buangan standar yang diijinkan untuk dibuang menuju area lingkungan. Proses pengujian kualitas emisi debu tersebut diletakkan pada bagian keluaran cerobong asap (*chimney*). Karakteristik kualitas emisi debu yang keluar berkaitan dengan kondisi *velocity duct* pada daerah instalasi sistem pengendalian emisi debu tersebut, dimana rata-rata kondisi nilai *velocity duct* setelah melakukan perubahan didapatkan nilai sebesar 20.25 m/s dan posisinya berada di antara ambang kondisi standar nilai *velocity ducting* regulasi yakni sebesar 16.25 – 20 m/s. Hasil data pengujian untuk kadar emisi *outlet* dihasilkan berada di bawah nilai ambang batas yang telah ditentukan, dimana hasilnya dapat dilihat pada Tabel 16.

**Tabel 16.** Hasil pengujian emisi *outlet*

No.	Uji Tes	Hasil (ppm)
1.	NO <sub>2</sub>	<0.002
2.	SO <sub>2</sub>	<0.000001
3.	CH <sub>4</sub>	<0.5
4.	CO	<0.001
5.	Partikel	<0.000027

Berdasarkan data Tabel 16 dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian emisi debu pada bagian *outlet* instalasi sistem pengendalian emisi debu telah mengalami penurunan nilai dan jauh berada di bawah kondisi regulasi yang ditetapkan oleh pemerintah, sehingga dapat disimpulkan kondisi ini cukup aman untuk dibuang ke lingkungan dan tidak menyebabkan kondisi bahaya bagi para operator di dalam area pengemasan barang industri.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa hasil perancangan instalasi sistem pengendalian emisi debu di area pengemasan bubuk zat adiktif membutuhkan unit sistem dengan tipe *fabric filter* yang memiliki spesifikasi kapasitas *airflow* total sebesar 4767 m<sup>3</sup>/h dengan nilai *surface area filter* sebesar 37.8 m<sup>2</sup>. Unit sistem tipe *fabric filter* tersebut menggunakan bentuk *filter sleeve* yang bersifat tidak memiliki lipatan pada *filter* sehingga mencegah terjadinya *blocking filter* terhadap emisi debu.

Unit *fan system* pada instalasi memiliki spesifikasi minimum *power fan* sebesar 5.5 kW dan nilai *fan total pressure* sebesar 330 mmH<sub>2</sub>O. Perbaikan sistem instalasi terletak pada bagian *ducting*, yang mana mengalami perubahan dimensi diameter pada setiap masing-masing *suction point* dan *main ducting* antara lain diameter *suction point 1* sebesar 121 mm, *suction point 2* sebesar 210 mm, dan *suction point 3* sebesar 154 mm; sedangkan diameter *main ducting* sebesar 288 mm. Kondisi ini mampu meningkatkan *fan total pressure* menjadi sebesar 349 mmH<sub>2</sub>O dengan penurunan tekanan *fan power* sebesar 4.27 kW

Penggunaan material PVC pada bagian *ducting* menyebabkan keterbatasan pada bentuk *fitting duct* seperti *elbow short radius* dan bentuk *tee-way symmetrical* (tidak adanya perubahan diameter), hal ini mengakibatkan tingginya nilai *fan total pressure* serta tidak stabilnya aliran *airflow* pada setiap *suction point*. Jika menggunakan bentuk instalasi standar maka kapasitas unit *power fan* yang semula sebesar 4.27 kW dilakukan peningkatan menjadi 5.5 kW, yang mana kondisi ini cukup untuk menanggulangi emisi debu pada area pengemasan barang dengan dengan penghematan efisiensi mekanikal motor mencapai 77%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para laboran Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila yang telah membantu proses penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Azreen, N., 2014. *Determination of Baseline Data on Respirable Dust Concentration for Safety and Health Enhancement in*

*Selected Small and Medium Industries in Johor*. Tun Hussein Onn Malaysia.

- Glock, C.H. et al., 2019. *An integrated cost and worker fatigue evaluation model of a packaging process*. International Journal of Production Economics, 207:107–124.
- Hao, Y. et al., 2019. *What affect consumers ' willingness to pay for green packaging? Evidence from China*. Resources, Conservation & Recycling, 141:21–29.
- Hardiansyah, R. & Afiuddin, A.E., 2018. *Perancangan Bag Filter pada Ruang Packing Industri Tepung Terigu*. In Conference Proceeding on Waste Treatment Technology:45–50.
- Hendrawati, T.Y. & A, S., 2016. *Analisis Kelayakan Industri Kelapa Terpadu*. Jurnal Teknologi, 8(2):1–10.
- Indonesia, S.N. & Nasional, B.S., 2005. Nilai Ambang Batas ( NAB ) zat kimia di udara tempat kerja:1–31.
- Jia, L. et al., 2017. *Improvements in the decision making for Cleaner Production by data mining: Case study of vanadium extraction industry using weak acid leaching process*. Journal of Cleaner Production, 143:582–597.
- Kumar, A. et al., 2015. *Evaluation of Control Strategies for Industrial Air Pollution Sources Using American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model with Simulated Meteorology by Weather Research and Forecasting Model*. Journal of Cleaner Production, 116:110–117.
- Libyawati, W., Suwandi, A. & Agustian, H., 2017. *Rancang Bangun Teknologi Modified Atmosphere Storage (MAS) dengan Kapasitas 4,77 m<sup>3</sup>*. Jurnal Teknologi, 9(2):103–116.
- Rohim, J.A. & Kristanto, A., 2016. *Perancangan Sistem Kerja pada Proses Pengemasan Emping Melinjo dengan Pendekatan Ergonomi*. Jurnal Integrasi Sistem Industri, 3(2):7–14.
- Schaefer, D. & Cheung, W., 2018. *Smart Packaging : Opportunities and Challenges*. In Procedia CIRP. Stockholm:1022–1027.
- Schnelle, K., Dunn, R. & Ternes, M., 2016. *Air Pollution Control Technology Handbook* 2nd editio., New York: CRC

Press.

Sui, Z. et al., 2016. *Fine particulate matter emission and size distribution characteristics in an ultra-low emission power plant*. Fuel, 185:863–871.

Xue, F. & Sun, B., 2018. *Experimental study on the comprehensive performance of the application of U-shaped corrugated pipes into reactive mufflers*. Applied Acoustics, 141:362–370.

Yang, S., Fath, B. & Chen, B., 2016. *Ecological network analysis of embodied particulate matter 2 . 5 – A case study of Beijing*. Applied Energy, 184:882–888.

Zhang, H.H., Nunayon, S.S. & Lai, A.C.K., 2019. *Experimental study on deposition enhancement of ultrafine particles in a duct flow by riblets*. Applied Thermal Engineering, 147:886–894.

