



Hubungan Antara Konsentrasi Toluena Dengan Konsentrasi Malondialdehida Dan Degenerasi DNA Pada Pekerja *Home Industry* Sepatu

Mochamad Ali Haidar*¹, Abdul Rohim Tualeka¹

¹*Departement of Occupational Safety and Health, Faculty of Public Health, Universitas Airlangga, Indonesia.*

***Author's Email Correspondence (*)*: mochamad.ali.haidar-2017@fkm.unair.ac.id
 (+6285733761417)**

ABSTRAK

Toluena terdapat dalam lem kuning dan lem putih. Lem kuning mengandung 55% toluena dan lebih banyak digunakan daripada lem putih dalam produksi sepatu. Kebanyakan pekerja di home industry sepatu Tambak Osowilangun Surabaya meletakkan lem dalam wadah terbuka, ruangan kerja tanpa ventilasi yang memadai dan selama bekerja tidak menggunakan masker. Toluena dari lem menguap dalam konsentrasi tinggi dan terhirup pekerja. Pekerja dalam waktu lama akan mengalami stress oksidatif yang ditandai dengan malondialdehida dan juga degenerasi DNA. Penelitian ini bertujuan melihat hubungan antara konsentrasi toluena dengan konsentrasi malondialdehida dan degenerasi DNA pada pekerja home industry Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya. Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan desain penelitian cross sectional dengan teknik total population sampling yaitu sebanyak 25 pekerja. Variabel bebas adalah konsentrasi toluena. Variabel terikat adalah konsentrasi malondialdehida dan degenerasi DNA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi toluena melebihi NAB. Rata-rata konsentrasi malondialdehida pekerja sebesar 7,84 nmol/ml. Terdapat hubungan yang lemah antara konsentrasi toluena dengan konsentrasi malondialdehida (0,201) dan degenerasi DNA (0,312). Dapat disimpulkan bahwa konsentrasi toluena melebihi NAB secara terus menerus dapat meningkatkan konsentrasi malondialdehida dan degenerasi DNA. Disarankan kepada pekerja menggunakan alat bantu untuk mengoleskan lem, mengonsumsi makanan yang kaya enzim sitokrom oksidase dan glutathione, menggunakan alat pelindung diri selama bekerja.

Kata Kunci: Degenerasi DNA; Malondialdehida; Toluena; Sepatu

Published by:

Tadulako University

Address:

Jl. Soekarno Hatta KM 9. Kota Palu, Sulawesi Tengah,
 Indonesia.

Phone: +628114120202

Email: Preventif.fkmuntad@gmail.com

Article history :

Received : 11 01 2022

Received in revised form : 26 01 2022

Accepted : 27 01 2022

Available online 30 04 2023

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



ABSTRACT

Toluene is found in yellow glue and white glue. Yellow glue contains 55% toluene and is more widely used than white glue in shoe production. Most workers in the shoes home-industry Tambak Osowilangun Surabaya put glue in an open container, work space without adequate ventilation and do not wear a mask while working. Toluene from the glue evaporates in high concentrations and is inhaled by workers. Workers for a long time will experience oxidative stress which is characterized by malondialdehyde and DNA degeneration. This research aims to examine the relationship between the concentration of toluene with the concentration of malondialdehyde and DNA degeneration in shoes home-industry Tambak Osowilangun Surabaya. This research is an analytic observational study with a cross sectional research design with a total population sampling technique of 25 workers. The independent variable is toluene concentration. The dependent variable is the malondialdehyde concentration and DNA degeneration. The results showed that the average concentration of toluene exceeded the TLV. The workers' average of malondialdehyde concentration was 7,84 nmol/ml. There is a weak relationship between the concentration of toluene with the concentration of malondialdehyde (0,201) and DNA degeneration (0,312). It can be concluded that the concentration of toluene exceeding the TLV continuously can increase the malondialdehyde concentration and DNA degeneration. It is recommended that workers use tools to apply glue, eat foods rich in cytochrome oxidase and glutathione enzymes, use personal protective equipment while working.

Keywords : DNA degeneration; Malondialdehyde; Shoes; Toluene

PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan industri selalu diiringi dengan peningkatan penyerapan tenaga kerja. Selain itu, risiko kesehatan pekerja juga dapat meningkat. Peningkatan risiko kesehatan pekerja dapat disebabkan oleh perilaku berisiko bagi pekerja, kecelakaan kerja, paparan bahan kimia berbahaya, atau kondisi lingkungan kerja yang tidak memenuhi persyaratan. Berdasarkan data *International Labour Organization* (2018) terdapat sekitar 2,78 juta pekerja meninggal setiap tahunnya dengan 2,4 juta pekerja (86,3%) mengalami penyakit akibat kerja dan 380.000 pekerja (13,7%) mengalami kecelakaan akibat kerja (1). *Occupational Safety and Health Administration* melaporkan bahwa lebih dari 190.000 pekerja di Amerika mengalami penyakit akibat kerja terkait paparan bahan kimia dan 50.000 kematian setiap tahun terkait dengan paparan bahan kimia (2). Salah satu industri dengan populasi yang paling mungkin terpapar bahan kimia berbahaya terutama paparan toluena tingkat tinggi menurut *Agency for Toxic Substance and Disease Registry* (2017) adalah pekerja di industri yang menggunakan toluena sebagai pelarut. Industri sepatu adalah salah satu industri yang menggunakan toluena sebagai pelarut (3). Pelarut organik yang paling banyak digunakan dalam perekat terutama perekat sepatu adalah toluena (4). Toluena adalah senyawa organik

volatil yang sangat mudah menguap pada suhu kamar dan merupakan pelarut yang paling banyak digunakan. *United States Environmental Protection and Agency* (USEPA) mengklasifikasikan senyawa organik yang mudah menguap seperti toluena sebagai polutan udara berbahaya (5). Data dari *National Institute of Occupational Safety and Health* melaporkan ada 4,8 juta pekerja di Amerika yang terpapar toluena (6). Sedangkan di Indonesia belum terdapat data mengenai pekerja di berbagai industri yang terpapar toluena.

Pekerja *home industry* sepatu Tambak Osowilangun Surabaya menggunakan 2 jenis lem sebagai bahan perekat bagian-bagian sepatu yaitu lem kuning dan lem putih yang keduanya sama-sama mengandung pelarut organik berbahaya terutama toluena. Lem kuning lebih banyak digunakan dibandingkan dengan lem putih. Lem kuning digunakan untuk menyambung bukaan di bagian permukaan dan *finishing*, sedangkan untuk lem putih digunakan untuk tempelan sol karena daya rekatnya lebih kuat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Laelasari *et al.* (2018) lem kuning yang digunakan dalam proses produksi sepatu mengandung 55 % toluena sebagai bahan pelarut organiknya (4). Pekerja *home industry* sepatu Tambak Osowilangun Surabaya biasa menggunakan lem yang diletakkan dalam wadah terbuka dan mengoleskan lem dengan tangan telanjang dan tanpa penggunaan masker. Selain itu pekerjaan tersebut dilakukan dalam satu ruangan tanpa ventilasi yang memadai sehingga toluena dalam lem yang mudah menguap akan terkonsentrasi dalam jumlah yang melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018 yakni sebesar 20 ppm (7). Pengukuran terakhir konsentrasi toluena pada tempat tersebut menunjukkan rata-rata konsentrasi sebesar 83,014 ppm (8). Uap toluena dengan konsentrasi yang melebihi NAB apabila terhirup oleh pekerja dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan pekerja mengalami stres oksidatif yang ditandai dengan malondialdehidia dan pekerja juga dapat mengalami degenerasi DNA. Hal tersebut terjadi karena stres oksidatif merusak biomolekul, seperti lipid, protein, dan DNA (9).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Giyanti (2018) di *Home Industry* Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya menunjukkan nilai mean kadar malondialdehidia serum pada kelompok terpapar lebih tinggi ($5,95 \text{ nmol/ml} \pm 2,19$) daripada kelompok tidak terpapar toluena ($1,11 \text{ nmol/ml} \pm 0,51$) (8). Sedangkan pada penelitian Tualeka *et al.* (2020) terdapat hubungan antara konsentrasi toluena dengan degenerasi DNA pada pekerja di 5 industri (Ketintang, Jemursari, Kalijudan, AUP, Romokalisari) Surabaya yang menggunakan BTX sebagai pelarut dalam proses produksinya (10). Belum adanya penelitian terkait hubungan antara konsentrasi toluena dengan konsentrasi malondialdehidia dalam populasi pekerja di

Home Industry Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya serta belum ada pula penelitian terkait hubungan antara konsentrasi toluena dengan degenerasi DNA pada pekerja industri sepatu menyebabkan perlunya melihat hubungan antara konsentrasi toluena dengan konsentrasi malondialdehida dan degenerasi DNA pada pekerja *Home Industry* Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan desain penelitian *cross sectional*. Penelitian dilakukan di *home industry* Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya pada bulan September 2019. Populasi penelitian ini adalah pekerja *home industry* sepatu Tambak Osowilangun Surabaya yaitu sebanyak 25 orang. Penelitian ini menggunakan teknik *total population sampling* yaitu seluruh pekerja *home industry* sepatu Tambak Osowilangun Surabaya sebanyak 25 orang dijadikan sampel. Variabel bebas dalam penelitian ini berupa konsentrasi toluena serta variabel terikat berupa malondialdehida dan degenerasi DNA. Data diperoleh dari hasil uji laboratorium. Pengukuran konsentrasi toluena menggunakan teknik *Gas Chromatography* metode NIOSH 1501. Pengukuran malondialdehida dilakukan dengan metode *Thiobarbituric Acid Reactive Substance (TBARS)*, dan degenerasi DNA diukur menggunakan elektroforesis akrilamida dengan pewarnaan perak serta penentuan degenerasi DNA menggunakan metode reaksi berantai polimerase waktu nyata. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistics 25. Data disajikan dalam bentuk tabel distribusi frekuensi dan persentase setiap variabel kemudian diuji dengan tabulasi silang untuk mengetahui hubungan antar variabel dalam data kategorik dan data diuji menggunakan koefisien Phi untuk melihat kuat hubungan.

HASIL

Distribusi konsentrasi toluena berdasarkan nilai ambang batas toluena yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018 yakni 20 ppm (7) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1
Distribusi Konsentrasi Toluena di Udara Lingkungan Kerja *Home Industry* Sepatu

Konsentrasi Toluena	Frekuensi	%
≤ 20 ppm	4	16
> 20 ppm	21	84
Total	25	100

Sumber: Data Primer, 2019

Dapat diketahui bahwa berdasarkan tabel 1 pekerja yang terpapar toluena melebihi nilai ambang batas sebanyak 21 (84%). Sedangkan hanya 4 (16%) pekerja terpapar toluena kurang dari atau sama dengan nilai ambang batas.

Tidak ada batas kritis yang tetap untuk konsentrasi malondialdehida pada manusia maka dalam penelitian ini rata-rata konsentrasi malondialdehida dari 25 pekerja digunakan sebagai batas kritis konsentrasi malondialdehida karena data konsentrasi malondialdehida dalam penelitian ini berdistribusi normal. Distribusi konsentrasi malondialdehida berdasarkan batas kritis tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2
Distribusi Konsentrasi Malondialdehida pada Pekerja *Home Industry* Sepatu

Konsentrasi Malondialdehida	Frekuensi	%
≤ 7,84 nmol/ml	13	52
> 7,84 nmol/ml	12	48
Total	25	100

Sumber: Data Primer, 2019

Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa sebanyak 13 (52%) pekerja memiliki konsentrasi malondialdehida kurang dari atau sama dengan rata-rata dan konsentrasi malondialdehida yang melebihi rata-rata dimiliki oleh 12 (48%) pekerja.

Distribusi pekerja yang mengalami maupun yang tidak mengalami degenerasi DNA dapat dilihat pada tabel 3 yang menunjukkan bahwa sebagian besar pekerja *home industry* Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya 15 (60%) dalam penelitian ini mengalami degenerasi DNA dan 10 (40%) pekerja tidak mengalami degenerasi DNA (normal).

Tabel 3
Distribusi Degenerasi DNA pada Pekerja *Home Industry* Sepatu

Degenerasi DNA	Frekuensi	%
Normal	10	40
Degenerasi	15	60
Total	25	100

Sumber: Data Primer, 2019

Kuat hubungan diperoleh melalui uji koefisien Phi antara konsentrasi toluena dengan konsentrasi malondialdehida dan degenerasi DNA yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4. Pada tabel 4 kuat hubungan yang terjadi antara konsentrasi toluena dengan konsentrasi

malondialdehida adalah lemah dan nilai koefisien phi menunjukkan nilai positif yang artinya peningkatan konsentrasi toluena diikuti oleh peningkatan konsentrasi malondialdehida. Begitupula hubungan antara konsentrasi toluena dengan degenerasi DNA yang memiliki kuat hubungan lemah dengan koefisien phi bernilai positif yang bermakna semakin meningkat konsentrasi toluena maka semakin banyak pekerja yang mengalami degenerasi DNA. Konsentrasi toluena dalam penelitian ini memiliki rata-rata sebesar 88,01 ppm sehingga melebihi NAB yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018 (7). Rata-rata konsentrasi malondialdehida sebesar 7,84 nmol/ml. Saat ini belum terdapat batas kritis terkait konsentrasi malondialdehida pada manusia.

Tabel 4
Hubungan antara Konsentrasi Toluena dengan Konsentrasi Malondialdehida dan Degenerasi DNA pada Pekerja *Home Industry Sepatu*

Variabel	Mean	Koefisien Phi	Total
Konsentrasi Toluena	88,01	0,201	25
Konsentrasi Malondialdehida	7,84		
Konsentrasi Toluena	88,01	0,312	
Degenerasi DNA	-		

Sumber: Data Primer, 2019

Tabulasi silang dilakukan untuk mengetahui hubungan antara Konsentrasi Toluena dengan Konsentrasi Malondialdehida. Hasil tabulasi silang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5
Tabulasi Silang antara Konsentrasi Toluena dengan Konsentrasi Malondialdehida pada Pekerja *Home Industry Sepatu*

Konsentrasi Toluena	Konsentrasi Malondialdehida				Total	
	$\leq 7,84$		$> 7,84$			
	n	%	n	%	n	%
≤ 20 ppm	3	75	1	25	4	100
> 20 ppm	10	47,6	11	52,4	21	100
Total	13	52	12	48	25	100

Sumber: Data Primer, 2019

Tabel 5 menunjukkan bahwa pekerja yang terpapar toluena melebihi nilai ambang batas yakni lebih dari 20 ppm cenderung memiliki konsentrasi malondialdehida melebihi nilai rata-rata. Sebaliknya pekerja yang terpajan toluena kurang dari atau sama dengan 20 ppm, konsentrasi malondialdehida yang dimiliki kurang dari atau sama dengan nilai rata-rata.

Hubungan antara konsentrasi toluena dengan degenerasi DNA dapat diketahui menggunakan tabulasi silang pada tabel berikut:

Tabel 6
Tabulasi Silang antara Konsentrasi Toluena dengan Degenerasi DNA pada Pekerja
Home Industry Sepatu

Konsentrasi Toluena	Degenerasi DNA				Total	
	Normal		Degenerasi		n	%
	n	%	n	%		
≤ 20 ppm	3	75	1	25	4	100
> 20 ppm	7	33,3	14	66,7	21	100
Total	10	40	15	60	25	100

Sumber: Data Primer, 2019

Degenerasi DNA menurut tabel 6 cenderung dialami oleh pekerja yang terpajan toluena melebihi 20 ppm dibandingkan dengan pekerja yang terpajan toluena kurang dari atau sama dengan 20 ppm.

PEMBAHASAN

Konsentrasi Toluena di Udara Lingkungan Kerja *Home Industry Sepatu*

Konsentrasi toluena dalam penelitian ini melebihi NAB yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018 (7) sejalan dengan penelitian Giyanti (2018) di *home industry* sepatu kelurahan Tambak Oso Wilangun Kota Surabaya yang menunjukkan bahwa rata-rata hasil pengukuran paparan uap toluena di udara sebesar 83,014 ppm (8). Sebaliknya penelitian Zendeudel *et al.* (2016) pada bengkel sepatu di Teheran diperoleh rata-rata sebesar 11,11 ppm (11). Penelitian yang dilakukan oleh Tualeka *et al.* (2019) pada *home industry* sepatu di Romokalisari Surabaya didapatkan rata-rata konsentrasi toluena sebesar 15 ppm (12). Hasil pengukuran konsentrasi toluena dalam penelitian Firdani, Djaja dan Hermawati (2020) pada 3 industri alas kaki di Jawa Barat memiliki rata-rata konsentrasi toluena sebesar 1,49 ppm (13).

Konsentrasi toluena dalam penelitian ini yang melebihi nilai ambang batas disebabkan oleh kondisi lingkungan kerja yang tidak tertata dengan baik yaitu tidak dipisahkannya masing-masing bagian dari proses pembuatan sepatu yang sebagian besar menggunakan lem termasuk tempat penyimpanan bahan baku yang menjadi satu dalam satu ruangan dengan bagian lain dari proses pembuatan sepatu. Ketika akan menggunakan lem, pekerja *home industry* Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya membuka wadah lem yang berukuran 3 kg dan langsung mengambil lem dari wadah yang terbuka tersebut menggunakan jari tanpa sarung tangan dan masker selama proses perekatan bagian-bagian sepatu. Selain mengambil lem dari wadahnya langsung, terkadang pekerja *home industry* Sepatu Tambak Osowilangun

Surabaya juga menuangkan lem dari kemasannya kedalam botol yang telah dipotong setengahnya atau gelas bekas minuman kemasan dan membiarkannya terbuka saat lem digunakan. Selain itu, tingginya konsentrasi toluena di *home industry* Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya juga didukung oleh kondisi lingkungan kerja dengan ventilasi dan jumlah kipas angin yang kurang memadai sehingga menyebabkan udara di lingkungan kerja menjadi panas dan menyebabkan tingginya konsentrasi toluena. Oleh karena itu, dalam penelitian ini lebih dari setengah pekerja terpapar toluena dengan konsentrasi melebihi NAB.

Konsentrasi Malondialdehida pada Pekerja *Home Industry* Sepatu

Konsentrasi malondialdehida dalam penelitian ini lebih tinggi daripada penelitian Fatimah dan Utomo (2020) pada pekerja pembuat sandal/sepatu di Desa Sukajaya, Kecamatan Tamansari, Kabupaten Bogor memiliki rata-rata sebesar 0,198 nmol/ml (14). Penelitian Giyanti (2018) pada pekerja industri sepatu rumahan menemukan bahwa rata-rata kadar malondialdehida serum pada kelompok terpapar toluena lebih tinggi daripada rata-rata kadar malondialdehida serum kelompok tidak terpapar toluena. Kelompok terpapar memiliki rata-rata kadar malondialdehida serum sebesar 5,95 nmol/ml sedangkan rata-rata kadar malondialdehida serum pada kelompok tidak terpapar sebesar 1,11 nmol/ml (8). Pekerja industri percetakan dalam penelitian Tualeka *et al.* (2020) memiliki rata-rata kadar malondialdehida lebih rendah daripada penelitian ini yaitu sebesar 7,76 nmol/ml (10). Sedangkan sebagian penelitian lainnya mengenai konsentrasi malondialdehida menunjukkan rata-rata konsentrasi malondialdehida yang lebih tinggi daripada rata-rata konsentrasi malondialdehida dalam penelitian ini. Penelitian Arrazy (2016) juga memiliki rata-rata yang lebih tinggi daripada penelitian ini, rata-rata malondialdehida serum pada pekerja sepatu di Cibaduyut memiliki rata-rata malondialdehida serum sebesar 10,186 nmol/ml (15). Pekerja industri lainnya selain pekerja pembuat sepatu seperti pekerja percetakan di Surabaya memiliki rata-rata kadar malondialdehida lebih tinggi daripada penelitian ini yaitu masing-masing sebesar 8,323 nmol/ml (16).

Konsentrasi malondialdehida yang terdapat dalam tubuh mengindikasikan bahwa telah terjadi stres oksidatif. Stres oksidatif terjadi apabila dalam tubuh terdapat lebih banyak radikal bebas daripada antioksidan (17). Stres oksidatif diawali oleh kapasitas enzim antioksidan untuk menghilangkan zat beracun gagal karena pembentukan radikal bebas yang berlebihan. Radikal bebas bereaksi dengan asam lemak tidak jenuh selama peroksidasi lipid. Peroksidasi lipid dalam prosesnya menimbulkan perubahan struktur membran sel yang

disebabkan terganggunya integritas dari membran sel akibat proses oksidasi pada membran sel. Dalam membran sel, peroksidasi lipid dimulai ketika elektron dari lipid diikat oleh radikal bebas yang tidak stabil yang memicu reaksi berantai dengan oksidasi berturut-turut yang menghasilkan ketidakstabilan lipid dan pembentukan produk sampingan seperti malondialdehida (MDA). Makin tinggi kadar radikal bebas, peroksidasi lipid akan terjadi terus-menerus dan kadar malondialdehida makin meningkat (18). Penurunan kadar malondialdehida umumnya diikuti dengan peningkatan status antioksidan yang tinggi (19). Oleh karena itu semakin rendah konsentrasi malondialdehida seseorang maka semakin sedikit proses oksidasi pada membran sel akibat semakin menurunnya peroksidasi lipid yang terjadi.

Degenerasi DNA pada Pekerja *Home Industry Sepatu*

Pada penelitian ini, setengah dari populasi pekerja mengalami degenerasi DNA. Sebaliknya pada penelitian Tualeka *et al.* (2020) kurang dari setengah pekerja mengalami degenerasi DNA (10). Degenerasi DNA yang dialami oleh pekerja *home industry Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya* menunjukkan bahwa selain memiliki radikal bebas yang dihasilkan dari metabolisme dalam tubuh, pekerja juga telah banyak terpapar senyawa eksogen penyebab radikal bebas seperti uap pelarut organik yang hasil metabolismenya dapat meningkatkan *reactive oxygen species* (ROS) sebagai radikal bebas. Tingkat spesies oksigen reaktif (ROS) yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan serius pada struktur biologis salah satunya adalah degenerasi DNA (20). Jumlah ROS yang tepat berfungsi untuk menetapkan molekul untuk mengatur proses biologis dan fisiologis termasuk perlindungan sel. Sebaliknya, peningkatan kadar ROS ditunjukkan untuk memodifikasi atau menurunkan makromolekul biologis seperti asam nukleat (degenerasi DNA), lipid (oksidasi lipid), dan protein (degenerasi protein membran), sehingga menginduksi disfungsi sel atau kematian (21).

Hubungan antara Konsentrasi Toluena dengan Konsentrasi Malondialdehida pada Pekerja *Home Industry Sepatu*

Penelitian ini memiliki hasil yang sejalan dengan penelitian lainnya yang menemukan kuat hubungan yang lemah antara konsentrasi toluena dengan MDA. Penelitian Dwicahyo (2020) pada pekerja bengkel pengecatan mobil menemukan bahwa hubungan antara kadar toluena dengan MDA memiliki kuat hubungan lemah (22). Selain itu hasil penelitian Tualeka *et al.* (2020) juga menunjukkan bahwa terdapat kuat hubungan yang lemah antara konsentrasi toluena dan MDA pada pekerja industri percetakan yang terpapar benzena, toluena, dan xilena (BTX) (10). Sedangkan berdasarkan penelitian Ayu *et al.* (2020) didapatkan hasil yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi toluena di udara dengan kadar MDA pada pekerja

percetakan memiliki kuat hubungan yang sangat lemah (16). Meskipun begitu, kecenderungan pekerja memiliki konsentrasi malondialdehida melebihi nilai rata-rata pada pekerja yang terpapar konsentrasi toluena melebihi NAB telah menunjukkan bahwa selain menghasilkan radikal bebas dari metabolisme dalam tubuh mereka sendiri, pekerja juga mendapatkan tambahan radikal bebas dari senyawa eksogen penyebab radikal bebas seperti uap pelarut organik.

Malondialdehida (MDA) merupakan indikator penanda kerusakan suatu sel atau jaringan yang diakibatkan oleh stress oksidatif (17). Stress oksidatif merupakan gangguan keseimbangan antara produksi radikal bebas dan kapasitas antioksidan yang mengakibatkan produk oksidatif berlebih. Peningkatan radikal bebas di dalam tubuh dapat disebabkan oleh proses metabolisme dalam tubuh dan senyawa eksogen atau keadaan yang berasal dari luar tubuh. Radikal bebas dalam tubuh dihasilkan dari proses metabolisme fosforilasi oksidatif di mitokondria dan reaksi fenton. Sedangkan senyawa eksogen penyebab radikal bebas dapat berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor, uap pelarut organik, dan senyawa eksogen lainnya yang menimbulkan radikal bebas (18). Salah satu pekerjaan yang menyebabkan pekerjaanya rentan terpapar senyawa eksogen penyebab radikal bebas adalah pekerja pembuat sepatu. Pembuat sepatu dapat terpapar berbagai pelarut organik seperti toluena yang dapat dibioaktivasi secara enzimatik menjadi zat antara reaktif yang dapat menyebabkan peningkatan pembentukan ROS. Jalur utama metabolisme toluena adalah melalui sitokrom P-450. Peningkatan asupan toluena akan meningkatkan induksi sitokrom P-450 (23). Jika peningkatan asupan toluena tersebut berlebihan tetapi konsentrasi sitokrom P-450 minimal maka akan menyebabkan metabolisme toluena kurang efektif sehingga menghasilkan 2,3-toluena epoksida dan 3,4-toluena epoksida yang mampu meningkatkan *reactive oxygen species* (ROS) sebagai radikal bebas dalam tubuh. ROS tersebut bereaksi dengan protein dan lipid membran yang menyebabkan peroksidasi bio-molekul dan kelainan struktural (24). Radikal bebas seperti ROS menyebabkan peroksidasi lipid yang pada gilirannya merusak membran biologis. Salah satu produk akhir dari peroksidasi lipid membran yang disebabkan oleh ROS adalah malondialdehida. Malondialdehida merupakan indikator penanda kerusakan suatu sel atau jaringan yang diakibatkan oleh stress oksidatif (17).

MDA sebagai *biomarker* stress oksidatif mencerminkan status oksidatif global tubuh manusia (25). Oleh karena itu penggunaan malondialdehida sebagai *biomarker* stress oksidatif dalam penelitian ini menunjukkan bahwa stress oksidatif yang ditandai dengan

munculnya malondialdehida dalam penelitian ini bisa disebabkan oleh beragam senyawa kimia sebagai xenobiotik, tidak hanya toluena, yang selanjutnya dimetabolisme menjadi senyawa reaktif yang mendorong terbentuknya ROS hingga menyebabkan terjadinya peroksidasi lipid sebagai mekanisme utama toksisitas radikal bebas yang menghasilkan produk akhir berupa malondialdehida. Dengan kata lain, malondialdehida hanya sebagai *biomarker* stress oksidatif yang tidak dapat secara spesifik dalam menentukan salah satu dari beragam jenis xenobiotik yang meningkatkan radikal bebas terutama toluena sebagai peningkat radikal bebas yang memicu stress oksidatif. Sutanti (2020) mengungkapkan bahwa peningkatan kadar malondialdehida dalam darah dipengaruhi berbagai faktor salah satunya karena terdapat pajanan bahan kimia lain di tempat kerja seperti benzena (26). Menurut *Agency for Toxic Substance and Disease Registry* (2017) salah satu faktor yang menentukan efek toksik toluena pada seseorang yaitu dengan mempertimbangkan bahan kimia lain yang memapari seseorang tersebut (3). Lem yang digunakan dalam pembuatan sepatu mengandung berbagai jenis pelarut. Bahan kimia yang paling berbahaya dalam lem adalah pelarut yang ditambahkan untuk membuatnya lebih lengket, lebih kuat, atau lebih cepat kering. Bahan kimia lain yang digunakan dalam lem termasuk aseton, amonia, sikloheksana, di-klorometana atau metilen klorida, di-metil formaldehida (DMF), etil asetat, tetrakloretilen, polikloroprena, poliuretan, propana, dan trikloroetilen (27).

Hubungan antara Konsentrasi Toluena dengan Degenerasi DNA pada Pekerja *Home Industry* Sepatu

Belum terdapatnya penelitian yang mengkaji hubungan antara konsentrasi toluena dengan degenerasi DNA pada pekerja industri sepatu menyebabkan hanya ada satu penelitian yang mendukung hasil penelitian ini dimana hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa hubungan antara konsentrasi toluena dengan degenerasi DNA adalah hubungan yang lemah. Penelitian Tualeka *et al.* (2020) menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara konsentrasi toluena dengan degenerasi DNA pada pekerja yang terpapar BTX (10).

Degenerasi DNA (deoxyribonucleic acid) adalah kode salah utama yang disebabkan oleh spesies oksigen reaktif yang dihasilkan oleh agen eksogen atau oleh proses endogen (10). Salah satu agen eksogen yang dapat menghasilkan spesies oksigen reaktif adalah toluena. Toluena terkandung didalam lem yang digunakan sebagai perekat sepatu di *home industry* Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya. Penggunaan lem di wadah terbuka, pekerja yang tidak menggunakan masker, dan ventilasi yang kurang memadai menyebabkan uap toluena yang berasal dari lem terkonsentrasi tinggi dalam ruangan pekerja dan dapat dengan mudah

terhirup oleh pekerja. Itulah sebabnya mengapa dalam penelitian ini pekerja yang terpapar toluena melebihi NAB cenderung mengalami degenerasi DNA karena toluena yang telah masuk ke dalam tubuh dapat menghasilkan ROS melalui aktivasi reseptor aril hidrokarbon (AhR) dan membentuk metabolit elektrofilik reaktif yaitu toluena epoksida yang merupakan hasil katalisis oleh sitokrom P450. Metabolit elektrofilik reaktif tersebut secara kovalen menyebabkan protein, lipid dan DNA untuk membentuk *adduct* sehingga mengganggu fungsi seluler dengan menyebabkan kerusakan oksidatif, mengubah ekspresi gen dan protein atau apoptosis (28). Metabolit elektrofilik reaktif dari toluena dengan reaktivitas elektrofilik yang relatif rendah dapat bereaksi dengan protein yang memiliki substituen nukleofilik tinggi seperti gugus sulfhidril dengan residu sistein yang dimiliki oleh enzim perbaikan DNA manusia yaitu hOGG1 (10). Apabila terjadi inaktivasi pada enzim perbaikan DNA maka akan terjadi akumulasi 8-oksoguanin. Oleh sebab itu, DNA yang telah mengalami adisi jika tidak diperbaiki atau tidak diperbaiki tepat waktu sebelum replikasi DNA, maka akumulasi mutasi dapat menyebabkan kanker (29).

KESIMPULAN DAN SARAN

Konsentrasi toluena dalam penelitian ini memiliki rata-rata melebihi NAB yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018. Rata-rata konsentrasi malondialdehida dari 25 pekerja di *home industry* Sepatu Tambak Osowilangun Surabaya sebesar 7,84 nmol/ml. Sebagian besar pekerja 21 (84%) terpapar toluena melebihi nilai ambang batas. Sebagian besar pekerja 13 (52%) memiliki konsentrasi malondialdehida kurang dari atau sama dengan rata-rata. Sebagian besar pekerja 15 (60%) mengalami degenerasi DNA. Hubungan yang lemah dan bernilai positif terjadi antara konsentrasi toluena dengan konsentrasi malondialdehida dan degenerasi DNA. Pemilik tempat kerja harus menyediakan *local exhaust fan*, kipas angin dan mengoptimalkan ventilasi alami untuk pertukaran udara dan meminimalkan konsentrasi toluena. Pemilik tempat kerja menyediakan dan mewajibkan pekerja untuk selalu menggunakan respirator cartridge kimia selama bekerja untuk meminimalkan toluena yang terhirup. Bagi pekerja harus mengonsumsi makanan yang kaya enzim sitokrom oksidase dan enzim *glutathione*. Pekerja harus menggunakan respirator cartridge kimia selama bekerja untuk meminimalkan toluena yang terhirup dan menggunakan alat bantu ketika mengoleskan lem.

DAFTAR PUSTAKA

1. International Labor Organization. Meningkatkan Keselamatan dan Kesehatan Pekerja Muda--Hari K3 Se-Dunia 2018 [Internet]. Jakarta: International Labor Organization; 2018 [cited 2022 Jan 16]. 50 p. Available from: https://www.ilo.org/jakarta/whatwedo/publications/WCMS_627174/lang--en/index.htm
2. Occupational Safety and Health Administration. Transitioning to Safer Chemicals : A Toolkit for Employers and Workers. Washington, D.C.: Occupational Safety and Health Administration; 2021 [cited 2022 Jan 16]. Available from: <https://www.osha.gov/safer-chemicals>
3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Toluene [Internet]. Atlanta: U.S. Departement of Health and Human Services, Public Health Service; 2017 [cited 2021 Oct 29]. 496 p. Available from: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=161&tid=29>
4. Laelasari E, Kristanti D, Rahmat B. Application of Shoe Glue and Health Problems of Workers in Shoe Manufacture in. J Ekol Kesehat [Internet]. 2018 Sept [cited 2021 Oct 26];17(2):85–95
5. United States Environmental Protection Agency. Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency; 2021 [updated 2022 Jan 5; cited 2022 Jan 16]. Available from: <https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications#mods>
6. Phanprasit W, Songpek K, Boonyayothin V, Sujirarat D. Inhalation and Dermal Exposure to Toluene among Printing Workers in A Plastic Bag Factory. J Health Res. 2019;33(1):68-79
7. Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2018 Tentang Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja
8. Giyanti DA. Pengaruh Paparan Uap Toluena di Udara Terhadap Kadar Enzim Superoxide Dismutase (SOD) dan Malondialdehyde (MDA) Serum Pengrajin Sepatu. Surabaya: Universitas Airlangga, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Kesehatan Lingkungan; 2018 [cited 2021 Oct 25]. Available from: <https://repository.unair.ac.id/77355/>.
9. Hanchi M, Campo L, Polledri E, Olgiati L, Consonni D, Saidane-mosbahi D, et al. Urinary 8-Oxo-7,8-Dihydro-2- Deoxyguanosine in Tunisian Electric Steel Foundry Workers Exposed to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Ann Work Expo Health. 2017;61(3):333–343
10. Tualeka AR, Jalaludin J, Fandi NFM, Russeng SS, Ahsan A, Susilowati IH, et al. Evaluation of Concentration , RQ , ECR of BTX , MDA Level and DNA Degeneration in Workers Exposed to BTX. Res Square. 2021;1–20.
11. Zendehtel R, Sedghi R, Khodakarim S, Esmaeili Tahneh A. Evaluation of Occupational Exposure to n-Hexane and Aromatic Compounds from Workers of Selected Shoe Manufacturing Workshops in Tehran. J Health. 2018;9(1):18-26
12. Tualeka AR, Rahmawati P, Ahsan A, Pathak Y, Russeng SS, Sukarmin S, et al. 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 Maced J Med Sci. 2019;7(11):1788–93.
13. Firdani F, Djaja IM, Hermawati E. Environmental Health Risk Assessment of Toluene Exposure. EAI. 2020
14. Fatimah R, Utomo SW. Stres Oksidatif Pada Pekerja Yang Terpajan Benzena Melalui

- Pengukuran Plasma Malondialdehid (MDA) (Studi Kasus Pada Pekerja Bengkel Sandal / Sepatu Di Desa Sukajaya , Kecamatan Tamansari , Kabupaten Bogor Tahun 2018). *J Kesehat Masy.* 2020;8(1):9–19.
15. Arrazy S. Analisis Hubungan S-Phenylmercapturic Acid sebagai Metabolit Benzene dengan Kadar Malondialdehyde pada Pekerja Pabrik Sepatu di Sentra Industri Sepatu Cibaduyut Tahun 2016. Depok: Universitas Indonesia, Fakultas Kesehatan Masyarakat; 2016 [cited 2021 Oct 24]. Available from: <https://lontar.ui.ac.id/detail?id=20433224&lokasi=lokal>
 16. Ayu PS, Tualeka AR, Arini SY, Russeng SS, Rahmawati P, Ahsan A, et al. Relationship between Toluene Concentration, Malondialdehyde (MDA) Level and Health Complaints in Workers of Surabaya Printing Industry. *Indian J Forensic Med Toxicol.* 2020;14(4):3389–95.
 17. Yuslianti ER. Pengantar Radikal Bebas dan Antioksidan [Internet]. Yogyakarta:Deepublish; 2018. [cited 2021 Oct 8].109 p. Available from: <https://books.google.co.id/books?id=QRxmDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false>
 18. Subandrate, Safyudin. Kadar MDA (Malondialdehid) Karyawan SPBU di Kota Palembang. *J Kedokt dan Kesehat.* 2016;2(3):277–81.
 19. Kahar K, Keman S. Particulate Matter (PM 2,5) Increases MDA Levels Serum of Workers at Surabaya Bus Station. *Int J Res Ad Tech.* 2016;4(7):12-15.
 20. Cao M, Xie X, Wang X, Hu W, Zhao Y, Chen Q, et al. Separation, Purification, Structure Analysis, In Vitro Antioxidant Activity and circRNA-miRNA-mRNA Regulatory Network on PRV-Infected RAW264.7 Cells of a Polysaccharide Derived from *Arthrospira platensis*. *Antioxidants.* 2021;10(11):1689.
 21. Thiviya P, Gamage A, Piumali D, Merah O, Madhujith T. Apiaceae as an Important Source of Antioxidants and Their Applications. *Cosmetics.* 2021;8(4):111.
 22. Dwicahyo HB. Hubungan Paparan Toluena Dengan Kadar Eritrosit, LDL Dan MDA Serta Keluhan Gangguan Saraf Pada Pekerja Bengkel Pengecatan Mobil Di Surabaya. Surabaya: Universitas Airlangga, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Kesehatan dan Keselamatan Kerja; 2020 [cited 2021 Oct 20]. Available from: <https://repository.unair.ac.id/97121/>.
 23. Nawawinetu ED, Tualeka AR. The Effects of Fasting on Toluene Metabolite (Hippuric Acid) Excretion in Urine (A Case Study of Shoe-Makers in Tambak Oso Wilangan Village-Surabaya). *Indian J Forensic Med Toxicol.* 2019;13(4):492–9.
 24. Ömür N. Evaluation of Oxidative Stress Status in Workers with Toluene Exposure. *The Turkish Journal of Occupational / Turkish J Occup / Environ Med Saf.* 2016;(4):76–83.
 25. Pan CH, Lai CH, Chu CM. Effects on Electroplating Workers of Exposure to Hexavalent Chromium. *J Lab Occ Saf Health.* 2015;23:229-241.
 26. Sutanti L. Risiko Pajanan Toluena Terhadap Kadar Malondialdehid (MDA) Dan Fungsi Hati Pada Pekerja Percetakan Di Surabaya. Surabaya: Universitas Airlangga, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Kesehatan dan Keselamatan Kerja; 2020 [cited 2021 Oct 14]. Available from: <https://repository.unair.ac.id/97456/>
 27. Jailer T, Lara-Meloy M, Robbins M. Shoe factories. In: *Worker’s Guide to Health and Safety* [Internet]. 2015. p. 107–119. Available from: https://en.hesperian.org/hhg/Workers%27_Guide_to_Health_and_Safety:Chapter_6:_Shoe_factories

28. D'Andrea MA, Reddy GK. Health Risks Associated With Benzene Exposure in Children : A Systematic Review. *Glob Pediatr Health*. 2018;5:1-10
29. Kuang H, Liu J, Zeng Y, Zhou W, Wu P, Tan J, et al. Co-Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Benzene and Toluene May Impair Lung Function by Increasing Oxidative Damage and Airway Inflammation in Asthmatic Children. *Environ Pollut*. 2020;266:115220