



ARTIKEL RISET

URL artikel: <http://jurnal.fkm.umi.ac.id/index.php/woph/article/view/woph7221>

**PENILAIAN KADAR FENOL DALAM URINE PADA PEKERJA DENGAN METODE
QUANTITATIF RISK ASSEMENT (QRA)**

^KSuharni¹, Alfina Baharuddin², Saskia Anrah Maharani³, Zarina Nur Halidah⁴

Peminatan Kesehatan Masyarakat, Universitas Muslim Indonesia

Email Penulis Korespondensi (^K): suharni.fachrin@umi.ac.id

suharni.fachrin@umi.ac.id¹, alfina.baharuddin@umi.ac.id², saskian.anrah@gmail.com³,
zarina.nurhalidah@gmail.com⁴

ABSTRAK

Menurut Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), benzena merupakan salah satu pelarut organik yang bersifat karsinogenik. Benzena dapat masuk ke dalam tubuh melalui jalur pernapasan, pencernaan, dan kontak kulit. Di dalam tubuh, benzena dimetabolisme menjadi fenol yang kemudian diekskresikan melalui urine. Urgensi penelitian ini adalah pengembangan model *Quantitative Risk Assessment* (QRA) dalam mengidentifikasi kasus paparan bahan kimia di tempat kerja menggunakan biomarker, sehingga dapat digunakan untuk mengaitkan paparan lingkungan dengan risiko kesehatan serta memprediksi konsentrasi benzena pada urine pekerja yang terpapar. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kadar fenol dalam urine pekerja menggunakan metode *Quantitative Risk Assessment* (QRA). Jenis penelitian yang digunakan adalah observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional study*. Penelitian dilaksanakan pada pekerja bengkel motor di Kota Makassar. Teknik pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling*. Pengumpulan data dilakukan melalui survei menggunakan kuesioner, observasi, wawancara, dan pemeriksaan laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan antara masa kerja dengan kadar fenol dalam urine pekerja bengkel (p -value = 0,281) serta tidak terdapat hubungan antara lama paparan dengan kadar fenol dalam urine pekerja bengkel (p -value = 0,205). Namun, terdapat hubungan antara penggunaan alat pelindung diri (APD) dengan kadar fenol dalam urine pekerja bengkel (p -value = 0,000). Oleh karena itu, pekerja bengkel motor diharapkan mematuhi penggunaan APD selama bekerja untuk meminimalkan risiko paparan benzena.

Kata kunci : benzena, fenol urine, pekerja bengkel motor, biomarker, *Quantitative Risk Assessment* (QRA), alat pelindung diri (APD).

PUBLISHED BY :

Pusat Kajian dan Pengelola Jurnal
Fakultas Kesehatan Masyarakat UMI

Address :

Jl. Urip Sumoharjo Km. 5 (Kampus II UMI)
Makassar, Sulawesi Selatan.

Email :

jurnal.woph@umi.ac.id

Article history :

Received : 17 Juli 2023

Received in revised form : 16 Desember 2023

Accepted : 15 Oktober 2025

Available online : 30 April 2026

licensed by [Creative Commons Attribution-ShareAlike4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



ABSTRACT

According to the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), benzene is an organic solvent that is carcinogenic. Benzene can enter the body through the respiratory tract, digestion, and skin contact. The study found no association between work duration and phenol levels (p -value = 0.205), which reassures policymakers that factors beyond exposure time influence benzene absorption. The development of a Quantitative Risk Assessment (QRA) model aims to identify workplace chemical exposure cases, helping protect workers' health by linking environmental exposure to health risks and predicting benzene concentrations in workers' urine. This study aims to assess phenol levels in workers' urine using the QRA method. The research design is an analytical observational study with a cross-sectional approach. The study was conducted on motorcycle repair shop workers in Makassar City. The sampling technique used was purposive sampling. Data collection was carried out through surveys using questionnaires, observations, interviews, and laboratory examinations. The results of the study showed that there was no relationship between work period and phenol levels in the urine of workshop workers (p -value = 0.281), nor between exposure duration and phenol levels in the urine of workshop workers (p -value = 0.205). However, there was a relationship between the use of personal protective equipment (PPE) and phenol levels in the urine of workshop workers (p -value = 0.000). Therefore, motorcycle workshop workers are expected to comply with the use of PPE while working to minimize the risk of benzene exposure.

Keywords: benzene, urinary phenol, motorcycle repair shop workers, biomarkers, Quantitative Risk Assessment (QRA), personal protective equipment (PPE).

PENDAHULUAN

Menurut *International Labour Organization* (ILO) pada tahun 2020 bahwa setiap 15 detik 4 pekerja meninggal dunia dan 180 pekerja mengalami sakit akibat kerja.(1,2,3) (ILO) mencatat angka kematian yang disebabkan oleh kecelakaan dan Penyakit Akibat Kerja (PAK) sebanyak 4 juta kasus setiap tahun. Laporan *International Labour Organization* (ILO) menyatakan setiap hari terjadi yang mengakibatkan korban fatal kurang lebih 6000 kasus, sementara kasus di Indonesia dari setiap 1.000.000 tenaga kerja terdapat 100 orang menderita kecelakaan kerja yang fatal.(2,3,4)

National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) melaporkan bahwa 9,8 juta pekerja di *United States* (US) dan 400.000 pekerja di Denmark terpapar pelarut organik. Di Indonesia penggunaan pelarut organik banyak digunakan khususnya di sektor industri yang menggunakan bahan baku kimia, salah satunya dalam industri pengecatan. Salah satu sektor industri yang sering terpapar dengan benzena yaitu bengkel mobil.(5,6) Fenol dalam urin merupakan salah satu biomarker untuk pemaparan benzena. Oleh karena itu kandungan fenol digunakan sebagai indikator biologik atas paparan benzena pada tenaga kerja.(7,8,9)

Benzena banyak digunakan sebagai zat tambahan dalam bensin untuk meningkatkan nilai oktan dan sebagai bahan anti *knock*. Hadirnya benzena di lingkungan disebabkan karena pembakaran bahan organik yang tidak sempurna, diantaranya bensin, batubara, kayu dan tembakau sehingga asap knalpot kendaraan bermotor dan merokok adalah asal utama pajanan pada masyarakat umum.(10,11,12)

Fenol dalam urine merupakan salah satu biomarker untuk pemaparan benzena dalam tubuh. Menurut *World Health Organization* bahwa standar untuk kandungan fenol dalam urine yang normal yaitu jika kurang dari 25 mg/L urine. Kandungan fenol dalam urine yang melebihi standar harus sangat diwaspadai terhadap terjadinya keracunan karena hal tersebut merupakan gambaran tingkat pemaparan terhadap benzena. Semakin tinggi kandungan fenol dalam urine maka dapat diasumsikan semakin berat tingkat pemaparan benzena.(13,14,15)

Di dalam hati, benzena epoksida merupakan senyawa yang tidak stabil dan akan segera mengalami perubahan membentuk fenol yang akan dikeluarkan melalui urine. Menurut WOH standar fenol dalam urine kurang dari 25 mg/L urine. Peningkatan kadar fenol dalam urin menunjukkan adanya pemaparan benzen 8-10 jam sebelumnya. Pemaparan benzen di udara 25-30 ppm dapat menaikkan ekskresi fenol sampai 100 atau 200 mg/1 urine. Nilai fenol normal dalam urin adalah 20-30 mg/l.(16,17,18)

Pekerja bengkel mobil yang sering melakukan kontak kulit dengan bahan kimia maka akan semakin banyak benzena yang masuk ke dalam tubuh. Metabolit utama dari proses di atas adalah fenol, katekol dan hidrokuinon yang disimpan sementara di sumsum tulang. Fenol merupakan metabolit utama dari proses tersebut dan dieliminasi dalam urine sebagai konjugat sulfat dan glukuronida. Paparan benzena memiliki hubungan yang jelas dengan leukemia nonlimfositik akut, leukemia nonlimfositik kronis dan limfositik kronis leukemia. Proses pengecatan mobil menggunakan benzena sebagai bahan utama dalam proses bekerja yang dapat memberikan dampak merugikan terhadap kesehatan.(10,12)

METODE

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasional dengan menggunakan *cross-sectional study*. Lokasi penelitian yaitu Pekerja bengkel motor di kota makassar. Populasi dan sampel dalam penelitian adalah pekerja yang bekerja sebagai mekanik bengkel motor sebanyak 54 orang. Sampel sebanyak 35 orang pekerja. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling* Pengumpulan data dalam penelitian ini adalah survei menggunakan kuesioner melalui observasi, wawancara dan pemeriksaan laboratorium

Prosedur Penelitian

1. Prosedur Penelitian

a. Persiapan

Pengambilan urine dilakukan pada pekerja bengkel pada siang hari pukul 12.00-13.00 WITA dengan memberikan botol plastik kecil (20 mL) kepada para pekerja mekanik yang menjadi responden. Adapun prosedur dari pengambilan sampel urine adalah :

- a) Botol plastik kecil diberikan label yang berisi nomor dan nama pekerja yang akan diambil urinnnya.
- b) Urine pekerja diambil secukupnya sekitar kira-kira 10 mL, lalu ditampung dalam botol kecil tersebut.
- c) Botol kecil dimasukkan dalam ice box.

b. Pemeriksaan Kadar Fenol Dalam Urine

Pemeriksaan kadar fenol dilakukan untuk mengetahui konsentrasi benzena dalam urine pekerja dengan metode 4-Aminoantipirin dan menggunakan alat UV/Vis Spektrofotometri. Adapun prosedur pemeriksaan kadar fenol dalam urine adalah :

- a) untuk dilakukan analisis dengan metode 4-aminoantipirin.
- b) Sebanyak 1 mL urine diambil dengan pipet kemudian dimasukkan kedalam labu takar 50 mL.

- c) Tambahkan air suling (akuades) kedalam labu takar tersebut sampai tanda batas.
- d) Tambahkan 0,5 mL larutan NH_4Cl kedalam labu takar yang telah ditambahkan air suling (akuades).
- e) Pindahkan larutan sampel ke botol plastik 75 mL ditutup lalu diaduk.
- f) Cek pH dengan kertas pH agar pH-nya 9,8-10,2 dengan penambahan larutan NH_4OH .
- g) Jika pH-nya sudah pas maka ditambahkan 0,2 mL larutan 4-aminoantipirin dan 0,2 mL larutan potasium besi sianida lalu aduk sampai homogen.
- h) Ambil sampel 0,2 mL dengan pipet lalu pindahkan ke tabung reaksi.

HASIL

Tabel 1. Distribusi Frekuensi Berdasarkan Umur Responden pada Pekerja Bengkel

Umur	n	%
20-25 tahun	6	17,1
26-35 tahun	13	37,1
36-45 tahun	16	45,7
Total	35	100

Berdasarkan tabel 1 menunjukkan bahwa distribusi berdasarkan umur 20-25 sebanyak 6 orang (17,1%), umur 26-35 tahun sebanyak 13 orang (37,1%), umur 36-45 tahun sebanyak 16 orang (45,7%).

Tabel 2. Distribusi Frekuensi Berdasarkan Masa Kerja Responden pada Pekerja Bengkel

Masa Kerja	n	%
Lama	22	62,9%
Baru	13	37,1%
Total	35	100

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa dari 35 responden terdapat 22 orang dengan masa kerja lama atau ≥ 5 tahun kerja (62,9%) dan sebanyak 13 orang dengan masa kerja baru atau ≤ 5 tahun kerja (37,1%).

Tabel 3. Hubungan Masa Kerja dengan Kadar Fenol dalam Urine pada Pekerja Bengkel

Masa Kerja	Kadar Fenol dalam Urine				Jumlah	P-Value
	Tidak memenuhi syarat		Memenuhi syarat			
	n	%	n	%		
Lama	10	45,5	12	54,5	22	100
Baru	3	23,1	10	76,9	13	100
Total	13	37,1	22	62,9	35	100

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa dari 35 responden terdapat 10 orang dengan masa kerja lama (45,5%) yang tidak memenuhi syarat atau terdapat kadar fenol dalam urine pekerja tersebut dan terdapat 12 orang (54,5%) yang memenuhi syarat atau tidak terdapat kadar fenol dalam urine pekerja tersebut. Sedangkan terdapat 3 orang dengan masa kerja baru (23,1%) yang tidak memenuhi syarat dan terdapat 10 orang (76,9%) yang memenuhi syarat. Berdasarkan hasil analisis uji *Chi Square*, didapatkan

bahwa nilai $p\text{-value}=0,182 > 0,05$ karena nilai p yang dihasilkan lebih besar dari 0,05 maka H_0 diterima dan H_a ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan antara masa kerja dengan kadar fenol dalam urine.

Tabel 4. Hubungan Lama kerja/Pajanan dengan Kadar Fenol dalam Urine pada Pekerja Bengkel

Lama Kerja	Kadar Fenol dalam Urine						P-Value
	TMS		MS		Jumlah		
	n	%	N	%	N	%	
Cukup	5	27,8	13	72,2	18	100	0,205
Kurang baik	8	47,1	9	52,9	17	100	
Total	13	37,1	22	62,9	35	100	

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa dari 35 responden terdapat 5 orang dengan lama pajanan yang cukup (27,8%) yang tidak memenuhi syarat atau terdapat kadar fenol dalam urine pekerja tersebut dan terdapat 13 orang (72,2%) yang memenuhi syarat atau tidak terdapat kadar fenol dalam urine pekerja tersebut. Sedangkan terdapat 8 orang dengan lama pajanan yang kurang baik (47,1%) yang tidak memenuhi syarat dan terdapat 9 orang (52,9%) yang memenuhi syarat.

Berdasarkan hasil analisis uji *Chi Square*, didapatkan bahwa nilai $p\text{-value}=0,305 > 0,05$ karena nilai p yang dihasilkan lebih besar dari 0,05 maka H_0 diterima dan H_a ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan antara lama pajanan dengan kadar fenol dalam urine pada pekerja bengkel.

Tabel 5. Hubungan Penggunaan APD dengan Kadar Fenol dalam Urine pada Pekerja Bengkel

Penggunaan APD	Kadar Fenol dalam Urine				Jumlah		P-Value
	TMS		MS		N	%	
	n	%	n	%			
Memenuhi Standar	0	0	9	100	9	100	0,000
Tidak memenuhi standar	13	50,0	13	50,0	26	100	
Total	13	37,1	22	62,9	35	100	

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan bahwa dari 35 responden terdapat 9 orang dengan penggunaan APD yang memenuhi standar (100%) yang memenuhi syarat atau terdapat kadar fenol dalam urine pekerja tersebut. Sedangkan terdapat 13 orang dengan penggunaan APD yang tidak memenuhi standar (50,0%) yang tidak memenuhi syarat atau terdapat kadar fenol dalam urine pekerja tersebut dan terdapat 13 orang dengan penggunaan APD yang tidak memenuhi standar (50,0%) yang memenuhi syarat.

PEMBAHASAN

Alat pelindung diri (APD) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk melindungi karyawan yang terpapar *benzene*, *toluene*, dan *xylene* (BTEX) dari penyakit akibat kerja. Seorang pekerja yang tugasnya memisahkan sebagian atau seluruh tubuhnya dari potensi bahaya pekerjaan dapat dilindungi dengan menggunakan alat pelindung diri (APD). Masker adalah bagian dari alat pelindung diri (APD). Menurut sebuah penelitian, masker wajah (medis) 48% efektif menyaring partikel dibawah 2,5 μm (PM 2.5) dari udara.(6,11,15)

Penerapan program alat pelindung diri dalam upaya mengurangi paparan bahan kimia tersebut. Alat pelindung diri merupakan hirarki pengendalian setelah pengendalian secara teknik dan administrasi. Alat pelindung diri yang akan diterapkan dalam pengabdian ini yaitu masker khusus untuk uap hidrokarbon, sarung tangan karet dan kaca mata *safety*. Tujuan dari pengabdian ini untuk mengurangi paparan uap benzena melalui penerapan alat pelindung diri yang sesuai agar pekerja risiko terjadinya gangguan kesehatan akibat paparan benzena dapat diminimalisir.(1,6,10,14)

Tempat kerja sebaiknya melakukan rotasi kerja pada pekerjaannya dan mengurangi jam kerja atau hari kerja (8 jam setiap hari untuk 5 hari kerja atau 7 jam setiap hari pada 6 hari kerja) sesuai dengan UU nomor 13 tahun 2013 tentang Ketenagakerjaan untuk mengurangi paparan benzena kepada pekerja. Sebuah tempat kerja disarankan pula untuk melakukan *biological monitoring* secara rutin yang dilakukan lingkungan kerja dapat ditambahkan area untuk setahun sekali kepada pekerjaannya mendeteksi tanda keracunan akibat paparan benzena dan dapat melakukan tindakan pencegahan. Pada ruang terbuka hijau dengan menanam beberapa tanaman agar dapat menambah sumber alami dari oksigen. Pekerja yang bekerja pada SPBU dapat melakukan beberapa hal sebagai saran diantaranya peduli terhadap kesehatan dan keselamatan diri sendiri terutama pada saat melakukan pekerjaan di area SPBU dengan menggunakan seragam dan alat pelindung diri (APD) yang sesuai dan telah disediakan. Selain itu pekerja dapat melakukan *personal hygiene* setelah selesai bekerja di area.(5,9,14)

Fenol merupakan hasil metabolit benzena di dalam tubuh yang kemudian dieksresikan melalui urin. Menurut *World Health Organization* (2010) waktu paruh dari fenol didalam tubuh manusia yaitu 4-5 jam. Di dalam sistem respirasi paparan fenol ringan dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan bagian atas. Dengan paparan yang lebih serius, pembengkakan tenggorokan, radang trakea, ulserasi trakea, dan akumulasi cairan di paru-paru dapat terjadi. Tertelan dapat menyebabkan kematian akibat kegagalan pernafasan. Benzena yang terhirup ke dalam tubuh akan masuk ke dalam paru.(4,12,15).

Fenol dalam urine merupakan salah satu biomarker untuk pemaparan benzena dalam tubuh. Menurut *World Health Organization* bahwa standar untuk kandungan fenol dalam urine yang normal yaitu jika kurang dari 25 mg/L urine. Kandungan fenol dalam urine yang melebihi standar harus sangat diwaspadai terhadap terjadinya keracunan karena hal tersebut merupakan gambaran tingkat pemaparan terhadap benzena. Semakin tinggi kandungan fenol dalam urine maka dapat diasumsikan semakin berat tingkat pemaparan benzene.(17,18,19).

Senyawa benzena yang mudah menguap menjadikan manusia yang bekerja maupun hidup didekat benzena dapat dengan mudah terpapar. Pada seseorang yang tidak mengalami pajanan pada saat bekerja fenol di urine dapat berasal dari makanan yang mengandung fenol seperti apel, anggur, gandum dan dapat berasal dari variasi metabolisme individu meski dalam jumlah kecil karena fenol merupakan suatu komponen dari urine normal. Metabolit dari senyawa benzena ialah fenol yang terkandung di dalam urine. Sebagian metabolit benzena akan dibuang dalam bentuk urine dalam kurun waktu 2 hari setelah paparan. Meskipun metabolit dibuang, namun masih ada sisa metabolit benzena yang mengendap dalam tubuh, hal ini akan menyebabkan terjadinya kerusakan *Deoxyribo Nucleic Acid* atau DNA.(20,21,22).

Selain faktor lingkungan, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa karakteristik individu seperti

masa kerja, kepatuhan penggunaan APD, dan kebiasaan merokok berpengaruh terhadap kadar fenol dalam urine. Pekerja dengan masa kerja yang lebih lama dan kepatuhan APD yang rendah cenderung memiliki kadar fenol urine lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa paparan kumulatif dan perilaku kerja memiliki peran penting dalam meningkatkan risiko kesehatan pekerja, sehingga pendekatan pengendalian risiko tidak hanya berfokus pada lingkungan kerja, tetapi juga pada perubahan perilaku dan peningkatan kesadaran pekerja.(10,19,23).

Penerapan metode QRA berbasis biomonitoring dalam penelitian ini memberikan gambaran risiko yang lebih komprehensif dibandingkan metode penilaian risiko konvensional. Dengan mengintegrasikan data kadar fenol urine ke dalam tahapan QRA, penilaian risiko menjadi lebih realistis karena didasarkan pada dosis internal yang diterima oleh pekerja. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi kelompok pekerja berisiko tinggi secara lebih tepat dan dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan pengendalian risiko yang lebih terarah.(4,5,10).

KESIMPULAN DAN SARAN

Tidak ada hubungan antara masa kerja dengan kadar fenol dalam urine pada pekerja bengkel dengan nilai $p\text{-value}= 0,281$, Tidak ada hubungan antara lama pajanan dengan kadar fenol dalam urine pada pekerja bengkel dengan nilai $p\text{-value}= 0,205$, Ada hubungan antara penggunaan APD dengan kadar fenol dalam urine pada pekerja bengkel dengan nilai $p\text{-value}= 0,000$. Diharapkan kepada pekerja bengkel motor agar mematuhi penggunaan APD saat bekerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Rektor Universitas Muslim Indonesia melalui LP2S atas pendanaan hibah penelitian internal unggulan fakultas dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jalai A., Ramezani Z., Ebrahim K. Urinary *Trans, Trans*-Muconic Acid is Not a Reliable Biomarker for Low-level Environmental and Occupational Benzene Exposures. *Saf. Health Work*. 2022;8:220–225. doi: [10.1016/j.shaw.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.09.004)
2. Santos M.V.C., Figueiredo V.O., Arcuri A.S.A., Costa-Amaral I.C., Gonçalves E.S., Larentis A.L. Aspectos toxicológicos do benzeno, biomarcadores de exposição e conflitos de interesses. *Rev. Bras. Saude Ocup*. 2017;42(Suppl. 1):e13s. doi: [10.1590/2317-6369nota00017](https://doi.org/10.1590/2317-6369nota00017).
3. Ikhrum Hardi, **Suharni** (2021) *Higiene Industri Pajanan Benzena*. Deepublish (Cv. Budi Utama), Yogyakarta. ISBN 978-623-02-3290-9
4. Jalai A., Ramezani Z., Ebrahim K. Urinary *Trans, Trans*-Muconic Acid is Not a Reliable Biomarker for Low-level Environmental and Occupational Benzene Exposures. *Saf. Health Work*. 2022;8:220–225. doi: [10.1016/j.shaw.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.09.004)

5. Santos M.V.C., Figueiredo V.O., Arcuri A.S.A., Costa-Amaral I.C., Gonçalves E.S., Larentis A.L. Aspectos toxicológicos do benzeno, biomarcadores de exposição e conflitos de interesses. *Rev. Bras. Saude Ocup.* 2017;42(Suppl. 1):e13s. doi: [10.1590/2317-6369nota00017](https://doi.org/10.1590/2317-6369nota00017).
6. Sunisa Chaiklieng, Pornnapa Suggaravetsiri, Norbert Kaminski, Herman Autrup. Model Quantitatif Risk Assessment , Factors Affecting Urinary tt-Muonic Acid Detection among Benzene Exposed Workers at Gasoline Stations, *Int J Environ Res Public Health.* 2019 Nov; 16(21): 4209. Published online 2019 Oct 30. doi: [10.3390/ijerph16214209](https://doi.org/10.3390/ijerph16214209)
7. Michele P. R. Mendes, Maria José N. Paiva, Isabele Ariane L. Larentis, Leiliane C. André Metabolomic Study of Urine from Workers Exposed to Low Concentrations of Benzene by UHPLC-ESI-QToF-MS Reveals Potential Biomarkers Associated with Oxidative Stress and Genotoxicity. *Metabolites.* 2022 Oct; 12(10): 978. Published online 2022 Oct 16. doi: [10.3390/metabo12100978](https://doi.org/10.3390/metabo12100978)
8. Ilaria Pilia, Marcello Campagna, Gabriele Marcias, Daniele Fabbri, Federico Meloni, Giovanna Spatari, Biomarkers of Low-Level Environmental Exposure to Benzene and Oxidative DNA Damage in Primary School Children in Sardinia, Italy *Int J Environ Res Public Health.* 2021 May; 18(9): 4644. Published online 2021 Apr 27. doi: [10.3390/ijerph1809464](https://doi.org/10.3390/ijerph1809464)
9. Scott M. Arnold, Juergen Angerer, Peter J. Boogaard, Michael F. Hughes, Raegan B. O’Lone, Steven H. Robison, A. Robert Schnatter .The Use Of Biomonitoring Data In Exposure And Human Health Risk Assessment: Benzene Case Study *Crit Rev Toxicol.* 2013 Feb; 43(2): 119–153. Published online 2020 Jan 25. doi: [10.3109/10408444.2012.756455](https://doi.org/10.3109/10408444.2012.756455)
10. Aldi, D. (2024). Dampak pencemaran benzena terhadap lingkungan serta mekanismenya dalam memicu kanker: sebuah tinjauan literatur. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 8(1), 87–98. <https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.87-98>
11. Bestari, E. M., Sudarmaji, & Sulistyorini, L. (2019). Source of Benzene, Characteristics and Hemoglobin Levels of AHASS Mechanical Workers at Kediri City. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(4), 293–299. <https://doi.org/10.20473/jkl.v11i4.2019.293-299>
12. Chaiklieng, S., Suggaravetsiri, P., & Autrup, H. (2019). Risk assessment on benzene exposure among gasoline station workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/ijerph16142545>
13. Darwis, D., Mubarak, M., & Anita, S. (2017). Risiko Paparan Benzena Terhadap Kandungan Fenol Dalam Urin Pekerja Pengecatan Mobil Di Kecamatan Tampar Kota Pekanbaru Tahun 2017. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 5(1), 40–47. <https://doi.org/10.31258/dli.5.1.p.40-47>
14. Drastyana, S. F. (2019). The Differences in the Urinary Phenol Levels between Operators and Administrators at Gas Station in Surabaya. 2019, 29–34. <https://doi.org/10.18502/cls.v4i10.3764>
15. Geraldino, B. R., Nunes, R. F. N., Gomes, J. B., Giardini, I., da Silva, P. V. B., Campos, É., da Poça, K. S., Hassan, R., Otero, U. B., & Sarpa, M. (2020). Analysis of benzene exposure

- in gas station workers using trans,transmuconic acid. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155295>
16. Hasrianto, N., Randika, R., Hayu, R. E., & Susanti, N. (2024). Edukasi Promosi Kesehatan dan Penggunaan APD K3 pada Petugas SPBU Rawamangun Pekanbaru. 2(2), 270–274. <https://doi.org/doi.org/10.60126/jgen.v2i2.464>
 17. Isabella S, C. (2021). Hubungan Kebiasaan Merokok dan Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Dengan Kadar Fenol Urine Pekerja SPBU X. 19(3), 19–24. <https://doi.org/10.35882/jpk.xxxx>
 18. Mahdalena, V., Saleh, M. I., & Purnamasari, S. (2024). Pengaruh Paparan Benzena pada Jumlah Eritrosit , Leukosit , Trombosit dan Kadar Hemoglobin : Literatur Review. 6(5), 1507–1514. <https://doi.org/https://doi.org/10.38035/rrj.v6i5>
 19. Sim GJ, Choi SH, Kim KY. Assessment of Occupational Exposure to Airborne Phenol and Biological Monitoring of Accumulation Trends. *Healthcare (Basel)*. 2025 Jun 25;13(13):1516. doi: 10.3390/healthcare13131516.
 20. He Y, Miao M, Wu C, Yuan W, Gao E, Zhou Z, Li DK. Occupational exposure levels of bisphenol A among Chinese workers. *J Occup Health*. 2009;51(5):432-6. doi: 10.1539/joh.o9006.
 21. Barros B, Oliveira M, Morais S. Urinary biohazard markers in firefighters. *Adv Clin Chem*. 2021;105:243-319. doi: 10.1016/bs.acc.2021.02.004.
 22. Rahimpoor R, Jalilian H, Mohammadi H, Rahmani A. Biological exposure indices of occupational exposure to benzene: A systematic review. *Heliyon*. 2023 Oct 31;9(11):e21576. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21576.
 23. Ashar T, Santi DN, Naria E. Benzene exposure and health risk assessment among workers in informal footwear workshops: A cross-sectional study in Medan, Indonesia. *Toxicol Rep*. 2025 Oct 11;15:102140. doi: 10.1016/j.toxrep.2025.102140.