

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Teori

1. Manusia Silver

Manusia silver adalah individu yang tubuhnya sepenuhnya dilapisi dengan cat berwarna silver, mulai dari rambut hingga kaki, menggunakan cat semprot berwarna perak, sementara hanya bagian mata yang tetap berwarna hitam. Mereka mengenakan celana pendek untuk pria dan pakaian pendek dengan celana pendek untuk wanita sehingga tubuh mereka yang kurus tampak jelas, termasuk tulang. Mereka mampu bertahan dengan panas terik matahari dan aspal jalanan, sehingga penampilan mereka yang mirip dengan robot ini menarik perhatian sebagian orang yang melihatnya. Fenomena manusia silver mungkin sudah sangat dikenal oleh banyak orang. Awalnya, mereka hadir sebagai bagian dari seni pertunjukkan (*happening art*), tetapi kemudian bertransformasi menjadi atraksi yang diselenggarakan oleh event organizer dalam suatu acara. Namun, dalam beberapa waktu terakhir, mereka sering kali terlihat beraksi di berbagai persimpangan lampu merah. Sesuai dengan namanya, manusia silver mengecat tubuh mereka dengan cat silver (perak), yang biasanya berasal dari cat sablon yang kadang dicampur dengan minyak tanah atau minyak goreng untuk memberikan kilau pada tubuh mereka (Safitri Rika, 2023).



Sumber : Safitri R, 2023

Gambar 2.1 Manusia silver

Fenomena manusia silver merupakan salah satu fenomena sosial yang muncul di wilayah perkotaan, terutama di Kota Bandar Lampung. Mereka harus

mengorbankan tubuh mereka dengan melapisi tubuhnya dengan cat silver yang tentunya membawa berbagai risiko. Mereka merasakan gatal-gatal, ditambah lagi dengan paparan sengatan matahari yang cukup Terik. Pada awalnya, kehadiran mereka di jalanan menarik perhatian dan simpati warga yang lewat, namun seiring berjalannya waktu kehadiran mereka kini dianggap mengganggu ketertiban, setidaknyanya dari perspektif Dinas Sosial (Safitri Rika, 2023).

2. Karakteristik Manusia Silver

Manusia silver memiliki ciri khas tubuh yang dilapisi cat berwarna silver, mulai dari ujung rambut hingga seluruh tubuh dengan hanya mata yang tidak terlapisi cat tersebut. Mereka berasal dari berbagai kalangan usia, mulai dari anak-anak, dewasa, hingga lansia, baik perempuan atau laki-laki. Mereka bergerak dengan gerakan kaku seperti robot, bahkan ada yang hanya berdiri di depan lampu merah. Keberadaan manusia silver ini mencerminkan dampak nyata dari penurunan kondisi ekonomi akibat pandemi covid 19. Fenomena manusia silver ini mulai muncul dan menjadi bagian dari keramaian di jalan raya, terutama di perkotaan, diperkirakan sejak tahun 2020. Manusia silver sering ditemukan di berbagai kota besar di Indonesia, seperti Jakarta, Surabaya, Yogyakarta, Bandung, dan lain-lain (Safitri Rika, 2023).

3. Cat

Cat merupakan suatu cairan yang digunakan untuk melapisi suatu permukaan benda yang bertujuan menguap akan membentuk lapisan yang kuat. Yang mempengaruhi hasil dari pengecatan bisa dari pemilihan pengenceran dan perbandingan campuran yang tepat. Dalam proses industri timbal biasanya digunakan sebagai selubung kabel, cat, glaser dan amunisi peluru. Dalam kehidupan manusia bisa terpajan timbal dari benda yang berkaitan dengan proses kehidupan seperti dalam pekerjaan yang menggunakan bahan cat, seperti proses penggilingan cat, pemasangan cat, pengalasan benda yang mengandung cat, dan pemotongan bahan yang mengandung cat (WHO, 2010). Pada tahun 1977 *Consumer Product Safety Commission* (CPSC) menetapkan nilai ambang batas pada cat adalah 0.06% atau 600 ppm. Pada tahun 2009 CPSC menetapkan perubahan standar nilai ambang batas dari timbal pada cat rumah dan cat yang berhubungan dengan kehidupan manusia menjadi 0.009% atau 90 ppm.



Sumber: Dokumen Pribadi, 2024
Gambar 2.2 Cat Silver Metalic

Tetapi masih banyak ditemukan barang dengan lapis cat yang berhubungan dengan kehidupan manusia yang memiliki kandungan timbal melebihi 50% dari standar kandungan timbal. Komposisi cat minyak yang digunakan oleh Manusia Silver adalah cat bermerek B36, yang mengandung zat logam seperti tembaga (Cu), krom (Cr), kadmium (Cd), dan timbal (Pb). Cat dengan warna terang umumnya mengandung kadar timbal yang tinggi (Marpaung & Aidha, 2023).

4. Logam Berat

a. Definisi Logam Berat

Logam berat merupakan komponen alami yang terdapat dalam tanah dan tidak dapat terurai atau dihancurkan. Senyawa- senyawa ini dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan, air, atau udara yang terkontaminasi. Dalam jumlah yang sangat kecil, logam berat diperlukan oleh makhluk hidup untuk mendukung berbagai fungsi kimiawi dan fisiologis tubuh. Kondisi ini dikenal sebagai elemen jejak, yaitu elemen kimia yang dibutuhkan organisme hidup dalam jumlah sangat kecil (kurang dari 0,1% dari volume). Beberapa logam berat seperti tembaga (Cu), Selenium (Se), besi (Fe), dan seng (Zn) memiliki peran penting dalam tubuh. Namun, logam berat dapat menjadi berbahaya atau beracun jika terkandung dalam jumlah yang berlebihan di dalam tubuh (Jaishankar *et.al.*, 2014).

Logam berat biasanya merujuk pada logam yang memiliki kepadatan spesifik lebih dari 5 g/cm³ dan dapat memengaruhi lingkungan serta organisme hidup. Dalam konsentrasi yang sangat rendah, logam ini penting untuk mendukung berbagai proses biokimia dan fungsi fisiologis dalam organisme

hidup. Namun, logam berat dapat menjadi berbahaya apabila konsentrasinya melebihi batas tertentu. Logam berat memiliki banyak dampak negatif terhadap kesehatan, terutama dalam jangka panjang. Sebagai polutan lingkungan yang signifikan, toksisitas logam berat menjadi masalah penting yang memengaruhi ekologi, evolusi, gizi, dan kondisi lingkungan (Jaishankar et.al., 2014).

b. Toksisitas Logam Berat

Logam berat merupakan zat pencemar yang tidak bisa dihancurkan, sehingga akan terakumulasi baik di alam maupun dalam tubuh organisme. Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat toksisitas setiap jenis logam berat antara lain bentuk senyawanya, kelarutan logam berat dalam cairan, ukuran partikel, serta berbagai sifat kimia dan fisika lainnya.

Mekanisme toksisitas logam berat dalam tubuh dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: logam berat dapat menghambat dan mengganggu fungsi gugus biomolekul yang penting untuk proses metabolisme, logam berat dapat menggantikan ion-ion logam esensial yang terdapat dalam molekul terkait, dan logam berat dapat merubah bentuk gugus aktif yang ada (Adhani & Husaini, 2017).

Klasifikasi toksisitas dapat digolongkan menjadi :

- 1) Berdasarkan durasi waktu timbulnya efek toksisitas, dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu toksisitas akut yang muncul secara mendadak dalam waktu singkat dengan efek yang bersifat *reversibel*, serta toksisitas kronis yang berlangsung lama dengan efek yang bersifat permanen atau *irreversibel*.
- 2) Berdasarkan lokasi dampak bahan kimia/toksikan, efeknya dibagi menjadi dua jenis: toksikan lokal, yang menyebabkan efek di area aplikasi atau di antara toksikan dan sistem biologis, serta toksisitas sistemik, di mana toksikan diserap ke dalam tubuh, didistribusikan melalui aliran darah, dan mencapai organ-organnya untuk menimbulkan efek.
- 3) Berdasarkan respons terhadap bahan kimia tersebut, efek toksisitasnya dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu hepatotoksin (merusak hati), nefrotoksin (merusak ginjal), neurotoksin (merusak sistem saraf), imunotoksin (merusak sistem imun), teratogenik (menyebabkan cacat

lahir), karsinogenik (penyebab kanker), serta alergen dan sensitizer (bahan kimia/fisika yang dapat memicu reaksi alergi) (Adhani & Husaini, 2017).

c. Jenis Logam Berat

Logam berat terbagi menjadi dua kategori, yaitu logam berat esensial dan logam berat nonesensial. Logam berat esensial adalah logam yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah tertentu dan dapat menjadi beracun jika dikonsumsi secara berlebihan, seperti: Besi (Fe) sangat penting untuk pembentukan hemoglobin yang bertanggung jawab untuk mengangkut oksigen dalam darah. Besi banyak ditemukan dalam daging merah, unggas, dan sayuran hijau seperti bayam. Tembaga (Cu) diperlukan untuk pembentukan hemoglobin, metabolisme zat besi, serta fungsi enzim yang mendukung pembentukan energi. Tembaga ditemukan dalam makanan, seperti hati sapi, kacang-kacangan, biji-bijian, dan seafood. Seng (Zn) berperan dalam sistem kekebalan tubuh, sintesis protein, pembelahan sel, serta penyembuhan luka. Zinc ditemukan dalam makanan, seperti daging, kacang-kacangan- biji-bijian, dan produk susu. Dan Selenium (Se) memiliki sifat antioksidan dan mendukung fungsi sistem kekebalan tubuh serta metabolisme hormon tiroid. Selenium banyak ditemukan dalam kacang Brazil, ikan, dan daging ayam. Sementara itu, logam berat nonesensial adalah logam yang belum diketahui manfaatnya dan bahkan dapat bersifat beracun, seperti : Merkuri (Hg) sangat berbahaya bagi sistem saraf pusat, ginjal, dan organ lainnya. Paparan merkuri terjadi melalui konsumsi ikan besar (seperti tuna), serta produk industri yang mengandung merkuri, seperti thermometer dan baterai. Arsenik (As) merupakan logam berat yang sangat beracun dan dapat menyebabkan kerusakan pada kulit, paru-paru, hati, serta meningkatkan risiko kanker. Sumber arsen dapat ditemukan dalam air tanah yang tercemar, pestisida, dan beras yang tercemar arsen. Timbal (Pb) tidak memiliki manfaat biologis dan dapat menyebabkan kerusakan pada sistem saraf, ginjal, dan saluran pencernaan. Sumber timbal dapat berasal dari cat lama, pipa air yang mengandung timah, dan polusi industri. Dan Kadmium (Cd) bersifat toksik dan dapat merusak ginjal, paru-paru, serta tulang. Paparan kadmium bisa terjadi melalui rokok, limbah industri, serta beberapa jenis makanan yang tercemar (Irhamni, et al. 2017).

5. Timbal (Pb)

a. Definisi Timbal (Pb)

Timbal merupakan salah satu unsur kimia yang dilambangkan Pb dan nomor atom 82. Lambang yang berasal dari Bahasa Latin Plumbum. Timbal (Pb) merupakan logam berat yang ada dengan cara alami dari kerak bumi. Timbal dapat dihasilkan oleh kegiatan manusia dan berjumlah 300 kali lebih banyak dikerak bumi dari pada timbal alami. Timbal terkonsentrasi pada deposit biji. Sebagian besar timbal digunakan dalam industri baterai, dan kendaraan bermotor (Rahmi & Fitrah, 2017).

Timbal merupakan salah satu polutan udara yang berbentuk partikel-partikel yang sering dikenal sebagai debu logam. Debu-debu ini dapat masuk ke dalam tubuh melalui makanan atau pernapasan. Meskipun dalam jumlah kecil, partikel-partikel tersebut dapat menyebabkan keracunan. Timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui berbagai jalur, seperti saluran pernapasan (inhalasi), saluran pencernaan (oral), atau kontak langsung dengan kulit (dermal). Setelah terhirup atau masuk melalui sistem pernapasan, timbal akan tersebar ke seluruh tubuh melalui aliran darah dan mengendap dalam darah. Akumulasi timbal dalam darah dapat menimbulkan berbagai dampak negatif. Timbal memiliki efek toksik yang luas pada tubuh manusia, dapat merusak sistem saraf, saluran pencernaan, menurunkan kesuburan, dan mengganggu fungsi ginjal (Kasanah *et.al*, 2016).



Sumber: Asiva Noor Rachmayani, 2015

Gambar 2.3 Logam Timbal

b. Karakteristik Dan Sifat Timbal

Timbal yang juga dikenal sebagai timah hitam adalah logam berat dengan titik leleh rendah dan mudah dibentuk. Logam ini sering digunakan untuk melapisi bahan lain agar tidak berkarat, sifat kimianya yang aktif. Timbal memiliki bilangan oksidasi +2 dan memiliki penampilan lunak dengan warna abu-abu kebiruan yang mengkilat. Dengan nomor atom 82 dan massa atom 207,20 timbal memiliki titik leleh pada suhu 174°C dan massa jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$. Pada suhu antara $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$, timbal dapat menguap dan bereaksi dengan oksigen di udara, membentuk timbal oksida (PbO) (Rahayu & Solihat, 2018).

c. Toksisitas Timbal

Timbal adalah logam berat beracun yang sering ditemukan di lingkungan. Logam ini memiliki sifat lunak, fleksibel, bersifat isolator, dan tahan terhadap korosi yang membuat penggunaannya sulit dibatasi. Meskipun tidak bersifat biotik, penggunaan timbal secara berlebihan dapat meningkatkan konsentrasi timbal di lingkungan. Toksisitas timbal pada bayi dan anak-anak dapat berdampak lebih besar dibandingkan pada orang dewasa, karena jaringan tubuh mereka yang lebih sensitif dan rentan. Paparan timbal meskipun dalam jumlah kecil pada bayi dan anak-anak dapat menyebabkan gangguan perilaku, kesulitan dalam belajar, bahkan penurunan kecerdasan. Pada orang dewasa, paparan timbal dalam jangka panjang dapat menyebabkan penurunan fungsi kognitif, anemia, serta peningkatan tekanan darah, terutama pada lansia. Kerusakan otak dan ginjal yang parah, baik pada orang dewasa maupun anak-anak, diketahui berhubungan dengan paparan timbal dalam jumlah tinggi yang berbahaya. Pada wanita hamil, paparan timbal yang tinggi dapat menyebabkan keguguran. Selain itu, paparan timbal secara kronis juga dapat memengaruhi kesuburan pria (Putra *et.al*, 2023).

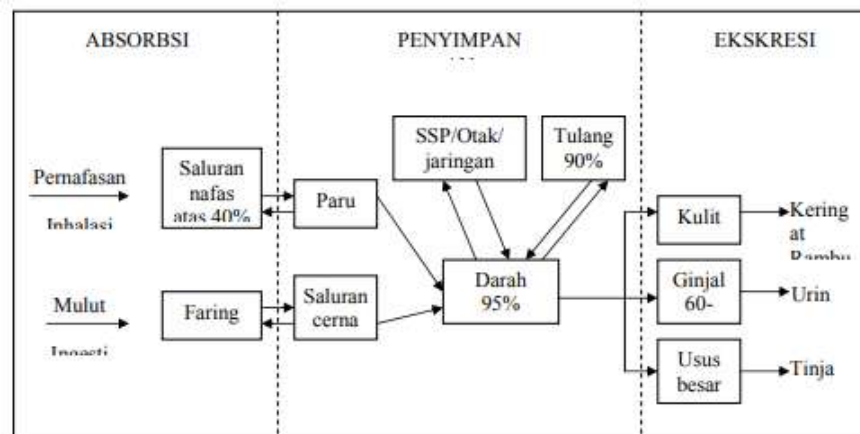
Toksisitas adalah pernyataan kemampuan racun menyebabkan timbulnya gejala keracunan. Toksisitas ditetapkan di laboratorium, umumnya menggunakan hewan coba dengan cara ingesti, pemaparan pada kulit, inhalasi, atau meletakkan bahan dalam air, atau udara pada lingkungan hewan coba.

Toksisitas dapat dinyatakan dengan ukuran sebagai berikut: *Lethal Concentration* 50 (LC50) adalah konsentrasi yang diturunkan secara statistik

yang menyebabkan kematian 50% dari populasi organisme dalam serangkaian kondisi paparan yang telah ditentukan. Suatu bahan kimia dikatakan sangat beracun apabila memiliki nilai toksisitas timbal $LC_{50} > 12$ mg/kg pada populasi tikus percobaan yang terpapar secara oral. Nilai toksisitas timbal LD_{50} pada tikus sering dilaporkan sekitar 40-50 mg/kg berarti bahwa dosis ini menyebabkan kematian pada 50% populasi tikus percobaan yang terpapar secara oral (MSDS, 2009).

a. Metabolisme Timbal Dalam Tubuh

Timbal dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pencernaan dan pernapasan yang merupakan jalur paparan utama, terutama pada anak-anak dan orang dewasa yang memiliki kebersihan pribadi kurang terjaga. Penyerapan timbal melalui saluran pencernaan berkisar antara 5-10%, sementara melalui saluran pernapasan mencapai sekitar 40%. Setelah masuk ke dalam tubuh, timbal akan di distribusikan ke dalam darah, dengan sekitar 95% terikat pada sel darah merah dan sisanya pada plasma. Sebagian timbal juga disimpan di jaringan lunak dan tulang. Proses ekskresi utama timbal berlangsung melalui ginjal dan saluran pencernaan (Rosita & Widiarti, 2018).



Sumber: Kurniawan W (2008)

Gambar 2.4 Metabolisme Pb dalam tubuh manusia

1) Absorpsi

Penyerapan timbal melalui saluran pernapasan dipengaruhi oleh tiga proses utama, yaitu deposisi, pembersihan mukosiliar, dan pembersihan alveolar. Partikel yang lebih besar cenderung terdeposit

lebih banyak di saluran pernapasan atas menuju nasofaring, dan kemudian partikel tersebut akan tertelan (Rosita & Widiarti, 2018).

Timbal dan senyawanya masuk ke dalam tubuh manusia terutama melalui saluran pernapasan, sementara penyerapan melalui kulit dapat diabaikan karena sangat minim. Bahaya yang ditimbulkan oleh timbal bergantung pada ukuran partikelnya. Partikel yang lebih kecil dari 10 μg dapat terperangkap di paru-paru, sedangkan partikel yang lebih besar akan mengendap di saluran pernapasan bagian atas. Sumber paparan timbal bisa berasal dari berbagai tempat, seperti lingkungan umum, minuman, udara, lingkungan kerja, dan makanan yang terkontaminasi timbal. Paparan non-okupasional biasanya terjadi melalui konsumsi makanan dan minuman yang terkontaminasi timbal, sedangkan paparan okupasional sering terjadi melalui saluran pernapasan dan pencernaan, terutama karena Pb sulfat dan Pb karbonat. Timbal juga bisa diserap melalui inhalasi uap Pb dan partikel dari polusi udara di area perkotaan, dengan tingkat paparan timbal berkisar antara 100-350 μg per hari dan 20 μg (Rosita & Widiarti, 2018).

2) Distribusi dan Penyimpanan

Timbal yang diserap ke dalam tubuh akan dibawa oleh darah ke berbagai organ, dengan sekitar 95% timbal dalam darah terikat pada eritrosit. Sebagian timbal yang terdapat dalam plasma ada dalam bentuk yang dapat berdifusi dan diperkirakan berada dalam keseimbangan dengan cadangan timbal di bagian tubuh lainnya. Timbal kemudian didistribusikan ke berbagai jaringan lunak, seperti sumsum tulang, kuku, rambut, dan gigi. Gigi dan tulang panjang mengandung lebih banyak timbal dibandingkan dengan tulang lainnya. Pada gusi, dapat terlihat garis timbal (lead line), yaitu garis berwarna abu-abu yang muncul di perbatasan antara gigi dan gusi, yang menjadi tanda khas keracunan timbal. Di jaringan lunak, timbal sebagian disimpan di aorta, hati, ginjal, otak, dan kulit. Timbal yang berada di jaringan lunak memiliki sifat toksik (Rosita & Widiarti, 2018).

3) Ekskresi

Ekskresi timbal berlangsung melalui beberapa jalur, dengan cara utama melalui ginjal dan saluran pencernaan. Sekitar 15% timbal diekskresikan melalui feses, sementara 75-80% dikeluarkan melalui urine, dan sisanya melalui empedu, keringat, serta kuku. Ekskresi timbal melalui saluran pencernaan dipengaruhi oleh proses aktif dan pasif yang melibatkan kelenjar saliva, pankreas, serta kelenjar lainnya di bagian usus, ekskresi empedu, dan regenerasi sel epitel. Proses ekskresi timbal melalui ginjal terjadi melalui filtrasi glomerulus (Rosita & Widiarti, 2018).

Kadar timbal dalam urine mencerminkan paparan yang baru saja terjadi, sehingga pemeriksaan timbal dalam urine sering digunakan untuk mengukur paparan okupasional. Ekskresi timbal biasanya berlangsung sangat lambat. Waktu paruh timbal dalam darah sekitar 25 hari, di jaringan lunak sekitar 40 hari, dan di tulang bisa mencapai 25 tahun. Proses ekskresi yang lambat ini menyebabkan timbal mudah terakumulasi dalam tubuh, baik akibat paparan okupasional maupun non-okupasional (Rosita & Widiarti, 2018).

b. Efek Akut

Timbal dikenal sebagai toksin yang memiliki sifat kronis atau kumulatif. Oleh karena itu, efek samping akut umumnya baru terlihat setelah paparan singkat dengan dosis tinggi. Paparan akut terhadap timbal dapat menyebabkan gangguan pada sistem pencernaan (seperti anoreksia, mual, muntah, dan nyeri perut), kerusakan pada hati dan ginjal, hipertensi, serta gangguan neurologis (termasuk kelelahan, kantuk, dan ensefalopati) yang bisa berujung pada kejang dan bahkan kematian (WHO, 2019).

c. Efek Kronis

Paparan timbal secara kronis dapat menyebabkan berbagai efek kesehatan. Efek tersebut meliputi gangguan hematologis, seperti anemia, gangguan neurologis, sakit kepala, iritabilitas, depresi, kelelahan, kejang, kelemahan otot, ataksia, tremor, dan gangguan pendengaran, serta gangguan gastrointestinal, terutama kolik perut dan disfungsi ginjal. Paparan kronis

juga dikaitkan dengan peningkatan risiko hipertensi, penyakit jantung iskemik, dan stroke. Ada sejumlah bukti yang menunjukkan bahwa paparan timbal jangka Panjang dapat berkontribusi pada perkembangan kanker. Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC) telah mengklasifikasikan senyawa timbal anorganik sebagai kemungkinan karsinogenik bagi manusia (Kelompok 2A), yang berarti ada bukti terbatas mengenai karsinogenisitas pada manusia dan bukti yang lebih kuat pada hewan percobaan. Sedangkan senyawa timbal organik tidak dapat diklasifikasikan sebagai karsinogen pada manusia (Kelompok 3), karena tidak ada cukup bukti yang mendukung karsinogenisitasnya pada manusia. Pada pria, paparan timbal dapat memengaruhi reproduksi, seperti menurunnya jumlah sperma dan meningkatnya jumlah sperma abnormal (WHO, 2019).

d. Nilai Ambang Batas Timbal Pada Tubuh Manusia

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1406/MENKES/SK/IX/2002 tentang standar pemeriksaan kadar timah hitam pada spesimen biomarker manusia, yang disampaikan oleh Menteri Kesehatan pada tahun 2002, pengukuran kadar timbal dalam tubuh manusia dapat dilakukan melalui spesimen darah, urin, dan rambut. Setiap spesimen tersebut memiliki nilai ambang batas yang berbeda-beda, salah satunya untuk spesimen darah, yaitu kadar timbal pada orang dewasa yang normal memiliki nilai ambang batas antara 10 hingga 25 $\mu\text{g/dl}$.

6. Timbal Pada Darah

Darah manusia adalah cairan yang terdapat dalam jaringan tubuh dengan peran utama mengirimkan oksigen ke seluruh tubuh. Selain itu, darah juga berfungsi untuk menyediakan nutrisi dan mengangkut sel-sel imun tubuh yang berperan dalam melawan berbagai penyakit (Rosita & Widiarti, 2018).

Konsentrasi timbal dalam darah (BPb) merupakan indikator utama untuk memantau paparan terhadap logam berbahaya ini. Badan Pengendalian dan Pencegahan Penyakit Amerika Serikat (CDC) serta Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menetapkan ambang batas BPb di atas 10 $\mu\text{g/dL}$ (0,48 $\mu\text{mol/L}$) sebagai tingkat yang memerlukan perhatian khusus pada anak-anak. Namun, penelitian terbaru mengungkapkan bahwa paparan timbal pada tingkat BPb yang lebih rendah

dari 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ juga dapat menimbulkan dampak kesehatan negatif, termasuk gangguan pada perkembangan intelektual anak-anak. Hal ini menunjukkan bahwa paparan timbal dalam jumlah rendah yang berlangsung lama dapat memiliki dampak yang sama merugikannya dengan paparan tingkat tinggi dalam waktu singkat, meskipun hanya dengan satu kali pengukuran BPb. Oleh karena itu, pengukuran BPb yang dilakukan secara berkala memberikan estimasi yang lebih tepat mengenai potensi dampak kesehatan yang mungkin timbul (Rosita & Widiarti, 2018).

a. Kadar Timbal dalam Darah

Konsentrasi timbal dalam darah sangat penting untuk mengevaluasi paparan terhadap timbal karena dapat membantu dalam diagnosis keracunan serta digunakan sebagai indikator tingkat paparan, baik pada individu yang terpapar melalui pekerjaan maupun pada masyarakat umum. Kadar timbal dalam darah mencerminkan keseimbangan dinamis antara paparan, penyerapan, distribusi, dan ekskresi, sehingga dapat menjadi indikator untuk memantau paparan yang sedang terjadi. Rata-rata kadar normal timbal dalam darah orang dewasa berkisar antara 10-25 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ darah. Bahkan kadar timbal sebesar 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ dalam darah dapat meningkatkan tekanan darah, sehingga kadar ini dianggap sebagai ambang batas yang perlu diwaspadai. Timbal yang diserap tubuh akan diekskresikan setelah 40 hari, dan timbal yang terkumpul ditulang baru akan diekskresikan dalam 25 tahun (Ardillah, 2016).

Waktu paruh biologis timbal yang terakumulasi di tulang manusia diperkirakan sekitar 2 hingga 3 tahun. Sementara itu, konsentrasi timbal dalam darah dapat terdeteksi dengan waktu paruh sekitar 20 hari, dan ekskresi timbal secara keseluruhan dalam tubuh terjadi dengan waktu paruh sekitar 28 hari. Setelah itu, timbal akan dikeluarkan dari tubuh melalui urine, feses, dan keringat. Kadar timbal dalam darah merupakan salah satu indikator yang umum digunakan untuk menilai paparan eksternal. Pengukuran kadar timbal dapat dilakukan melalui sampel darah, sekreta, jaringan lunak, dan jaringan mineral. Namun, darah dan urine adalah spesimen biomarker yang paling sering digunakan untuk mendeteksi keberadaan timbal. Menurut WHO, kadar timbal maksimum yang masih dianggap aman dalam darah untuk anak-anak adalah 10

µg/dL, sementara untuk orang dewasa berada pada kisaran 10-25 µg/dL (Ardillah, 2016).

b. Efek Timbal dalam Darah

Gangguan awal dalam biosintesis dapat berlangsung tanpa gejala klinis yang tampak dan hanya dapat terdeteksi melalui pemeriksaan laboratorium. Namun, jika gangguan ini berlanjut, dapat muncul efek neurologis dan dampak pada organ-organ sasaran, termasuk anemia. Oleh karena itu, gangguan fungsi saraf sering kali terkait dengan masalah dalam sintesis hemoglobin. Paparan timbal yang berlangsung lama dapat merusak berbagai sistem organ. Efek pertama dari keracunan timbal kronis adalah gangguan pada biosintesis hemoglobin, dan jika tidak segera ditangani, kondisi ini dapat berdampak pada organ-organ lainnya. Pada tulang, timbal ditemukan dalam bentuk Pb-Fosfat ($\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$), dan selama timbal tetap terikat di dalam tulang, tidak akan menimbulkan gejala penyakit. Namun, bahaya utama terletak pada toksisitas timbal yang terjadi akibat gangguan penyerapan kalsium dari tulang, yang menyebabkan pemindahan timbal ke dalam darah. Diet rendah fosfat dapat mempercepat pelepasan timbal dari tulang ke dalam sirkulasi darah. Sebaliknya, penambahan vitamin D dalam makanan dapat meningkatkan penumpukan timbal di tulang, meskipun kadar fosfat rendah, yang justru dapat mengurangi dampak negatif dari timbal. (Ardillah, 2016).

Meskipun tubuh hanya menyerap sedikit timbal, logam ini sangat berbahaya karena senyawa-senyawa timbal dapat merusak berbagai fungsi organ dalam tubuh. Timbal dapat menyebabkan dua jenis anemia, yang sering kali disertai dengan eritrosit berbintik basofilik. Pada keracunan timbal akut, dapat terjadi anemia makrositik hipokromik, yang disebabkan oleh penurunan masa hidup eritrosit akibat gangguan timbal dalam sintesis hemoglobin, serta peningkatan kadar korproporfin dalam urine. Sistem saraf adalah sistem yang paling rentan terhadap racun timbal. Senyawa seperti timbal tetraetil dapat menyebabkan keracunan akut pada sistem saraf pusat, meskipun proses keracunan ini berlangsung lama dengan penyerapan yang lambat. Dalam percobaan in vitro, dan protoporfirin pada saraf dorsal dapat memicu ensefalopati akibat

toksisitas timbal. Neuropati pada saraf tepi yang disebabkan oleh timbal terjadi karena eliminasi dan degenerasi saraf (Ardillah, 2016).

c. Cara Menurunkan Kadar Timbal Darah

Vitamin C adalah vitamin yang larut dalam air dan memiliki peran penting dalam proses metabolisme tubuh serta dalam mencegah stres oksidatif pada jaringan tubuh. Selain itu, vitamin C dapat mengurangi penyerapan timbal dan menurunkan tingkat toksisitas timbal, serta terbukti efektif dalam mengurangi nefrotoksitas serta melindungi ginjal. Penelitian menunjukkan bahwa efek toksik timbal terhadap produksi hemoglobin dapat diperbaiki dengan pemberian vitamin C dengan dosis 100 mg/kg berat badan. Vitamin C juga dapat menurunkan kadar timbal dalam darah karena kemampuannya untuk mengurangi penyerapan timbal di usus halus. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Putu Ratna Sundari mengenai pemberian vitamin C 250 mg per oral untuk menurunkan kadar timbal darah pada wanita penyapu jalan di Kota Denpasar, ditemukan bahwa dosis 250 mg vitamin C efektif menurunkan kadar timbal dalam darah secara signifikan pada pekerja tersebut. Namun, pemberian vitamin C ini belum menunjukkan peningkatan jumlah eritrosit atau kadar hemoglobin pada para penyapu jalan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan dosis vitamin C yang lebih tepat agar dapat lebih efektif dalam mencegah dan mengurangi keracunan timbal pada pekerja penyapu jalan (Sundari & Dinata, 2017).

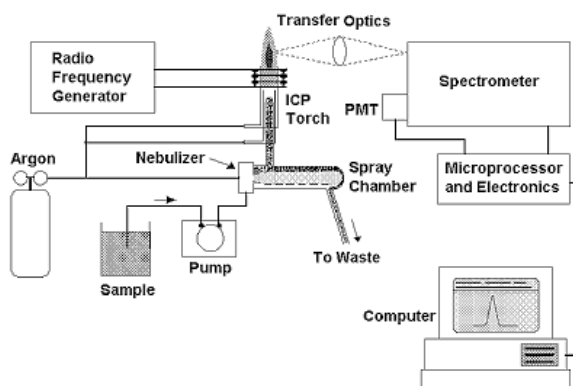
7. Analisis Timbal

Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) adalah salah satu metode analisis yang sangat efektif untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi unsur-unsur logam, termasuk timbal (Pb). Teknik ini menggunakan plasma sebagai sumber energi untuk mengionisasi sampel, kemudian menganalisis spektrum cahaya yang dipancarkan oleh atom-atom yang terionisasi. Setiap elemen logam memancarkan cahaya pada panjang gelombang yang khas, yang memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi unsur tersebut dalam sampel. Metode analisis menggunakan ICP-OES dilakukan pada sampel yang memiliki kadar logam yang rendah. Ada tiga tipe ICP yang sering digunakan yaitu ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectroscopy*), ICP-MS

(*Inductively Coupled Plasma- Mass Spectroscopy*). Dan ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectroscopy*). Keuntungan pada ICP untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi semua elemen dengan pengecualian (argon), karena sensitivitas panjang gelombang bervariasi untuk setiap penentuan suatu unsur. ICP sangat cocok untuk semua konsentrasi, deteksi batas umumnya rendah untuk elemen dengan jumlah 1-100 g/L, dan tidak memerlukan jumlah sampel yang banyak (Nurventi, 2019).

8. *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)*

Prinsip ICP-OES didasarkan pada emisi spontan foton dari atom dan ion yang telah tereksitasi yang tereksitasi dalam *discharge frekuensi radio* (RF). Sampel dalam bentuk cair dan gas dapat langsung dimasukkan ke dalam instrumen, sementara sampel padat memerlukan proses ekstraksi atau pencernaan dengan asam agar analit dapat diperoleh dalam bentuk larutan. Larutan sampel tersebut kemudian diubah menjadi aerosol yang diarahkan ke inti plasma. Pada inti plasma induktif (ICP), suhu mencapai sekitar 10.000 K, yang menyebabkan aerosol cepat menguap (Octarianita, 2017).



Sumber : Octarianita, 2017

Gambar 2.5 ICP-OES

Unsur-unsur analit kemudian terlepas sebagai atom bebas dalam bentuk gas. Tumbukan lebih lanjut dalam plasma memberikan tambahan energi pada atom-atom tersebut, mempromosikannya ke keadaan tereksitasi. Energi yang cukup juga dapat mengionkan atom dan mendorong ion ke keadaan tereksitasi. Kedua jenis keadaan tereksitasi, baik atom maupun ion, kemudian dapat kembali ke keadaan dasar mereka dengan memancarkan foton. Foton yang dipancarkan ini memiliki energi yang khas, yang ditentukan oleh struktur

tingkat energi terkuantisasi dari atom atau ion tersebut. Oleh karena itu, panjang gelombang foton ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur asalnya. Jumlah total foton yang dipancarkan berkorelasi langsung dengan konsentrasi unsur dalam sampel (Octarianita,2017).

9. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan adalah metode penelitian yang dipakai untuk mencari perhitungan atau memprakirakan risiko pada kesehatan. Ada beberapa tahapan yang harus digunakan dalam menjalankan studi ARKL. Identifikasi bahaya, analisis dosis respon atau karakteristik bahaya, analisis pemajanan, dan karakteristik risiko (Dirjen PP Dan PL Kemenkes,2012).

a. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Identifikasi bahaya didefinisikan sebagai proses untuk menentukan apakah pajanan dari sebuah agen risiko dapat menyebabkan peningkatan kejadian gangguan kesehatan. Identifikasi bahaya digunakan untuk mengetahui secara spesifik agen risiko apa yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan bila tubuh terpajan. Tahapan ini harus menjawab pertanyaan agen risiko spesifik apa yang berbahaya, dan gejala kesehatan apa yang potensial (Dirjen PP Dan PL Kemenkes,2012)

b. Analisis Dosis - Respon (*Dose-Response Assesment*)

Analisis dosis respon adalah tahapan lanjutan dari identifikasi bahaya. Analisis dosis respon digunakan untuk memperkirakan efek samping dari agen risiko yang terjadi pada suatu populasi yang terpajan. Pada dasarnya analisis dosis respon digunakan untuk menentukan nilai toksisitas *risk agent* untuk setiap bentuk spesi kimianya. Toksisitas dinyatakan dalam nilai *reference*), atau *reference concentration* (RFC) dari agen risiko dosis (RFD yang menjadi fokus ARKL. Analisis dosis respon merupakan proses karakterisasi hubungan antara dosis dari sebuah agen risiko yang diterima dengan kejadian efek gangguan kesehatan pada populasi terpajan agen risiko. Langkah analisis dosis respon untuk mengetahui jalur pajanan dari suatu agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia, memahami perubahan gejala atau efek kesehatan yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi atau

dosis agen risiko yang masuk ke dalam tubuh (Dirjen PP Dan PL Kemenkes, 2012).

c. Analisis Paparan (*Exposure Assessment*)

Dalam studi ARKL, analisis pemajanan dijalankan dengan mengukur atau menghitung intake/asupan dari agen risiko. Untuk menghitung intake digunakan persamaan atau rumus yang berbeda. Data yang digunakan dapat berupa data primer (hasil pengukuran konsentrasi sendiri), data sekunder (hasil pengukuran dari pihak terpercaya seperti Dinas Kesehatan, Dinas Lingkungan Hidup, dll). Pada tahap ini juga dibutuhkan data terkait antropometri dari populasi terpajan untuk menetapkan intake. Karakteristik antropometri yang diukur diantaranya adalah berat badan, paparan harian, frekuensi paparan tahunan, dan durasi paparan (Dirjen PP Dan PL Kemenkes, 2012).

Perhitungan *Intake* Non Karsinogenik

Intake pada jalur paparan inhalasi (terhirup)

Perhitungan nilai *Intake* non karsinogenik pada jalur pemajanan inhalasi (terhirup) dipakai rumus sebagai berikut :

$$Ink = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

Keterangan :

Ink = Asupan *Intake* timbal (mg/kg/hari)

C = Konsentrasi timbal dalam paparan cat (mg/m³)

R = Laju asupan yang masuk setiap harinya (m³/jam)

tE = Lamanya atau jumlah terjadinya paparan setiap harinya (jam/hari)

fE = Lamanya atau jumlah terjadinya paparan setiap tahunnya (hari/tahun)

Dt = Lamanya atau jumlah durasi terjadi paparan (tahun)

Wb = Berat badan (kg)

tavg = Periode waktu rata-rata untuk efek non-karsinogenik

d. Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko dibagi atau dibandingkan untuk menentukan nilai *intake* dengan dosis referensi (RFD) atau konsentrasi referensi (RFC) untuk resiko non karsinogenik dan mengalihkan nilai intake dengan *Slope Factor* (SF) untuk risiko karsinogenik (Dirjen PP Dan PL Kemenkes, 2012).

Karakteristik risiko pada efek non karsinogenik

Perhitungan karakteristik risiko untuk efek non karsinogenik dilaksanakan dengan dibandingkan atau dibagi *intake* dengan nilai dosis referensi (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) (Dirjen PP Dan PL Kemenkes, 2012).

$$RQ = \frac{I}{RfC}$$

Keterangan :

RQ = Tingkat risiko timbal (Efek non karsinogenik)

I = *Intake* non karsinogenik timbal (mg/kg/hari)

RfC = Dosis referensi timbal (mg/kg/hari)

e. Manajemen Risiko (*Risk Management*)

Manajemen risiko adalah Tindakan tambahan jika tingkat risiko berbahaya ditunjukkan oleh nilai hasil karakteristik risiko atau dengan nilai $RQ > 1$. Manajemen risiko dipakai untuk pendekatan pengelolaan risiko, dapat mengurangi dampak pajanan suatu agen. Angka atau limit terendah yang membuat tingkat risiko berbahaya dikenal sebagai batas aman (tidak dapat diterima) (Dirjen PP Dan PL Kemenkes, 2012).

Manajemen risiko dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

1) Penentuan konsentrasi aman (C)

Konsentrasi aman non karsinogenik jalur pajanan inhalasi

Perhitungan konsentrasi aman non karsinogenik jalur pajanan inhalasi dipakai rumus sebagai berikut :

$$C_{nk} \text{ aman (ingesti)} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{R \times tE \times fE \times Dt}$$

Keterangan :

RfC = Dosis konsentrasi timbal (mg/kg/hari)

Wb = Berat badan (kg)

tavg = Periode waktu rata-rata untuk efek non-karsinogenik

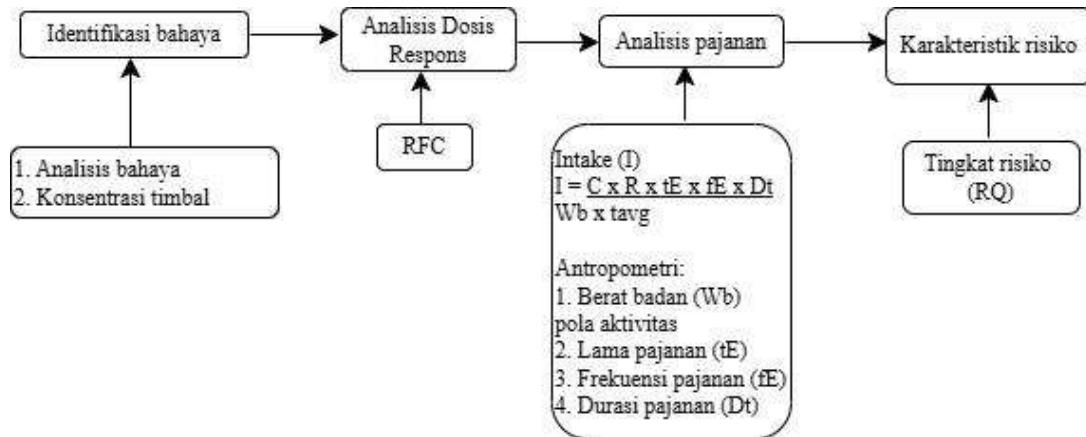
R = Konsentrasi timbal dalam pajanan cat (m³/jam)

tE = Lamanya atau jumlah terjadinya pajanan setiap harinya (jam/hari)

fE = Lamanya/jumlah terjadinya pajanan setiap tahunnya (hari/tahun)

Dt = Lamanya atau jumlah pajanan tahunan (tahun)

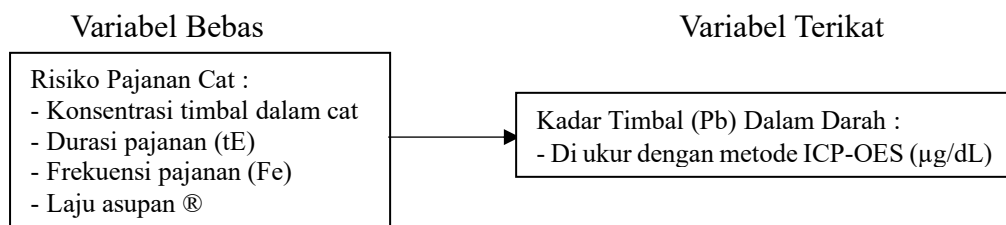
B. Kerangka Teori



Sumber: Modifikasi dari Buku Dirjen PP dan PL Kemenkes, 2012

Gambar 2.6 Kerangka Teori

C. Kerangka Konsep



Gambar 2.7 Kerangka Konsep

D. Hipotesis

H_0 = Tidak ada dampak risiko kesehatan yang positif pada kadar timbal terhadap pekerja manusia silver di Kota Bandar Lampung.

H_a = Ada dampak risiko kesehatan yang positif pada kadar timbal terhadap pekerja manusia silver di Kota Bandar Lampung.