

Dampak Paparan Timbal terhadap Anemia Pekerja dan Strategi Intervensi

Impact of Lead Exposure on Anemia at Worker and Intervention Strategies

Yumna Satyani Lasiyo, Doni Hikmat Ramdhan*

Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia

***Corresponding Author : Doni Hikmat Ramdhan**

Email : yumna.satyani@ui.ac.id , doni@ui.ac.id

ABSTRAK

Keracunan timbal masih merupakan kasus besar terkait permasalahan industri dan lingkungan hidup di wilayah negara berkembang. Dalam dekade terakhir telah dilakukan beberapa penelitian mengenai dampak paparan timbal pada kesehatan, salah satunya risiko anemia baik pada pekerja maupun masyarakat sekitar pabrik yang terpajan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dampak dari timbal terhadap risiko anemia di lingkungan kerja, dan strategi intervensi yang dapat dilakukan oleh pihak yang terkait. Penelitian ini termasuk tinjauan literatur yang diperoleh dari pencarian dengan sistem PRISMA 2009. Dari 246 jurnal yang didapatkan dari pencarian pertama, didapatkan sebanyak 20 jurnal yang masuk dalam penelitian ini. Hasil penelitian didapatkan faktor yang mempengaruhi kadar timbal dalam darah adalah kondisi lingkungan, penggunaan APD, perilaku higiene pekerja, dan durasi bekerja baik harian atau jangka panjang. Anemia menjadi salah satu gejala yang dominan dan memiliki dampak pada produktifitas kerja. Strategi intervensi kasus anemia karena paparan timbal yang dapat dilakukan dengan prinsip *hierarchy control* dan perbaikan perilaku higiene individu, serta pemberian suplemen tambahan. Pada kasus berat, terapi kelasi dan alternatif perlu dipertimbangkan. Pengendalian dampak paparan timbal perlu dilakukan oleh manajemen perusahaan dan membutuhkan partisipasi pekerja agar terlindung dari efek intoksikasi pada kesehatan.

Kata Kunci : Paparan Timbal, Anemia, Pekerja, Lingkungan Kerja, Intervensi Anemia

ABSTRACT

Lead poisoning is still a major case of industrial and environmental problems in developing countries. In the last decade, several studies have been conducted on the impact of lead exposure on health, one of which is the risk of anemia in both workers and communities around exposed factories. The aim of this research is to determine the impact of lead on the risk of anemia in the work environment, and intervention strategies that can be carried out by the parties involved. This research includes a literature review obtained from a search using the PRISMA 2009 system. Of the 246 journals obtained from the first search, 20 journals were included in this research. The research results showed that factors that influence blood lead levels are environmental conditions, work area, use of PPE, worker hygiene behavior, and duration of work, either daily or long term. Anemia is one of the dominant symptoms and has an impact on work productivity. Intervention strategies for cases of anemia due to lead exposure can be carried out using the principle of hierarchy control and improving individual hygiene behavior, as well as providing additional supplements. In severe cases, chelation and alternative therapies need to be considered. Controlling the impact of lead exposure needs to be carried out by company management and requires worker participation to be protected from the effects of intoxication on health.

Keywords: Lead Exposure, Anemia, Workers, Work Environment, Anemia Intervention

PENDAHULUAN

Penggunaan logam berat timbal di bidang industri dapat menyebabkan permasalahan pada kesehatan baik pada pekerja maupun lingkungan sekitar. Saat ini, keracunan timbal jarang terlihat di negara-negara maju, namun masih merupakan temuan terkait permasalahan lingkungan hidup di wilayah negara berkembang¹.

Timbal merupakan logam beracun yang secara alami ditemukan di alam, digunakan secara luas pada berbagai produk atau bahan industri. Sifat timbal lunak, elastis, daya regang rendah dan konduktor lemah terhadap listrik, dan tahan korosi. Dalam bentuk bubuk, timbal memiliki reaktivitas rendah dengan terbentuknya lapisan pelindung tipis dari senyawa tidak larut seperti oksida, sulfat, atau oksikarbonat. Karena sifatnya yang demikian, logam ini digunakan dalam berbagai industri untuk kebutuhan hidup manusia. Namun timbal tidak bisa di biodegradasi, tidak akan menghilang melainkan terakumulasi, baik di tubuh manusia atau alam². Pada kehidupan manusia, paparan timbal dapat terjadi melalui faktor pekerjaan ataupun pencemaran lingkungan. Sebagian besar timbal digunakan pada industri baterai asam timbal untuk kendaraan bermotor. Timbal juga ditemukan pada amunisi, pipa, pelapis kabel, material konstruksi, pelapis keramik dan sebagai stabilizer pada plastik³. Pencemaran lingkungan berasal dari penambangan, peleburan, produksi dan daur ulang. Deposisi timbal tersebut dapat tersimpan di tanah dan sumber mata air, sehingga manusia yang tinggal di daerah sekitar industri dapat terkontaminasi oleh logam ini⁴. Selain itu proses industri pabrik pengolahan logam dapat melepaskan sumber pencemaran emisi timbal ke udara, sehingga seseorang yang tinggal dekat di sekitar fasilitas tersebut memiliki resiko tinggi terpajan udara yang terkontaminasi⁵.

WHO memperkirakan terdapat 120 juta orang di seluruh dunia memiliki *blood lead level* (BLL) tinggi lebih dari 10 $\mu\text{g/dL}$ ⁶. Beberapa penelitian sebelumnya telah mempelajari tentang efek timbal terhadap kesehatan seperti fungsi neurologis,

hematologi, kardiovaskuler, ginjal, nyeri kepala, atau nyeri perut berulang⁶⁻⁹. Timbal dapat menggantikan kalsium di dalam sel dan mengganggu aktifitas biologi dari organ dimana terdapat kalsium di dalamnya seperti tulang dan sistem syaraf. Kondisi neurotoksisitas yang menimbulkan gejala *encephalopathy* seperti gangguan ingatan jangka pendek, gangguan kesadaran dan kejang, ditemukan pada anak-anak yang tinggal di sekitar pabrik daur ulang baterai asam timbal yang memiliki BLL lebih dari 70 $\mu\text{g/dL}$. Stunting dan IQ yang lebih rendah daripada kelompok yang tidak terpajan juga menjadi temuan pada FDG yang dilakukan di pabrik daur ulang baterai di Indonesia. Akumulasi timbal dapat merusak sistem saraf tepi dan pusat sehingga berbahaya bagi perkembangan anak-anak^{4,6,10}. Pada sistem hematologi, timbal dapat membuat ikatan dengan protein darah, haemoglobin dan protein plasma, kemudian akan mengganggu sintesis sel darah merah dan tranfer oksigen ke sel sel tubuh¹¹. Kondisi anemia ini dapat mengurangi pasokan oksigen ke seluruh tubuh dan mempengaruhi konsentrasi, kebugaran pekerja yang berdampak pada efektifitas dan produktifitas¹².

Pengendalian pada penggunaan logam berat timbal harus dilakukan oleh tim K3 dan manajemen untuk mengeliminasi atau meminimalisir dampak yang dapat terjadi pada pekerja. Dalam lingkup *industrial hygiene*, pemahaman mengenai hazard dapat menggunakan konsep AREC yaitu *anticipation, recognition, evaluation and control*. Metode pengendalian bahaya dapat menggunakan prinsip *hierarchy control* yaitu eliminasi, rekayasa teknik pengendalian administrasi, dan alat pelindung diri (APD)¹³. Terapi intensif pada kondisi keracunan timbal juga diperlukan untuk dapat menyelamatkan pekerja dari gangguan kesehatan lebih lanjut¹⁴.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan tinjauan menyeluruh tentang dampak paparan timbal terhadap kesehatan pekerja yaitu risiko anemia, termasuk mekanisme toksikologi paparan timbal, jenis pekerjaan yang paling rentan terhadap paparan timbal, dan strategi pencegahan dan mitigasi yang dapat digunakan untuk melindungi pekerja dari risiko kesehatan yang tidak diinginkan. Penelitian ini diharapkan dapat

memberikan wawasan berharga bagi peneliti, praktisi kesehatan, dan pembuat kebijakan untuk meningkatkan perlindungan pekerja dan merancang kebijakan yang lebih baik untuk menangani masalah ini secara holistik.

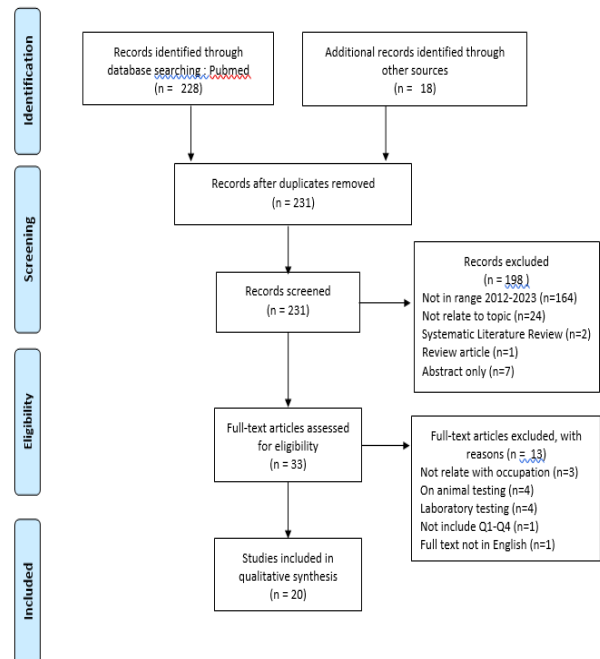
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi tinjauan literatur dengan pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items For Systematic Reviews and Meta Analysis*) Guidance 2009, untuk memilih penelitian terkait pengaruh timbal pada kesehatan yang terkait dengan tempat kerja. Data yang digunakan berupa hasil penelitian terdahulu seperti jurnal dan *case report*. Database yang digunakan dari *Scopus*, *Pubmed*, dan *Lens.org*. Langkah selanjutnya adalah menyaring artikel melalui tahun penerbitan artikel, judul, metode penelitian, dan ranking di Scimago Jr. Artikel yang diteliti adalah yang terindeks Scopus Q1-Q4, dalam bahasa Inggris dan tersedia *fulltext*. Artikel kemudian dicermati yang termasuk kriteria inklusi dan eksklusi.

Identifikasi masalah yang digunakan menggunakan metode PICO, yaitu *Population* : pekerja atau masyarakat yang terpajan timbal terkait tempat kerja; *Intervention/Eksposure* : timbal dan intervensi pada kondisi anemia; *Comparative* : seseorang yang tidak terpajan timbal atau memiliki *blood lead level* di bawah nilai rujukan; *Outcome* : dampak timbal pada risiko anemia dan strategi intervensinya. Jurnal yang termasuk dalam penelitian ini adalah yang terkait dengan efek paparan timbal di tempat kerja terhadap kesehatan, terutama pengaruhnya pada anemia. Selain itu juga mempelajari strategi intervensi pada kondisi anemia yang disebabkan oleh paparan timbal. Kriteria inklusi pada penelitian ini adalah jurnal atau laporan kasus yang dipublikasikan antara tahun 2013 hingga 2023. Artikel yang dipilih yang menggunakan studi *cross sectional*, *cohort*, *randomized control trial* ataupun *case report*. Kriteria eksklusi adalah penelitian pada subjek hewan, laboratorium *in vitro* ataupun *in vivo*, dan keracunan timbal yang tidak terkait tempat kerja. Jurnal yang berfokus pada senyawa terkait timbal atau zat lain tidak diikutsertakan pada penelitian ini.

Hasil pencarian dari tahun 2013-2023,

dari database Pubmed pada kombinasi keyword “*anemia “ lead pb exposure” “worker” “anemia intervention”*” ditemukan 228 jurnal yang kemudian didapatkan 13 jurnal yang sesuai. Dari database Scopus dan lens.org dengan kombinasi keyword “*lead AND pb AND anemia AND worker”*, “*lead exposure”*”, “*anemia intervention”*” ditemukan 18 jurnal dan didapatkan 7 jurnal yang sesuai dengan kriteria eligibilitas. Sehingga total dari jurnal yang diikutsertakan sebanyak 20. Setiap penelitian yang sudah memenuhi kriteria eligible, berikut data yang dikumpulkan yaitu : identitas penelitian (penulis dan tahun) judul dan indeks *scopus*, metode, sampel/populasi, dan hasil penelitian.



Gambar 1. Alur Prisma 2009

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut Hasil jurnal yang terpilih dalam *literature review* mengenai paparan timbal pada risiko anemia dan strategi intervensinya, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Kualitas Penelitian Hasil Studi

No	Peneliti/Tahun	Judul penelitian	Metode	Sampel/Populasi	Hasil
1	Upadhyay et al., 2022	A Comparative Health Assessment of Exposed Individuals with Blood Lead Levels Range across Upper Acceptable Limit (SJR: Q3)	Cross Sectional	Sampel 803, usia > 18 tahun	Kelompok dengan BLL tinggi diatas 40 µg/dL mengalami anemia (p=0.004) dan gejala anemia berupa pucat (p=0.002) dibandingkan kelompok acceptable BLL.
2	Ślota et al., 2021	Relationship between lead absorption and iron status and its association with oxidative stress markers in lead-exposed workers (SJR: Q2)	Cross sectional	Sampel 270 pekerja pria	Tidak ada korelasi signifikan antara konsentrasi serum Fe dengan PbB. Kelompok H-Fe memiliki ZPP lebih rendah dan TAC lebih tinggi. Level Hb lebih tinggi pada H-Fe daripada L-Fe (p=0.014)
3	Li & Taneepanichskul, 2021	Associations between welding fume exposure and blood hemostatic parameters among workers exposed to welding fumes in confined space in Chonburi, Thailand (SJR: Q3)	Cross sectional	Sampel 86 pekerja pria	Kelompok welder terpajan Mn dan Cr 3-4x lebih tinggi daripada non welder (p=0.001 dan p=0.032). Kelompok welder memiliki Hct lebih tinggi daripada non welder (p=0.026). Terdapat korelasi negatif antara WBC dengan grup terpajan Mn (p=0.045), namun tidak ada hasil signifikan antara WBC dengan tipe pekerjaan
4	Baloch et al., 2020	Occupational exposure of lead and cadmium on adolescent and adult workers of battery recycling and welding workshops: Adverse impact on health (SJR: Q1)	Cross sectional	Sampel 375 pekerja, 220 dewasa (20-45 tahun) dan 155 remaja (12-18 tahun)	Terdapat korelasi signifikan antara level Pb darah dengan hemoglobin pada dewasa (r=-0.78).
5	Kaneko et al., 2020	Occupational Lead Poisoning in a Patient with Acute Abdomen and Anemia Normocytic (SJR: Q3)	Case Report	Laporan 1 kasus	Pekerja mengalami nyeri abdomen, normocytic anemia, terdapat <i>high density area</i> pada lambung dan usus halus, suspek partikel timbal. Kondisi klinis dan level Pb darah membaik setelah ronde ke4 pemberian CaEDTA
6	Teerasarntipan et al., 2020	Changes in Inflammatory Cytokines, Antioxidants and Liver Stiffness after Chelation Therapy in Individuals with Chronic Lead Poisoning	Cohort	Sampel 86 pekerja	Durasi paparan timbal berhubungan secara signifikan dengan derajat fibrosis hati (p=0.021). Terapi chelasi menurunkan BLL (p <0.001), <i>liver stiffness</i> (p=0.001), dan

No	Peneliti/Tahun	Judul penelitian	Metode	Sampel/Populasi	Hasil
		(SJR: Q2)			sitokin pro inflamasi (p <0.001)
7	Du et al., 2020	Rare Cases of Severe Life-Threatening Lead Poisoning due to Accident or Chronic Occupational Exposure to Lead and Manganese: Diagnosis, Treatment, and Prognosis (SJR: Q3)	Case Report	Laporan 2 kasus	Manifestasi keracunan timbal akut dan kronik berbeda. Akut terdapat kerusakan hati berat, kronik terdapat lead lines di gusi, dan memiliki kanker paru. Terapi chelasi dengan CaNa ₂ EDTA terbukti menjadi <i>life saving therapy</i> .
8	Shaikh et al., 2019	Geochemical exposure of heavy metals in environmental samples from the vicinity of old gas mining area in northern part of Sindh Pakistan. (SJR: Q1)	Cross sectional	Sampel 375 anak (expose 185, non expose 190)	Hb anak terpajan lebih rendah dari anak tidak terpajan, dan Cd Pb memiliki korelasi negatif dengan kadar Hb (r=-0.572 to -0.784 p < 0.01)
9	Mohammadyan et al., 2019	Investigation of occupational exposure to lead and its relation with blood lead levels in electrical solderers (SJR: Q2)	Cross Sectional	Sampel 40 pekerja solder wanita	Terdapat hubungan signifikan antara konsentrasi timbal udara dg BLL. Factor yang mempengaruhi lingkungan udara pekerja, BMI, musim. Upaya : <i>lead free alloys</i> , ventilasi lokal, dan menurunkan waktu paparan.
10	Goel & Chowgule, 2019	Outbreak investigation of lead neurotoxicity in children from artificial jewelry cottage industry (SJR: Q1)	Case-control	Laporan kasus 29 anak (15 kasus 14 kontrol)	BLL case lebih besar dari control (p<0.001), Hb case lebih rendah daripada control (p 0.002) dan ada korelasi negative antara BLL dan Hb. Seluruh kasus dirujuk ke faskes lanjutan untuk dilakukan terapi chelation. Keracunan timbal akut diakibatkan dari aerosol timbal dan ventilasi buruk. Lead smelting dalam rumah menjadi faktor resiko yg berhubungan dengan BLL tinggi (p=0.04)
11	Hsieh et al., 2017	Anemia risk in relation to lead exposure in lead-related manufacturing (SJR: Q1)	Cross sectional	Sample 771 (553 pria 218 wanita)	Paparan Pb secara signifikan berhubungan dengan risiko anemia. Risiko abnormal anemia dapat menurun dengan menggunakan standar BPb ditempat kerja sebesar 25 (BPb menurun 67-77%) dan 15 (BPb menurun 86-95%)

No	Peneliti/Tahun	Judul penelitian	Metode	Sampel/Populasi	Hasil
12	Kang & Park, 2017	Lead Poisoning at an Indoor Firing Range (SJR: Q1)	Case Report	Laporan 1 kasus	Penurunan BLL setelah diberikan terapi chelasi 5 hari, dari 64 µg/dL menjadi 9,7 µg/dL.
13	Dutta & Khan, 2016	An analytical study of lead in blood serum and urine in relation to health of silver jewellery workers of Ajmer City, Rajasthan (SJR: Q4)	Cross sectional	Sampel 40 pekerja	Semakin lama pekerja terpajan, semakin tinggi kadar Pb dalam darah dan urine. Temuan keluhan pekerja yang terpajan yaitu gangguan konsentrasi, ensepalopati, <i>fatigue</i> , <i>colic abdomen</i> , aborsi spontan, sperma abnormal, anemia, gagal ginjal, dan sebagainya.
14	Haryanto, 2016	Lead exposure from battery recycling in Indonesia (SJR: Q1)	Cohort	Sampel 46 masyarakat yang tinggal di area pabrik	Ditemukan gangguan neurologis pada keluarga yang tinggal lebih dari 30 tahun di pabrik daur ulang baterai asam timbal dengan nilai BLL > 30µg/dL. Terdapat peningkatan BLL sejak 2011 vs 2015 sebanyak 2x lipat.
15	Kasperczyk et al., 2016	Effect of N-acetylcysteine administration on homocysteine level, oxidative damage to proteins, and levels of iron (Fe) and Fe-related proteins in lead-exposed workers (SJR: Q3)	RCT	Sampel 171 pekerja pria	Terapi NAC menurunkan level Pb darah dibandingkan grup reference. Terapi NAC menormalkan level Hcy, menurunkan level protein carbonyl group. NAC meningkatkan aktivitas dehidrogenase, sementara grup protein thiol naik hanya pada grup NAC 200. NAC tidak mempengaruhi level Fe dan TRF, sementara HPG terdapat kecenderungan menurun. NAC dapat diketahui sebagai terapi alternative keracunan timbal pada manusia
16	Basit et al., 2015	Occupational lead toxicity in battery workers (SJR: Q3)	Cohort	Sampel 50 pekerja	Pada pekerja LAB didapatkan 100% anemia dan rata-rata BLL tinggi. Gejala keracunan timbal yang signifikan adalah mual (p=0.022) dan lead line di gusi (p=0.009). BLL ditemukan lebih tinggi pada perokok.
17	Ahmad et al., 2014	Blood Lead Levels and Health Problems of Lead Acid Battery Workers in Bangladesh (SJR: Q2)	Cross sectional	Sampel 118 pekerja	Mean BLL paling tinggi di area <i>acidifying</i> , <i>plating</i> , and <i>opening</i> . Durasi kerja setiap hari (p=0.029), smoking (p=0.012), meningkatkan BLL sementara mandi menurunkan BLL (t= -2.81 p=0.008). High BLL berkorelasi dengan

No	Peneliti/Tahun	Judul penelitian	Metode	Sampel/Populasi	Hasil
					hipertensi (sebanyak 29,8% p 0,027) dan anemia (mean 11,4 gr/dL sebanyak 28% anemia; p < 0.001). Keluhan terbanyak adalah nyeri kepala, kesemutan, nyeri kolik, mual, tremor, lead line di gusi (p< 0.05). regresi : mengubah durasi kerja sif dan mandi secara reguler akan mengubah BLL 0,425 standard deviation)
18	Kasperczyk et al., 2014	Beta-carotene reduces oxidative stress, improves glutathione metabolism and modifies antioxidant defense systems in lead-exposed workers (SJR: Q1)	RCT	Experimental	Dengan betacarotene terdapat penurunan BLL sebanyak 3,26 (p= 0.023). Terdapat penurunan MDA, lipid hidroperoksida, lipofuscin , penurunan glutation peroksidase(p < 0.001), peningkatan level glutation, dan aktivitas G6PD dan katalase begitupula alpha tocopherol. Terjadi penurunan stress oksidatif dengan suplementasi pada keracunan timbal kronis.
19	Song et al, 2014	High lead exposure in two leaded bronze ingot foundry workers (SJR: Q3)	Case Report	Laporan 2 kasus	Terdapat 2 pekerja memiliki BLL diatas rekomendasi yaitu 61,1 dan 51,7. Penyebab tingginya BLL adalah sistem exhaust yang buruk pada sistem pengecoran, higiene pekerja, tidak adanya MSDS, tipe APD yang tidak memadai.
20	M.Petracca et,al 2013	Imported occupational lead poisoning: report of four cases (SJR: Q2)	Case Report	Laporan 4 kasus	Terdapat 4 pekerja dengan nyeri perut berulang, ditemukan BLL tinggi pada darah dan urine,penurunan ALA-D, peningkatan ZPP dan peningkatan ALA-U dan porfirin. Dengan terapi EDTA, semua parameter kembali normal.

Intoksikasi timbal termasuk penyakit okupasi yang terkarakterisasi dengan sangat baik oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Timbal memiliki batas *biological monitoring* sebesar 40µg/dL pada pekerja yang terpajan³. Pada literatur yang ditelaah, mayoritas berasal dari sektor pabrik baterai asam timbal sebanyak 7 penelitian, sementara penelitian lain berasal dari 2

penambangan timbal, 2 bekas penambangan minyak, atau pabrik daur ulangnya, 1 pabrik spare part listrik, 1 pabrik perhiasan imitasi, dan sisanya berada di lingkungan pekerjaan terkait timbal. Hal ini dikarenakan sebagian besar material yang digunakan pada baterai dari timbal baik pada bahan baku dan prosesnya. Hampir 80% sampel yang termasuk dalam penelitian memiliki BLL

lebih dari 40µg/dL dan memiliki gejala terkait kesehatan baik akut maupun kronik.

Faktor yang Mempengaruhi Blood Lead Level

Kadar timbal dalam tubuh seseorang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Paparan timbal dari lingkungan memiliki peran utama, terutama ketika telah melebihi nilai ambang batas. Debu atau aerosol timbal yang muncul akibat proses kerja, dapat dengan mudah masuk dalam tubuh manusia. Ventilasi yang buruk dan minimnya penggunaan APD akan memperbesar risiko. Terdapat korelasi signifikan antara level timbal di udara dengan BLL, meskipun seluruh parameter darah masih berada dalam level yang normal. Jumlah timbal di udara yang di atas nilai ambang batas, BMI pekerja, dan musim berpengaruh pada BLL¹¹. Pada pekerja perhiasan yang dilakukan di dalam rumah, ditemukan mengalami kenaikan BLL diatas nilai rujukan diakibatkan terutama karena sistem ventilasi yang buruk pada *smelting areas*. Pekerja dan keluarga tidak mengenakan APD yang memadai⁶. Rute paparan lain dapat terjadi melalui ingesti atau tertelan. Kebiasaan merokok dan makan di tempat kerja akan meningkatkan risiko tertelan, terlebih saat pekerja tidak mencuci tangan. Pencemaran limbah timbal juga akan berdampak pada penduduk sekitar. Pada masyarakat di area pabrik daur ulang baterai ditemukan korelasi positif antara tingginya konsentrasi timbal di sumber air dan tanah dengan kadar BLL yang tinggi ($r = 0.87, p < 0.01$)^{4,8}.

Faktor lain yang menyebabkan meningkatnya BLL karena para pekerja tidak mengenakan pelindung wajah ataupun kacamata dan sarung tangan, tidak melakukan sanitasi yang baik seperti rajin mencuci tangan. Hal-hal tersebut memungkinkan terjadinya rute paparan timbal ke dalam tubuh melalui inhalasi dan ingesti. Sementara perilaku mandi setelah bekerja dapat menurunkan BLL secara signifikan ($r = -2.81, p = 0.008$)^{8,24}. Durasi kerja juga berpengaruh pada level timbal dalam darah. Semakin lama pekerja terpapar timbal dalam tiap shift kerja, ataupun pada pekerja yang telah lama bekerja akan meningkatkan risiko paparan. Lebih dari separuh pekerja yang diteliti oleh Basit et al.,²³ memiliki durasi kerja selama 10-15 tahun dan menunjukkan peningkatan BLL berkorelasi dengan kenaikan jam kerja per harinya. Li melaporkan, pekerja yang bekerja dengan paparan timbal fume di area welding selama kurang dari 1 tahun memiliki mean BLL 10,86 dan tidak mengalami anemia. Hal

ini dipengaruhi oleh durasi dan APD yang dikenakan¹⁷.

Dampak Paparan Timbal pada Kesehatan dan Risiko Anemia

Paparan timbal yang masuk dalam tubuh manusia akan ditransportasi ke jantung, tulang, usus, ginjal, reproduksi dan sistem syaraf yang menyebabkan efek samping pada jaringan tertentu. Gejala yang dapat terlihat dari paparan kronis timbal adalah adanya garis kebiruan di area gusi (*lead line gum*) dikarenakan deposisi timbal pada gusi. Kulit pucat mengindikasikan terjadinya kondisi anemia. Keluhan pencernaan seringkali di alami seperti mual, muntah, dan nyeri perut.. Keluhan nyeri perut berulang muncul pada intoksikasi timbal yang diakibatkan deposisi timbal pada saluran pencernaan⁸. Ditemukan adanya densitas tinggi pada lambung dan usus halus yang dicurigai sebagai timbal yang terakumulasi¹⁸.

Anemia terkait intoksikasi timbal menjadi gejala klasik yang terjadi karena paparan logam berat tersebut. Pada laporan kasus pada 4 pekerja di pabrik daur ulang baterai mengalami nyeri perut akut berulang, 3 diantaranya mengalami anemia normositik dan normokromik. Pekerja tersebut bekerja antara 7 hingga 13 bulan. Dua diantara pekerja tersebut memiliki BLL di atas 40 µg/dL. Gejala dan kadar Pb dalam darah membaik setelah pemberian terapi kelasi²⁶. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Ahmad et al.,²⁴ yang menyatakan bahwa BLL yang tinggi berkorelasi dengan anemia ($p < 0.001$). Ditemukan pula *basophilic stippling* di sel darah merah yang mengindikasinya intoksikasi signifikan timbal pada jangka waktu yang lama²⁴. Penelitian pada 29 anak di area industri perhiasan imitasi rumahan, ditemukan seluruhnya memiliki kadar haemoglobin lebih rendah dengan rata-rata Hb 8,5 ± 1.4 gr/dL dibandingkan dengan kontrol ($p = 0.002$). Terdapat korelasi negatif antara BLL dan Hb ($r = -0.537, p = 0.003$) walaupun faktor ekonomi sosial juga mempengaruhi kondisi anemia pada anak-anak tersebut. Namun, Hb yang secara signifikan lebih rendah pada anak di bawah 3 tahun menunjukkan bahwa semakin muda usia semakin rentan mengalami intoksikasi timbal dengan jumlah paparan yang sama. Pada kelompok tersebut terdapat gejala keterlambatan tumbuh kembang dan gangguan neurologis⁶.

Logam berat dapat merusak proses molekuler suatu organisme adalah dengan cara

mengganggu aktifitas enzim di dalam sel. Ikatan logam dengan ligan organik dapat menyebabkan perubahan sterik pada molekul enzim dan merusak fungsinya. Selain itu logam juga menjadi sumber stress oksidatif yang menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS) dan menghambat enzim antioksidan²⁷. Anemia yang diinduksi karena timbal menjadi gejala tersering setelah paparan logam tersebut. Gangguan ini muncul akibat gangguan pada sistem molekuler yaitu menurunnya konsentrasi heme yang membentuk haemoglobin di sel darah merah. Timbal diketahui dapat mengganggu sistem enzim *d-aminolevulinic acid dehydratase* (ALAD) dan aktivitas *ferrochelatase* yang berperan pada proses pembentukan haemoglobin dan mempercepat perusakan sel darah merah karena peningkatan *free erythrocyte zinc protoporphyrins* (ZPP). Keadaan ini akan menurunkan haemoglobin dan berdampak anemia.^{24,27,28} Kondisi anemia akan menyebabkan kurangnya oksigen yang beredar dalam tubuh, yang menyebabkan konsentrasi seseorang menurun, mengantuk, dan mudah lelah. Kapasitas kerja seperti *aerobic capacity*, ketahanan, efisiensi, aktifitas sadar, dan produktifitas akan menurun²⁹. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi kinerja seseorang hingga mengganggu kualitas hidup sehari-hari.

Strategi Intervensi pada Anemia Akibat Paparan Timbal

Upaya strategi untuk memahami keadaan intoksikasi timbal di lingkungan kerja, dapat menggunakan konsep AREC, dan dilakukan pengendalian dengan metode *hierarchy control*¹³. Tahapan antisipasi dapat dilakukan dengan pengumpulan informasi melalui studi literatur, dokumen perusahaan, dan memiliki data MSDS untuk seluruh material yang digunakan pada proses manufaktur, yang kemudian menghasilkan daftar potensi bahaya dan risiko yang dapat terjadi^{26,28}. Rekonisasi identifikasi bahaya logam timbal dilakukan untuk mengenali bahaya dengan lebih detail dan komprehensif. Hal yang perlu dilakukan yaitu inspeksi rutin, laporan kunjungan kesehatan karyawan, *preliminary hazard analysis* dan *job safety analysis*. Evaluasi berasal dari kombinasi dari pengukuran dari proses kerja, yaitu nilai ambang dari setiap area, dari uap, laju udara dan suhu. Nilai ambang pada pekerja dapat dilihat melalui level timbal di zona pernafasan, nilai ambang darah dan kulit kepala, sementara tingkat pencemaran lingkungan perlu dilihat nilai ambang

tanah dan sumber mata air¹¹. Pengukuran ini wajib dilakukan secara rutin, apabila ditemukan paparan tinggi perlu dilakukan tindakan segera. Observasi dan wawancara pada pekerja dilakukan untuk meninjau dampak timbal pada kesehatan secara langsung.

Tabel 2. Strategi Intervensi dan Pengendalian

Judul	Intervensi dan Pengendalian
A Comparative Health Assessment of Occupationally Lead Exposed Individuals with Blood Lead Levels Range Across Upper Acceptable Limit ¹⁵	Pekerja yang terpajan logam berat harus dievaluasi setiap 6 bulan
Investigation of Occupational Exposure to Lead and Its Relation with Blood Lead Levels in Electrical Solderers ¹¹	Ventilasi lokal yang memadai, monitoring NAB, mengurangi waktu paparan, disiplin penggunaan APD belajar asupan makanan yg dapat memfasilitasi ekskresi timbal seperti susu vitamin c, pelatihan higiene, screening program
Anemia Risk in Relation to Lead Exposure in Lead-related Manufacturing ²⁰	Rekomendasi batas maksimal BLL 25 µg/dL pada pria dan BLL 15 µg/dL pada wanita
Effect of diet-induced weight loss on iron status and its markers among young women with overweight/obesity and iron deficiency anemia ³⁰	Mandi rutin di tempat kerja setelah selesai bekerja (p=0.008). Rotasi kerja bagi yang sudah lama terpajan
High Lead Exposure in Two Leaded Bronze Ingot Foundry Workers ²⁸	MSDS seluruh material, sistem exhaust memadai, tidak merokok dan makan di area kerja

Pelaksanaan pengendalian bahaya dilakukan setelah mengidentifikasi bahaya-bahaya yang dapat muncul. Pada rekayasa teknik dapat dilakukan menyediakan ventilasi lokal yang dibuat oleh tenaga ahli dan harus memadai pada setiap area. Pengukuran nilai ambang dari uap logam, laju udara, dan suhu harus dilakukan dengan tepat^{11,23}. Pada kontrol administrasi, dapat dilakukan penerapan batasan kadar timbal dalam darah maksimal yang diperbolehkan. Wanita lebih rentan terkena anemia daripada pria. Risiko anemia dapat menurun dengan menggunakan standar BLL ditempat kerja sebesar 25 µg/dL (menurun 67-77%) dan 15 µg/dL (menurun 86-95%)²⁰. Apabila telah didapatkan nilai telah melebihi ambang batas, perlu dilakukan tindakan seperti mengurangi waktu paparan atau pergantian posisi pekerja agar tidak terpajan timbal terlalu

lama. Perubahan perilaku menjadi poin penting dalam pengendalian, yaitu penerapan sanitasi yang baik seperti rutin mencuci tangan, tidak merokok dan makan saat bekerja, mandi di kantor sesuai bekerja, dan mengganti pakaian sebelum pulang ke rumah. Untuk meminimalisir paparan pada pekerja, harus disediakan APD yang memadai, termasuk masker sesuai level paparan dan kacamata pelindung yang wajib digunakan oleh pekerja. Pembersihan area harus dilakukan setiap hari untuk menghilangkan debu mengandung timbal²⁸. Pada model yang diteliti Ahmad et al.,²⁴ kombinasi dari pengelompokan paparan, pengaturan durasi shift kerja dan mandi sesuai bekerja memiliki nilai perubahan tertinggi dalam mengatasi kenaikan BLL ($R^2 = 35.2$; $p < 0.001$). Pemberian suplementasi makanan seperti zat besi diketahui dapat menurunkan ZPP yang muncul akibat reaksi intoksikasi timbal penanda stress oksidatif. Makanan yang mengandung *beta carotene* seperti wortel, tomat, atau sayuran berwarna cerah diketahui memiliki korelasi signifikan dalam menurunkan BLL ($p = 0.023$), penanda stress oksidatif ($p < 0.001$) dan meningkatkan enzim antioksidan dalam tubuh. Perusahaan juga dapat memberikan makanan yang mempercepat eliminasi timbal dari dalam tubuh seperti susu ataupun vitamin C^{11,25,27}. Pada kasus intoksikasi timbal berat, perlu dilakukan terapi intensif di fasilitas kesehatan dengan terapi kelasi untuk membuang logam berat dari dalam tubuh. Terapi kelasi berfungsi untuk membentuk ikatan dengan logam sehingga mudah dikeluarkan melalui ginjal. Pengobatan ini dapat digunakan pada kondisi intoksikasi timbal akut sebagai *life-saving therapy* ataupun kondisi kronik. Selain terapi kelasi, terapi alternatif untuk intoksikasi timbal menggunakan obat N-asetilsistein yang terbukti dapat menurunkan level BLL dan stress oksidatif dan meningkatkan antioksidan^{19,21,31}.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil telaah tinjauan 20 literatur, penelitian ini menyimpulkan bahwa masih terdapat banyak permasalahan kesehatan yang disebabkan oleh paparan timbal di lingkungan kerja. Faktor yang mempengaruhi tingginya level timbal dalam darah adalah kondisi lingkungan, penggunaan APD, perilaku higiene pekerja, dan durasi bekerja baik harian atau jangka panjang. Gejala paling sering dari intoksikasi timbal adalah anemia, nyeri perut, nyeri kepala, hipertensi, *lead line gum*, dan

gangguan neurologis pada anak-anak. Anemia menjadi salah satu gejala yang sering diabaikan, namun memiliki dampak luas seperti penurunan kapasitas kerja seperti *aerobic capacity*, ketahanan, efisiensi, aktifitas sadar, dan produktifitas kerja. Strategi intervensi kasus anemia karena paparan timbal yang dapat dilakukan adalah pengukuran nilai ambang batas paparan di lingkungan dan *biological monitoring*, evaluasi kesehatan rutin, rekayasa ventilasi oleh tenaga ahli, disiplin dalam penggunaan APD, perbaikan perilaku higiene individu, dan pemberian suplemen tambahan seperti zat besi dan makanan mengandung *beta-carotene*. Pada kasus berat, terapi kelasi dan alternatif perlu dipertimbangkan untuk menangani intoksikasi timbal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Riva MA, Lafranconi A, D'Orso MI, Cesana G. Lead poisoning: Historical aspects of a paradigmatic "occupational and environmental disease." Vol. 3, Safety and Health at Work. Elsevier Science B.V.; 2012. p. 11–6.
2. Ghazi AM, Millette JR. Lead. In: Environmental Forensics. Elsevier; 1964. p. 55–79.
3. OSHA. Lead [Internet]. 2023 [cited 2023 Nov 24]. Available from: <https://www.osha.gov/lead>
4. Shaikh R, Kazi TG, Afridi HI, Akhtar A, Baig JA, Arain MB. Geochemical Exposure of Heavy Metals in Environmental Samples from The Vicinity of Old Gas Mining Area in Northern Part of Sindh Pakistan. Adverse Impact on Children. Environmental Pollution. 2019 Dec 1;255.
5. Luz AL, Wu X, Tokar EJ. Toxicology of Inorganic Carcinogens. Advances in Molecular Toxicology. 2018 Jan 1;12:1–46.
6. Goel AD, Chowgule R V. Outbreak Investigation of Lead Neurotoxicity in Children from Artificial Jewelry Cottage Industry. Environ Health Prev Med. 2019 May 10;24(1).
7. Dutta S, Khan F. Nature Environment and Pollution Technology An International Quarterly Scientific Journal An Analytical Study of Lead in Blood Serum and Urine in Relation to Health of Silver Jewellery Workers of Ajmer City, Rajasthan.

- 2016;15:211–6. Available from: www.neptjournal.com
8. Baloch S, Kazi TG, Baig JA, Afridi HI, Arain MB. Occupational Exposure of Lead and Cadmium on Adolescent and Adult Workers of Battery Recycling and Welding Workshops: Adverse Impact on Health. In: *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V.; 2020.
 9. Shabani M, Hadeiy SK, Parhizgar P, Zamani N, Mehrad H, Hassanian-Moghaddam H, et al. Lead poisoning; A neglected potential diagnosis in abdominal pain. *BMC Gastroenterol*. 2020 May 6;20(1).
 10. Haryanto B. Lead Exposure from Battery Recycling in Indonesia. *Rev Environ Health*. 2016 Mar 1;31(1):187–90.
 11. Mohammadyan M, Moosazadeh M, Borji A, Khanjani N, Rahimi Moghadam S. Investigation of Occupational Exposure to Lead and Its Relation with Blood Lead Levels in Electrical Solderers. *Environ Monit Assess*. 2019 Mar 1;191(3).
 12. Scholz BD, Gross R, Schultink W, Sastroamidjojo S. Anaemia is associated with reduced productivity of women workers even in less-physically-strenuous tasks. *British Journal of Nutrition*. 1997;77(1):47–57.
 13. Spellman FR. *Industrial Hygiene Simplified: A Guide to Anticipation, Recognition, Evaluation, and Control of Workplace Hazards*. Government Institutes, editor. Lanham, Maryland Toronto: The Scarecrow Press, Inc.; 2006.
 14. Du X, Zheng W, Ye Q. Rare Cases of Severe Life-Threatening Lead Poisoning Due to Accident or Chronic Occupational Exposure to Lead and Manganese: Diagnosis, Treatment, and Prognosis. *Toxicol Ind Health*. 2020 Dec 1;36(12):951–9.
 15. Upadhyay K, Viramgami A, Balachandar R, Pagdhune A, Sen S, Sarkar K. A Comparative Health Assessment of Occupationally Lead Exposed Individuals with Blood Lead Levels Range Across Upper Acceptable Limit. *Indian Journal of Community Medicine*. 2022 Jul 1;47(3):343–6.
 16. Słota M, Wąsik M, Stołtny T, Machoń-Grecka A, Kasperczyk A, Bellanti F, et al. Relationship Between Lead Absorption and Iron Status and Its Association with Oxidative Stress Markers in Lead-Exposed Workers. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2021 Dec 1;68.
 17. Li N, Taneepanichskul N. Associations Between Welding Fume Exposure and Blood Hemostatic Parameters among Workers Exposed to Welding Fumes in Confined Space in Chonburi, Thailand. *PLoS One*. 2021 Nov 1;16(11 November).
 18. Kaneko M, Kazatani T, Shikata H. Occupational lead poisoning in a patient with acute abdomen and normocytic anemia. *Internal Medicine*. 2020 Jun 15;59(12):1565–70.
 19. Teerasartipan T, Chaiteerakij R, Prueksapanich P, Werawatganon D. Changes in Inflammatory Cytokines, Antioxidants and Liver Stiffness After Chelation Therapy in Individuals with Chronic Lead Poisoning. *BMC Gastroenterol*. 2020 Aug 8;20(1).
 20. Hsieh NH, Chung SH, Chen SC, Chen WY, Cheng YH, Lin YJ, et al. Anemia risk in relation to lead exposure in lead-related manufacturing. *BMC Public Health*. 2017 May 5;17(1).
 21. Kang KW, Park WJ. Lead Poisoning at an Indoor Firing Range. *J Korean Med Sci*. 2017 Oct 1;32(10):1713–6.
 22. Kasperczyk S, Dobrakowski M, Kasperczyk A, Romuk E, Rykaczewska-Czerwinska M, Pawlas N, et al. Effect of N-Acetylcysteine Administration on Homocysteine Level, Oxidative Damage to Proteins, and Levels Of Iron (Fe) and Fe-Related Proteins in Lead-Exposed Workers. *Toxicol Ind Health*. 2016 Sep 1;32(9):1607–18.
 23. Basit S, Karim N, Munshi AB. Occupational Lead Toxicity in Battery Workers. *Pak J Med Sci*. 2015;31(4):775–80.
 24. Ahmad SA, Khan MH, Khandker S, Sarwar AFM, Yasmin N, Faruquee MH, et al. Blood Lead Levels and Health Problems of Lead Acid Battery Workers in Bangladesh. *The Scientific World Journal*. 2014;2014.

25. Kasperczyk S, Dobrakowski M, Kasperczyk J, Ostałowska A, Zalejska-Fiolka J, Birkner E. Beta-Carotene Reduces Oxidative Stress, Improves Glutathione Metabolism and Modifies Antioxidant Defense Systems in Lead-Exposed Workers. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2014 Oct 1;280(1):36–41.
26. Petracca M, Scafa F, Boeri R, Flachi D, Candura SM. Imported Occupational Lead Poisoning: Report of Four Cases. Vol. 104, *Med Lav*. 2013.
27. Słota M, Wąsik M, Stołtny T, Machoń-Grecka A, Kasperczyk S. Effects of Environmental and Occupational Lead Toxicity and Its Association with Iron Metabolism. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2022 Jan 1;434.
28. Song Y, Suh C, Kim SA, Kim N, Kim SM, Jeong SW, et al. High Lead Exposure in Two Leaded Bronze Ingot Foundry Workers. *Ann Occup Environ Med*. 2014 Dec 1;26(1).
29. Haas JD, Brownlie T. Iron-Deficiency Anemia: Reexamining the Nature and Magnitude of the Public Health Problem Iron Deficiency and Reduced Work Capacity: A Critical Review of the Research to Determine a Causal Relationship 1,2. American Society for Nutritional Sciences [Internet]. 2001; Available from: <https://academic.oup.com/jn/article/131/2/676S/4686866>
30. Alshwaiyat NM, Ahmad A, Al-Jamal HAN. Effect of diet-induced weight loss on iron status and its markers among young women with overweight/obesity and iron deficiency anemia: a randomized controlled trial. *Front Nutr*. 2023;10.
31. Pawlas N, Dobrakowski M, Kasperczyk A, Kozłowska A, Mikołajczyk A, Kasperczyk S. The Level of Selenium and Oxidative Stress in Workers Chronically Exposed to Lead. *Biol Trace Elem Res* [Internet]. 2015 Jul 17 [cited 2023 Nov 25];170(1):1–8. Available from: <https://lens.org/027-907-397-110-457>