

Perancangan Ruangan *Sandblasting* dan *Local Exhaust Ventilation* untuk Pengendalian Debu Silika dari Proses *Dry Abrasive Blasting*

M. Raihan Rakhadary¹, Galih Anindita² dan Agus Khumaidi³

^{1,2}Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, ³Program Studi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: galih.talnabnof@ppns.ac.id

Abstrak

Proses *sandblasting* menghasilkan debu silika yang berbahaya bagi pekerja saat terhirup dan tertimbun dalam paru-paru, sehingga dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan silikosis yang merupakan salah satu penyakit pneumokoniosis. Pada salah satu *workshop* fabrikasi milik kontraktor pengukuran debu lingkungan kerja mendapatkan hasil sebesar 21,8 mg/m³ dengan konsentrasi SiO₂ tertinggi sebesar 0,419 mg/m³ berada di area *sandblasting* yang tidak memenuhi standar. Pengendalian debu silika hasil proses *sandblasting* dilakukan dengan merancang ruangan *sandblasting* dengan dimensi 8 m x 10 m x 7 m. Ruangan *Sandblasting* tersebut dilengkapi *local exhaust ventilation* yang menghasilkan laju aliran udara 60396 CFM dengan 180 ACH. *Inlet* di atas depan dan *outlet* udara di bawah belakang ruangan berdimensi 8 m² dengan kecepatan hisap 3,6 m/s yang nantinya akan disalurkan melalui *duct* dengan diameter 0,9 dan kecepatan 4500 fpm, menuju ke *air cleaner* berupa *fabric filter* dengan 100 *bag filter* berdiameter 0,2 m dan panjang 2,6 m. *Pressure drop* yang dihasilkan dari perancangan tersebut adalah 346,97 N/m² sehingga dibutuhkan daya *centrifugal fan* sebesar 9892,115 watt atau 13,27 HP. Perancangan tersebut bertujuan mengurangi paparan debu kontaminan, terjaganya visibilitas selama bekerja, dan menjaga debu agar tetap dalam ruangan dan difiltrasi sebelum dikeluarkan ke udara bebas

Kata Kunci: Debu Silika, *Local Exhaust Ventilation*, Ruangan *Sandblasting*, *Sandblasting*, Silikosis

Abstract

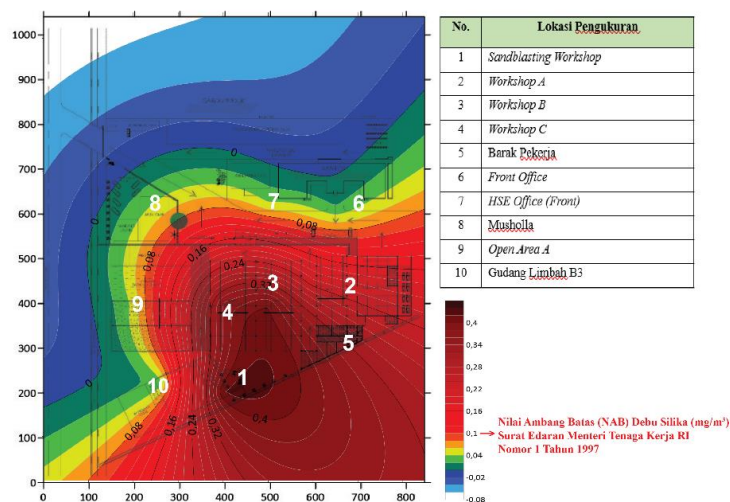
The *sandblasting* process generates silica dust, hazardous to workers when inhaled and accumulated, potentially leading to silicosis, a type of pneumoconiosis. In a contractor's fabrication workshop, dust measurements showed 21.8 mg/m³, with the highest SiO₂ concentration at 0.419 mg/m³ in the *sandblasting* area, exceeding standards. To control silica dust, a *sandblasting* room was designed with dimensions of 8 m x 10 m x 7 m, equipped with *local exhaust ventilation* producing an airflow rate of 60396 CFM and 180 ACH. The inlet is positioned at the front top and the outlet at the back bottom of the room, each with an area of 8 m² and a suction speed of 3.6 m/s. Dust is channeled through a duct with a diameter of 0.9 m and a speed of 4500 FPM to an air cleaner using a fabric filter with 100 bag filters, each with a diameter of 0.2 m and a length of 2.6 m. The design generates a pressure drop of 346.97 N/m², requiring a centrifugal fan power of 9892.115 watts or 13.27 HP. This design aims to reduce dust exposure, maintain visibility during work, and ensure dust is contained and filtered before being released into the air.

Keywords: *Local Exhaust Ventilation*, *Sandblasting*, *Sandblasting Room*, Silica Dust, Silicosis

1. PENDAHULUAN

Dry Abrasive Blasting adalah salah satu metode proses *blasting*, yaitu proses penyemprotan *material* abrasif dengan tekanan tinggi pada suatu permukaan dengan tujuan untuk menghilangkan material kontaminasi seperti karat, cat, garam, oli, dan partikel pengotor lain yang mempengaruhi hasil pengecatan. Salah satu media yang sering digunakan adalah pasir silika sehingga disebut sebagai *sandblasting*, yang berdasarkan MSDS (*Material Safety Data Sheet*) debuunya menghasilkan material karsinogenik berupa silika bebas (SiO_2) dan berpotensi menyebabkan kanker pada kategori 1A. Menurut Suma'mur (1988), silika bebas pada debu yang dihirup saat bernafas dan tertimbun dalam paru-paru manusia dapat menyebabkan penyakit silikosis yang merupakan penyakit paling penting dari golongan pneumokoniosis, salah satu jenis kanker pada paru-paru dengan masa inkubasi penyakit 5-10 tahun sehingga termasuk penyakit akibat kerja (PAK).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Liu dkk. (2013), terdapat lebih dari 23 juta pekerja di China, 2 juta pekerja di Eropa, dan 1,7 juta pekerja di Amerika Serikat yang mengalami paparan debu silika selama bekerja. Pada tahun 2019 ditemukan 138.965 kasus silikosis di dunia, mengalami peningkatan 64,6% dari tahun 1990 sebanyak 84.821 kasus (Chen dkk., 2022). Suatu kasus berkaitan dengan debu silika hasil proses *sandblasting*, terjadi di salah satu kontraktor yang bergerak di bidang EPC (*Engineering, Procurement, Construction*) yang memang memerlukan *sandblasting* setelah fabrikasi di *workshop*. Pengukuran debu partikulat total selama 8 jam menunjukkan nilai sebesar $21,8 \text{ mg/m}^3$ dengan konsentrasi SiO_2 tertinggi sebesar $0,419 \text{ mg/m}^3$ berada di area *sandblasting* yang tidak memenuhi standar. Nilai Ambang Batas (NAB) menurut PERMENAKERTRANS RI No. 13 Tahun 2011, untuk debu partikulat adalah sebesar 10 mg/m^3 dan untuk silika bebas menurut Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja RI Nomor 1 Tahun 1997 memiliki NAB $0,1 \text{ mg/m}^3$. Terlepas dari konsentrasi debu yang melebihi standar tersebut, proses pekerjaan di *workshop* lain menjadi terganggu dan terpaksa dihentikan saat *sandblasting* berlangsung sehingga proses pekerjaan lain menjadi terhambat. Menurut Scholz dkk. (2007), berkaitan dengan efek debu ke lingkungan sekitar, berikut adalah *mapping of silica respirable particulate matter* yang telah diolah dengan *software Surfer* berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan



Gambar 1. Mapping of Silica Respirable Particulate Matter

Mempertimbangkan bahwa efek debu silika ke lingkungan sekitar cukup parah, maka perlu dilakukan penelitian berkaitan dengan pengendalian debu silika yang dihasilkan dari *sandblasting*. Pengendalian dilakukan dengan cara rekayasa teknik dengan membuat ruangan tertutup yang dapat mencegah debu kontaminan selama proses *sandblasting* dapat tersebar keluar. Health and Safety Executive (2017), menjelaskan bahwa rekayasa teknik dengan perancangan *local exhaust ventilation* (LEV) untuk mengurangi pekerja terpapar udara kontaminan secara berlebih. *Local exhaust ventilation* umumnya terdiri dari 4 bagian yaitu *hood* untuk menangkap udara kontaminan, *ducting* untuk menyalurkan udara dari *hood*, *air cleaner* berfungsi untuk menyaring udara sebelum dikeluarkan ke udara bebas, dan *fan* berfungsi untuk komponen penggerak udara untuk mengekstrak debu kontaminan. Standar perancangan menggunakan ANSI Z9.4-1985 *Abrasive Blasting Operations–Ventilation and Safe Practices for Fixed Location Enclosures*, dengan standar maupun literatur pendukung seperti ASHRAE (2020) dan (ACGIH, 1998) untuk detail teknik perancangan ventilasi yang benar sesuai dengan kebutuhan.

Penelitian ini bertujuan untuk melaksanakan Undang-Undang RI No. 1 Tahun 1970, dimana pekerja berhak untuk mendapatkan perlindungan atas keselamatannya dalam melakukan pekerjaan sehingga kesehatannya terjamin. Sehingga dari pihak pengurus atau pemberi kerja memiliki kewajiban untuk menyediakan dan memastikan hak tersebut terpenuhi dengan melaksanakan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 70 Tahun 2016

yang mewajibkan setiap industri untuk memenuhi standar dan menerapkan persyaratan kesehatan lingkungan kerja di industri, baik skala besar hingga kecil. Apabila pekerja tidak mendapatkan haknya untuk mendapatkan perlindungan atas keselamatannya, maka kesehatannya dapat terganggu sehingga proses pekerjaan juga tidak optimal. Kajian ini dapat menjadi gambaran umum bagaimana cara pengendalian debu hasil sandblasting dengan tepat dan perancangan dengan berdasarkan standar yang ada sebagai usaha untuk mencapai kondisi ideal.

2. METODE

Penelitian ini merancang ruangan sandblasting sebagai *room enclosure* dengan tipe aliran udara *cross-draft* untuk mengkontaminasi debu, sehingga untuk perancangan ruangan dan *local exhaust ventilation* dilakukan melalui beberapa langkah diantaranya:

1) Perancangan Room Enclosure

Perancangan *room enclosure* sebagai ruangan *sandblasting*, dilakukan berdasarkan faktor lahan yang tersedia dan rata-rata dimensi benda kerja yang dilakukan *sandblasting*. Kedua faktor tersebut juga harus mempertimbangkan agar proses keluar masuk benda kerja berjalan lancar dan visibilitas kerja mengingat area yang tertutup ditambah dengan banyaknya partikel debu yang menghalangi pandangan.

2) Perancangan Aliran Udara Inlet dan Outlet pada Ruangan

Berdasarkan ANSI Z9.4-1985, standar laju aliran udara pada ruangan *sandblasting* yang menggunakan bahan abrasif yang mengandung silika bebas dengan nilai ambang batas $<1 \text{ mg/m}^3$ dengan *cross-draft airflow* direkomendasikan memiliki debit udara sebesar 100 CFM/ft^2 . Pada dasarnya perancangan ulang ruangan *sandblasting* digunakan pengendalian *enclosing hood* dalam bentuk *room enclosure* untuk menahan debu kontaminan turbulen dengan energi tinggi dalam ruangan dengan sistem ventilasi yang tepat, sehingga ruangan *sandblasting* ini merupakan *hood* itu sendiri. Perhitungan rumus debit udara pada booth-type:

$$Q = V \cdot A$$

Q adalah debit aliran udara (m^3/s atau ft^3/min), V adalah kecepatan aliran (m/s atau ft/min), dan A adalah area bukaan/hisap (m^2).

Perancangan *Inlet* menghitung kecepatan udara sebagai suplai udara bebas dari luar ruangan dengan tekanan udara atmosfer sebesar 1 atm. Perancangan inlet dibuat berupa ventilasi mekanik dengan bantuan *fan* berupa *centrifugal fan*, dengan dianggap bahwa tidak ada *pressure drop* dan objek yang mempengaruhi kecepatan udara sehingga menjadi kecepatan udara yang ditangkap *outlet*. Debit udara atau laju aliran udara (Q) yang harus dikeluarkan melalui *outlet* ditentukan dengan $Q_{\text{inlet}} + 100 \text{ CFM}$. Angka tambahan debit sebesar 100 CFM merupakan rata-rata debit udara efektif yang ditembakkan dari *nozzle* untuk sandblasting pada industri secara umum

3) Perancangan Duct

Perancangan *duct* yang berguna untuk menghubungkan udara yang ditangkap oleh *hood* untuk dihubungkan dengan komponen selanjutnya pada LEV. Bentuk *duct* berupa *circular* (lingkaran) yang strukturnya lebih ringan, dapat mengatasi perbedaan tekanan dan menghasilkan kebisingan yang lebih sedikit menurut standar untuk perancangan LEV oleh HSE (2017). Kecepatan udara minimal untuk *duct* yang digunakan untuk mengalirkan debu sandblasting adalah 4000-4500 fpm. Rumus yang digunakan pada *duct circular* adalah:

$$Q = V \frac{1}{4} \pi \cdot D^2$$

Bahan *duct* yang cocok digunakan adalah *galvanised steel* yang dibentuk sebagai *circular spiral duct* sehingga penggunaan *galvanized sheet* lebih hemat 37% dengan ketebalan yang digunakan adalah 2 mm untuk diameter 0,9 meter atau 900 mm karena material kontaminan dari proses *sandblasting* tergolong abrasif dan dikategorikan dalam *heavy duty*. Hal yang perlu dilakukan selanjutnya adalah Menentukan total panjang *duct* adalah mengetahui jarak dari outlet menuju ke *air cleaning device* termasuk *connection* yang digunakan untuk dapat menghitung *pressure drop* aliran udara dalam *hood*.

4) Perhitungan Pressure Drop (ΔP)

Perhitungan *pressure drop* merupakan langkah pertama sebelum menentukan daya *centrifugal fan* yang akan dirancang agar sesuai sehingga kecepatan dalam *duct* sesuai. Menurut standar ACGIH (1998) *pressure drop* pada masukan pada *hood* dianggap nihil atau kurang dari 0 (negatif) karena adanya peningkatan kecepatan pada *hood* dari udara yang masuk melalui *hood* sehingga *static pressure* mengalami penurunan. Langkah perhitungan pada *duct*:

- a) Perhitungan Bilangan *Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Bilangan *reynold* akan menentukan jenis aliran laminar, transisi atau turbulen (> 4000). Nilai kerapatan/*density* udara (ρ) = $1,17 \text{ kg/m}^3$ dan *dynamic viscosity* (μ) = $1,86 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2 = 1,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ merupakan nilai yang didapatkan saat kondisi suhu operasi 30°C

- b) Menghitung *Pressure Drop Length* (ΔP_{length})

$$\Delta P_{length} = \frac{f \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{2D}$$

Nilai *friction factor* (f) dapat dilihat dari *Moody Diagram* pipa dengan memerhatikan koefisien *absolute roughness* (e) untuk jenis *duct* dengan bahan *galvanized iron* adalah sebesar $0,00015 \text{ m}$ nantinya dapat diketahui *relative roughness* (e/D) dan digunakan untuk menentukan *friction factor*.

- c) Menghitung *Pressure Drop Fitting* ($\Delta P_{fitting}$)

$$\Delta P_{fitting} = \frac{KL \cdot \rho \cdot v^2}{2}$$

Nilai *loss coefficient* (KL) dapat ditentukan berdasarkan *fitting loss coefficient* menurut ACGIH (1998).

- d) *Total Pressure Drop*

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{length} + \Delta P_{fitting}$$

5) Perancangan *Fan/Blower*

Nilai dari total *pressure drop* dan nilai debit udara digunakan untuk menentukan besar daya fan yang digunakan dalam perencanaan LEV dengan menggunakan rumus

$$W = Q \cdot \Delta P$$

6) Perhitungan *Air Cleaner* dan Efisiensi

Berdasarkan standar ACGIH (1998), tipe *air cleaner* yang cocok digunakan pada *abrasive sandblasting* adalah *fabric filter* dengan bahan yang umum digunakan adalah polypropylene, nylon, dan polyamide. Total debu partikulat yang dihasilkan adalah $21,8 \text{ mg/m}^3$, langkah-langkah perhitungan *air cleaner*:

- a) Perhitungan *Effective Filtration Velocity*

Penentuan jumlah *bag filter* dilakukan dengan memperhitungkan nilai *effective filtration velocity*. Berdasarkan pada tabel *Filter Sizing Factors for Primary Filter Collector* pada debu *sandblasting* berikut:

Material (dry duct)	Filtration Velocity by Type of Cleaning		Maximum Can Velocity (ft/min)	Bulk Density at Rest (lb/ft ³)
	Low Pressure (ft/min)	High Pressure (ft/min)		
Sandblast dust	2,5	9,0	200	80-90

Perhitungan dengan diketahui $A = 1 \text{ fpm}$; $T = 1,0$; $P = 0,8$; $D = 1,2$ digunakan rumus:

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

- b) Perhitungan *Filter Length*

Panjang filter dapat ditentukan setelah nilai kecepatan filtrasi efektif ditentukan dengan berdasarkan grafik *Optimizing Can Velocity Versus Filter Bag Length* oleh Croom (1995).

- c) Perhitungan Jumlah *Bag Filter*

Berdasarkan grafik *Optimizing Number of Filter Bags Versus Filter Bag Length* oleh Croom (1995) dapat ditentukan jumlah *bag filter* yang optimal.

- d) Penentuan Diameter Filter

Diameter filter yang digunakan menggunakan data diameter filter dengan bahan polypropylene yang beredar di pasaran, yaitu 200 mm sama dengan $0,2 \text{ m}$

- e) Perhitungan Luas Area *Fabric Filter Dust Collector*

Luas area *bag filter* untuk *dust collector* dirancang berdasarkan jumlah *bag filter* dan jarak antar filter, baik horizontal maupun vertikal. Setelah itu baru perhitungan luas area dapat dilakukan dan dimensi dari *dust collector fabric filter* dapat ditentukan.

Perhitungan efisiensi menggunakan rumus:

$$\eta_T = \frac{N}{N_0} = 1 - \exp\left\{\frac{-4H}{\pi D f} \left(\frac{a}{1-a}\right) \eta_{DC}\right\}$$

Perlu diketahui, diperlukan nilai efisiensi dari pengumpulan debu melalui difusi dan intersepsi oleh filter dengan menggunakan rumus

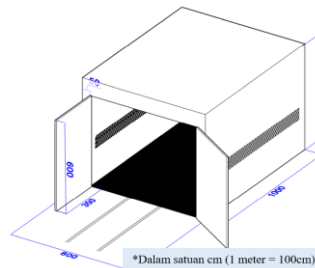
$$\eta_{DC} = 6S_c^{-2/3} \cdot R_e^{-1/2} \cdot 3R^2 R_e^{1/2}$$

$$\text{Dimana } S_c = \frac{\mu}{\rho \varphi} \text{ dengan } \varphi = \frac{k \cdot T}{3\pi \cdot \mu \cdot d \cdot \rho} \text{ serta untuk menentukan } Re = \frac{\rho}{\mu} v D_f R = \frac{dp}{D_f}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Room Enclosure

Ruangan sandblasting yang dirancang memiliki panjang 10 meter, lebar 8 meter, dan tinggi ruangan 7 meter. Bukaan pintu memiliki tinggi 6 meter dan lebar 3,5 meter per pintu. Ruangan tersebut memenuhi kebutuhan untuk rata-rata benda kerja yang dilakukan *sandblasting* dengan tinggi hingga 5 meter. Ditambahkan jendela untuk supervisor mengawasi proses kerja dan ditambahkan pencahayaan dengan minimal penerangan 200 lux menurut SNI. Kebutuhan tersebut dipenuhi dengan menambahkan lampu sejumlah 8 armature yang berisi 4xTL40W yang menghasilkan cahaya hingga 10.400 lumen.



Gambar 2. Dimensi Ruang Sandblasting

Room enclosure menurut ANSI (1985), standar laju aliran udara pada ruangan sandblasting yang menggunakan bahan abrasif yang mengandung silika bebas dengan nilai ambang batas <1 mg/m³ dengan *cross-draft airflow* direkomendasikan memiliki debit udara sebesar 100 CFM/ft² dengan A didapatkan dari lebar x tinggi ruangan karena menggunakan aliran udara *crossdraft*. Sehingga laju aliran (debit) udara yang harus dimiliki untuk ruangan tersebut adalah:

$$Q = 8 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 100 \text{ CFM/ft}^2 \\ = 26,25 \text{ ft.} \times 22,97 \text{ ft.} \times 100 \text{ CFM/ft}^2 = 60296 \text{ CFM}$$

Laju aliran udara yang dibutuhkan adalah 60296 CFM, dengan volume ruangan sebesar 560 m³ (19777,2 ft³) maka dapat ditentukan pertukaran udara per menit (*Air Change per Minute*) dengan menggunakan rumus:

$$\text{Air Change per Minute} = \frac{Q}{\text{Volume Ruang}} = \frac{60296 \text{ ft}^3/\text{min}}{19777,2 \text{ ft}^3} = 3.05 \cong 3/\text{menit}$$

Sehingga dapat menghasilkan pertukaran udara sebanyak 3 kali setiap menit atau 180 kali per jam. Pertukaran udara tersebut melebihi standar laju pertukaran udara menurut *Industrial Ventilation Design Guidebook* (2001), untuk *abrasive blasting room* dengan volume lebih dari 200 m³ direkomendasikan memiliki laju pertukaran udara 120 kali/jam.

Perancangan Aliran Udara Inlet dan Outlet pada Ruang

a) Inlet

Tersisa area (A) sebesar 8 m² atau 86,1 ft.² di atas pintu sehingga dengan diketahui laju aliran udara (Q) adalah 60295 ft³/min. Kecepatan udara (v) yang dibutuhkan dengan bantuan ventilasi mekanis (*fan*):

$$v = \frac{60296 \text{ ft}^3/\text{min}}{86,1 \text{ ft}^2} = 700,3 \text{ ft}/\text{min} = 3,6 \text{ m/s}$$

b) Outlet

Q atau debit udara adalah 60396 karena ditambahkan 100 CFM dari *nozzle sandblasting*. Sehingga untuk mencari area hisap dari outlet, kecepatan (v) yang digunakan adalah kecepatan udara dari *inlet* sebesar 700,3 ft/min dengan asumsi penurunan kecepatan dan benda halangan tidak

dihitung yang berarti sudah sesuai standar v untuk *hood sandblasting* 500 s/d >2000 ft/min

$$60396 \text{ ft}^3/\text{min} = 700,3 \times A$$

$$A = 86,24 \text{ ft}^2 = 8,01 \text{ m}^2 \cong 8 \text{ m}^2$$

Perancangan Duct

Laju aliran udara dibagi 2 dikarenakan nantinya akan menggunakan 2 buah *duct* untuk pemerataan area hisap pada *outlet/hood*. Kecepatan aliran adalah 4500 FPM atau 22,86 m/s

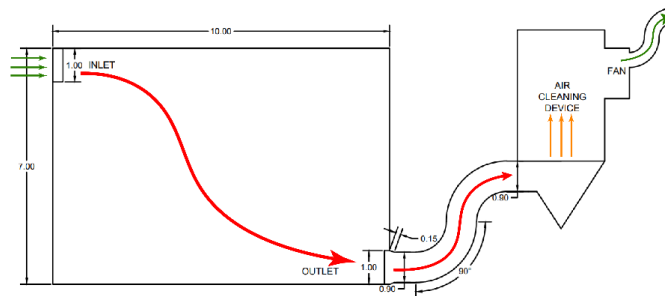
$$Q = V \frac{1}{4} \pi \cdot D^2$$

$$30198 \text{ ft}^3/\text{min} = 4500 \text{ ft}/\text{min} \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

$$D = 2,92 \text{ ft} = 0,89 \cong 0,9 \text{ m}$$

Bahan pipa yang cocok digunakan adalah *galvanized steel* yang dibentuk sebagai *circular spiral duct* sehingga penggunaan *galvanized sheet* lebih hemat 37% dengan ketebalan yang digunakan adalah 2 mm untuk diameter 0,9 meter atau 900 mm karena material kontaminan dari proses *sandblasting* tergolong abrasif dan dikategorikan dalam *heavy duty*.

Jarak *duct* ke dinding dan antar *duct* adalah 2,05 meter dengan jarak atas dan bawah adalah 0,05 m. Total panjang *duct* adalah 5,5 meter dengan digunakan 2 *elbow 90° long radius* dengan panjang masing-masing 2,12 meter, sehingga didapatkan total panjang satu *duct* adalah 5,15 meter.



Gambar 2. Dimensi Rancangan Inlet, Outlet, dan Duct

Perhitungan Pressure Drop (ΔP)

a) Perhitungan Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1,17 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 22,86 \text{ m}/\text{s} \times 0,9 \text{ m}}{1,86 \times 10^{-5} \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{s}} = 1,27585714 \times 10^6$$

Berdasarkan perhitungan nilai bilangan Reynold pada *duct* utama sebesar $1,27585714 \times 10^6$, karena aliran udara dalam pipa *duct* memiliki nilai $Re > 4000$ sehingga termasuk dalam aliran turbulen.

b) Menghitung Pressure Drop Length (ΔP_{length})

Diketahui panjang *duct* adalah 5,5 m dengan diameter 0,9 m dan koefisien *absolute roughness* (e) untuk jenis *duct* dengan bahan *galvanized iron* adalah sebesar 0,00015 m. *Relative roughness* (e/D) maka $0,00015/0,9$ adalah 0,00017. Berdasarkan grafik kekerasan relatif pipa (e/D) dan nilai bilangan Reynold pada *moody diagram* dapat ditentukan *friction factor* (f) sebesar 0,014315

$$P_{\text{length}} = \frac{0,014315 \times 5,5 \text{ m} \times 1,17 \text{ kg}/\text{m}^3 \times (22,86 \text{ m}/\text{s})^2}{2 \times 0,9 \text{ m}} = 26,7436 \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2 = 26,7436 \text{ N}/\text{m}^2$$

Dikarenakan total ada 2 *duct* yang digunakan maka *pressure drop length* dikalikan 2. Maka total *pressure drop length* adalah sebesar 53,49 N/m²

c) Menghitung Pressure Drop Fitting ($\Delta P_{\text{fitting}}$)

Loss coefficient dari *elbow 90° long radius* (1,5 D) dengan 5 bagian menggunakan *galvanized sheet* adalah sebesar 0,24

$$\Delta P_{\text{fitting}} = \frac{0,24 \times 1,17 \text{ kg}/\text{m}^3 \times (22,86 \text{ m}/\text{s})^2}{2} = 73,37 \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2 = 73,37 \text{ N}/\text{m}^2$$

Dikarenakan total ada 2 *duct* dan masing-masing terdiri dari 2 belokan menggunakan *elbow* tersebut sehingga *pressure drop fitting* tersebut dikalikan 4. Maka total *pressure drop fitting* adalah sebesar 293,48 N/m²

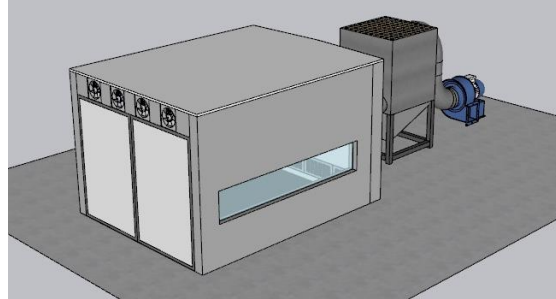
d) Total Pressure Drop

$$\Delta P_{\text{total}} = 53,49 \text{ N}/\text{m}^2 + 293,48 \text{ N}/\text{m}^2$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 346,97 \text{ N}/\text{m}^2$$

Perancangan Fan/Blower

$$\begin{aligned} W &= 60396 \text{ CFM} \times 346,97 \text{ N/m}^2 \\ &= 28,51 \text{ m}^3/\text{s} \times 346,97 \text{ N/m}^2 \\ &= 9892,115 \text{ N.m/s} \\ &= 9892,115 \text{ Watt} = 13,27 \text{ HP (Horse Power)} \end{aligned}$$



Gambar 3. Perancangan Ruang Sandblasting dan Local Exhaust Ventilation

Perhitungan Air Cleaner dan Efisiensi

a) Perhitungan *Effective Filtration Velocity*

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

$$V_{ef} = 9 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,8 \times 1,2 = 8,64 \text{ fpm}$$

b) Perhitungan *Filter Length*

Berdasarkan grafik tersebut untuk *maximum can velocity* 200 fpm dengan *filter velocity* 7,5 fpm, akan ditarik garis lurus ke sumbu X untuk menentukan panjang filter efektif. Garis lurus untuk *filter velocity* 7,5 fpm mendapatkan nilai panjang filter efektif adalah 8,5 feet atau 2,6 meter

c) Perhitungan Jumlah *Bag Filter*

Serupa dengan cara untuk *menentukan filter length* menggunakan grafik, dari garis sumbu X dengan panjang filter 8,5 feet ditarik garis lurus ke atas menuju garis *filter velocity* 7,5 fpm. Garis tersebut ditarik ke kiri menuju sumbu Y, dan jumlah filter optimal untuk kondisi tersebut adalah 100 buah.

d) Penentuan Diameter Filter

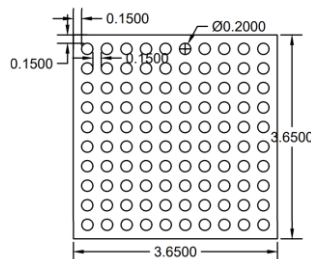
Diameter filter yang digunakan menggunakan data diameter filter dengan bahan polypropylene yang beredar di pasaran, yaitu 200 mm sama dengan 0,2 m

e) Perhitungan *Luas Area Fabric Filter Duct Collector*

Tabel 1. Dimensi *Dust Collector*

Jumlah <i>vertikal</i>	10 <i>bag</i>
Jumlah <i>horizontal</i>	10 <i>bag</i>
Tinggi <i>bag filter</i>	2,6 meter
Diameter <i>bag filter</i>	0,2 meter
Jarak antar <i>bag filter</i>	0,15 meter

Panjang satu sisi, memiliki total panjang $(0,15 \text{ m} \times 11) + (0,2 \text{ m} \times 10) = 3,65 \text{ m}$. Maka luas area bag filter adalah sebesar $3,65 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 13,3225 \text{ m}^2$



Gambar 4. Dimensi Perancangan Filter pada *Dust Collector*

f) Perhitungan Efisiensi Filter

Perhitungan untuk efisiensi untuk filtrasi ditentukan dengan rumus-rumus yang ditentukan pada metode dengan mempertimbangkan bahan yang digunakan adalah polypropylene yang memiliki efisiensi hingga 99%. Namun untuk perhitungan secara tepat untuk menentukan efisiensi dibutuhkan berbagai faktor seperti diameter, ketebalan, dan densitas. Kemudian terdapat juga faktor yang berkaitan dengan viskositas dan densitas fluida, yang dalam hal ini merupakan debu dengan berbagai macam partikulat hasil *sandblasting*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan, sebagai pengendalian debu hasil *sandblasting* salah satunya adalah dengan menggunakan ruang tertutup dan ventilasi yang memadai, serta disesuaikan

dengan memerhatikan proses kerja. Mulai dari pencahayaan yang memadai, cara untuk pengawasan kondisi ruangan, dan *clearance time* yang sesuai agar pekerja tidak mengalami paparan berlebih. Ruangan yang digunakan memiliki dimensi 8 meter x 10 meter x 7 meter dengan menggunakan *crossdraft airflow* dan ditentukan memiliki laju aliran udara 60396 CFM berdasarkan standar 100 CFM/ft² yang akan menghasilkan pertukaran udara sebanyak 3 kali per menit. *Inlet* dan *outlet* untuk udara memiliki luas area 8 m² dengan kecepatan hisap 3,6 m/s yang sesuai dengan standar untuk ruangan *sandblasting* adalah minimal 2,5 m/s. Kecepatan udara pada *duct* adalah 4500 FPM dengan menggunakan 2 *duct* yang masing-masing diameternya adalah 0,9 m dan panjang total 5,5 m. *Total pressure drop* yang dihasilkan adalah 346,97 N/m² sehingga dibutuhkan daya *centrifugal fan* sebesar 9892,115 watt atau 13,27 HP. Jenis *dust collector* yang digunakan adalah *fabric filter* dengan jumlah *bag* sebanyak 100 buah yang memiliki diameter 0,2 m dan panjang 2,6 m serta jarak antar bag adalah 0,15 m sehingga luas yang diperlukan adalah 13,3225 m².

DAFTAR PUSTAKA

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (1998). *Industrial Ventilation A Manual of Recommended Practices 23rd Edition*.
- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2020). *ASHRAE Handbook : HVAC Systems and Equipment*.
- American National Standards Institute. (1985). *Abrasive Blasting Operations–Ventilation and Safe Practices for Fixed Location Enclosures*.
- Cehlin, M., & Moshfegh, B. (2010). Numerical modeling of a complex diffuser in a room with displacement ventilation. *Building and Environment*, 45(10), 2240–2252. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.008>
- Chen, S., Liu, M., & Xie, F. (2022). Global and national burden and trends of mortality and disability-adjusted life years for silicosis, from 1990 to 2019: results from the Global Burden of Disease study 2019. *BMC Pulmonary Medicine*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12890-022-02040-9>
- Firdaus, A. (2018). Perancangan Blasting Room Pada Sistem Sand Blasting. Universitas Pasundan Bandung.
- Health and Safety Executive. (2017). *Controlling Airborne Contaminants at Work : A Guide to Local Exhaust Ventilation (LEV)*.
- Liu, Y., Steenland, K., Rong, Y., Hnizdo, E., Huang, X., Zhang, H., Shi, T., Sun, Y., Wu, T., & Chen, W. (2013). Exposure-Response Analysis And Risk Assessment For Lung Cancer In Relationship To Silica Exposure: A 44-Year Cohort Study Of 34,018 Workers. *American Journal Of Epidemiology*, 178(9), 1424–1433. <https://doi.org/10.1093/aje/kwt139>
- Lung Foundation Australia. (2022). *Appendix NSPS Scientific and Evidence Report-Silicosis in Australia*.
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi RI Nomor 13 Tahun 2011 Tentang Ketenagakerjaan (2011).
- Rahman, E. N. (2016). Perencanaan Bangunan dan Local Exhaust Ventilation pada Sandblasting Area di Workshop Pt. X.
- Scholz, R. C., Slavin, T. J., Rowntree, K., Valve, K., Feyling, A., Mazuir, M., Shaw, T., Schaefer, M., Pusa, D., & McCullough, M. (2007). *Control of Silica Exposure in Foundries AFS Safety and Health Committee*. www.afsinc.org
- Suma'mur. (1988). *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (Hiperkes)*.
- Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja RI Nomor 1 Tahun 1997 Tentang Nilai Ambang Batas Faktor Kimia Udara di Lingkungan Kerja, (1997).
- OSHA. (2016). *Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica*.
- Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 70 Tahun 2016 Tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. (2016)
- Undang-Undang RI Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja (1970).