

Correlation Between Levels of Heavy Metal Lead (Pb) and Cadmium (Cd) and Description of Hemoglobin Levels in Batik Industry Workers in Jetis, Sidoarjo

[Korelasi Antara Kadar Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dengan Gambaran Kadar Hemoglobin pada Pekerja Industri Batik di Jetis Sidoarjo]

Kartika Puspita Sari ¹⁾, Galuh Ratmana Hanum ^{1)*}, Jamilatur Rohmah ¹⁾, Puspitasari ¹⁾

¹⁾ Program Studi D4 Teknologi Laboratorium Medis, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: galuhratmanahanum@umsida.ac.id

Abstract. *Kampung Batik Jetis in Sidoarjo is a batik production center that uses synthetic dyes such as naphtol, indigosol, and rapid, which may contain heavy metals like lead (Pb) and cadmium (Cd). Exposure to these metals can negatively impact the hematological system, particularly by reducing hemoglobin (Hb) levels. This study aimed to determine the relationship between Pb and Cd levels and hemoglobin levels in batik workers. A cross-sectional quantitative approach was used with 19 respondents selected through total sampling. Blood samples were analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) for Pb and Cd, and hematology analyzer for Hb. The results showed average levels of Pb at 3.37 µg/dL, Cd at 4.45 ng/mL, and Hb at 13.82 g/dL. Pearson correlation analysis showed a negative correlation between Pb and Hb ($r = -0.447$; $p = 0.055$), and negative correlation between Cd and Hb ($r = -0.629$; $p = 0.004$). It is concluded that Cd exposure is significantly associated with decreased hemoglobin levels.*

Keywords - heavy metals, lead, cadmium, hemoglobin, batik

Abstrak. *Kampung Batik Jetis di Sidoarjo merupakan sentra industri batik yang menggunakan pewarna sintetis seperti naphtol, indigosol, dan rapid yang mengandung logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd). Paparan logam berat tersebut dapat mengganggu sistem hematologi, salah satunya menurunkan kadar hemoglobin (Hb). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan kadar Pb dan Cd dengan kadar Hb pada pekerja batik. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif cross sectional dengan 19 responden yang dipilih melalui total sampling. Pemeriksaan kadar Pb dan Cd dilakukan menggunakan metode AAS, sedangkan Hb diperiksa melalui hematology analyzer. Hasil menunjukkan kadar Pb rata-rata 3,37 µg/dL, Cd 4,45 ng/mL, dan Hb 13,82 g/dL. Uji korelasi Pearson menunjukkan hubungan negatif antara Pb dan Hb ($r = -0,447$; $p = 0,055$) dan hubungan negatif antara Cd dan Hb ($r = -0,629$; $p = 0,004$). Kesimpulannya, terdapat hubungan sedang antara kadar Pb dengan penurunan kadar hemoglobin dan terdapat hubungan kuat antara kadar Cd dengan penurunan kadar hemoglobin.*

Kata Kunci - logam berat, timbal, kadmium, hemoglobin, batik

I. PENDAHULUAN

Desa Jetis merupakan salah satu desa wisata yang terdapat di Sidoarjo, dimana desa ini dikenal juga dengan nama "Kampung Batik". Desa ini terletak di lokasi yang strategis yaitu di pusat kota Sidoarjo, tepatnya di kawasan Kampung Diponegoro, Lemah Putro. Tempat ini selalu dipenuhi wisatawan, baik pada hari kerja maupun hari libur. Suasana di Kampung Batik Jetis memberikan pengalaman unik yang berbeda dari keseharian, dengan banyaknya perajin batik yang tinggal dan berkarya di desa ini [1]. Produksi batik tidak hanya menghasilkan karya seni yang indah, tetapi juga limbah berupa gas dan cairan. Limbah cair ini biasanya berasal dari proses pengolahan kain, pewarnaan, hingga penununan. Dalam pewarnaan, para pengrajin lebih sering menggunakan pewarna sintetis karena lebih praktis, mudah diperoleh, dan mampu menghasilkan warna yang stabil [2].

Penggunaan pewarna sintetis dalam industri tekstil turut memunculkan kontaminasi logam berat, antara lain seng (Zn), timbal (Pb), krom (Cr). Kehadiran logam berat pada zat pewarna ini disebabkan oleh kandungan logam di dalam beberapa komponen pewarna serta peran logam tersebut sebagai katalisator dalam proses pembuatannya. Beberapa contoh pewarna sintetis yang umum digunakan meliputi remazol, indigosol, naphtol, rapid, dan sebagainya [3]. Pada Kampung Batik Jetis sebagian besar jenis pewarna yang digunakan yaitu indigosol, naphtol, dan rapid. Dimana pewarna ini sudah digunakan sejak awal berdirinya produksi batik (sekitar 1970). Penggunaan pewarna tersebut disebabkan karena memberikan warna yang cerah pada kain. Selain melalui proses pewarnaan, pembuatan batik juga

melibatkan tahapan mencanting, yaitu proses menggambar motif pada kain menggunakan lilin cair. Lilin yang digunakan pada tahap ini umumnya mengandung beeswax, yang berfungsi melindungi bagian tertentu kain agar tidak terkena warna saat proses pewarnaan. Namun, beeswax tersebut berpotensi mengandung logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), atau merkuri (Hg), yang dapat berasal dari proses pemurnian yang tidak sempurna, kontaminasi selama penyimpanan, atau pencampuran dengan bahan tambahan lain untuk meningkatkan sifat lilin. Produksi batik yang dihasilkan di kampung ini dalam sehari sebanyak 3-4 pcs kain batik, sehingga dalam 4 bulan dihasilkan 300 pcs kain batik. Dalam sehari para pembatik bekerja dimulai pukul 8 pagi hingga pukul 2 siang. Proses pembuatan kain batik dilakukan dengan beberapa tahap. Dimana penggunaan pewarna berada pada tahap pencelupan dan fiksasi warna.

Menurut penelitian yang dilakukan pada tahun 2022 yaitu analisis menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF) menunjukkan bahwa pewarna sintetis yang digunakan, termasuk Remazol, Naphtol, dan Indigosol, mengandung logam berat seperti tembaga (Cu), seng (Zn), nikel (Ni), aluminium (Al), besi (Fe), dan timbal (Pb) [4]. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan pada tahun 2021 tentang pengrajin batik Sasirangan di Desa Kertak Hanyar seluruhnya menggunakan zat pewarna kimia sintetis seperti rapid, naphtol, dan indigosol yang mengandung logam berat kromium dan kadmium [5]. Menurut penelitian tahun 2023, analisis terhadap sampel beeswax menunjukkan bahwa bahan ini dapat mengandung logam berat seperti Fe, Cr, Zn, Cu, Ni, Mn, Pb, Cd, dan Co. Kandungan logam berat tersebut bervariasi tergantung usia lilin, dengan konsentrasi yang cenderung meningkat seiring bertambahnya usia comb. Hal ini menunjukkan bahwa beeswax dapat berperan sebagai akumulator polutan lingkungan dalam jangka panjang [6].

Timbal (Pb) yang masuk ke dalam darah bersifat beracun dan cenderung menumpuk di dalam tubuh. Meski paparan timbal terjadi dalam jumlah kecil, dampaknya tetap sangat berbahaya. Zat ini dapat mengganggu fungsi berbagai organ penting, seperti menghambat pengikatan hemoglobin, yang berakibat pada penurunan jumlah dan umur sel darah merah [7]. Timbal menimbulkan dampak yang berkelanjutan karena Pb yang masuk melalui saluran pernapasan dan saluran pencernaan dapat masuk ke dalam darah dan menghambat pembentukan heme. Akibatnya, Pb dapat menurunkan produksi hemoglobin dalam darah, yang berpotensi memicu masalah kesehatan lainnya [8].

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang bersifat toksik dan tidak memiliki fungsi fisiologis dalam tubuh manusia. Logam ini sering digunakan dalam industri sebagai komponen dalam baterai, pelapis logam, dan pigmen pewarna, termasuk dalam industri batik. Dalam proses pewarnaan batik, kadmium dapat terkandung dalam zat pewarna sintetis untuk menghasilkan warna-warna cerah. Paparan kadmium pada pekerja batik dapat terjadi melalui kontak kulit, inhalasi uap saat proses pemanasan, atau dari lingkungan kerja yang terkontaminasi limbah pewarna. Logam ini dapat terakumulasi dalam tubuh, terutama di ginjal dan hati, serta menyebabkan gangguan pernapasan, kerusakan ginjal, gangguan sistem saraf, dan juga bersifat karsinogenik [9]. Kadmium (Cd) masuk ke dalam jaringan melalui stres oksidatif dan menghambat proses sintesis heme. Gangguan dalam biosintesis heme ini dapat menyebabkan masalah dalam pembentukan hemoglobin, yang pada akhirnya mengakibatkan penurunan kadar hemoglobin dalam darah [10]. Seseorang dengan kadar timbal tinggi dalam tubuhnya sering mengalami gejala seperti pusing, nyeri kepala, kelelahan, iritasi kulit, gangguan kognitif, dan anemia akibat gangguan pembentukan hemoglobin. Sementara itu, paparan kadmium dapat menyebabkan nyeri sendi, gangguan ginjal, iritasi saluran pernapasan, serta penurunan fungsi hati [11].

Hemoglobin adalah protein kompleks yang terdapat dalam sel darah merah dan berfungsi utama untuk mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh serta mengembalikan karbon dioksida ke paru-paru untuk dikeluarkan. Molekul hemoglobin terdiri dari empat rantai globin dan empat gugus heme yang mengandung besi, yang memungkinkan ikatan reversibel dengan molekul oksigen. Keseimbangan kadar hemoglobin sangat penting untuk mempertahankan fungsi fisiologis tubuh, khususnya dalam sistem transportasi oksigen [12]. Nilai normal Hb sebesar 11 – 15 g/dL.

Penelitian yang dilakukan tahun 2021 tentang konsentrasi logam berat dalam limbah tekstil di industri batik Laweyan. Hasil analisis menunjukkan bahwa limbah cair dari industri batik Laweyan mengandung logam berat seperti kadmium (Cd) dan timbal (Pb). Keberadaan logam berat ini dalam limbah industri batik Laweyan ini menunjukkan potensi risiko paparan bagi pekerja dan lingkungan sekitar dengan kadar rata-rata Pb (Timbal) 0.05 ± 0.03 ppm dan Cd (Kadmium) > 0.02 melebihi batas aman di semua sampel yang terdeteksi. Pewarna sintetis yang digunakan adalah naphtol, rapid, dan indigosol dalam industri batik di Laweyan [13].

II. METODE

Penelitian ini dirancang dengan menggunakan rancangan penelitian kuantitatif menggunakan uji eksperimental dengan pendekatan secara *cross sectional* untuk mengetahui gambaran kondisi paparan logam berat dan kadar hemoglobin pada populasi pekerja industri batik di Kampung Batik Jetis Sidoarjo yang akan diteliti. Populasi penelitian ini adalah pekerja industri batik di Kampung Batik Jetis Sidoarjo. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah darah pekerja industri batik di Kampung Batik Jetis Sidoarjo. Teknik sampling yang digunakan adalah

purposive sampling dan total sampling. Peneliti menggunakan teknik total sampling karena jumlah subjek yang tersedia hanya sebanyak 19 orang, sehingga tidak memenuhi syarat minimal jumlah sampel berdasarkan rumus Federer yang umumnya digunakan untuk menentukan ukuran sampel dalam penelitian eksperimental. Kriteria Inklusi : Pekerja usia > 30 tahun, Masa kerja > 5 tahun, Responden berjenis kelamin laki-laki dan perempuan, Bersedia menjadi responden penelitian, Bersedia mengisi dan menandatangani informed consent. Kriteria Eksklusi : Pekerja usia > 65 tahun, Masa kerja < 5 tahun.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rumah Sakit Bhayangkara Sabhara Porong dan Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat (BBLABKESMAS) Surabaya pada bulan Juli 2025. Pengambilan darah dilakukan di lokasi tempat kerja pekerja industri batik di Jetis, Sidoarjo. Proses pengambilan darah ini dilakukan ketika pagi hari sebelum para pekerja melakukan aktifitasnya. Darah yang diambil sebanyak 2 tabung vakum, masing-masing tabung sebanyak 3 cc. Tabung K₃EDTA tersebut digunakan untuk pemeriksaan logam berat dan darah lengkap. Tabung 1 digunakan untuk pemeriksaan logam berat timbal dan Tabung 2 digunakan untuk pemeriksaan logam berat kadmium. Tabung yang digunakan untuk pemeriksaan darah lengkap diambil dari salah satu tabung tersebut. Pemeriksaan logam berat tersebut dilakukan di BBLABKESMAS Surabaya. Pemeriksaan darah lengkap dilakukan di laboratorium Rumah Sakit Bhayangkara Sabhara Porong.

Pengukuran kadar logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dilakukan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer Thermo Scientific iCE 3000 Series* dengan metode nyala flame (flame AAS). Proses atomisasi berlangsung pada *burner head* menggunakan *gas acetylene* dengan laju alir ± 1.5 L/menit dan udara ± 10 L/menit. Lampu katoda berlubang (*Hollow Cathode Lamp*) khusus Pb dan Cd digunakan masing-masing pada panjang gelombang 283,3 nm (Pb) dan 228,8 nm (Cd). Data dari hasil penelitian di analisis menggunakan SPSS 23 dengan uji normalitas Saphiro Wilk dan dilanjutkan uji Korelasi Pearson. Penelitian ini telah mendapatkan uji kelaikan etik dari Universitas Airlangga Surabaya Fakultas Kedokteran Gigi dengan nomor sertifikat : 0725/HRECC.FODM/VII/2025.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Responden

Penelitian ini dilakukan di Kampung Batik Jetis, Lemah Putro, Kabupaten Sidoarjo dengan jumlah responden sebanyak 19 orang.

Tabel 1. Distribusi Responden berdasarkan Umur

Rentang Umur	Frekuensi (n)	Persentase (%)
30–39	3	15,8%
40–49	6	31,6%
50–59	8	42,1%
≥ 60	2	10,5%
Total	19	100%

Distribusi responden menunjukkan mayoritas berada pada kelompok umur 50–59 tahun (42,1%) dan 40–49 tahun (31,6%). Pada usia tersebut, tubuh cenderung memiliki metabolisme yang lebih lambat dibanding usia muda, sehingga kemampuan untuk mengeluarkan logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) menurun. Akibatnya, logam berat yang masuk akan lebih mudah menumpuk di jaringan tubuh seperti tulang, ginjal, dan hati. Selain itu, fungsi organ yang mulai menurun di usia menengah ke atas dapat meningkatkan kerentanan terhadap dampak toksik, misalnya gangguan ginjal, saraf, dan sistem peredaran darah. Usia lanjut yang masih bekerja di industri berisiko menambah kemungkinan dampak kesehatan yang serius akibat akumulasi timbal dalam darah maupun jaringan tubuh.

Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya tahun 2015 tentang Hubungan Antara Masa Kerja Dengan Kadar Timbal (Pb) dalam Darah Pada Pekerja Industri Pengecoran Logam CV. Bonjor Jaya di Desa Batur, Ceper, Klaten. Pekerja dengan usia yang lebih tua cenderung memiliki akumulasi paparan lebih tinggi dibandingkan dengan pekerja yang lebih muda, sehingga berisiko lebih besar terhadap gangguan kesehatan akibat paparan kronis di lingkungan kerja [14]

Tabel 2. Distribusi Responden berdasarkan Masa Kerja

Kategori Masa Kerja	Frekuensi (n)	Persentase (%)
10–19 tahun	3	15,8%
20–29 tahun	6	31,6%
30–39 tahun	7	36,8%
≥ 40 tahun	3	15,8%
Total	19	100%

Berdasarkan Tabel distribusi masa kerja responden, mayoritas pekerja telah bekerja cukup lama dalam lingkungan industri yang berisiko paparan timbal dan kadmium. Kelompok masa kerja 30–39 tahun merupakan kelompok yang paling dominan masa kerjanya dengan jumlah 7 responden (36,8%). Semakin lama masa kerja, semakin besar pula peluang paparan kumulatif terhadap logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dari lingkungan kerja. Paparan yang terjadi bertahun-tahun membuat logam berat ini menumpuk di jaringan tubuh, terutama tulang, ginjal, dan hati, karena Pb dan Cd memiliki waktu paruh biologis yang panjang. Pekerja dengan masa kerja ≥ 30 tahun cenderung memiliki kadar logam berat lebih tinggi dan berisiko mengalami gangguan kesehatan kronis seperti kerusakan ginjal, gangguan saraf, dan masalah peredaran darah. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya tahun 2016 tentang masa kerja suatu pekerja di industri karoseri dapat menggambarkan paparan timbal (Pb) dalam darah pekerja karena sifat akumulatif timbal (Pb) sehingga semakin lama masa kerja seseorang maka kadar timbal dalam darah mereka semakin besar [15].

Tabel 3. Distribusi frekuensi responden berdasarkan gejala yang dirasakan

Karakteristik Responden	Jumlah Responden (n)	Persentase %
Pusing		
Merasakan gejala	2	10,5 %
Tidak merasakan gejala	17	89,4 %
Nyeri Sendi		
Merasakan gejala	8	42,1 %
Tidak merasakan gejala	11	57,8 %
Mudah Lelah		
Merasakan gejala	7	36,8 %
Tidak merasakan gejala	12	63,2 %
Iritasi Kulit		
Merasakan gejala	0	0 %
Tidak merasakan gejala	19	0 %
Sesak Nafas		
Merasakan gejala	0	100 %
Tidak merasakan gejala	19	100 %

Berdasarkan hasil penelitian terhadap 19 responden, diperoleh gambaran bahwa terdapat beberapa gejala kesehatan yang dialami oleh para pengrajin batik. Gejala pada tabel 3 yang paling banyak dirasakan adalah nyeri sendi (42,1%), diikuti oleh mudah lelah (36,8%), serta pusing (10,5%). Sementara itu, gejala berupa iritasi kulit dan sesak napas tidak ditemukan pada seluruh responden (0%). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar pengrajin batik memang merasakan keluhan yang berhubungan dengan sistem muskuloskeletal dan kelelahan tubuh, sedangkan gejala respirasi dan dermatologis tidak banyak muncul pada populasi ini. Hal ini sejalan dengan penelitian tahun 2018 yang menunjukkan bahwa pekerja batik yang terpapar logam berat timbal dan kromium mengalami gejala seperti pusing, nyeri sendi, dan iritasi kulit dengan prevalensi 36–48%. Hal ini memperkuat dugaan bahwa gejala yang dialami responden dalam penelitian ini berkaitan dengan paparan kronis logam berat [16].

Tabel 4. Distribusi frekuensi responden berdasarkan penggunaan APD, jenis APD, lama terpapar, dan pengetahuan tentang logam berat

Karakteristik Responden	Kategori	Jumlah Responden (n)	Presentase (%)
Pakai APD	Ya	10	52,6 %
	Tidak	9	47,4 %
Jenis APD	sarung tangan	2	10,5 %
	sarung tangan dan apron	8	42,1 %
	Tidak memakai (0)	9	47,3 %
Lama Rata-Rata Terpapar Pewarna (jam/hari)	4 jam	8	42,1 %
	6 jam	11	57,9 %
Mengetahui Logam Berat	Ya	0	0 %
	Tidak	19	100 %

Berdasarkan data hasil survei terhadap 19 responden, sebagian besar (52,6%) menggunakan APD, namun hampir setengahnya (47,4%) tidak terlindungi sama sekali (tidak menggunakan APD). Jenis APD terbanyak yang digunakan adalah kombinasi sarung tangan dan apron sebesar 42,1%. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar pengrajin telah menggunakan APD, masih ada sejumlah 47,3 % yang sama sekali tidak terlindungi dari paparan zat kimia pewarna batik. Lama paparan pewarna cukup tinggi, yaitu mayoritas responden (57,9%) bekerja selama 6 jam/hari. Paparan dalam waktu yang cukup lama ini berpotensi meningkatkan akumulasi logam berat dalam tubuh [13]. Seluruh responden (100%) tidak mengetahui keberadaan logam berat dalam proses pewarnaan dan mencanting. Kondisi ini menunjukkan masih rendahnya kesadaran dan pengetahuan pengrajin, yang berimplikasi pada kurangnya perlindungan diri.

Tabel 5. Distribusi frekuensi responden berdasarkan kebiasaan merokok, konsumsi alkohol, dan pola konsumsi sehat.

Karakteristik Responden	Kategori	Jumlah Responden (n)	Presentase (%)
Merokok	Ya	6	31,6 %
	Tidak	13	68,4 %
Mengonsumsi Alkohol	Ya	0	0 %
	Tidak	19	100 %
Mengonsumsi Air Mineral	Ya	19	100 %
	Tidak	0	0 %
Mengonsumsi Makanan Bergizi	Ya	19	100 %
	Tidak	0	0 %

Analisis data terhadap 19 responden memperlihatkan bahwa sebanyak 6 orang (31,6%) memiliki kebiasaan merokok, sedangkan 13 orang (68,4%) tidak merokok. Kebiasaan merokok ini berpotensi meningkatkan risiko kesehatan, terutama pada pengrajin batik yang terpapar bahan pewarna mengandung logam berat. Seluruh responden (100%) tidak memiliki kebiasaan mengonsumsi alkohol. Hal ini dapat dianggap sebagai faktor protektif, karena konsumsi alkohol dapat memperburuk fungsi hati dalam metabolisme zat beracun. Seluruh responden (100%) juga mengonsumsi air mineral dengan cukup dan makanan bergizi. Nutrisi yang baik, terutama asupan zat besi, kalsium, dan vitamin, dapat menurunkan penyerapan logam berat dalam tubuh. Dengan demikian, meskipun ada risiko dari kebiasaan merokok, konsumsi makanan bergizi pada seluruh responden bisa membantu mengurangi dampak negatif paparan logam berat [17].

Tabel 6. Distribusi responden dan hasil kadar logam berat dan kadar hemoglobin

No	Karakteristik Responden	N	%	Nilai Normal	Mean
1	Timbal (µg/dL)				3,3737 ± 1,156547
	Normal	8	42,1 %	< 3,5 µg/dL	
	Tidak Normal	11	57,9 %		
	Total	19			
2	Kadmium (ng/mL)				4,4474 ± 1,007399
	Normal	11	57,9 %	< 5 ng/mL	
	Tidak Normal	8	42,1 %		
	Total	19			
3	Hemoglobin (g/dL)				13,8158 ± 2,532733
	Normal	11	57,9 %	11,0 – 15,0 g/dL	
	Tinggi	3	15,8 %		
	Rendah	5	26,3 %		
	Total	19			

Nilai normal kadar timbal (Pb) dalam darah adalah < 3,5 $\mu\text{g/dL}$. Hasil pemeriksaan pada 19 responden menunjukkan rata-rata $3,37 \pm 1,16 \mu\text{g/dL}$. Walaupun rerata berada di bawah ambang batas, distribusi data memperlihatkan bahwa 57,9% responden memiliki kadar Pb di atas normal, mengindikasikan adanya paparan signifikan. Menurut ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2020), timbal merupakan logam berat toksik yang dapat terakumulasi dalam darah, tulang, dan jaringan lunak, dengan waktu paruh di tulang mencapai puluhan tahun. Paparan kronis pada kadar di atas normal dapat menghambat sintesis hemoglobin, mengganggu fungsi ginjal, dan menimbulkan gejala neurologis.

Kadar kadmium (Cd) memiliki nilai normal < 5 ng/mL , dengan rata-rata hasil $4,45 \pm 1,01 \text{ ng/mL}$. Sebanyak 42,1% responden melebihi ambang batas tersebut. WHO (2010) menyebutkan bahwa kadmium memiliki waktu paruh biologis 10–30 tahun dalam ginjal dan hati, sehingga paparan berulang akan menyebabkan akumulasi jangka panjang. Kadmium dapat mengganggu metabolisme kalsium, menyebabkan kerusakan ginjal, dan berkontribusi terhadap anemia melalui inhibisi enzim pembentuk heme.

Rata-rata kadar hemoglobin responden adalah $13,82 \pm 2,53 \text{ g/dL}$ (normal 11,0–15,0 g/dL). Sebanyak 26,3% responden memiliki kadar Hb rendah. Menurut teori toksikologi logam berat, Pb dan Cd dapat menghambat enzim δ -aminolevulinic acid dehydratase (ALAD) dan ferrochelataze yang penting dalam sintesis hemoglobin. Hambatan ini menurunkan produksi Hb, sehingga dapat menimbulkan anemia. Hubungan ini terlihat pada data, di mana beberapa responden dengan kadar Pb atau Cd tinggi juga memiliki Hb rendah dan melaporkan gejala mudah lelah (36,8%) atau nyeri sendi (42,1%).

Karakteristik usia, mayoritas responden berada pada kelompok 50–59 tahun (42,1%) dan 40–49 tahun (31,6%). Teori fisiologi menyebutkan bahwa penuaan menyebabkan penurunan fungsi metabolisme hati dan ginjal sehingga kemampuan tubuh untuk mengeliminasi logam berat berkurang. Hal ini meningkatkan risiko akumulasi Pb dan Cd seiring bertambahnya usia. Dari sisi masa kerja, kelompok terbanyak berada pada kategori 30–39 tahun (36,8%), diikuti 20–29 tahun (31,6%). Menurut Qoriah dkk. (2015), durasi paparan yang panjang sejalan dengan peningkatan kadar logam berat dalam darah karena sifat kumulatifnya. Jenis kelamin tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar Pb, Cd, maupun Hb, sehingga baik pekerja laki-laki maupun perempuan sama-sama berisiko terpapar.

Faktor perilaku dan proteksi diri juga berperan penting. Sebanyak 47,4% responden tidak menggunakan APD, dan mayoritas bekerja selama 6 jam/hari (57,9%). Penggunaan APD yang tepat dapat mengurangi paparan melalui jalur inhalasi maupun dermal. Tidak adanya pengetahuan tentang logam berat (100% responden) menunjukkan rendahnya kesadaran preventif, yang dapat memperburuk risiko kesehatan. Perilaku merokok (31,6% responden) juga berkontribusi terhadap kadar Cd, karena asap rokok mengandung kadmium dalam bentuk partikel halus yang mudah terhirup.

Seluruh responden (100%) mengonsumsi air mineral dan makanan bergizi setiap hari. Menurut teori gizi dan kesehatan lingkungan (WHO, 2017), asupan air mineral yang bersih dapat membantu proses ekskresi logam berat melalui urin, sementara konsumsi makanan bergizi, terutama yang tinggi zat besi, kalsium, dan protein, dapat mengurangi penyerapan logam berat di saluran pencernaan. Zat besi bersaing dengan Pb dalam proses penyerapan di usus, sedangkan kalsium bersaing dengan Cd untuk tempat ikatan pada protein pembawa di tubuh. Hal ini berpotensi menjadi faktor protektif yang menjelaskan mengapa sebagian responden meskipun memiliki lama paparan tinggi, tetap menunjukkan kadar Pb dan Cd dalam batas normal. Namun, faktor ini tidak sepenuhnya melindungi, terbukti dari adanya responden yang masih melebihi nilai ambang batas meskipun pola konsumsi air dan makanan bergizi sudah baik kemungkinan karena tingginya intensitas paparan dan rendahnya penggunaan APD, serta adanya kemungkinan pengaruh dari kebiasaan merokok.

Gejala yang dilaporkan responden bersifat non-spesifik, seperti mudah lelah dan nyeri sendi, namun sesuai dengan efek toksik logam berat pada sistem muskuloskeletal dan hematopoietik. Tidak adanya iritasi kulit atau sesak napas mengindikasikan bahwa jalur paparan utama kemungkinan adalah inhalasi partikel atau kontak tidak langsung melalui kulit yang tertutup. Secara keseluruhan, temuan ini sejalan dengan teori toksikologi bahwa meskipun nilai rata-rata kadar Pb dan Cd berada dalam batas aman, proporsi responden yang melebihi ambang batas tetap tinggi dan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan kronis. Faktor usia, akumulasi paparan, perilaku tanpa APD, dan kebiasaan merokok merupakan determinan penting yang mempengaruhi kadar logam berat dalam tubuh. Pencegahan melalui edukasi, peningkatan penggunaan APD, serta pemantauan kadar logam berat secara rutin direkomendasikan untuk mengurangi risiko jangka panjang.

B. Hubungan Timbal dan Kadmium dengan Kadar Hemoglobin

Penelitian ini dilakukan uji normalitas terhadap tiga variabel, yaitu kadar timbal, kadar kadmium, dan kadar hemoglobin. Karena jumlah responden dalam penelitian ini adalah 19 orang, maka pendekatan yang digunakan dalam menguji normalitas adalah uji Shapiro-Wilk, yang direkomendasikan untuk jumlah sampel kurang dari 50.

Tabel 7. Uji Normalitas Timbal, Kadmium, dan Hemoglobin

Variabel	Uji Normalitas Saphiro Wilk
Timbal	0,061
Kadmium	0,244
Hemoglobin	0,089

Karena seluruh nilai signifikan >0.05 , maka dapat disimpulkan bahwa ketiga variabel berdistribusi normal, sehingga uji korelasi Pearson digunakan untuk analisis hubungan antar variabel.

Tabel 8. Uji Korelasi Timbal dan Kadmium dengan Kadar Hemoglobin

Variabel	Koefisien Korelasi (r)	Signifikansi (p)
Timbal dengan Hemoglobin	-0,447	0,055
Kadmium dengan Hemoglobin	-0,629	0,004

Hasil uji korelasi Pearson antara timbal dan hemoglobin menunjukkan koefisien korelasi negatif sebesar $r = -0,447$ dengan nilai signifikansi $p = 0,055$. Arah korelasi menunjukkan terdapat hubungan sedang antara timbal dan hemoglobin dengan peningkatan kadar timbal cenderung diikuti dengan penurunan kadar hemoglobin. Hal ini sesuai dengan mekanisme toksisitas timbal, di mana timbal mengganggu sintesis hemoglobin melalui penghambatan enzim penting seperti δ -aminolevulinic acid dehydratase (ALAD) [7].

Hasil uji korelasi Pearson antara kadmium dan hemoglobin menunjukkan korelasi negatif yang lebih kuat dan signifikan, yaitu $r = -0,629$ dengan nilai signifikansi $p = 0,004$. Arah korelasi menunjukkan terdapat hubungan yang kuat dengan semakin tinggi kadar kadmium, maka semakin rendah kadar hemoglobin. Paparan kadmium diketahui dapat memicu stres oksidatif, mengganggu penyerapan zat besi, dan mempengaruhi fungsi ginjal sehingga menghambat produksi eritropoietin, hormon yang merangsang produksi sel darah merah [18]. Menurut penelitian sebelumnya tahun 2025 tentang Hubungan Kadar Timbal (Pb) dan Kadar Hemoglobin (Hb) pada Tukang Cat di Kota Makassar diperoleh nilai koefisien korelasi $r = -0,685$. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara kadar timbal dalam darah dengan kadar hemoglobin pada tukang cat di Kota Makassar. Arah hubungan yang negatif menunjukkan bahwa peningkatan kadar timbal dalam darah berasosiasi dengan penurunan kadar hemoglobin [19].

Berdasarkan distribusi frekuensi karakteristik usia dan lama bekerja para responden, mayoritas responden berada dalam rentang usia 50–59 tahun sebanyak 8 orang (47,1%), dan memiliki lama bekerja ≥ 30 tahun sebanyak 6 orang (35,3%). Proporsi ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden telah mengalami paparan lingkungan kerja dalam waktu yang relatif panjang. Usia dan lama bekerja merupakan dua faktor penting yang berpengaruh terhadap akumulasi logam berat dalam tubuh. Paparan logam berat bersifat kumulatif; semakin lama seseorang terpapar, semakin besar risiko akumulasi timbal dan kadmium di dalam darah maupun jaringan tubuh seperti hati, ginjal, dan tulang [20]. Logam berat seperti timbal (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan arsenik (As) dapat menghambat biosintesis heme melalui mekanisme berbeda. Timbal diketahui paling berbahaya karena menginhibisi enzim ALA dehidratase dan ferrochelataase, sehingga menyebabkan akumulasi porfirin dan penurunan produksi heme. Kondisi ini memicu anemia, gangguan metabolisme energi, serta kerusakan sistem saraf, khususnya pada anak-anak. Logam berat lain, seperti merkuri dan kadmium, bekerja dengan mengikat gugus -SH pada enzim, memicu stres oksidatif, dan

mengganggu ekspresi gen sintesis heme. Dampak klinisnya meliputi anemia hipokromik, porfiria sekunder, dan neurotoksisitas [21].

Oleh karena itu, korelasi signifikan antara kadmium dan hemoglobin kemungkinan besar dipengaruhi oleh paparan jangka panjang dari responden yang telah bekerja selama lebih dari 30 tahun dan berusia lebih dari 50 tahun. Kadmium memiliki waktu paruh biologis sangat panjang, mencapai 10–30 tahun dalam jaringan tubuh, terutama di ginjal dan tulang, sehingga efek toksiknya dapat menetap meskipun paparan telah berhenti [22]. Selain menghambat sintesis heme, kadmium juga diketahui dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan stres oksidatif, yang selanjutnya dapat memperburuk proses pembentukan sel darah merah. Stres oksidatif yang diinduksi oleh kadmium merusak membran sel darah dan menyebabkan hemolisis atau penghancuran sel darah merah lebih cepat dari pembentukan [23].

Sementara itu, meskipun kadar timbal juga menunjukkan arah korelasi negatif terhadap hemoglobin, namun hubungan tersebut belum signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya variasi dalam kemampuan metabolisme individu, status gizi, serta faktor protektif seperti konsumsi makanan tinggi antioksidan, zat besi, dan asupan cairan yang cukup, yang diketahui dapat membantu proses ekskresi timbal dari tubuh melalui urin dan feses [24].

VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada 19 pekerja batik di Kampung Batik Jetis, Sidoarjo, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan negatif antara kadar logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dengan kadar hemoglobin (Hb) dalam darah. Terdapat hubungan kuat antara kadar kadmium dan hemoglobin dan terdapat hubungan sedang antara timbal dan hemoglobin. Hasil ini mengindikasikan bahwa paparan kadmium memiliki pengaruh yang lebih kuat terhadap penurunan kadar hemoglobin. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian paparan logam berat dan peningkatan edukasi pekerja mengenai bahaya logam berat terhadap kesehatan, terutama sistem hematologi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak laboratorium BBLABKESMAS Surabaya dan laboratorium Rumah Sakit Bhayangkara Pusdik Sabhara Porong yang telah terlibat pada penelitian ini, dan tidak lupa diucapkan terima kasih kepada seluruh responden di Kampung Batik Jetis Sidoarjo yang turut berpartisipasi dalam penelitian ini. Terima kasih dsampaikan juga kepada orangtua dan teman-teman yang telah membantu dalam proses kelancaran penelitian ini.

REFERENSI

- [1] D. Y. Arfianti, A. F. Afandi, I. Permatasari, F. R. Agustin, and K. Nikmah, "Batik Jetis Sidoarjo," pp. 1–12, 2018.
- [2] I. N. Jannah and I. Muhimmatin, "Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik menggunakan Mikroorganisme di Kecamatan Cluring Kabupaten Banyuwangi," *War. Pengabd.*, vol. 13, no. 3, pp. 106–115, 2019, doi: 10.19184/wrtp.v13i3.12262.
- [3] P. Kharisma Subagyo, "Pengaruh Zat Pewarna Sintetis terhadap Pewarnaan Kain Batik," *J. Fash. Prod. Des. Bus.*, vol. 2, pp. 44–46, 2021, [Online]. Available: <https://journal.uc.ac.id/index.php/FOLIO/article/view/3476>
- [4] K. Oginawati *et al.*, "Investigation of dermal exposure to heavy metals (Cu, Zn, Ni, Al, Fe and Pb) in traditional batik industry workers," *Heliyon*, vol. 8, no. 2, p. e08914, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e08914.
- [5] D. Kurniawati and N. Hidayah, "Identifikasi zat pewarna kimia sintetis dan dampak kesehatan pengrajin batik sasirangan desa Kertak Hanyar Identification of synthetic chemical dyes and the health impact of Sasirangan batik craftsmen in Kertak Hanyar village," pp. 121–133, 2007.
- [6] N. M. Hassona and A. A. El-Wahed, "Heavy Metal Concentrations of Beeswax (*Apis mellifera* L.) at Different Ages," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 111, no. 3, pp. 3–9, 2023, doi: 10.1007/s00128-023-03779-5.
- [7] B. Rosita and H. Mustika, "Hubungan Tingkat Toksisitas Logam Timbal (Pb) Dengan Gambaran Sediaan Apus Darah Pada Perokok Aktif," *J. Kesehat. PERINTIS (Perintis's Heal. Journal)*, vol. 6, no. 1, pp. 14–20, 2019, doi: 10.33653/jkp.v6i1.216.
- [8] D. Y. Shinta and D. P. Mayaserli, "Hubungan Kadar Timbal dan Kadar Hemoglobin Dalam Darah Perokok Aktif," *Pros. Semin. Kesehat. Perintis*, vol. 3, no. 1, pp. 134–138, 2020.
- [9] E. Puspita Anggraeni, F. Khoirunnisa, and A. Aktawan, "Penjerapan Logam Cu dan Cd pada Limbah Cair Batik Menggunakan Adsorben dari Limbah Tulang Ayam," *J. Kim. dan Rekayasa*, vol. 4, no. 1, 2023.
- [10] M. W. Lestari, T. Ahmad, and S. Sulasmi, "Hubungan Kadar Kadmium dalam Darah terhadap Hemoglobin pada Petugas Las," *J. Farmasetis*, vol. 12, no. 4, pp. 491–496, 2023.
- [11] A. E. Charkiewicz, W. J. Omeljaniuk, K. Nowak, M. Garley, and J. Nikliński, "Cadmium Toxicity and Health

- Effects—A Brief Summary,” *Molecules*, vol. 28, no. 18, pp. 1–16, 2023, doi: 10.3390/molecules28186620.
- [12] N. S. Tutik, “Pemeriksaan Kesehatan Hemoglobin di Posyandu Lanjut Usia (Lansia) Pekon Tulung Agung Puskesmas Gadingrejo Pringsewu,” *J. Pengabd. Farm. Malahayati*, vol. 2, no. 1, pp. 22–26, 2019.
- [13] D. Astuti, N. Awang, M. S. Bin Othman, N. F. B. Kamaludin, C. K. Meng, and M. Mutalazimah, “Analysis of Heavy Metals Concentration in Textile Wastewater in Batik Industry Center,” *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 3, pp. 1176–1181, 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i3.3085.
- [14] D. I. Qoriah, O. Setiani, and N. A. Y. Dewanti, “Hubungan Antara Masa Kerja Dengan Kadar Timbal (Pb) Dalam Darah Pada Pekerja Industri Pengecoran Logam CV. Bonjor Jaya Di Desa Batur, Cepur, Klaten,” *Jurnal Kesehat. Masy.*, vol. 3, no. 3, pp. 2356–3346, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkm>
- [15] D. A. Ayu Pusparini, O. S. Setiani, and Y. D. Hanani, “Hubungan Masa Kerja dan Lama Kerja Dengan Kadar Timbal (Pb) Dalam Darah Pada Bagian Pengecatan, Industri Karoseri Semarang,” vol. 4, 2016.
- [16] P. Hastuti *et al.*, “Hubungan timbal dan krom pada pemakaian pewarna batik dengan kadar hemoglobin dan packed cell volume pada pengrajin batik di Kecamatan Lendah Kulon Progo,” *J. Community Empower. Heal.*, vol. 1, no. 1, p. 28, 2018, doi: 10.22146/jcoemph.39156.
- [17] F. Altuno, D. Andari, and M. Setiawan, “Usia, Kebiasaan Merokok, dan Ketidaksiplinan Penggunaan APD Berhubungan dengan Tingginya Kadar Timbal dalam Darah Pekerja,” *Pros. Kongr. XV HUT ke-52 PAAI 2023-4th LUMMENS Role Gut-Brain Axis Indones. Hum. Dev.*, pp. 71–80, 2023, [Online]. Available: <https://fk.ulm.ac.id/ojs/index.php/lummens/article/view/184/158>
- [18] P. Rasin *et al.*, “Exposure to cadmium and its impacts on human health: A short review,” *J. Hazard. Mater. Adv.*, vol. 17, no. November 2024, p. 100608, 2025, doi: 10.1016/j.hazadv.2025.100608.
- [19] Widarti, Z. Armah, Herman, and S. Rahayu, “Hubungan Kadar Timbal (Pb) dan Kadar Hemoglobin (Hb) pada Tukang Cat di Kota Makassar,” *J. Media Anal. Kesehat.*, vol. 16, no. 1, pp. 56–65, 2025.
- [20] S. Rafique, S. S. Gillani, and R. Nazir, “Lead and Cadmium Toxic Effects on Human Health, a Review,” *J. Nutr. Food Sci.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: <https://www.longdom.org/open-access/lead-and-cadmium-toxic-effects-on-human-health-a-review-87204.html%0Ahttps://www.longdom.org/abstract/lead-and-cadmium-toxic-effects-on-human-health-a-review-87204.html%0Ahttps://www.longdom.org/>
- [21] S. J. S. Flora and V. Pachauri, “Chelation in metal intoxication,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 7, no. 7, pp. 2745–2788, 2010, doi: 10.3390/ijerph7072745.
- [22] G. Flora, D. Gupta, and A. Tiwari, “Toxicity of lead: A review with recent updates,” *Interdiscip. Toxicol.*, vol. 5, no. 2, pp. 47–58, 2012, doi: 10.2478/v10102-012-0009-2.
- [23] A. L. Wani, A. Ara, and J. A. Usmani, “Lead toxicity: A review,” *Interdiscip. Toxicol.*, vol. 8, no. 2, pp. 55–64, 2015, doi: 10.1515/intox-2015-0009.
- [24] T. Bhasin, Y. Lamture, M. Kumar, and R. Dhamecha, “Unveiling the Health Ramifications of Lead Poisoning: A Narrative Review,” *Cureus*, vol. 15, no. 10, pp. 1–7, 2023, doi: 10.7759/cureus.46727.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.