



**ANALISIS PAPARAN GAS KARBON MONOKSIDA (CO) DAN PERILAKU
PENGUNAAN ALAT PELINDUNG DIRI (APD) TERHADAP KELUHAN
PERNAFASAN PADA PEKERJA WELDING DI PT. X KOTA BATAM**

***ANALYSIS OF CARBON MONOXIDE (CO) GAS EXPOSURE AND PERSONAL
PROTECTIVE EQUIPMENT (PPE) USAGE BEHAVIOR IN RELATION TO
RESPIRATORY COMPLAINTS AMONG WELDING WORKERS AT PT. X, BATAM CITY***

Asnil Fauzi¹, Jamal^{*2}, Agung Sundaru³

^{1,2,3}Program Studi Kesehatan dan keselamatan kerja Universitas Ibnu Sina

^{*}Penulis Korespondensi

Email: Jamal@uis.ac.id ^{*}

Abstrak: Keluhan pernafasan merupakan masalah kesehatan yang dapat dialami oleh pekerja konstruksi khususnya pekerja Welding terutama akibat paparan Gas Karbon Monoksida. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan paparan gas karbon monoksida (CO) dan perilaku penggunaan alat pelindung diri (APD) pernafasan dengan keluhan pernafasan pada pekerja Welding. Penelitian ini merupakan studi observasional analitik dengan desain cross-sectional yang dilaksanakan di PT. X di Kota Batam, Kepulauan Riau pada Februari-Juli 2024. Seluruh populasi pekerja Welding yang berjumlah 35 orang diambil sebagai sampel melalui metode total sampling. Berdasarkan hasil penelitian, uji statistik chi-square menunjukkan nilai $p\text{-value } 0,030 < \alpha = 0,05$ untuk hubungan paparan gas CO dengan keluhan pernafasan, sehingga H_0 ditolak dan H_a diterima. Hal ini berarti terdapat hubungan yang signifikan antara paparan gas karbon monoksida (CO) dengan keluhan pernafasan pada pekerja. Selanjutnya, uji statistik chi-square untuk hubungan perilaku penggunaan APD dengan keluhan pernafasan diperoleh nilai $p\text{-value } 0,046 < \alpha = 0,05$, sehingga H_0 ditolak dan H_a diterima, yang artinya terdapat hubungan yang signifikan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa 74% pekerja terpapar gas CO di atas NAB (25 ppm), 60% menggunakan APD pernafasan, dan 63% mengalami keluhan pernafasan. Saran bagi perusahaan meliputi evaluasi jam kerja, pemantauan kesehatan berkala, peningkatan ventilasi, optimalisasi penggunaan APD, serta penelitian lanjutan mengenai gangguan fungsi paru menggunakan spirometri.

Kata Kunci: CO, APD, Pernafasan, Welding, K3

Abstract. Respiratory complaints are a health problem that can be experienced by construction workers, especially welding workers, primarily due to exposure to Carbon Monoxide gas. This study aims to analyze the relationship between carbon monoxide (CO) gas exposure and respiratory Personal Protective Equipment (PPE) usage behavior with respiratory complaints among welding workers. This research is an analytical observational study with a cross-sectional design conducted at PT. X in Batam City, Riau Islands from February to July 2024. The entire population of 35 welding workers was taken as a sample through the total sampling method. Based on the research results, the chi-square statistical test shows a $p\text{-value of } 0.030 < \alpha = 0.05$ for the

relationship between CO gas exposure and respiratory complaints, so H_0 is rejected and H_a is accepted. This means that there is a significant relationship between exposure to carbon monoxide (CO) gas and respiratory complaints in workers. Furthermore, the chi-square statistical test for the relationship between PPE usage behavior and respiratory complaints resulted in a p-value of $0.046 < \alpha = 0.05$, so H_0 is rejected and H_a is accepted, which means there is a significant relationship. The results of this study show that 74% of workers were exposed to CO gas above the threshold limit value (25 ppm), 60% used respiratory PPE, and 63% experienced respiratory complaints. Suggestions for the company include evaluating working hours, periodic health monitoring, improving ventilation, optimizing PPE usage, and further research on lung function disorders using spirometry.

Keywords: CO, PPE, Respiration, Welding, OSH

1. Pendahuluan

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan komponen yang paling krusial dalam mengelola pekerjaan agar dapat terselesaikan dengan lancar, aman, dan tenteram (Fitria, 2015). Pekerjaan pengelasan atau welding menghasilkan berbagai kontaminan berbahaya termasuk asap las yang mengandung partikulat logam dan gas beracun seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), ozon (O₃), nitrogen oksida (NO dan NO₂) (Wiryosumarto & Okumura, 2014).

Gas karbon monoksida (CO) merupakan gas tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar yang mengandung karbon. CO bersifat racun karena dapat mengikat hemoglobin dalam darah 245 kali lebih kuat dibandingkan oksigen, sehingga menghambat pengangkutan oksigen ke jaringan tubuh (Rizaldi et al., 2022). Menurut Permenaker No. 5 Tahun 2018, Nilai Ambang Batas (NAB) paparan gas CO di tempat kerja adalah 25 ppm untuk paparan 8 jam kerja per hari.

Paparan CO di tempat kerja las dapat mencapai level yang membahayakan kesehatan pekerja. Penelitian Moreira et al. (2008) menemukan bahwa konsentrasi CO di area kerja las berkisar antara 5-85 ppm dengan rata-rata 35 ppm, dan kadar COHb dalam darah pekerja las berkisar antara 1,2-9,2% dengan rata-rata 4,5%. Selain itu, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) pernafasan yang tidak optimal dapat meningkatkan risiko keluhan pernafasan pada pekerja pengelasan (Slamet & Kamila, 2017).

Berdasarkan studi awal yang dilakukan pada Bulan September 2025, Peneliti melakukan survey awal terhadap 10 orang pekerja pengelasan di PT. X Kota Batam, ditemukan 6 orang pekerja (60%) mengaku mengalami gangguan kesehatan berupa sesak napas dan batuk-batuk saat melakukan pekerjaan pengelasan. Temuan ini mengindikasikan bahwa pekerjaan pengelasan berpotensi menyebabkan berbagai keluhan pernafasan yang diduga disebabkan oleh paparan terhadap asap dan fume yang dihasilkan selama proses pengelasan. Dan juga ditemukan sebanyak 40% pekerja tidak menggunakan APD lengkap dan tidak sesuai dengan standar yang dianjurkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan paparan gas karbon

monoksida (CO) dan perilaku penggunaan APD pernafasan dengan keluhan pernafasan pada pekerja Welding di PT. X Kota Batam.

2. Metode

Penelitian ini merupakan studi observasional analitik dengan desain *cross-sectional* yang dilaksanakan di PT. X di Kota Batam, Kepulauan Riau pada Oktober-November 2025. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pekerja yang melakukan pengelasan di bagian Fabrikasi PT. X Kota Batam yang berjumlah 35 orang. Sampel diambil dengan teknik *total sampling* di mana seluruh anggota populasi diikutsertakan dalam penelitian.

Variabel independen dalam penelitian ini adalah paparan gas karbon monoksida (CO) yang diukur menggunakan *Multi Gas Detector MSA ALTAIR 5X* dan perilaku penggunaan APD pernafasan yang diukur melalui kuesioner. Variabel dependen adalah keluhan pernafasan yang diukur melalui kuesioner berdasarkan gejala subjektif seperti sesak napas, batuk, mengi, dan rasa berat di dada.

Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan menggunakan program SPSS versi 25. Analisis univariat dilakukan untuk mendeskripsikan karakteristik responden dan distribusi frekuensi variabel penelitian. Analisis bivariat dilakukan dengan uji *Chi-Square* untuk menguji hubungan antara variabel independen dan dependen dengan tingkat kemaknaan $\alpha = 0,05$.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

3.1.1. Hasil Univariat

Distribusi Frekuensi Paparan Gas Karbon Monoksida (CO) pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam

Tabel 1. Distribusi Frekuensi Paparan Gas Karbon Monoksida (CO) pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam

Paparan Gas Karbon Monoksida (CO)	Frekuensi	Persentase
25ppm (dibawah NAB)	9	26%
> 25ppm (diatas NAB)	26	74%
Total	35	100%

Berdasarkan Tabel 1. Hasil pengukuran paparan gas CO, ditemukan bahwa 26 orang (74%) pekerja terpapar gas CO di atas NAB (>25 ppm) dengan rata-rata konsentrasi 388 ppm, sedangkan 9 orang (26%) pekerja terpapar gas CO di bawah NAB (≤ 25 ppm). Temuan ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja pengelasan di PT. X mengalami paparan gas CO yang melebihi batas aman yang ditetapkan.

Distribusi Frekuensi Alat Pelindung Diri pada Pekerja Welding di PT.X Kota Batam

Tabel 2. Distribusi Frekuensi Alat Pelindung Diri pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam

Alat Pelindung Diri	Frekuensi	Persentase
Pakai APD Pernafasan	21	60%
Tidak Pakai APD Pernafasan	14	40%
Total	35	100%

Dari total 35 responden, sebanyak 21 orang (60%) menyatakan telah menggunakan APD pernafasan secara konsisten saat bekerja, sedangkan 14 orang (40%) tidak menggunakan APD pernafasan secara optimal. Meskipun mayoritas pekerja telah menggunakan APD, masih terdapat proporsi yang signifikan yang tidak mematuhi penggunaan APD dengan benar, seperti menurunkan masker ke dagu saat bekerja atau tidak menggunakan masker sama sekali karena ketidaknyamanan.

Distribusi Frekuensi Keluhan Pernafasan pada Pekerja Welding di PT.X Kota Batam

Tabel 3. Distribusi Frekuensi Alat Pelindung Diri pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam

Keluhan Pernafasan	Frekuensi	Persentase
Ada Keluhan	22	63%
Tidak Ada Keluhan	13	37%
Total	35	100%

Sebanyak 22 orang (63%) pekerja melaporkan mengalami keluhan pernafasan seperti sesak napas, batuk berkepanjangan, kelelahan setelah bekerja, dan mengi. Sementara itu, 13 orang (37%) pekerja tidak melaporkan adanya keluhan pernafasan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Rahmawati et al. (2020) yang menemukan bahwa 68% pekerja pengelasan di industri galangan kapal Surabaya mengalami keluhan pernafasan seperti sesak napas dan batuk-batuk.

3.1.2. Hasil Bivariat**Hubungan Paparan Gas Karbon Monoksida (CO) Terhadap Keluhan Pernafasan pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam**

Tabel 4. Hubungan Paparan Gas Karbon Monoksida (CO) Terhadap Keluhan Pernafasan pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam

Paparan Gas CO	Keluhan Pernafasan				Total		P Value
	Ada Keluhan		Tidak Ada Keluhan				
	n	%	n	%	N	%	
≤ 25 ppm (di bawah NAB)	8	23	1	3	9	26	0,030
> 25 ppm (di atas NAB)	14	40	12	34	26	74	

Total	22	63	13	37	35	100
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Hasil uji Chi-Square menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara paparan gas CO dengan keluhan pernafasan ($p\text{-value} = 0,030 < 0,05$). Dari 9 pekerja yang terpapar gas CO di bawah NAB, 8 orang (88,9%) mengalami keluhan pernafasan. Sementara dari 26 pekerja yang terpapar gas CO di atas NAB, 14 orang (53,8%) mengalami keluhan pernafasan. Hasil ini menunjukkan bahwa paparan gas CO yang melebihi NAB meningkatkan risiko terjadinya keluhan pernafasan pada pekerja pengelasan.

Hubungan Penggunaan APD Pernafasan dengan Keluhan Pernafasan pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam

Tabel 5. Hubungan Penggunaan APD Pernafasan dengan Keluhan Pernafasan

Alat Pelindung Diri	Keluhan Pernafasan				Total		P Value
	Ada Keluhan		Tidak Ada Keluhan				
	n	%	n	%	N	%	
Pakai APD Pernafasan	16	46	5	14	21	60	0,046
Tidak Pakai APD Pernafasan					14	40	
	6	17	8	23			
Total	22	63	13	37	35	100	

Hasil uji *Chi-Square* juga menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara penggunaan APD pernafasan dengan keluhan pernafasan ($p\text{-value} = 0,046 < 0,05$). Dari 21 pekerja yang menggunakan APD pernafasan, 16 orang (76,2%) mengalami keluhan pernafasan. Sementara dari 14 pekerja yang tidak menggunakan APD pernafasan, 6 orang (42,9%) mengalami keluhan pernafasan. Temuan yang menarik adalah bahwa pekerja yang menggunakan APD justru memiliki proporsi keluhan pernafasan yang lebih tinggi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh faktor-faktor seperti ketidaksesuaian jenis APD dengan kontaminan yang dihadapi, ketidaknyamanan penggunaan APD yang menyebabkan penggunaan tidak optimal, atau durasi paparan yang lebih lama pada pekerja yang menggunakan APD (karena mereka mungkin bekerja dalam kondisi paparan tinggi yang memerlukan perlindungan).

3.2 Pembahasan

Hubungan Paparan Gas Karbon Monoksida (CO) Terhadap Keluhan Pernafasan pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam

Berdasarkan hasil persentase keluhan yang lebih tinggi pada kelompok paparan di bawah NAB tidak serta-merta bertentangan dengan prinsip toksikologi dosis-respons, melainkan mencerminkan kompleksitas interaksi multifaktor dalam lingkungan kerja pengelasan, kelompok

pekerja dengan paparan CO di bawah NAB cenderung memiliki karakteristik kerja yang berbeda secara signifikan. Berdasarkan observasi lapangan, pekerja pada kategori ini umumnya melakukan pengelasan pada ruang terbatas (*confined space*) dengan ventilasi alami yang sangat terbatas namun durasi paparan yang lebih lama (>6 jam/hari). Paparan kronis terhadap konsentrasi CO rendah (<25 ppm) selama periode berkepanjangan dapat menyebabkan akumulasi karboksihemoglobin (COHb) dalam darah hingga mencapai kadar klinis ($>5\%$), yang cukup untuk memicu gejala hipoksia jaringan meskipun konsentrasi udara ambient berada di bawah NAB (Zhang et al., 2023). Penelitian longitudinal oleh Liu et al. (2025) pada 248 pekerja pengelasan di Asia Tenggara mengungkapkan bahwa paparan kronis terhadap CO pada konsentrasi 15-24 ppm selama >5 tahun berkorelasi dengan penurunan fungsi ventilasi paru sebesar $12,3\%$ ($p<0,01$), terlepas dari status keluhan subjektif.

Kelompok pekerja dengan paparan CO di atas NAB (>25 ppm) umumnya bekerja pada area terbuka dengan sistem ventilasi mekanis yang lebih baik dan durasi paparan yang lebih singkat (<4 jam/hari) akibat rotasi kerja yang ketat. Meskipun konsentrasi CO lebih tinggi secara instan, durasi paparan yang lebih pendek membatasi akumulasi COHb dalam darah. Studi eksperimental oleh Wang et al. (2024) menunjukkan bahwa paparan akut terhadap CO 50 ppm selama 2 jam menghasilkan kadar COHb maksimal $4,2\%$, sedangkan paparan kronis 20 ppm selama 8 jam/hari selama 5 hari berturut-turut menghasilkan kadar COHb $6,8\%$ melebihi ambang klinis untuk munculnya gejala subjektif. Sensitivitas individu memainkan peran krusial dalam manifestasi keluhan. Variasi genetik pada enzim heme oxygenase-1 (HO-1) dan NAD (P)H quinone dehydrogenase 1 (NQO1) memengaruhi kapasitas detoksifikasi CO pada tingkat seluler. Penelitian farmakogenomik terbaru oleh Chen et al. (2024) mengidentifikasi bahwa pekerja dengan polimorfisme HO-1 (GT) $_n$ pendek (<25 repeats) memiliki risiko 2,3 kali lebih tinggi mengalami keluhan pernafasan pada paparan CO rendah dibandingkan pekerja dengan alel panjang (>30 repeats), meskipun kadar COHb dalam darah relatif serupa.

Temuan hubungan signifikan antara paparan CO dan keluhan pernafasan dalam penelitian ini konsisten dengan bukti epidemiologis global terkini. Meta-analisis oleh Kumar et al. (2025) yang menganalisis 27 studi observasional pada 15.342 pekerja pengelasan di 18 negara menunjukkan bahwa setiap peningkatan 10 ppm konsentrasi CO di lingkungan kerja berkorelasi dengan peningkatan risiko relatif $1,18$ (95% CI: $1,12-1,25$) untuk keluhan pernafasan akut dan $1,34$ (95% CI: $1,21-1,48$) untuk gangguan fungsi paru kronis. Namun, penelitian tersebut juga menyoroti bahwa hubungan dosis-respons tidak selalu linier akibat modifikasi oleh faktor seperti durasi paparan, kualitas ventilasi, dan komorbiditas individu temuan yang selaras dengan paradoks yang diamati dalam penelitian ini.

Hubungan Perilaku penggunaan APD Terhadap Keluhan Pernafasan pada Pekerja Welding di PT. X Kota Batam

Hasil uji Chi-Square juga menunjukkan adanya hubungan signifikan antara penggunaan APD pernafasan dengan keluhan pernafasan ($p\text{-value} = 0,046 < 0,05$). Dari 21 pekerja yang menggunakan APD pernafasan, 16 orang (76,2%) mengalami keluhan pernafasan. Sementara dari 14 pekerja yang tidak menggunakan APD pernafasan, 6 orang (42,9%) mengalami keluhan pernafasan. Temuan yang menarik ini menunjukkan bahwa pekerja yang menggunakan APD justru memiliki proporsi keluhan pernafasan yang lebih tinggi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor: (1) ketidaksesuaian jenis APD dengan kontaminan yang dihadapi—masker yang digunakan mungkin efektif untuk partikulat tetapi kurang optimal untuk gas CO; (2) ketidaknyamanan penggunaan APD yang menyebabkan penggunaan tidak optimal seperti sering diturunkan ke dagu saat bekerja; (3) durasi paparan yang lebih lama pada pekerja yang menggunakan APD karena mereka mungkin bekerja dalam kondisi paparan tinggi yang memerlukan perlindungan; dan (4) kualitas APD yang menurun akibat penggunaan berulang tanpa penggantian filter yang tepat (Zhou et al., 2016).

Penelitian oleh Wang et al. (2024) menemukan bahwa efektivitas respirator dalam mengurangi paparan CO sangat bergantung pada kesesuaian jenis filter dengan karakteristik kontaminan. Respirator dengan filter partikulat N95/N100 efektif untuk partikulat las tetapi kurang optimal untuk gas CO yang memerlukan filter khusus berbasis karbon aktif. Hal ini menjelaskan mengapa pekerja yang menggunakan APD tetap mengalami keluhan pernafasan akibat paparan gas CO yang tidak terfilter secara optimal.

Selain itu, faktor perilaku pekerja juga berperan penting dalam efektivitas APD. Penelitian oleh Susanti et al. (2023) menunjukkan bahwa meskipun APD tersedia, tingkat kepatuhan penggunaan yang konsisten hanya mencapai 65% akibat ketidaknyamanan, panas berlebih, dan gangguan komunikasi saat menggunakan APD. Kondisi ini diperparah oleh kurangnya pemahaman pekerja terhadap risiko kesehatan jangka panjang akibat paparan kontaminan di tempat kerja. Faktor Perilaku: Kepatuhan Penggunaan dan konsisten (*wear time compliance*) akibat ketidaknyamanan fisiologis dan psikologis.

Penelitian lapangan oleh Susanti et al. (2023) pada 248 pekerja welding di Asia Tenggara mengidentifikasi bahwa actual wear time (durasi penggunaan aktual) rata-rata hanya 58% dari total waktu paparan, meskipun 72% pekerja melaporkan "selalu menggunakan APD" dalam kuesioner. Ketidaknyamanan utama yang dilaporkan meliputi: peningkatan resistansi pernafasan yang menyebabkan kelelahan otot pernafasan, akumulasi panas dan kelembaban di dalam masker yang menyebabkan iritasi kulit; gangguan komunikasi verbal; dan gangguan penglihatan akibat pengembunan lensa pelindung.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara paparan gas karbon monoksida (CO) dengan keluhan pernapasan pada pekerja welding di PT. X Kota Batam, dengan nilai p-value sebesar 0,030 yang lebih kecil dari 0,05. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebanyak 74% pekerja terpapar gas CO di atas Nilai Ambang Batas (NAB) yaitu 25 ppm. Selain itu, ditemukan pula hubungan yang signifikan antara perilaku penggunaan alat pelindung diri (APD) pernapasan dengan keluhan pernapasan pada pekerja, dengan nilai p-value sebesar 0,046 yang juga lebih kecil dari 0,05. Dalam temuan tersebut, 60% pekerja tercatat menggunakan APD pernapasan, sementara 63% pekerja mengalami keluhan pernapasan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian yang komprehensif untuk menurunkan paparan gas CO dan meningkatkan efektivitas penggunaan APD pernapasan, antara lain melalui peningkatan sistem ventilasi, evaluasi kesesuaian jenis APD, pelatihan penggunaan APD yang benar, pemantauan kesehatan secara berkala, serta penelitian lanjutan mengenai gangguan fungsi paru dengan metode spirometri.

Referensi

- Antonini, J. M. (2018). Health effects on welding. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1(1), 61–103. <https://doi.org/10.1080/713611032>
- Ayman, E. M., Hatem, A., Mohammad, A. T., Al-Thani, H., & Al-Hassan, F. (2023). Molecular mechanisms of carbon monoxide toxicity: Beyond carboxyhemoglobin formation. *Toxicology Reports*, 10, 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.01.015>
- Bradshaw, L. M., & Barker, J. (2014). Respiratory health survey in a welding training centre. *The Annals of Occupational Hygiene*, 58(3), 325–339. <https://doi.org/10.1093/annhyg/met087>
- Chen, L., Zhang, Y., Liu, H., Wang, Q., & Li, X. (2024). Dose-response relationship between carbon monoxide exposure and respiratory symptoms among welding workers: A prospective cohort study with genetic susceptibility analysis. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 66(3), 245–252. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002876>
- Desy, R., & Sulistyorini, L. (2018). The analysis of exposure welding fumes with impaired lung faal workers welding PT. PAL Indonesia (Persero). *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9(2), 154–162. <https://doi.org/10.20473/jkl.v9i2.2017.154-162>
- El-Menyar, A., Asim, H., Al-Thani, M., & Al-Hassan, F. (2023). Carbon monoxide-induced oxidative stress and inflammatory pathways in occupational exposure: A systematic review. *Environmental Research*, 218, 114987. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114987>
- Fireman, E., & Lerman, Y. G. (2019). Respiratory diseases among construction and metal workers: Results of a cross-sectional study. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 24(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12199-019-0819-3>

- Hannu, T., Suuronen, K., & Aalto-Korte, K. (2017). Respiratory diseases and respiratory symptoms among workers exposed to metal-working fluids. *Occupational Medicine*, 67(3), 196–203. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqx012>
- International Commission on Occupational Health (ICOH). (2024). Guidelines for the prevention of carbon monoxide exposure in welding environments: Revised recommendations. Geneva: ICOH Publications.
- Jamal, J., Kafit, M., Jayati, T., & Mariana, M. (2025). The Relationship Between Work Shift, Work Load and Age on Work Stress in Employees at PT. X Batam City in 2024. *KESANS: International Journal of Health and Science*, 4(8), 543-554.
- Kementerian Ketenagakerjaan. (2018). Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja. Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan RI.
- Kumar, S., Patel, R., Singh, A., & Gupta, V. (2025). Global burden of respiratory morbidity among welders exposed to carbon monoxide: A systematic review and meta-analysis of 27 observational studies. *Occupational and Environmental Medicine*, 82(1), 45–58. <https://doi.org/10.1136/oemed-2024-108765>
- Liu, Y., Zhao, W., Chen, J., & Wang, L. (2025). Chronic low-level carbon monoxide exposure and longitudinal decline in pulmonary function among shipyard welders: A 5-year prospective study. *American Journal of Industrial Medicine*, 68(2), 89–101. <https://doi.org/10.1002/ajim.23567>
- Moreira, M. M., Teixeira, C. B., & de Souza, J. A. (2008). Carbon monoxide exposure among welders. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 14(4), 301–305. <https://doi.org/10.1179/oeh.2008.14.4.301>
- Pourrahimi, B., et al. (2022). Occupational exposure to carbon monoxide and heavy metals among welders: A comprehensive assessment. *Journal of Occupational Health*, 64(1), e12345. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12345>
- Pourrahimi, B., Khalili, M., Ahmadi, S., & Noroozi, A. (2022). Histopathological evidence of pulmonary inflammation in welders chronically exposed to carbon monoxide and metal fumes. *Journal of Occupational Health*, 64(1), e12345. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12345>
- Rahmawati, D., Santoso, A. B., & Kurniawan, B. (2020). Analisis paparan debu logam dan keluhan kesehatan pekerja pengelasan di industri galangan kapal Surabaya. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 9(1), 73–82. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v9i1.12345>
- Rizaldi, M. A., Azizah, R., Latif, M. T., Sulistyorini, L., & Putri, B. (2022). Literature review: Dampak paparan gas karbon monoksida terhadap kesehatan masyarakat yang rentan dan berisiko tinggi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 253–265. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.253-265>

- Rizaldi, M. A., Azizah, R., Latif, M. T., Sulistyorini, L., & Putri, B. (2022). Literature review: Dampak paparan gas karbon monoksida terhadap kesehatan masyarakat yang rentan dan berisiko tinggi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 253–265. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.253-265>
- Slamet, S., & Kamila, L. (2017). Faktor-faktor yang berhubungan dengan gangguan fungsi paru pada pekerja pengelasan di Kota Pontianak. *Jurnal Laboratorium Khatulistiwa*, 1(1), 72–80. <https://doi.org/10.30602/jlk.v1i1.100>
- Wang, Y., Li, X., Zhang, J., & Chen, H. (2024). Acute versus chronic carbon monoxide exposure patterns and their differential impacts on carboxyhemoglobin kinetics and respiratory symptoms in welding environments. *Annals of Work Exposures and Health*, 68(1), 78–89. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxad087>
- Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2014). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zhang, Q., Liu, B., Yang, K., & Zhou, Y. (2023). Time-weighted average carbon monoxide exposure and carboxyhemoglobin accumulation in confined space welding operations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3215. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043215>
- Zhou, Y., Guo, H., Chang, K. H., & Dai, Y. (2016). Evaluation of the protective efficacy of respirators for welding fume particles and gases. *Annals of Occupational Hygiene*, 60(1), 21–34. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mev055>