

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Bromida

1. Pengertian

Bromida (Br^-) adalah unsur kimia berbentuk ion bermuatan negatif, yang merupakan komponen pembentuk gas bromine (Br_2), termasuk anggota dari unsur halogen dalam tabel periodik unsur kimia, satu golongan dengan florida, chlorida, iodida. Mempunyai nomor atom 35, berat atom 79,909, mempunyai empat macam bilangan oksidasi -1, +1, +3 dan +5 tetapi bilangan oksidasi yang paling banyak di alam adalah -1. Bromida banyak ditemukan di alam pada batuan mineral dan air laut, bromida umumnya ditemukan dalam bentuk garam dengan natrium, kalium dan kation (ion bermuatan positif) lainnya. Garam bromida bersifat larut air. Pada tubuh makhluk hidup, bromida juga ditemui apabila diberikan asupan makanan yang mengandung bromida. Bromida dalam bentuk anorganik di alam tidak bersifat racun bagi lingkungan, tetapi dalam bentuk organik cair dan gas dapat bersifat sangat beracun.¹³

2. Manfaat bromida

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, bromida dimanfaatkan menjadi berbagai bahan yang berguna bagi kehidupan manusia. Bromida dipakai sebagai obat tablet yang berfungsi sebagai pencegah kejang, obat penenang dan terapi hipertiroid dengan dosis maksimal 6 gram per hari, etilena dibromida dimanfaatkan sebagai campuran komponen bahan bakar minyak, bromida juga dapat dipakai dalam senyawa pemurnian air minum dan bahan baku pembuatan fumigan metil bromida sebagai pestisida.¹⁴

Metil bromida adalah zat yang sangat beracun, berbentuk gas tidak berwarna, tidak berbau dalam jumlah sedikit, tidak mudah terbakar, ditemui dalam sediaan cair pada tekanan tertentu. Metil

bromida ditemukan secara alami pada atmosfer, lautan dan pada peristiwa kebakaran. Sintesis metil bromida dapat dilakukan dengan cara:

- a. Sintesis dari sulfur, bromin, dan metil alkohol¹⁵
- b. Sintesis dari dimetil sulfat dengan kalium bromida pada lingkungan asam sulfat.¹⁴



Gambar 2.1. Bentuk sediaan Metil Bromida

Metil bromida biasanya tersedia dalam kemasan tabung yang sering dipakai untuk fumigan pada kegiatan keperluan karantina dan pra pengapalan.² Metil bromida mulai diperkenalkan sebagai pestisida di Amerika Serikat pada tahun 1932 dan diregister untuk pertama kali pada tahun 1961. Metil bromida dipakai untuk keperluan fumigan pada kegiatan hapus tikus dan serangga di pra pengapalan karena sifatnya yang membumi dan bisa mengisi setiap retakan ruangan, sampai menembus ke stuktur tanah sehingga sangat efektif untuk membunuh hama secara menyeluruh pada produk pertanian, contohnya pada pengawetan produk biji pinang.¹⁶ Pada tahun 1990 pemakaian metil bromida telah dilaporkan sejumlah 67.000 ton di seluruh dunia.¹⁷

3. Metabolisme ion bromida dalam tubuh manusia

Setiap saat, tubuh kita berpotensi untuk terpapar oleh zat asing dari lingkungan luar tubuh yang berguna maupun merugikan kesehatan. Zat asing yang berasal dari luar tubuh dan bersifat

merugikan tubuh sering disebut dengan *xenobiotic*. Apabila tubuh terpapar oleh *xenobiotic*, maka ada tiga fase yang dilalui *xenobiotic* sampai menimbulkan efek pada tubuh kita. Fase eksposisi, fase masuknya *xenobiotic* dalam tubuh kita. Fase toksokinetik yaitu fase *xenobiotic* menuju aliran darah dan didistribusikan ke seluruh tubuh lalu termetabolisme, tersekresi bersama urine melalui ginjal atau sistem ekskresi melalui kulit dengan keluarnya keringat. Fase toksodinamik yaitu interaksi antara toksin/ obat dan reseptor dan proses yang terkait sehingga menimbulkan efek toksik dan terapeutik.

Pada fase eksposisi paparan *xenobiotic* dipengaruhi oleh faktor besarnya dosis yang masuk di tubuh, meningkatnya dosis seiring dengan meningkatnya konsentrasi, frekuensi paparan, cara masuk ke tubuh,⁶ lama paparan dan kemampuan melindungi diri dari paparan.¹⁸ Pada fase ini paparan *xenobiotic* dari luar tubuh masuk ke tubuh manusia melalui berbagai cara, bisa melalui saluran pernafasan, pencernaan, penyerapan pada kulit dan lapisan mukosa tubuh.

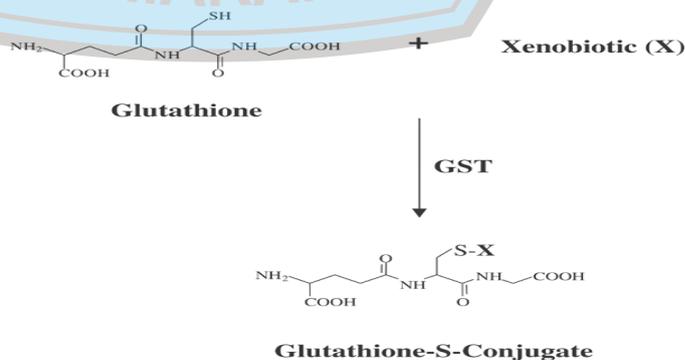
Pada fase toksokinetik, ada dua proses mekanisme yaitu proses invasi dan proses evesi. Dalam proses invasi *xenobiotic* diadsorpsi tubuh, diangkut melalui sistem peredaran darah, dan didistribusikan masuk dalam jaringan organ tubuh pada jantung, hati, ginjal, otak dan paru- paru. Proses evesi adalah proses *xenobiotic* dieliminasi oleh tubuh sehingga paparan menjadi semakin turun, lalu diekskresikan melalui metabolisme cairan tubuh yang keluar, yaitu *urine*, keringat, kelenjar air susu, dan *faeces*.⁶

Proses toksodinamik yaitu proses reaksi pertahanan tubuh dengan sistem reaksi toksin dan reseptor, dimana terjadi pengikatan *xenobiotic* dengan enzim tubuh sehingga menjadi efek terapeutik atau efek toksis. Efek toksis terjadi bila paparan *xenobiotic* dalam konsentrasi tinggi. Metabolit *xenobiotic* akan dikeluarkan melalui metabolisme pembuangan zat yang tidak terpakai melalui sistem ekskresi tubuh.

Ion bromida merupakan salah satu senyawa asing dari luar tubuh yang bersifat merugikan dan termasuk *xenobiotic*. Pada fase eksposisi ion bromida memapari tubuh lalu masuk ke tubuh manusia, paparan ion bromida masuk dan terserap oleh tubuh melalui saluran pernafasan, saluran pencernaan dan kontak langsung dengan kulit atau melalui mata manusia. Pada fase toksokinetik, Ion bromida yang masuk dalam bentuk zat yang larut lemak akan lebih cepat teradsorpsi, ion bromida terdistribusi ke dalam darah dan banyak jaringan tubuh termasuk paru- paru, ginjal, dan otak melalui sistem peredaran darah. Sebagian ion bromida, ada yang langsung mengalami eliminasi melalui sistem ekskresi cairan tubuh yaitu saluran nafas, keringat dan *urine*. Pada proses toksodinamik, bromida anorganik pada darah melalui proses hidroksilasi oleh enzim monohidrogenase atau NADPH-sitokrom P-450 untuk menghasilkan metabolit yang lebih polar dan larut air.

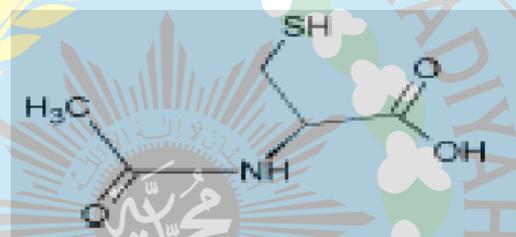


Metabolit tersebut bereaksi dengan enzim *glutation* mengikat ion bromida yang masuk ke dalam tubuh dengan membentuk enzim *glutation s cojugate*, karena ion bromida yang masuk ke tubuh dianggap zat asing oleh tubuh.¹⁹



Gambar 2.2 Pembentukan *Glutation S Conjugat*

Bentuk metabolit bromida *glutathione s conjugat* dalam tubuh mempunyai waktu paruh sekitar 12 sampai 14 hari setelah paparan kemudian dikeluarkan dari tubuh melalui metabolisme urine.⁴ Batas normal ion bromida dalam tubuh adalah 3,5 – 5,5 mg/l, apabila kadar bromida melebihi batas kemampuan tubuh maka terjadi efek toksis bagi tubuh manusia. Tidak ada penawar obat khusus untuk menangani efek toksis paparan ion bromida dalam tubuh, tetapi telah dilaporkan bahwa pemberian oral *cystein* dosis tinggi dapat mengurangi akibat dari keracunan metil bromida.¹ *Cystein* dalam bentuk sediaan obat N-asetil sistein berfungsi untuk membentuk senyawa yang serupa dengan enzim *glutathione* yang merupakan pengikat ion bromida dalam tubuh.



Gambar2.3 Bentuk susunan kimia N-asetilsistein

4. Faktor- faktor yang berhubungan dengan keberadaan ion bromida dalam tubuh

Dalam keadaan normal, ion bromida terdapat dalam tubuh manusia dalam jumlah yang relatif kecil, keberadaan ion bromida didapatkan dari faktor luar tubuh manusia. Ion bromida masuk ke tubuh manusia melalui saluran pernafasan, penyerapan pada kulit dan mata. Faktor utama yang menyebabkan adanya ion bromida dalam tubuh adalah sebagai berikut:

a. Asupan makanan

Ion bromida yang masuk ke tubuh manusia berasal dari luar tubuh, paling banyak adalah bersumber dari makanan yang dikonsumsi.² Batas kandungan bromida dari proses fumigasi produk makanan telah ditetapkan untuk bahan rempah- rempah,

kacang- kacangan, sereal. Fumigasi pada komoditi ekspor makanan biasanya ditentukan oleh negara tujuannya. Air laut juga salah satu sumber bromida di alam, hal ini menjadikan ikan dan bahan laut mungkin mengandung kadar bromida yang dapat berperan adanya ion bromida ditubuh manusia. Bahan aditif senyawa bromat pada pembuatan roti, minuman bir juga dimungkinkan berperan pada keberadaan ion bromida di tubuh manusia.

b. Konsumsi obat

Beberapa terapi kesehatan memakai obat mengandung bromida. Suplemen makanan juga memungkinkan berkontribusi signifikan terhadap keberadaan ion bromida pada tubuh manusia.² Mekanisme paparan ion bromida pada konsumsi obat sama dengan konsumsi makanan yang mengandung ion bromida, hanya saja pada obat kandungan ion bromida terukur sehingga kadar ion bromida dalam tubuh dapat dikontrol melalui dosis obat. Dosis obat adalah gambaran konsentrasi ion bromida dan frekuensi makan obat. Dosis diatur untuk mengambil manfaat efek terapeutik obatnya.

c. Paparan ion bromida dari luar tubuh

Paparan ion bromida terbesar dari luar tubuh adalah berhubungan langsung dengan zat yang mengandung ion bromida. Zat yang mengandung ion bromida sering digunakan adalah fumigan metil bromida, karena dipakai sebagai pestisida. Seorang yang berhubungan langsung dengan fumigan metil bromida, mempunyai peluang lebih besar memiliki kadar ion bromida pada tubuhnya karena mereka secara langsung akan terpapar ion bromida dari fumigan metil bromida. Pekerja perkebunan,⁹ pekerja buruh pabrik yang menangani fumigasi produk pertanian yang akan diekspor maupun impor,⁷ dan fumigator kapal sangat berisiko terpapar ion bromida pada tubuhnya.²⁰ Para pekerja harus berhubungan dengan fumigan metil bromida saat mereka bekerja.

Faktor risiko yang mempengaruhi besarnya ion bromida dalam tubuh bergantung oleh besar kecil dosis paparan ke tubuh. Dosis paparan meningkat dengan besarnya konsentrasi zat kimia, lama paparan⁶, faktor frekuensi paparan^{2,7,8}. Penggunaan alat pelindung diri juga merupakan faktor yang berhubungan dengan peningkatan kadar bromida pada tubuh manusia.⁹ Pada tahun 2011 di Jerman, dilakukan penelitian kesehatan pada pekerja pelabuhan, ditemukan bahwa setiap penanganan kontainer keenam yang memuat produk yang mempertahankan fumigan didalamnya, menunjukkan risiko kesehatan pada pekerja yang menanganinya.⁷ Penelitian juga dilakukan tahun 2009 pada pekerja perkebunan di Turki, menunjukkan bahwa kadar ion bromida pada darah para pekerja mengalami peningkatan antara sebelum dan sesudah fumigasi.⁹

d. Sistem perlindungan diri tubuh

Tubuh manusia memiliki sistem perlindungan diri yang disebut sistem imunitas tubuh. Pada paparan ion bromida, enzim yang bereaksi untuk pertahanan tubuh dengan cara mengikat ion bromida agar tidak merusak tubuh adalah enzim *glutathione S-transferase*, enzim ini mengubah *glutathione* menjadi *glutathione S-conjugat*,¹⁹ lalu metabolit ion bromida yang terbentuk diekskresikan melalui metabolisme *urine*.

Alat pelindung diri adalah merupakan cara paling efektif untuk meminimalkan paparan ion bromida yang berasal dari luar tubuh manusia. Alat pelindung diri dipakai bertujuan untuk mengurangi kontak fumigan metil bromida dengan fumigator. Alat pelindung diri wajib dipakai dengan benar dan sesuai prosedur untuk mendapatkan perlindungan yang maksimal terhadap paparan ion bromida.

Fumigator kapal dilengkapi alat pelindung diri berupa masker dan *canister* yang berfungsi untuk melindungi paparan fumigan metil bromida pada sistem pernafasan, sistem pencernaan

dan mata. Pakaian *wearpack* melindungi paparan fumigan metil bromida pada kulit. *Safety shoes* melindungi kaki dari paparan metil bromida. Para fumigator yang menggunakan alat pelindung diri dengan baik dan benar, memperkecil kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja akibat paparan fumigan metil bromida.

Saat pelatihan fumigator kapal, fumigator diajarkan tentang teori tentang pelaksanaan fumigasi, penggunaan alat pelindung diri juga termasuk didalam pelatihan tersebut. Sebelum menjadi fumigator, para pekerja diberikan pengetahuan yang cukup dengan dibekali pelatihan agar mencegah risiko kecelakaan kerja akibat paparan fumigan metil bromida. Sertifikat pelatihan fumigasi dan tingkat pendidikan D3 kesehatan lingkungan menjadi syarat wajib menjadi fumigator ruangan kapal.

Penelitian sebelumnya menemukan bukti bahwa pekerja perkebunan tidak menggunakan alat pelindung diri karena mereka tidak mengetahui dan tidak mendapatkan pelatihan tentang fumigasi, sehingga banyak ditemui keluhan kesehatan yang mengarah pada gejala keracunan bromida akibat fumigasi menggunakan fumigan metil bromida. Kepatuhan pemakaian alat pelindung diri pada pekerja perkebunan berpengaruh signifikan terhadap kenaikan kadar bromida pada tubuhnya.⁹

5. Dampak paparan ion bromida bagi kesehatan

Ion bromida yang berasal dari asupan obat-obatan yang dikontrol dengan baik tidak akan menimbulkan potensi keracunan tetapi bila paparan ion bromida yang terlalu tinggi akibat asupan makanan yang terdapat residu ion bromida, menimbulkan efek mual, muntah, sakit perut, dan mengakibatkan koma dan kelumpuhan.¹³ Paparan ion bromida yang berasal dari fumigan metil bromida secara akut pada manusia menimbulkan efek yang sangat merugikan pada kesehatan, bila terpapar secara langsung di kulit akan terjadi iritasi kulit/ melepuh, bila terhirup melalui saluran pernafasan maka timbul

efek mual, muntah, mengiritasi saluran nafas, dan bila tertelan akan mengiritasi saluran pencernaan. Efek yang paling parah paparan ion bromida secara akut adalah menimbulkan kematian. Penelitian ilmiah menunjukkan bahwa paparan metil bromida juga mengakibatkan kanker prostat⁵, kerusakan pada mata^{21,22} dan kerusakan pada sistem syaraf manusia.² Kemampuan tubuh mengeliminasi paparan ion bromida yang di perbolehkan adalah 5 ppm (0,02 g/m³) untuk 8 jam rata-rata waktu paparan serta 15 ppm (0,06 g/m³) untuk 10 menit rata-rata waktu paparan.² Keracunan metil bromida terjadi pada paparan 25-120 ppm, dalam waktu singkat penderita akan merasa kurang sehat, sakit kepala, mata kemerahan, mual dan muntah, sering disangka penyakit biasa yang terjadi karena kelelahan. Pada konsentrasi paparan metil bromida diatas 120 ppm akan berdampak pada kerusakan sistem saraf yang sering tidak terlihat secara fisik, namun dapat terlihat dari kesulitan memfokuskan mata, gangguan bicara, kelemahan pada fungsi motorik terutama pada kaki, serta kerusakan fungsi ginjal dan paru-paru. Paparan metil bromida secara kronis melalui penyerapan secara tidak langsung pada kulit dapat menimbulkan kerusakan pada sel otak dan susunan system syaraf manusia.⁴

B. Fumigasi

1. Pengertian

Fumigasi adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk memberantas vektor atau makhluk hidup yang dianggap sebagai pengganggu/ perusak pada suatu ruangan tertutup dengan cara memenuhi seluruh bagian ruangan tersebut dengan gas yang beracun dengan dosis tertentu, pada suhu dan tekanan tertentu, selama beberapa waktu sehingga mematikan vektor sasaran yang diinginkan.¹ Pelaksana kegiatan fumigasi disebut dengan fumigator. Fumigasi dilakukan untuk kegiatan hapus tikus dan hapus serangga pada alat angkut darat, laut, udara maupun pada proses karantina pra pengapalan pada produk pertanian yang akan dilakukan pengiriman ekspor.

Setiap alat angkut yang ada di pelabuhan, bandar udara dan pos lintas batas darat harus memenuhi syarat kesehatan dengan wajib memiliki sertifikat sanitasi alat angkut. Dalam rangka penerbitan sertifikat sanitasi pada alat angkut, harus dilakukan fumigasi berupa tindakan hapus tikus dan tindakan hapus serangga.²⁰ Fumigasi juga berlaku pada produk- produk pertanian yang diangkut menggunakan peti kemas untuk diekspor maupun impor. Hal ini dilakukan untuk mencegah kemungkinan penularan penyakit oleh alat angkut dan muatannya.²³

Fumigasi ulang wajib dilakukan kembali oleh setiap penanggung jawab alat angkut bila ditemukan tanda-tanda keberadaan vektor saat pemeriksaan sanitasi alat angkut dilakukan oleh Kantor Kesehatan Pelabuhan. Penyelenggara fumigasi adalah Badan Usaha Swasta bidang kesehatan lingkungan yang memiliki izin penyelenggara yang diterbitkan oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Kewenangan permohonan izin didelegasikan kepada Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Kementerian Kesehatan Republik Indonesia serta pemeriksaan lapangan oleh Kantor Kesehatan Pelabuhan. Izin penyelenggara fumigasi harus memenuhi syarat ketenagakerjaan berupa tenaga teknis dan pengawas yang sudah memiliki sertifikat pelatihan tenaga teknis dan tenaga pengawas fumigasi. Penyelenggara fumigasi juga harus memenuhi syarat peralatan dan bahan untuk tindakan hapus tikus dan hapus serangga sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.²⁰

2. Tahap pelaksanaan fumigasi

Secara prinsip, kegiatan fumigasi dilakukan melalui 5 (lima) tahap pelaksanaan, proses pelaksanaan harus dilakukan dengan runut dan teliti mengingat dalam bekerja fumigator kapal harus berhubungan langsung dengan pestisida yang beracun. Berikut adalah tahapan pelaksanaan fumigasi:

a. Persiapan fumigasi

Persiapan fumigasi meliputi persiapan dokumen resmi, rencana kerja, personil pelaksana, peralatan fumigasi, penyiapan ruangan yang akan difumigasi dengan menghitung jumlah fumigan yang diperlukan, menempel semua lubang untuk mencegah kebocoran fumigan dan penyiapan sarana dan prasarana pertolongan pertama untuk keracunan fumigan.

b. Pelaksanaan fumigasi

Pengawas fumigasi melakukan pemeriksaan ulang tentang persiapan fumigasi, kemudian dilakukan pelepasan fumigan ke ruangan oleh fumigator untuk mematikan vektor, pengawas fumigasi melakukan pengawasan selama proses fumigasi.

c. Pembebasan fumigan (aerasi)

Pengawas fumigasi menyiapkan alat detektor fumigan sebelum dilakukan pembebasan fumigan,. Fumigan dibebaskan oleh fumigator dengan penentuan waktu oleh pengawas, minimal waktu yang dibutuhkan adalah 1 jam setelah akses keluar dibuka. Fumigan dipastikan telah hilang, kemudian dilakukan penghitungan jumlah vektor yang mati.

d. Penilaian fumigasi

Penilaian fumigasi dilakukan dengan memberikan penilaian dari perhitungan kesesuaian jumlah pemakaian fumigan dengan jumlah gas sesuai perhitungan, menghitung jumlah vektor yang mati dibandingkan jumlah perkiraan keberadaan vektor sebelum fumigasi, melakukan identifikasi vektor, menilai apakah ada yang keracunan, kebocoran gas, dan ketaatan dan kepatuhan petugas fumigasi. Melakukan pembersihan lokasi fumigasi dan pembersihan diri dari fumigan pada semua yang terlibat proses fumigasi.

e. Pelaporan fumigasi

Pengawas fumigasi membuat laporan tentang semua kegiatan fumigasi yang telah dilakukan dan diserahkan kepada atasan untuk dibuat surat penerbitan dokumen sanitasi alat angkut.²⁰

3. Persyaratan kompetensi fumigator

Tenaga teknis pelaksana fumigasi dan pengawas penyelenggara fumigasi kapal harus memiliki persyaratan kompetensi. Seorang fumigator kapal adalah warga negara Indonesia (dibuktikan dengan kepemilikan KTP/ Kartu Tanda Penduduk), pendidikan minimal Akademi/ D III Akademi Kesehatan Lingkungan untuk fumigator ruangan kapal dan pendidikan minimal SLTA untuk fumigator peti kemas yang berisi produk pertanian, memiliki sertifikat pelatihan tindakan hapus tikus dan hapus serangga untuk tenaga teknis fumigasi serta memiliki sertifikat pelatihan pengawas tindakan hapus tikus dan hapus serangga untuk pengawas penyelenggara fumigasi.²⁰ Persyaratan kompetensi tersebut harus dimiliki oleh tenaga kerja perusahaan badan usaha swasta sebagai penyelenggara kegiatan fumigasi. Persyaratan kompetensi sangat bermanfaat untuk memberikan standar minimum kepada pelaksana fumigasi agar petugas mempunyai pengetahuan yang baik sehingga kegiatan fumigasi dapat berjalan optimal sesuai dengan prosedur, serta melindungi keselamatan dan kesehatan para tenaga kerja.

4. Alat perlindungan diri fumigasi

Badan Usaha Swasta yang mempunyai izin penyelenggara fumigasi harus mempunyai peralatan perlindungan diri bagi para pekerjanya. Pada kegiatan fumigasi, penggunaan alat pelindung diri yang baik dan patuh sudah diajarkan pada saat pelatihan fumigator untuk meningkatkan pengetahuan fumigator tentang pelaksanaan fumigasi. Alat perlindungan diri yang wajib dimiliki dan dipakai saat fumigasi adalah:

- a. Pakaian Kerja

Pakaian kerja harus berupa *wearpack* mempunyai lengan panjang, berkancing sampai leher, berwarna terang, terdapat pita pendar pada punggung dan dada, terbuat dari bahan katun. Perlengkapan pakaian kerja adalah pelindung kepala/ helm kerja, sepatu lasar panjang terbuat dari kulit, memiliki pelindung yang keras pada bagian depan dan sebaiknya tanpa tali, sarung tangan terbuat dari kulit atau kain katun yang kuat yang tidak mudah robek.

b. Alat pelindung pernafasan

Alat pelindung pernafasan berupa masker dengan *canister* yang sesuai atau tabung oksigen. Kanister harus diganti berkala bila sudah terpakai selama 2 jam terus menerus pada konsentrasi gas < 5000 ppm. Dan harus ditulis waktu dan tanggal pertama kali pemakaian dan tidak melebihi masa kadaluarsanya. Masker tidak boleh bergantian dan khusus bagi setiap personil harus terpisah kepemilikannya.

c. Tanda peringatan medis

Tanda peringatan medis harus dipakai oleh masing masing personil untuk memberikan informasi kepada dokter, apabila terjadi keracunan fumigan sehingga dapat segera ditangani dengan tindakan medis yang sesuai.¹

Ada berbagai macam jenis pestisida yang dapat digunakan sebagai fumigan dalam proses pelaksanaan fumigasi, diantaranya adalah sulfuril flourida, metil bromida, fosfin, karbon dioksida, etil format, hidrogen sianida dan lain sebagainya, tetapi jenis pestisida yang diijinkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia untuk fumigasi pra pengapalan adalah hidrogen sianida dan metil bromida.²⁴ Penggunaan HCN pada fumigasi sudah jarang, karena sifatnya lebih ringan dari udara, mempunyai efek sangat beracun, dan merusak lapisan ozon.

5. Fumigasi dengan fumigan metil bromida

Dalam pengaplikasian fumigasi pada alat angkut, metil bromida menjadi pilihan utama sebagai fumigan karena sifatnya yang dapat mematikan serangga, tidak korosif terhadap logam, mempunyai efek penetrasi yang kuat, tidak mudah terbakar, bahan mudah didapatkan serta harga yang lebih murah. Penggunaan fumigan metil bromida juga memiliki beberapa kekurangan yaitu waktu penetrasi yang relatif lama, membutuhkan peralatan yang banyak, risiko yang besar pada saat pelepasan gas, kemasan metil bromida yang besar dan berat. Pada Montreal Protokol pada tahun 1987, fumigan metil bromida sudah dibatasi penggunaannya karena mempunyai efek dapat merusak lapisan ozon, tetapi dengan alasan belum ada pengganti yang lebih sesuai maka fumigan metil bromida masih diijinkan untuk dipakai dan hanya boleh digunakan untuk fumigasi khususnya karantina dan proses pra pengapalan.²⁵

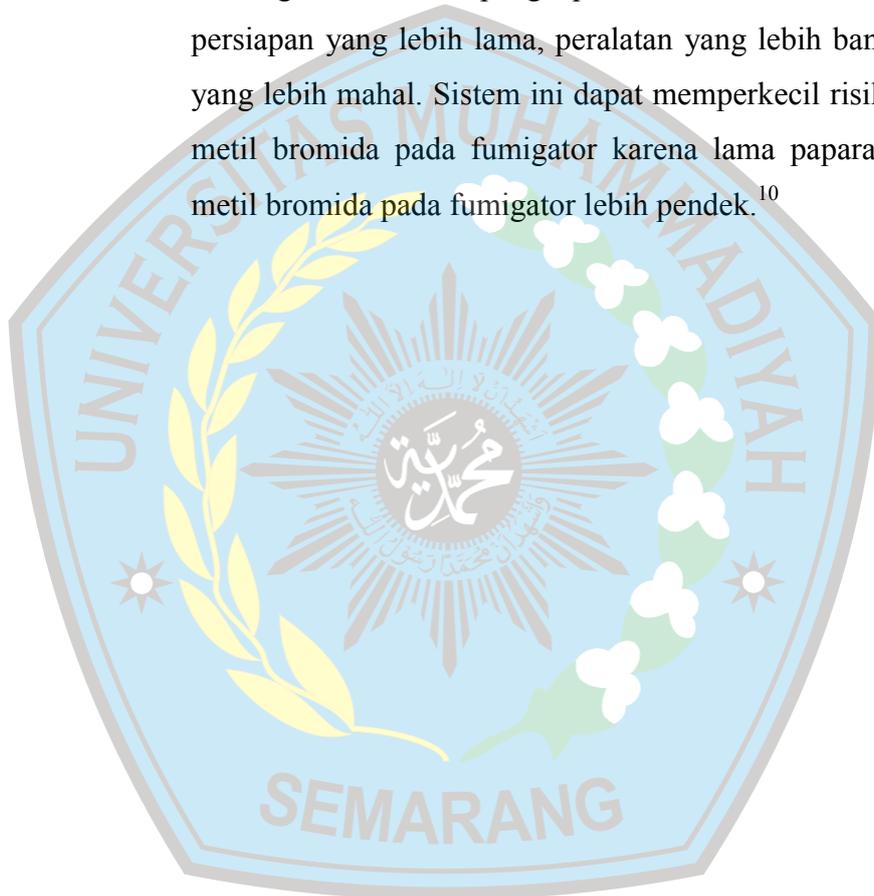
Di pelabuhan Tanjung Emas Semarang, Fumigasi menggunakan fumigan metil bromida dilakukan menggunakan dua sistem fumigasi, yaitu:

a. Sistem Manual

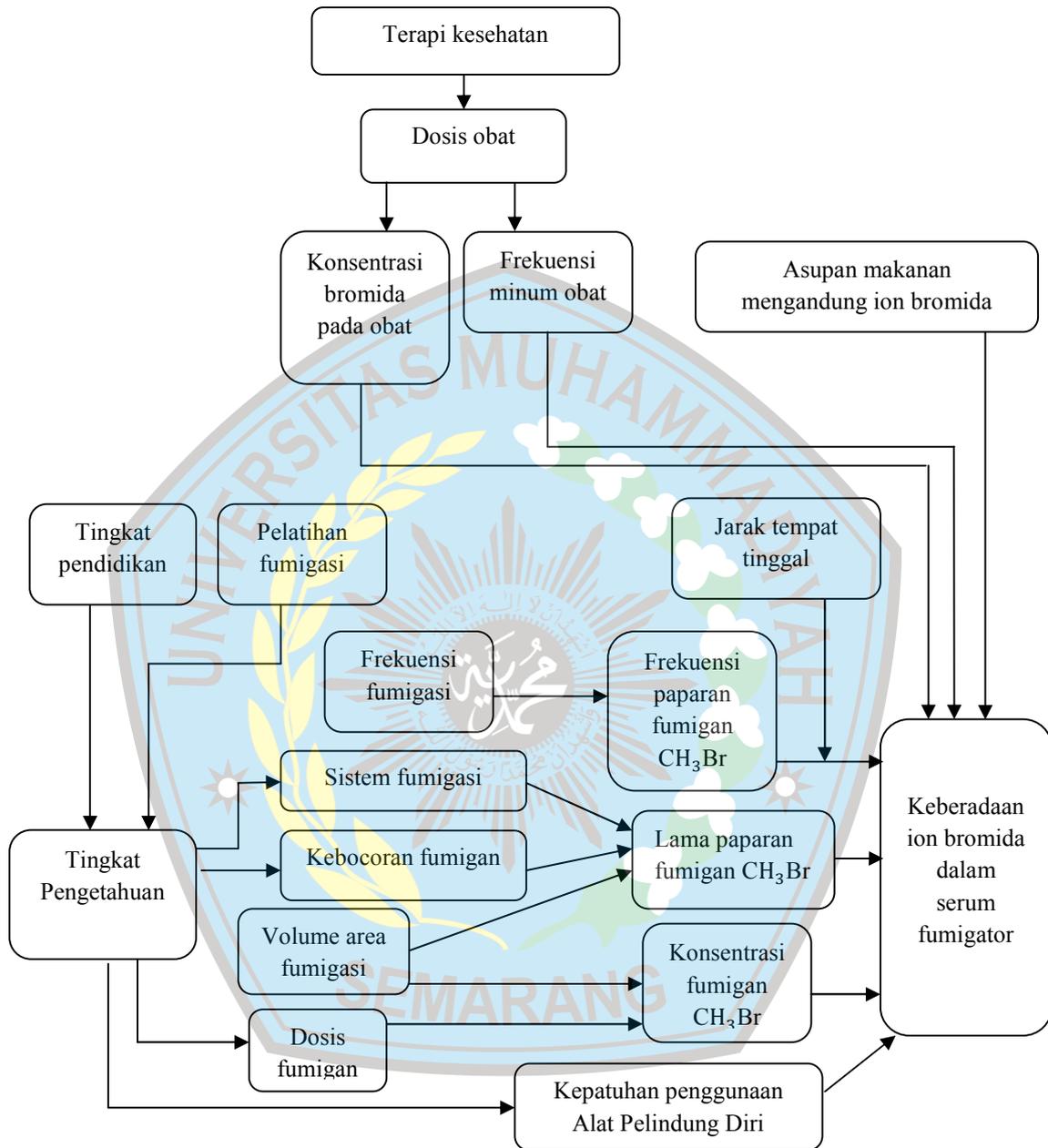
Sistem manual yaitu sistem aplikasi fumigan dimana proses pelepasan fumigan dalam ruangan yang difumigasi dilakukan secara manual oleh fumigator dengan cara dituang kedalam cawan kecil yang diletakkan di setiap ruangan yang difumigasi. Sistem manual mempunyai keuntungan karena proses pelepasan gas menjadi lebih singkat, tidak membutuhkan peralatan yang lebih banyak, dapat dilakukan di ruangan yang luas maupun sempit, biaya yang dibutuhkan lebih murah. Sistem manual akan lebih efektif dampaknya terhadap kematian vektor sasaran, tetapi dengan menggunakan sistem manual, maka risiko paparan metil bromida pada fumigator menjadi lebih lama.¹⁰

b. Sistem Penguapan

Sistem Penguapan yaitu sistem aplikasi fumigan dimana proses pelepasan fumigan melalui alat bantu penguapan berupa pemanas, kemudian disalurkan melalui selang distribusi dan selang monitor kedalam ruangan, dan dibantu oleh kipas angin yang jumlahnya disesuaikan dengan volume ruangan yang difumigasi.¹ Sistem penguapan membutuhkan waktu kerja persiapan yang lebih lama, peralatan yang lebih banyak, biaya yang lebih mahal. Sistem ini dapat memperkecil risiko paparan metil bromida pada fumigator karena lama paparan fumigan metil bromida pada fumigator lebih pendek.¹⁰

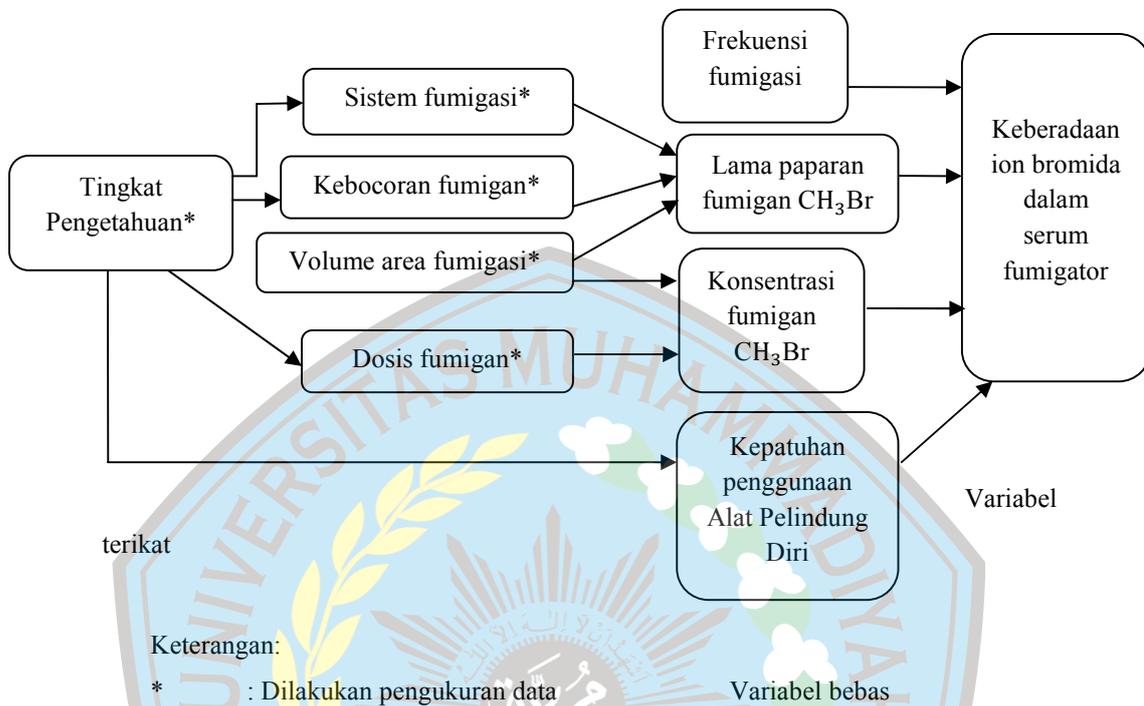


C. Kerangka Teori



Gambar 2.4 Kerangka Teori

D. Kerangka Konsep



Gambar 2.5 Kerangka Konsep

E. Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah:

1. Ada hubungan antara frekuensi fumigasi dengan keberadaan ion bromida dalam serum fumigator kapal
2. Ada hubungan antara lama paparan fumigan metil bromida dengan keberadaan ion bromida dalam serum fumigator kapal
3. Ada hubungan antara konsentrasi fumigan metil bromida dengan keberadaan ion bromida dalam serum fumigator kapal
4. Ada hubungan antara kepatuhan penggunaan alat pelindung diri dengan keberadaan ion bromida dalam serum fumigator kapal