

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Timbal

Timbal adalah timah hitam atau juga dikenal sebagai plumbum. Timbal termasuk dalam kategori logam berat yang mampu mencemari lingkungan, bersifat beracun, dan berbahaya bagi kehidupan organisme. Timbal adalah satu unsur logam berat lebih tersebar luas dibanding lebih dari sebagian logam toksik lainnya (Ardilah, 2016). Timbal terdapat di alam secara alamiah, Menurut daftar *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*, timbal (Pb) berada diposisi kedua setelah arsenik menjadi salah satu logam berat yang memiliki tingkat keberacunan tertinggi, dilihat dari kombinasi frekuensi keberadaannya di lingkungan, tingkat toksisitas, dan potensi paparan terhadap manusia (Klopfleisch, 2017).



Sumber: (Asiva Noor Rachmayani, 2015)
Gambar 2. 1 Logam timbal (Pb)

Timbal adalah logam yang sangat beracun, terutama bagi anak-anak. Penggunaan timbal yang luas telah menyebabkan pencemaran lingkungan dan menimbulkan berbagai masalah kesehatan di berbagai belahan dunia. Timbal secara alami ditemukan di tanah dan memiliki sifat yang tidak berbau serta tidak berasa. Timbal dapat bereaksi dengan senyawa lain dan membentuk berbagai senyawa timbal, seperti timbal oksida (PbO), timbal klorida (PbCl_2), dan lain-lain (Irianti et al., 2017)

a. Karakteristik dan Sifat Timbal

Timbal adalah unsur kimia yang banyak ditemukan di alam dengan simbol Pb, yang berasal dari kata Latin *plumbum*. Timbal merupakan suatu logam berat yang lunak berwarna kelabu kebiruan, memiliki angka atom 82 dengan kepadatan 11,34 g/cm³, timbal lebih padat jika dibandingkan dengan logam pada umumnya. Meski padat, timbal tergolong lunak mudah dibentuk. Timbal berbobot 207,20 g/mol, memiliki titik leleh rendah yaitu 327°C dan titik didih

1755°C (Irianti et al., 2017).

Beberapa sifat khas dari logam timbal menurut *Irianti et al., 2017* antara lain:

- 1) Timbal memiliki kekerasan yang sangat rendah, sehingga dapat dengan mudah dipotong menggunakan pisau atau bahkan dengan tangan.
- 2) Timbal bersifat sangat lembut dan mudah dibentuk.
- 3) Timbal memiliki ketahanan yang baik terhadap proses korosi atau karat, sehingga sering dimanfaatkan sebagai bahan pelapis (coating).
- 4) Sebagai konduktor listrik, timbal memiliki konduktivitas yang lemah, meskipun logam ini tetap sangat tahan terhadap korosi.
- 5) Timbal memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam pada umumnya, kecuali emas dan merkuri.

b. Sumber Pencemaran Timbal

Pencemaran polusi udara yang disebabkan oleh logam timbal (Pb) dapat ditemukan dalam dua bentuk, yaitu gas dan partikel-partikel. Gas timbal terutama berasal dari pembakaran bahan aditif bensin yang digunakan pada kendaraan bermotor, yang mengandung senyawa tetraetil Pb dan tetrametil Pb. Sementara itu, partikel-partikel timbal di udara dapat berasal dari berbagai sumber, seperti pabrik yang memproduksi alkil Pb dan Pb oksida, serta pembakaran arang dan proses industri lainnya. Sumber polusi timbal terbesar adalah pembakaran bensin, yang menghasilkan berbagai senyawa timbal, terutama PbBrCl dan PbBrCl₂PbO (Gusnita, 2012).

Berdasarkan sumbernya, timbal dapat dibedakan menjadi dua jenis menurut Rosita (2018) yaitu:

1) Timbal Alami

Timbal secara alami dapat ditemukan dalam bebatuan dengan kadar sekitar 13 mg/kg, sementara kadar timbal pada tanah berkisar antara 5 hingga 25 mg/kg. Timbal juga terdapat di air permukaan, dengan kadar timbal pada air danau dan sungai berkisar antara 1 hingga 10 µg/L. Sementara itu, kadar timbal dalam air laut lebih rendah dibandingkan dengan kadar timbal yang ada dalam air tawar.

2) Timbal dari Aktivitas Manusia

- a) Hasil Penambangan, Bijih timbal yang diperoleh dari proses penambangan mengandung sekitar 3% hingga 10% timbal, yang kemudian diproses lebih lanjut untuk menghasilkan logam timbal murni.
- b) Timbal dalam Bentuk Gas Timbal dalam bentuk gas terutama berasal dari pembakaran bahan aditif bensin yang digunakan pada kendaraan bermotor.
- c) Timbal dalam Bentuk Partikel Timbal dalam bentuk partikel-partikel umumnya berasal dari aktivitas industri pembakaran arang(Rosita 2018).

c. Toksisitas Timbal

Timbal adalah logam beracun yang dapat terakumulasi dalam tubuh, dan mekanisme keracunannya dapat bervariasi tergantung pada organ yang terkena dampaknya. Antara lain:

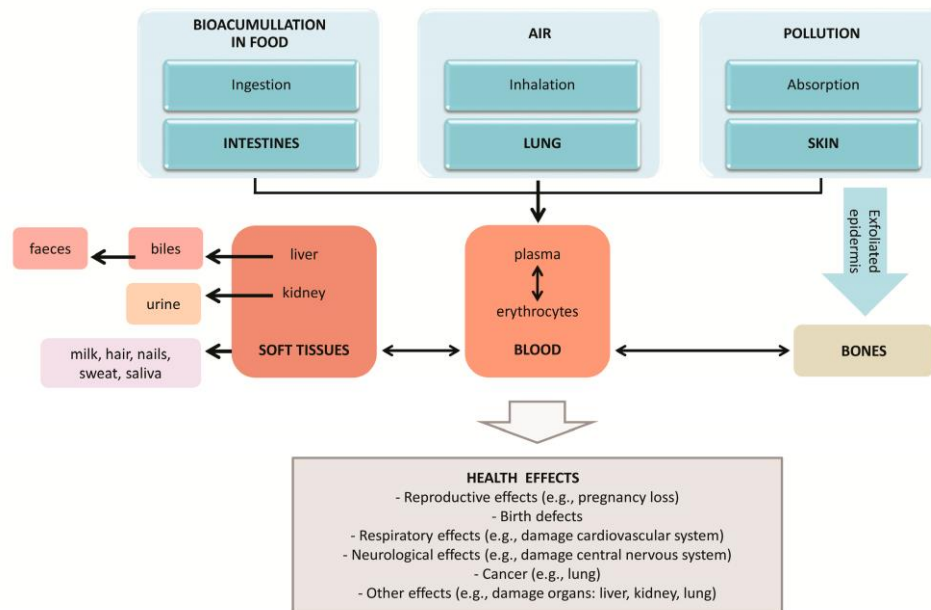
- 1) Sistem hemopoietik: Timbal menghambat pembentukan hemoglobin, yang dapat meningkatkan risiko terjadinya anemia.
- 2) Sistem saraf pusat dan tepi: Paparan timbal dapat menyebabkan gangguan ensefaliopati serta gejala-gejala gangguan saraf perifer.
- 3) Sistem ginjal: Timbal dapat menyebabkan aminoasiduria, glukosuria, fosfaturia, nefropati, serta fibrosis dan atrofi glomerulus.
- 4) Sistem gastrointestinal: Paparan timbal dapat menyebabkan kolik dan konstipasi.

- 5) Sistem kardiovaskuler: Timbal dapat meningkatkan permeabilitas pembuluh darah.
 - 6) Sistem reproduksi: Pada wanita, timbal dapat menyebabkan keguguran,
 - 7) sedangkan pada pria dapat menyebabkan hipospermi dan teratospermia.
- Tingkat toksisitas timbal pada manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti dosis atau konsentrasi timbal yang masuk ke tubuh, durasi paparan, usia, jenis kelamin, kebiasaan makan, kondisi fisik, serta kemampuan tubuh untuk mengakumulasi logam tersebut (Darmono, 2001).

Toksisitas adalah pernyataan kemampuan racun menyebabkan timbulnya gejala keracunan. Toksisitas dapat dinyatakan dengan ukuran dosis atau konsentrasi letal (LD50, LC50). Untuk timbal Nilai *Lethal Dose* >12 g/kg (*mouse, oral*) (MSDS, 2009).

d. Metabolisme Timbal (Pb) Dalam Tubuh

Timbal atau plumbum merupakan salah satu polutan udara yang sering hadir dalam bentuk partikel yang dikenal sebagai debu-debu metalik. Partikel-partikel ini dapat memasuki tubuh melalui pernapasan atau konsumsi makanan. Meskipun dalam kadar yang rendah, partikel-partikel ini mampu menimbulkan keracunan (khasanah, 2016). Timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui beberapa jalur, yaitu sistem pernapasan, saluran pencernaan, atau langsung melalui kulit, sekitar 5-10% timbal yang masuk melalui makanan akan diserap ke dalam tubuh, dan sebagian dari timbal tersebut akan mengendap pada jaringan tubuh, seperti rambut, sebanyak 15%. Lebih dari 90% timbal yang terserap oleh darah akan berikatan dengan sel-sel darah merah (eritrosit). Sekitar 30% timbal yang terhirup juga akan diserap oleh tubuh, sementara sisanya akan dikeluarkan melalui metabolisme tubuh, seperti melalui urine dan feses (Putri et al., 2018a).



Sumber:(Charkiewicz & Backstrand, 2020)

Gambar 2. 2 Penyerapan, Distribusi dan Ekskresi dari Tubuh.

1) Absorpsi Timbal (Pb)

Proses absorpsi timbal (Pb) melalui saluran pernapasan dipengaruhi oleh tiga mekanisme utama, yaitu deposisi, pembersihan mukosiliar, dan pembersihan alveolar. Partikel yang lebih besar cenderung terdeposit di saluran pernapasan bagian atas, sedangkan partikel yang lebih kecil dapat mencapai bagian yang lebih dalam. Proses pembersihan mukosiliar mengangkut partikel-partikel yang berada di saluran pernapasan bagian atas ke nasofaring, yang kemudian akan ditelan. Secara umum, sekitar 10–50% timbal yang terhirup dapat diserap melalui paru-paru, sementara sekitar 5–10% timbal yang tertelan diserap melalui saluran pencernaan (Rosita et al., 2018).

2) Distribusi dan Penyimpanan

Timbal yang terabsorpsi akan dibawa oleh darah ke berbagai organ tubuh, dengan sekitar 95% timbal berada dalam darah terikat dengan eritrosit. Selanjutnya Timbal tersebut terbagi menjadi dua jenis distribusi: pertama, ke jaringan lunak seperti sumsum tulang, sistem saraf, ginjal, dan hati; kedua, ke jaringan keras seperti tulang, kuku, rambut, dan gigi. Gigi dan tulang panjang menyerap lebih banyak timbal dibandingkan dengan tulang lainnya (Rosita et al., 2018).

3) Ekskresi

Timbal dikeluarkan dari tubuh melalui beberapa saluran, dengan cara yang paling signifikan yaitu melalui ginjal dan saluran pencernaan. Sebanyak 75-80% timbal diekskresikan melalui urine, sekitar 15% melalui feses, dan sisanya dikeluarkan melalui empedu, keringat, rambut, dan kuku. Kadar timbal dalam urine dapat mencerminkan paparan terbaru, sehingga pemeriksaan timbal dalam urine sering digunakan untuk memantau paparan timbal akibat pekerjaan. Secara umum, proses ekskresi timbal berlangsung sangat lambat. Waktu paruh timbal dalam darah adalah sekitar 25 hari, di jaringan lunak sekitar 40 hari, sedangkan di tulang bisa mencapai 25 tahun. Ekskresi yang lambat ini mengakibatkan Pb mudah terakumulasi dalam tubuh (Rosita et al., 2018).

e. Dampak Timbal (Pb) Terhadap Kesehatan Manusia

Timbal (Pb) merupakan racun saraf (neurotoksin) yang bersifat kumulatif, merusak, dan berkelanjutan, mempengaruhi sistem hematopoietik, kardiovaskular, dan ginjal. Anak yang terpapar keracunan timbal cenderung menunjukkan gejala seperti hiperaktivitas, mudah merasa bosan, mudah terpengaruh, kesulitan dalam berkonsentrasi, terutama dalam belajar, serta dapat mengalami gangguan perkembangan di masa depan, seperti keterlambatan dalam berpikir. Keracunan timbal biasanya terjadi ketika seseorang mengonsumsi timbal sekitar 0,2 hingga 2 mg per hari (Gusnita, 2012). Berikut adalah dampak timbal terhadap kesehatan:

1) Efek ginjal

Efek samping Pb pada ginjal telah dibuktikan dalam berbagai penelitian epidemiologi. Penelitian menunjukkan bukti yang konsisten mengenai kerusakan ginjal dan penurunan fungsi ginjal. Perhatikan bahwa penurunan fungsi ginjal yang disebabkan oleh Pb dapat menyebabkan beban tubuh Pb yang lebih tinggi karena penurunan ekskresi Pb (yaitu, kausalitas terbalik). Selain itu, penyebab lain penurunan fungsi ginjal dapat mengakibatkan peningkatan beban Pb dalam tubuh (Abadin et al., 2020).

2) Efek Kardiovaskular.

Efek kardiovaskular peningkatan risiko hipertensi dan penyakit jantung, aterosklerosis, perubahan konduksi jantung, penyakit jantung, dan peningkatan angka kematian akibat penyakit kardiovaskular. Sebuah studi baru-baru ini menyimpulkan bahwa paparan Pb lingkungan tingkat rendah merupakan faktor risiko penting terhadap kematian akibat penyakit kardiovaskular (Lanphear et al., 2018).

3) Efek Immunologis

Studi epidemiologi memberikan bukti bahwa paparan Pb dapat mengganggu sistem kekebalan tubuh anak-anak dan orang dewasa. Bukti mengenai hal ini diperoleh dari perubahan berbagai indikator imunitas humoral dan seluler sehubungan dengan peningkatan Pb dalam darah. Efek ini konsisten dengan penelitian lebih luas yang dilakukan pada model hewan dan sel imun terisolasi yang menunjukkan bahwa Pb dapat mengganggu sistem imun humoral dan seluler, yang menyebabkan sensitisasi, autoimunitas, dan peradangan (Abadin et al., 2020).

4) Gangguan terhadap sistem hemopoietik .

Keracunan timbal (Pb) dapat menyebabkan anemia yang disebabkan oleh penurunan sintesis globin, meskipun kadar zat besi dalam serum tidak mengalami penurunan. Anemia ringan yang terjadi seringkali disertai dengan peningkatan kadar ALA (Asam Amino Levulinat) dalam urin. Pada anak-anak, peningkatan kadar ALA juga terjadi dalam darah. Efek utama dari keracunan timbal pada sistem hematopoietik adalah peningkatan ekskresi ALA dan CP (Coproporfirin). Gejala anemia dapat dianggap sebagai tanda awal dari keracunan timbal pada manusia. Anemia biasanya tidak terjadi pada pekerja industri yang memiliki kadar Pb dalam darah (Pb-B) di bawah 110 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$. Anak-anak lebih rentan terhadap anemia akibat paparan timbal dibandingkan orang dewasa. Selain itu, terdapat hubungan negatif yang signifikan antara kadar hemoglobin (Hb) dan kadar timbal dalam darah (Sudarmaji Sudarmaji Corie Indria Prasasti., 2006).

5) Sistem Syaraf dan Kecerdasan

Dampak timbal terhadap sistem saraf telah diketahui, terutama melalui penelitian mengenai kesehatan kerja. Pekerja yang terpapar kadar timbal tinggi sering melaporkan gejala seperti hilangnya nafsu makan, depresi, kelelahan, sakit kepala, gangguan memori, dan pusing. Selain itu, timbal juga dapat memengaruhi kecerdasan anak, bahkan dengan paparan pada tingkat rendah. Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa kadar timbal dalam darah yang melebihi 20 µg/dl dapat menyebabkan penurunan IQ sebesar 2 hingga 5 poin (Gusnita, 2012).

6) Efek Sistemik

Kadar timbal dalam darah yang terlalu tinggi (keracunan timbal, yaitu di atas 30 µg/dl) dapat menyebabkan efek sistemik lainnya, termasuk gangguan pada sistem pencernaan. Gejala keracunan timbal meliputi sakit perut, sembelit, kram, mual, muntah, anoreksia, dan penurunan berat badan. Selain itu, timbal juga dapat meningkatkan tekanan darah. Secara keseluruhan, timbal berpotensi merusak fungsi organ tubuh (Gusnita, 2012).

7) Efek Terhadap Reproduksi

Paparan timbal pada wanita telah diketahui dapat meningkatkan risiko keguguran, kematian janin, adanya perubahan kadar hormon reproduksi serum (estradiol, LH, dan FSH), penurunan kesuburan, peningkatan kelahiran prematur, dan usia awal menopause, kelahiran prematur. Sementara itu, Dampak kesehatan Pb terhadap sistem reproduksi pria meliputi kerusakan pada sperma (penurunan jumlah sperma, konsentrasi, motilitas, dan viabilitas, serta peningkatan konsentrasi sperma yang belum matang dan persentase sperma yang abnormal secara morfologi), kemungkinan perubahan kadar hormon reproduksi dalam serum (testosteron, estradiol, hormon luteinizing [LH], dan hormon perangsang folikel [FSH]), penurunan kesuburan, dan perubahan histopatologis pada testis (Abadin et al., 2020).

f. Nilai Ambang Batas Timbal Pada Tubuh Manusia

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1406/MENKES/SK/IX/2002 mengenai standar pemeriksaan kadar timbal dalam biomarker manusia, Standar pemeriksaan kadar Pb pada spesimen biomarker manusia sebagai berikut:

1) Spesimen Darah

Batas normal kadar timbal dalam darah untuk orang dewasa berkisar antara 0,01 hingga 0,025 mg/dl, sedangkan kadar hemoglobin normal berada dalam rentang 14 hingga 18 g/dl.

2) Spesimen Urin

Nilai ambang batas kadar timbal dalam spesimen urin adalah 0,15 mg/L

3) Spesimen rambut

Nilai ambang batas kadar timbal dalam spesimen rambut adalah $\leq 12 \mu\text{g/g}$ (Menkes, 2002).

2. Analisis Timbal

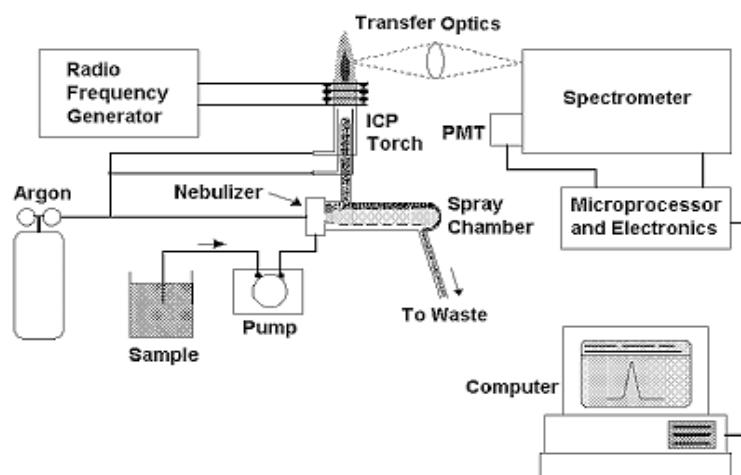
Inductively Coupled Plasma (ICP) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengukur kadar logam dalam sampel hingga tingkat ppb (part per billion) dan ppt (part per trillion). Metode ini diterapkan pada sampel dengan kadar logam yang sangat rendah. Ada tiga tipe ICP yang umum digunakan, yaitu ICP AES (*Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy*), ICP MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*), dan ICP OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy*). Keuntungan utama penggunaan ICP meliputi kemampuan untuk mengidentifikasi dan mengukur semua elemen, kecuali Argon, karena sensitivitas panjang gelombang berbeda-beda untuk setiap elemen yang dianalisis. ICP sangat sesuai untuk analisis pada berbagai konsentrasi, membutuhkan sampel yang sedikit, dan memiliki batas deteksi yang rendah untuk elemen dengan kadar 1 - 100 g/L (Rodríguez, 2019).

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

Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) adalah alat analisis kimia yang menggunakan metode atomisasi dengan plasma yang dihasilkan oleh gas inert, seperti argon. Alat ini mampu menganalisis

hingga 70 unsur dengan konsentrasi di bawah 1 mg/L dan dapat melakukan analisis secara kualitatif maupun kuantitatif. Salah satu keuntungan utama dari ICP-OES adalah kemampuannya untuk melakukan analisis multielemen dengan waktu yang relatif cepat. ICP OES juga memiliki batas deteksi yang sangat rendah, bahkan lebih rendah daripada pesaing utamanya, yaitu GF AAS. Selain itu, ICP tidak memerlukan elektroda, sehingga menghindari kontaminasi yang biasanya berasal dari bahan elektroda. ICP juga relatif lebih mudah dirakit dan lebih murah jika dibandingkan dengan beberapa sumber lain, seperti LIP (laser-induced plasma) (Rodríguez, 2019).

b. Prinsip Kerja



Sumber: Subianto, 2020

Gambar 2. 3 Skema Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy(ICP-OES)

Teknik ini bekerja berdasarkan emisi foton spontan dari atom dan ion yang tereksitasi dalam discharge radio frequency (RF). Sampel dalam bentuk cair dan gas dapat langsung dimasukkan ke dalam instrumen, sementara sampel padat memerlukan proses ekstraksi atau digesti asam agar analit dapat terlarut. Larutan sampel kemudian diubah menjadi aerosol dan diarahkan menuju pusat plasma. Di inti *inductively coupled plasma* (ICP), suhu mencapai sekitar 10.000 K, yang menyebabkan aerosol segera menguap. Unsur analit terlepas sebagai atom bebas dalam bentuk gas. Proses tumbukan eksitasi lebih lanjut dalam plasma memberikan energi tambahan pada atom, mempromosikannya ke keadaan tereksitasi. Energi yang cukup juga dapat

mengionkan atom tersebut, yang kemudian mempromosikan ion ke keadaan tereksitasi. Kedua jenis keadaan tereksitasi, baik atom maupun ion, akan kembali ke keadaan dasar dengan melepaskan foton. Foton yang dihasilkan memiliki energi tertentu yang bergantung pada struktur tingkat energi terkuantisasi atom atau ion. Oleh karena itu, panjang gelombang foton ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur asalnya. Jumlah foton yang terdeteksi berbanding lurus dengan konsentrasi unsur dalam sampel (Subianto, 2020).

Pada ICP OES, gas argon dialirkan melalui *torch* yang terdiri dari tiga tabung konsentris yang terbuat dari kuarsa atau bahan lain yang sesuai. Sebuah kumparan tembaga, yang disebut load coil, melingkari ujung atas torch dan terhubung dengan generator frekuensi radio (RF). Ketika daya RF diterapkan pada load coil, arus bolak-balik akan mengalir melalui kumparan, berosilasi pada frekuensi yang sesuai dengan generator. Osilasi arus RF ini menghasilkan medan listrik dan medan magnet RF di bagian atas torch. Gas argon yang mengalir melalui torch akan terpengaruh oleh percikan yang diterapkan pada gas, menyebabkan elektron terlepas dari atom argon. Elektron-elektron ini kemudian terperangkap dan dipercepat dalam medan magnet. Proses penambahan energi pada elektron menggunakan kumparan ini dikenal dengan induksi elektromagnetik. Elektron berenergi tinggi selanjutnya bertumbukan dengan atom argon lainnya, melepaskan lebih banyak elektron. Ionisasi akibat tumbukan gas argon ini berlangsung dalam reaksi berantai, yang mengubah gas menjadi plasma yang terdiri dari atom argon, elektron, dan ion argon, membentuk apa yang dikenal dengan *discharge* plasma induktif (ICP). Plasma ini kemudian dipertahankan dalam torch dan load coil selama energi RF terus ditransfer melalui proses induksi elektromagnetik.

ICP discharge memiliki beberapa fungsi, yang pertama adalah menghilangkan pelarut dari aerosol atau desolvasi, biasanya meninggalkan sampel dalam bentuk partikel garam mikroskopis. Langkah berikutnya adalah dekomposisi partikel garam tersebut menjadi gas molekuler individu (penguapan), yang kemudian terdisosiasi menjadi atom (atomisasi). Setelah

aerosol sampel terdesolvasi, teruapkan, dan teratomisasi, plasma memiliki satu atau dua fungsi lanjutan, yaitu eksitasi dan ionisasi. Untuk atom atau ion dapat memancarkan radiasi khasnya, salah satu elektronnya harus dipromosikan ke tingkat energi yang lebih tinggi melalui proses eksitasi (Subianto, 2020).

3. Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Keberadaan Timbal (Pb) Pada Tubuh Manusia

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi peningkatan kadar timbal (Pb) dalam organ tubuh manusia. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi kadar timbal (Pb):

1. Masa kerja.

Masa kerja merujuk pada durasi atau lamanya seorang tenaga kerja bekerja di suatu tempat. Masa kerja dapat mempengaruhi kinerja, baik secara positif maupun negatif. Masa kerja memberikan dampak positif terhadap kinerja apabila semakin lama seseorang bekerja, maka semakin bertambah pula pengalaman dalam menjalankan tugasnya. Sebaliknya, masa kerja dapat memberikan dampak negatif apabila durasi kerja yang lama menyebabkan timbulnya masalah kesehatan pada pekerja. Durasi masa kerja berpotensi meningkatkan kadar timbal dalam darah. Semakin lama seseorang bekerja, semakin tinggi akumulasi timbal dalam tubuh (Pusparini et al., 2016).

2. Kebiasaan merokok

Orang yang merokok jauh lebih besar untuk berpotensi terpapar timbal (Pb). Kebiasaan orang yang merokok memberikan dampak terhadap berkurangnya fungsi organ seperti paru-paru, sehingga mengakibatkan peningkatan timbal (Pb) menjadi zat tercemar. Mengurangi merokok atau berhenti merokok merupakan salah satu upaya meminimalisir adanya gangguan akibat zat-zat kimia yang berbahaya seperti timbal (Pb) (Wulandari, Abdullah, S. & Yulianto, 2016).

3. Alat pelindung diri (APD)

Penggunaan APD menjadi faktor untuk mengurangi risiko terpapar timbal (Pb) pada pekerja bengkel motor. Penggunaan APD yang tidak lengkap mengakibatkan timbal (Pb) akan terabsorpsi melalui udara maupun makanan yang terpapar timbal (Pb) dan akan di angkut oleh darah ke semua organ tubuh. Terabsorpsi dalam tubuh akan terikat dan merusak jaringan tubuh dan diekskresikan melalui urin, keringat, kuku dan rambut. Dampak yang ditimbulkan dari penggunaan APD yang tidak lengkap yaitu memberikan efek pada tubuh seperti gelisah, sakit kepala, dan lemas (aprilia,2017).

4. Timbal Dalam Rambut

Timbal dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pencernaan (dengan cara dicerna) dan saluran pernapasan (melalui inhalasi). Proses masuknya ion logam Pb ke dalam tubuh dapat terjadi melalui berbagai jalur dan akan terakumulasi di berbagai organ tubuh. Meskipun tubuh manusia memiliki kemampuan untuk mengekskresi timbal, proses ini tidak sebanding dengan tingkat penyerapan timbal yang terjadi, sehingga dapat menimbulkan dampak negatif baik dalam jangka pendek maupun panjang. Ion logam Pb yang terdapat dalam darah akan diikat oleh eritrosit dan kemudian didistribusikan ke jaringan lunak seperti sumsum tulang, sistem saraf, ginjal, dan hati serta ke jaringan keras seperti tulang, kuku, rambut, dan gigi (Wiratama et al., 2018).

Terdapat 38 jenis mineral yang umumnya dapat terdeteksi dalam rambut manusia, termasuk logam berbahaya seperti timbal, merkuri, kadmium, dan aluminium, yang biasanya terhirup dari lingkungan yang tercemar. Konsentrasi unsur-unsur berbahaya tersebut seringkali mencapai sepuluh kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan yang ditemukan dalam darah, serum, atau urin. Analisis rambut dapat memberikan gambaran kondisi tubuh selama dua bulan terakhir hingga satu tahun ke depan (Tirtaadi & Prasasti, 2017).

Rambut dapat dijadikan sebagai indikator untuk mengukur tingkat pencemaran, khususnya di daerah industri, dengan melihat tingkat mobilitas atau lama interaksi individu dengan pencemar logam Pb. Selain itu, rambut juga berfungsi untuk membedakan pencemaran Pb yang berasal dari paparan internal

dan eksternal Pada manusia yang terpapar Pb dalam kadar yang masih dalam batas normal atau toleransi, yaitu $\leq 12 \mu\text{g/g}$ pada rambut, kadar tersebut tidak akan menimbulkan efek berbahaya. Rambut merupakan salah satu bagian dari adneksa kulit yang tumbuh di seluruh tubuh kecuali pada telapak tangan, telapak kaki, kuku, dan bibir. Secara umum, rambut manusia dapat dibagi menjadi dua jenis: rambut terminal, yaitu rambut kasar yang banyak mengandung pigmen dan terdapat di kepala, alis, bulu mata, ketiak, serta genitalia eksternal, dan rambut halus, yang sedikit mengandung pigmen dan tumbuh hampir di seluruh tubuh (Tirtaadi & Prasasti, 2017).

Rambut dapat mencerminkan kondisi kesehatan seseorang serta lingkungan tempat tinggal dan pekerjaan mereka. Gugus sulfhidril dan disulfida yang terdapat dalam rambut memiliki kemampuan untuk mengikat unsur-unsur tertentu yang masuk ke dalam tubuh dan terperangkap di dalam rambut. Senyawa sulfida ini cenderung mudah mengikat unsur-unsur tersebut, sehingga saat unsur-unsur masuk ke dalam tubuh mereka kemudian akan terikat oleh senyawa sulfida dalam rambut. Dengan menganalisis unsur-unsur dalam rambut, kita dapat mengetahui apakah konsentrasi unsur tersebut berada dalam kadar yang rendah, normal, atau terlalu tinggi. Keuntungan analisis unsur dalam rambut dibandingkan dengan analisis dalam darah atau urin adalah bahwa analisis rambut lebih praktis dilakukan dan pengolahan sampelnya juga lebih mudah (Mayaserli et al., 2018).

5. Briket Batu Bara

Batu bara merupakan salah satu jenis bahan bakar fosil yang terdiri dari batuan sedimen yang mudah terbakar. Secara umum, batu bara terbentuk dari endapan organik, terutama sisa-sisa tumbuhan, melalui proses pembatubaraan yang berlangsung dalam dua tahapan: pertama, tahap diagenetik atau biokimia, dan kedua, tahap malihan atau geokimia. Unsur utama yang terkandung dalam batu bara adalah karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen. Selain itu, batu bara adalah batuan organik dengan sifat fisika dan kimia yang kompleks, yang dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, seperti kubus, balok, bulat, atau segitiga (Monica, 2024).



Sumber: Afandi, 2024

Gambar 2. 4 Batu Bara

Di Indonesia, penggunaan batu bara terutama difokuskan untuk pembangkit listrik dan pabrik semen. Sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak tanah, solar, dan kayu bakar, sejak tahun 1993 telah dilakukan langkah-langkah untuk mengenalkan penggunaan briket batu bara sebagai alternatif energi untuk rumah tangga dan industri kecil (Sukandarrumidi, 2005). Batu bara menghasilkan limbah padat yang dikenal seperti bottom ash dan fly ash. Di area bekas pertambangan, laboratorium, geoservice, atau PLTU, terdapat banyak sisa batu bara yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Limbah batu bara yang tidak digunakan ini memiliki potensi untuk dijadikan bahan bakar briket batu bara. Untuk menghasilkan briket batu bara yang ramah lingkungan, campuran komposisinya harus terdiri dari batu bara 50%-80%, biomassa 10%-40%, bahan pengikat 5%-10%, dan bahan imbuhan (kapur) 0%-5%. Pembuatan briket ini melibatkan perlakuan khusus, seperti penambahan biomassa, dan briket yang terbuat dari campuran batu bara dan biomassa disebut briket bio-batu bara (Nurhalim et al., 2018).

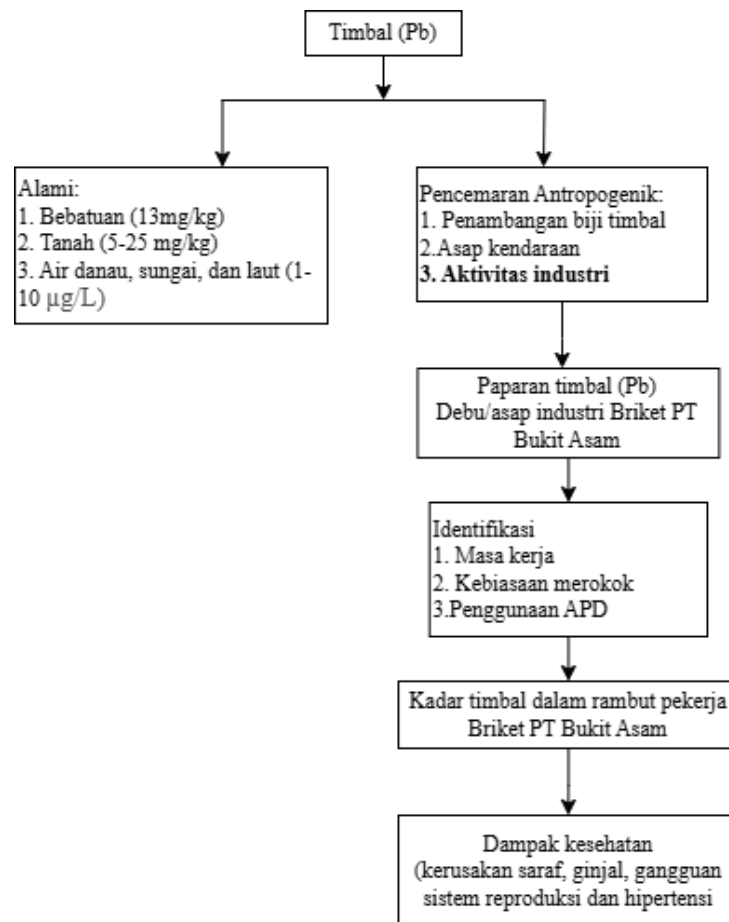


Sumber: PT Bukit Asam, 2023

Gambar 2. 5 Briket Batu Bara

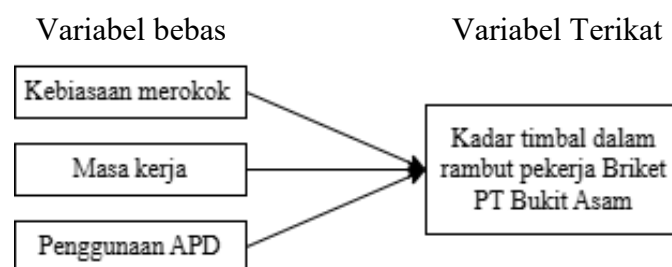
Briket batubara merupakan bahan bakar padat yang memiliki bentuk dan ukuran tertentu, terbuat dari butiran batubara halus yang telah dipadatkan dengan tekanan tertentu, sehingga memudahkan penanganan dan meningkatkan nilai guna dalam penggunaannya.

6. Kerangka Teori



Gambar 2. 6 Kerangka Teori

7. Kerangka Konsep



Gambar 2. 7 Kerangka Konsep

8. Hipotesis

Hipotesis (H_0)

H_0 Tidak ada pengaruh yang signifikan antara faktor masa kerja, kebiasaan merokok, penggunaan APD dengan kadar timbal di rambut pekerja jabriket PT Bukit Asam.

Hipotesis (H_1)

H_1 : Terdapat pengaruh yang signifikan antara faktor masa kerja, kebiasaan merokok, penggunaan APD dengan kadar timbal di rambut pekerja briket PT Bukit Asam.