

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Tempat Pembuangan Akhir

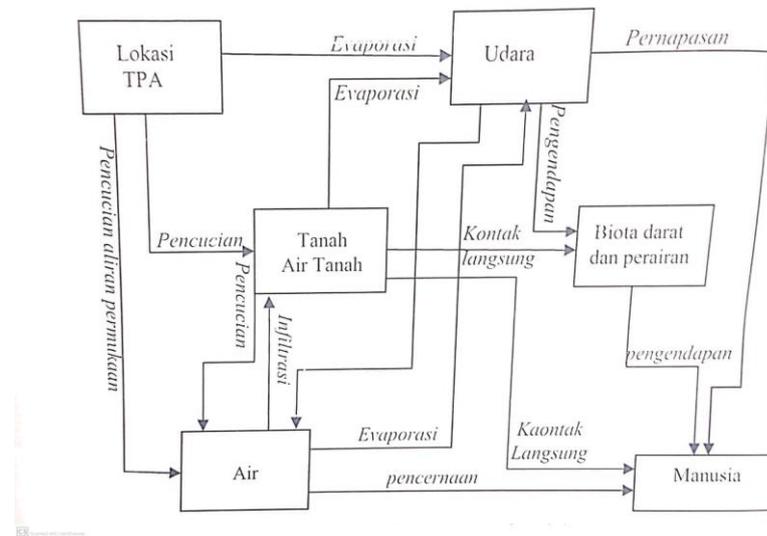
a. Pengertian dan karakteristik

Sampah dan lahan di perkotaan selalu menunjukkan keterkaitan dan sering menjadi sumber konflik. Sampah merupakan salah satu sumber pencemar yang sering diidentikan dengan penyebaran berbagai penyakit. Dalam upaya pengelolaannya, lahan yang menjadi tempat pembuangan akhir sampah seringkali kurang sesuai dengan kapabilitasnya sehingga mengundang peluang adanya peningkatan kuantitas dan kualitas pencemaran lingkungan (Tamod, 2011).

Pengelolaan persampahan selalu menjadi isu dari masyarakat perkotaan dimana faktor pendorong kenaikan jumlah penduduk berbanding lurus dengan peningkatan jumlah timbunan sampah yang dihasilkan (Damanhuri *and* Padmi dalam Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Barat, 2022). TPA Sampah merupakan fasilitas yang disediakan oleh pemerintah sebagai bentuk dan tanggung jawab terhadap pelayanan kepada masyarakat. TPA yang aman akan memberi keuntungan bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan secara menyeluruh (Kawung *and* Tamod, 2009).

Beberapa TPA sampah kota hingga saat ini masih menerapkan pola menghamparkan sampah di lahan terbuka tanpa melakukan penutupan

dengan tanah (*open dumping*). Akibatnya, terjadi penurunan kualitas lingkungan yaitu bau busuk, suasana kotor, timbulnya berbagai parasit dan air tanah mengandung bahan pencemar. Dampak kontaminan tersebut dapat diilustrasikan sebagai berikut.



Gambar 2.1 Skema Perjalanan Kontaminan TPA dan Dampak Pada Manusia

Sumber: (Yong *et al.* dalam Tamod, 2011)

Pada gambar di atas, diilustrasikan bagaimana TPA sampah dapat memberi dampak kepada manusia antara lain yaitu dengan cara proses evaporasi atau penguapan di udara akibat gas cemaran yang dihasilkan sehingga terhirup oleh manusia, dan selanjutnya pencemaran tanah dan air dengan proses pelepasan zat-zat berbahaya baik dengan bantuan air hujan maupun kontak langsung dengan biota darat dan air sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan (Tamod, 2011).

b. TPA Ciangir

TPA Ciangir terletak di Kampung Ciangir, Desa Mugarsari, Kecamatan Tamansari, Kota Tasikmalaya. TPA Ciangir merupakan satu-satunya tempat pembuangan akhir sampah dari seluruh penjuru Kota Tasikmalaya dan telah beroperasi sejak tahun 2002 dengan luas lahan sebesar 11 Ha. Dengan volume sampah 64.485,44 ton setiap tahun, daya tampung TPA akan terus berkurang dan akan mencapai batas maksimalnya pada tahun mendatang (Natawijaya *and* Vita, 2020; Nurawaliyah, 2018).



Gambar 2.2 Lokasi TPA Ciangir

2. Hidrogen Sulfida (H_2S)

a. Pengertian dan karakteristik

Hidrogen Sulfida (H_2S) merupakan gas yang tidak berwarna dengan ciri bau khas belerang atau telur busuk yang terjadi akibat adanya peningkatan aktivitas vulkanik. Gas H_2S juga terjadi akibat adanya penguraian zat-zat organik pada proses pembusukan protein nabati dan

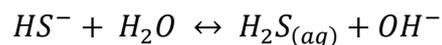
hewani (Nelson *et al.*, 2010; WHO, 1981). Oleh karena itu, gas ini dapat ditemukan di dalam operasi pengeboran minyak, gas, dan panas bumi, lokasi pembuangan limbah industri, peternakan, atau pada lokasi pembuangan sampah (US EPA, 2003). Menurut Mulyono (2011), gas H₂S mempunyai sifat dan karakteristik antara lain:

- 1) Tidak berwarna tetapi mempunyai bau khas seperti telur busuk pada konsentrasi rendah.
- 2) Merupakan jenis gas beracun.
- 3) Dapat terbakar dan meledak pada konsentrasi LEL (*Lower Explosive Limit*) 4,3% (43.000 ppm) sampai UEL (*Upper Explosive Limit*) 46% (460.000 ppm) dengan nyala api berwarna biru pada temperatur 500 °F (260 °C).
- 4) Berat jenis gas H₂S lebih berat dari udara sehingga gas H₂S akan cenderung terkumpul di tempat/daerah yang rendah. Berat jenis gas H₂S sekitar 20% lebih berat dari udara dengan perbandingan berat jenis 1 : 1,2 atm dan berat jenis udara 1 atm.
- 5) H₂S dapat larut (bercampur) dengan air (daya larut dalam air 437 ml/100ml air pada 0 °C; 186 ml/100ml air pada 40 °C)
- 6) H₂S bersifat korosif sehingga dapat mengakibatkan karat pada peralatan logam.

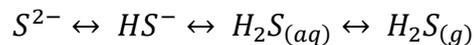
b. Pembentukan

Hydrogen sulfida (ditulis H₂S_(aq) atau H₂S_(g), tergantung dalam bentuk terlarut atau gas) cukup terlarut dalam air, gas tidak berwarna

dengan bau khas telur busuk. Dalam air, terbentuk dalam dua langkah reaksi ketika anion sulfida (S^{2-}) bereaksi secara reversibel dengan air untuk membentuk anion hidrosulfida (HS^-) dan $H_2S_{(aq)}$ terlarut (Weiner, 2013). Pembentukan reaksinya adalah sebagai berikut:



Dalam air yang kontak dengan udara, beberapa $H_2S_{(aq)}$ terlarut akan terpartisi dengan udara sebagai $H_2S_{(g)}$. Persamaan pembentukan adalah keseluruhan reaksi reversible sulfida dengan air, ditulis hanya spesies sulfidanya.



Bau air dengan minimal 0,5 mg/L hidrogen sulfida terdeteksi seperti bau saluran pembuangan oleh kebanyakan orang. Pada konsentrasi 1-2 ppm, hidrogen sulfida terlarut memberi bau telur busuk yang kuat di air dan membuat air korosif terhadap logam dan semen. Pada kesetimbangan, distribusi diantara spesies sulfur terlarut (S^{2-} , HS^- , dan $H_2S_{(aq)}$) di air tergantung terutama pada pH dan sedikit pada temperatur. Proporsi gas hidrogen sulfida terlarut meningkat dengan penurunan pH, dimana pH air kurang dari 7,5 potensi untuk membentuk $H_2S_{(g)}$ meningkat.

c. Toksikologi

Hidrogen Sulfida (H_2S) adalah gas tidak berwarna, lebih padat dari udara dengan gas khas bau telur busuk dan larut dalam lemak. Efek

toksik dari H₂S dapat menyebabkan hipoksia jaringan sel. Selain daripada itu, hidrogen sulfida dapat mengubah pelepasan dan transmisi neurotransmitter otak melalui hiperpolarisasi neuron saraf. Mekanisme penghambatan dapat menyebabkan keracunan pusat batang otak pada jaringan lipofilik yang ditandai dengan rasa sakit kepala hebat dan kehilangan/kelumpuhan penginderaan penciuman (Nelson *et al.*, 2010).

Selain efek sistemik, hidrogen sulfida bereaksi pada permukaan selaput lendir untuk menghasilkan iritasi hebat dan cedera korosif terutama pada jalur inhalasi dan jalur kontak mata (WHO, 1981). Penelitian pada hewan percobaan meliputi burung kenari, tikus, marmut, kucing, anjing dan kambing yang mengalami pajanan gas H₂S mengalami tanda-tanda gejala sistemik ringan dengan iritasi lokal pada mata dan tenggorokan setelah 1 jam inhalasi pada pajanan rendah. Pada pajanan berat terjadi komplikasi sistemik yang serius ditandai dengan kelumpuhan pernapasan yang berakibat kematian dalam jangka waktu 15-30 menit (WHO, 1981).

d. Sumber Pencemaran

Kadar H₂S cenderung akan lebih tinggi di area kawasan industri dibandingkan kawasan perkotaan dan pedesaan hal ini dikarenakan kawasan industri memiliki berbagai macam kegiatan yang menghasilkan buangan limbah dengan kadar H₂S yang cukup tinggi sehingga dapat mempengaruhi udara ambien. Selain itu, kawasan pertambangan minyak, gas dan panas bumi merupakan area kawasan

berbahaya dimana semburan gas H₂S keluar dengan kadar diatas ambang batas. Gas H₂S juga bisa ditemukan di kawasan tempat pembuangan akhir sampah (TPAS) dimana sampah yang ditimbun dapat menghasilkan cemaran gas H₂S yang disebabkan oleh penguraian sampah secara anaerob.

e. Efek Bagi Kesehatan Manusia

Efek dari pajanan hidrogen sulfida pada manusia pada kasus ringan dapat menyebabkan iritasi mata, saluran pernapasan, sesak napas, dan sakit kepala. Iritasi mata ditandai dengan *keratoconjunctivitis* yang dikenal dengan ‘gas mata’. Saat gas H₂S terinhalasi maka efek yang ditimbulkan dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan dan dalam kasus berat dapat menyebabkan edema paru-paru. Gas H₂S dapat terabsorpsi melalui paru-paru kedalam darah yang dapat menyebabkan gejala pernapasan cepat (*hyperpnoea*) yang akan diikuti dengan kondisi gejala gagal napas (*apnoea*). Pada konsentrasi tinggi, gas H₂S dapat menyebabkan kelumpuhan penciuman dan menyebabkan sakit kepala hebat yang diikuti efek kematian apabila tidak ditangani dengan segera (WHO, 1981).

Hasil manifestasi neurologis sering terjadi dan mungkin parah ditandai efek *knockdown* diakibatkan hilangnya penggerak pernapasan total sehingga dapat menyebabkan hipoksia total. Efek jangka panjang dapat mengakibatkan kegagalan memori (*amnestic syndrome*) secara permanen (Nelson *et al.*, 2010).

Tabel 2.1 Tingkat dan Pengaruh Konsentrasi Gas H₂S

No	Kadar (H ₂ S) (ppm)	Pengaruh
1	0,13	Bau minimal masih terasa
2	4,6	Mudah dideteksi, bau yang sedang
3	10	Permulaan iritasi mata dan mulai berair
4	27	Bau yang tidak enak dan tidak dapat ditoleransi lagi
5	100	Batuk-batuk, iritasi mata dan indera penciuman sudah tidak berfungsi
6	200-300	Pembengkakan mata dan rasa kekeringan di tenggorokan
7	500-700	Kehilangan kesadaran dan bisa mematikan dalam waktu 30 menit - 1 jam
8	>700	Kehilangan kesadaran dengan cepat dan berlanjut kematian

Sumber: (Mulyono, 2011)

Manifestasi akut akibat keracunan gas hidrogen sulfida (H₂S) bisa dicurigai apabila seseorang ditemukan tidak sadarkan diri (*knocked down*) dan kondisi udara ambien ditandai ciri khas bau telur busuk. Organ target utama keracunan hidrogen sulfida adalah sistem saraf pusat dan pernapasan. Kemampuan untuk merasakan bau dengan cepat hilang dikarenakan kelumpuhan saraf penciuman pada konsentrasi yang lebih tinggi. Paparan yang terlalu lama dapat menyebabkan kelelahan penciuman dan dapat menghasilkan efek sistemik berupa ketidaksadaran dan berhentinya kinerja jantung sehingga dapat berakibat fatal yang berujung kematian (Nelson *et al.*, 2010).

f. Baku Mutu

Tabel 2.2 Baku Mutu H₂S

Bahan Pencemar	Solubility/ kelarutan (g/100ml) ^a	Detection Threshold (ppm)	Regulatory Standard (ppm) ^b	IDLH (ppm) ^c	STEL (ppm) ^d	Indonesia/ KEPMENLH (ppm) ^e
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0,4	0,025	10	100	50	0,02

Sumber: (Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1996; Nelson *et al.*, 2010)

Keterangan

- a : Solubility/kelarutan (*gr g/100 ml.*)
- b : Regulatory Standard (NAB 8 jam sehari TLV-TWA) (*Threshold Limit Value-Time Weighted Average*) menurut ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) dan PELs (*Permissible Exposure Limits*) menurut OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*).
- c : IDLH (*Immediately Dangerous to Life and Health*) menurut NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) 1995.
- d : STEL (*Short Term Exposure Limit*) NIOSH dan OSHA (15 menit paparan)
- e : KEPMENLH No. 50 Tahun 1996

Tabel diatas menunjukkan standar baku mutu yang ditetapkan di beberapa negara dan organisasi kesehatan dunia. Baku mutu di Indonesia mengacu pada KEPMENLH No. 50 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebauan. Metode yang digunakan menggunakan metode biru metilen dan menggunakan alat spektrofotometer.

3. Amonia

a. Pengertian dan Karakteristik

Amonia (NH₃) adalah gas tidak berwarna dengan bau yang sangat tajam, yang dihasilkan dari penguraian sampah organik baik itu sampah tumbuhan maupun hewan oleh bakteri anaerobik diantaranya bakteri nitrit (*Nitrosococcus*), bakteri nitrat (*Nitrobacter*) dan jenis *Clostridium*

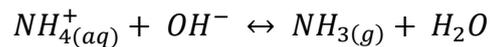
(Dwicahyo, 2017). Umumnya Amonia dapat ditemukan di industri kimia seperti pembersih, pendingin, plastik dan sintetis, juga dapat ditemukan di industri pertanian dan peternakan, pupuk, pengolahan limbah dan tempat pembuangan sampah sebagai hasil dari dekomposisi limbah oleh bakteri nitrogen didalam ekskreta yang tidak termetabolisme dengan baik sehingga mempengaruhi bau khas dari amonia (Nelson *et al.*, 2010; Zulkarnain, 2023).

Amonia memiliki unsur nitrogen yang sangat dibutuhkan oleh tumbuhan, hewan, dan kehidupan manusia. Amonia sendiri adalah senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan, stabil pada suhu kamar, tetapi dapat meledak oleh panas akibat kebakaran. Larut dalam air membentuk ammonium hidroksida (Mulyono, 2011). Menurut Roney *et al.* (2004) karakteristik gas amonia adalah:

- 1) Amonia secara alami berada dalam lingkungan secara teratur dalam udara, tanah, dan air. Amonia ada secara alami di udara dengan kadar 1-5 ppb yang dapat ditemukan di air hujan.
- 2) Amonia tidak bertahan lama di lingkungan karena dapat terdaur ulang secara alami. Lingkungan memiliki cara dalam memecah dan menurunkan kadar amonia di tanah, air, tanaman, dan mikroorganisme dengan cepat mengambil amonia.
- 3) Amonia dapat bertahan selama 1 minggu di udara dan dapat ditemukan di lokasi limbah berbahaya dengan sampel udara sebagai gas, tanah, dan air.

b. Pembentukan

Amonia (NH₃) adalah gas alkali tidak berwarna dengan bau yang menyengat. Dalam larutan, amonia ada sebagai amonium hidroksida, dimana basa lemah yang hanya terionisasi sebagian dalam air menurut reaksi berikut



Peningkatan pH menjadi 7 – 9 terjadi sebagai akibat dari proses dekomposisi protein, lemak, selulosa dan hemiselulosa. Ion amonium (NH₄⁺) dalam media basa terdisosiasi menjadi gas amonia (NH₃) yang mudah menguap. volatilisasi NH₃ meningkat ketika nilai pH di atas 7,0. Reaksi tersebut menurunkan nilai pH karena adanya penggunaan ion OH⁻ saat perubahan NH₄⁺ menjadi NH₃ (Moore *et al.* dalam Indrasti *et al.*, 2017)

Untuk pengukuran ion amonium yang reliabel (NH₄⁺), sampel harus dianalisis segera setelah dikumpulkan untuk menghindari perubahan pH dan suhu selama penyimpanan. Jika analisis di lokasi pengambilan sampel tidak memungkinkan, laboratorium dapat menggunakan pengukuran pH dan suhu lapangan untuk menghitung distribusi awal NH₃ dan NH₄⁺ dalam sampel dari analisis nitrogen amonia total (US EPA, 2016).

c. Toksikologi

Studi terkait menunjukkan bahwa amonia dapat diserap melalui paparan inhalasi dan oral dan sedikit penelitian menyebutkan bahwa

amonia dapat terpapar melalui kulit. Amonia yang terinhalasi akan tertahan di saluran pernapasan atas dan biasanya dapat keluar melalui proses respirasi. Secara umum amonia diproduksi di dalam tubuh terutama dalam ginjal untuk melakukan proses metabolisme tubuh yang akan menghasilkan urea dalam urin (Roney *et al.*, 2004; US EPA, 2016).

Studi lain menunjukkan bahwa pajanan NH_x dalam waktu lama dapat berkembang menjadi peradangan trakeobronkial pada paru-paru. Inhalasi tinggi akibat amonia menunjukkan adanya pembengkakan dan edema paru yang nyata. Inhalasi kronis NH_x dalam konsentrasi rendah namun paparan berulang dapat menimbulkan adanya fibrosis pada paru-paru (Nelson *et al.*, 2010).

d. Sumber Pencemaran

Secara umum, sumber pencemaran dari Amonia (NH_3) dapat ditemukan dalam kawasan industri yang menggunakan bahan kimia khusus dalam memproduksi plastik sintetis, bahan peledak, pembuatan pupuk, kawasan pertanian, bahan pendingin, dan bahan pembersih (Nelson *et al.*, 2010). Kemudian pencemaran gas NH_3 paling banyak ditemukan pada TPAS dengan komposisi sebanyak 45-60%. Gas NH_3 cukup tinggi di dalam TPA karena proses penguraian sampah oleh bakteri anaerobik (Dwicahyo, 2017).

e. Efek Bagi Kesehatan Manusia

Efek amonia (NH_3) dapat menimbulkan beberapa dampak kesehatan bagi manusia. Menghirup uap amonia yang bersifat asam pada jangka

panjang dapat mengakibatkan iritasi pada hidung, tenggorokan dan paru-paru. Kontak dengan mata dapat menimbulkan iritasi hingga kebutaan total. Kontak dengan kulit dapat menyebabkan luka bakar (*frostbite*). Paparan konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan luka bakar pada nasofaring dan trakea, obstruksi jalan napas, gangguan pernapasan, dan edema bronkiolar dan alveolar (Mulyono, 2011; Roney *et al.*, 2004).

Tabel 2.3 Tingkat dan Pengaruh Konsentrasi Gas NH₃

No	Kadar (NH ₃) (ppm)	Pengaruh
1	2	Bau terdeteksi dan minimal terasa, nilai ambang batas
2	12,5	Tidak berpengaruh signifikan pada fungsi paru dan sensitivitas bau
3	25-50	Iritasi ringan sementara pada mata, hidung, dan tenggorokan
4	50-72	Iritasi mata, hidung, dan tenggorokan, dorongan untuk batuk
5	100-150	Peningkatan volume tidal, volume menit menurun
6	218	<i>Focal pneumonitis</i> pada kera
7	500	<i>Lacrimation</i> /mata berair, luka bakar nasofaring dan trakea, obstruksi jalan napas, edema paru
8	5000	Fatal, menyebabkan kematian

Sumber: (Roney *et al.*, 2004)

Amonia dalam air amat beracun bagi ikan, udang dan binatang air lainnya, limbah amoniak dapat dinetralkan dengan asam sulfat (Mulyono, 2011). Paparan akut terhadap aerosol amoniak sangat pekat dapat menyebabkan peningkatan denyut nadi dan tekanan darah, bradikardia, dan henti jantung pada manusia. Efek ini terjadi pada paparan akut amonia 500 ppm atau paparan berulang amonia 100 ppm.

Gejala hematologi berupa *cyanosis*, peningkatan jumlah sel darah putih, dan trombosit arteri pulmonal diamati pada paparan pekat amonia pada manusia. Laporan pada kasus kecelakaan kerja akibat terpapar amonia pekat menggambarkan gejala neurologis penglihatan kabur (kebutaan), ensefalopati, kehilangan kesadaran, melemahnya otot dan penurunan refleks tendon otot (Roney *et al.*, 2004).

f. Baku Mutu

Tabel 2.4 Baku Mutu NH₃

Bahan Pencemar	Solubility/ Kelarutan (g/100ml) ^a	Detection Threshold (ppm)	Regulatory Standard (ppm) ^b	IDLH (ppm) ^c	STEL (ppm) ^d	Indonesia/ KEPMENLH (ppm) ^e
Ammonia (NH ₃)	90	5	50	300	35	2

Sumber: (Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1996; Nelson *et al.*, 2010)

Keterangan

- a : Solubility/kelarutan (gr g/100 ml.)
- b : Regulatory Standard (NAB 8 jam sehari TLV-TWA) (*Threshold Limit Value-Time Weighted Average*) menurut ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) dan PELs (*Permissible Exposure Limits*) menurut OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*).
- c : IDLH (*Immediately Dangerous to Life and Health*) menurut NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) 1995.
- d : STEL (*Short Term Exposure Limit*) NIOSH dan OSHA (15 menit paparan)
- e : KEPMENLH No. 50 Tahun 1996

Tabel diatas menunjukkan standar baku mutu yang ditetapkan di beberapa negara dan organisasi kesehatan dunia. Baku mutu di Indonesia mengacu pada KEPMENLH No. 50 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebauan. Metode yang digunakan menggunakan metode indofenol dan menggunakan alat spektrofotometer.

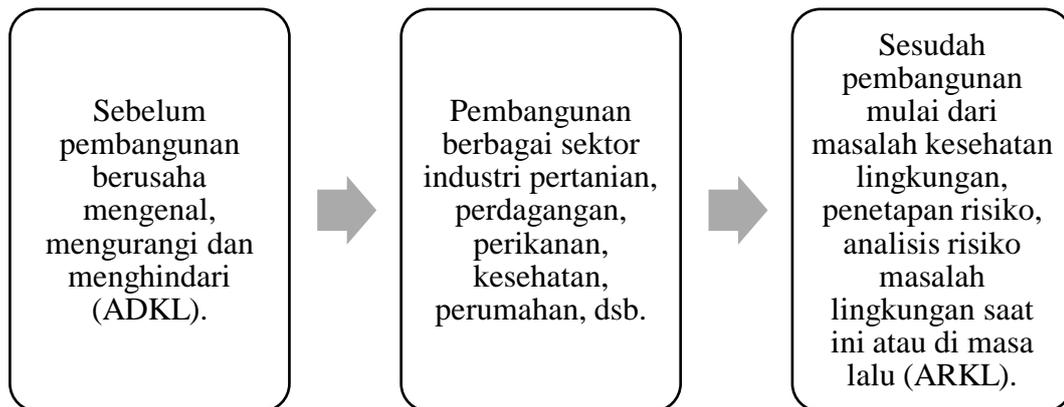
4. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

a. Definisi

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan metode yang digunakan untuk menghitung perkiraan risiko yang disebabkan oleh paparan agen baik kimia maupun fisik pada kelompok berisiko dengan mempertimbangkan karakteristik risiko (Nugroho, 2022). Dalam studi lingkungannya, ARKL merupakan bagian dari Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan (ADKL).

Menurut Ibrahim (2010), terdapat dua definisi yang sering digunakan dengan pengertian yang hampir sama dalam lingkup analisis kesehatan yaitu:

- 1) Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan (ADKL) merupakan suatu rencana pembangunan sebagai titik awal dalam melihat dampak kesehatan yang berhubungan. Dampak tersebut bisa bersifat langsung atau tidak langsung. ADKL merupakan bagian tak terpisahkan dari proses perencanaan untuk suatu pembangunan. ADKL lebih ditekankan pada dampak kesehatan sebelum pembangunan disetujui.
- 2) Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dimulai dengan masalah kesehatan lingkungan yang telah dikenal dan melibatkan penetapan risiko pada kesehatan manusia yang berkaitan dengan masalah lingkungan tersebut. ARKL menitikberatkan pada faktor lingkungan yang mempengaruhi distribusi dan determinan penyakit pada manusia.



Gambar 2.3 Perbedaan ADKL dan ARKL

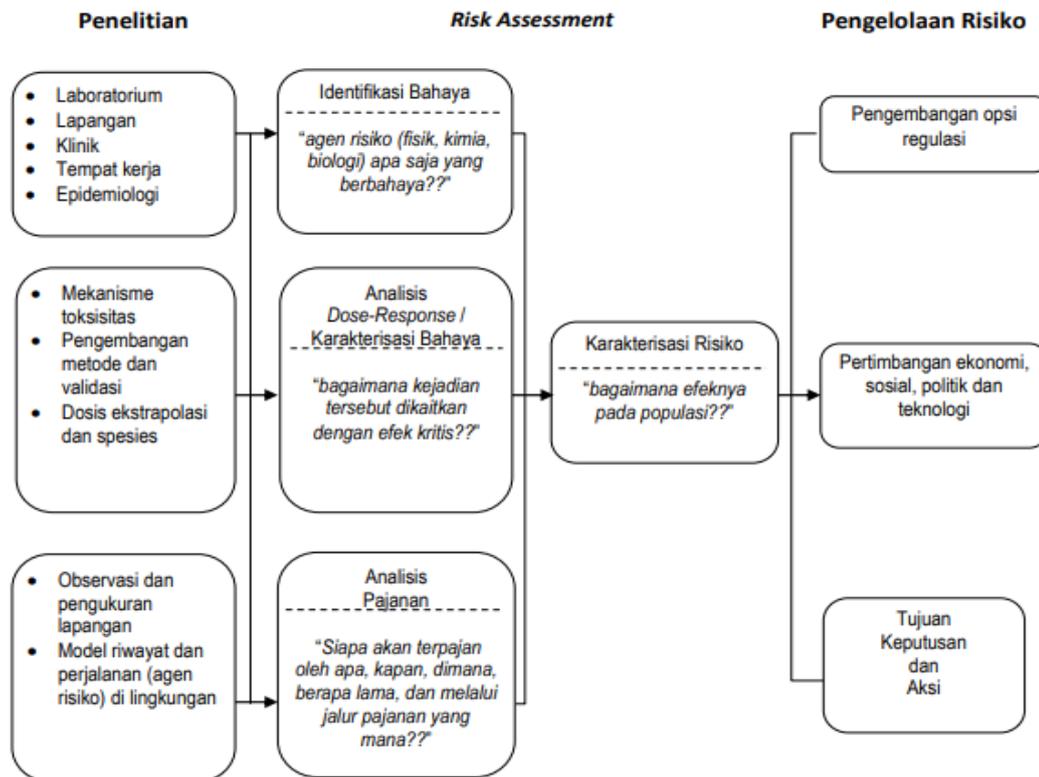
Sumber: (Ibrahim, 2010)

ARKL didefinisikan sebagai suatu pendekatan untuk mencermati potensi besarnya risiko yang dimulai dengan mendeskripsikan masalah lingkungan yang telah dikenal dan melibatkan penetapan risiko pada kesehatan manusia yang berkaitan dengan masalah lingkungan yang bersangkutan. ARKL merupakan perkembangan spesifik dari *Health Impact Assessment* (HIA) dan merupakan bagian dari ADKL. ADKL sendiri dibedakan menjadi ADKL untuk pencemaran pada umumnya (bukan bagian dari studi Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL)) dan ADKL bagian AMDAL, yang dimaksudkan untuk kajian aspek kesehatan masyarakat dalam konteks rencana usaha atau kegiatan baru. ADKL termuat dalam Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 876/Menkes/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Lingkungan (ADKL) (Dirjen P2PL, 2012).

b. Paradigma Analisis Risiko

Menurut Kuhn (1962), paradigma merupakan suatu landasan berpikir maupun konsep dasar yang digunakan sebagai model ataupun pola yang dimaksud oleh para ilmuwan dalam usahanya dengan mengadakan studi-studi keilmuan yang dilakukannya. Pendekatan Analisis Risiko menitikberatkan pada dua pendekatan. Pertama meliputi upaya analisis yang diawali dengan adanya kasus gangguan kesehatan dan diikuti dengan pengujian bahaya potensial. Kajian ini sebagai reaksi terhadap “*health outcome*” yang buruk. Pendekatan seperti ini umumnya dipersulit dengan pemajanan atau dengan pemaparan berganda dalam lingkungan. Kedua meliputi upaya analisis yang diawali dengan identifikasi bahaya potensial dan kemudian menguji dampaknya pada kesehatan manusia. Kajian semacam ini biasanya merupakan reaksi terhadap “*outcome environmental*” yang buruk atau proaksi untuk menganalisis dampak dari suatu rencana pembangunan. Umumnya pendekatan seperti ini diperumit dengan tidak tersedianya batasan yang jelas tentang *disease and points* (Ibrahim, 2010).

Mengacu pada *Risk Assessment and Management Handbook* tahun 1996, analisis risiko mengenal dua istilah yaitu *risk analysis* dan *risk assessment*. *Risk analysis* meliputi 3 komponen yaitu penelitian, asesmen risiko (*risk assessment*) atau ARKL dan pengelolaan risiko. Di dalam prosesnya, analisis risiko dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2.4 Proses Analisis Risiko

Sumber: (Besmanto *et al.* dalam Dirjen P2PL, 2012)

Pada prosesnya, analisis risiko dapat dijabarkan sebagai berikut:

1) Penelitian

Penelitian bertujuan untuk membangun hipotesis, mengukur, mengamati dan merumuskan efek dari suatu bahaya ataupun agen risiko di lingkungan terhadap tubuh manusia, baik yang dilakukan secara laboratorium, maupun penelitian lapangan dengan maksud untuk mengetahui efek, respon atau perubahan pada tubuh manusia terhadap dosis, dan nilai referensi yang aman bagi tubuh dari agen risiko tersebut.

2) Asesmen Risiko (*Risk Assessment*) atau ARKL

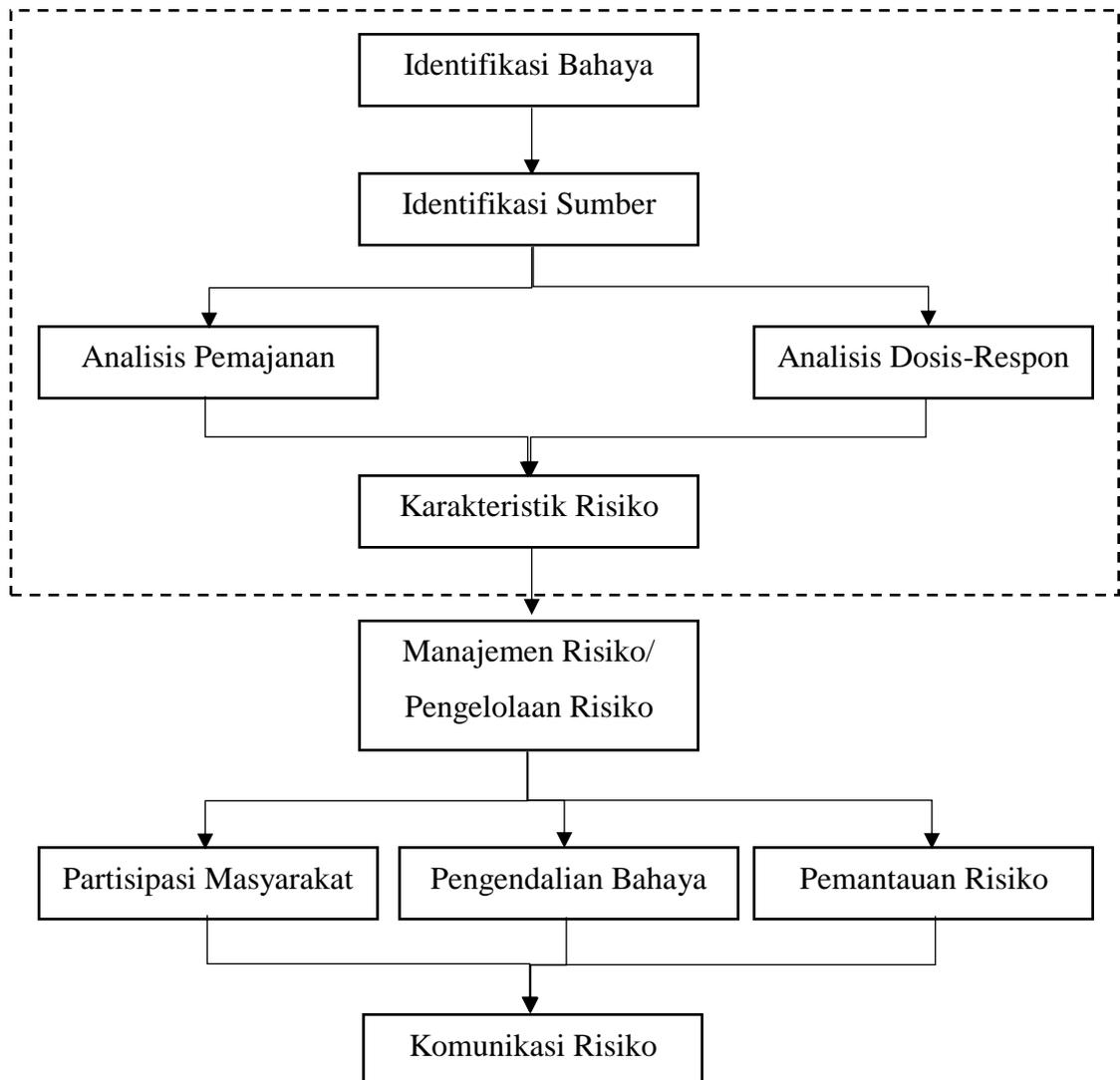
ARKL dilakukan dengan maksud untuk mengidentifikasi bahaya

apa saja yang membahayakan, memahami hubungan antara dosis agen risiko dan respon tubuh yang diketahui dari berbagai penelitian, mengukur seberapa besar pajanan agen risiko tersebut, dan menetapkan tingkat risiko dan efeknya pada populasi.

3) Pengelolaan Risiko

Pengelolaan risiko dilakukan bilamana asesmen risiko menetapkan tingkat risiko suatu agen risiko tidak aman atau tidak bisa diterima pada suatu populasi tertentu melalui langkah-langkah pengembangan opsi regulasi, pemberian rekomendasi teknis serta sosial-ekonomi-politis, dan melakukan tindak lanjut.

Secara operasional, pelaksanaan ARKL diharapkan tidak hanya terbatas kepada analisis atau penilaian risiko suatu agen risiko atau parameter tertentu di lingkungan terhadap kesehatan masyarakat, namun juga dapat menyusun skenario pengelolaannya atau manajemen risiko. Akan tetapi, menurut (Ibrahim, 2010) manajemen risiko menjadi bagian tersendiri kedalam pengelolaan risiko sebagai upaya tindak lanjut dari hasil analisis risiko yang telah diperoleh, hal ini juga sesuai dengan teori analisis risiko Louvar dan Louvar 1998. Hal tersebut dapat diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Analisis Risiko

Sumber: (Ibrahim, 2010; Louvar and Louvar, 1998)

c. Jenis-jenis ARKL

Mengacu pada Buku Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan, ada dua jenis ARKL yang dapat digunakan yaitu, kajian ARKL cepat atau kajian di atas meja (*Desktop study*) dan kajian lapangan (*Field study*) tergantung sumber data yang digunakan. ARKL diatas meja tidak menggunakan data lapangan tetapi menggunakan nilai-nilai *default*,

rekomendasi dan/atau asumsi, sedangkan kajian lapangan dilakukan dengan pengukuran langsung kualitas lingkungan, pajanan (frekuensi, durasi), dan data antropometri (berat badan). Untuk melihat perbandingan jenis-jenis ARKL dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.5 Perbandingan antara ARKL *Desktop* dan *Field*

Variabel	<i>Desktop</i>	<i>Field</i>
Sumber data yang digunakan	Data sekunder dan asumsi/nilai baku	Data primer dan asumsi (jika dibutuhkan)
Waktu pelaksanaan	Seketika saat dibutuhkan Durasi lebih singkat	Perlu perencanaan dan pengorganisasian Durasi lebih lama
Besarnya biaya yang dibutuhkan	Sangat sedikit atau tidak ada	Biaya besar (seperti melakukan suatu penelitian/kajian lapangan)

Sumber: (Besmanto *et al.* dalam Dirjen P2PL, 2012)

Masing-masing jenis ARKL merupakan sebuah alat atau *tools* atau pendekatan yang dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan dan kebutuhan. Penggunaan ARKL pada berbagai kebutuhan dapat dilihat pada tabel berikut:

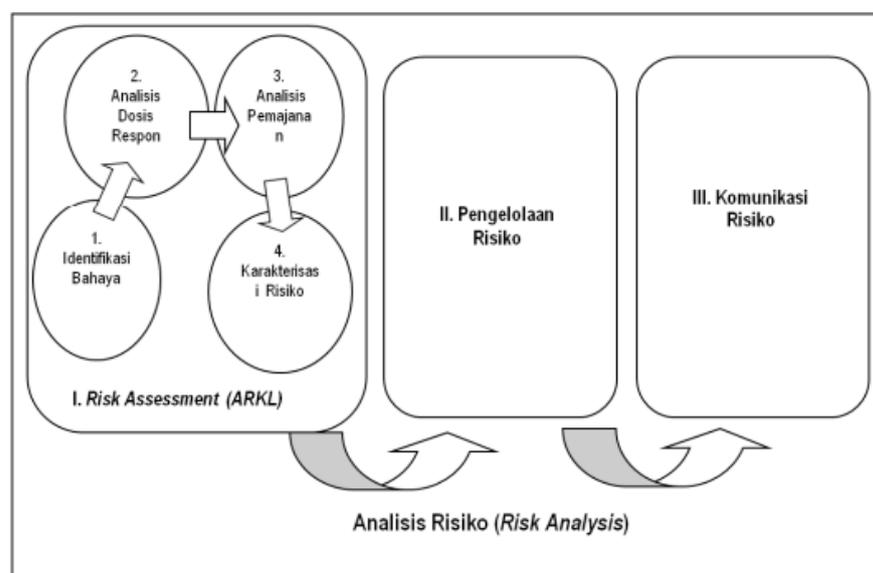
Tabel 2.6 Penggunaan dari masing-masing jenis ARKL

Jenis Kegiatan/Kebutuhan	<i>Desktop</i>	<i>Field</i>
Analisis suatu kasus kesehatan lingkungan: (<i>Emergency Responses</i>).	√	-
Analisis suatu kasus kesehatan lingkungan: (<i>Reformation Responses</i>).	-	√
Penyusunan AMDAL suatu kegiatan atau usaha: Kajian ANDAL dan penyusunan RKL – RPL.	√	-
Pengkajian, penyusunan, dan penetapan baku mutu	-	√
Pengkajian, penyusunan dan penetapan kebijakan kesehatan lingkungan yang baru	-	√

Sumber: (Besmanto *et al.* dalam Dirjen P2PL, 2012)

d. Langkah-langkah ARKL

Dalam buku Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), pelaksanaan ARKL meliputi empat langkah yaitu: identifikasi bahaya, analisis dosis – respon, analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko untuk pemahaman yang lebih komprehensif. Langkah-langkah tersebut dapat diilustrasikan dengan gambar sebagai berikut:



Gambar 2.6 Langkah-langkah ARKL

Sumber: (Besmanto *et al.* dalam Dirjen P2PL, 2012)

1) Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya bertujuan untuk mengenali dampak buruk kesehatan yang disebabkan oleh pemajanan suatu bahan yang sedang dipelajari dan memastikan mutu dan kekuatan bukti-bukti yang mendukungnya (Ibrahim, 2010). Hal ini mengidentifikasi terhadap jenis dan sifat serta kemampuan yang melekat pada suatu agen risiko yang dapat menyebabkan dampak buruk organisme, sistem, atau sub/populasi.

Sebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya dapat ditambahkan gejala-gejala gangguan kesehatan apa yang terkait erat dengan agen risiko yang akan dianalisis. Tahapan ini harus menjawab pertanyaan agen risiko spesifik apa yang berbahaya, di media lingkungan yang mana agen risiko eksisting, seberapa besar kandungan/konsentrasi agen risiko di media lingkungan, gejala kesehatan apa yang potensial (Dirjen P2PL, 2012).

2) Analisis Dosis Respon

Analisis dosis respon (*dose-response assessment*) merupakan analisis hubungan antara jumlah total suatu agen yang diberikan, diterima, atau diserap oleh suatu organisme, sistem, atau sub/populasi dengan perubahan yang terjadi pada suatu organisme, sistem, atau sub/populasi. Analisis dosis respon merupakan tahap lanjutan dari identifikasi bahaya untuk menentukan atau mencari nilai toksisitas dari setiap agen risiko. Analisis dosis respon tidak harus dengan melakukan penelitian percobaan sendiri namun cukup dengan merujuk pada literatur yang tersedia. Langkah-langkah menurut (Dirjen P2PL, 2012) ini dimaksudkan untuk:

- a) Mengetahui jalur pajanan (*pathways*) dari suatu agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia.
- b) Memahami perubahan gejala atau efek kesehatan yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi atau dosis agen risiko yang masuk ke dalam tubuh.

- c) Mengetahui dosis referensi (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) atau *slope factor* (SF) dari agen risiko tersebut.
- d) Dosis referensi dan konsentrasi (RfD/RfC) adalah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman pada efek non karsinogenik suatu agen risiko. Sedangkan SF (*slope factor*) adalah referensi untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik. Nilai RfD, RfC, dan SF merupakan hasil penelitian (*experimental study*) dari berbagai sumber baik yang dilakukan langsung pada objek manusia maupun merupakan ekstrapolasi dari hewan percobaan ke manusia.

Satuan dosis referensi (RfD) dinyatakan sebagai miligram (mg) zat per kilogram (kg) berat badan per hari, disingkat (mg/kg/hari). Satuan konsentrasi referensi (RfC) dinyatakan sebagai miligram (mg) zat per meter kubik (m³) udara, disingkat (mg/m³). Konsentrasi referensi ini dinormalisasikan menjadi satuan mg/kg/hr dengan cara memasukan laju inhalasi dan berat badan yang bersangkutan (Dirjen P2PL, 2012).

Satuan nilai Nilai RfD/RfC dijadikan sebagai nilai aman pada efek non karsinogenik suatu agen. Dalam menghitung rumus nilai RfC, Fitra dalam Lestari (2021) menjelaskan perhitungannya sebagai berikut:

$$RfC = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

- RfC* : Konsentrasi referensi
C : Konsentrasi agen risiko (zat toksik/polutan di udara) (mg/m³)
R : Besaran udara yang dihirup (0,83 m³/jam)
t_E : Lama pajanan 8 (jam/hari)

- f_E : Frekuensi pajanan selama 350 (hari/tahun)
 D_t : Durasi pajanan selama 30 (tahun)
 W_b : Berat badan rata-rata orang asia 55 (kg)
 t_{avg} : Periode waktu rata-rata untuk efek non-karsinogenik (10.500 hari)

3) Analisis pemajanan

Analisis pemajanan atau *exposure assessment* merupakan tahap lanjutan dari analisis dosis respon dengan cara mengukur atau menghitung nilai *intake*/asupan dari agen risiko. Untuk menghitung *intake* digunakan persamaan atau rumus yang berbeda. Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan dapat berupa data primer (hasil pengukuran risiko pada media lingkungan yang dilakukan sendiri) atau data sekunder (pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan oleh pihak lain yang dipercaya), dan asumsi yang didasarkan pertimbangan yang logis atau menggunakan nilai *default* yang tersedia (Dirjen P2PL, 2012). Pada tahap ini juga dibutuhkan data terkait antropometri dari populasi terpajan untuk menetapkan *intake*. Karakteristik antropometri yang diukur diantaranya adalah berat badan, pajanan harian, frekuensi pajanan tahunan dan durasi pajanan (Nugroho, 2022). Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

- I_{nk} : Asupan (*intake*) inhalasi (mg/kg/hari)
 C : Konsentrasi agen risiko (zat toksik/polutan di udara) (mg/m³)
 R : Laju inhalasi (m³/jam)
 t_E : Lama pajanan (jam/hari)
 f_E : Frekuensi pajanan (hari/tahun)
 D_t : Durasi pajanan (tahun)

W_b : Berat badan (kg)
 t_{avg} : Periode waktu rata-rata untuk efek non-karsinogenik
 (10.950 hari)

4) Karakteristik risiko

Karakteristik risiko merupakan langkah terakhir yang harus dilakukan dalam ARKL untuk menetapkan tingkat risiko atau dengan kata lain menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu frekuensi, durasi pajanan tertentu) atau tidak. Karakteristik risiko dilakukan dengan membandingkan atau membagi *intake* yang didapatkan dari analisis pemajanan dan dosis referensi (RfD) / konsentrasi referensi (RfC) (Dirjen P2PL, 2012).

Tingkat risiko untuk efek non karsinogenik dinyatakan dalam notasi *Risk Quotien (RQ)*. Untuk melakukan karakterisasi risiko untuk efek non karsinogenik dilakukan perhitungan dengan membandingkan/membagi *intake* dengan RfC atau RfD. Rumus untuk menentukan *RQ* adalah sebagai berikut:

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

RQ : Tingkat risiko pajanan non karsinogenik
 I : Asupan (*intake*) (mg/kg/hari)
 RfC : Konsentrasi referensi (mg/m³)

Risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika $RQ > 1$. Jika $RQ \leq 1$, risiko tidak perlu dikendalikan tetapi perlu dipertahankan agar nilai numerik *RQ* tidak melebihi 1.

e. Langkah-langkah lanjutan ARKL

1) Manajemen risiko

Manajemen risiko adalah upaya tindak pengelolaan terhadap risiko apabila nilai karakterisasi risiko menunjukkan tingkat yang tidak aman jika nilai $RQ > 1$. Dalam upayanya, pengelolaan risiko melakukan tindak pengendalian risiko sampai pada tingkat yang tidak membahayakan. Menurut (Ibrahim, 2010) upaya ini meliputi 3 langkah sebagai berikut:

a) Partisipasi masyarakat

Partisipasi masyarakat berbeda-beda pada bagian setiap *stakeholder* mitra kerjanya. Masyarakat selalu menginginkan kondisi lingkungan semaksimal mungkin tidak mengalami perubahan. Bagi pengusaha menginginkan penyelesaian isu dengan semurah-murahnya tanpa kehilangan citranya sebagai warga negara yang baik. Bagi pemerintah adalah bagaimana menyelesaikan isu secepat-cepatnya tanpa kehilangan citranya sebagai pemerintah yang bertanggung jawab.

b) Pengendalian bahaya

Bila keputusan telah dibuat tentang bahaya atau risiko yang akan dikendalikan, maka pilihan pengendalian risiko perlu segera dirumuskan. Hal ini biasanya meliputi 2 sasaran yaitu pengendalian pada sumbernya dan pengendalian pemajanan. Kegiatan

pengendalian ini perlu diikuti dengan pemantauan untuk menjamin bahwa risiko dapat dijaga pada tingkat yang tidak membahayakan.

c) Pemantauan risiko

Pemantauan risiko merupakan tindak lanjut dari upaya pengendalian bahaya atau risiko dimana strategi pemantauan ini meliputi penentuan ambang batas aman yang terdiri dari konsentrasi agen risiko (C), jumlah konsumsi (R), waktu pajanan (t_E), frekuensi pajanan (f_E) dan durasi pajanan (D_r). Pemantauan risiko menurut (Dirjen P2PL, 2012) dapat dijabarkan dan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

(1) Penentuan konsentrasi aman (C)

Dalam penentuan konsentrasi aman semua variabel dan nilai yang digunakan sama dengan variabel dan nilai pada perhitungan *intake*. Untuk menghitung nilai konsentrasi aman non karsinogenik melalui inhalasi adalah sebagai berikut:

$$C_{nk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

(2) Penentuan jumlah konsumsi aman (R)

Laju asupan yang dapat dikelola hanyalah pada pajanan melalui makanan dan air minum (ingesti) karena masih banyak substitusi untuk setiap jenis makanan ataupun air minum. Untuk pajanan melalui udara (inhalasi) pembatasan laju inhalasi hampir tidak mungkin dilakukan.

(3) Penentuan waktu pajanan (t_E)

Waktu pajanan aman dapat dikelola bila pemajanan terjadi pada lingkungan kerja ataupun lingkungan pendidikan yang tidak permanen seperti pada lingkungan tempat tinggal (pemukiman). Pengelolaan waktu pajanan dilakukan dengan mengurangi jumlah jam terpapar setiap harinya, oleh karenanya hanya dapat dilakukan pada populasi pekerja maupun siswa bukan pada populasi penduduk (masyarakat). Penerapannya dilakukan untuk pemajanan inhalasi. Untuk menghitung waktu pajanan aman non karsinogenik digunakan rumus sebagai berikut:

$$t_{Enk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t}$$

(4) Penentuan frekuensi pajanan aman (f_E)

Penentuan frekuensi pajanan aman (f_E) Frekuensi pajanan aman dapat dikelola bila pemajanan terjadi pada lingkungan kerja ataupun lingkungan pendidikan yang tidak permanen seperti pada lingkungan tempat tinggal (pemukiman). Pengelolaan frekuensi pajanan dilakukan dengan mengurangi jumlah hari terpapar dalam satu tahun, oleh karenanya hanya dapat dilakukan pada populasi pekerja maupun siswa bukan pada populasi penduduk (masyarakat). Penerapannya dilakukan untuk pemajanan inhalasi. Untuk menghitung

frekuensi pajanan aman non karsinogenik digunakan rumus sebagai berikut:

$$f_{Enk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t}$$

(5) Penentuan durasi pajanan aman (D_r)

Durasi pajanan aman dikelola pada pemajanan inhalasi pada lingkungan yang permanen seperti pada lingkungan tempat tinggal (pemukiman). Pengelolaan durasi pajanan dilakukan dengan membatasi lamanya tinggal (tahun) masyarakat pada suatu pemukiman dengan cara melakukan relokasi pemukiman pada saat telah melewati batas durasi amannya. Untuk menghitung durasi pajanan aman non karsinogenik digunakan rumus sebagai berikut:

$$D_{tnk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times f_E}$$

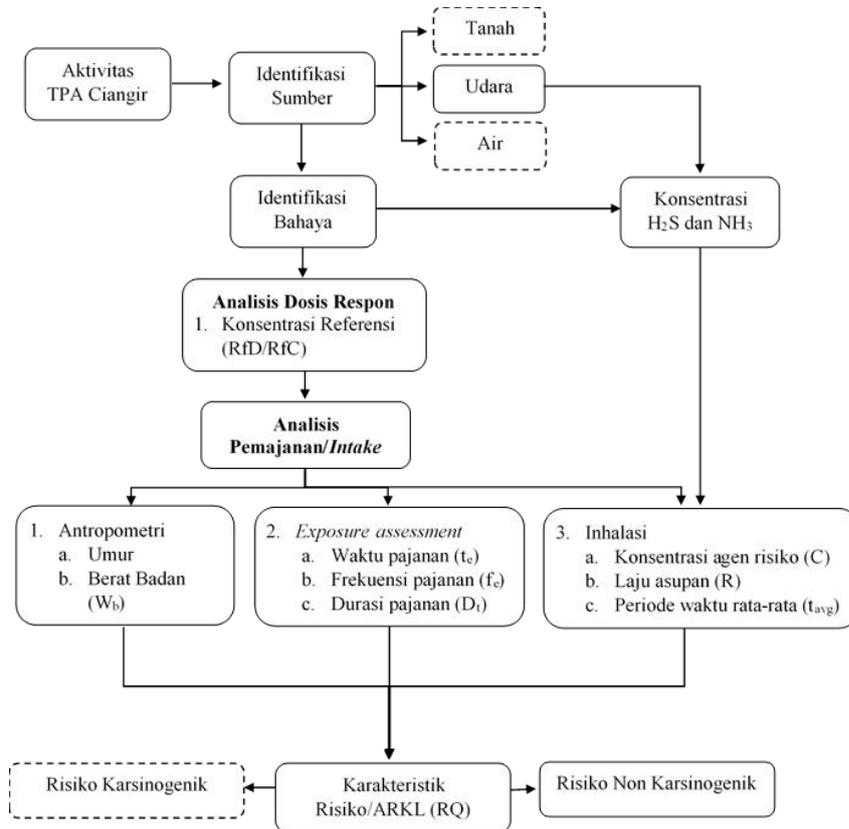
2) Komunikasi risiko

Komunikasi risiko merupakan suatu upaya untuk memberikan informasi dan menyarankan masyarakat umum tentang hasil analisis risiko dan dampaknya. Komunikasi risiko dilakukan pada masyarakat dalam hal ini populasi terdampak, pemerintah, dan pihak yang berkepentingan. Komunikasi risiko merupakan sebagai tindak lanjut dari ARKL yang merupakan tanggung jawab dari pihak yang menyebabkan terjadinya risiko (pemrakarsa).

Komunikasi risiko yang baik adalah proses dua arah antara masyarakat yang terkena risiko dan institusi pengatur untuk merumuskan kesepakatan tentang bagaimana bahaya lingkungan akan diatasi dan harus menjadi bagian integrasi dalam analisis risiko dan pengelolaan risiko. Komunikasi risiko dilakukan dengan menggunakan bahasa yang umum dan mudah dipahami serta menjelaskan semua informasi yang dibutuhkan tanpa ada yang harus ditutupi (dirahasiakan). Komunikasi risiko dapat dilakukan dengan menggunakan media komunikasi seperti media massa, televisi, radio ataupun penyajian format pemetaan menggunakan *geographical information system (GIS)*.

B. Kerangka Teori

Kerangka teori penelitian ini disajikan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kerangka Teori

Sumber: Modifikasi (Dirjen P2PL, 2012; Ilham, 2021; Lestari, 2021; Louvar and Louvar, 1998)

Keterangan :

————— = Diteliti

----- = Tidak diteliti