

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Timbal

Timbal (Pb) atau timah hitam, yang secara internasional dikenal dengan nama plumbum, serta dengan lambang Pb dikelompokkan dalam logam berat (Reffiane, Arifin, dan Santoso, 2011). Timbal (Pb) adalah salah satu pencemar di udara mempunyai wujud partikel yang kerap diketahui dengan debu-debu metalik. Debu-debu tersebut bisa masuk ke dalam tubuh lewat makanan ataupun pernafasan. meski dalam jumlah kecil, partikel tersebut bisa menimbulkan keracunan. Lewat bermacam cara antara lain lewat saluran pernafasan (inhalasi), saluran pencernaan (oral), ataupun kontak kulit (dermal) timbal bisa masuk ke tubuh. Timbal yang terhirup serta masuk lewat sistem pernafasan hendak turut tersebar bersama darah ke seluruh jaringan serta organ tubuh, berikutnya akan mengendap di dalam darah. Penumpukan timbal dalam darah akan menimbulkan bermacam akibat buruk. Timbal memiliki dampak toksik yang luas pada manusia serta bisa mengganggu sistem syaraf, saluran pencernaan, menurunkan fertilitas, serta bisa mengganggu fungsi ginjal (Kasanah, Setiani, dan Joko, 2016).

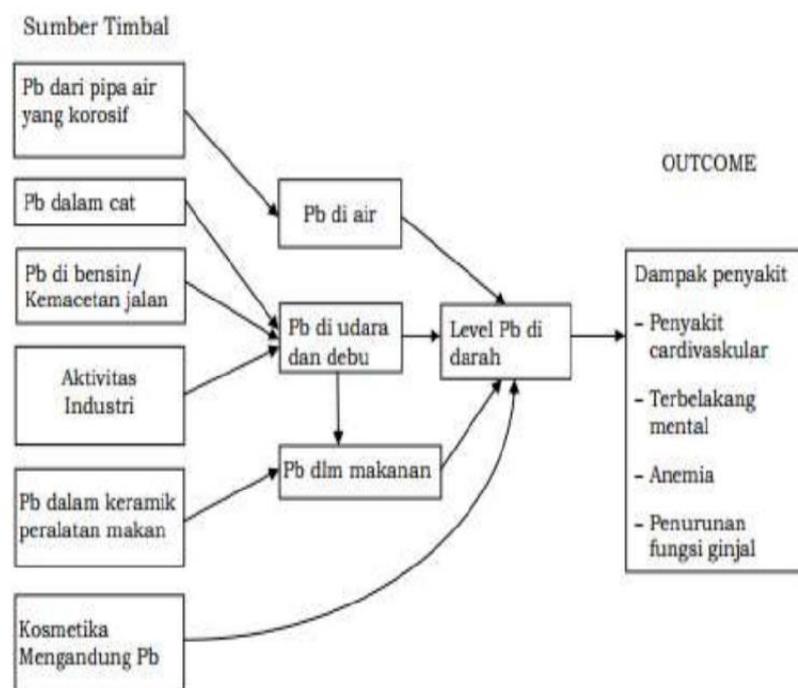
a. Karakteristik Dan Sifat Timbal

Timbal (Pb) adalah jenis logam berat yang kerap pula disebut timah hitam. Timbal mempunyai titik lebur yang rendah, gampang dibentuk, digunakan untuk melapisi logam supaya tidak menimbulkan perkaratan karena mempunyai sifat kimia yang aktif. Timbal merupakan logam yang mempunyai bilangan oksidasi +2 serta lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat.

Timbal memiliki nomor atom 82 dengan berat atom 207,20. Titik leleh timbal yaitu 1740°C serta mempunyai massa jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$. Logam Pb pada temperatur $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$ bisa menguap serta membentuk oksida di udara dalam wujud timbal oksida (PbO) (Rahayu dan Solihat, 2018).

b. Metabolisme Pb Dalam Tubuh

Pb masuk ke dalam tubuh manusia lewat saluran pencernaan serta lewat saluran pernafasan yaitu jalur pemajanan terbesar, biasanya pada anak-anak serta orang dewasa yang kebersihan individunya kurang baik. Absorpsi Pb udara pada saluran pencernaan $\pm 5-10\%$ serta saluran pernafasan $\pm 40\%$, setelah itu Pb didistribusikan ke dalam darah $\pm 95\%$ dan terikat pada sel darah merah, serta sisanya terikat pada plasma. Sebagian Pb di simpan pada jaringan lunak dan tulang. Ekskresi paling utama lewat ginjal dan saluran pencernaan (Rosita dan Widiarti, 2018).



Sumber: Adhani dan Husaini (2017)

Gambar 2.1 Alur pajanan Pb dalam Lingkungan Timbal

1) Absorpsi

Absorpsi Pb mempunyai saluran pernafasan yang dipengaruhi tiga proses antara lain deposisi, pembersihan mukosiliar dan pembersihan alveolar. Partikel yang lebih besar banyak di deposit pada saluran pernafasan bagian atas daripada partikel yang lebih kecil. Pembersihan mukosiliar membuat partikel di saluran pernafasan bagian atas ke nasofaring setelah itu ditelan (Rosita dan Widiarti, 2018).

Lewat saluran pernafasan dan saluran pencernaan Timah hitam dan senyawanya masuk ke dalam tubuh manusia, absorpsi lewat kulit bisa

diabaikan karena sangat kecil. Bahaya yang disebabkan oleh Pb bergantung oleh dimensi partikelnya. Bisa tertahan di paru-paru jika partikel lebih kecil dari 10 μg , sebaliknya mengendap di saluran nafas bagian atas jika partikel lebih besar. Paparan Pb bisa berasal dari lingkungan umum, minuman, udara, lingkungan kerja dan makanan yang tercemar Pb. Paparan non okupasional umumnya lewat tertelannya makanan dan minuman yang tercemar Pb. Paparan okupasional lewat saluran respirasi serta saluran pencernaan paling utama oleh Pb sulfat dan Pb karbonat. Diabsorpsi lewat inhalasi uap Pb dan partikel dari udara lingkungan kota yang bersifat polusi. Masuknya Pb 100-350 $\mu\text{g}/\text{hari}$ dan 20 μg .

Pembersihan mukosiliar membawa partikel di saluran pernafasan bagian atas ke nasofaring setelah itu ditelan. Rata-rata 10–30% Pb yang terinhalasi diabsorpsi lewat paru-paru, dan sekitar 5-10% dari yang tertelan diabsorpsi lewat saluran cerna. Fungsi pembersihan alveolar yaitu membawa partikel ke eskalator mukosiliar, menembus susunan jaringan paru setelah itu mengarah ke kelenjar limfe dan aliran darah. Pb yang diabsorpsi lewat saluran pernafasan akan masuk ke aliran darah sebanyak 30-40%. Tergantung pada ukuran partikel daya larut masuknya Pb ke aliran darah, variasi faal antar individu dan volume pernafasan (Ardyanto, 2005).

2) Distribusi dan penyimpanan

Sebanyak 95% Pb dalam darah diikat oleh eritrosit timah hitam yang diabsorpsi diangkut oleh darah ke organ-organ tubuh. Terbagi menjadi dua antara lain ke jaringan keras (tulang, kuku, rambut, gigi) dan jaringan lunak (sumsum tulang, hati, ginjal, sistem saraf) bersifat toksik (Rosita dan Widiarti, 2018). Dibanding tulang lainnya gigi dan tulang panjang mengandung Pb yang lebih banyak. Pada gusi bisa terlihat lead line yaitu pigmen berwarna abu-abu pada perbatasan antara gigi dan gusi. Hal itu adalah karakteristik keracunan Pb (Ardyanto, 2005).

3) Ekskresi

Ekskresi Pb ada beberapa cara, terutama adalah lewat ginjal dan saluran cerna. Ekskresi Pb melalui feces 15%, melalui urine sebanyak 75-80% dan lainnya melalui empedu, keringat dan kuku. Ekskresi Pb melalui saluran

cerna dipengaruhi oleh saluran aktif dan pasif kelenjar saliva, pankreas serta kelenjar lain di bilik usus, ekskresi empedu dan regenerasi sel epitel. Proses ekskresi Pb melalui ginjal yaitu melalui filtrasi glomerulus (Ardyanto, 2005). Kadar Pb dalam urine merupakan gambaran pajanan baru sehingga pengecekan Pb urine dipakai untuk pajanan okupasional. Biasanya ekskresi Pb berjalan sangat lambat. Timah hitam waktu paruh di dalam darah kurang lebih 25 hari, pada jaringan lunak 40 hari sedangkan pada tulang 25 tahun. Ekskresi yang lambat ini mengakibatkan Pb mudah terakumulasi dalam tubuh, baik pada pajanan okupasional ataupun non okupasional (Rosita dan Widiarti, 2018).

c. Timbal dan Sumber Pajannya

Timbal ada secara umum dalam jumlah kecil pada bebatuan, tanah dan tumbuhan. Saat ini pemakaian timbal terbesar (70%) yaitu pada batu baterai terutama kendaraan bermotor, sistem cadangan listrik, dan industri baterai. Timbal adalah polutan lingkungan dan manusia dengan beragam sumber dan media yang berperan. Tidak hanya pajanan dari lingkungan, banyak orang yang terpajan timbal langsung dari pekerjaan (Yulianti, Octaviana, Hakim, dan Prihartono, 2010).

d. Toksikokinetik Timbal

Timbal dan senyawanya masuk ke dalam tubuh lewat kulit, inhalasi, dan proses menelan. Pajanan timbal umumnya melalui saluran pernafasan dan saluran cerna. Absorpsi timbal inorganik melalui kulit sangat sedikit apabila dibanding inhalasi dan penyerapan oral. Partikel timbal yang berukuran lebih kecil dari 20 μg bisa tertahan di paru-paru sedangkan partikel yang lebih besar mengendap di saluran pernafasan bagian atas. Sekitar 30-40% dari timbal yang terhirup diabsorpsi ke dalam aliran darah. Penyerapan dari saluran cerna tergantung dari status nutrisi dan usia. Diet tinggi kalsium pada hewan, janin dan anak-anak menimbulkan penurunan absorpsi timbal. Zat besi dipercaya bisa mengurangi penyerapan pada usus, sehingga defisiensi zat besi berhubungan dengan kenaikan konsentrasi timbal dalam darah pada anak-anak.

Timbal yang diabsorpsi diangkut oleh darah ke organ-organ tubuh dan bisa pula menembus sawar darah otak (membran pemisahan sirkulasi darah dari cairan ekstraselular otak dalam sistem saraf pusat) ataupun plasenta. Saat terabsorpsi, sekitar 99% timbal dalam sirkulasi berikatan dengan eritrosit selama sekitar 30-40 hari. Di dalam tubuh terdapat dua buah tempat deposit timbal yakni, di jaringan keras (tulang, rambut, kuku, dan gigi) serta di jaringan lunak (hati, ginjal, otak, paru-paru, dan limpa). Diperkirakan bahwa hanya timbal dalam jaringan lunak saja yang bersifat toksik secara langsung pada tubuh. Waktu paruh timbal berbeda-beda tergantung masing-masing tempat timbal terdeposit. Waktu paruh di eritrosit sekitar 30-40 hari, di jaringan lunak sekitar 40 hari, sedangkan di tulang berkisar 20-30 tahun. Kadar timbal dalam darah tidak dapat digunakan untuk menegakkan diagnosis bila pajanan yang terjadi lebih daripada enam minggu sebelum pemeriksaan karena waktu paruhnya yang relatif singkat (40 hari) (Yulianti, Octaviana, Hakim, dan Prihartono, 2010).

Di dalam tubuh, keracunan akibat timbal dapat menyebabkan gangguan anatomi tubuh. Gambaran anatomi akibat keracunan timbal dapat terlihat pada (Naria, 2005);

- 1) Darah
 - a) Anemia, biasanya mikrositik (eritrosit berukuran kecil), hipokromik (peningkatan hemoglobin eritrosit secara abnormal), berhubungan dengan rusaknya sintesis hemoglobin dan meningkatnya kerapuhan sel darah merah.
 - b) Basophilic stippling (gambaran berbintik-bintik) pada sel-sel darah merah.
- 2) Sistem syaraf
 - a) Sekeliling radang urat syaraf dengan demielinasi (gejala robeknya selubung mielin pada neuron).
 - b) Ensefalopati (penyakit degeneratif otak) pada anak-anak dengan membengkaknya otak, kemungkinan demielinasi (rusaknya sarung mielin saraf) otak dan otak kecil yang putih sebelah belakang, kematian sel-sel syaraf.

3) Rongga mulut

Garis timbal ginggiva (gusi) terdapat pada orang dewasa dengan ginggivitis (deposit berwarna biru/hitam dari timbal sulfida).

4) Ginjal

Inklusi intranuklir (pencangkupan inti) tahan asam, terutama dalam sel-sel tubulus proksimal (terdiri dari bagian kompleks timbal protein).

5) Sistem rangka

Endapan timbal yang radioopak (yang tidak dapat dilalui sinar-X), sehingga membentuk gambaran seperti piringan berwarna putih pada epifise anak-anak. Secara visual akan muncul gejala dari dampak keterpaparan timbal secara akut maupun kronis.

e. Efek Akut

Timbal secara klasik merupakan toksin kronis atau kumulatif; oleh karena itu, efek samping akut biasanya diamati hanya setelah paparan jangka pendek pada dosis tinggi. Paparan akut pada timbal dapat menyebabkan gangguan gastrointestinal (anoreksia, mual, muntah, sakit perut), kerusakan hati dan ginjal, hipertensi dan efek neurologis (malaise, mengantuk, ensefalopati) yang dapat menyebabkan kejang dan kematian (WHO, 2019).

f. Efek Kronis

Paparan timbal kronis menyebabkan berbagai efek. Ini termasuk: efek hematologis, seperti anemia; gangguan neurologis, termasuk sakit kepala, lekas marah, depresi, lesu, kejang, kelemahan otot, ataksia, tremor dan gangguan pendengaran, gangguan gastrointestinal, khususnya kolik perut dan disfungsi ginjal. Paparan kronis juga dikaitkan dengan peningkatan risiko hipertensi, penyakit jantung iskemik dan stroke.

Ada beberapa bukti bahwa paparan timbal dalam 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 bahwa ada bukti terbatas untuk karsinogenisitas pada manusia dan bukti yang cukup tentang karsinogenisitas pada hewan percobaan. Menurut IARC, senyawa timbal organik tidak dapat diklasifikasikan sebagai

karsinogenisitasnya pada manusia (Kelompok 3), yang berarti bahwa tidak ada cukup bukti untuk karsinogenisitasnya pada manusia. Pada pria, efek reproduksi timbal termasuk penurunan jumlah sperma dan peningkatan jumlah sperma abnormal (WHO, 2019).

g. Dampak Timbal (Pb) Terhadap Kesehatan Manusia

Pb merupakan racun syaraf (neuro toxin) yang bersifat kumulatif, destruktif dan kontinuu pada sistem haemofilik, kardiovaskuler dan ginjal. Anak yang telah menderita toksisitas timbal cenderung menunjukkan gejala hiperaktif, mudah bosan, mudah terpengaruh, sulit berkonsentrasi terhadap lingkungannya termasuk pada pelajaran, serta akan mengalami gangguan pada masa dewasanya nanti yaitu anak menjadi lamban dalam berfikir, biasanya orang akan mengalami keracunan timbal bila ia mengonsumsi timbal sekitar 0,2 sampai 2 mg/hari. Berikut dampak logam Pb pada kesehatan;

1) Sistem Syaraf dan Kecerdasan

Efek yang paling mengganggu dari timbal pada anak-anak adalah pada sistem saraf yang berkembang. Bahkan pada tingkat yang sangat rendah, paparan timbal pada anak-anak telah dikaitkan dengan defisit dalam kemampuan kognitif, skor IQ yang lebih rendah, prestasi akademik yang menurun, dan masalah perilaku. Anak-anak dengan kadar timbal dalam darah serendah 5 µg/dL ditemukan memiliki skor 3-5 poin atau lebih rendah pada tes kecerdasan daripada rekan-rekan mereka yang tidak memiliki kadar timbal dalam darah yang tinggi. Penemuan ini, bersama-sama dengan yang lain, telah lebih jauh mendukung konsensus ilmiah yang kuat bahwa jumlah timbal dalam darah mungkin mempengaruhi kesehatan anak-anak dan orang dewasa. Sebuah meta-analisis dari kadar timbal dalam darah anak-anak di India menemukan bahwa, rata-rata, anak-anak yang diteliti diharapkan kehilangan masing-masing 4 poin IQ akibat paparan timbal. Analisis tersebut mensintesis hasil dari 31 studi individu yang mewakili kadar timbal dalam darah dari 5.472 orang di sembilan negara bagian, menemukan tingkat timbal dalam darah rata-rata 6,86 µg/dL untuk anak-anak dan 7,52 µg/dL untuk orang dewasa tanpa paparan pekerjaan yang diketahui. Bahkan konsentrasi timbal

dalam darah di bawah 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ telah dikaitkan dengan kerusakan neurologis pada anak-anak. Memang, penelitian secara konsisten menunjukkan penurunan yang lebih tajam pada IQ pada anak-anak dengan konsentrasi timbal dalam darah di bawah 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$. Satu meta-review dari literatur yang memeriksa kadar timbal dalam darah di bawah 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ tidak menemukan indikasi ambang batas di mana efek samping dijamin tidak akan terjadi. Secara global, paparan timbal diperkirakan menyumbang hampir 10 persen dari beban kecacatan intelektual yang tidak diketahui asalnya. Efeknya biasanya tidak dapat diubah. Perawatan dengan agen farmakologis (biasanya, obat chelating) tersedia untuk gejala terburuk keracunan akut tingkat tinggi, tetapi uji coba terkontrol acak multi-pusat yang ketat gagal menunjukkan peningkatan kecerdasan pada anak-anak dengan tingkat paparan kronis dan sedang yang adalah tipikal dari kebanyakan anak di dunia. Studi pencitraan terhadap orang dewasa yang mengalami kadar timbal dalam darah tinggi saat anak-anak menemukan penurunan volume otak spesifik wilayah dan perubahan struktur mikro, serta berdampak signifikan pada reorganisasi otak, kemampuan otak untuk membentuk koneksi saraf baru. Beberapa penelitian telah menemukan efek negatif lebih lanjut di luar IQ, termasuk pemendekan rentang perhatian, perilaku mengganggu, serta agresi. Satu studi tahun 2009 memperkirakan bahwa satu dari empat kasus ADHD pada anak-anak berusia 8 hingga 15 tahun mungkin disebabkan oleh keracunan timbal. Studi juga menunjukkan hubungan antara paparan timbal dan penurunan ketajaman pendengaran, cacat bicara dan bahasa dan perilaku anti-sosial dan nakal (Rees dan Fuller, 2020).

2) Efek Sistemik

Kandungan Pb dalam darah yang terlalu tinggi (toksitas Timbal yakni di atas 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$) dapat menyebabkan efek sistemik lainnya adalah gejala gastrointestinal. Keracunan timbal dapat berakibat sakit perut, konstipasi, kram, mual, muntah, anoreksia dan kehilangan berat badan. Pb juga dapat meningkatkan tekanan darah. Intinya timbal ini dapat merusak fungsi organ (Gusnita, 2012).

3) Efek Terhadap Reproduksi

Logam berat Pb dapat menyebabkan gangguan pada sistem reproduksi berupa keguguran, kesakitan dan kematian janin. Logam berat Pb mempunyai efek racun terhadap gamet dan dapat menyebabkan cacat kromosom. Anak-anak sangat peka terhadap paparan Pb di udara. Paparan Pb dengan kadar yang rendah yang berlangsung cukup lama dapat menurunkan IQ (Sudarmaji, Mukono, dan Corie, 2006).

Daya toksik timbal berpengaruh pada sistem reproduksi hewan dan manusia dan bekerja secara langsung mengenai sel-sel sasaran atau secara tidak langsung melalui organ endokrin tertentu. Timbal menyebabkan kelainan pada testis yang bekerja melalui mekanisme pretestiskuler dan testiskuler. Pada tingkat pretestiskuler, timbal yang tertimbun dalam darah melewati sawar darah otak dan mengganggu metabolisme sel-sel saraf melalui penghambatan respirasi mitokondria sel saraf. Hambatan pada tingkat biokimiawi ini menimbulkan gangguan pada poros hipotalamus hipofisis testis sehingga menyebabkan terganggunya sekresi hormon-hormon hipofisis anterior yang penting dalam proses spermatogenesis yaitu FSH (*Follicle Stimulating Hormone*) dan LH (*Luteinizing Hormone*). Efek toksik timbal pada tingkat testiskuler menekan produksi hormon testosteron yang mempengaruhi proses spermatogenesis. Efek toksik timbal pada sistem reproduksi pria juga menyebabkan atrofi testis.

Untuk mengetahui adanya gangguan spermatogenesis ditandai dengan terjadinya perubahan jumlah sel-sel spermatogenik dalam tubulus seminiferus. Pemberian timbal nitrat pada mencit jantan selama 16 hari dengan konsentrasi masing-masing 120 ppm, 360 ppm, 600 ppm dan 840 ppm menekan proses spermatogenesis secara signifikan yaitu pada fase spermatositogenesis, meiosis, dan spermiogenesis. Timbal juga menekan populasi sel sertoli dan sel leydig serta menurunkan berat testis secara signifikan.

Logam berat timbal mempunyai efek racun terhadap gamet dan dapat menyebabkan cacat kromosom. Wanita yang bekerja pada perusahaan tembikar, tempat paparan timbal sangat tinggi, mempunyai resiko keguguran

lebih besar, kematian bayi dalam kandungan, dan kelahiran bayi prematur. Pada laki-laki, timbal dapat menurunkan libido dan menyebabkan morfologi sperma yang abnormal. sehingga mengakibatkan infertilitas. Efek lain paparan timbal terhadap sistem reproduksi wanita adalah Pb dapat menembus plasenta sehingga menimbulkan kelainan pada janin. Peningkatan kasus infertil, abortus spontan, gangguan haid, dan bayi lahir mati pada pekerja perempuan yang terpajan Pb telah dilaporkan sejak abad 19, walaupun demikian data mengenai dosis dan efek Pb terhadap fungsi reproduksi wanita sampai sekarang masih sedikit (Suryatini dan Rai, 2018).

4) Pada Tulang

Pada tulang, ion Pb^{2+} logam ini mampu menggantikan keberadaan ion Ca^{2+} (kalsium) yang terdapat pada jaringan tulang. Konsumsi makanan tinggi kalsium akan mengisolasi tubuh dari paparan Pb yang baru. Badan pengendalian Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Propinsi Jabar bulan Mei 2008 telah memantau konsentrasi Pb khususnya dalam darah menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi Pb dalam darah, yang diambil dari sampel beberapa siswa Sekolah Dasar (SD) di kota Bandung. Diketahui bahwa sebagian besar siswa SD yang di ambil sampel darahnya menunjukkan konsentrasi yang melebihi ambang batas Pb yaitu $10 \mu\text{g/dl}$. Hal ini tentunya merupakan masalah yang sangat memprihatinkan dan hendaknya menjadi perhatian serius dari pemerintah daerah serta semua anggota masyarakat (Gusnita, 2012).

5) Gangguan neurologi

Gangguan neurologi (susunan syaraf) akibat tercemar oleh Pb dapat berupa encephalopathy, ataxia, stupor dan coma. Pada anak-anak dapat menimbulkan kejang tubuh dan neuropathy perifer.

6) Gangguan terhadap fungsi ginjal

Logam berat Pb dapat menyebabkan tidak berfungsinya tubulus renal, nephropati irreversible, sclerosis vaskuler, sel tubulus atropi, fibrosis dan sclerosis glumerulus. Akibatnya dapat menimbulkan aminoaciduria dan glukosuria dan jika paparannya terus berlanjut dapat terjadi nefritis kronis.

7) Gangguan terhadap sistem hemopoitik

Keracunan Pb dapat dapat menyebabkan terjadinya anemia akibat penurunan sintesis globin walaupun tak tampak adanya penurunan kadar zat besi dalam serum. Anemia ringan yang terjadi disertai dengan sedikit peningkatan kadar ALA (*Amino Levulinic Acid*) urine. Pada anak-anak juga terjadi peningkatan ALA dalam darah. Efek dominan dari keracunan Pb pada sistem hemopoitik adalah peningkatan ekskresi ALA dan CP (*Coproporphyrine*). Dapat dikatakan bahwa gejala anemia merupakan gejala dini dari keracunan Pb pada manusia. Anemia tidak terjadi pada karyawan industri dengan kadar Pb-B (kadar Pb dalam darah) dibawah 110 ug/100 ml. Dibandingkan dengan orang dewasa, anak-anak lebih sensitif terhadap terjadinya anemia akibat paparan Pb. Terdapat korelasi negatif yang signifikan antara Hb dan kadar Pb di dalam darah (Sudarmaji, Mukono dan Corie, 2006).

h. Analisis Logam Timbal dengan SSA

Analisis kadar logam berat seperti Pb dapat dilakukan dengan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Pemilihan metode spektrometri serapan atom karena mempunyai sensitifitas tinggi, mudah, murah, sederhana, cepat, dan cuplikan yang dibutuhkan sedikit. Analisis menggunakan SSA juga lebih sensitif, spesifik untuk unsur yang ditentukan, dan dapat digunakan untuk penentuan kadar unsur yang konsentrasinya sangat kecil tanpa harus dipisahkan terlebih dahulu. SSA merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya. Digunakan untuk analisis senyawa anorganik, atau logam (golongan alkali tanah unsur transisi). Spektrum yang diukur adalah pada daerah UV-Vis. Sampel yang diukur harus dalam bentuk larutan jernih.

Prinsip SSA Metode SSA Berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Sampel Pb diatomisasi dengan nyala maupun dengan tungku. Pada atomisasi temperatur harus benar-benar terkendali dengan sangat hati-hati agar proses atomisasinya sempurna. Biasanya

temperatur dinaikkan secara bertahap, untuk menguapkan dan sekaligus mendisosiasikan senyawa yang dianalisis. Sumber radiasi harus bersifat sumber yang kontinyu. Analisis dengan SSA menganut hukum Lambert Beer untuk menyatakan hubungan antara absorbansi yang terukur dengan konsentrasi sampel (Rahayu dan Solihat, 2018).

i. Nilai Ambang Batas Timbal Pada Tubuh Manusia

- 1) Berdasarkan penelitian terdahulu oleh Saud dan Purwati (2020) menyatakan bahwa berdasarkan ketetapan CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*) (2011) tentang nilai standar kadar timbal dalam darah yaitu $<10 \mu\text{g/dl}$.
- 2) Menurut Menteri Kesehatan (2002) dalam Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1406/MENKES/SK/IX/2002 tentang standar pemeriksaan kadar Pb pada spesimen biomarker manusia nilai ambang batas kadar timbal dalam spesimen rambut adalah $\leq 12 \mu\text{g/g}$.

j. Penanganan Kasus Dan Tindakan Pencegahan

Pengobatan keracunan Pb akibat kerja adalah menghentikan penambahan timah hitam yang memasuki tubuh penderita yang pada umumnya melewati jalan pernafasan/pencernaan, mengobatinya dengan ethylendiaminetetraacetic (EDTA) intravenous. Ethylendiaminetetraacetic akan mengikat kation Pb dalam tulang dan jaringan lunak. Ekskresi lebih dari $600 \mu\text{g}$ Pb dalam spesimen urin 24 jam menandakan adanya pajanan secara signifikan. Selain menggunakan EDTA, dapat pula digunakan 2,3 dimercapto-1propanol (British antilewisite atau BAL). Dua macam obat ini dapat mengikat Pb yang ada pada jaringan seperti eritrosit, otot, liver, ginjal dan tulang trabekular. Namun pada pasien dengan pajanan yang lama, sebagian besar Pb disimpan pada tulang padat dan otak. Keberhasilan terapi ini tergantung pada beberapa faktor antara lain beratnya gejala klinik, derajat disfungsi organ terminal, kadar Pb dalam darah dan sifat pajanan akut atau kronik. Biasanya terapi ini diindikasikan untuk pasien dengan kadar Pb dalam darah lebih dari $80 \mu\text{g/dL}$. Tindakan pengendalian yang dapat diambil guna mencegah intoksikasi Pb bisa berupa (Ardyanto, 2005);

- 1) Pengawasan ketat terhadap sumber debu atau uap Pb,

- 2) peningkatan higiene industri dan higiene perorangan seperti pakaian khusus dengan aliran udara tekanan positif bagi pekerja yang membersihkan tangki-tangki penyimpanan TEL (*Tetra Etil Lead*), tidak boleh makan, minum dan merokok di tempat kerja,
- 3) pemeriksaan sebelum penempatan meliputi riwayat medis dan pemeriksaan fisik dengan perhatian khusus pada sistim hematopoetik dan kadar Hb darah,
- 4) pemeriksaan berkala setiap tahun untuk mencari tanda dan gejala pajanan Pb dan uji laboratorium untuk mengukur absorpsi Pb yang berlebihan serta pemeriksaan untuk memastikan efek toksik Pb,
- 5) uji saring dengan frekuensi uji saring tergantung terhadap tingkat pajanan potensial dan hasil pemeriksaan kesehatan dan hasil uji saring sebelumnya, dan
- 6) pendidikan cara mengenal bau uap TEL atau gasoline dan cara pencegahan keracunan.

Tindakan pencegahan lain yang dapat dilakukan adalah dengan dilakukannya program medical surveillance. Program ini harus dilakukan pada pekerjaan dengan resiko tinggi dimana pekerja mungkin terpajan Pb di udara lebih dari $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau lebih dari 30 hari per tiap tahun. Para pekerja harus dilakukan tes Pb darah dan FEP pada waktu-waktu tertentu. Intervensi yang dapat dilakukan terhadap hasil medical surveillance dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Hasil pemeriksaan kadar Pb darah orang dewasa dan intervensinya berdasarkan standar Pb menurut OSHA

Kadar Pb darah	Intervensi
> 60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ atau jika rata-rata tiga sampel darah tiap atau semua sample darah selama 6 bulan	Terapi secara medis, pemeriksaan Pb darah tiap bulan
> 50 $\mu\text{g}/\text{dL}$	-
> 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$ tapi < kadar Pb yang harus diterapi medis	Pemeriksaan Pb darah tiap 2 bulan
< 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$	Pemeriksaan Pb darah tiap 6 bulan, pekerja yang telah diterapi secara medis boleh kembali bekerja

2. Timbal Pada Darah

Darah manusia adalah cairan jaringan tubuh. Fungsi utamanya adalah mengangkut oksigen yang diperlukan oleh sel – sel di seluruh tubuh. Darah juga menyuplai tubuh dengan nutrisi, mengangkut zat-zat sisa metabolisme, dan mengandung berbagai bahan penyusun sistem imun yang bertujuan mempertahankan tubuh dari berbagai penyakit (Rosita dan Widiarti, 2018).

Konsentrasi timbal dalam darah utuh (BPb) adalah biomarker utama yang digunakan untuk memantau paparan elemen logam ini. The US Center untuk Pengendalian dan Pencegahan Penyakit dan Organisasi Kesehatan Dunia menetapkan BPb 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (0,48 $\mu\text{mol}/\text{L}$) sebagai ambang batas perhatian pada anak-anak. Namun, penelitian terbaru telah melaporkan kemungkinan efek kesehatan yang merugikan, termasuk gangguan intelektual pada anak-anak, pada tingkat BPb <10 $\mu\text{g}/\text{dL}$, menunjukkan bahwa tidak ada tingkat keterpaparan yang aman. Tampaknya tidak mungkin untuk membedakan antara pajanan Pb kronis tingkat rendah dan pajanan Pb pendek tingkat tinggi berdasarkan satu pengukuran BPb; Oleh karena itu, pengukuran BPb serial menawarkan perkiraan yang lebih baik dari kemungkinan hasil kesehatan.

a. Kadar Timbal dalam Darah

Konsentrasi Pb dalam darah merupakan hal yang penting dalam evaluasi paparan terhadap Pb karena membantu diagnosa keracunan dan dapat dipakai sebagai indeks paparan untuk menilai tingkat bahaya, baik terhadap orang yang terpapar melalui pekerjaan atau pada masyarakat umum. Kadar timbal dalam darah menggambarkan refleksi kesinambungan dinamis antara paparan, absorpsi, distribusi dan ekskresi sehingga merupakan salah satu indikator untuk mengetahui dan mengikuti paparan yang sedang berlangsung. Rata-rata kadar normal Pb dalam darah orang dewasa adalah 10-25 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ darah. Kandungan timbal dalam darah sebanyak 5 $\mu\text{g}/\text{dl}$ juga dapat menaikkan tekanan darah sehingga 5 $\mu\text{g}/\text{dl}$ dijadikan sebagai nilai ambang batas yang harus diwaspadai. Timbal yang terabsorpsi akan didistribusikan ke sel darah, jaringan lunak dan tulang. Dalam darah timbal yang ada di dalam darah akan diekskresikan setelah 25 hari, timbal yang di

jaringan dieksresikan setelah 40 hari dan timbal di tulang dieksresikan setelah 25 tahun (Ardillah, 2016).

Waktu paruh timbal secara biologi dalam tulang manusia diperkirakan 2-3 tahun. Timbal dalam darah akan dapat dideteksi dalam waktu paruh sekitar 20 hari, sedangkan ekskresi timbal dalam tubuh secara keseluruhan terjadi dalam waktu paruh sekitar 28 hari. Dari darah dan tempat deposit, timbal kemudian diekskresikan melalui urine, faeces, dan keringat.

Kadar timbal dalam darah merupakan indikator pemajanan yang sering dipakai dalam kaitannya dengan pajanan eksternal. Kadar timbal dalam darah dapat merupakan petunjuk langsung jumlah timbal yang sesungguhnya masuk dalam tubuh. Dengan demikian untuk mengetahui dan mengukur kadar timbal dalam tubuh manusia dapat dilihat melalui darah, sekreta, jaringan lunak, dan jaringan mineral. Tetapi spesimen biomarker yang mewakili keberadaan timbal adalah darah dan urine. Kadar maksimum Pb yang masih dianggap aman dalam darah anak-anak sesuai dengan yang diperkenankan WHO dalam Depkes (2001) adalah 10 µg/dl darah, sedangkan untuk orang dewasa adalah 10-25 µg/dl darah (Naria, 2005).

b. Efek Timbal dalam Darah

Gangguan awal pada biosintesis hem, belum terlihat adanya gangguan klinis, gangguan hanya dapat terdeteksi melalui pemeriksaan laboratorium. Apabila gangguan berlanjut akan terjadi efek neurologik dan efek-efek lainnya pada target organ termasuk anemia. Oleh sebab itu dikatakan bahwa gangguan yang terjadi pada fungsi saraf di mediasi oleh gangguan pada sintesis hemoglobin. Paparan timbal yang berlangsung lama dapat mengakibatkan gangguan terhadap berbagai sistem organ. Efek pertama pada keracunan timbal kronis sebelum mencapai target organ adalah adanya gangguan pada biosintesis hemoglobin, apabila hal ini tidak segera diatasi akan terus berlanjut mengenai target organ lainnya.

Pada tulang, timbal ditemukan dalam bentuk Pb-fosfat/Pb₃ (PO₄)₂, dan selama timbal masih terikat dalam tulang tidak akan menyebabkan gejala sakit pada penderita. Tetapi yang berbahaya adalah toksisitas timbal yang diakibatkan oleh gangguan absorpsi kalsium, dimana terjadinya desorpsi

kalsium dari tulang menyebabkan terjadinya penarikan deposit timbal dari tulang. Pada diet yang mengandung rendah fosfat akan menyebabkan pembebasan timbal dari tulang ke dalam darah. Penambahan vitamin D dalam makanan akan meningkatkan deposit timbal dalam tulang, walaupun kadar fosfatnya rendah dan hal ini justru mengurangi pengaruh negatif timbal. Meskipun jumlah timbal yang diserap oleh tubuh hanya sedikit, logam ini ternyata menjadi sangat berbahaya. Hal ini disebabkan senyawa-senyawa timbal dapat memberikan efek racun terhadap banyak fungsi organ yang terdapat dalam tubuh.

Timbal menyebabkan 2 macam anemia, yang sering disertai dengan eritrosit berbintik basofilik. Dalam keadaan keracunan timbal akut terjadi anemia hemolitik, sedangkan pada keracunan timbal yang kronis terjadi anemia makrositik hipokromik, hal ini disebabkan oleh menurunnya masa hidup eritrosit akibat interferensi logam timbal dalam sintesis hemoglobin dan juga terjadi peningkatan corproporfirin dalam urin. Menurut Adnan, kadar timbal dalam darah yang dapat menyebabkan anemia klinis sebesar 70 $\mu\text{g/dL}$ atau 0,7 mg/L. Sedangkan menurut US Department of Health and Human Services kadar timbal dalam darah yang dapat menimbulkan gangguan terhadap hemoglobin adalah sebesar 50 $\mu\text{g/dL}$ atau sebesar 0,5 mg/L.

Sistem saraf merupakan sistem yang paling sensitif terhadap daya racun timbal. Senyawa seperti timbal tetra etil, dapat menyebabkan keracunan akut pada sistem saraf pusat, meskipun proses keracunan tersebut terjadi dalam waktu yang cukup panjang dengan kecepatan penyerapan yang kecil. Pada percobaan *in vitro*, akumulasi dari delta-ALA dalam hipotalamus dan protoporfirin dalam saraf dorsal dapat menyebabkan ensefalopati karena toksisitas timbal. Terjadinya neuropati pada saraf tepi karena toksisitas timbal disebabkan oleh di eliminasi dan degenerasi saraf (Ardillah, 2016).

c. Cara Menurunkan Kadar Timbal Darah

Vitamin C adalah vitamin larut air yang dibutuhkan untuk fungsi metabolisme tubuh dan mencegah oksidatif stress pada jaringan tubuh. Selain itu vitamin C dapat menghambat ambilan timbal dan menurunkan sitotoksik timbal, dan terbukti efektif mengurangi nefrotoksik dan dapat sebagai

pelindung ginjal. Penelitian tentang efek toksik timbal pada produksi hem dapat diperbaiki dengan pemberian vitamin C 100 mg/kg BB.7 Vitamin C dapat menurunkan kadar timbal di dalam darah karena vitamin C menurunkan absorpsi timbal di usus halus.

Berdasarkan penelitian Luh Putu Ratna Sundari tentang Pemberian Vitamin C 250 Mg Per Oral Menurunkan Kadar Timbal Darah Wanita Penyapu Jalan Di Kota Denpasar didapatkan hasil bahwa pemberian vitamin C 250 mg mampu menurunkan kadar timbal secara bermakna pada penyapu jalan, tetapi belum dapat meningkatkan jumlah eritrosit dan kadar hemoglobin pada penyapu jalan. Diperlukan penelitian lanjutan untuk mengetahui dosis vitamin C yang tepat sehingga efektif untuk mencegah dan mengurangi keracunan timbal pada pekerja penyapu jalan (Sundari, Dinata dan SHA, 2017).

3. Timbal Pada Rambut

Karena Pb diekskresikan di rambut, banyak yang menyarakannya untuk menilai paparan Pb, terutama di negara berkembang di mana layanan laboratorium khusus mungkin tidak tersedia dan sumber daya terbatas. Kemampuan untuk membedakan antara Pb yang endogen, yaitu terserap ke dalam darah dan dimasukkan ke dalam matriks rambut, dan Pb yang bersifat eksogen, yaitu yang berasal dari kontaminasi eksternal, merupakan masalah utama. Selama tahap pencucian rambut diasumsikan bahwa Pb eksogen benar-benar hilang, sedangkan Pb endogen tidak. Namun, tidak ada konsensus tentang bagaimana penghapusan Pb eksogen paling baik dilakukan. Beberapa publikasi yang menjelaskan penggunaan rambut untuk menilai paparan Pb mengacu pada metode pencucian rambut yang diusulkan oleh Badan Energi Atom Internasional (IAEA) pada tahun 1978. Pendekatan tersebut mencakup pencucian spesimen rambut dengan aseton/air. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa metode IAEA gagal menghilangkan Pb eksogen dari rambut. Baru-baru ini, ATSDR membentuk panel penasihat ahli untuk meninjau pengetahuan terkini tentang penggunaan analisis rambut untuk jejak logam dalam biomonitoring. Konsensus umum adalah bahwa banyak masalah ilmiah perlu diselesaikan sebelum analisis rambut dapat

menjadi alat yang berguna dalam memahami paparan lingkungan. Meskipun analisis rambut mungkin dapat menjawab beberapa pertanyaan spesifik tentang paparan lingkungan terhadap beberapa zat, analisis ini sering kali menimbulkan lebih banyak pertanyaan daripada jawaban. Komunitas ilmiah saat ini tidak mengetahui kisaran tingkat kontaminasi Pb yang biasanya ditemukan pada rambut manusia. Tanpa data yang dapat dipercaya pada tingkat dasar atau latar belakang kontaminasi rambut pada populasi umum, badan kesehatan tidak dapat menentukan apakah hasil dari situs tertentu sangat tinggi atau rendah. Selain masalah pra-analisis dan tidak adanya rentang referensi yang andal, kualitas teknik analisis yang digunakan untuk mencegah penambangan Pb, serta logam sisa lainnya, pada rambut telah dipertanyakan. Dalam studi antar laboratorium baru-baru ini dari laboratorium komersial yang secara spesifik memasarkan pengujian logam jejak di rambut, kesepakatan antar laboratorium dinilai sangat buruk, dengan perbedaan yang luas diamati untuk Pb serta untuk elemen lainnya (Barbosa Jr, Tanus-Santos, Gerlach, dan Parsons, 2005).

Lewat saluran pencernaan (digesti) ataupun lewat saluran pernafasan (inhalasi) timbal bisa masuk ke tubuh manusia. Proses masuknya ion logam Pb ke dalam tubuh bisa dengan bermacam cara dan akan tertimbun di dalam organ-organ tubuh. Walaupun tubuh manusia bisa mengekskresi timbal, tetapi itu tidak sebanding dengan absorpsinya sehingga bisa mengakibatkan dampak negatif baik akut ataupun kronis. Dikirim ke jaringan lunak (sumsum tulang, sistem saraf, ginjal, hati) serta ke jaringan keras (tulang, kuku, rambut, gigi) ion logam Pb yang terdapat di dalam darah diikat oleh eritrosit. Rambut adalah aspek penting dalam penetapan identitas karena tahan terhadap perwamaan, pembilasan, pembusukan. Rambut bagian tubuh yang paling stabil serta penting untuk proses identifikasi. Sebaliknya darah dan urin tidak bisa mencerminkan banyaknya tingkat keracunan dan logam berat. Hal ini karena tidak panjangnya masa tinggal logam berat ini dalam darah ataupun urin (Wiratama, Sitorus, dan Kartika, 2018).

Pb terikat pada gugus sulfhidril pada rambut sehingga kandungan timbal (Pb) pada rambut bisa menjadi parameter pencemaran timbal. Sehingga

menggunakan rambut sebagai petunjuk dapat menjadi sebuah prosedur yang mudah untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran timbal (Pb) yang tertimbun didalam tubuh (Tasya, 2018).

4. Timbal Pada Pekerja SPBU

Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) adalah salah satu sumber paparan timbal. sebab ditempat ini kendaraan bermotor mengisi bahan bakar untuk kendaraannya. Berasal dari kendaraan bermotor paparan timbal yang berada di SPBU yang sebagian besar memakai bensin premium yang mengandung Tetra Ethyl Lead (TEL) maupun Tetra Methyl Lead, yang dapat menambah bilangan oktan supaya mesin tidak menggelik. lewat pembakaran 98% TEL diubah menjadi bromida timah hitam yang akan dilepaskan dalam wujud uap yang mengandung logam berat timbal yang akan memperburuk mutu udara dan risiko terbentuknya penumpukan timbal dalam tubuh manusia (Laila dan Shofwati, 2013).

Bensin Bertimbal tetraetil digunakan secara ekstensif untuk meningkatkan kinerja mesin mobil sejak masuk pasar pada tahun 1923. Antara 1926 dan 1985, 7 juta ton timbal dibakar sebagai bensin aditif di Amerika Serikat. Akibatnya, materi partikulat timbal dilepaskan ke udara dan menjadi sumber sejarah utama paparan timbal baik untuk anak-anak maupun orang dewasa. Namun, setelah menjadi jelas bagi para ilmuwan dan pembuat kebijakan bahwa bensin bertimbal menimbulkan risiko yang signifikan, sebagian besar negara berhasil menghapus bertahap produk, yang mengakibatkan penurunan dramatis kadar timbal dalam darah di seluruh dunia. Di Amerika Serikat saja, rata-rata geometris kadar timbal dalam darah turun dari 12,8 $\mu\text{g/dL}$ pada tahun 1976 ketika penghentian penggunaan bensin bertimbal dimulai, menjadi rata-rata saat ini kurang dari 1 $\mu\text{g/dL}$. Program Lingkungan PBB Kemitraan untuk Bersih Bahan Bakar dan Kendaraan melaporkan pada Mei 2019 bahwa hanya Aljazair yang belum memberlakukan undang-undang yang melarang bensin bertimbal (Rees dan Fuller, 2020).

Salah satu dari sebagian kelompok pekerja yang beresiko terpapar langsung dengan timbal dari bensin serta emisi gas kendaraan bermotor

adalah operator SPBU. Lokasi SPBU yang terletak di pinggir jalan raya mempermudah petugas terpapar dengan kontaminan timbal yang berasal dari asap kendaraan yang melewati jalan raya ataupun kendaraan yang mengantri untuk melakukan proses pengisian bahan bakar. terdapat bahan kimia di area kerja memberikan beban kerja tambahan pada pekerja sehingga mengakibatkan permasalahan kesehatan kerja (Ayu, Afridah, dan Nourma, 2016).

a. Pengendalian Paparan Timbal Terhadap Pekerja

Timbal yang masuk ke dalam tubuh bisa saja tidak mengakibatkan gangguan kesehatan. Salah satu cara yang dapat kita lakukan adalah mengatur asupan harian yang berpotensi mengandung timbal, seperti makanan. Tubuh kita masih bisa menerima timbal dalam batas-batas tertentu. Untuk mengantisipasi akumulasi timbal dalam tubuh, ditetapkan Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) timbal yaitu 50 µg/kg BB untuk anak-anak, sedangkan untuk orang dewasa asupan harian timbal yang ditetapkan adalah 200-300 µg per hari (Naria, 2005).

1) Manajemen Resiko (*Risk Management*)

Walaupun nilai resiko yang didapatkan masih kurang dari satu, tetapi manajemen resiko perlu dilakukan agar nilai resiko tidak bertambah dan dapat berkurang. Maka diperlukan suatu skenario yang digunakan agar nilai resiko berkurang (Yusvalina, Sutrisno, dan Wisnu, 2013);

- a) Skenario pertama yang dilakukan adalah menentukan pengendalian agar pencemar tidak berdampak pada masyarakat dan pekerja stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU).
- b) Skenario kedua adalah dengan cara menurunkan nilai konsentrasi Pb di udara ambien, sehingga pengendalian teknis yang realistis dapat dilakukan dengan cara pemasangan alat pengendali pencemaran udara yang baru sehingga efisiensinya masih besar dan berfungsi dengan baik.
- c) Skenario ketiga para masyarakat dan pekerja pekerja stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) hendaknya membatasi lama kerja dan lama tinggal di sekitar SPBU sehingga paparan Pb tidak terlalu banyak karena semakin lama terpapar semakin banyak akumulasi Pb dalam tubuh masing-masing.

- 2) Bagi Manajemen SPBU
 - a) Menetapkan masa kerja karyawan (operator SPBU) agar tidak boleh lebih dari 3 tahun. Berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan yang mengisyaratkan batas waktu maksimal 3 tahun bagi pengusaha untuk mempekerjakan karyawan.
 - b) Perlu dilakukan pemeriksaan udara secara berkala untuk mengetahui kondisi tingkat konsentrasi timbal (Pb) di tempat kerja.
 - c) Mempertegas peraturan mematikan mesin kendaraan saat mengantri dan mengisi Bahan Bakar Minyak (BBM).
 - d) Perlu dilakukan penyuluhan dan pelatihan kepada pekerja bagaimana posisi aman saat bekerja dan pemeliharaan personal hygiene.
 - e) Perlu disediakan Alat Pelindung Diri (APD) kepada operator berupa masker dan sarung tangan untuk mengurangi kontak pajanan timbal (Pb) (Almunjiat, Sabilu, dan Ainurafiq, 2016).
- 3) Alat Pelindung Diri (APD)

Adalah seperangkat alat yang digunakan oleh tenaga kerja untuk melindungi seluruh/sebagian tubuhnya terhadap kemungkinan adanya potensi bahaya/kecelakaan kerja. APD dipakai sebagai upaya terakhir dalam usaha melindungi tenaga kerja apabila usaha rekayasa (*engineering*) dan administratif tidak dapat dilakukan dengan baik.

Alat pelindung diri merupakan alat yang dipakai oleh pekerja untuk memproteksi dirinya dari kecelakaan yang terjadi akibat pekerjaannya APD yang dimaksud untuk mengurangi absorpsi Pb adalah masker. Diharapkan dengan pemakaian APD ini dapat menurunkan tingkat risiko bahaya penyakit dari paparan Pb yang dapat diakibatkan oleh pekerjaannya. Masker umumnya digunakan untuk melindungi lingkungan dari kontaminan dari pengguna masker, misalnya para pekerja di industri makanan menggunakan masker untuk melindungi makanan dari kontaminasi air ludah pekerja, atau suster di rumah sakit menggunakan masker untuk melindungi pasien dari kontaminasi suster atau dokter. Karena masker tidak fit ke wajah sehingga tidak bisa digunakan untuk melindungi pemakai. Sementara respirator harus fit ke

wajah sehingga bisa melindungi pengguna dari kontaminan lingkungan (Ardillah, 2016).

b. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kadar Timbal (Pb) Pada Pekerja

1) Masa Kerja

Masa kerja bertahun-tahun mempunyai kecenderungan untuk terpapar timbal lebih banyak yang menyebabkan tubuh tidak dapat mengabsorpsi timbal dan terus menerus terakumulasi dalam tubuh, mengendap menjadi racun bagi tubuh yang menyebabkan gangguan kesehatan (Laila dan Shofwati, 2013). Kadar timbal yang tidak normal pada operator SPBU dapat dikarenakan banyak faktor antara lain masa kerja yang cukup lama, biasanya lebih dari 3-4 tahun (Kawatu dan Rorong, 2009).

2) Jenis Kelamin

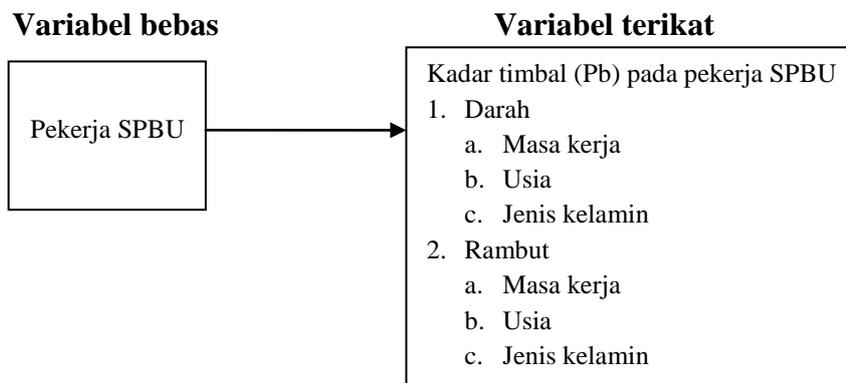
Jenis kelamin sebagai salah satu faktor variabel epidemiologi berperan penting terhadap resiko terpaparnya logam berat. Tingginya kandungan Pb dalam rambut pria dapat disebabkan karena beberapa aktivitas seperti pria lebih banyak beraktivitas di luar ruangan termasuk kebiasaan merokok dan lain-lain (Perumal dan Thangamani, 2011).

Jenis kelamin dapat mempengaruhi kadar timbal dalam darah. Efek toksik yang diakibatkan oleh logam berat timbal pada laki-laki berbeda dengan perempuan. Perempuan lebih rentan daripada laki-laki karena perbedaan faktor ukuran tubuh (fisiologi), keseimbangan hormonal dan perbedaan metabolisme (Hasan, Matondang, Syahrin, dan Wahyuni, 2013).

3) Usia

Peningkatan kandungan Pb dalam tubuh manusia sebanding dengan peningkatan umur, hal ini disebabkan oleh perubahan fungsi metabolik yang dapat mempengaruhi proses penyerapan logam berat (Perumal dan Thangamani, 2011).

B. Kerangka Konsep



C. Variabel dan Definisi Operasional

1. Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah kadar timbal darah dan rambut pada pekerja Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU).

2. Definisi Operasional

Tabel 2.2. Variabel dan Definisi Operasional

No.	Variabel	Definisi	Hasil ukur	Skala ukur
1.	Hasil penelitian kadar Pb pekerja SPBU	Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb pada pekerja SPBU	Informasi tentang kadar Pb pada pekerja SPBU (Ya/Tidak)	Nominal
2.	Hasil penelitian kadar Pb dalam darah pekerja SPBU <ol style="list-style-type: none"> a. Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb dalam darah berdasarkan masa kerja b. Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb dalam darah berdasarkan usia c. Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb dalam darah berdasarkan jenis kelamin 	Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb dalam darah pekerja SPBU berdasarkan masa kerja, usia dan jenis kelamin	Informasi tentang kadar Pb dalam darah berdasarkan masa kerja, usia dan jenis kelamin	Rasio

3.	Hasil penelitian kadar Pb dalam rambut pekerja SPBU	Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb dalam rambut pekerja SPBU berdasarkan masa kerja, usia dan jenis kelamin	Informasi tentang kadar Pb dalam rambut berdasarkan masa kerja, usia dan jenis kelamin	Rasio
a.	Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb dalam rambut berdasarkan masa kerja			
b.	Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb dalam rambut berdasarkan usia			
c.	Berbagai refferensi yang menginformasikan hasil pemeriksaan kadar Pb dalam rambut berdasarkan jenis kelamin			