

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Timbal

1. Sifat Timbal

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang secara alami terdapat di kerak bumi dan tersebar di lingkungan melalui mekanisme alami dalam jumlah kecil. Namun, Sebagian besar timbal (Pb) di lingkungan berasal dari aktivitas manusia dibandingkan dengan yang berasal dari proses alami. Logam ini memiliki titik leleh yang rendah, mudah dibentuk, serta memiliki reaktivitas kimia yang cukup tinggi, sehingga sering dimanfaatkan sebagai pelapis logam untuk mencegah korosi. Timbal memiliki bilangan oksidasi +2. Dalam tabel periodik, unsur ini termasuk golongan IV-A, memiliki nomor atom 82 dan massa atom 207,2. Secara fisik, timbal berwarna abu-abu kebiruan, dengan titik lebur lebur sekitar 327°C dan titik didih 1.725°C. Timbal tergolong tahan terhadap korosi, memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan banyak logam lainnya, serta bersifat lunak, lentur, mudah rapuh, dan mengalami penyusutan saat mendingin. Selain itu, timbal sulit larut dalam air dingin maupun air panas (Tias, 2022).

Menurut (Raharjo dkk., 2018), Timbal memiliki sifat toksik dan persisten, serta cenderung terakumulasi di dalam rantai makanan. Proses penyerapan timbal dalam tubuh berlangsung lambat, sehingga dapat mengakibatkan akumulasi yang menjadi pemicu keracunan progresif. Paparan timbal yang terus-menerus dapat menyebabkan peningkatan

kadar logam ini dalam berbagai organ penting seperti aorta, hati, ginjal, pancreas, paru-paru, tulang, limpa, testis, jantung, dan otak.

2. Faktor Yang Mempengaruhi Terpaparnya Timbal (Pb)

Menurut (Levanta & Hananingtyas, 2022), terdapat berbagai faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya keracunan timbal dalam tubuh manusia.

Faktor-faktor tersebut antara lain:

A. Faktor Lingkungan

Beberapa aspek lingkungan dapat memengaruhi tingkat keracunan timbal, antara lain :

1. Tingkat konsentrasi dan durasi paparan, semakin tinggi konsentrasi timbal dan semakin lama seseorang terpapar, maka risiko dampak Kesehatan yang ditimbulkan pun akan semakin besar dan berbahaya.
2. Pola pemaparan, Tingkat keparahan efek timbal juga ditentukan oleh frekuensi paparan. Paparan yang terjadi secara terus-menerus (kontinu) cenderung memberikan dampak yang lebih signifikan dibandingkan dengan paparan yang terjadi secara tidak teratur.

B. Faktor manusia

Faktor-faktor biologis pada manusia juga turut memengaruhi risiko keracunan timbal. Misalnya, jenis kelamin dapat menjadi penentu, Dimana Perempuan cenderung lebih rentan terhadap dampak timbal dibandingkan Laki-laki. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam ukuran tubuh, keseimbangan hormon, dan

sistem metabolisme. Selain itu, usia lanjut juga menjadi faktor resiko karena pada lansia terjadi penurunan aktivitas enzim biotransformasi serta melemahnya fungsi organ, sehingga membuat mereka lebih rentan terhadap efek racun timbal. Jenis kelamin dan usia diketahui memengaruhi kadar Pb yang tersimpan di jaringan tubuh (Ardillah, 2016).

Selain itu, kebiasaan merokok juga juga memperbesar risiko terpapar timbal (Pb). Perokok lebih rentan mengalami penurunan fungsi paru-paru yang sewaktu-waktu dapat meningkatkan kerentanan tubuh terhadap paparan zat toksik seperti timbal. Oleh karena itu, mengurangi atau berhenti merokok menjadi salah satu Langkah penting dalam mengurangi risik penyakit akibat paparan bahan kimia berbahaya (Wulandari dkk., 2016).

C. Massa kerja

Durasi kerja merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi Tingkat paparan timbal (Pb) pada individu. Semakin lama seseorang bekerja, maka semakin besar pula kemungkinan terpapar zat tersebut jam kerja yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan akumulasi timbal dalam tubuh akibat udara yang tercemar oleh polutan dari emisi kendaraan bermotor (Prihatiningsih dkk., 2022)

D. Penggunaan APD

Alat Pelindung Diri (APD) berfungsi melindungi pekerja dari risiko kecelakaan kerja. Penggunaan APD merupakan salah satu Upaya untuk menurunkan potensi paparan timbal di bengkel pengecetan. Jika APD tidak digunakan secara lengkap, timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui udara yang terkontaminasi atau makanan yang telah terpapar timbal, kemudian menyebar keseluruh organ tubuh melalui aliran darah. Timbal yang terserap tubuh dapat merusak jaringan dan dikeluarkan melalui urin, keringat,, rambut, kuku, dan lainnya. ketidak sempurnaan dalam penggunaan APD dapat menimbulkan dampak kesehatan fisik, seperti rasa cemas, sakit kepala, serta kelelahan. oleh karena itu, penggunaan APD seperti masker, sarung tangan, pakaian pelindung, dan sepatu pelindung sangat penting guna mencegah kecelakaan kerja dan mengurangi risiko paparan timbal yang dapat mengganggu kesehatan. (Levanta & Hananingtyas 2022).

3. Efek keracunan timbal

Timbal (Pb) dapat menyebabkan keracunan pada manusia. Efek toksik dari timbal diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu akut, subakut, dan kronis. Masing-masing jenis paparan timbal memiliki gejala sertadampak yang berbeda. Timbal memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan kovalen dengan ion fosfat tertier yang terdapat pada asam nukleat. Efek toksisitasnya muncul melalui iinteraksi antara gugus

sulfhidril dan ligan-ligan tertentu dengan enzim serta makromolekuler dalam tubuh. Timbal dapat ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernapasan, sistem pencernaan, atau melalui kontak langsung (Tias, 2022).

Menurut Iffadah (2022) berikut adalah gejala-gejala berdasarkan jenis paparan timbal:

a. Efek Keracunan Timbal (Pb) Akut

Terjadi akibat paparan dalam jumlah besar dalam waktu singkat, biasanya dalam hitungan hari hingga beberapa bulan. Gejalanya antara lain: menurunnya nafsu makan, peningkatan tekanan darah, nyeri kepala, gangguan fungsi ginjal dan sistem saraf, nyeri perut, kelelahan, gangguan tidur, peradangan sendi (arthritis), halusinasi, dan pusing (vertigo).

b. Efek Keracunan Subakut

Paparan timbal dalam jumlah kecil dapat berdampak signifikan, terutama pada sistem saraf. Senyawa seperti timbal asetat bisa menimbulkan gejala seperti mati rasa, kekakuan otot, vertigo, kelumpuhan otot tungkai yang dapat berkembang menjadi kejang-kejang dan koma. Gejala lain meliputi kegelisahan, depresi, lemas, gangguan sistem pencernaan, serta berkurangnya volume urin yang kadang tampak kemerahan.

c. Efek Keracunan Kronis

erjadi karena akumulasi timbal dalam tubuh selama waktu yang lama, mulai dari bulan hingga tahun. Gejalanya kerap tidak disadari namun bisa berdampak luas pada hampir seluruh organ tubuh. Pada manusia, efek jangka panjangnya meliputi penurunan kesuburan, risiko keguguran, kelahiran prematur, penurunan IQ, tekanan darah tinggi, gangguan jantung, perilaku agresif, serta kerusakan ginjal.

4. Mekanisme timbal di dalam tubuh

Timbal (Pb) diyakini membentuk ikatan kovalen dengan ion fosfat tertier yang terdapat dalam asam nukleat. Efek toksik dari Pb timbul akibat interaksinya dengan gugus sulfhidril dan ligan lainnya yang terdapat pada enzim serta makromolekul tubuh. Organ yang paling rentan terhadap paparan Pb meliputi sistem pembentukan darah (hematopoetik), sistem saraf pusat, sistem saraf tepi, dan ginjal. Timbal bisa masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernapasan, sistem pencernaan, atau melalui kontak langsung. Sekitar 90% partikel timbal yang terdapat dalam asap atau debu halus di udara masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernapasan. Di sisi lain, pada orang dewasa, penyerapan timbal melalui saluran pencernaan berkisar antara 5 hingga 15%. Paparan timbal yang dihirup dari udara dapat memicu berbagai gejala, seperti mudah lelah, gangguan tidur, sakit kepala, nyeri pada otot dan tulang, sembelit, rasa tidak nyaman di perut, penurunan nafsu makan, bahkan anemia. (Rahayu & Solihat, 2018).

Kemampuan tubuh untuk memetabolisme timbal sangat penting karena jika metabolisme berjalan dengan baik, maka timbal dapat dikeluarkan dari tubuh. Dalam sistem biologis, timbal dapat bersaing dengan logam penting lainnya seperti seng, kalsium, dan zat besi (Mubarok dkk., 2018).

5. Penyebab terpaparnya timbal

ama masa kerja dapat memberikan dampak positif maupun negatif terhadap kinerja seseorang. Semakin lama seseorang bekerja, semakin tinggi pula pengalaman dan pemahamannya terhadap prosedur kerja, teknis, dan alur pekerjaan. Namun, durasi kerja yang panjang juga bisa menimbulkan risiko kesehatan akibat paparan terhadap berbagai faktor berbahaya di lingkungan kerja, seperti bahan kimia beracun, beban kerja fisik yang berat, atau tekanan pekerjaan. Pekerjaan yang monoton dan berulang juga bisa memicu kejenuhan, menurunkan motivasi dan fokus kerja, sehingga berdampak buruk terhadap kinerja. Di lingkungan bengkel pengecatan, lamanya seseorang bekerja berkaitan dengan kadar timbal (Pb) dalam darah. Karena sifat timbal yang cenderung terakumulasi, maka semakin lama masa kerja, kadar timbal dalam darah cenderung meningkat (Pusparini dkk., 2016).

B. Cat

Cat menjadi salah satu sumber utama paparan timbal, karena logam ini sering dimanfaatkan sebagai pigmen dalam pembuatan cat, terutama dalam industri pengecatan kendaraan. Beberapa senyawa timbal yang

umum digunakan sebagai pewarna dalam cat meliputi timbal kromat (PbCrO_4), timbal kromat molibdat ($\text{Pb}_2\text{Cr}_2\text{HO}_2\text{O}_{11}$), dan timbal sulfat (PbSO_4) (Pusparini dkk., 2016).

Timbal kromat diproduksi dalam berbagai bentuk kristal untuk menghasilkan variasi warna seperti "*chrome yellow*" (kuning tua), "*middle chrome*" (kuning kemerahan), dan "*orange chrome*" (oranye). Timbal kromat molibdat menghasilkan warna merah cerah, sementara campuran antara timbal kromat, timbal sulfat, dan senyawa lainnya mampu menghasilkan warna-warna seperti "*primrose chrome*" (kuning pucat kehijauan), "*lemon chrome*" (kuning kehijauan kemerahan), dan "*chrome green*" (hasil campuran Pb kromat dan besi biru). Selain itu, senyawa timbal juga digunakan sebagai pengering dan katalis dalam cat berbasis minyak agar proses pengeringan berlangsung cepat dan hasil cat merata. Timbal juga digunakan sebagai zat antikatrol dalam cat, seperti Pb tetroksida yang dikenal sebagai "timbal merah" atau minium (Pusparini dkk., 2016).

C. Darah

1. Pengertian

Darah merupakan cairan kental yang sebagian besar terdiri atas sel darah merah (eritrosit). Komponen darah tersusun dari eritrosit, leukosit (sel darah putih), dan trombosit (keping darah). Darah berperan penting sebagai media penghubung antar sel dan jaringan, mengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan serta membawa karbon dioksida dari jaringan

untuk dibuang melalui paru-paru. Selain itu, darah juga mengedarkan nutrisi dari sistem pencernaan ke seluruh tubuh, serta menghantarkan hormon dan zat pembeku darah (Sitepu dkk., 2022).

Darah digunakan dalam pemeriksaan kadar timbal karena setelah masuk melalui sistem pernapasan atau pencernaan, sekitar 95% timbal terserap ke dalam sel darah dan hanya 5% berada dalam plasma. Sebagian besar timbal kemudian dikeluarkan melalui urin oleh ginjal, dan sebagian lagi melalui feses, keringat, rambut, dan kuku. Darah dijadikan sampel utama karena kemampuannya menyerap timbal cukup tinggi, serta waktu paruh timbal dalam darah mencapai 35 hari. Sementara itu, waktu paruh timbal dalam tulang, seperti pada tulang trabekular dan kortikal, jauh lebih lama, tetapi pemeriksaan timbal dalam tulang sangat sulit dan mahal (Shinta & Mayaserli, 2020) .

2. Komponen darah

Menurut Niman (2019), darah terdiri dari tiga komponen utama yaitu:

- a. Eritrosit: Membentuk 90% sel darah, mengandung hemoglobin yang berfungsi membawa oksigen ke seluruh tubuh.
- b. Trombosit: Jumlahnya 0,6–1,0%, berfungsi dalam proses pembekuan darah.
- c. Leukosit: Sekitar 0,25%, berfungsi menjaga sistem kekebalan tubuh

3. Fungsi Darah

Menurut Niman (2019), fungsi darah yaitu:

a. Fungsi Resipien

Mengedarkan oksigen dari paru-paru ke jaringan tubuh, dan membawa karbon dioksida kembali ke paru-paru.

b. Fungsi ekskresi

Mengangkut limbah hasil metabolisme dari sel untuk dibuang. Jika limbah ini menumpuk, dapat merusak sel dan menyebabkan gangguan kesehatan.

c. Fungsi koagulasi

Dalam kondisi tertentu, darah keluar dari pembuluh karena luka atau penyakit. Untuk mencegah kehilangan darah yang berlebihan, darah membentuk sumbatan melalui proses pembekuan (hemostasis).

D. ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometri*)

1. Pengertian

ICP-MS merupakan instrumen analitik yang memadukan teknologi plasma induktif dengan spektrometri massa. Alat ini berfungsi untuk mengidentifikasi unsur mineral dalam jumlah yang sangat kecil pada berbagai jenis sampel lingkungan. Salah satu keunggulan utama dari ICP-MS adalah kemampuannya mendeteksi unsur hingga tingkat yang sangat rendah, yaitu sekitar 1–10 part per trillion (ppt). Teknologi ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor seperti industri pangan, minuman, logam, farmasi, lingkungan, dan pengujian kualitas air. ICP-

MS sangat efektif untuk menganalisis logam pada konsentrasi yang sangat rendah, di mana ion yang dihasilkan dalam plasma argon dimasukkan ke dalam spektrometer massa untuk dipisahkan berdasarkan perbandingan massa dan muatannya (Septiani, 2021).



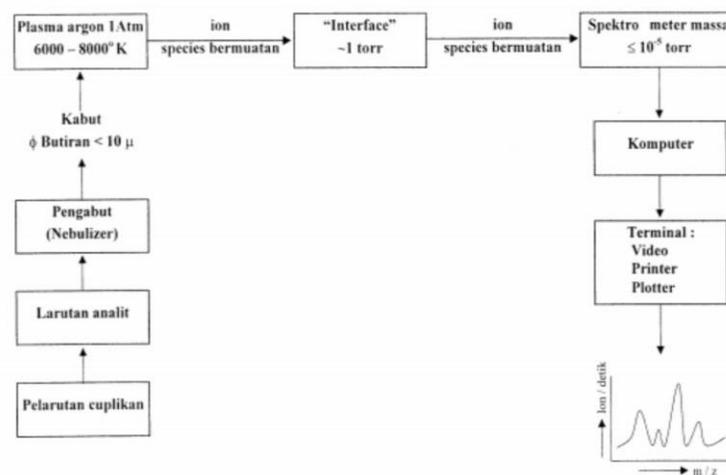
Gambar 2.1 Instrument ICP-MS (Septiani, 2021)

2. Prinsip kerja

Prinsip kerja ICP-MS dimulai dengan pengenalan sampel ke dalam inti tabung plasma argon. Sampel ini akan diubah menjadi kabut, kemudian mengalami pelarutan dan penguapan secara cepat. Ketika melewati inti plasma, terjadi proses disosiasi dan ionisasi. Ion-ion yang terbentuk kemudian diekstraksi dari tabung plasma dan dialirkan ke dalam ruang vakum, lalu diteruskan ke dalam spektrometer massa. Di dalam spektrometer, ion-ion tersebut dipisahkan berdasarkan rasio massa terhadap muatannya.

Sampel cair mula-mula diubah menjadi aerosol melalui proses yang disebut nebulisasi. Aerosol ini selanjutnya dialirkan ke dalam plasma, di mana ia mengalami proses pelarutan, penguapan, pengatom-

an, dan eksitasi atau ionisasi oleh plasma. Atom dan ion yang tereksitasi akan memancarkan radiasi khas, yang kemudian dideteksi dan dipisahkan berdasarkan panjang gelombangnya untuk keperluan analisis yang sangat akurat (Zamzami, 2021).

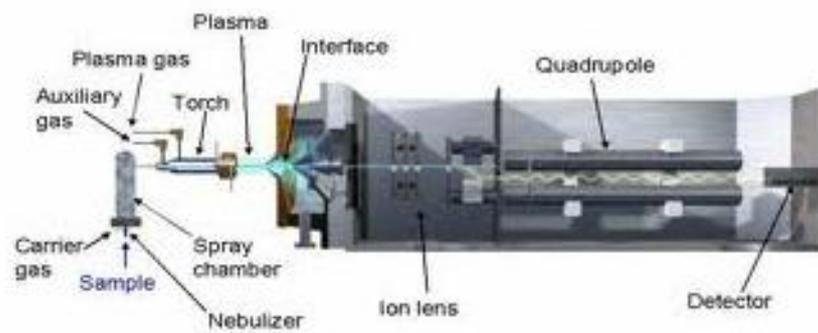


Gambar 2.2 Prinsip kerja ICP-MS (Septiani, 2021)

Komponen utama dalam instrumen ICP-MS meliputi:

- a. Plasma, yang dihasilkan melalui pemanasan gas menggunakan medan magnetik secara induktif.
- b. Argon, digunakan sebagai gas pembawa untuk membawa sampel menuju plasma.
- c. Nebulizer, mengubah sampel cair menjadi bentuk aerosol.
- d. Spray chamber, menyalurkan aerosol ke plasma. Di tahap ini, aerosol mengalami proses penghilangan pelarut (desolvasi atau volatilisasi), menghasilkan partikel kering yang seragam.
- e. Detektor, berfungsi mendeteksi ion-ion yang melewati sistem.

- f. Interface, mengarahkan dan menstabilkan jalur ion ke sistem selanjutnya
- g. Quadrupole memisahkan ion berdasarkan rasio massa terhadap muatan.



Gambar 2.3 Komponen instrument ICP-MS (Septiani, 2021)