

Studi Evaluasi Paparan Debu $PM_{2,5}$ Terhadap Gangguan Fungsi Paru Pekerja PT X

NYAYU MADIA ALFISYAH¹, JULI SOEMIRAT², M CANDRA NUGRAHA³,

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email : madiaalfisyah@gmail.com

ABSTRAK

Banyak penyakit akibat kerja disebabkan oleh pekerja menghirup senyawa/materi yang digunakan dalam lingkungan industri. Salah satunya adalah partikel padat kecil yaitu debu dengan ukuran $\leq 2.5 \mu m$ yang dapat terabsorpsi secara efisien ke dalam jaringan paru-paru dan menyebabkan terjadinya fibrosis paru. PT X adalah perusahaan yang bergerak di bidang pembuatan produk militer dan komersil di Indonesia. Di Divisi TC&AP Departemen COR 1 PT X, proses cor logam dengan menggunakan cetakan pasir menghasilkan banyak debu dengan kandungan kristal silika bebas (SiO_2) hingga 96%. Fibrosis akibat silika/silikosis, menyebabkan efek sesak napas, lemah, kekurangan oksigen, ekspansi dada berkurang hingga gagal jantung. Maka perlu dilakukan evaluasi pengaruh paparan debu $PM_{2,5}$ terhadap gangguan fungsi paru pada 30 orang pekerja yang berada di daerah ini. Debu yang dapat terhirup diukur dengan sensor, fungsi paru dengan spirometer, dan dikumpulkan pula faktor penentu fungsi paru, yaitu usia, tinggi badan, status gizi, masa kerja, kebiasaan olahraga, kebiasaan merokok, riwayat penyakit, dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Data diolah dengan regresi linier berganda, menunjukkan hasil bahwa 12 pekerja menderita restriksi, 4 obstruksi, dan sisanya adalah normal. Hasil regresi menunjukkan bahwa fungsi paru dipengaruhi secara signifikan oleh paparan debu, usia, tinggi badan, kebiasaan merokok, masa kerja, dan penggunaan APD. Disarankan agar perusahaan mengisolasi proses penghancuran cetakan pasir, memantau fungsi paru pekerja secara periodik, dan mengharuskan pekerja menggunakan APD selama bekerja.

Kata kunci: Industri; Debu; $PM_{2,5}$; Fungsi Paru

Abstract

Many occupational diseases are caused by the workers inhaling hazardous materials used in industries. One of them are small solid particles, known as dust with a size of $\leq 2.5 \mu m$ which can be absorbed efficiently into the lung tissues and cause pulmonary fibrosis. PT X is a company engaged in manufacturing military and commercial products in Indonesia. In the TC&AP Division of the COR 1 Department PT X, metal cast process using sand molds produces lots of dust with a free crystalline silica (SiO_2) content up to 96%. Fibrosis due to silica/silicosis, causes shortness of breath, weakness, lack of oxygen, reduced chest expansion, which may cause failure. It is therefore necessary to evaluate the effect of $PM_{2,5}$ dust exposure on pulmonary function disorders of 30 workers in this area. Respirable dust was measured by a sensor, lung function with a spirometer, and the determinants of lung function were also collected, namely age, height, nutritional status, years of service, exercise habits, smoking habits, medical history, and use of personal protective equipment (PPE). Data were processed using linear multiple regression, showing the results that 12 workers suffered from restriction, 4 from obstruction, and the rest were normal. Regression results indicated that lung function was significantly affected by dust exposure, age, height, smoking habits, years of service, and use of PPE. It is recommended to isolate the process of sand molds destruction, to periodically monitor the workers' lung function, and to require workers to wear PPE during work.

Key words: Industry; Dust; $PM_{2,5}$; Lung Function

1. PENDAHULUAN

PT X merupakan perusahaan industri manufaktur yang bergerak dalam pembuatan produk militer dan komersil di Indonesia. Penggunaan teknologi modern dengan bahan baku/material yang berbahaya dan proses kerja yang kompleks pada proses produksi di PT X memiliki potensi bahaya, yaitu risiko kecelakaan dan kesehatan apabila tidak dikelola dengan baik. Status kesehatan pekerja sangat mempengaruhi produktivitas kerja. Untuk menciptakan pekerja yang sehat dan produktif maka suatu industri perlu melakukan pencegahan dan pengendalian penyakit maupun kecelakaan akibat kerja.

Banyak penyakit di lingkungan kerja disebabkan karena pekerja menghirup senyawa/materi yang digunakan dalam lingkungan industri. Salah satunya adalah partikel padat kecil yang terbawa oleh aliran udara saat proses produksi, yaitu debu. Debu dengan partikel berukuran besar $> 10\mu\text{m}$ akan tersaring oleh bulu hidung dan secara refleks dikeluarkan melalui bersin atau batuk. Berbeda dengan debu yang memiliki ukuran partikel $\leq 2,5\mu\text{m}$, debu ini dapat terabsorpsi secara efisien ke dalam jaringan paru-paru, sehingga mudah masuk ke dalam sistem pernapasan yang dapat menyebabkan penurunan fungsi paru (Roosmini, 2016).

Pada lingkungan kerja unit produksi COR 1 PT X terdapat proses kerja pengecoran logam dengan cetakan pasir yang menghasilkan debu dengan kandungan silika bebas (SiO_2) hingga 96%. Apabila paparan debu dengan kandungan silika terjadi secara terus menerus maka pekerja akan berisiko terkena silikosis. Silikosis merupakan penyakit yang progresif walaupun paparan debu telah dihentikan, dan menimbulkan kerusakan sel secara terus menerus pada paru-paru sehingga sangat berbahaya bagi pekerja. Menurut International Labour Organization (ILO), silikosis menjadi salah satu penyakit yang paling banyak dialami oleh pekerja di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia. Penyakit silikosis telah dihadapi oleh puluhan juta pekerja dan membunuh ribuan orang di dunia (ILO, 2015). Maka dari itu, perlu dilakukan studi evaluasi tentang pengaruh paparan debu dengan ukuran partikel $\leq 2,5\mu\text{m}$ atau disebut $\text{PM}_{2,5}$ terhadap penurunan fungsi paru pada pekerja. Agar dapat diketahui pengaruh debu dari proses produksi terhadap kondisi paru para pekerja. Dan selanjutnya dapat dilakukan pengendalian agar pekerja dapat berada dalam kondisi tubuh dan lingkungan kerja yang sehat.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada unit produksi TC&AP departemen COR 1 PT X yang banyak menghasilkan debu dengan kandungan silika bebas (SiO_2). Jumlah karyawan yang bekerja pada unit produksi TC&AP departemen COR 1 PT X sebanyak 30 orang. Dari wawancara yang dilakukan banyak pekerja yang mengeluh mengalami batuk hingga sesak napas yang diakibatkan oleh debu dari

proses produksi. Variabel dari penelitian ini ada dua yaitu variabel bebas (debu PM_{2,5} di lingkungan kerja unit produksi dan karakteristik pekerja) dan variabel terikat (fungsi paru pekerja). Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer meliputi nilai konsentrasi debu PM_{2,5} di lingkungan kerja unit produksi menggunakan alat *Pocket PM_{2,5} Sensor*, fungsi paru pekerja dengan menggunakan metode spiometri, dan karakteristik individu melalui wawancara. Sedangkan data sekunder didapatkan secara tidak langsung berupa data dari perusahaan meliputi struktur organisasi, proses produksi, gambaran umum perusahaan, dan nilai kandungan silika bebas pada debu di unit produksi. Analisis dilakukan dengan deskriptif kuantitatif yaitu menggambarkan variabel dalam bentuk numerik dan naratif. Analisis data dilakukan dengan analisa statistik menggunakan metode regresi linier berganda. Analisis regresi linier berganda berfungsi untuk mengetahui hubungan secara linier antara variabel bebas (karakteristik pekerja dan paparan debu PM_{2,5}) dengan variabel terikat (fungsi paru pekerja).

Dengan melakukan analisis ini dapat diketahui arah hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, apakah masing-masing variabel bebas berhubungan positif atau negatif untuk memprediksi nilai dari variabel terikat apabila nilai variabel bebas mengalami kenaikan atau penurunan. Persamaan regresi linier berganda yang digunakan adalah sebagai berikut (Ghazali, 2016):

$$Y' = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Keterangan:

- Y = variabel terikat (fungsi paru FEV₁)
- a = konstanta
- β = koefisien regresi
- X₁ = variabel bebas (usia)
- X₂ = variabel bebas (tinggi badan)
- X₃ = variabel bebas (masa kerja)
- X₄ = variabel bebas (status gizi)
- X₅ = variabel bebas (kebiasaan merokok)
- X₆ = variabel bebas (penggunaan APD)
- X₇ = variabel bebas (paparan debu PM_{2,5})

Hipotesis yang digunakan untuk analisis regresi linier berganda adalah:

- $H_0: \beta_n = 0$ → Peubah penjelas X_n tidak berhubungan linier dengan Y
- $H_1: \beta_n \neq 0$ → Peubah penjelas X_n berhubungan linier dengan Y
- $\beta_n > 0$ → Peubah penjelas X_n berhubungan linier positif dengan Y
- $\beta_n < 0$ → Peubah penjelas X_n berhubungan linier negatif dengan Y

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kontribusi dan uji signifikansi dengan nilai $\alpha = 5\%$. Hipotesis yang digunakan dalam uji signifikansi adalah:

- H_0 = Tidak terdapat pengaruh secara signifikan antara variabel bebas terhadap variabel terikat.
- H_1 = Terdapat pengaruh secara signifikan antara variabel bebas terhadap variabel terikat.
- Jika nilai Sig. < α (0,05) artinya H_0 ditolak dan H_1 diterima (variabel bebas tersebut secara signifikan dianggap sangat mempengaruhi variabel terikat)
- Jika nilai Sig. > α (0,05) artinya H_1 ditolak dan H_0 diterima (variabel bebas tersebut secara signifikan dianggap tidak mempengaruhi variabel terikat)

3. PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Karakteristik Pekerja

Data karakteristik pekerja yaitu usia, tinggi badan, masa kerja, status gizi, kebiasaan merokok, kebiasaan olahraga, riwayat penyakit paru dan penggunaan APD diperlukan karena sebagai faktor penentu hasil spirometri. Karakteristik pekerja diketahui melalui wawancara pada 30 orang pekerja dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Gambaran Karakteristik Pekerja

No.	Usia (Tahun)	Masa Kerja (Tahun)	Tinggi Badan (Cm)	Status Gizi (IMT)	Kebiasaan Merokok	Kebiasaan Olahraga	Riwayat Penyakit	Selalu Pakai APD	Jenis Pekerjaan
1	39	10	172	25,69	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Ya	<i>Fettling & Finishing</i>
2	39	14	170	24,91	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Tidak	<i>Melting area</i>
3	52	15	167	25,10	Merokok	Ya	Tidak	Ya	<i>Disamatic line</i>
4	41	10	165	27,18	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Tidak	<i>Fettling & Finishing</i>
5	35	11	165	19,10	Merokok	Ya	Tidak	Ya	<i>Pattern area</i>
6	34	11	166	20,69	Merokok	Ya	Tidak	Ya	<i>Furan line</i>
7	41	15	167	20,80	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Tidak	<i>Pattern area</i>
8	51	19	160	23,44	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Tidak	<i>Furan line</i>
9	40	14	160	25,00	Merokok	Ya	Tidak	Ya	<i>Disamatic line</i>
10	36	10	170	26,30	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Tidak	<i>Fettling & Finishing</i>
11	35	13	163	23,34	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Ya	<i>Pattern area</i>

12	37	13	171	23,94	Merokok	Ya	Tidak	Ya	Melting area
13	47	22	167	23,31	Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Disamatic line
14	43	21	167	22,59	Merokok	Ya	Tidak	Ya	Disamatic line
15	45	23	170	23,53	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Ya	Disamatic line
16	36	9	165	26,08	Merokok	Ya	Tidak	Ya	Disamatic line
17	36	12	165	25,34	Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Fettling & Finishing
18	45	22	164	24,91	Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Disamatic line
19	46	23	170	24,91	Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Melting area
20	47	25	171	24,62	Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Melting area
21	49	25	168	25,51	Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Melting area
22	38	14	175	22,53	Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Pattern area
23	42	11	168	24,45	Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Furan line
24	45	13	167	24,02	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Furan line
25	52	25	168	25,51	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Tidak	Furan line
26	37	12	165	24,98	Merokok	Ya	Tidak	Ya	Pattern area
27	42	13	168	23,74	Merokok	Ya	Tidak	Ya	Pattern area
28	41	15	170	24,22	Tidak Merokok	Ya	Tidak	Ya	Fettling & Finishing
29	47	20	168	24,45	Merokok	Ya	Tidak	Ya	Fettling & Finishing
30	46	23	169	24,86	Merokok	Ya	Tidak	Ya	Pattern area

Sumber: Hasil Analisis, 2020

3.2 Pengukuran $PM_{2,5}$ Unit Produksi COR 1 PT X

Pengukuran paparan debu $PM_{2,5}$ di lingkungan kerja PT X dilakukan dengan menggunakan alat *Pocket $PM_{2,5}$ sensor*. *Pocket $PM_{2,5}$ sensor* dikembangkan oleh Yaguchi Electric Japan, yang terdiri dari laser *light emitting diode* (LED), sensor fotodioda, kipas, *amplifier*, dan kabel *Universal Serial Bus* (USB). Sensor dapat menghasilkan data dengan menggunakan format google *keyhole markup language* (KML) dan *Global Positioning System* (GPS). *Sensor portable* ini harus tersambung dengan ponsel pintar dengan sistem android yang telah mengunduh aplikasi *Pocket $PM_{2,5}$ sensor* (Ishigaki et al, 2017).

Pengukuran debu dilakukan pada 5 titik berdasarkan jenis pekerjaan pekerja, yaitu pada bagian *pattern area, fettling and finishing, disamatik line, furan line, dan melting area*. Pada proses produksi di COR 1, mesin yang banyak menghasilkan debu adalah pada bagian disamatik line dan furan line. Pada *disamatik line* dan *furan line* terdapat proses pembuatan dan penghancuran cetakan dari bahan pasir. Konsentrasi debu dari hasil pengukuran menggunakan $PM_{2,5}$ *pocket sensor* menggambarkan banyaknya paparan debu yang terhirup oleh pekerja setiap harinya karena titik pengukuran ditempatkan dekat dengan alat pernapasan pekerja dan debu yang diukur berukuran $\leq 2,5\mu m$ yang tergolong debu respirabel. Untuk mewakili paparan debu yang diterima oleh pekerja selama 8 jam kerja, maka pengukuran debu $PM_{2,5}$ dilakukan sebanyak 3 kali yaitu pada pagi, siang, dan sore saat pekerja memulai proses produksi dan saat mesin yang menghasilkan debu mulai beroperasi. Pengukuran pada tiap shift di 5 titik dilakukan selama 1 jam dengan melakukan pencatatan hasil pengukuran setiap 2 menit.

Nilai Ambang Batas konsentrasi paparan debu pada bagian produksi COR 1 PT X dihitung berdasarkan ketentuan dari *American Conference of Government Industrial Hygienist (ACGIH)*, karena di Indonesia belum terdapat peraturan yang mengatur tentang NAB debu dengan kandungan kristal silika di lingkungan kerja. Perhitungan NAB dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 TLV_{dust} &= \frac{10mg/m^3}{2^{+ \text{persentase kristal silika SiO}_2 \text{ dalam debu respirabel di udara}}} \\
 &= \frac{10mg/m^3}{2^{+96}} \\
 &= 0,102 \text{ mg/m}^3 \\
 &= 102 \text{ ug/m}^3
 \end{aligned}$$

(Finucane,2006)

Dari perhitungan tersebut diketahui NAB debu pada bagian produksi PT X adalah 102 ug/m^3 . Hasil pengukuran paparan debu $PM_{2,5}$ dengan menggunakan alat $PM_{2,5}$ *pocket sensor* pada tiap titik yang telah dibandingkan dengan NAB dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Paparan Debu $PM_{2,5}$

Titik Sampel	NAB (ug/m^3)	Shift			Rata-Rata (ug/m^3)	Keterangan
		Pagi 08.00 s.d 09.00 (ug/m^3)	Siang 12.00 s.d 13.00 (ug/m^3)	Sore 15.00 s.d 16.00 (ug/m^3)		
Titik 1	102	67,863	74,637	63,441	68,647	Tidak melewati NAB
Titik 2	102	65,443	76,470	63,293	68,402	Tidak melewati NAB

Titik 3	102	146,05 3	335,193	430,297	303,847	Melewati NAB pada setiap shift
Titik 4	102	131,40 7	344,047	270,783	248,746	Melewati NAB pada setiap shift
Titik 5	102	130,20 3	317,843	198,567	215,538	Melewati NAB pada setiap shift
Rata-Rata Keseluruhan					181,036	Melewati NAB

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Dari **Tabel 2**, diketahui rata-rata pengukuran debu $PM_{2,5}$ pada COR 1 melebihi NAB. Terdapat 3 titik konsentrasi debu $PM_{2,5}$ melebihi NAB yaitu pada titik 3, titik 4, dan titik 5. sedangkan pada titik 1,2 konsentrasi debu $PM_{2,5}$ tidak ada yang melebihi NAB.

3.3 Pemeriksaan Gangguan Fungsi Paru Pekerja Unit Produksi COR 1 PT X

Untuk menilai fungsi paru seseorang parameter yang dilihat adalah % *vital capacity* (VC) yaitu volume udara maksimal yang dapat diembuskan setelah menghirup udara semaksimal mungkin, *forced expiratory volume 1* (FEV_1) yaitu volume udara yang diembuskan sekuat tenaga dalam satu detik pertama dan *forced vital capacity* (FVC) yaitu volume udara yang dapat secara maksimum diembuskan sekuat tenaga. Hasil dari spirometri dapat mendeteksi fungsi paru pekerja yang dikelompokkan kedalam normal dan tidak normal. Pekerja yang memiliki fungsi paru tidak normal berarti memiliki gangguan fungsi paru berupa gangguan restriksi, obstruksi, dan campuran. Gangguan fungsi paru obstruksi menunjukkan adanya penurunan kecepatan aliran ekspirasi, parameter yang dilihat adalah % ratio dari FEV_1 dan FVC. Gangguan obstruksi terjadi bila nilai $\%FEV_1/FVC < 75$. Sedangkan gangguan restriksi adalah gangguan pada pengembangan paru oleh sebab apapun, parameter yang dilihat adalah %VC. Jika nilai $\%VC < 80$ maka tergolong memiliki gangguan restriksi. Klasifikasi gangguan fungsi paru dan hasil dari pengukuran spirometri pada pekerja dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Klasifikasi Gangguan Fungsi Paru Berdasarkan Hasil Spirometer

Kelas	Tingkat Keparahan	Restriksi		Obstruksi	
		VC	FEV_1/FVC	V	FEV_1/FV
			C	C	C
0	Normal	>80 %	>75	>8 0	>75
I	Ringan	60-8 0	>75	>8 0	60-75
II	Sedang	50-6 0	>75	>8 0	40-60

III	Berat	35-5 0	>75	>8 0	<40
-----	-------	-----------	-----	---------	-----

Sumber: Amin, 2013

Tingkat keparahan ringan, sedang, dan berat dibedakan berdasarkan gejala yang timbul pada pekerja. Menurut Gold (2017), pada tingkat keparahan ringan dan sedang pekerja dapat mengalami batuk dan menghasilkan sputum, namun yang membedakan adalah derajat sesak yang dialami pekerja. Pada tingkat keparahan ringan sesak dapat terjadi ketika melakukan pekerjaan berat, sedangkan pada tingkat keparahan sedang sesak dapat dirasakan ketika melakukan aktivitas seperti berjalan jauh. Dan pada tingkat keparahan berat pekerja dapat mengalami sesak ketika melakukan aktivitas ringan seperti berpakaian dan pada kondisi terparah yaitu dapat mengalami gagal jantung.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Gangguan Fungsi Paru

No.	FEV1	FVC	%VC	%FEV1/FVC	Fungsi Paru	Tingkat Keparahannya	
						Restriksi	Obstruksi
1	3,15	3,17	94,4	99,37	Normal	-	-
2	3,25	3,36	69,2	96,73	Tidak Normal	Ringan	-
3	1,15	1,57	56,8	73,25	Tidak Normal	Sedang	Ringan
4	2,47	2,81	84,7	87,90	Normal	-	-
5	2,32	3,25	82,6	71,38	Tidak Normal	-	Ringan
6	2,17	2,96	68,9	73,31	Tidak Normal	-	Ringan
7	2,11	2,26	83,5	93,36	Normal	-	-
8	2,47	2,56	55,6	96,48	Tidak Normal	Sedang	-
9	1,42	1,98	67,5	71,71	Tidak Normal	Ringan	Ringan
10	3,27	3,3	81,3	99,09	Normal	-	-
11	3,32	3,53	82,6	94,05	Normal	-	-
12	2,02	2,19	86,2	92,23	Normal	-	-
13	1,6	1,97	51,3	81,21	Tidak Normal	Sedang	-
14	2,02	2,25	54,6	89,77	Tidak Normal	Sedang	-
15	2,05	2,17	50,2	94,47	Tidak Normal	Sedang	-
16	2,63	2,71	82,6	97,04	Tidak Normal	Ringan	-
17	3,21	3,45	81,3	93,04	Normal	-	-
18	2,32	2,48	80,5	93,55	Normal	-	-
19	2,1	2,31	59,7	90,91	Tidak Normal	Sedang	-
20	2,05	2,09	54,3	98,09	Tidak Normal	Sedang	-
21	2,77	3,12	53,6	88,78	Tidak Normal	Sedang	-
22	3,14	3,26	61,3	96,32	Tidak Normal	Ringan	-

23	2,37	2,97	52,9	79,80	Tidak Normal	Ringan	-
24	2,47	2,51	81,7	98,41	Normal	-	-
25	2,03	2,34	53,4	86,75	Tidak Normal	Sedang	-
26	2,75	2,77	89,5	99,27	Normal	-	-
27	2,58	2,99	92,4	86,28	Normal	-	-
28	3,32	3,98	91,4	83,4	Normal	-	-
29	3,55	3,88	81,2	91,49	Normal	-	-
30	2,65	2,71	89,1	97,78	Normal	-	-

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Dari 16 orang pekerja yang mengalami fungsi paru tidak normal, terdapat 12 orang mengalami gangguan restriksi, 2 orang mengalami obstruksi, dan 2 orang mengalami gangguan campuran restriksi dan obstruksi. Pekerja yang memiliki gangguan restriksi, sebanyak 8 orang memiliki tingkat keparahan sedang, dan 4 orang dengan tingkat keparahan ringan. Pada kedua pekerja dengan fungsi paru obstruksi memiliki tingkat keparahan ringan. Sedangkan yang memiliki gangguan fungsi paru campuran yaitu: 1 orang gangguan restriksi sedang dan obstruksi ringan, dan 1 orang gangguan restriksi ringan dan obstruksi ringan.

3.4 Hubungan Paparan Debu PM_{2,5} terhadap Gangguan Fungsi Paru

Mayoritas pekerja di bagian *disamatik line*, *furan line* dan *melting area* mengalami gangguan fungsi paru. Mereka bekerja pada titik dengan konsentrasi debu PM_{2,5} lebih tinggi dibandingkan dengan area lainnya. Selain itu, pada lokasi tersebut paparan debu melebihi NAB yaitu > 102 ug/m³. Hubungan konsentrasi paparan debu PM_{2,5} pada tiap shift di 5 titik dengan gangguan fungsi paru dapat ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hubungan Paparan Debu PM_{2,5} dengan Gangguan Fungsi Paru

Paparan Debu (mg/m ³)	Fungsi Paru					
	Normal		Tidak Normal		Total	
	n	%	n	%	n	%
63,293	2	100	0	0	2	100
63,441	2	100	0	0	2	100
65,443	2	66	1	33	3	100
67,863	2	100	0	0	2	100
74,637	2	100	0	0	2	100
76,470	1	50	1	50	2	100
130,203	0	0	1	100	1	100
131,407	0	0	1	100	1	100

146,053	1	50	1	50	2	100
198,567	1	50	1	50	2	100
270,783	1	50	1	50	2	100
317,843	0	0	2	50	2	100
344,047	0	0	2	100	2	100
335,193	0	0	2	100	2	100
430,297	0	0	3	100	3	100
Total	14	100	16	100	30	100

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Hasil tabulasi silang menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan paparan debu $PM_{2,5}$ dengan terjadinya gangguan fungsi paru. Karena semakin tinggi paparan debu, maka semakin tinggi juga persentase pekerja yang mengalami gangguan fungsi paru. Gangguan fungsi paru yang dialami pekerja akibat dari paparan debu respirabel pada bagian produksi COR 1 PT X adalah gangguan fungsi paru obstruksi maupun restruksi. Pada proses pencetakan cor logam dari pasir menghasilkan debu dengan kandungan silika dapat menyebabkan gangguan restriksi akibat terbentuknya jaringan fibrosa pada dinding paru. Selain itu pada proses melting area terjadi proses pembakaran yang menimbulkan pencemaran udara dalam ruangan COR 1. Adanya polutan dalam proses pembakaran juga dapat menyebabkan gangguan fungsi paru obstruksi (Gold, 2017). Selain paparan debu terdapat faktor penentu lain yang dapat mempengaruhi fungsi paru yaitu kebiasaan penggunaan APD, usia, tinggi, status gizi, kebiasaan merokok, riwayat penyakit, dan kebiasaan olahraga.

3.5 Uji Regresi Linier Berganda

Seiring dengan bertambahnya usia seseorang maka semakin besar kemungkinan terjadinya penurunan fungsi paru, hal ini dapat diperparah dengan paparan debu yang diterima oleh pekerja. Masa kerja erat kaitannya dengan paparan debu yang diterima pekerja. Jika pekerja memiliki masa kerja yang lama namun tidak terdapat paparan debu $PM_{2,5}$ maka pekerja tersebut tidak akan mengalami gangguan fungsi paru. Begitu juga dengan penggunaan APD, jika pekerja tidak menggunakan APD namun tidak terdapat paparan debu pada lingkungan kerjanya maka faktor penggunaan APD tidak akan mempengaruhi gangguan fungsi paru yang dialami pekerja. Lalu pada kebiasaan merokok, rokok merupakan faktor utama terjadinya gangguan obstruksi, namun jika perokok berada di lingkungan berdebu dan tidak menggunakan APD maka risiko mengalami gangguan fungsi paru ikut meningkat. Faktor usia, tinggi badan, masa kerja, kebiasaan merokok, penggunaan APD, dan paparan debu $PM_{2,5}$ akan saling berpengaruh maka analisa statistik menggunakan uji regresi linier berganda perlu dilakukan.

Untuk mengetahui kondisi fungsi paru pekerja yang sebenarnya tanpa dipengaruhi usaha meniup pekerja dalam pengukuran spirometri, maka pada variabel terikat parameter yang digunakan adalah

nilai FEV₁. Nilai FEV₁ tidak dipengaruhi oleh usaha pekerja ketika meniup respirator dalam pengukuran spirometri. Sehingga apabila pekerja meniup dengan keras ataupun lemah nilai FEV₁ akan tetap sama. Karena itu nilai FEV₁ dapat diandalkan untuk mewakili pengukuran fungsi paru.

Analisis regresi linier berganda dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (karakteristik pekerja dan paparan debu PM_{2,5}) terhadap variabel terikat (fungsi paru) menggunakan aplikasi SPSS. Karakteristik pekerja yang dijadikan variabel bebas adalah usia, tinggi badan, masa kerja, status gizi, kebiasaan merokok, kebiasaan olahraga, riwayat penyakit dan penggunaan APD. Hasil analisis regresi linier berganda pada seluruh populasi dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Analisis Regresi Linier Berganda Populasi Total

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5.055	1.204		4.197	.000
	USIA	-.131	.191	-.119	-.687	.499
	TINGGI	.102	.192	.063	.532	.600
	MASA_KERJA	-.032	.356	-.016	-.089	.930
	STATUS_GIZI	.045	.463	.015	.096	.924
	KEBIASAAN_MEROKOK	-.537	.224	-.287	-2.394	.026
	PENGGUNAAN_APD	.779	.351	.309	2.223	.037
	PAPARAN_DEBU	-.962	.190	-.806	-5.054	.000

a. Dependent Variabel: FEV1

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Dari output pada **Tabel 6**, diketahui persamaan regresi linier berganda menggunakan nilai *unstandardized B*:

$$Y' = 5,055 + (- 0,131 X_1 + 0,102 X_2 - 0,032 X_3 + 0,045 X_4 - 0,537 X_5 + 0,779 X_6 - 0,962 X_7)$$

Selanjutnya, untuk menghitung besarnya % nilai kontribusi setiap variabel bebas terhadap variabel terikat, dilakukan dengan membagi setiap nilai koefisien regresi dengan mengabaikan tanda “negatif” atau “positif” terhadap total nilai koefisien regresi (kecuali nilai konstanta) dikalikan 100, maka diperoleh nilai besarnya kontribusi variabel bebas terhadap variabel terikat. Dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Nilai Kontribusi Variabel Bebas terhadap Variabel Terikat pada Persamaan Regresi Pertama

Variabel Bebas	Nilai Koefisien Regresi	Kontribusi (%)
Usia	0,131	5

Tinggi Badan	0,102	4
Masa Kerja	0,032	1
Status Gizi IMT	0,045	2
Kebiasaan Merokok	0,537	21
Penggunaan APD	0,779	30
Paparan Debu PM _{2,5}	0,962	37
Jumlah	2,588	100

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Dari **Tabel 7**. Diketahui nilai kontribusi terbesar terhadap variabel terikat nilai fungsi paru FEV₁ pekerja diberikan berturut-turut oleh variabel paparan debu PM_{2,5} (37%), penggunaan APD (30%), kebiasaan merokok (21%), usia (5%), tinggi badan (4%), status gizi (2%), masa kerja (1%). Dalam uji signifikansi dengan menggunakan $\alpha = 5\%$ nilai signifikansi pada kebiasaan merokok $(0,026) < \alpha 0,05$, penggunaan APD $(0,037) < \alpha 0,05$ dan pada paparan debu PM_{2,5} $0,000 < \alpha 0,05$ artinya pada persamaan regresi tersebut H₁ diterima. Secara signifikan kebiasaan merokok, penggunaan APD dan paparan debu PM_{2,5} sangat mempengaruhi nilai FEV₁. Paparan debu secara signifikan mempengaruhi nilai FEV₁ pekerja dan memiliki nilai kontribusi terbesar sebesar 37% terhadap nilai FEV₁, hal ini dikarenakan paparan debu dengan kandungan silika merupakan penyebab terjadinya gangguan fungsi paru restriksi yang dialami oleh mayoritas pekerja PT X. Pada penggunaan APD secara signifikan mempengaruhi nilai FEV₁ pekerja dan memiliki nilai kontribusi sebesar 30%, hal ini dikarenakan paparan debu erat kaitanya dengan kebiasaan penggunaan APD pekerja. Sedangkan pada kebiasaan merokok, terdapat pekerja PT X yang memiliki gangguan fungsi paru obstruksi sehingga kebiasaan merokok secara signifikan mempengaruhi nilai FEV₁ dan memiliki nilai kontribusi sebesar 21%. Karena pada penelitian ini yang ingin diketahui adalah pengaruh dari paparan debu PM_{2,5} terhadap gangguan fungsi paru, untuk mengetahui pengaruh debu secara signifikan terhadap gangguan fungsi paru restriksi, maka dilakukan uji regresi linier berganda tanpa pekerja berfungsi paru obstruksi yaitu sebanyak 26 orang pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Analisis Regresi Linier Berganda Tanpa Pekerja Berfungsi Paru Obstruksi

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	5.207	1.424		3.656	.002
USIA	-.221	.240	-.192	-.921	.369
TINGGI	.022	.239	.014	.092	.927
MASA_KERJA	-.048	.423	-.029	-.114	.910
STATUS_GIZI	.119	.519	.044	.229	.822

KEBIASAAN_MEROKOK	-.243	.377	-.104	-.643	.528
PENGGUNAAN_APD	.672	.419	.289	1.601	.127
PAPARAN_DEBU	-.903	.239	-.800	-3.785	.001
a. Dependent Variabel: FEV1					

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Dari output pada **Tabel 8.** dapat diketahui persamaan regresi linier berganda menggunakan nilai *unstandardized B*:

$$Y' = 5,207 + (-0,221 X_1 + 0,022 X_2 - 0,048 X_3 + 0,119 X_4 - 0,243 X_5 + 0,672 X_6 - 0,903 X_7)$$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai kontribusi setiap variabel bebas terhadap variabel terikat pada **Tabel 9.**

Tabel 9. Nilai Kontribusi Variabel Bebas terhadap Variabel Terikat pada Persamaan Regresi Kedua

Variabel Bebas	Nilai Koefisien Regresi	Kontribusi (%)
Usia	0,221	8
Tinggi Badan	0,22	8
Masa Kerja	0,48	17
Status Gizi IMT	0,119	4
Kebiasaan Merokok	0,243	9
Penggunaan APD	0,672	24
Paparan Debu PM _{2,5}	0,903	32
Jumlah	2,858	100

Dari **Tabel 9.** diketahui nilai kontribusi terbesar terhadap variabel terikat nilai fungsi paru FEV₁ pekerja diberikan berturut-turut oleh variabel paparan debu PM_{2,5} (32%), penggunaan APD (24%), masa kerja (17%), kebiasaan merokok (9%), usia (8%), tinggi (8%), status gizi (4%). Setelah pekerja dengan gangguan fungsi paru obstruksi dihilangkan dari analisis regresi linier berganda pada program SPSS, nilai kontribusi kebiasaan merokok menurun menjadi 9%. Sedangkan masa kerja dan penggunaan APD nilai kontribusinya meningkat. Masa kerja mempengaruhi fungsi paru pekerja, karena berkaitan dengan lama pajanan yang diterima. Semakin lama pekerja terpapar oleh debu PM_{2,5} dan pekerja tidak menggunakan APD berupa masker n-95, maka semakin banyak risiko debu terdeposit kedalam paru pekerja yang menyebabkan gangguan fungsi paru restriksi. Nilai signifikansi pada paparan debu PM_{2,5} 0,001 < α 0,05 artinya H₁ diterima. Pada persamaan kedua, paparan debu PM_{2,5} menjadi satu-satunya variabel yang secara signifikan mempengaruhi nilai FEV₁.

Dari kedua persamaan regresi yang telah dilakukan diketahui bahwa pada usia, tinggi, masa kerja, status gizi, kebiasaan merokok, penggunaan APD dan paparan debu $PM_{2,5}$ H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya variabel bebas tersebut berhubungan secara linier dengan fungsi paru pekerja. Nilai koefisien regresi usia negatif sehingga semakin tua usia pekerja maka nilai FEV_1 akan semakin menurun, koefisien regresi tinggi pekerja bernilai positif sehingga semakin tinggi pekerja maka nilai FEV_1 semakin meningkat, koefisien regresi masa kerja bernilai negatif sehingga semakin lama masa kerja pekerja maka semakin turun nilai FEV_1 , nilai koefisien regresi status gizi bernilai positif sehingga semakin baik status gizi pekerja maka nilai FEV_1 akan semakin meningkat, nilai koefisien regresi kebiasaan merokok bernilai negatif sehingga semakin banyak jumlah rokok yang dihisap setiap harinya maka semakin turun nilai FEV_1 , nilai koefisien regresi penggunaan APD bernilai positif sehingga bila pekerja memiliki kebiasaan menggunakan APD maka nilai FEV_1 pekerja akan meningkat, nilai koefisien regresi debu bernilai negatif semakin tinggi paparan debu $PM_{2,5}$ maka semakin menurun nilai FEV_1 . Sedangkan pada kebiasaan olahraga dan riwayat penyakit H_0 diterima dan H_1 ditolak, artinya kedua variabel bebas tersebut tidak berhubungan secara linier dengan fungsi paru pekerja. Dari uji regresi linier berganda diketahui bahwa penyebab utama gangguan fungsi paru restriksi pekerja adalah paparan debu $PM_{2,5}$ yang mengandung silika dan penyebab gangguan fungsi paru obstruksi adalah kebiasaan merokok pekerja.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran paparan debu $PM_{2,5}$ di 5 titik yang telah ditentukan, terdapat 3 titik konsentrasi debu $PM_{2,5}$ melebihi NAB (102 ug/m^3) yaitu *disamatik line*, *furan line*, *melting area*. Dari penelitian yang dilakukan diketahui dari 30 orang pekerja terdapat 16 orang mengalami fungsi paru tidak normal, 12 orang mengalami gangguan restriksi, 2 orang mengalami gangguan obstruksi dan 2 orang mengalami gangguan campuran restriksi dan obstruksi. Pekerja yang memiliki gangguan restriksi sebanyak 8 orang memiliki tingkat keparahan sedang dan 4 orang dengan tingkat keparahan ringan dan kedua pekerja yang memiliki fungsi paru obstruksi memiliki tingkat keparahan ringan. Sedangkan pekerja yang memiliki gangguan fungsi paru campuran yaitu 1 orang gangguan restriksi sedang dan obstruksi ringan dan 1 orang gangguan restriksi ringan dan obstruksi ringan. Setelah dilakukan analisis regresi linier berganda diketahui bahwa paparan debu berpengaruh secara signifikan, dan usia, tinggi badan, masa kerja, status gizi, kebiasaan merokok, dan penggunaan APD juga berpengaruh terhadap nilai fungsi paru FEV_1 pekerja. Sedangkan Koefisien regresi variabel kebiasaan olahraga dan riwayat penyakit tidak mempengaruhi nilai FEV_1 . Dari data yang diperoleh diketahui semakin tua usia pekerja maka fungsi paru akan semakin menurun, semakin tinggi pekerja maka nilai fungsi paru semakin meningkat, semakin lama masa kerja pekerja maka fungsi paru semakin menurun, semakin baik status gizi pekerja maka fungsi paru akan semakin meningkat, semakin banyak jumlah rokok yang dihisap setiap harinya maka semakin turun fungsi paru, bila pekerja memiliki kebiasaan menggunakan APD

maka fungsi paru akan meningkat, semakin tinggi paparan debu PM_{2,5} maka semakin menurun fungsi paru pekerja. Dari kedua persamaan analisis regresi linier berganda yang dilakukan, diketahui penyebab utama gangguan fungsi paru yang dialami pekerja PT X berupa gangguan restriksi adalah paparan debu PM_{2,5} dan gangguan obstruksi adalah kebiasaan merokok pekerja. Disarankan agar perusahaan mengisolasi pembuatan dan penghancuran cetakan pasir, memantau fungsi paru pekerja secara periodik serta mengharuskan pekerja menggunakan APD selama kerja. Terdapat ketidakpastian data nilai konsentrasi paparan debu karena pengukuran tidak dilakukan selama 8 jam kerja.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Dwina Roosmini dalam Indah R. S. S. (2016). "Pneumoconiosis dalam Buku Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja". Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Edward W. Finucane (2006). "*Definition, Conversions and Calculations for Occupational Safety and Health Professionals*". New York: CRC Press.
- GOLD (*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease*) (2017). "*Global Strategy for Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*". Diakses di <http://www.sppneumologia.pt/>. Pada Tanggal 7 Juli 2020.
- ILO (*International Labour Organization*) (2015). "Mencegah Penyakit Paru-Paru Akibat Kerja di Indonesia". Diakses di https://www.ilo.org/jakarta/info/public/pr/WCMS_522922/lang--en/index.htm . Pada Tanggal 30 November 2020.
- Imam G. (2016). "Aplikasi Analisis Multivariat dengan Program IBM SPSS 23". Semarang: Penerbit Universitas Diponegoro.
- Muh. Amin (2013). "Pemeriksaan dan Interpretasi Faal Paru". Surabaya: PKB Pulmonologi dan Ilmu Kedokteran Respirasi.
- Yang Ishigaki, Tanaka K., Matsumoto Y, Maruo YY, Pradana HA (2017). "*Citizen Sensing for Environmental Risk Communication Action Research on PM 2,5 Air Quality Monitoring in East Asia.*" The 2nd Int. Conference on Cyber Technologies and Cyber System. Diakses di <https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12199-018-0741-0>. Pada Tanggal 10 Desember 2019.