

Screening of Pulmonary Function and Hs-CRP as Biological Responses to Dust Exposure and Industrial Work Environment among Crusher Workers

Alfi Maulana^{1*}, Abdul Rahim tualeka¹, Aini¹

¹Program Studi Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia;

²Universitas Bima International MFH, Mataram, Indonesia;

Article History

Received : October 15th, 2025

Revised : October 25th, 2025

Accepted : November 01th, 2025

*Corresponding Author: **Alfi Maulana**, Program Studi Kesehatan dan Keselamatan Kerja Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia;
Email: aifiart58@gmail.com

Abstract: The packaging industry plays an essential role in the economy, involving various activities such as material crushing. Without proper control measures, workers in this sector are at risk of developing health problems, particularly those affecting lung function. Employees in the crusher area are continuously exposed to dust and airborne pollutants generated during the crushing process, which may lead to long-term respiratory disorders, including chronic obstructive pulmonary disease (COPD). This study aims to assess the lung function status of workers in the crusher area of a packaging industry and to analyze factors influencing respiratory health through basic pulmonary examinations and infection detection using high-sensitivity C-reactive protein (hs-CRP) tests. Lung function was evaluated using spirometry, and hs-CRP levels were measured from blood serum samples. The study involved 30 workers who worked approximately 40 hours per week. The results showed that 22 workers (73.3%) had normal lung function, while 8 workers (26.7%) experienced mild restriction. Meanwhile, hs-CRP examination revealed that 17 workers (56.7%) had elevated hs-CRP levels, and 13 workers (43.3%) were within the normal range.

Keyword: Crusher workers, hs-CRP, industrial dust exposure, pulmonary function screening, occupational health.

Pendahuluan

Industri packaging merupakan sektor yang penting dalam perekonomian. Berbagai resiko di antaranya resiko bagi pekerja. Namun pekerja di dalamnya sering terpapar berbagai risiko kesehatan suhu panas. Permasalahan lain yang berkaitan dengan fungsi paru-paru dan hadirnya berbagai penyakit degeneratif. Paparan debu dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan termasuk gangguan pernapasan yang serius (Ellingsen et al., 2024). Menurut data dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) polusi udara dan paparan debu di tempat kerja dapat memperburuk kondisi kesehatan paru-paru dan meningkatkan risiko penyakit pernapasan, seperti penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) dan asma (Ramadan et al., 2024).

Fungsi paru-paru adalah melakukan pertukaran gas antara oksigen dan karbon dioksida dalam darah. Gangguan pada fungsi paru dapat menurunkan kualitas hidup, meningkatkan

morbiditas, bahkan berkontribusi terhadap mortalitas (Firouzi et al., 2024).

Pekerja pada bagian crusher melakukan pekerjaan selama 7 jam dalam sehari, apabila tuntutan pekerjaan banyak maka akan menambahkan jam kerja hingga 14 jam. Selama proses kerja pekerja crusher terpapar oleh debu dan partikel halus yang berpotensi menyebabkan gangguan pada sistem pernafasan (Chen et al., 2024). Debu berasal dari serpihan material kemasan gallon yang dipotong yang beresiko menyebabkan penurunan fungsi paru dan mengarah pada penyakit paru obstruktif kronis. Paparan debu pada area crusher dan polusi udara di area kerja dapat meningkatkan cemaran yang berpotensi menjadi resiko. Penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) dan asma merupakan kondisi yang sering terjadi pada pekerja dengan paparan debu dan polusi di tempat kerja.

Data terbaru ILO-WHO (2024) memperkirakan lebih dari 160 juta pekerja setiap tahun mengalami masalah kesehatan yang berkaitan dengan faktor risiko di tempat kerja,

termasuk paparan debu dan polusi udara (Driscoll, 2004). Laporan WHO juga menegaskan bahwa di negara berkembang, penyakit pernapasan masih menjadi salah satu gangguan kesehatan utama yang dialami tenaga kerja, dengan jumlah penderita mencapai 400–500 juta orang, di mana sekitar 30–40 persennya merupakan pekerja. Angka ini menunjukkan besarnya ancaman gangguan fungsi paru terhadap kualitas hidup dan produktivitas pekerja. Untuk mengurangi risiko tersebut, pemerintah Indonesia melalui regulasi kesehatan kerja telah menetapkan nilai ambang batas paparan debu dan polutan, sebagai bentuk perlindungan bagi tenaga kerja terhadap penyakit akibat kerja (Tualeka et al., 2019).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pekerja dengan paparan cemaran menunjukkan keluhan kesehatan termasuk iritasi pernapasan dan gejala asma akibat paparan debu material (Su et al., 2003) Faktor lain seperti kebiasaan merokok dan kurangnya penggunaan alat pelindung diri (APD) dan kondisi lingkungan kerja (Sholihah et al., n.d.) turut memperburuk kondisi kesehatan. Namun, pemeriksaan faal paru saja sering kali belum cukup untuk menggambarkan adanya proses inflamasi sistemik yang menyertai akibat paparan debu jangka panjang.

Pekerja crusher di industri packaging memiliki risiko tinggi terpapar debu dan partikel halus yang dapat menimbulkan gangguan fungsi paru (2187-9085-1-PB, n.d.). Keluhan fungsi paru berupa pola obstruktif maupun restriktif (Mulfiyanti et al., n.d.). Pemeriksaan spirometri menjadi metode standar untuk menilai fungsi paru melalui parameter FVC, FEV₁, dan rasio FEV₁/FVC. Namun, dibutuhkan parameter tambahan yang dapat memberikan gambaran tentang kondisi inflamasi tubuh

High Sensitivity C-Reactive Protein (hs-CRP) merupakan biomarker inflamasi yang lebih sensitif dan banyak digunakan untuk mendeteksi peradangan tingkat rendah (low-grade inflammation) yang sering tidak terdeteksi dengan pemeriksaan rutin. Hs CRP menunjukkan peradangan yang masih terjadi dalam tubuh penderita (Vega Nela et al., 2025). Peningkatan hs-CRP pada pekerja crusher dapat mencerminkan adanya respon inflamasi sistemik akibat paparan debu yang berkepanjangan, meskipun fungsi paru secara klinis belum sepenuhnya menurun (Nightingale et al., 2023). Kelebihan penelitian ini dapat menggabungkan screening faal paru dengan

pemeriksaan hs-CRP, sehingga penelitian ini mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dampak paparan debu terhadap kesehatan pekerja, sehingga dapat menjadi dasar pencegahan dini dan intervensi kesehatan kerja.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kapasitas paru pekerja dengan menggunakan metode spirometri dan screening inflamasi dengan pemeriksaan Hs CRP yang sangat sensitif yang akan memberikan informasi mengenai kondisi kesehatan paru pekerja pada bagian crusher. Perusahaan perlu mengambil langkah strategis untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja, antara lain melalui edukasi bahaya merokok (Wang et al., 2023; Xin et al., 2024). Kewajiban penggunaan alat pelindung diri (APD). Urgensi dilakukannya penelitian ini **adalah** untuk mengukur pengaruh paparan debu crusher terhadap fungsi paru dan status inflamasi pada pekerja industri. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan bukti ilmiah mengenai dampak paparan debu crusher terhadap faal paru pekerja, sekaligus menjadi dasar rekomendasi preventif untuk melindungi kesehatan tenaga kerja di industri terutama industri packaging.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 di salah satu industri packaging (perusahaan X) pada pekerja yang di bagian **crusher** galon. Desain penelitian yang digunakan adalah **cross-sectional**. Populasi penelitian adalah seluruh pekerja unit crusher, dan sebanyak 30 orang memenuhi kriteria inklusi sehingga seluruhnya dijadikan sampel melalui teknik **total sampling** atau sampel jenuh (Sugiyono., 2023). Kriteria inklusi ditetapkan berdasarkan usia (20–28 tahun), masa kerja minimal 6 bulan, dan jam kerja ≥ 40 jam per minggu. Data yang dikumpulkan terdiri atas data primer berupa hasil pemeriksaan faal paru, kadar Hs-CRP, serta kuesioner mengenai riwayat kesehatan, kebiasaan merokok, dan penggunaan APD. Pemeriksaan fungsi paru dilakukan menggunakan **spirometer digital** dengan parameter FEV₁ dan FVC (Alavi Foumani et al., 2024). Pemeriksaan Hs-CRP dilakukan di laboratorium dengan metode **ELISA**.

Tahapan penelitian dimulai dari proses perizinan, seleksi subjek sesuai kriteria, dan pemberian informed consent sebelum responden mengisi kuesioner. Setelah itu, pemeriksaan faal

paru dilakukan dalam posisi duduk dengan tiga kali pengukuran untuk memastikan nilai terbaik (Maqbool et al., 2022). Pengambilan sampel darah untuk pemeriksaan Hs-CRP menggunakan metode ELISA (Bastian Darwin & Meyrita Birka Yolanda, 2023). Pengukuran konsentrasi debu di area kerja menggunakan **dust sampler**. Data penelitian dianalisis secara **deskriptif** menggunakan Microsoft Excel untuk memperoleh gambaran karakteristik responden serta nilai rerata dan distribusi fungsi paru dan Hs-CRP (Maqbool et al., 2022; Vega Nela et al., 2025).

Hasil dan Pembahasan

Kondisi faal paru dikategorikan menjadi 2, yaitu normal dan gangguan. Gangguan faal paru seperti restriksi atau obstruksi. **Tabel 1** Total responden penelitian ini berjumlah 30 orang, dengan 22 pekerja (73,3%) memiliki faal paru normal dan 8 pekerja (26,7%) mengalami restriksi ringan. Mayoritas responden berada pada rentang usia produktif 20–24 tahun. Gangguan faal dalam hal ini berupa restriksi lokal. Berdasarkan umur pekerja secara keseluruhan usia pekerja antara 20-24 tahun yang masuk dalam kategori usia produktif. Masa kerja dikategorikan di golongan menjadi dua yaitu kurang dari 6 bulan atau lebih dari enam bulan. Pekerja dengan kategori umur muda, 75% pekerjaannya memiliki kondisi faal paru normal dan 3 orang atau (25%) dengan kategori restriksi ringan.

Tabel 1. Tabel hasil distroibusi pasien dan pemeriksaan fungsi paru

No	Umur (tahun)	Responden	Masa Kerja (tahun)	Status Paru
1	20	2	8	Normal
2	22	1	8	Normal
		3	8	Normal
		5	14	Normal
		6	14	Normal
		8	20	Normal
3	23	4	14	Normal
		7	20	Normal
		9	20	Restriksi ringan
		10	26	Restriksi ringan
		11	26	Restriksi ringan

No	Umur (tahun)	Responden	Masa Kerja (tahun)	Status Paru
4	24	12	26	Normal
		13	10	Normal
5	25	14	12	Normal
		15	20	Restriksi ringan
6	26	16	15	Normal
		17	28	Restriksi ringan
7	27	18	18	Normal
		19	24	Normal
		20	30	Restriksi ringan
8	28	21	22	Normal
		22	25	Normal
		23	28	Normal
		24	30	Normal

Data primer. 2024

Gangguan faal seperti restriksi lokal apada pekerja dan dikategorikan berdasarkan umur pekerja secara keseluruhan usia pekerja antara 20-24 tahun yang masuk dalam kategori usia produktif. Masa kerja dikategorikan di golongan menjadi dua yaitu kurang dari 6 bulan atau lebih dari enam bulan. Pekerja dengan kategori umur muda, 75% pekerjaannya memiliki kondisi faal paru normal dan 3 orang atau (25%) dengan kategori restriksi ringan. Selain itu untuk pekerja dengan masa kerja kurang dari 6 bulan dan mengalami gangguan faal paru sebesar 3 pekerja atau sebesar 42,9% dari total pekerja dengan masa kerja kurang dari 6 bulan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang menyebut bahwa peningkatan paparan terhadap debu yang dapat dihirup dikaitkan dengan penurunan fungsi paru-paru (Saers et al., 2024).

Tabel 2 Rata-rata Hasil Pengukuran Parameter Fungsi Paru dan Paparan Debu

Parameter	Satuan	Nilai Ambang Batas	Rata-rata Hasil Pengukuran
FVC	L	≥ 3.0	3.1
FEV1	L	≥ 2.5	2.7
Rasio FEV1/FVC	%	≥ 70%	85%
Debu Partikulat	mg/m ³	≤ 10	6

Hasil pemeriksaan faal paru terhadap 30 responden, diperoleh rata-rata nilai FVC sebesar

3,1 L dan FEV₁ sebesar 2,7 L, keduanya masih berada di atas nilai ambang batas normal. Rasio FEV₁/FVC menunjukkan hasil rata-rata 85%, lebih tinggi dari standar $\geq 70\%$, yang menandakan fungsi paru responden secara umum masih baik. Sementara itu, paparan debu partikulat di area kerja tercatat sebesar 6 mg/m³, masih berada di bawah ambang batas 10 mg/m³.

Tabel 3. Distribusi Faal Paru Pekerja Berdasarkan Kebiasaan Merokok.

Kebiasaan merokok	Jumlah pekerja	Persentase	Faal paru normal	Faal paru gangguan
Tidak merokok	12	40	11	1
Merokok	18	60	13	5
Total	30	100	24	6

Tabel 3 adalah distribusi faal paru pekerja berdasarkan kebiasaan merokok dari 30 orang sampel. Terdapat 12 (40%) pekerja yang tidak merokok dan 18 orang atau 60% merokok. Dari jumlah diatas ada 24 orang memiliki faal paru yang normal yang terdiri dari 11 dengan kebiasaan tidak merokok dan 13 merokok. Sampel dengan gangguan faal paru terdiri dari 6 orang yang terdiri dari 1 orang tidak merokok dan 5 orang merokok.

Tabel 4. Hasil pemeriksaan Hs CRP pada pekerja

Usia/ tahun	Kadar Hs-CRP		Presentase (%)
	Tinggi	Normal	
20- 22	3	5	26,6%
23- 25	6	4	33,3%
26-28	8	4	40 %
Total	17	13	100%

Hasil pemeriksaan kadar Hs-CRP pada kelompok pekerja dengan rentang usia 20 hingga 28 tahun, diperoleh gambaran bahwa sebagian besar responden memiliki kadar Hs-CRP yang tergolong tinggi. Pada kelompok usia 20–22 tahun, sebanyak 3 orang menunjukkan kadar Hs-CRP tinggi dan 5 orang berada dalam kategori normal, dengan proporsi 26.6% dari total responden. Pada kelompok usia 23–25 tahun, jumlah pekerja dengan kadar Hs-CRP tinggi meningkat menjadi 6 orang dan yang normal juga 4 orang (40%). Sementara itu, pada kelompok usia 26–28 tahun, terdapat 8 pekerja dengan kadar tinggi dan 4 orang dengan kadar normal (25%). Secara keseluruhan, dari total 30 responden, sebanyak 17 orang (56,7%)

menunjukkan kadar Hs-CRP tinggi dan 13 orang (43,3%) berada dalam kisaran normal.

Pembahasan

Tempat penelitian ini dilakukan di area crusher dan pada karyawan bagiusan crusher. Karyawan pada bagian crusher ini bekerja untuk menghancurkan sisa matrial dai bahan galon dan poliethileen (PET) di sebuah pabrik. Karyawan bekerja dalam waktu 40 jam dalam seminggu. Keseharian dalam operasional bekerja karyawan menggunakan alat pelindung diri seperti masker, topi, baju dan sepatu boot. Secara tata letak area pabrik dikelilingi oleh banyak pepohonan atau ruang terbuka hijau dengan rasio jumlah yang proposional. Pabrik tempat crusher ini merupakan pabrik industri packaging yang memiliki luas sekitar 3 hektar. Penelitian sejenis dengan penelitian ini telah dilakukan menunjukkan kompartemen plastik stirena menyebabkan peningkatan stres oktidatif yang diduga menyebabkan kerusakan fungsi paru(Sati *et al.*, 2011a)

Hasil uji spirometri terhadap 30 pekerja diperoleh 27 orang (90%), dan 3 orang (10%) mengalami restriksi ringan. Mayoritas pekerja berada pada usia produktif (20–28 tahun). Berdasarkan data pada tabel 1 usia pekerja antara 20-28 tahun dengan jenis kelamin laki- laki. Secara garis besar usia pekerja relatif masih muda sehingga menunjukkan uji kapasitas paru-paru cenderung optimal. Penelitian ini sejalan dengan studi lain menyebut bahwa menunjukkan prevalensi abnormal FEV₁, FVC, dan FEV₁/FVC meningkat seiring bertambahnya usia dan lama paparan debu (He *et al.*, 2022).

Berdasarkan kebiasaan merokok pada tabel 3 diperoleh 12 orang pekerja dari 30% tidak merokok dan 18 pekerja dengan kebiasaan merokok. Gangguan paru lebih banyak ditemukan pada pekerja dengan kebiasaan merokok, yang menunjukkan bahwa faktor gaya hidup dapat memperburuk dampak paparan debu dari aktivitas crusher. Durasi pekerjaan sekitar 7 jam per hari, serta penggunaan alat pelindung diri (APD), diduga turut membantu menjaga kondisi paru tetap baik (Mulfiyanti *et al.*, n.d.). Hasil penelitian ini sejalan dengan studi lain di industri semen dan pertambangan yang melaporkan prevalensi gangguan faal paru pada pekerja terpapar debu berkisar 20–35%, sementara pada penelitian ini hanya ditemukan 10% restriksi ringan. Penelitian lain juga menyebut risiko makin meningkat untuk pekerja dengan paparan

debu (Rahman et al., 2025). Perbedaan ini diduga dipengaruhi oleh adanya ruang terbuka hijau perusahaan sekitar 30–40% yang berperan sebagai penyaring alami debu dan peningkatan kualitas oksigen, sehingga menurunkan risiko gangguan paru dibandingkan lingkungan kerja dengan vegetasi terbatas.

Pembahasan tambahan menunjukkan bahwa masa kerja pekerja yang kurang dari 2 tahun mungkin juga berperan dalam hasil normal ini. Penelitian sebelumnya telah menemukan bahwa pekerja baru biasanya memiliki fungsi paru yang lebih baik daripada pekerja yang telah bekerja selama beberapa tahun (Sohrabi et al., 2022). Hal ini karena pekerja baru cenderung lebih sehat dan kurang terpapar faktor risiko kesehatan yang berkelanjutan. Temuan ini menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan kadar Hs-CRP pada kelompok usia yang lebih tua dalam populasi pekerja, yang dapat mengindikasikan adanya respons inflamasi sistemik akibat paparan faktor risiko lingkungan kerja seperti debu, stres oksidatif, atau beban fisik yang tinggi (Vega Nela et al., 2025). Nilai Hs CRP meningkat pada 17 pekerja meskipun dalam usia relatif muda hal ini kemungkinan besar disebabkan karena pekerja merokok (Bastian Darwin & Meyrita Birka Yolanda, 2023). Nilai ini selaras dengan distribusi data bahwa jumlah pekerja merokok adalah 18 orang. Nilai Hs-CRP yang meningkat berpotensi mencerminkan adanya peradangan kronis tingkat rendah yang dapat berhubungan dengan peningkatan risiko gangguan kardiovaskular pada pekerja, sehingga perlu dilakukan upaya pencegahan melalui pemantauan kesehatan berkala dan pengendalian paparan di lingkungan kerja (Sati et al., 2011b).

Paparan debu industri, terutama pada area **crusher**, tidak hanya memengaruhi kondisi mekanik sistem pernapasan, tetapi juga menimbulkan **respons biologis sistemik** pada tubuh pekerja (Omair et al., 2024). Salah satu respons tersebut adalah peningkatan **penanda inflamasi seperti High-sensitivity C-Reactive Protein (Hs-CRP)** yang mencerminkan adanya peradangan akibat iritasi partikel debu yang terhirup (Koskela et al., 2024). Hs-CRP berperan sebagai indikator biologis awal terhadap stres oksidatif dan inflamasi yang terjadi di saluran napas maupun jaringan paru akibat paparan kronis di lingkungan kerja yang berdebu. Debu dan asap rokok diduga mempercepat proses gangguan paru (Sains et al., n.d.).

Kelebihan penelitian ini yaitu telah mengkombinasikan antara **pemeriksaan faal paru dan Hs-CRP** mendeteksi perubahan fisiologis dan biologis lebih dini. Pemeriksaan faal paru mencerminkan kapasitas ventilasi paru secara langsung, sedangkan Hs-CRP sebagai deteksi dini adanya infeksi dan sebagai indikasi **respons inflamasi sistemik** yang mungkin belum menimbulkan gejala klinis (Jung et al., 2010). Penggunaan *screening* kedua parameter ini dapat digunakan sebagai **biomarker biologis** untuk memantau risiko penyakit paru akibat kerja, seperti bronkitis kronis atau PPOK, terutama pada pekerja yang terpapar debu halus di bagian crusher (Hill et al., 2010).

Paparan debu di lingkungan kerja industri seperti area crusher dapat memicu respons biologis tubuh berupa peradangan sistemik dan gangguan fungsi paru. Partikel debu halus yang terhirup bisa mencapai alveolus dan mengaktifkan makrofag alveolar, yang kemudian melepaskan mediator proinflamasi seperti IL-6 dan TNF- α . Kedua sitokin ini merangsang hati untuk menghasilkan high-sensitivity C-reactive protein (Hs-CRP), sehingga Hs-CRP menjadi indikator adanya peradangan sistemik akibat stres oksidatif kronis (Hiraiwa & Van Eeden, 2013). Proses inflamasi di saluran napas menghasilkan perubahan fisiologis yang dapat terdeteksi melalui penurunan nilai FEV₁ dan FVC pada screening fungsi paru. Kedua pemeriksaan Hs-CRP dan fungsi paru tidak hanya berfungsi sebagai skrining kesehatan kerja, tetapi juga merepresentasikan respons biologis tubuh terhadap paparan debu dan kondisi kerja industri yang berpotensi menimbulkan gangguan sistem respirasi (Zhang et al., 2022).

Secara umum lingkungan seperti Jumlah ruang terbuka hijau memberi dampak positif untuk mencegah paparan polutan seperti mengurangi debu, polutan dan kebisingan. Keberradaan pohon di area crusher memberikan manfaat untuk penyerapan debu dan polutan senyawa mengueangi paparan untuk pekerja .. Pemantauan kualitas udara mengonrrolan fungsi ruang terbuka hijau merupakan upaya untuk melindungi kesehatan paru pekerja, terutama yang bekerja di area pengolahan seperti crusher yang memiliki resiko paparan debu (Benoumeldjadj et al., 2023).

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa sebagian pekerja di area crusher industri packaging mengalami gangguan fungsi paru ringan dan peningkatan kadar Hs-CRP, yang menunjukkan adanya indikasi respons inflamasi biologis akibat paparan debu di lingkungan kerja.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

Referensi

- Alavi Foumani, A., Alavi Foumani, S. A., Attarchi, M., Etemadi Deilami, A., Majlesi, B., Ildari, S., & Eslami-Kenarsari, H. (2024). Quality of spirometry tests in the field of occupational health. *BMC Research Notes*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s13104-023-06671-x>
- Bastian Darwin, & Meyrita Birka Yolanda. (2023). Correlation of Leukocyte Number To Crp Levels in Tuberculosis Patients. *Journal Health Applied Science and Technology*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.52523/jhast.v1i1.1>
- Benoumeldjadj, M., Bouarroudj, N., & Bouchareb, P. A. (2023). The effect of vegetation cover on dust concentration: Case study (Constantine, Algeria). *Indonesian Journal of Geography*, 55(2), 311–319. <https://doi.org/10.22146/ijg.82364>
- Chen, C. Y., Ding, H., & Wang, S. S. (2024). Effectiveness of Roy Adaptation Model-Based Cognitive Stimulation Therapy in Elderly Patients with Non-Small Cell Lung Cancer Undergoing Curative Resection. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 263(1). <https://doi.org/10.1620/tjem.2023.J108>
- Driscoll, Tim. (2004). *Occupational airborne particulates: assessing the environmental burden of disease at national and local levels*. World Health Organization, Protection of the Human Environment.
- Ellingsen, D. G., Sikkeland, L. I. B., Lund, M. B., Skaugset, N. P., & Ulvestad, B. (2024). A study of inflammatory biomarkers in crystalline silica exposed rock drillers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 97(5), 587–595. <https://doi.org/10.1007/s00420-024-02070-2>
- Firouzi, M., Khazdair, M. R., Askari, V. R., Mokhtari-Zaer, A., Memarzia, A., Taherzadeh, Z., & Boskabady, M. H. (2024). The Monitoring of Serum and Urine heavy Metals and assessment of inflammatory response, Respiratory Symptoms, and Pulmonary health in Cement-Exposed Workers. *Pollution*, 10(4), 1032–1043. <https://doi.org/10.22059/poll.2024.370085.2191>
- He, W., Jin, N., Deng, H., Zhao, Q., Yuan, F., Chen, F., Zhang, H., & Zhong, X. (2022). Workers' Occupational Dust Exposure and Pulmonary Function Assessment: Cross-Sectional Study in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph191711065>
- Hill, K., Patman, S., & Brooks, D. (2010). Effect of airway clearance techniques in patients experiencing an acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review. In *Chronic Respiratory Disease* (Vol. 7, Issue 1). <https://doi.org/10.1177/1479972309348659>
- Hiraiwa, K., & Van Eeden, S. F. (2013). Contribution of lung macrophages to the inflammatory responses induced by exposure to air pollutants. In *Mediators of Inflammation* (Vol. 2013). <https://doi.org/10.1155/2013/619523>
- Jung, D. H., Lee, Y. J., Ahn, H. Y., Shim, J. Y., Lee, J. H., & Lee, H. R. (2010). Association between C-reactive protein and pulmonary function in postmenopausal women. *Maturitas*, 66(1), 83–87. <https://doi.org/10.1016/J.MATURITAS.2010.02.015>
- Koskela, K., Lehtimäki, L., Uitti, J., Oksa, P., Tikkakoski, A., & Sauni, R. (2024). The prevalence of respiratory symptoms and diseases and declined lung function among foundry workers. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00440-7>
- Maqbool, B., Younas, M., Chaudhry, T. A., Tousif, R., Haq, F. U., & Saleem, S. (2022). Relationship of Balloon Size in Pulmonary Valvuloplasty Outcome. *Pakistan Journal*

- of *Medical and Health Sciences*, 16(11).
<https://doi.org/10.53350/pjmhs20221611215>
- Mulfiyanti, D., Keperawatan, A., & Bone, L. (n.d.). *HUBUNGAN PENGGUNAAN ALAT PELINDUNG DIRI (APD) PADA PERAWAT DALAM UPAYA PENCEGAHAN PENYAKIT AKIBAT KERJA*.
- Nightingale, R., Carlin, F., Meghji, J., McMullen, K., Evans, D., van der Zalm, M. M., Anthony, M. G., Bittencourt, M., Byrne, A., du Preez, K., Coetzee, M., Feris, C., Goussard, P., Hirasen, K., Bouwer, J., Hoddinott, G., Huaman, M. A., Inglis-Jassiem, G., Ivanova, O., ... Mortimer, K. (2023). Post-TB health and wellbeing. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 27(4), 248–283.
<https://doi.org/10.5588/ijtld.22.0514>
- Omair, M., Baig, M. S., Farooqui, W. A., Kousar, S., Noori, M. Y., Zeehan, N., Khan, A., Isa, S., Kamran, D. S., Bari, M. F., & Mehmood, M. (2024). Relationship of neutrophil lymphocyte ratio, monocyte lymphocyte ratio and neutrophil monocyte ratio with treatment response in pulmonary tuberculosis patients during intensive phase treatment. *BMC Infectious Diseases*, 24(1).
<https://doi.org/10.1186/s12879-024-09454-2>
- Rahman, S., Das, A., Islam, A. N., Hossain, E., Mesbahul Islam, S. A. H. M., Rony, K., Rahul, A. K., Hossain, G., Romel Bhuia, M., & Asaduzzaman, M. (2025). Prevalence and risk factors for the development of COPD among workers in stone quarries: a cross-sectional study. *BMC Pulmonary Medicine*, 25(1).
<https://doi.org/10.1186/s12890-025-03542-y>
- Ramadan, M. A., Mohammed, R. said, & Safwat Saif Eldin, A. (2024). Assessment of ventilatory functions and associated inflammatory markers among workers in slaughterhouses. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 97(8), 891–900.
<https://doi.org/10.1007/s00420-024-02094-8>
- Saers, J. J., Bryngelsson, I. L., Sundh, J., Janson, C., & Andersson, L. (2024). Occupational Dust Exposure as a Risk Factor for Developing Lung Function Impairment. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 66(3), E93–E98.
<https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000003036>
- Sains, J., Lingkungan, T., Abidin, A. U., Henita, N., Rahmawati, S., Maziya, F. B., Pusat,), Keselamatan, S., Kerja, K., Lingkungan, D., Sipil, T., & Perencanaan, D. (n.d.). *ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAPARAN DEBU TERHADAP FUNGSI PARU PADA PEKERJA DI HOME INDUSTRY C-MAX*.
- Sati, P. C., Khaliq, F., Vaney, N., Ahmed, T., Tripathi, A. K., & Banerjee, B. D. (2011a). Pulmonary function and oxidative stress in workers exposed to styrene in plastic factory: Occupational hazards in Styrene-exposed plastic factory workers. *Human and Experimental Toxicology*, 30(11), 1743–1750.
<https://doi.org/10.1177/0960327111401436>
- Sati, P. C., Khaliq, F., Vaney, N., Ahmed, T., Tripathi, A. K., & Banerjee, B. D. (2011b). Pulmonary function and oxidative stress in workers exposed to styrene in plastic factory: Occupational hazards in Styrene-exposed plastic factory workers. *Human and Experimental Toxicology*, 30(11), 1743–1750.
<https://doi.org/10.1177/0960327111401436>
- Sholihah, M., Rohim, A., Departemen, T., Dan, K., & Kerja, K. (n.d.). *STUDI FAAI PARU DAN KEBIASAAN mEROKOK PADA PEKERJA YANG TERPAPAR DEBU PADA PERUSAHAAN KONSTRUKSI DI SURABAYA*.
- Sohrabi, Y., Sabet, S., Yousefinejad, S., Rahimian, F., Aryaie, M., Soleimani, E., & Jafari, S. (2022). Pulmonary function and respiratory symptoms in workers exposed to respirable silica dust: A historical cohort study. *Heliyon*, 8(11).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11642>
- Su, Y.-M., Su, J.-R., Sheu, J.-Y., Loh, C.-H., & Liou, S.-H. (2003). Additive Effect of Smoking and Cotton Dust Exposure on Respiratory Symptoms and Pulmonary Function of Cotton Textile Workers. In *Industrial Health* (Vol. 41).
- Sugiyono. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (Alfabeta, Ed.; 1st ed.). alfabeta.

- Sunaryo, M., & Surabaya, U. (n.d.). *The Effect of Environmental Factor and Use of Personal Protective Equipment on The Symptoms of Acute Respiratory Tract Infections in Furniture Industry Workers*.
- Tualeka, A. R., Rahmawati, P., Ahsan, A., Pathak, Y., Russeng, S. S., Sukarmin, S., & Wahyu, A. (2019). Requirement prediction for toluene detox with foods intake rich in CYP2E1 enzyme and glycine to prevent nerve and kidney damage at shoe home industry workers in romokalisari surabaya. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 7(11), 1788–1793. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.356>
- Vega Nela, F., Erawati, Imasari, T., & Ningrum, E. S. (2025). KORELASI HIGH SENSITIVITY C-REACTIVE PROTEIN (hs-CRP) DENGAN MONOSIT PADA PASIEN TUBERKULOSIS SETELAH PENGOBATAN. *GEMA KESEHATAN*, 17(1), 66–72. <https://doi.org/10.47539/gk.v17i1.488>
- Wang, H., Meng, R., Wang, X., Si, Z., Zhao, Z., Lu, H., Wang, H., Hu, J., Zheng, Y., Chen, J., Zhao, Z., Zhu, H., Li, X., Xue, L., Yan, S., Sun, J., Su, Y., & Wu, J. (2023). A nested case-control study of the effects of dust exposure, smoking on COPD in coal workers. *BMC Public Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16944-6>
- Xin, L., An, T. M., Ying, L., Rong, D. W., & Lei, H. (2024). Prevalence and risk factors for obstructive pulmonary dysfunction caused by silica dust exposure: a multicenter cross-sectional study. *BMC Pulmonary Medicine*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12890-024-03106-6>
- Zhang, Z., Liu, X., Guo, C., Zhang, X., Zhang, Y., Deng, N., Lai, G., Yang, A., Huang, Y., Dang, S., Zhu, Y., Xing, X., Xiao, Y., & Deng, Q. (2022). Hematological Effects and Benchmark Doses of Long-Term Co-Exposure to Benzene, Toluene, and Xylenes in a Follow-Up Study on Petrochemical Workers. *Toxics*, 10(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/toxics10090502>