

Analisis Kesenjangan Kualitas Lingkungan Kerja dan Temuan Klinis Respirasi Pekerja Fabrikasi Logam: Studi pada PT XYZ

Nofitri Meiliza¹, Davedine Amara Keisya², Nico Linggi Pongmasangka³

^{1,2,3}Politeknik Ketenagakerjaan

Email: npongmasangka@gmail.com

Abstrak

Industri fabrikasi logam memiliki risiko tinggi terhadap gangguan kesehatan pernafasan akibat paparan debu partikulat dan asap pengelasan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kesenjangan antara hasil pengukuran kualitas udara lingkungan kerja dan temuan klinis respirasi pekerja di PT XYZ. Penelitian menggunakan desain observasional deskriptif dengan pendekatan analisis data sekunder yang bersumber dari hasil pemantauan lingkungan kerja Semester 2 Tahun 2024 dan Semester 1 Tahun 2025 serta data *Medical Check-Up* (MCU) pekerja. Data yang dianalisis meliputi pengukuran kualitas udara, spirometri, foto toraks, riwayat paparan, dan keluhan respirasi. Hasil menunjukkan seluruh parameter kualitas udara berada dibawah Nilai Ambang Batas (NAB), termasuk debu partikulat sebesar 1,03 mg/m³ pada Semester 1 Tahun 2025. Namun demikian, pemeriksaan kesehatan masih menemukan 20 pekerja (16,0%) mengalami gangguan fungsi paru restriktif serta enam temuan radiologis paru yang terdiri atas empat infiltrat paru dan dua fibroinfiltrat berkonfluens. Temuan tersebut mengindikasikan adanya dampak paparan kronis yang tidak sepenuhnya tercermin dalam hasil pemantauan lingkungan kerja. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kepatuhan terhadap standar kualitas udara belum menjamin perlindungan kesehatan respirasi pekerja, sehingga diperlukan pengendalian bahaya yang lebih komprehensif serta pemantauan kesehatan berkala.

Kata kunci: Paparan Debu, Asap Pengelasan, K3, Gangguan Fungsi Paru, Kesehatan Kerja, Fabrikasi Logam

Abstract

The metal fabrication industry presents a high risk of respiratory disorders due to exposure to particulate dust and welding fumes. This study aimed to analyze the gap between workplace air quality measurements and respiratory health findings among workers at PT XYZ. A descriptive observational design with a secondary data analysis approach was employed using workplace environmental monitoring data from the second semester of 2024 and the first semester of 2025, as well as workers' Medical Check-Up (MCU) records. The analyzed data included air quality measurements, spirometry results, chest radiographs, exposure history, and respiratory complaints. The results showed that all measured air quality parameters were below the applicable occupational exposure limits, including particulate dust concentrations of 1.03 mg/m³ in the first semester of 2025. Nevertheless, health examinations identified restrictive pulmonary impairment in 20 workers (16.0%) and six radiological abnormalities consisting of four pulmonary infiltrates and two confluent fibroinfiltrates. These findings indicate potential chronic respiratory effects that were not fully reflected by routine environmental monitoring results. This study concludes that compliance with workplace air quality standards alone does not guarantee adequate respiratory protection. Therefore, more comprehensive hazard control measures and periodic health surveillance are required.

Keywords: Dust Exposure, Welding Fumes, K3, Pulmonary Function Impairment, Occupational Health, Metal Fabrication

1. PENDAHULUAN

Industri fabrikasi logam dikenal sebagai salah satu sektor dengan risiko tertinggi terhadap Penyakit Akibat Kerja (PAK), khususnya gangguan pernafasan akibat paparan debu

partikulat dan asap las. Berbagai studi epidemiologis dan eksperimental menunjukkan bahwa pekerja yang terpapar asap las memiliki prevalensi lebih tinggi terhadap gejala respirasi kronis seperti batuk, dahak, sesak Nafas, dan bronkitis kronis. Paparan jangka panjang juga dikaitkan dengan penurunan fungsi paru serta peningkatan risiko kanker paru [1]. Data kuantitatif menunjukkan prevalensi gejala respirasi kronis pada pekerja las mencapai 23.9% dibandingkan 9.2% pada kelompok kontrol lain, Sementara prevalensi *metal fume fever* pada pekerja metalurgi dilaporkan mencapai 87,8% [1],[2]. Berbagai proses produksi dalam industri ini menghasilkan paparan debu partikulat dan asap las yang secara kumulatif dapat merusak saluran pernafasan pekerja jika berlangsung secara kronis tanpa pengendalian yang memadai [3].

Di Indonesia, sektor industri manufaktur mengalami perkembangan yang sangat pesat dan menjadi motor utama pertumbuhan ekonomi nasional. Industri pengolahan nonmigas salah satunya industri logam, secara konsisten memberikan kontribusi terbesar terhadap PDB nasional, mencapai 16,30% pada triwulan II 2023 [4]. Ekspansi ini membawa konsekuensi meningkatnya jumlah tenaga kerja yang terpapar bahaya lingkungan kerja, terutama di sub-sektor fabrikasi logam yang prosesnya menghasilkan kombinasi paparan debu, gas, dan *fume* secara bersamaan. PT XYZ merupakan salah satu perusahaan fabrikasi logam yang berlokasi di Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Kabupaten Bekasi, yang memproduksi *heat exchanger*, *pressure vessel*, *radiant tube*, dan *muffle* berbahan *stainless steel*, titanium, dan *alloy*. Proses produksi yang meliputi *cutting*, *grinding*, *welding* (MIG, TIG, Plasma, SMAW), dan *pickling* menghasilkan paparan kompleks terhadap 146 tenaga kerja. Karakteristik proses ini menjadikan PT XYZ representatif sebagai objek kajian penyakit akibat kerja di sektor fabrikasi logam.

Paparan kronis terhadap debu, gas, dan *fume* di lingkungan kerja telah lama diketahui sebagai faktor risiko utama berbagai penyakit paru akibat kerja, terutama pneumokoniosis seperti silikosis, asbestosis, dan *coal worker pneumoconiosis* yang dapat menyebabkan gangguan fungsi paru dinamis [5]. Pada pekerja las, paparan *fume* yang mengandung besi, mangan, kromium, dan logam lainnya berhubungan dengan penurunan fungsi paru yang ditandai oleh pola obstruktif, restriktif, maupun campuran, terutama pada pekerja yang terpapar konsentrasi *fume* dan gas las yang tinggi dalam jangka panjang [6]. Teori paparan kronis menyatakan bahwa efek kesehatan kerja ditentukan oleh dosis kumulatif/menumpuk sepanjang masa kerja, bukan hanya kadar sesaat. Metaanalisis terhadap 12 studi *longitudinal* berbasis populasi menunjukkan bahwa paparan kumulatif terhadap gas, *fume*, debu, dan uap berhubungan dengan penurunan fungsi paru (FEV_1) yang lebih besar dibandingkan kelompok tidak terpapar [7]. Meskipun hasil pengukuran menunjukkan kadar debu respirabel berada dibawah Nilai Ambang Batas (NAB), pengendalian dan pemantauan tetap perlu dilakukan secara berkelanjutan karena paparan yang berlangsung terus-menerus berpotensi menimbulkan akumulasi pajanan jangka panjang yang berkontribusi terhadap penyakit paru akibat kerja seperti silikosis dan PPOK [8]. Kesenjangan antara data pengukuran lingkungan periodik dan temuan klinis pada *Medical Check-Up* (MCU) menjadi fenomena yang penting untuk dikaji secara sistematis.

Beberapa studi relevan telah menjelaskan fenomena serupa. Penelitian oleh Pouryaghoub *et al.*, (2021) pada pekerja *spot welding* di industri otomotif menunjukkan bahwa pekerja las memiliki fungsi paru yang lebih rendah dari pada kelompok kontrol yang tidak terpapar, meskipun hasil pengukuran *welding fume* masih berada dibawah *permissible exposure limit* (PEL). Penurunan parameter fungsi paru seperti *Forced Vital Capacity* (FVC) dan *Forced Expiratory Volume in One Second* (FEV_1) ditemukan lebih nyata pada kelompok pekerja las, terutama pekerja las yang terpapar dalam jangka panjang dan faktor resiko tambahan seperti kebiasaan merokok [9]. Di Indonesia, penelitian oleh Abidin *et al.*, (2021) pada pekerja *Industri Rumahan C-MAX* melaporkan bahwa meskipun kadar debu total pada

lingkungan kerja masih berada dibawah nilai ambang batas, sebagian pekerja tetap menunjukkan gangguan fungsi paru berdasarkan pemeriksaan spirometri yang menunjukkan indikasi adanya pengaruh pajanan kronis terhadap kapasitas respirasi pekerja [10].

Berangkat dari latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kesenjangan antara parameter kualitas udara di area produksi PT XYZ dan temuan klinis fungsi paru pekerja melalui pendekatan *gap analysis*, guna merumuskan rekomendasi K3 berbasis bukti. Capaian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah sekaligus menjadi rujukan strategis perusahaan dalam memperkuat perlindungan pekerja, sejalan dengan amanat Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2024 Pasal 233 yang menetapkan penyelenggaraan pemeriksaan kesehatan pekerja secara terukur sebagai pilar utama standar program kesehatan kerja.

2. METODE PENELITIAN

a. Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian observasional deskriptif dengan pendekatan analisis data sekunder. Jenis penelitian ini dipilih karena bertujuan mendeskripsikan dan menganalisis data yang telah tersedia tanpa melakukan intervensi atau pengukuran baru pada subjek penelitian.

b. Sumber Data

Data yang digunakan bersumber dari dua kategori, yaitu: (1) Data laporan Pemantauan Lingkungan Pelaksanaan RKL-RPL Rinci PT XYZ periode Semester 2/2024 (Juli-Desember 2024) dan Semester 1/2025 (Januari-Juni 2025); (2) Data Rekap Hasil Pemeriksaan Kesehatan Karyawan *Medical Check-Up (MCU)* PT XYZ Tahun 2024 dan Tahun 2025, yang dilaksanakan oleh dr. S dan Tim Sava Medika. Data *MCU* Tahun 2024 dilaksanakan pada 29 Februari-8 Maret 2024 mencakup 116 peserta, sedangkan *MCU* Tahun 2025 dilaksanakan pada bulan Februari 2025 mencakup 127 peserta. Seluruh data mengacu pada dokumen resmi perusahaan dan hasil uji laboratorium terakreditasi KAN (Nomor Reg: 00154/LPJ/LABLING-1/LRK/KLHK).

c. Variabel Penelitian

Variabel penelitian meliputi: Variabel bebas, hasil pengukuran konsentrasi debu partikulat dan asap las di area produksi. Variabel terikat, hasil pemeriksaan spirometri (fungsi paru) dan *rontgen thorax*. Variabel *moderating*, riwayat pajanan kerja, kebiasaan merokok, dan keluhan subjektif respirasi pekerja. Variabel *moderating* ini dianalisis perannya dalam memperkuat atau memperlemah hubungan antara pajanan lingkungan kerja dengan temuan klinis, sebagaimana dibuktikan dalam berbagai studi bahwa usia, lama pajanan, dan kebiasaan merokok merupakan faktor yang secara signifikan berhubungan dengan gangguan fungsi paru [11],[12].

d. Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan distribusi frekuensi dan persentase. Data hasil pengukuran kualitas udara dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) sesuai Permenaker Nomor 05 Tahun 2018 untuk menentukan status pemenuhan regulasi. Data *MCU* berupa spirometri, *rontgen thorax*, dan keluhan subjektif dianalisis untuk mendapatkan prevalensi gangguan kesehatan per periode pemeriksaan. Kedua *dataset* kemudian dikaji secara naratif-komparatif melalui pendekatan *gap analysis* untuk mengidentifikasi kesenjangan antara kondisi lingkungan kerja dan temuan klinis, serta dievaluasi menggunakan tujuh langkah diagnosis okupasi sesuai Permenkes Nomor 56 Tahun 2016 guna menilai kaitan kausal antara pajanan dan temuan klinis.

e. Catatan Metodologis dan Limitasi Data

Terdapat dua catatan penting terkait kelengkapan data yang perlu dikemukakan sejak awal. Pertama, dari 127 peserta *MCU* 2025, sebanyak 125 peserta tercatat memiliki data hasil spirometri yang dapat dianalisis. Dua peserta tidak memiliki data spirometri dalam dokumen rekap *MCU* perusahaan, dan alasan ketidaklengkapan tersebut tidak terdokumentasikan dalam sumber data sekunder yang tersedia; oleh karena itu analisis fungsi paru dilakukan terhadap 125 peserta ($n = 125$).

Kedua, terkait data *rontgen thorax MCU* 2024, data yang tersedia dalam dokumen resmi perusahaan hanya mencakup 114 peserta dari total 116 peserta; informasi mengenai 2 peserta yang tidak memiliki data *rontgen* tidak terdokumentasikan dalam sumber data yang ada, sehingga analisis radiologis periode tersebut dilakukan terhadap 114 peserta ($n = 114$).

Selain itu, perbandingan prevalensi gangguan fungsi paru antara Semester 2/2024 dan Semester 1/2025 perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena adanya perbedaan format pelaporan spirometri antar periode. Pada Semester 2/2024, hasil spirometri dilaporkan menggunakan kategori gabungan yang memungkinkan identifikasi pola gangguan campuran *mixed ventilatory impairment*, sedangkan pada Semester 1/2025 dilaporkan menggunakan kategori utama tunggal. ATS/ERS menekankan pentingnya penggunaan strategi klasifikasi dan interpretasi yang konsisten agar hasil spirometri dapat dibandingkan secara valid antar periode [13]. Oleh sebab itu, perbandingan langsung antara kedua periode tidak dapat dilakukan; fokus analisis ditujukan pada temuan 2025 sebagai data yang lebih shahih dalam konteks penilaian kondisi terkini.

f. Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Kerangka penelitian disusun berdasarkan analisis data sekunder dari pemantauan lingkungan kerja dan hasil *MCU* PT XYZ Tahun 2024-2025. Data hasil pengukuran lingkungan kerja dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas sesuai Permenaker Nomor 05 Tahun 2018 untuk menggambarkan kondisi kualitas udara area produksi. Data *MCU* berupa hasil spirometri, *rontgen thorax*, dan keluhan respirasi dianalisis untuk mengidentifikasi adanya gangguan fungsi paru. Kedua data kemudian dianalisis melalui pendekatan *gap analysis* untuk melihat kesenjangan antara kondisi lingkungan kerja yang memenuhi standar regulasi dengan temuan gangguan kesehatan paru pekerja, dengan mempertimbangkan variabel *moderating*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

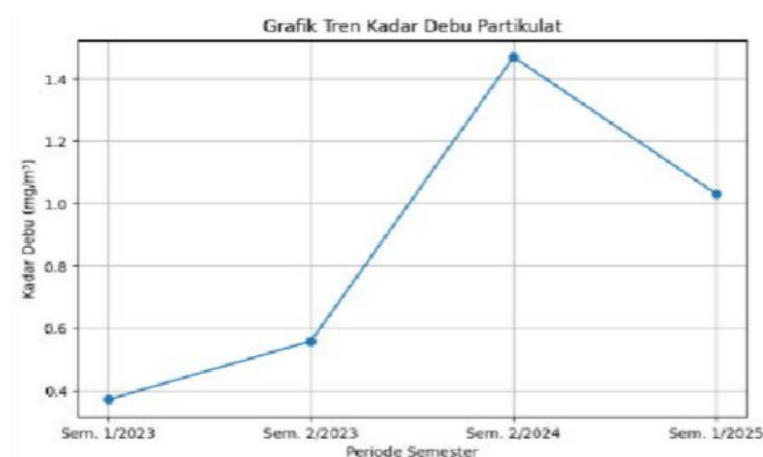
a. Profil Paparan Lingkungan Kerja

Hasil pemantauan kualitas udara di area produksi *Workshop & Fabrication* PT XYZ selama dua periode pemantauan berturut-turut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kualitas Udara Area Produksi PT XYZ

No.	Parameter	Satuan	NAB*)	Sem. 2/2024	Sem. 1/2025	Status	Referensi NAB
1.	Debu Partikulat	mg/m ³	10	1,47	1,03	Memenuhi	Permenaker Nomor 05/2018 [14]
2.	Pb (Timbal)	mg/m ³	0,1	< 0,0003	< 0,0003	Memenuhi	Permenaker Nomor 05/2018 [14]
3.	SO ₂	mg/m ³	0,25	< 0,0280	0,0136	Memenuhi	Permenaker Nomor 05/2018 [14]
4.	NO ₂	BDS	0,2	0,0315	0,0395	Memenuhi	Permenaker Nomor 05/2018 [14]
5.	H ₂ S	BDS	1	< 0,0004	< 0,0005	Memenuhi	Permenaker Nomor 05/2018 [14]
6.	NH ₃	mg/m ³	17	0,195	0,138	Memenuhi	Permenaker Nomor 05/2018 [14]
7.	O ₃	BDS	0,2	0,0368	0,0251	Memenuhi	Permenaker Nomor 05/2018 [14]
8.	CO	mg/m ³	29	1,79	1,68	Memenuhi	Permenaker Nomor 05/2018 [14]

Berdasarkan data pada Tabel 1, seluruh parameter kualitas udara kerja yang diukur pada Semester 2 Tahun 2024 dan Semester 1 Tahun 2025 menunjukkan status memenuhi baku mutu karena berada dibawah Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh Permenaker Nomor 05 Tahun 2018. Konsentrasi debu partikulat tercatat sebesar 1,47 mg/m³ pada Semester 2/2024 dan turun menjadi 1,03 mg/m³ pada Semester 1/2025, jauh dibawah NAB sebesar 10 mg/m³. Parameter gas yang berkaitan dengan proses pengelasan juga berada dibawah standar regulasi, kadar NO₂ berada pada rentang 0,0315-0,0395 bds (NAB 0,2 bds), O₃ sebesar 0,0251-0,0368 bds (NAB 0,2 bds), dan CO berada pada kisaran 1,68-1,79 mg/m³ (NAB 29 mg/m³). Parameter tambahan lainnya seperti Pb (< 0,0003 mg/m³), SO₂ (< 0,0280–0,0136 mg/m³), H₂S (< 0,0004-< 0,0005 bds), dan NH₃ (0,138-0,195 mg/m³) secara konsisten berada jauh dibawah nilai ambang batas maksimum.



Gambar 2. Grafik Debu Partikulat

Debu partikulat dipilih sebagai parameter representatif untuk analisis tren *longitudinal* karena merupakan bahaya respirasi utama di area fabrikasi logam. Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2, konsentrasi menunjukkan tren kenaikan dari 0,37 mg/m³ pada Semester 1/2023, meningkat menjadi 0,557 mg/m³ pada Semester 2/2023, mencapai titik tertinggi 1,47

mg/m³ pada Semester 2/2024, sebelum turun menjadi 1,03 mg/m³ pada Semester 1/2025. Tren kenaikan ini mengindikasikan bahwa tanpa intervensi pengendalian yang konsisten, konsentrasi berpotensi mendekati NAB di masa mendatang, sehingga pemantauan intensif tetap diperlukan [8].

b. Riwayat Paparan Pekerja

Profil paparan pekerja berdasarkan data *MCU* Semester 1/2025 disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Riwayat Paparan Pekerja PT XYZ

No.	Jenis Paparan	Jumlah Terpapar (Sem. 1/2025)	Jumlah Terpapar (Sem. 2/2024)
1.	Debu	96 orang (75,6%)	81 orang (69,8 %)
2.	Asap Las	71 orang (55,9%)	65 orang (56,0%)

Tabel 2 menunjukkan dominasi bahaya respirasi pada populasi kerja PT XYZ. Pada tahun 2025, paparan debu dialami oleh 96 orang (75,6%) dan paparan asap las dialami oleh 71 orang (55,9%), sedangkan pada tahun 2024 masing-masing tercatat 81 orang (69,8%) dan 65 orang (56,0%). Ditinjau dari karakteristik demografi, kelompok usia pekerja didominasi oleh rentang 41-50 tahun sebanyak 48,8%, diikuti kelompok usia 31-40 tahun, dan sisanya tersebar pada kelompok usia dibawah 30 tahun dan di atas 50 tahun. Dominasi kelompok usia tengah baya ini secara tidak langsung mengindikasikan akumulasi masa kerja yang panjang, yang relevan dengan mekanisme paparan kronis sebagaimana dijabarkan pada bagian analisis kesenjangan.

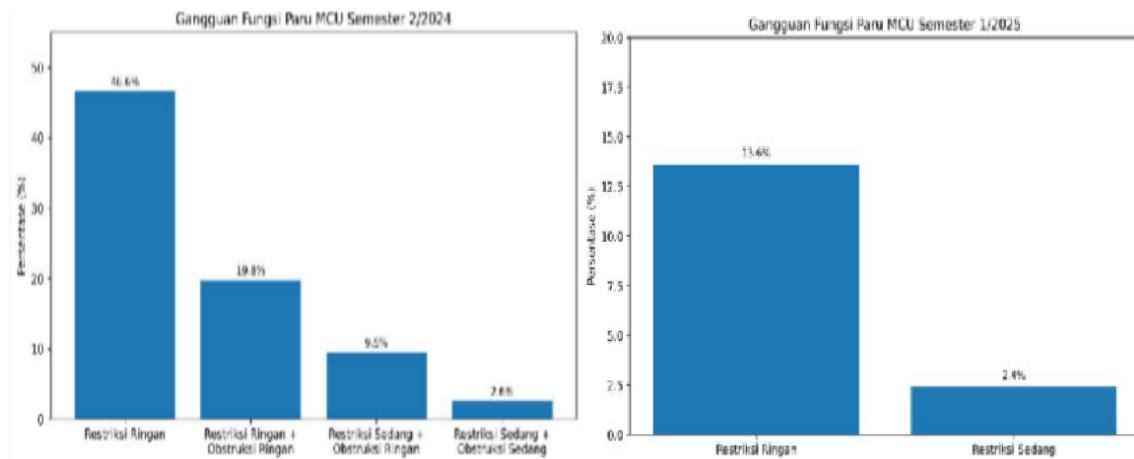
c. Hasil Pemeriksaan Spirometri

Rekapitulasi hasil spirometri disajikan pada Tabel 3. Mengacu pada catatan metodologis yang telah dikemukakan di bagian Metode, perbandingan langsung antara kedua periode tidak dilakukan mengingat adanya perbedaan format pelaporan.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Spirometri PT XYZ

No.	Hasil Spirometri	Sem. 2/2024 (n = 116)	Sem. 1/2025 (n = 125)
1.	Normal	25 (21,6%)	105 (84,0%)
2.	Restriksi Ringan	54 (46,6%)	17 (13,6%)
3.	Restriksi Ringan + Obstruksi Ringan	23 (19,8%)	-
4.	Restriksi Sedang + Obstruksi Ringan	11 (9,5%)	-
5.	Restriksi Sedang + Obstruksi Sedang	3 (2,6%)	-
6.	Restriksi Sedang (Total, Sem. 1/2025)	-	3 (2,4%)
Total Gangguan Fungsi Paru		91/116 (78,4%)	20/125 (16,0%)

Pada periode Semester 2/2024, jumlah pekerja dengan status faal paru normal hanya sebanyak 25 orang (21,6%), sementara sebagian besar terdeteksi mengalami variasi penurunan fungsi faal paru: restriksi ringan murni 54 orang (46,6%), kombinasi restriksi ringan + obstruksi ringan 23 orang (19,8%), restriksi sedang + obstruksi ringan 11 orang (9,5%), dan restriksi sedang + obstruksi sedang 3 orang (2,6%). Total kasus penurunan faal paru pada tahun 2024 mencapai 91 kasus (78,4%).



Gambar 3. Grafik Gangguan Fungsi Paru

Pada pemeriksaan Semester 1/2025 ($n = 125$), jumlah status normal meningkat menjadi 105 orang (84,0%). Gangguan fungsi paru yang tersisa terkonsentrasi pada dua kategori: pola restriksi ringan 17 orang (13,6%) dan pola restriksi sedang 3 orang (2,4%), sehingga total gangguan fungsi paru sebesar 20 kasus (16,0%). Distribusi persentase proporsi gangguan faal paru untuk masing-masing periode pemeriksaan tersebut disajikan secara terpisah pada visualisasi grafik batang Gambar 3.

Temuan yang konsisten pada kedua periode adalah masih ditemukannya gangguan fungsi paru dengan pola restriktif, meskipun pengukuran debu dan gas di lingkungan kerja seluruhnya berada dibawah NAB. Kondisi ini menjadi fokus utama kesenjangan yang dianalisis dalam penelitian ini.

d. Hasil Pemeriksaan *Rontgen Thorax*

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan *Rontgen Thorax* PT XYZ

No.	Hasil <i>Rontgen Thorax</i>	Sem. 2/2024 ($n = 114$)	Sem. 1/2025 ($n = 127$)	Relevansi K3
1.	Normal	106 (93,0%)	117 (92,1%)	-
2.	Infiltrat Paru	-	4 (3,1%)	Dugaan infeksi/inflamasi paru aktif
3.	Fibroinfiltrat Berkonfluens	-	2 (1,6%)	Indikasi lesi fibrosis paru, relevan paparan debu kronis
4.	Kardiomegali	6 (5,3%)	2 (1,6%)	Temuan kardiovaskular
5.	Efusi Pleura Minimal/Penebalan Pleura	1 (0,9%)	-	Lesi pleura terkait pajanan
6.	Sugestif TB Paru Lama Aktif	1 (0,9%)	-	Risiko komorbiditas infeksi
7.	<i>Atherosclerosis Aorta</i>	-	1 (0,8%)	Temuan kardiovaskular

Berdasarkan Tabel 4, hasil pemeriksaan *rontgen thorax* menunjukkan bahwa mayoritas kondisi struktural paru pekerja berada dalam batas normal, yaitu 93,0% (106 dari 114 peserta) pada Semester 2/2024 dan 92,1% (117 dari 127 peserta) pada Semester 1/2025. Kelainan klinis pada jaringan parenkim paru baru ditemukan pada periode Semester 1/2025, dengan rincian munculnya 4 kasus (3,1%) infiltrat paru dan 2 kasus (1,6%) fibroinfiltrat berkonfluens. Secara radiologis, pola fibroinfiltrat berkonfluens merupakan temuan yang perlu mendapat tindak lanjut segera karena dapat mengindikasikan tahap awal pneumokoniosis yang apabila tidak ditangani akan berkembang menjadi fibrosis progresif [5].

Temuan kardiovaskular tersebut tidak menjadi fokus analisis dalam penelitian ini, namun direkam sebagai bagian dari profil kesehatan komprehensif pekerja yang perlu ditindaklanjuti secara terpisah oleh dokter perusahaan.

e. Klasifikasi Subjektif Respirasi

Tabel 5. Keluhan Subjektif Respirasi Pekerja PT XYZ

No.	Keluhan Subjektif	Sem. 2/2024	Sem. 1/2025	Relevansi Saluran Nafas
1.	Batuk	2 Orang	3 Orang	Ya
2.	Sesak/Nafas Berat	1 (Sesak Nafas/Asma)	1 (Badan Lemas, Nafas Berat)	Ya
3.	Sering Bersin Pagi Hari	-	1 Orang	Dugaan Rinitis Alergi Akibat Debu
4.	Hilang Penciuman (Sejak 2022)	-	1 Orang	Relevan Neurotoksik/Paparan Kimia

Merujuk pada Tabel 5, keluhan spesifik pada saluran pernafasan yang tercatat pada Semester 2/2024 adalah batuk (2 orang) dan sesak Nafas/asma (1 orang). Pada Semester 1/2025, keluhan batuk meningkat menjadi 3 orang, keluhan sesak/Nafas berat konsisten bertahan pada 1 orang, dan muncul keluhan respirasi baru berupa sering bersin di pagi hari (1 orang) serta kasus hilang penciuman/*anosmia* yang diakui telah berlangsung sejak tahun 2022 (1 orang). Meskipun jumlah keluhan subjektif yang tercatat tergolong rendah, hal ini tidak serta-merta mencerminkan kondisi kesehatan yang baik. Rendahnya pelaporan keluhan dapat dipengaruhi oleh *underreporting* akibat kekhawatiran pekerja terhadap dampak karier, atau keterbatasan instrumen pencatatan *MCU* yang tidak menggunakan kuesioner respirasi terstandar seperti *Medical Research Council (MRC) Dyspnea Scale*. Temuan ini menegaskan bukti dari spirometri dan *rontgen thorax*, bahwa gangguan pada tubuh sebenarnya sudah muncul bahkan sebelum pekerja merasakannya secara jelas.

f. Analisis Kesenjangan Data Lingkungan dan Temuan Klinis *MCU*

Penelitian ini menemukan kesenjangan yang signifikan antara hasil pengukuran kualitas udara lingkungan kerja dan status kesehatan respirasi pekerja di PT XYZ. Meskipun paparan debu dialami oleh mayoritas populasi kerja sebesar 75,6% dan paparan asap las dialami oleh 55,9% pekerja secara konstan di area produksi (Tabel 2), seluruh parameter kualitas udara kerja secara konsisten berada jauh dibawah Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh Permenaker Nomor 05 Tahun 2018. Berdasarkan data pemantauan lingkungan pada Tabel 1, seluruh parameter kualitas udara, termasuk debu partikulat sebesar 1,47 mg/m³ pada Semester 2/2024 dan 1,03 mg/m³ pada Semester 1/2025, secara konsisten berada jauh dibawah Nilai Ambang Batas (NAB) 10 mg/m³ sesuai Permenaker Nomor 05 Tahun 2018. Parameter gas sisa pengelasan seperti CO, NO₂, dan SO₂ pun terpantau memenuhi baku mutu yang berlaku. Namun secara klinis, hasil *Medical Check-Up (MCU)* menunjukkan realitas yang bertolak belakang. Sebanyak 20 pekerja atau 16,0% dari total peserta pada periode *MCU* 2025 mengalami gangguan fungsi paru restriktif, serta ditemukan enam kasus kelainan radiologis paru, dimana dua diantaranya berupa fibroinfiltrat berkonfluens yang merupakan indikator kuat paparan debu kronis.

Kesenjangan ini dapat dijelaskan melalui empat mekanisme utama yang saling berkaitan. Pertama, pengukuran kualitas udara yang hanya dilakukan satu kali per enam bulan hanya mampu menangkap kondisi sesaat atau *point measurement*, sementara paparan nyata pekerja berlangsung terus-menerus sepanjang jam kerja setiap harinya selama bertahun-tahun. Variabilitas harian kadar debu yang berpotensi melonjak tajam saat proses *grinding* dan *welding*

intensif berlangsung sama sekali tidak tertangkap oleh metode pemantauan periodik ini.

Kedua, Parameter yang diukur adalah kadar total debu partikulat atau Total Suspended Particle (TSP), yang belum tentu merepresentasikan fraksi partikel halus yang benar-benar dapat mencapai alveoli; partikel berukuran sangat kecil, termasuk $< 1 \mu\text{m}$, dapat menembus hingga daerah alveolar dan berkontribusi terhadap gangguan fungsi paru [15]. Pada proses pengelasan, partikel asap las berukuran sangat halus diketahui dapat mengalami deposisi hingga alveoli paru dan menetap dalam jaringan respirasi sehingga meningkatkan risiko gangguan fungsi paru akibat paparan kronis. Oleh karena itu, pengukuran debu total saja berpotensi belum sepenuhnya menggambarkan dosis biologis aktual yang diterima pekerja, terutama pada pekerja dengan paparan jangka panjang [16].

Ketiga, efek kumulatif paparan bertahun-tahun tidak dapat terdeteksi oleh pengukuran titik sesaat. Data demografis *MCU* mengungkap bahwa 48,8% pekerja berada pada kelompok usia 41 hingga 50 tahun, yang mengindikasikan masa kerja panjang dengan akumulasi dosis paparan yang signifikan, selaras dengan teori bahwa dampak kesehatan akibat paparan zat berbahaya di lingkungan kerja tidak hanya bergantung pada tinggi-rendahnya kadar paparan saat ini, melainkan pada akumulasi total paparan yang diterima pekerja sepanjang masa pengabdian mereka [7]. Pinugroho dan Kusumawati (2017) juga membuktikan adanya hubungan signifikan antara usia dan kebiasaan merokok dengan gangguan fungsi paru pada pekerja yang terpapar debu [11].

Keempat, kebiasaan merokok yang tercatat pada 49 pekerja atau 38,6% dari peserta *MCU* 2025 bertindak sebagai *cofactor* yang bersinergi dengan toksisitas debu dan asap las, sehingga mempercepat kerusakan saluran pernafasan secara kumulatif [12]. Keempat mekanisme inilah yang secara bersama-sama menjelaskan mengapa kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan semata tidak menjamin perlindungan mutlak bagi tenaga kerja dari risiko penyakit pernafasan kronis. Temuan ini selaras dengan hasil penelitian Susanto *et al.*, (2025) yang menunjukkan bahwa meskipun teknologi pengendalian telah mampu menurunkan paparan debu dibawah NAB, pemeriksaan kesehatan pekerja tetap krusial. Sebab, akumulasi dosis historis dari periode sebelum pengendalian tetap berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan di kemudian hari.[8].

g. Evaluasi Diagnosis Okupasi dengan Pendekatan 7 Langkah

Guna menelusuri lebih dalam kaitan kausal antara paparan kerja dan temuan klinis tersebut, anomali ini dievaluasi menggunakan pendekatan tujuh langkah diagnosis okupasi sebagaimana diamanatkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 56 Tahun 2016 Pasal 4 Ayat (1) [17].

Langkah pertama adalah penegakan diagnosis klinis, yang dikonfirmasi melalui data objektif berupa 17 kasus restriksi ringan dan tiga kasus restriksi sedang pada pemeriksaan *spirometri*, serta empat kasus infiltrat dan dua kasus *fibroinfiltrat berkonfluens* pada *rontgen thorax*, yang seluruhnya diperkuat oleh keluhan subjektif seperti batuk, Nafas berat, dan *anosmia* (Tabel 5). Kemunculan keluhan klinis yang secara kuantitas tergolong rendah ini tetap menjadi indikator penting, mengingat adanya indikasi fenomena *underreporting* dimana pekerja cenderung tidak melaporkan keluhan subjektif mereka karena kekhawatiran terhadap dampak karier atau keterbatasan instrumen pencatatan. Langkah kedua adalah penentuan paparan di tempat kerja, yang menunjukkan dominasi bahaya respirasi secara nyata, dimana 96 pekerja atau 75,6% terpapar debu metal/*inorganic* dan 71 pekerja atau 55,9% terpapar asap las secara konstan di area produksi.

Langkah ketiga adalah penentuan hubungan antara paparan dan penyakit, yang menunjukkan kesesuaian ilmiah yang kuat. Secara empiris, *welding fume* dan partikulat logam dari proses *cutting* maupun *grinding* merupakan agen fibrogenik yang secara langsung berhubungan dengan risiko terjadinya pneumokoniosis [1],[5]. Korelasi kausal ini semakin

diperkuat pada langkah keempat, yaitu penentuan kecukupan pajanan. Profil demografis yang didominasi kelompok usia 41 hingga 50 tahun mengimplikasikan dosis kumulatif paparan harian selama bertahun-tahun yang jauh melampaui ambang pemicu perubahan patologis jaringan paru, meskipun hasil pengukuran titik kualitas udara selalu memenuhi NAB [8]. Pada langkah kelima, faktor individu berupa kebiasaan merokok pada 49 pekerja atau 38,6% teridentifikasi sebagai *cofactor* penting yang mempercepat multiplikasi kerusakan saluran Nafas [12]. Langkah keenam mencatat adanya faktor di luar tempat kerja, yakni satu kasus sugestif TB paru lama aktif pada *MCU* 2024 sebagai komorbiditas yang berpotensi memperburuk prognosis.

Berdasarkan keseluruhan evaluasi tersebut, langkah ketujuh menghasilkan diagnosis okupasi berupa suspek awal Penyakit Akibat Kerja (PAK), khususnya pneumokoniosis atau silikosis dini. Temuan fibroinfiltrat, meskipun hanya ditemukan pada dua kasus, menjadi penanda radiologis yang tidak boleh diabaikan karena pada tahap ini progresivitas menuju silikosis yang lebih berat masih dapat dicegah apabila intervensi dilakukan segera dan komprehensif. Secara keseluruhan, evaluasi ini menempatkan kondisi kesehatan pekerja fabrikasi logam PT XYZ pada status *early warning* yang memerlukan respons segera.

h. Rekomendasi Program Kesehatan Kerja Pada PT XYZ

Berdasarkan temuan analisis kesenjangan dan evaluasi diagnosis okupasi yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan rekomendasi program kesehatan kerja berbasis bukti yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2024 Pasal 233 [18]. Rekomendasi ini mencakup lima pilar intervensi yang bersifat hirarkis dan saling melengkapi:

Upaya promotif difokuskan pada peningkatan kesadaran pekerja melalui penyuluhan kesehatan paru secara berkala setiap tiga bulan, dengan materi khusus mengenai tanda-tanda awal gangguan fungsi paru seperti sesak Nafas, batuk persisten, dan penurunan toleransi aktivitas, serta pentingnya kepatuhan penggunaan alat pelindung diri respirasi. Pendekatan ini diperkuat dengan pembentukan kelompok P2K3 aktif sebagai mekanisme pemantauan partisipatif dan program berhenti merokok terstruktur bagi 49 pekerja yang teridentifikasi sebagai perokok aktif, mengingat kebiasaan merokok merupakan faktor sinergistik yang secara nyata memperparah dampak paparan debu dan asap las.

Upaya preventif diarahkan pada pengendalian bahaya di sumbernya melalui tiga langkah utama. Pertama, pemasangan sistem ventilasi lokal atau *Local Exhaust Ventilation* (LEV) berfilter HEPA pada setiap stasiun pengelasan dan titik *grinding* guna menangkap *fume* sebelum menyebar ke udara ambien. Studi terbaru menunjukkan bahwa LEV efektif menurunkan konsentrasi *welding fume* dan mengurangi pajanan partikulat logam pada pekerja pengelasan sehingga menjadi strategi utama pengendalian risiko respirasi di industri fabrikasi logam [19]. Kedua, peningkatan standar alat pelindung diri respirasi dari masker bedah ke respirator N95/FFP2 atau *Supplied Air Respirator* dengan memastikan kepatuhan pemakaian 100% melalui pengawasan ketat. Ketiga, peningkatan frekuensi pemantauan kualitas udara dari sekali per enam bulan menjadi sekali per tiga bulan dengan penambahan parameter logam berat berupa Mn, Cr, dan Ni sebagai komponen kritis asap las.

Upaya kuratif memprioritaskan tindak lanjut segera bagi 20 pekerja dengan gangguan spirometri dan 6 pekerja dengan kelainan *rontgen* toraks melalui rujukan ke dokter spesialis paru untuk pemeriksaan lanjutan berupa *High Resolution Computed Tomography* (HRCT) *thorax*, uji provokasi bronkial, dan pengukuran kapasitas difusi paru (DLCO). Pekerja dengan temuan fibroinfiltrat mendapat penanganan khusus sebagai kasus potensial pneumokoniosis stadium awal, sementara pekerja dengan restriksi sedang diberikan terapi farmakologis dan rehabilitasi paru sesuai indikasi medis. Status kelayakan kerja "Fit dengan catatan" atau *Temporary Unfit* perlu ditetapkan bagi pekerja dengan gangguan fungsi paru yang signifikan, disertai mutasi sementara dari area paparan tinggi selama masa pengobatan berlangsung.

Upaya rehabilitatif mencakup program rehabilitasi paru terstruktur bagi pekerja yang telah terdiagnosis gangguan fungsi paru, meliputi latihan fisik terprogram, edukasi manajemen penyakit, dan dukungan psikososial. Program ini dilengkapi dengan modifikasi penempatan kerja ke area dengan paparan debu dan *fume* yang minimal seperti area inspeksi, kantor, atau gudang, serta koordinasi klaim Penyakit Akibat Kerja melalui BPJS Ketenagakerjaan bagi pekerja yang terbukti mengalami gangguan kesehatan akibat pekerjaannya.

Upaya paliatif ditujukan bagi pekerja dengan kondisi paru kronis yang tidak dapat disembuhkan sepenuhnya, mencakup dukungan psikososial berkelanjutan melalui konseling individual dan kelompok bersama psikolog klinis atau konselor kesehatan, penyediaan oksigen terapeutik portabel bagi pekerja yang mengalami hipoksemia kronik apabila diperlukan secara medis, serta penguatan jaminan keberlangsungan kerja dalam kapasitas yang sesuai melalui sistem perlindungan sosial BPJS Ketenagakerjaan dan Kesehatan guna memastikan setiap pekerja mendapatkan hak perlindungannya selama proses rehabilitasi berlangsung.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan adanya kesenjangan yang signifikan antara tingkat kepatuhan regulasi lingkungan kerja dan realitas klinis respirasi pekerja fabrikasi logam di PT XYZ. Meskipun parameter kualitas udara secara konsisten berada jauh dibawah Nilai Ambang Batas (NAB) sesuai Permenaker Nomor 05 Tahun 2018, hasil *MCU* Semester 1/2025 mendeteksi 16,0% pekerja mengalami gangguan fungsi paru restriktif serta temuan radiologis berupa dua kasus fibroinfiltrat berkonfluens. Berdasarkan evaluasi tujuh langkah Permenkes Nomor 56 Tahun 2016, anomali ini memiliki keterkaitan kausal yang kuat dengan paparan *welding fume* dan debu *inorganic* konstan di area produksi yang bersifat fibrogenik.

Efek patologis tersebut dipicu oleh akumulasi dosis kumulatif dari durasi masa kerja yang panjang (didominasi usia 41-50 tahun) serta diperparah oleh kebiasaan merokok pekerja (38,6%) sebagai *cofactor* sinergistik, sehingga menetapkan status kesehatan pekerja pada fase peringatan dini *early warning* suspek awal Penyakit Akibat Kerja (PAK) berupa pneumokoniosis atau silikosis dini.

Guna memenuhi tujuan perlindungan pekerja yang optimal dan sejalan dengan amanat Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2024 Pasal 233, penelitian ini merumuskan rekomendasi program kesehatan kerja berbasis bukti yang terintegrasi dalam lima pilar intervensi: rekayasa teknik melalui pemasangan LEV berfilter HEPA dan standardisasi respirator N95/FFP2 (preventif), rujukan spesialisik ke dokter spesialis paru serta penentuan kelaikan kerja (kuratif), penyuluhan berkala dan program berhenti merokok (promotif), rotasi kerja ke area minim paparan serta pendampingan klaim PAK (rehabilitatif), hingga dukungan psikososial bagi pekerja dengan kondisi kronis (paliatif). Rekonstruksi program K3 yang proaktif ini diharapkan dapat mentransformasikan data rekam medis pasif menjadi kebijakan proteksi keselamatan pekerja yang terukur.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H. Badima, A. Kumie, B. Meskele, and S. W. Abaya, "*Welding fume* exposure and prevalence of chronic respiratory symptoms among welders in micro- and small-scale enterprise in Akaki Kaliti sub-city, Addis Ababa, Ethiopia: a comparative cross-sectional study," *BMC Pulm. Med.*, vol. 24, pp. 1–8, 2024, doi: <https://doi.org/10.1186/s12890-024-02958-2>

- [2]. H. Nawal, S. Mohta, S. Sarkar, P. P. Bhattacharyya, and B. Biswas, "Prevalence of *metal fume fever* and its association with working conditions and chronic respiratory disorders among metal factory workers in eastern India," *Int. J. Basic Clin. Pharmacol.*, vol. 14, Nomor 6, pp. 970–977, 2025, doi: <https://dx.doi.org/10.18203/2319-2003.ijbcp20253371>
- [3]. H. R. Widyadhana, D. Utami, C. A. K. Muda, and D. A. Kusumaningtiar, "Studi Observasional Identifikasi Bahaya Kesehatan Kerja pada Pekerja Pengelasan Kapal MV. KAREEM di PT. Samudra Marine Indonesia Tahun 2025," *J. Ris. Rumpun Ilmu Kesehatan.*, vol. 4, Nomor 3, pp. 510–534, 2025, doi: <https://doi.org/10.55606/jurrikes.v4i3.6730>
- [4]. B. Fasta'sima, H. H. Zaharani, W. U. Widodo, and N. E. K. Aprianto, "Peran Kebijakan Pemerintah Dalam Mendorong Pertumbuhan Industri Manufaktur," *MENAWAN J. Ris. dan Publ. Ilmu Ekon.*, vol. 3, Nomor 1, pp. 50–60, 2025, doi: <https://doi.org/10.61132/menawan.v3i1.1095>
- [5]. M. Qingsong, R. Xiao, W. Yang, X. Wang, and Y. Z. Kong, "Global burden of pneumoconiosis attributable to occupational particulate matter, gasses, and *fumes* from 1990~2021 and forecasting the future trends: a population-based study," *Front. Public Heal.*, vol. 12, 2025, doi: 10.3389/fpubh.2024.1494942
- [6]. Y. Mehrifar, Z. Zamanian, and H. Pirami, "Respiratory exposure to toxic gases and metal *fumes* produced by *welding* processes and pulmonary function tests," *Int. J. Occup. Environ. Med.*, vol. 10, Nomor 1, pp. 40–49, 2019, doi: 10.15171/ijoem.2019.1540
- [7]. G. Rabbani *et al.*, "Ever and cumulative occupational exposure and lung function decline in *longitudinal* population-based studies: A systematic review and meta-analysis," *Occup. Environ. Med.*, vol. 80, Nomor 1, pp. 51–60, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2022-108237>
- [8]. A. Susanto, N. Hidayah, S. C. Budi, and L. D. Setyana, "Analisis Risiko Kesehatan Paparan Debu Respirabel Pasca Impelementasi Dust Supression System di Industri Pengolahan Bijih Mineral," *J. Kesehat. Komunitas*, vol. 11, Nomor 3, pp. 446–457, 2025, doi: <https://doi.org/10.25311/keskom.Vol11.Iss3.2374>
- [9]. G. Pouryaghoub, E. Nazem, R. Mehrdad, M. Saraei, and S. Eftekhari, "Effects of simultaneous exposure to smoking and *welding fume* on pulmonary function tests in spot welders," *Tanaffos*, vol. 20, Nomor 1, pp. 64–70, 2021, doi: PMC8355928
- [10]. A. U. Abidin, N. Henita, S. Rahmawati, and F. B. Maziya, "Analisis Risiko Kesehatan Paparan Debu Terhadap Fungsi Paru Pada Pekerja Di Home Industry C-Max," *J. Sains & Teknologi Lingkungan.*, vol. 13, Nomor 1, pp. 34–39, 2021, doi: <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss1.art3>
- [11]. B. S. Pinugroho and Y. Kusumawati, "Hubungan Usia, Lama Paparan Debu, Penggunaan APD, Kebiasaan Merokok dengan Gangguan Fungsi Paru Tenaga Kerja Mebel di Kec. Kalijambe Sragen.," 2017. [Online]. Available: <https://eprints.ums.ac.id/48419/>
- [12]. N. I. Fauziyah *et al.*, "A Meta-Analysis of Risk Factors of Length of Exposure, Smoking Habits, Use of Personal Protection Equipment (PPE), and Exposure to *Welding Fumes* in *Welding* Workers with Abnormal Pulmonary Function (A Perspective of Sustainable Public Health)," *J. Kesehat. Lingkungan.*, vol. 14, Nomor 1, pp. 1–10, 2022, doi: 10.20473/jkl.v14i1.2022.1-10
- [13]. S. Stanojevic *et al.*, "ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests," *Eur. Respir. J.*, vol. 60, Nomor 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.1183/13993003.01499-2021>

- [14]. Pemerintah Indonesia, *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja*. 2018. [Online]. Available: <https://jdih.kemnaker.go.id/peraturan/detail/1546/peraturan-menteri-nomor-5-tahun-2018>
- [15]. Y. E. Pratiwi, F. F. Taufik, J. Habibi, and A. Wibowo, "The Impact of Particulate Matter on the Respiratory System," *J. Respirasi*, vol. 9, Nomor 3, pp. 237–245, 2023, doi: 10.20473/jr.v9-I.3.2023.237-245
- [16]. S. McCarrick, H. L. Karlsson, and U. Carlander, "Modelled lung deposition and retention of *welding fume* particles in occupational scenarios: a comparison to doses used in vitro," *Arch. Toxicol.*, vol. 96, pp. 969–985, 2022, doi: 10.1007/s00204-022-03247-9
- [17]. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 56 Tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Pelayanan Penyakit Akibat Kerja*. 2016. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/114076/permenkes-no-56-tahun-2016>
- [18]. *Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2024 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2023 Tentang Kesehatan*. 2024. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/details/294077/pp-no-28-tahun-2024>
- [19]. P. Knott, G. Csorba, D. Bennett, and R. Kift, "*Welding Fume*: A Comparison Study of Industry Used Control Methods," *Safety*, vol. 9, Nomor 3, pp. 1–14, 2023, doi: 10.3390/safety9030042