

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minuman Ringan Kemasan Kaleng

2.1.1 Minuman Ringan (*Soft drink*)

Minuman ringan (*soft drink*) adalah minuman yang tidak mengandung alkohol, merupakan minuman olahan dalam bentuk bubuk atau cair yang mengandung bahan makanan atau bahan tambahan lainnya baik alami atau sintetis yang dikemas dalam kemasan siap untuk dikonsumsi. Minuman ringan terdiri dari dua jenis, yaitu minuman ringan dengan karbonasi dan minuman ringan tanpa karbonasi (non-karbonasi). Minuman ringan dengan karbonasi adalah minuman yang dibuat dengan menambahkan CO₂ dalam air minum, sedangkan minuman ringan tanpa karbonasi adalah minuman selain minuman ringan dengan karbonasi. Beberapa contoh minuman ringan yang saat ini banyak beredar di pasaran yaitu minuman berkarbonasi, minuman isotonik, minuman sari buah, kopi, teh dan lain-lain (Cahyadi, 2012).

Minuman ringan atau yang lebih dikenal sebagai *soft drink* ini, peredarannya sudah sangat menjamur di kalangan masyarakat dewasa ini. Popularitasnya pun menanjak dibandingkan kopi, teh dan jus. Hal ini disebabkan karena di setiap restoran, depot, warung bahkan pedagang kaki lima selalu menyediakan minuman ringan ini, sehingga *soft drink* ini dapat diperjualbelikan secara bebas. Banyak merek telah kita kenal sebagai *soft drink* yang menjadi sasaran empuk dari para produsen (Amin, 2015).



Gambar 2.1 Minuman Ringan Kemasan Kaleng (Hafsi, 2017)

Proses produksi minuman kaleng dimulai dengan pembuatan sirup, yaitu mencampur guladengan air dingin, kemudian dijernihkan dengan penambahan karbon aktif dan bahan penyaring yang dilanjutkan dengan penyaringan menggunakan alat berupaplat atau frame filter. Kemudian sirup, bahan tambahan, air, dan karbondioksidiaduk dengan temperatur dan tekanan diatur pada kondisi tertentu, produk akhirberupa minuman ringan dikemas dalam botol/kaleng. Larutan kemudian dapat disterilisasi dengan penyinaran ultra violet (Riski, 2010).

Menurut Maria (2009) minuman ringan memiliki komposisi dasar yaitu air sebanyak 90% dan selebihnya merupakan bahan tambahan seperti zat pewarna, zat pemanis, gas CO₂ dan zat pengawet. Adapun rincian komposisi minuman ringan berkarbonasi secara umum dapat diuraikan sbagai berikut :

A. Air

Air merupakan komponen yang sangat penting perannya dalam industri pangan diantaranya sebagai bagian dari komposisi produksi. Air yang digunakan harus mempunyai kualitas tinggi yaitu jernih, tidak berbau, tidak berwarna, bebas dari organisme yang hidup dalam air, alkalinitasnya kurang dari 50 ppm, total

padatan terlarut kurang dari 500 ppm, dan kandungan logam besi dan mangan kurang dari 0,1 ppm. Sederet proses diperlukan untuk mendapatkan kualitas air yang diinginkan, antara lain klorinasi, penambahan kapur, koagulasi, sedimentasi, filtrasi pasir, penyaringan dengan karbon aktif, dan demineralisasi dengan *ion exchanger*. Karbondioksida yang digunakan juga harus semurni mungkin dan tidak berbau.

B. Bahan pemanis yang digunakan dalam minuman ringan terbagi dalam dua kategori yaitu :

1. Bahan pemanis natural (*nutritive*) yang terdiri dari gula pasir, gula cair, gula *invert* cair, sirup jagung dengan kadar fruktosa tinggi, dan dektrosa
2. Bahan pemanis sintetik (*non nutritive*), satu-satunya bahan pemanis sintetik yang direkomendasikan oleh *Food & Drugs Administration Standard* (FDAS), Amerika Serikat adalah sakarin.

C. Zat asam (*acidulants*)

Penambahan zat asam dalam minuman ringan berkarbonasi bertujuan untuk memberikan rasa asam, memodifikasi manisnya gula, berlaku sebagai pengawet dan dapat mempercepat inversi gula dalam sirup atau minuman. *Acidulant* yang digunakan dalam minuman harus dari jenis asam yang dapat dimakan (*edible/food grade*) antara lain asam sitrat, asam fosfat, asam malat, asam tartarat, asam fumarat, asam adipat dan lain-lain (Maria, 2009).

D. Pemberi aroma disiapkan oleh industri yang berkaitan dengan industri minuman dengan formula khusus, kadang-kadang telah ditambah dengan asam dan pewarna dalam bentuk :

- a) Ekstrak alkoholik (menyaring bahan kering dengan larutan alkoholik), misalnya jahe, anggur, *lemon-lime* dan lain-lain ;
 - b) Larutan alkoholik (melarutkan bahan dalam larutan air-alkohol), misalnya *starwberry*, *cherry*, *cream soda* dan lain-lain;
 - c) Emulsi (mencampur *essential oil* dengan bahan pengemulsi, misalnya *vegetable gum*, *citrus flavour*, *rootbear* dan *cola*;
 - d) *Fruit juices*, misalnya *orange*, *grapefruit*, *lemon*, *lime* dan *grape* ;
 - e) Kafein, sebagai pemberi rasa pahit (bukan sebagai stimulan) ;
 - f) Ekstrak biji kola;
 - g) *Sintetik flavor*, misalnya *ethyl acetate/amyl butyrate* yang memberikan aroma *grape*.
- E. Zat pewarna untuk meningkatkan daya tarik minuman. Zat pewarna terdiri dari :
- a) Zat pewarna natural, misalnya dari *grape*, *strawberry*, *cherry* dan lain-lain
 - b) Zat pewarna semi sintetik, misalnya *caramel color*
 - c) Zat pewarna sintetik, hanya 5 jenis zat pewarna sintetik dari 8 jenis pewarna yang diperkenankan oleh FDA untuk digunakan sebagai pewarna dalam minuman ringan (Maria, 2009).

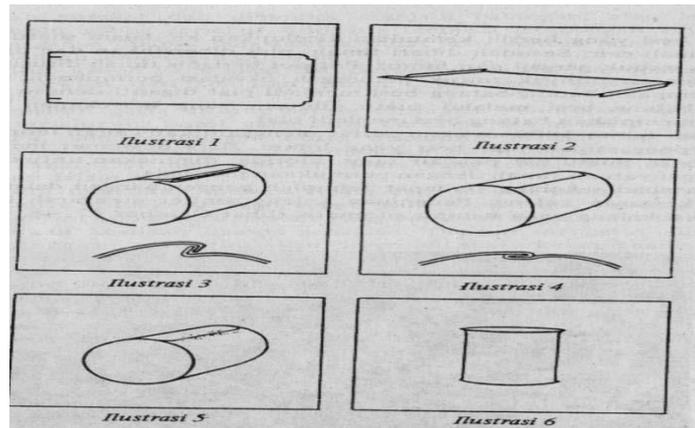
2.1.2 Kemasan Kaleng

Kemasan kaleng termasuk jenis kemasan yang banyak digunakan. Spesifikasi kaleng untuk mengemas pangan ditentukan oleh dua kebutuhan yaitu kebutuhan akan kekuatan yang dimiliki wadah dan daya simpan yang dimiliki oleh produk dalam kaleng. Kebutuhan terhadap daya simpan isi kaleng salah satunya ditentukan oleh sifat korosif produk. Untuk mengemas produk pangan, maka

bagian dalam kaleng (sebagaimana halnya bagian luar kaleng) harus bersifat tahan korosi (karat). Pada bagian dalam kaleng, korosi dapat disebabkan oleh kontak langsung antara produk dan permukaan kaleng. Beberapa faktor yang menentukan terjadinya pembentukan karat pada bagian dalam kaleng antara lain sifat bahan pangan, terutama pH (baik dalam kadar asam yang tinggi maupun rendah) sehingga terjadi pembentukan karat seperti nitrat, beberapa bahan belerang, zat warna antosianin; banyaknya sisa oksigen dalam bahan pangan, khususnya pada ruang udara; suhu dan waktu penyimpanan; serta beberapa faktor yang berasal dari bahan kemas, seperti berat lapisan timah, macam dan komposisi lapisan baja dasar, efektifitas perlakuan pada permukaan lapisan, jenis lapisan dan lain sebagainya.

Dalam kemasan kaleng, makanan dapat dipanaskan hingga suhu yang sangat tinggi dan tekanan yang tinggi pula. Dengan demikian semua mikroba yang hidup bersama makanan tersebut akan mati. Karena kaleng juga ditutup dengan sangat rapat, maka mikroba baru tidak akan bisa masuk kembali ke dalamnya. Oleh karena itu makanan kaleng dapat disimpan hingga dua tahun dalam keadaan baik, tidak busuk, dan tidak beracun (Amin, 2015).

Produk-produk makanan maupun minuman yang biasanya mengalami proses pengalengan ataupun menggunakan kaleng sebagai tempat (wadahnya) adalah produk-produk yang disterilisasi dengan panas. Proses pembuatan kaleng dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Proses pembuatan kaleng (Riski, 2010)

Keterangan :

- (1) Bakal badan kaleng dibentuk,
- (2) Dibuat kait,
- (3) Bakal badan kaleng dibentuk dengan mempertemukan kait ujung satu dengan yang lain,
- (4) Bakal badan kaleng berkait dipipihkan untuk membentuk keliling samping,
- (5) Bagian permukaan luar keliling dipatri, dan
- (6) Bagian badan kaleng dibengkokkan keluar dengan bentuk khusus untuk membuat bibir kaleng.

Bentuk dari kemasan kaleng itu sendiri dibedakan menjadi dua jenis yaitu kaleng *twopiece cans* dan kaleng *three piece*. *Three piece cans* adalah kaleng yang terdiri dari tiga sambungan yaitu dibagian badan kaleng, dibagian tutup atas kaleng dan sebagian tutup bawah kaleng. Sedangkan *twopiece cans* adalah kaleng yang secara keseluruhan hanya memiliki satu sambungan, yaitu di bagian tutup atas kaleng. Kerusakan produk pangan kaleng terutama disebabkan karena interaksi antara logam dasar pembuat kaleng, yaitu Sn dan Fe yang dapat menyebabkan perubahan yang tidak diinginkan seperti perubahan warna, terjadi

off-flavour, kehilangan nilai nutrisi, dan terbentuknya karat pada kaleng. Selain itu bagian sambungan kaleng yang disolder dapat menyebabkan terjadinya kontak antara Sn dan Pb dari solder dengan produk pangan yang memiliki kadar asam rendah ($\text{pH} > 4,6 - 7$) sehingga terjadi *sulfide stain* atau noda hitam pada produk kaleng. Produk pangan yang memiliki kadar asam semakin rendah, maka pemanasan yang diperlukan semakin ringan.

Produk pangan yang diasamkan sampai pH 4,6 atau lebih dari rendah tidak memerlukan proses panas yang tinggi tetapi pH harus dikontrol dengan benar. Jika produk pangan kaleng yang terkontaminasi logam berat masuk ke dalam tubuh manusia akan menimbulkan suatu keracunan. Hal ini disebabkan logam berat yang mempunyai kemampuan sebagai *co-faktor* enzim, akibatnya enzim tidak dapat berfungsi sebagaimana biasanya sehingga reaksi metabolisme terhambat. (Tarigan, 2010).

2.2 Kerusakan Minuman Kaleng

Kerusakan yang dapat terjadi pada bahan pangan yang dikemas dengan kemasan kaleng terutama adalah kerusakan kimia, meski demikian kerusakan biologis juga dapat terjadi. Kerusakan kimia yang paling banyak terjadi adalah *hydrogen swell*. Kerusakan lainnya adalah interaksi antara bahan pembuat kaleng dengan minuman yang dapat menyebabkan perubahan yang tidak diinginkan, kerusakan mikrobiologis dan perkaratan (korosi) (Syarif, 2010).

2.2.1 Hydrogen swell

Hydrogen swell terjadi karena adanya tekanan gas hidrogen yang dihasilkan dari reaksi antara asam pada makanan dengan logam pada kaleng kemasan. *Hydrogen swell* disebabkan oleh:

- a. Meningkatnya keasaman bahan pangan
- b. Meningkatnya suhu penyimpanan
- c. Ketidaktepatan pelapisan bagian dalam dari kaleng
- d. Proses exhausting yang tidak sempurna
- e. Terdapatnya komponen terlarut dari sulfur dan pospat.

2.2.2 Interaksi antara bahan dasar kaleng dengan makanan

Kerusakan makanan kaleng akibat interaksi antara logam pembuat kaleng dengan minumannya berupa :

- a. Perubahan warna dari bagian dalam kaleng
- b. Perubahan warna pada minuman yang dikemas
- c. Kekeruhan pada sirup
- d. Perkaratan atau terbentuknya lubang pada logam
- e. Kehilangan zat gizi (Syarief, 2010).

2.2.3 Kerusakan biologis

Kerusakan biologis pada minuman kaleng dapat disebabkan oleh:

- a. Meningkatnya resistensi mikroba terhadap panas setelah proses sterilisasi
- b. Rusaknya kaleng setelah proses sterilisasi sehingga memungkinkan masuknya mikroorganisme ke dalam kaleng.

Kerusakan kaleng yang memungkinkan masuknya mikroorganisme adalah kerusakan pada bagian sambungan kaleng atau terjadinya gesekan pada saat proses pengisian (*filling*). Mikroorganisme juga dapat masuk pada saat pengisian apabila kaleng yang digunakan sudah terkontaminasi terutama jika kaleng tersebut dalam keadaan basah. Kerusakan juga dapat

disebabkan karena kalengkehilangan kondisi vakumnya sehingga mikroorganisme dapat tumbuh.

2.2.4 Perkaratan (Korosi)

Perkaratan adalah pembentukan lapisan longgar dari peroksida yang berwarna merah coklat sebagai hasil proses korosi produk pada permukaan dalam kaleng. Pembentukan karat memerlukan banyak oksigen, sehingga karat biasanya terjadi pada bagian head space dari kaleng. Proses korosi jika terus berlangsung dapat menyebabkan terbentuknya lubang dan kebocoran pada kaleng. Beberapa faktor yang menentukan terbentuknya karat pada kemasan kaleng adalah :

- a. Sifat bahan pangan, terutama pH
 - b. Adanya faktor-faktor pemicu, misalnya nitrat, belerang dan zat warna antosianin.
 - c. Banyaknya sisa oksigen dalam bahan pangan khususnya pada bagian atas kaleng (*head space*), yang sangat ditentukan pada saat proses *blanching*, pengisian dan *exhausting*.
 - d. Faktor yang berasal dari bahan kemasan, misalnya berat lapisan timah, jenis dan komposisi lapisan baja dasar, efektivitas perlakuan permukaan, jenis lapisan dan lain-lain.
 - e. Suhu dan waktu penyimpanan, serta kebersihan ruang penyimpanan
- Perkaratan pada kemasan kaleng ini dapat menyebabkan terjadinya migrasi logam ke dalam minuman yang dikemas (Syarief, 2010).

2.3 Proses Masuknya Timbal (Pb) pada Minuman Ringan Kemasan

Kaleng

Pada jaman serba modern ini banyak terdapat makanan ataupun minuman kaleng hasil teknologi pangan modern. Banyaknya produk makanan atau minuman yang dikemas khususnya dalam kaleng sangat mencuri perhatian masyarakat, sebab kepraktisan dalam pengolahan dan mengkonsumsinya.

Pada umumnya, produk makanan atau minuman yang dikemas dalam kaleng akan kehilangan cita rasa segarnya dan mengalami penurunan nilai gizi akibat pengolahan dengan suhu tinggi. Kerusakan produk pangan kalengan terutama disebabkan karena interaksi antara logam dasar pembuat kaleng, misalnya Sn dan Fe yang dapat menyebabkan perubahan warna, terjadi kehilangan cita rasa, kehilangan nilai nutrisi, kekeruhan pada sirup dan terbentuknya karat pada kaleng. Selain itu, bagian sambungan kaleng yang disolder dapat menyebabkan terjadinya kontak antara Pb dari solder dengan produk pangan yang memiliki kadar asam rendah sehingga terjadi sulfide stain atau noda hitam pada produk kalengan.

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang terkandung dalam kemasan kaleng, keberadaan partikel Pb ini dapat berasal dari kaleng yang dilakukan pematrian pada proses penyambungan antara kedua bagian sisi dari tin plate untuk membentuk badan kaleng atau antara bagian badan kaleng dan tutupnya yang dipatri (Amin, 2015).

2.4 Logam Berat

2.4.1 Pengertian Logam Berat

Logam berat sejatinya unsur penting yang dibutuhkan setiap makhluk hidup. Logam berat yang termasuk elemen mikro merupakan kelompok logam berat yang non-esensial yang tidak mempunyai fungsi sama sekali dalam tubuh. Logam tersebut bahkan sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (toksik) pada manusia yaitu timbal (Pb), merkuri (Hg), arsenik (As) dan cadmium (Cd) (Agustina, 2010).

2.4.2 Pencemaran Logam

Menurut Widowati, *et al.*, (2008) penggunaan logam sebagai bahan baku berbagai jenis industri untuk memenuhi kebutuhan manusia akan mempengaruhi kesehatan manusia melalui 2 jalur, yaitu :

1. Kegiatan industri akan menambah polutan logam dalam lingkungan udara, air, tanah, dan makanan.
2. Perubahan biokimia logam sebagai bahan baku berbagai jenis industri bisa mempengaruhi kesehatan manusia.

Logam berat dapat menimbulkan efek gangguan terhadap kesehatan manusia, tergantung pada bagian mana dari logam berat tersebut yang terikat dalam tubuh serta besarnya dosis paparan. Efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, menyebabkan alergi, bersifat mutagen, teratogen, atau karsinogen bagi manusia maupun hewan. Tingkat toksisitas logam berat terhadap manusia dari yang paling toksik adalah Hg, Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn.

2.5 Timbal (Pb)

2.5.1 Karakteristik dan Sifat Timbal

Timbal merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2.

Timbal mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,20. Titik leleh timbal adalah 327,3 °C dan memiliki massa jenis 11,34 g/cm³. Logam Pb pada suhu 500-600 °C dapat menguap dan membentuk oksigen di udara dalam bentuk timbal oksida (PbO).



Gambar 2.3 Logam Timbal (Pb) (Suratno, 2013)

Menurut Widowati, *et al.*, (2008), timbal pada awalnya adalah logam berat yang secara alami terdapat di dalam kerak bumi. Timbal adalah logam yang mendapat perhatian karena bersifat toksik melalui makanan, minuman, udara, air, serta debu yang tercemar timbal. Menurut Sunu dalam Sihite (2015), timbal merupakan logam yang sangat beracun yang pada dasarnya tidak dapat

dimusnahkan serta tidak terurai menjadi zat lain. Dibawah ini merupakan tabel yang menunjukkan beberapa sifat fisika yang dimiliki timbal.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisika Timbal (Pb)

Sifat Fisika Timbal	Keterangan
Nomor atom	82
Densitas (g/cm ³)	11,34
Titik lebur (°C)	327,46
Titik didih (°C)	1.749
Kalor peleburan (kJ/mol)	4,77
Kalor penguapan (kJ/mol)	179,5
Kapasitas pada 25 ⁰ C (J/mol.K)	26,65
Konduktivitas termal pada 300K (W/m K)	35,5
Ekspansi termal 25 ⁰ C (µm/ m K)	28,9
Kekerasan (skala Brinell=Mpa)	38,6

Sumber : (Suratno, 2013)

Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsinogenik, dapat menyebabkan mutasi, terurai dalam jangka waktu lama dan toksisitasnya tidak berubah. Timbal dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan, bahkan manusia. Timbal secara alami terdapat sebagai timbal sulfida, timbal karbonat, timbal sulfat dan timbal klorofosfat. Kandungan Pb dari beberapa batuan kerak bumi sangat beragam. Batuan eruptif seperti granit dan riolit memiliki kandungan Pb kurang lebih 200 ppm (Laili, 2016).

2.5.2 Kegunaan Timbal

Penggunaan timbal terbesar adalah dalam produksi baterai penyimpanan untuk mobil, dimana digunakan timbal metalik dan komponen-komponennya. Penggunaan lainnya dari timbal adalah untuk produk-produk logam seperti

amunisi, pelapis kabel, pipa, dan solder. Solder mengandung 50-95% timbal, sedangkan sisanya adalah timah.

Logam pencetak yang digunakan dalam percetakan terdiri dari timbal, timah dan antimony, dimana komposisinya pada umumnya terdiri dari 85% timbal, 12% antimony, dan 3% timah. Sedangkan penggunaan timbal yang bukan alloy terutama terbatas pada produk-produk yang harus tahan terhadap karat. Produk-produk tersebut antara lain: pelapis kabel listrik yang akan digunakan di dalam tanah atau di bawah permukaan air, pipa timbal yang digunakan untuk mengalirkan bahan-bahan kimia yang korosif, lapisan timbal digunakan untuk melapisi tempat-tempat cucian yang sering mengalami kontak dengan bahan-bahan korosif.

Komponen timbal juga digunakan sebagai pewarna cat karena kelarutannya di dalam air rendah, dapat berfungsi sebagai pelindung dan timbal tersebut terdapat dalam berbagai warna. Timbal juga digunakan sebagai campuran dalam pembuatan pelapis keramik yang disebut *Glaze*. *Glaze* merupakan lapisan tipis gelas yang menyerap ke dalam permukaan tanah liat yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan keramik (Krisdinatha, 2015).

2.5.3 Mekanisme Toksisitas Logam Timbal (Pb)

1. Absorpsi

Sumber pencemaran timbal yang terdapat di lingkungan berasal dari alam dan kegiatan manusia yaitu emisi kendaraan dan industri. Emisi timbal yang terdapat diudara dapat mencemari udara, tanaman, tanah dan binatang, yang akhirnya akan membawa dampak terhadap kesehatan manusia. Absorpsi timbal

melalui saluran pernafasan dapat dipengaruhi oleh tiga proses yaitu: deposisi, pembersihan mukosiliar dan pembersihan alveolar.

Deposisi tersebut tergantung pada ukuran partikel timbal, volume nafas dan daya larut. Pembersihan mukosiliar membawa partikel ke faring lalu ditelan, fungsinya adalah untuk membawa partikel ke eskalator mukosiliar, menembus lapisan jaringan paru menuju kelenjar limfe dan aliran darah. Sebanyak 30-40% timbal yang diabsorpsi melalui saluran nafas akan masuk ke dalam saluran pernafasan dan aliran darah, tergantung ukuran, daya larut, volume nafas dan variasi faal antar individu.

Absorpsi timbal yang melalui saluran pencernaan, biasanya terjadi akibat timbal tersebut tertelan bersama dengan perilaku merokok, makan dan minum dengan menggunakan tangan yang sebelumnya telah terkontaminasi oleh timbal. Hal yang sama terjadi jika memakan makanan yang telah terkontaminasi dengan debu jalanan.

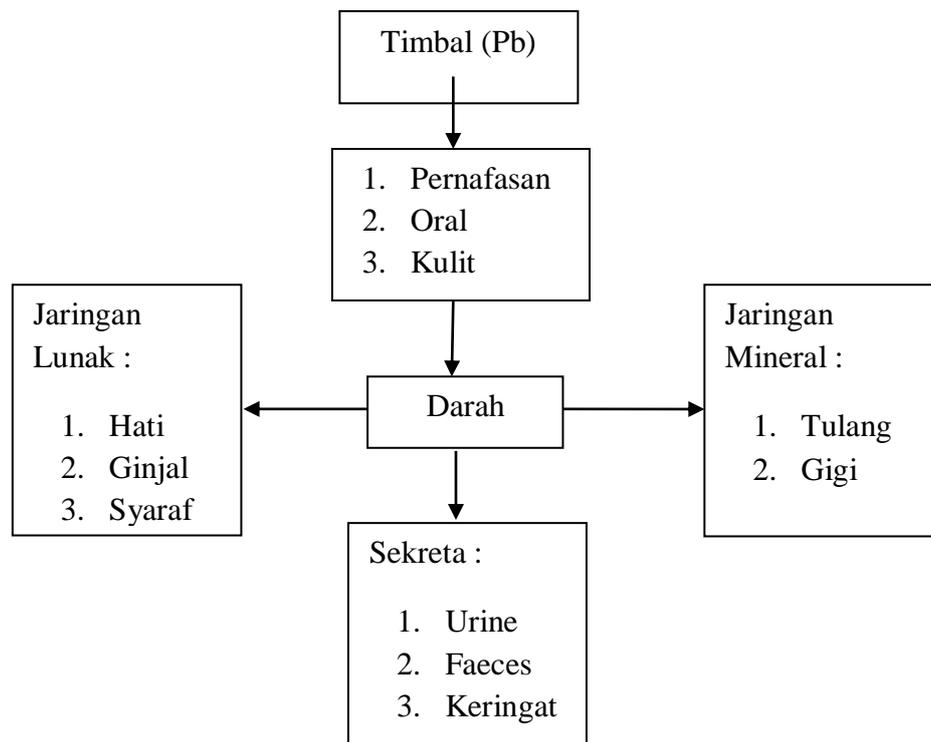
Kurang lebih 5-10% dari timbal yang tertelan diabsorpsi melalui mukosa saluran pencernaan. Pada orang dewasa timbal diserap melalui usus sekitar 5-10%, namun terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi misalnya dalam keadaan puasa penyerapan timbal dari usus lebih besar, yaitu sekitar 15-12% (Krisdinatha, 2015).

Toksisitas logam berat sangat dipengaruhi oleh faktor fisika, kimia dan biologi lingkungan. Beberapa kasus kondisi lingkungan tersebut dapat mengubah laju absorpsi logam dan mengubah kondisi fisiologis yang mengakibatkan berbahayanya pengaruh logam. Akumulasi logam berat Pb pada tubuh manusia

yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan anemia, kemandulan, penyakit ginjal, kerusakan syaraf dan kematian (Suratno, 2013).

Orang dewasa mengabsorpsi Pb sebesar 5-15% dari keseluruhan Pb yang dicerna, sedangkan anak-anak mengabsorpsi Pb lebih besar, yaitu 41,5%. Pb dapat menghambat aktivitas enzim yang terlibat dalam pembentukan hemoglobin (Hb). Proses masuknya timbal ke dalam tubuh dapat melalui makanan dan minuman, udara, dan penetrasi pada kulit. Penyerapan lewat kulit ini dapat terjadi disebabkan karena senyawa ini dapat larut dalam minyak dan lemak (Wanda, 2013).

Berikut ini adalah skema akumulasi paparan timbal yang masuk ke dalam tubuh manusia :



Gambar 2.4 Alur Akumulasi Timbal (Pb) dalam Tubuh Manusia (Naria, 2012)

Absorpsi Pb melalui saluran pernafasan dipengaruhi oleh tiga proses yaitu deposisi, pembersihan mukosiliar, dan pembersihan alveolar. Deposisi terjadi di nasofaring, saluran trakeobronkial, dan alveolus. Deposisi tergantung pada ukuran partikel Pb volume pernafasan dan daya larut. Partikel yang lebih besar banyak di deposit pada saluran pernafasan bagian atas dibanding partikel yang lebih kecil (Ardyanto, 2015).

2. Distribusi dan penyimpanan

Timbal yang telah diabsorpsi melalui saluran pencernaan didistribusikan kedalam jaringan lain melalui darah. Dalam tubuh manusia timbal tersebut terdeteksi dalam :

- a. Jaringan lunak seperti hati dan ginjal, mempunyai waktu paruh sekitar beberapa bulan. Terdapat keseimbangan antara kadar timbal dalam darah dan jaringan lunak. Pada jaringan ini sejumlah timbal didistribusikan dan yang lainnya didepositkan.
- b. Darah, timbal tersebut terikat dalam sel darah merah (eritrosit) yaitu sekitar 95%. Waktu paruh timbal dalam darah sekitar 25-30 hari.
- c. Tulang dan jaringan keras seperti tulang rawan, gigi dan sebagainya. Hampir sekitar 90-95% timbal dalam tubuh terdapat dalam tulang, terutama pada tulang panjang. Waktu paruh mencapai 30-40 tahun. Tulang berfungsi sebagai tempat pengumpulan timbal karena sifat ion timbal hampir sama dengan Ca. Jika kadar timbal tersebut dalam darah menurun, tulang akan mengembalikan timbal tersebut dalam peredaran darah.

3. Ekskresi

Ekskresi timbal melalui beberapa cara, yang terpenting adalah melalui ginjal dan saluran pencernaan. Timbal diekskresikan melalui urine sebesar 75-80%, melalui feses 15% dan lainnya melalui empedu, keringat, kuku dan rambut. Biasanya ekskresi timbal dari tubuh sangat kecil meskipun intake timbal tiap harinya naik, sehingga dapat menaikkan kandungan timbal yang terdapat dalam tubuh. Rata-rata intake timbal perhari sekitar 0,3 mg/hari, apabila intake mencapai 0,6 mg/hari akan menunjukkan gejala yang positif, namun karena timbal lambat dideposit maka dosis tersebut tidak akan memperlihatkan gejala keracunan pada orang selama hidupnya (Krisdinatha, 2015).

2.5.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Toksisitas Timbal

1. Faktor lingkungan

a. Dosis paparan

Dosis atau konsentrasi yang besar dapat menimbulkan efek yang berat dan berisiko berbahaya. Semakin besar konsentrasi timbal yang terakumulasi dalam tubuh maka semakin besar dampak yang ditimbulkan.

b. Kelangsungan paparan

Terdapat dua jenis paparan yang dapat mempengaruhi berat ringan efek timbal, yaitu bentuk paparan timbal secara terus menerus (kontinyu) atau bentuk paparan terputus-putus (*intermitten*). Bentuk paparan secara terus menerus akan mengakibatkan efek yang lebih berat dibandingkan paparan secara terputus-putus.

c. Jalur pemaparan atau cara kontak

Kandungan timbal akan memberikan efek yang berbahaya terhadap kesehatan bila masuk melalui jalur yang tepat. Orang dengan sumbatan hidung mungkin juga berisiko lebih tinggi, karena pernafasan lewat mulut dapat mempermudah inhalasi partikel debu yang lebih besar (Krisdinatha, 2015).

2. Faktor manusia, meliputi:

a. Umur

Usia muda pada umumnya lebih peka terhadap aktivitas timbal, hal tersebut berhubungan erat dengan perkembangan organ dan fungsinya yang belum sempurna. Sedangkan pada usia tua kepekaannya lebih tinggi dari rata-rata orang dewasa, hal tersebut diakibatkan oleh aktivitas enzim *biotransformase* berkurang dengan bertambahnya umur dan daya tahan organ tertentu berkurang terhadap efek timbal. Semakin tua umur seseorang, akan semakin tinggi jumlah timbal yang terakumulasi pada jaringan tubuh.

b. Jenis kelamin

Efek toksik pada laki-laki dan perempuan mempunyai pengaruh yang berbeda. Perempuan lebih rentan daripada laki-laki. Hal tersebut diakibatkan oleh perbedaan faktor ukuran tubuh (fisiologi), keseimbangan hormonal dan perbedaan metabolisme.

Jenis kelamin turut mempengaruhi konsentrasi timbal dalam jaringan tubuh seseorang, sehingga jenis jaringan juga turut mempengaruhi kadar timbal yang terkandung, sehingga kadar timbal yang terdapat dalam jaringan otak tidak sama dengan kadar timbal dalam paru-paru maupun dalam ginjal. Pada laki-laki yang berumur antara 21-30 tahun akan ditemukan 0,055 mg/100 gr timbal dalam

jaringan otaknya, sedangkan pada laki-laki yang berumur antara 51-60 tahun, jumlah kandungan timbal dalam jaringan otaknya adalah 0,064 mg/100 gr. Sementara pada perempuan, kadar timbal dalam jaringan otaknya lebih rendah dibanding laki-laki yaitu sekitar 0,46 sampai 0,051 mg/100gr. Dalam paru-paru perempuan, kadar timbal yang ada sekitar 55% dari kadar timbal yang ada dalam paru-paru laki-laki (Krisdinatha, 2015).

c. Lama paparan

Lama terpapar yaitu lamanya seseorang kontak dengan sumber pencemaran. Potensi bahan kimia untuk dapat menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan tergantung pada toksisitas bahan kimia tersebut dan besarnya paparan. Setiap paparan di udara yang tercemar timbal 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berpeluang menyumbangkan 2,5-5,3 $\mu\text{g}/\text{dl}$ pada darah seseorang yang berada di tempat tersebut. Timbal yang masuk kedalam tubuh normalnya 0,3 $\mu\text{g}/100\text{cc}$ perhari, jika intake timbal 2,5 $\mu\text{g}/\text{hari}$ maka butuh waktu tiga sampai empat tahun untuk mendapatkan efek toksik sedangkan apabila intake timbal 3,5 $\mu\text{g}/\text{hari}$ maka butuh waktu hanya beberapa bulan saja untuk terpapar timbal.

Lama terpapar akan mempengaruhi jumlah konsentrasi timbal yang masuk ke dalam tubuh. Emisi gas buang kendaraan dengan bahan bakar bertimbal yang dihirup setiap harinya oleh seseorang saat berada di ruang terbuka sangat mendorong meningkatnya konsentrasi timbal dalam darahnya (Krisdinatha, 2015).

d. Masa kerja

Masa kerja adalah lamanya seseorang bekerja dalam suatu perusahaan. Faktor yang mempengaruhi kadar timbal dalam darah tergantung pada lama masa kerja,

dimana semakin lama masa kerja seseorang akan berpengaruh terhadap tingginya paparan timbal.

e. Alat perlindungan diri (APD)

Alat perlindungan diri merupakan alat yang digunakan oleh pekerja untuk memproteksi dirinya dari kecelakaan yang terjadi akibat pekerjaannya. Alat perlindungan diri yang dimaksud untuk mengurangi absorpsi timbal adalah masker. Salah satu jenis masker yaitu N95 karena dapat menyaring hingga 95 % dari keseluruhan partikel yang berada di udara. Bentuknya setengah bulat dan berwarna putih, terbuat dari bahan solid dan tidak mudah rusak. Pemakaiannya juga harus benar-benar rapat, sehingga tidak ada celah bagi udara luar masuk. Diharapkan dengan menggunakan masker sebagai alat perlindungan diri, dapat menurunkan risiko bahaya penyakit dari paparan timbal yang disebabkan oleh pekerjaannya. Kebersihan diri yang kurang dan rendahnya kesadaran pekerja dalam menggunakan alat perlindungan diri (APD) meningkatkan resiko terhadap paparan timbal (Dongre, dkk, 2012).

2.5.5 Efek Timbal Terhadap Manusia

Timbal adalah logam yang bersifat toksik terhadap manusia, yang bisa berasal dari tindakan yang mengonsumsi makanan, minuman, atau melalui inhalasi dari udara, debu yang tercemar timbal, kontak lewat kulit, kontak lewat mata, dan lewat parenteral (Widowati *et al.*, 2008). Keracunan yang disebabkan oleh keberadaan timbal di dalam tubuh mempengaruhi banyak jaringan di dalam tubuh. Organ-organ tubuh yang banyak menjadi sasaran peristiwa keracunan yang disebabkan oleh keberadaan logam timbal adalah sistem syaraf, sistem ginjal,

sistem ginjal, sistem reproduksi, sistem endokrin. Setiap bagian yang diserang akan memperlihatkan efek yang berbeda-beda (Palar, 2008).

Gejala yang ditimbulkan apabila seseorang terpapar timbal dalam konsentrasi tinggi yaitu: sering sakit kepala, tenggorokan terasa kering, mudah lelah, sering merasa lesu, mulut terasa logam, keluhan *lead line* (Krisdinatha, 2015).

Menurut Laili, (2016), timbal bersifat kumulatif. Mekanisme toksisitas timbal (Pb) berdasarkan organ yang dipengaruhinya adalah :

1. Sistem haemopoietik

Sel-sel darah merah merupakan suatu bentuk kompleks khelat yang dibentuk oleh logam Fe (besi) dengan gugus haemo dan globin sintesa dari kompleks tersebut melibatkan 2 enzim, yaitu enzim ALAD (*Amino Levulinic AcidDehidrase*) atau asam amino levulinat dehidrase dan enzim ferrokhelatase. Enzim ALAD adalah enzim jenis sitoplasma. Enzim ini akan bereaksi secara aktif pada tahap awal sintesa dan selama sirkulasi sel darah merah berlangsung. Senyawa Pb yang terdapat dalam tubuh akan mengikat gugus aktif enzim ALAD. Enzim ALAD berfungsi pada sintesa sel darah merah. Adanya timbal pada tubuh akan mengganggu kerja enzim tersebut sehingga sintesa sel darah merah terganggu. Penghambatan sintesa sel darah merah mengakibatkan terjadinya anemia

2. Sistem saraf

Sistem syaraf merupakan sistem yang paling sensitif terhadap daya racun yang dibawa oleh logam timbal. Timbal mengakibatkan demielinasi (rusaknya sarung mielin saraf) otak dan otak kecil yang putih sebelah belakang dan

kematian sel-sel syaraf. Pb menimbulkan kerusakan otak dengan gejala epilepsi, halusinasi, kerusakan otak besar, dan delirium.

3. Sistem urinaria

Senyawa timbal yang larut dalam darah akan dibawa oleh darah ke seluruh tubuh dan akan masuk kedalam glomerulus. Disini terjadi pemisahan akhir semua bahan yang dibawa darah, yaitu yang masih berguna bagi tubuh atau yang harus dibuang karena sudah tidak diperlukan lagi. Ikut sertanya timbal yang larut dalam darah ke sistem urinaria (ginjal) mengakibatkan terjadinya kerusakan pada saluran ginjal. Kerusakan yang terjadi tersebut disebabkan terbentuknya intranuclear inclusion bodies yang disertai dengan terbentuknya aminociduria, yaitu terjadinya kelebihan asam amino dalam urin.

4. Sistem reproduksi

Pada wanita hamil Pb dapat melewati plasenta dan kemudian akan ikut masuk dalam sistem peredaran darah janin dan selanjutnya setelah bayi lahir, Pb akan dikeluarkan bersama air susu ibu. Pada wanita dengan paparan timbal yang tinggi, timbal akan disimpan dalam tulang. Timbal yang terserap dan ditimbun dalam tulang dan juga masuk ke peredaran darah, melalui plasenta dan kemudian akan ikut masuk dalam sistem peredaran darah janin. Pb dapat menyebabkan gangguan pada sistem reproduksi berupa keguguran, kesakitan dan kematian janin. Pb mempunyai efek racun terhadap gamet dan dapat menyebabkan cacat kromosom. Anak-anak sangat peka terhadap paparan Pb di udara. Paparan Pb dengan kadar rendah yang berlangsung cukup lama dapat menurunkan IQ. Ibu hamil yang terkontaminasi timbal tersebut akan mengalami keguguran, tidak berkembangnya sel otak embrio, serta kematian janin (Laili, 2016).

5. Sistem endokrin

Timbal mengakibatkan gangguan fungsi tiroid. Fungsi tiroid sebagai hormon akan mengalami tekanan bila manusia kekurangan I^{131} (yodium isotop 131). Pengukuran terhadap steroid dalam urin pada kondisi paparan timbal yang berbeda dapat digunakan untuk melihat hubungan penyerapan timbal pada sistem endokrin. Dari pengamatan yang dilakukan dengan paparan timbal yang berbeda terjadi pengurangan pengeluaran steroid dan terus mengalami peningkatan dalam posisi minus. Kecepatan pengeluaran aldosteron juga mengalami penurunan selama pengurangan konsumsi garam pada orang yang keracunan timbal.

Toksisitas timbal bersifat kronis dan akut. Paparan timbal secara kronis bisa mengakibatkan kelelahan, kelesuan, gangguan iritabilitas, gangguan gastrointestinal, depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi, daya ingat terganggu, dan sulit tidur. Sedangkan toksisitas akut dapat terjadi bila timbal masuk ke dalam tubuh seseorang melalui makanan atau menghirup gas timbal yang relatif pendek dengan dosis atau kadar yang relatif tinggi (Laili, 2016).

2.5.6 Nilai Ambang Batas Timbal pada Tubuh Manusia

Untuk mengetahui kandungan timbal di dalam tubuh dapat dilakukan dengan menganalisis konsentrasi timbal di dalam darah atau urin. Pada manusia dewasa jumlah kandungan atau konsentrasi timbal dalam darah tidak sama. Berdasarkan pada perbedaan-perbedaan tersebut, maka konsentrasi timbal dapat digolongkan ke dalam empat kategori. Bila manusia terpapar oleh timbal dalam batasan normal atau dalam batasan toleransi, maka daya racun yang dimiliki oleh timbal tidak akan bekerja dan tidak menimbulkan pengaruh apa-apa. Tetapi bila

jumlah yang diserap telah mencapai batas ambang, maka individu yang terpapar akan memperlihatkan gejala keracunan timbal (Palar, 2008).

Karena analisis Pb di dalam tulang cukup sulit, maka kandungan Pb di dalam tubuh ditetapkan dengan menganalisis konsentrasi Pb di dalam darah atau urin. Konsentrasi Pb di dalam darah merupakan indikator yang lebih baik dibandingkan dengan konsentrasi Pb di dalam urin. Jumlah Pb minimal di dalam darah yang dapat mengakibatkan timbulnya gejala keracunan biasanya berkisar antara 60-10 μ g/100 ml darah untuk orang dewasa.

Tabel 2.2. Kategori Pencemaran Pb di dalam Darah Orang Dewasa

Kategori	Konsentrasi Pb di dalam darah (μg/100ml)	Keterangan
A (Normal)	< 40	Populasi normal tanpa pencemaran Pb pada konsentrasi abnormal
B (Dapat diterima)	40 -80	Absorpsi meningkat karena polusi Pb pada tingkat abnormal, tetapi masih belum berbahaya
C (Berlebihan)	80 -120	Absorpsi meningkat karena polusi Pb yang berlebihan, sering disertai gejala ringan, kadang-kadang gejala berat
D (Berbahaya)	>120	Absorpsi pada tingkat berbahaya dengan gejala ringan dan berta, serta efek sampingan yang lama

Sumber : (Wanda, 2013)

2.6 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Metode Spektrofotometri Serapan Atom ini berprinsip terhadap absorpsi cahaya oleh atom-atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Cahaya pada panjang gelombang tertentu mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektron suatu atom. Adanya absorpsi energi, berarti suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan pada keadaan eksitasi.

Tiap panjang gelombang menghasilkan hasil garis spektrum yang tajam dengan intensitas maksimum biasanya disebut dengan garis resonansi. Spektrum atom untuk masing-masing unsur terdiri dari garis-garis resonansi. Garis-garis lain yang bukan garis resonansi dapat berupa spektrum yang berasosiasi dengan tingkat energi molekul, biasanya berupa pita-pita (Khopkar, 2008).

Keberhasilan analisis tergantung dari proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat. Temperatur yang digunakan harus sangat tinggi. Berikut ini macam-macam temperatur nyala yang digunakan, sebagai berikut :

Tabel 2.3 Temperatur Nyala

Bahan Bakar	Oksidan Udara	Oksidasi Oksigen	N ₃ O
Hidrogen	2100	2770	-
Asetilen	2200	3050	N ₂ O
Propana	1950	2500	-

Sumber : (Khopkar, 2008)

Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah serta mempunyai beberapa kelebihan seperti mempunyai kepekaan yang tinggi. Selain itu, unsur-unsur dengan energi eksitasi rendah dapat dianalisis dengan fotometri

nyala, akan tetapi tidak cocok untuk energi eksitasi tinggi. Fotometri nyala memiliki range ukuran yang optimum pada panjang gelombang 400 – 800 nm. Sedangkan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) mempunyai range ukuran optimum pada panjang gelombang 200 300 nm (Laili, 2016).

Adapun bagian-bagian dari Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) sebagai berikut (Rohman, 2007) :

a. Sumber Sinar

Sumber sinar yang lazim dipakai adalah lampu katode berongga. Lampu ini terdiri atas tabung kaca tertutup yang mengandung suatu katoda dan anoda. Katoda berbentuk silinder berongga yang terbuat dari logam atau dilapisi dengan logam tertentu.

b. Tempat Sampel dan Nyala

Analisis dengan spektrofotometri serapan atom, sampel yang akan dianalisis harus diuraikan menjadi atom-atom netral. Spektrofotometri Serapan Atomsaat nyala, sampel dalam bentuk larutan encer mengalir melalui pipa kapiler dan dinebulasi oleh aliran gas pengoksidasi sehingga menghasilkan aerosol. Aerosol yang terbentuk bercampur dengan bahan bakar menuju ke pembakar (*burner*). Aerosol tersebut dicampur dengan gas pembakar seperti campuran asetilen-udara dalam sel sampel kemudian dibakar pada nyala dengan temperatur 2100-2800⁰C. Selama pembakaran atom elemen yang dianalisis akan direduksi menjadi bentuk bebas pada kondisi tidak tereksitasi. Bentuk atom bebas tersebut dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang yang spesifik tergantung karakteristik masing-masing logam. Pada tahap ini sampel berbentuk larutan

disemburkan ke dalam nyala untuk diatomkan yang biasa dikenal dengan proses atomisasi. Atom kation logam dari timbal berbentuk Pb^{2+} , A^- adalah anion yang asosiasi. Pb^0 dan A^0 merupakan atom yang berada pada keadaan bebas dari unsur yang dianalisis.

c. Monokromator

Monokromator dimaksudkan untuk memisahkan dan memilih panjang gelombang yang digunakan dalam analisis. Dalam monokromator terdapat *chopper* (pemecah sinar), suatu alat yang berputar dengan frekuensi atau kecepatan perputaran tertentu.

d. Detektor

Detektor digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melalui tempat pengetahuan.

e. Recorder

Recorder merupakan suatu alat penunjuk atau dapat juga diartikan sebagai pencatat hasil. Hasil pembacaan dapat berupa angka atau berupa kurva yang menggambarkan absorbansi atau intensitas emisi.

Adapun gangguan-gangguan yang dapat terjadi dalam spektrofotometri serapan atom adalah sebagai berikut :

- a. Gangguan yang berasal dari matriks sampel yang mana dapat mempengaruhi banyaknya sampel yang mencapai nyala
- b. Gangguan kimia yang dapat mempengaruhi jumlah atau banyaknya atom yang terjadi dalam nyala (Rohman, 2007).