



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS DAN KOMUNIKASI RISIKO  
KESEHATAN**

**MAKALAH**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mata kuliah  
LINGKUNGAN DAN KESEHATAN GLOBAL**

**KELOMPOK 1**

Emilia Arina	1806167945
Enny Mar'atus Sholihah	1906335760
Gita Chandra Irmawaty	1906335874
Irma Yunita	1906335956
Randi Irmayanto	1906336284

**PROGRAM MAGISTER ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT**

**2019**

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>2</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>4</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Tujuan .....</b>	<b>8</b>
a. Tujuan Umum.....	8
b. Tujuan Khusus.....	8
<b>BAB II PEMBAHASAN .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Analisis Risiko.....</b>	<b>9</b>
a. Pengertian Analisis Risiko.....	9
b. Pembagian Analisis Risiko.....	10
<b>2.2 Analisis Risiko Kesehatan Manusia.....</b>	<b>13</b>
a. Pengertian Analisis Risiko Kesehatan Manusia .....	13
b. Maksud dan Tujuan .....	14
<b>2.3 Kapan perlu Dilakukan Analisis Risiko Kesehatan? .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Tahap Analisis Risiko Kesehatan Manusia .....</b>	<b>15</b>
a. Perencanaan .....	19
b. Langkah 1 : Identifikasi Hazard .....	21
c. Langkah 2 : Analisis Dosis Respon .....	22
d. Langkah 3 : Analisis Paparan .....	26
e. Langkah 4 : Karakterisasi Risiko.....	31
<b>2.5 Output Analisis Risiko Kesehatan Manusia .....</b>	<b>32</b>
a. Manfaat dalam Kesehatan Masyarakat.....	32
b. Output dapat Dimanfaatkan untuk Meningkatkan Derajat Kesehatan Masyarakat .....	33

<b>2.6 Komunikasi Risiko .....</b>	<b>33</b>
a. Pengertian Komunikasi Risiko .....	33
b. Hubungan Komunikasi Risiko dengan Output Analisis Risiko .....	34
<b>2.7 Hubungan Analisis dan Komunikasi Risiko dengan Lingkungan Kesehatan Global</b>	<b>34</b>
<b>2.8 Publikasi tentang Analisis Risiko Kesehatan Manusia.....</b>	<b>35</b>
<b>BAB III KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Kesimpulan .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Saran.....</b>	<b>36</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>37</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Contoh RfD, dan SF beberapa agen risiko atau spesi kimia jalur ingesti .....	24
Tabel 2. Contoh RfC beberapa agen risiko atau spesi kimia jalur inhalasi .....	24

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi Logika Pengambil Keputusan Efek Lingkungan Terhadap Kesehatan Manusia.....	12
Gambar 2. Paradigma atau Proses “Risk Analysis” .....	16
Gambar 3. Bagan Alur Penerapan AKRL .....	17
Gambar 4. Kerangka Konseptual AKRL.....	18
Gambar 5. Empat Langkah Proses Risiko .....	18
Gambar 6. Rentang Paparan .....	27

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Undang Undang No 36 tahun 2009 tentang kesehatan mengamanatkan bahwa pembangunan kesehatan bertujuan untuk meningkatkan kesadaran, kemauan, dan kemampuan hidup sehat bagi setiap orang agar terwujud derajat kesehatan masyarakat yang setinggi-tingginya, sebagai investasi bagi pembangunan sumber daya manusia yang produktif secara sosial dan ekonomis. Selanjutnya juga disebutkan bahwa setiap orang berhak mendapatkan lingkungan yang sehat bagi pencapaian derajat kesehatan. Hal tersebut juga dikuatkan dengan Undang Undang No. 32 tahun 2009 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang menyebutkan bahwa perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup bertujuan untuk menjamin keselamatan, kesehatan, dan kehidupan manusia.

Pada zaman modern seperti sekarang ini, perkembangan dan kemajuan teknologi dan industri begitu pesat. Kemudahan yang ditawarkan dari kemajuan teknologi serta keberdayaan masyarakat secara ekonomi melalui perkembangan industri, juga menimbulkan dampak buruk dan merugikan bagi masyarakat. Bahaya-bahaya dari lingkungan yang mengancam kesehatan manusia di Indonesia dulunya didominasi oleh bahaya biologi yang bersifat tradisional seperti kontaminasi bakteri *E. coli* dan *Vibrio cholera* pada air minum. Seiring dengan perkembangan zaman, bahaya lingkungan semakin beragam tidak hanya bahaya biologi tetapi bahaya lingkungan yang bersifat *modern risk* mulai dari berbagai senyawa kimia hingga radiasi.

Bahaya yang berasal dari lingkungan berpotensi mengancam kesehatan manusia dan efek yang ditimbulkannya sangat beragam mulai dari timbulnya gejala ringan seperti gatal-gatal, batuk, iritasi ringan hingga kanker, mutasi gen, bahkan kematian. Walaupun bahaya lingkungan seringkali memajani tubuh manusia secara bersamaan dan saling bersinergis, secara umum bahaya lingkungan dapat dikelompokkan menjadi 3 kriteria yaitu bahaya fisik (radiasi energi dan gelombang elektromagnetik), bahaya biologi (organisme patogen dan virus), dan bahaya kimia (zat toksik).

Rencana kegiatan dan/atau usaha tentunya akan menimbulkan dampak baik positif maupun negatif. Dampak yang timbul oleh rencana kegiatan tersebut beragam jenis maupun intensitasnya, namun secara umum dampak lingkungan dapat dibedakan

atas 4 komponen yaitu komponen fisik-kimia, biologi, sosial-ekonomi-budaya, dan kesehatan masyarakat. Mengingat dampak lingkungan pada rencana kegiatan dan/atau usaha belum terjadi maka perlu dilakukan analisis yang komprehensif.

Analisis risiko (*risk assessment*) menawarkan kerangka sistematis dan ilmiah untuk mendefinisikan, memberi prioritas dan mitigasi risiko dalam ranah pengambilan keputusan kesehatan masyarakat dan lingkungan. Analisis risiko memberikan estimasi risiko, bukan menjawab pertanyaan bagaimana aman itu adalah aman, tetapi memberikan jawaban tentang risiko yang dapat diterima atau ditoleransi dan bentuk pengelolaan risiko yang diperlukan.

Di Indonesia Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) masih belum banyak dikenal dan digunakan sebagai metode kajian dampak lingkungan terhadap kesehatan. Padahal, di beberapa negara Uni Eropa, Amerika dan Australia ARKL telah menjadi proses *central idea* legislasi dan regulasi pengendalian dampak lingkungan. Karenanya, merupakan hal penting untuk mengenalkan metode ARKL dalam pengukuran risiko kesehatan yang dapat ditimbulkan karena faktor lingkungan khususnya pencemaran udara.

## 1.2 Rumusan Masalah

- a. Apakah yang dimaksud dengan analisis risiko dan pembagiannya?
- b. Apakah yang dimaksud dengan analisis risiko kesehatan manusia serta maksud dan tujuannya?
- c. Kapan perlu dilakukan analisis risiko kesehatan?
- d. Apa saja tahap analisis risiko kesehatan manusia?
- e. Apa output dari dilaksanakannya analisis risiko kesehatan manusia, manfaatnya dalam kesehatan masyarakat dan bagaimana agar output tersebut dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan derajat kesehatan masyarakat?
- f. Apakah yang dimaksud dengan komunikasi risiko dan apakah ada hubungannya dengan output analisis risiko?
- g. Apakah hubungan analisis dan komunikasi risiko dengan lingkungan kesehatan global?

## **1.3 Tujuan**

### **a. Tujuan Umum**

Makalah ini disusun untuk memenuhi tugas mata kuliah Lingkungan Kesehatan Global Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat Program Pasca Sarjana Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia Tahun 2019 yang bertujuan untuk memberikan Pemahaman tentang Konsep Analisis Risiko secara umum, Analisis Risiko Kesehatan Manusia dan Komunikasi Risiko.

### **b. Tujuan Khusus**

1. Memahami pengertian analisis risiko dan pembagiannya;
2. Memahami pengertian analisis risiko kesehatan manusia serta maksud dan tujuannya;
3. Memahami kapan perlu dilakukan analisis risiko kesehatan;
4. Memahami apa saja tahap analisis risiko kesehatan manusia;
5. Memahami apa output dari dilaksanakannya analisis risiko kesehatan manusia, manfaatnya dalam kesehatan masyarakat dan bagaimana agar output tersebut dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan derajat kesehatan masyarakat;
6. Memahami pengertian komunikasi risiko dan hubungannya dengan output analisis risiko;
7. Memahami analisis dan komunikasi risiko dengan lingkungan kesehatan global.



## **BAB II**

### **PEMBAHASAN**

#### **2.1 Analisis Risiko**

##### **a. Pengertian Analisis Risiko**

Meskipun ada banyak definisi kata risiko, EPA (Environmental Protection Agency) menganggap risiko sebagai peluang efek berbahaya bagi kesehatan manusia atau sistem ekologi yang dihasilkan dari paparan terhadap stresor lingkungan. Stresor adalah segala bentuk fisik, kimia, atau biologis yang dapat memicu respons yang merugikan. Stresor dapat mempengaruhi sumber daya alam spesifik atau seluruh ekosistem, termasuk tanaman dan hewan, serta lingkungan tempat mereka berinteraksi.

Analisis risiko adalah padanan istilah untuk risk assessment, yaitu karakterisasi efek-efek yang potensial merugikan kesehatan manusia oleh paparan bahaya lingkungan (Aldrich dan Griffith 1993). Analisis risiko merupakan suatu alat pengelolaan risiko, proses penilaian bersama para ilmuwan dan birokrat untuk memprakirakan peningkatan risiko kesehatan pada manusia yang terpajan (NRC 1983).

WHO (2004) mendefinisikan analisis risiko sebagai proses yang dimaksudkan untuk menghitung atau memprakirakan risiko pada suatu organisme sasaran, sistem atau sub populasi, termasuk identifikasi ketidakpastian-ketidakpastian yang menyertainya, setelah terpajan oleh agent tertentu, dengan memerhatikan karakteristik yang melekat pada penyebab (agent) yang menjadi perhatian dan karakteristik sistem sasaran yang spesifik.

Risiko itu sendiri didefinisikan sebagai kebolehjadian (probabilitas) suatu efek merugikan pada suatu organisme, sistem atau (sub)populasi yang disebabkan oleh pemajanan suatu agent dalam keadaan tertentu. Definisi lain menyebutkan risiko kesehatan manusia sebagai kebolehjadian kerusakan kesehatan seseorang yang disebabkan oleh pemajanan atau serangkaian pemajanan bahaya lingkungan (WHO 2004).

Saat ini analisis risiko digunakan untuk menilai atau menaksir risiko kesehatan manusia yang disebabkan oleh paparan bahaya lingkungan. Bahaya adalah sifat yang melekat pada suatu risk agent atau situasi yang memiliki potensi menimbulkan efek merugikan jika suatu organisme, system atau sub populasi

terpapaj oleh risk agent tersebut (WHO 2004).

Bahaya lingkungan terdiri atas tiga risk agent yaitu chemical agents (bahan-bahan kimia), physical agents (energi radiasi dan gelombang elektromagnetik berbahaya) dan biological agents (makhluk hidup atau organisme). Analisis risiko bisa dilakukan untuk pemamajaan yang telah lampau (past exposure), dengan efek yang merugikan sudah atau belum terjadi, bisa juga untuk studi prediksi risiko pemajaan yang akan datang (future exposure).

Analisis risiko adalah karakterisasi dari bahaya-bahaya potensial yang berefek pada kesehatan manusia dan bahaya di lingkungan (EPA, 1991). Analisis risiko selanjutnya dibagi menjadi empat langkah yaitu identifikasi bahaya (hazard identification), analisis dosis-respon (dose-response assessment), analisis pemajaan (exposure assessment) dan karakterisasi risiko (risk characterization) (Mukono 2002).

## **b. Pembagian Analisis Risiko**

EPA (Enviromental Protection Agency) menggunakan penilaian risiko untuk mengkarakterisasi sifat dan besarnya risiko kesehatan bagi manusia (misalnya, penghuni, pekerja, pengunjung rekreasi) dan reseptor ekologis (misalnya, burung, ikan, satwa liar) dari kontaminan kimia dan pemicu stres lainnya, yang mungkin ada dalam lingkungan Hidup. Menurut EPA, penilaian risiko lingkungan biasanya jatuh ke dalam salah satu dari dua bidang:

- a. Analisis risiko Kesehatan manusia
- b. Analisis Risiko Ekologikal

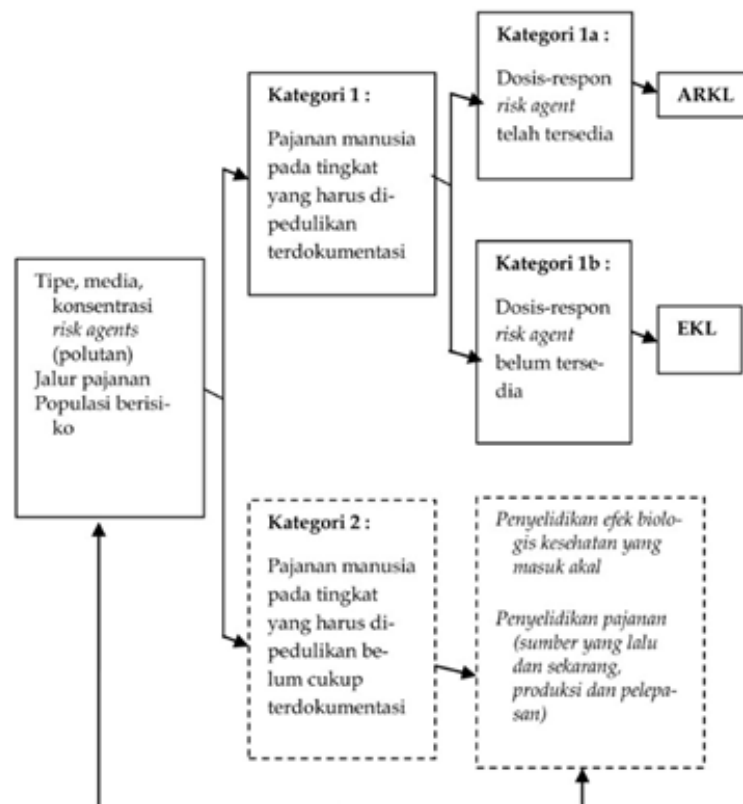
Setelah tahap perencanaan dan pelingkupan dimana tujuan dan ruang lingkup penilaian risiko diputuskan, proses penilaian risiko biasanya dimulai dengan mengumpulkan pengukuran yang menandai sifat dan tingkat kontaminasi bahan kimia di lingkungan, serta informasi yang diperlukan untuk memprediksi bagaimana kontaminan berperilaku di masa depan.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan masih jarang digunakan dalam kajian dampak lingkungan terhadap kesehatan masyarakat. Kebanyakan analisis dilakukan secara konservatif dengan studi epidemiologi. Memang, selama berabad-abad studi epidemiologi telah menjadi metoda investigasi penyakit infeksi di masyarakat (NRC 1983). Boleh jadi sebagian akademisi dan praktisi kesehatan masyarakat berpendapat bahwa epidemiologi merupakan satu-satunya metoda kajian dampak

lingkungan terhadap kesehatan. Oleh karena itu bisa difahami jika masih banyak salah persepsi dan pemertukaran studi Epidemiologi Kesehatan Lingkungan (EKL) dengan ARKL. Sekurang-kurangnya ada enam ciri yang membedakan EKL dan ARKL, yaitu (Rahman 2007):

1. Dalam ARKL, pajanan risk agent yang diterima setiap individu dinyatakan sebagai intake atau asupan.
2. Dalam ARKL, perhitungan asupan membutuhkan konsentrasi risk agent di dalam media lingkungan tertentu, karakteristik antropometri (seperti berat badan dan laju inhalasi atau pola konsumsi) dan pola aktivitas waktu kontak dengan risk agent. Dalam EKL konsentrasi dibutuhkan tetapi karakteristik antropometri dan pola aktivitas individu bukan determinan utama dalam menetapkan besaran risiko;
3. Dalam ARKL, risiko kesehatan oleh pajanan setiap risk agent dibedakan atas efek karsinogenik dan nonkarsinogenik dengan perhitungan yang berbeda. Dalam EKL, teknik analisis efek kanker dan nonkanker pada dasarnya sama;
4. Dalam EKL, efek kesehatan (kanker dan nonkanker) yang ditentukan dengan berbagai pernyataan risiko (seperti odd ratio, relative risk atau standardized mortality ratio) didapat dari populasi yang dipelajari. ARKL tidak dimaksudkan untuk mencari indikasi atau menguji hubungan atau pengaruh dampak lingkungan terhadap kesehatan (kejadian penyakit yang berbasis lingkungan) melainkan untuk menghitung atau menaksir risiko yang telah, sedang dan akan terjadi. Efek tersebut, yang dinyatakan sebagai nilai kuantitatif dosis respon, harus sudah ditegakkan lebih dahulu, yang didapat dari luar sumber-sumber populasi yang dipelajari, bahkan dari studi-studi toksisitas uji hayati (bioassay) atau studi keaktifan biologis risk agent.
5. Dalam ARKL, besaran risiko (dinyatakan sebagai RQ untuk non karsinogenik dan ECR untuk karsinogenik) tidak dibaca sebagai perbandingan lurus (directly proportional) melainkan sebagai probabilitas.
6. Kuantitas risiko nonkarsinogenik dan karsinogenik digunakan untuk merumuskan pengelolaan dan komunikasi risiko secara lebih spesifik. ARKL menawarkan pengelolaan risiko secara kuantitatif seperti penetapan baku mutu dan reduksi konsentrasi. Pengelolaan dan komunikasi risiko bukan bagian integral studi EKL dan, jika ada, hanya relevan untuk populasi yang dipelajari.

7. Epidemiologi Kesehatan Lingkungan umumnya dilakukan atas dasar kejadian penyakit (disease oriented) atau kondisi lingkungan yang spesifik (agent oriented), sedangkan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan bersifat agent specific dan site specific. Analisis risiko kesehatan lingkungan adalah proses perhitungan atau perkiraan risiko pada suatu organisme sasaran, sistem atau (sub)populasi, termasuk identifikasi ketidakpastian-ketidakpastian yang menyertainya, setelah terpajan oleh agent tertentu, dengan memerhatikan karakteristik yang melekat pada agent itu dan karakteristik system sasaran yang spesifik.
8. Dalam Public Health Assessment kedua studi tersebut dapat digabungkan dengan tidak menghilangkan cirinya masing-masing. Analisis risiko kesehatan lingkungan mampu meramalkan besaran tingkat risiko secara kuantitatif sedangkan epidemiologi kesehatan lingkungan dapat membuktikan apakah prediksi itu sudah terbukti atau belum.



**Gambar 1. Ilustrasi Logika Pengambil Keputusan Efek Lingkungan Terhadap Kesehatan Manusia**

## 2.2 Analisis Risiko Kesehatan Manusia

### a. Pengertian Analisis Risiko Kesehatan Manusia

Penilaian risiko kesehatan manusia adalah proses untuk memperkirakan sifat dan kemungkinan dampak buruk kesehatan pada manusia yang mungkin terpapar bahan kimia di media lingkungan yang terkontaminasi, sekarang atau di masa depan.

HRA atau Health Risk Assessment adalah pemeriksaan dengan seksama dalam pekerjaan yang dapat menyebabkan masalah kesehatan pada pekerja, sehingga dapat mempertimbangkan apakah tindakan pencegahan yang ada telah cukup atau harus berbuat lebih banyak untuk mencegah bahaya (COSHH). Tujuan *Health Risk Assessment* (HRA) adalah untuk mengidentifikasi bahaya kesehatan, mengevaluasi risiko terhadap kesehatan dan menentukan upaya pengendalian yang tepat dan tindakan pemulihan (OGP).

Penilaian Risiko memberikan pendekatan sistematis untuk mencirikan sifat dan besarnya risiko yang terkait dengan bahaya kesehatan lingkungan. Semua kegiatan, proses dan produk memiliki beberapa tingkat risiko. Tujuan utama penilaian risiko adalah untuk memberikan informasi ilmiah, sosial dan praktis yang terbaik tentang risiko, sehingga dapat dibahas secara lebih luas tentang keputusan terbaik dibuat untuk risiko-risiko kesehatan yang ada.

Manajemen risiko bertujuan untuk mengurangi dampak negatif dari risiko yang dapat mengakibatkan kerugian, baik pada pekerja, material, mesin, metoda, hasil produksi maupun financial.

Untuk menjelaskan ini dengan lebih baik, penilaian risiko kesehatan manusia menjawab pertanyaan seperti:

1. Apa jenis masalah kesehatan yang mungkin disebabkan oleh pemicu stres lingkungan seperti bahan kimia dan radiasi?
2. Bagaimana kemungkinan orang akan mengalami masalah kesehatan ketika terpapar pada tingkat stres lingkungan yang berbeda?
3. Apakah ada tingkat di bawah ini yang beberapa bahan kimia tidak menimbulkan risiko kesehatan manusia?
4. Stresor lingkungan apa yang orang-orang terpapar dan pada tingkat apa dan untuk berapa lama?
5. Apakah beberapa orang lebih rentan terhadap tekanan lingkungan karena faktor-faktor seperti usia, genetika, kondisi kesehatan yang sudah ada

sebelumnya, praktik etnis, gender, dll.?

6. Apakah beberapa orang lebih mungkin terpapar stresor lingkungan karena faktor-faktor seperti di mana mereka bekerja, di mana mereka bermain, apa yang mereka suka makan, dll?

Jawaban untuk jenis pertanyaan ini membantu pengambil keputusan, apakah mereka orang tua atau pejabat publik, memahami kemungkinan risiko kesehatan manusia dari media lingkungan.

## **b. Maksud dan Tujuan**

Maksud dari dilakukannya kegiatan HRA adalah:

1. Sebagai Wujud kepedulian dan tanggung jawab bagi terciptanya keselamatan dan kesehatan kerja.
2. Mengetahui gambaran konsentrasi kontaminan faktor kimia, faktor fisika, faktor biologi, faktor psikososial dan faktor ergonomi pada area kerja
3. Secara garis besar, tujuan dari kegiatan HRA ini adalah menghasilkan dokumen tentang Risiko Kesehatan Kerja area kerja dengan cara mengidentifikasi potensi bahaya; Mengevaluasi intensitas paparan pekerja; menentukan tingkat risiko kesehatan dan terakhir menentukan skala prioritas serta upaya pengendalian *health hazards* yang bersifat signifikan.

Adapun Tujuan dari HRA adalah:

1. Identifikasi faktor risiko kesehatan ditempat kerja
2. Mengetahui tingkat (*Health Rating*) faktor risiko kesehatan di tempat kerja
3. Sebagai dasar melakukan program kegiatan kesehatan kerja

## **2.3 Kapan perlu Dilakukan Analisis Risiko Kesehatan?**

Pada awalnya analisis risiko digunakan dalam bidang pengendalian radiasi, bukan dalam industri kimia. Analisis risiko yang intensif telah dilakukan tahun 1975 untuk menyelidiki kematian karena kanker yang disebabkan oleh kebocoran reaktor nuklir. Teknik-teknik analisisnya kemudian diadopsi oleh *Food and Drug Administration* Amerika Serikat. USEPA (*United State Environmental Protection Agency*) selanjutnya menerbitkan pedoman tentang analisis risiko karsinogen tahun 1986. Kini analisis risiko digunakan untuk berbagai bahaya lingkungan, termasuk bahaya fisik dan biologis. Bahaya-bahaya fisik, kimiawi dan biologis lingkungan bisa

menimbulkan efek yang merugikan kesehatan manusia dan kerusakan lingkungan. Kajian efek kesehatan dikenal dengan *health risk assessment* (HRA, analisis risiko kesehatan), sedangkan kajian efek lingkungan disebut *ecological risk assessment* (ERA).

Di tingkat internasional, saat ini ada beberapa model analisis risiko yang dikembangkan oleh Amerika Serikat, negara-negara Uni Eropa dan Australia. Meskipun secara mendasar proses-proses analisis risiko adalah sama, beberapa istilah yang sedikit berbeda banyak digunakan untuk setiap langkah atau proses. *International Life Science Institute* mencatat ada 6 model analisis risiko yang masing-masing menggunakan terminologi agak berbeda, yaitu enHealth EHRA (Australia), *International Life Science Institute-Risk Science Institute*, USEPA *Ecological Risk Assessment*, NASNRC *Risk Assessment* (AS), *Codex Risk Assessment* (WTO) dan *OIE Import Risk Assessment* (enHealth 2002). Namun, model-model itu masih tetap sesuai dengan paradigma *risk analysis* yang dikembangkan oleh *National Academic of Science Amerika Serikat* (NRC 1983).

Menyikapi nuansa peristilahan analisis risiko tersebut, *International Programme on Chemical Safety* (IPCS) dan WHO membentuk *Harmonization of Approaches to the Assessment of Risk from Exposure to Chemicals* yang lebih dikenal sebagai *IPCS Harmonization Project*. Proyek ini adalah program untuk melaksanakan rekomendasi Konferensi PBB tentang Lingkungan dan Pembangunan (*United Nation Conference on Economic and Development*, UNCED) tahun 1992 di Brazil untuk menindaklanjuti 6 area program Chapter 19 Agenda 21. Harmonisasi bukanlah standarisasi melainkan upaya konsistensi dan saling pengertian di antara berbagai pendekatan yang digunakan untuk memahami risiko bahan kimia secara global.

USEPA menggunakan analisis risiko kesehatan untuk menggambarkan sifat dan besarnya risiko kesehatan pada manusia (misalnya, penduduk, pekerja, pengunjung wisata) dan reseptor ekologis (misalnya, burung, ikan dan hewan liar) dari kontaminasi bahan kimia dan stressor lainnya yang mungkin ada di lingkungan.

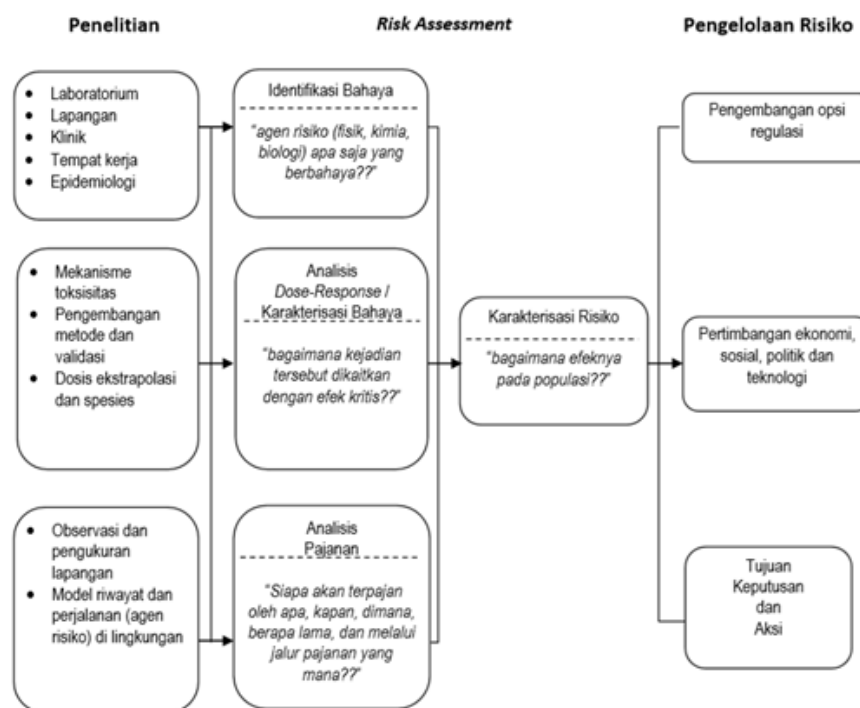
## **2.4 Tahap Analisis Risiko Kesehatan Manusia**

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 (Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan) dan pengelolaan risiko. Di dalam prosesnya,

analisis risiko dapat diilustrasikan sebagai berikut :

- **Penelitian** dimaksudkan 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.
- **Asesmen risiko(risk assessment)atau ARKL** dilakukan dengan maksud untuk mengidentifikasi hazard 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.
- **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.

Ilustrasi dari paradigma dan proses analisis risiko dapat dilihat dari gambar di bawah ini.



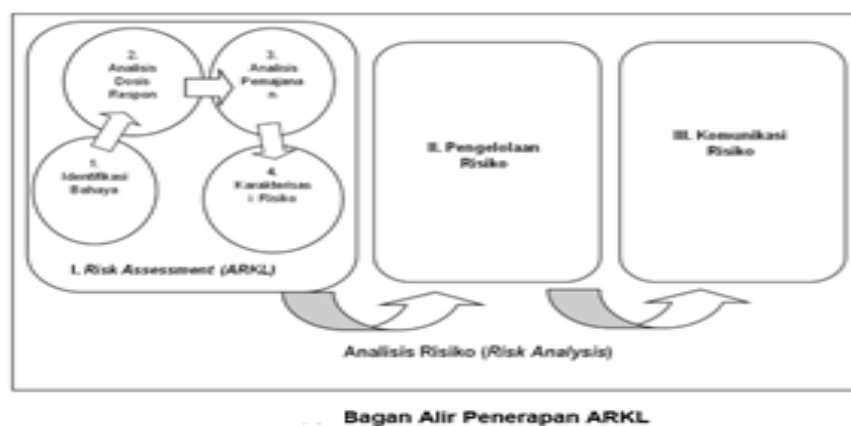
Paradigma atau proses 'risk analysis' (National Risk Council, 1986)

**Gambar 2. Paradigma atau Proses "Risk Analysis"**



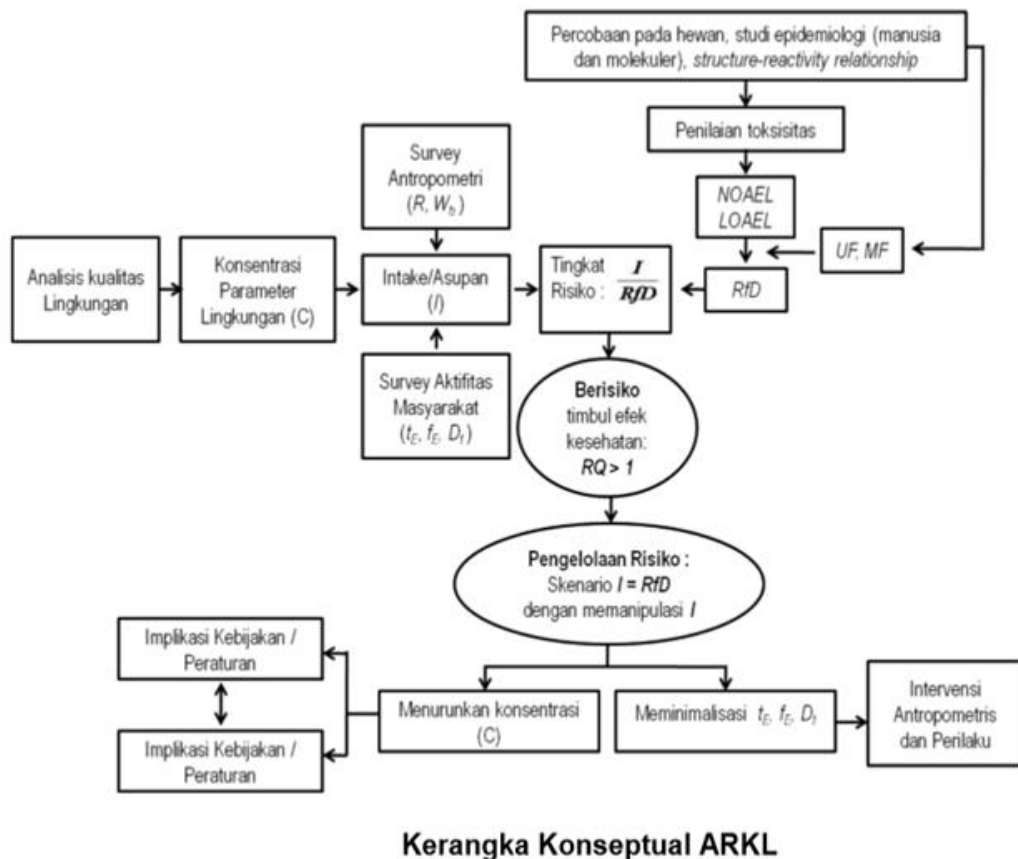
Pada gambar di atas diilustrasikan proses *risk analysis* secara utuh dimulai dari penelitian terkait agen risiko, dosis serta respon/efeknya terhadap kesehatan manusia yang dilakukan oleh peneliti. Sedangkan implementasi *risk assessment* atau ARKL dan pengelolaan risiko dilakukan oleh praktisi kesehatan lingkungan.

Secara operasional, pelaksanaan ARKL diharapkan tidak hanya terbatas pada analisis atau penilaian risiko suatu agen risiko atau parameter tertentu di lingkungan terhadap kesehatan masyarakat, namun juga dapat menyusun skenario pengelolaannya. Bagan alir penerapan ARKL sebagai bagian dari analisis risiko dapat dilihat pada gambar berikut.



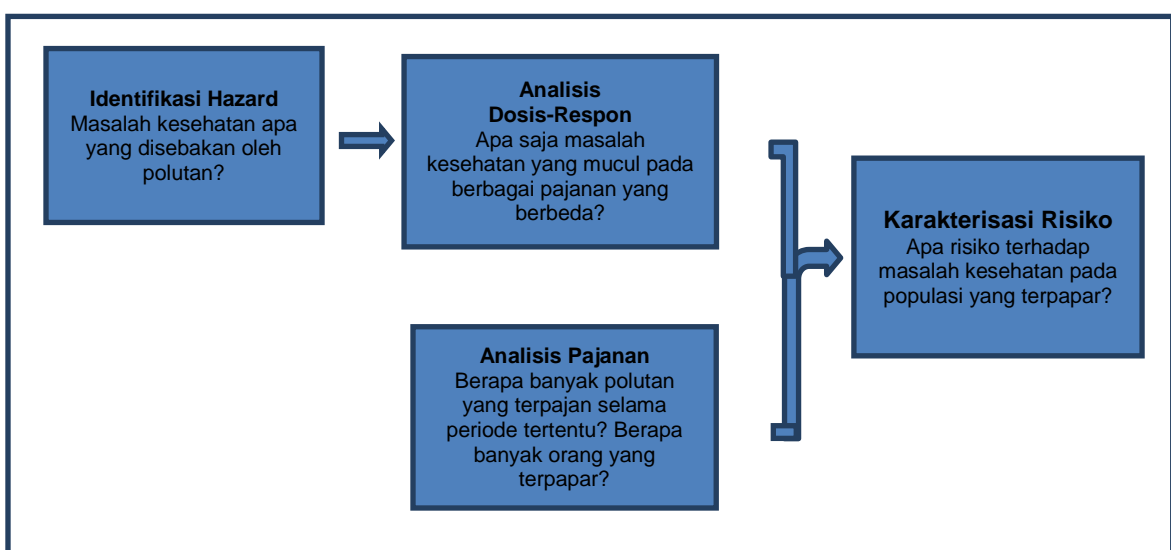
**Gambar 3. Bagan Alur Penerapan AKRL**

Pada gambar 3 di atas dijelaskan bahwa ARKL merupakan pendekatan yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko kesehatan di lingkungan dengan output adalah karakterisasi risiko (dinyatakan sebagai tingkat risiko) yang menjelaskan apakah agen risiko/parameter lingkungan berisiko terhadap kesehatan masyarakat atau tidak. Selanjutnya hasil ARKL akan dikelola dan dikomunikasikan kepada masyarakat sebagai tindak lanjutnya.



**Gambar 4. Kerangka Konseptual AKRL**

Pada dasarnya, ARKL hanya mengenal empat langkah, yaitu: 1) Identifikasi hazard/bahaya, 2) Analisis dosis respon, 3) Analisis pajanan, dan 4) Karakterisasi risiko. Ilustrasi empat langkah analisis risiko terdapat pada gambar 4 dibawah ini:



**Gambar 5. Empat Langkah Proses Risiko**

### a. Perencanaan

Analisis risiko kesehatan manusia dimulai dengan perencanaan yang baik. Sebelum memulai apapun diperlukan penilaian awal saat merencanakan analisis risiko mayor yang meliputi tujuan, ruang lingkup dan pendekatan teknis yang akan digunakan. USEPA memulai proses analisis risiko kesehatan manusia dengan perencanaan dan riset.

Untuk memulai analisis risiko, asessor akan menanyakan beberapa pertanyaan berikut ini:

1. Siapa/Apa/Dimana yang berisiko?
  - Individu
  - Populasi umum
  - *Life-stages* yang terdiri dari anak-anak, remaja, ibu hamil/menyusui
  - Populasi tertentu –sangat rentan, misalnya disebabkan oleh penyakit asma, genetika, dsb dan tinggi pajanan misalnya berdasarkan pada wilayah geografis, gender, kelompok ras atau etnis atau status ekonomi
2. Apa jenis hazard yang membahayakan lingkungan?
  - Kimiawi (berisiko 1x/berulang kali/ kumulatif)
  - Radiasi
  - Fisik (debu, panas)
  - Mikrobiologis atau Biologis
  - Nutrisi (misalnya, makanan, fitness atau kondisi metabolisme)
  - Sosial Ekonomi (misalnya, akses pelayanan kesehatan)
3. Darimana hazard lingkungan tersebut berasal?
  - *Point sources* (misalnya, limbah asap atau cairan dari pabrik; kontaminasi dari *superfund site*)
  - *Non-point sources* (misalnya, pembuangan asap knalpot mobil, sampah pertanian)
  - Sumber Alam
4. Bagaimana munculnya pajanan?
  - *Pathway* (melalui satu jalur pajanan atau bisa jadi lebih)
  - Udara
  - Air permukaan
  - Air tanah

- Tanah
  - Limbah padat
  - Makanan
  - *Non-food products*, Farmasi
  - Rute (dan aktivitas manusia yang berisiko terhadap pajanan)
  - Apapun yang ditelan (baik makanan dan minuman)
  - Kontak dengan kulit
  - Inhalasi
  - *Non-dietary ingestion* (misalnya, sikap “*hand-to-mouth*”)
5. Apa respon tubuh terhadap hazard lingkungan dan bagaimana cara berbagai faktor mempengaruhinya?
- Penyerapan – apakah tubuh menyerap hazard lingkungan
  - Distribusi – apakah hazard lingkungan menjalar ke seluruh bagian tubuh atau menetap di satu tempat?
  - Metabolisme – apakah tubuh memecah hazard lingkungan?
  - Ekskresi – Bagaimana tubuh mengeluarkannya?
6. Apa efeknya bagi kesehatan?
- Beberapa contoh efek bagi kesehatan diantaranya kanker, penyakit jantung, hati dan saraf.
7. Berapa lama waktu yang diperlukan untuk hazard lingkungan memberikan efek toksik? Apakah yang akan terjadi jika pajanan mempunyai efek seumur hidup?
- Berapa lama?
  - Akut – segera atau dalam rentang beberapa jam hingga 24 jam
  - Subkronik – mingguan atau bulanan (untuk manusia umumnya kurang dari 10% jangka hidup)
  - Kronik – waktuterlama atau sepanjang hidup (untuk manusia sedikitnya 7 tahun)
  - Intermitten
  - Waktu
- Apakah ada periode kritis di fase kehidupan dimana bahan kimiawi berada dalam kondisi paling beracun (contohnya, perkembangan janin, usia anak-anak, lanjut usia)

## **b. Langkah 1 : Identifikasi Hazard**

Menilai apakah stressor berpotensi menyebabkan bahaya pada manusia dan/atau sistem ekologi, dan jika demikian berada di lingkungan yang bagaimana. Tujuan dari Tahap 1 adalah untuk mengenali berbagai macam efek kesehatan yang dapat disebabkan oleh beberapa agen dan menentukan kualitas maupun beban evidence yang mendukung identifikasi tersebut.

Identifikasi hazard adalah proses menentukan apakah pajanan terhadap stressor dapat menyebabkan peningkatan kejadian efek samping tertentu bagi kesehatan (misalnya, kanker, cacat lahir) serta menentukan apakah efek samping bagi kesehatan tersebut cenderung terjadi pada manusia. Dalam hal stressor kimiawi, proses yang dilakukan dengan memeriksa data-data ilmiah tentang bahan kimiawi dan mengembangkan evidence untuk menentukan hubungan antara efek negatif dan agen kimia. Pajanan terhadap stressor dapat menimbulkan berbagai efek samping pada manusia diantaranya dapat menimbulkan penyakit, tumor, kelainan reproduksi, kematian atau efek lainnya.

Studi klinis kontrol statistik pada manusia menyediakan evidence terbaik yang menghubungkan stressor (yang paling sering bahan kimia) terhadap efek yang terjadi. Namun studi seperti itu sudah lama tidak dilaksanakan sejak ada aturan etika tentang uji coba manusia dan hazard lingkungan. Beberapa studi epidemiologi meliputi evaluasi statistik terhadap populasi manusia dilakukan untuk memeriksa apakah ada hubungan antara pajanan terhadap stressor dan efek kesehatan pada manusia. Keuntungan studi ini adalah melakukan uji pada manusia meskipun hasilnya dianggap lemah karena tidak memiliki informasi pajanan yang akurat dan sulit menilai efek dari berbagai stressor. Saat data studi terhadap manusia tidak tersedia, maka data diambil dari studi terhadap hewan (tikus, kelinci, monyet, anjing, dsb) untuk memperkirakan potensi hazard terhadap manusia. Studi pada hewan dapat dilakukan desain, kontrol dan modifikasi namun belum diketahui secara pasti sejauh mana keakuratannya untuk data terhadap manusia.

Berbagai studi dan analisis digunakan untuk mendukung analisis identifikasi hazard.

- Toksokinetik menentukan bagaimana tubuh mengabsorbsi, mendistribusi, memetabolisme dan mengeliminasi bahan kimiawi tertentu
- Toksodinamik fokus pada efek dari bahan kimiawi terhadap tubuh manusia

### c. Langkah 2 : Analisis Dosis Respon

Memeriksa nilai numerik antara pajanan dan efeknya. Tujuan dari tahap 2 adalah untuk menentukan hubungan antara dosis dan efek toksik. Hubungan dosis-respon menggambarkan bagaimana tingkat keparahan dan kemiripan efek kesehatan (respon) berhubungan dengan jumlah dan kondisi pajanan kepada agen (dosis tertentu). Prinsip yang sama juga dilakukan pada beberapa studi dimana pajanan berhubungan dengan konsentrasi agen (misalnya, konsentrasi bahan gas pada studi pajanan inhalasi) disebut sebagai hubungan “konsentrasi-respon”. Istilah hubungan “pajanan-respon” dapat digunakan untuk menggambarkan baik dosis-respon atau konsentrasi-respon atau kondisi pajanan lainnya.

Biasanya seiring dengan meningkatnya dosis maka respon yang terukur juga akan meningkat. Pada dosis rendah mungkin saja tidak akan ada respon. Pada beberapa tingkatan dosis, respon mulai akan muncul pada sebagian kecil populasi studi atau pada tingkatan probabilitas yang rendah. Baik dosis maupun tingkatan, yang dapat meningkatkan respon dapat bervariasi pada berbagai polutan, individu, rute pajanan, dan sebagainya.

Bentuk hubungan dosis-respon tergantung pada agen, jenis respon (tumor, munculnya banyak penyakit, kematian, dsb) dan subjek penelitian (manusia, hewan). Misalnya, mungkin saja ada satu hubungan terhadap suatu respon seperti ‘menurunnya berat badan’ dan hubungan yang berbeda pada respon lainnya seperti ‘kematian’. Karena tidak memungkinkan untuk melakukan studi semua kemungkinan hubungan pada semua kemungkinan respon, riset toksisitas biasanya fokus pada sedikit efek samping yang ditimbulkan.

Analisis dosis- respon dilakukan mencari nilai RfD, dan/atau RfC, dan/atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL, serta memahami efek apa saja yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia. Analisis dosis-respon ini tidak harus dengan melakukan penelitian percobaan sendiri namun cukup dengan merujuk pada literatur yang tersedia.

Langkah analisis dosis respon ini dimaksudkan untuk: 1) Mengetahui jalur pajanan (*pathways*) dari suatu agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia; 2) Memahami perubahan gejala atau efek kesehatan yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi atau dosis agen risiko yang masuk ke dalam tubuh; 3) Mengetahui dosis referensi (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) atau slope factor (SF) dari agen risiko tersebut.

Uraian tentang dosis referensi (RfD), konsentrasi referensi (RfC), dan slope factor (SF) adalah sebagai berikut:

- Dosis referensi dan konsentrasi yang selanjutnya disebut RfD dan 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 obyek manusia maupun merupakan ekstrapolasi dari hewan percobaan ke manusia
- Untuk mengetahui RfC, RfD, dan SF suatu agen risiko dapat dilihat pada *Integrated Risk Information System* (IRIS)
- Jika tidak ada RfD, RfC, dan SF maka nilai dapat diturunkan dari dosis eksperimental yang lain seperti NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*), MRL (*Minimum Risk Level*), baku mutu udara ambien pada NAAQS (*National Ambient Air Quality Standard*) dengan catatan dosis eksperimental tersebut mencantumkan faktor antropometri yang jelas (Wb, tE, fE, dan Dt).

Satuan dosis referensi (RfD) dinyatakan sebagai milligram (mg) zat per kilogram (Kg) berat badan per hari, disingkat mg/kg/hari. Dalam literatur terkadang ditulis mg/kgxhari, mg/kg•hari, dan mg/kg-hari. Satuan konsentrasi referensi (RfC) dinyatakan sebagai milligram (mg) zat per meter kubik (M3) udara, disingkat mg/M3. Konsentrasi referensi ini dinormalisasikan menjadi satuan mg/kg/hari dengan cara memasukkan laju inhalasi dan berat badan yang bersangkutan. Pada tabel berikut disajikan contoh RfD, RfC, dan SF:

**Tabel 1. Contoh RfD, dan SF beberapa agen risiko atau spesi kimia jalur ingesti**

No (RfD, SF)	Agent	Dosis Respon	Efek Kristis dan Referensi
1	As (Arsen)	3E-4 mg/kg/day	Hiperpigmentasi, keratosis dan kemungkinan komplikasi vaskular pajanan oral (Tseng, 1977; Tseng et al., 1968)
2	Ba (Barium)	1,5E+0 (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	Nefropati dalam 2 tahun pemberian air minum kepada mencit (NTP 1994)
3	B (Boron)	2E-1 mg/kg/day	Penurunan berat janin pada pajanan asam borat gestasi diet mencit (Price et al, 1996; Heindel et al, 1992)
4	Cd (Kadmium)	5E-4 mg/kg/day	Proteinuria pajanan kronik manusia (USEPA, 1985)
5	Cl <sub>2</sub> (Klorin) bebas	1E-1 mg/kg/day	Pajanan kronik air minum tikus (NTP, 1992)
6	Cr <sup>6+</sup> (Kromium Heksavalen)	3E-3 mg/kg/day	Uji hayati air minum 1 tahun dengan tikus (McKenzie et al, 1958) dan pajanan air minum penduduk Jinzhou (Zhang and Li, 1987)
7	CN <sup>-</sup> (Sianida)	2E-2 mg/kg/day	Kehilangan berat, efek tiroid dan degradasi myelin dalam uji hayati subkronik sampai kronik oral pada tikus (Philbrick et al, 1979)
8	F <sup>-</sup> (Fluorida)	6E-2 mg/kg/day	Flourisis gigi dan efek kosmetik dalam studi epidemiologi (Hodge, 1950 cited in Underwood, 1977)
9	Mn (Mangan)	1 .4E- 1 mg/kg/day	Hipokolesterolemia, epilepsi, kekurangan pankreas eksokrin, sklerosis berganda, katarak, osteoporosis, fenilketonuria & penyakit kencing maple syrup (inborn) pada ingesti kronik manusia (NRC 1989; Freeland-Graves et al 1987; WHO 1973)
10	Hg – MeHg (Merkuri - metal merkuri)	1E-4 mg/kg/day	Kelainan neuropsikologis perkembangan dalam studi epidemiologi (Grandjean et al 1997; Budz-Jergensen et al 1999)
11	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (Nitrit)	1E-1 mg/kg/day	Methemoglobinemia pada bayi yang terpajan kronik air minum (Walton 1951)
12	Se (Selenium)	5E-3 mg/kg/day	Selenosis dari studi epidemiologi (Yang et al 1989)
13	Zn (Seng)	3E-1 mg/kg/day	Penurunan Cu eritrosit dan aktifitas Zn superoksida dismutase pada relawan pria dan wanita (Yadrick et 1989)
14	CHBr <sub>3</sub>	2E-2 mg/kg/day 7.9E-3 (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	Lesi hepatik uji hayati subkronik gavage oral pada tikus
15	CHCl <sub>3</sub>	1E-2 mg/kg/day	Pembentukan greasety cyst sedang/nyata pada hati dan
16	CHBr <sub>2</sub> Cl	2E-2 mg/kg/day	Lesi hepatik uji hayati subkronik gavage oral pada tikus

Disadur dari Rahman, 2007

**Tabel 2. Contoh RfC beberapa agen risiko atau spesi kimia jalur inhalasi**

No RfC	Agent	Dosis Respon	Efek Kristis dan Referensi
1	NH <sub>3</sub>	2,86E-2	Kenaikan keparahan rinitis dan pneumonia dengan lesi pernafasan pada uji hayati tikus subkronik (Broderson et al 1976)
2	H <sub>2</sub> S	5,7 1E-4	Lesi nasal lendir olfaktori pada uji hayati tikus subkronik (Brenneman et al 2000)
3	Pb	4,93E-4	Perubahan tingkat enzim dan perkembangan neurobehavioral anak-anak (IRIS 2006)
4	NO <sub>2</sub>	2E-2	Gangguan saluran pernafasan (EPA/NAAQS 1990)
5	SO <sub>2</sub>	2,6E-2	Gangguan saluran pernafasan (EPA/NAAQS 1990)
6	TSP	2,42	Gangguan saluran pernafasan (EPA/NAAQS 1990)

Disadur dari Rahman, 2007

Mengingat pemutakhiran (update) RfD, RfC, dan SF berlangsung sangat cepat, RfD, RfC, dan SF yang tercantum pada tabel di atas tidak bisa selamanya dijadikan acuan.



Sebagai komponen dari Langkah 1, informasi ilmiah dievaluasi untuk pemahaman biologis yang lebih baik mengenai bagaimana masing-masing jenis toksisitas atau respon yang muncul dikenal dengan istilah “*mode of action*”. Berdasarkan *mode of action* tersebut, agensi menentukan sifat ekstrapolasi yang dipakai pada Langkah 2 baik melalui analisis dosis-respon non linear maupun linear.

#### 1. Analisis Dosis-Respon Non-Linear

Analisis Dosis-Respon Non-Linear memiliki orisinalitasnya pada hipotesis ambang batas yang menjelaskan bahwa rentang pajanan dari nol sampai nilai tertentu dapat ditoleransi oleh organisme dengan tidak menimbulkan efek toksik apapun, dan ambang batas toksisitas adalah dimana efek mulai muncul. Pada kasus ini baiknya difokuskan pada anggota populasi yang paling sensitif; karena itu berbagai aturan dibuat untuk memastikan pajanan dibawah ambang batas penduduk yang diartikan sebagai ambang batas terendah tiap individu dari satu populasi.

Pada informasi *mode of action* menunjukkan bahwa toksisitas ada ambang batas yang diartikan bahwa dosis rendah tanpa menimbulkan efek, maka dari itu tipe asesmen ini disebut dengan Analisis dosis-respon non-linear. Istilah non-linear disini digunakan lebih sempit dibandingkan artinya di bidang matematika; asesmen non-linear menggunakan hubungan dosis-respon dengan lengkungan nya nol (yang bermakna tidak ada respon) pada dosis nol.

#### 2. Analisis Dosis-Respon Linear

Pada informasi *mode of action* menunjukkan bahwa toksisitas tidak ada ambang batas maka dari itu tipe asesmen ini disebut dengan Analisis dosis-respon linear. Pada kasus karsinogenik, jika informasi *mode of action* tidak cukup maka ekstrapolasi linear biasanya digunakan sebagai pendekatan standar untuk Analisis dosis-respon.

Pada tipe asesmen ini, secara teoritis tidak ada tingkatan pajanan bahan kimia yang tidak berefek karsinogenik yang sedikit namun terbatas.

Risiko kanker ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini :  
$$\text{Risiko Kanker} = \text{Pajanan} \times \text{Slope Factor}$$
  
Total risiko kanker dihitung dengan menambahkan risiko kanker individu pada setiap polutan pada setiap jalur pajanan (misalnya, inhalasi, proses menelan, dan absorpsi kulit), kemudian

menjumlahkan risiko dari semua jalur.

Istilah yang sama yang dikenal sebagai *inhalation unit risk* (IUR) digunakan untuk menilai risiko inhalasi dimana hubungan pajanan-respon mengacu pada konsentrasi pajanan di udara.

#### **d. Langkah 3 : Analisis Pajanan**

Menilai frekuensi, waktu dan level kontak dengan stressor. Analisis Pajanan adalah proses yang mengukur atau memperkirakan besaran, frekuensi dan durasi pajanan manusia terhadap agen di lingkungan, atau memperkirakan pajanan di masa depan terhadap agen yang belum keluar. Analisis Pajanan meliputi beberapa bahasan mengenai ukuran, sifat, dan berbagai macam populasi penduduk yang terpapar agen, serta bahasan mengenai ketidakpastian yang telah disebutkan sebelumnya.

Pajanan dapat diukur secara langsung, namun paling sering diestimasi secara tidak langsung melalui pertimbangan konsentrasi terukur yang berada di lingkungan, pertimbangan transportasi dan sifat bahan kimia dan perkiraan waktu terpajannya manusia.

##### **1. Berbagai Jenis Dosis**

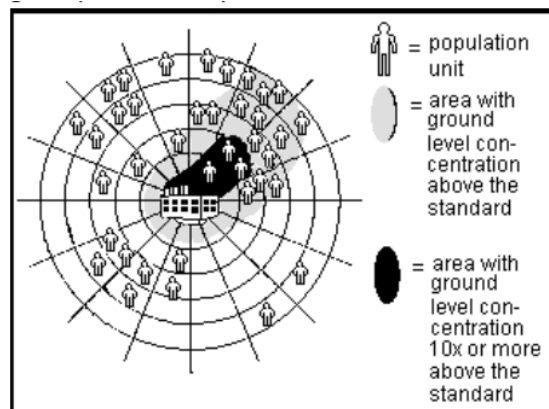
Analisis Pajanan memperhitungkan baik jalur pajanan (perjalanan agen dari sumbernya hingga ke manusia terpapar) maupun rute pajanan (cara masuk agen ke dalam tubuh). Rute pajanan pada umumnya dikenal sebagai *intake* (melalui bagian tubuh yang terbuka, contohnya melalui makan, minum, atau inhalasi) atau *uptake* (absorpsi melalui jaringan contohnya melalui kulit atau mata).

Dosis terkena adalah jumlah agen pada barrier absorpsi yang dapat diserap. Dosis potensial adalah jumlah agen yang ditelan, dihisap atau yang kontak terhadap kulit. Dosis terkenadapat saja lebih sedikit dibandingkan dosis potensial jika agennya hanya sebagian tersedia secara hayati. Dosis internal atau dosis terserap adalah jumlah agen yang telah terabsorpsi dan tersedia untuk dapat berinteraksi dengan reseptor biologis di dalam tubuh manusia. Dosis terantar adalah jumlah agen yang tersedia untuk berinteraksi dengan organ atau sel yang spesifik.

##### **2. Rentang Pajanan**

Pada agen atau lokasi tertentu, terdapat rentang pajanan yang sebenarnya

dialami oleh setiap individu. Beberapa individu dapat memiliki derajat kontak yang tinggi pada periode waktu yang lama (misalnya, pekerja pabrik terpapar terhadap agen di tempat kerjanya). Individu lainnya dapat memiliki derajat kontak yang lebih rendah pada periode waktu yang lebih singkat (misalnya, individu yang sesekali berkunjung ke pabrik). Kebijakan EPA terhadap Analisis Paparan mensyaratkan pertimbangan rentang level paparan.



**Gambar 6. Rentang Paparan**

Dua skenario yang umum muncul pada kemungkinan paparan adalah “*Central Tendency*” dan “*High End*”. Paparan *central tendency* adalah perkiraan rata-rata pengalaman populasi yang terpapar, berdasarkan jumlah agen yang muncul di lingkungan dan frekuensi maupun durasi paparan. Paparan *high end* adalah dosis tertinggi yang diperkirakan dialami oleh beberapa individu, biasanya dikenal dengan “lebih kurang sama dengan persentil ke 90” kategori paparan pada setiap individu.

### 3. Ukuran Paparan

Terdapat tiga pendekatan dasar untuk mengukur paparan. Masing-masing pendekatan berdasarkan pada data yang berbeda, memiliki kekuatan dan kelemahan yang berbeda. Jika menggunakan pendekatan yang dikombinasikan dapat memperkuat kredibilitas asesmen risiko paparan.

- **Titik Pengukuran Kontak**

Paparan dapat diukur pada titik kontak (lapisan terluar tubuh), mengukur konsentrasi paparan dan waktu kontak, kemudian diintegrasikan;

- **Evaluasi Skenario**

Paparan dapat diperkirakan dengan mengevaluasi secara terpisah

konsentrasi pajanan dan waktu kontak, kemudian mengkombinasikannya;

- Rekonstruksi

Pajanan dapat diukur dari dosis, yang pada gilirannya dapat direkonstruksi melalui indikator internal (biomarker, beban tubuh, level ekskresi, dsb) setelah pajanan terjadi (rekonstruksi).

Analisis pajanan mengukur atau menghitung 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 konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan sendiri) atau data sekunder (pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan oleh pihak lain yang dipercaya seperti BLH, Dinas Kesehatan, LSM, dll), dan asumsi yang didasarkan pertimbangan yang logis atau menggunakan nilai default yang tersedia. Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

### **Perhitungan intake non karsinogenik (INK)**

#### 1. Intake pada jalur pajanan inhalasi (terhirup)

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_{Ex} \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \dots\dots\dots \text{Rumus 1}$$

**Keterangan :**

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
<b><i>I<sub>nk</sub></i> (Intake)</b>	: Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	mg/kg x hari	Tidak ada nilai default
<b><i>C</i> (Concentration)</b>	: Konsentrasi agen risiko pada media udara (udara ambien)	mg/m <sup>3</sup>	Tidak ada nilai default
<b><i>R</i> (Rate)</b>	: Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya	m <sup>3</sup> /jam	Dewasa : 0,83 m <sup>3</sup> /jam Anak – anak (6 – 12 tahun) : 0,5 m <sup>3</sup> /jam
<b><i>t<sub>E</sub></i> (time of exposure)</b>	: Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya	Jam/hari	– Pajanan pada pemukiman : 24 jam/hari – Pajanan pada lingkungan kerja : 8 jam/hari – Pajanan pada sekolah dasar : 6 jam/hari

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
$f_E$ ( <i>frequency of exposure</i> )	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun – Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun
$D_t$ ( <i>duration time</i> )	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Tahun	Residensial (pemukiman) / pajanan seumur hidup : 30 tahun
$W_b$ ( <i>weight of body</i> )	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg – Anak – anak : 15 Kg
$t_{avg(nk)}$ ( <i>time average</i> )	: Periode waktu rata – rata untuk efek non karsinogen	Hari	30 tahun x 365 hari/tahun = 10.950 hari

## 2. Intake pada jalur pemajanan ingesti (tertelan)

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \dots\dots\dots \text{Rumus 2}$$

### Keterangan

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
$I_{nk}$ ( <i>Intake</i> )	: Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	mg/kg x hari	Tidak ada nilai default
$C$ ( <i>Concentration</i> )	: Konsentrasi agen risiko pada air bersih/minum atau pada makanan.	– mg/l (air) – mg/kg (makanan)	Tidak ada nilai default
$R$ ( <i>Rate</i> )	: Laju konsumsi atau banyaknya volume air atau jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya	– liter/hari (air) – gram/hari (makanan)	<b>Air Minum</b> – Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari – Anak – anak (pemukiman) : 1 liter/hari – Dewasa (lingkungan kerja) : 1 liter/hari <b>Makanan</b> – Buah – buahan : 42 gram/hari – Sayuran : 80 gram/hari – Ikan tangkapan : 54 gram/hari
$f_E$ ( <i>frequency of exposure</i> )	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun – Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun
$D_t$ ( <i>duration time</i> )	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Tahun	Residensial (pemukiman) / pajanan seumur hidup : 30 tahun
$W_b$ ( <i>weight of body</i> )	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg – Anak – anak : 15 Kg
$t_{avg(nk)}$ ( <i>time average</i> )	: Periode waktu rata – rata untuk efek non karsinogen	Hari	30 tahun x 365 hari/tahun = 10.950 hari

## Perhitungan intake karsinogenik (IK)

### 1. Intake pada jalur pemajanan inhalasi (terhirup)

$$I_k = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \dots\dots\dots \text{Rumus 3}$$

#### Keterangan :

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
$I_k$ (Intake)	: Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	mg/kg x hari	Tidak ada nilai default
$C$ (Concentration)	: Konsentrasi agen risiko pada media udara (udara ambien)	mg/m <sup>3</sup>	Tidak ada nilai default
$R$ (Rate)	: Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya	m <sup>3</sup> /jam	Dewasa : 0,83 m <sup>3</sup> /jam Anak – anak (6 – 12 tahun) : 0,5 m <sup>3</sup> /jam
$t_E$ (time of exposure)	: Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya	Jam/hari	– Pajanan pada pemukiman : 24 jam/hari – Pajanan pada lingkungan kerja : 8 jam/hari – Pajanan pada sekolah dasar : 6 jam/hari
$f_E$ (frequency of exposure)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun – Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun
$D_t$ (duration time)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Tahun	Residensial (pemukiman) / pajanan seumur hidup : 30 tahun
$W_b$ (weight of body)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg – Anak – anak : 15 Kg
$t_{avg(k)}$ (time average)	: Periode waktu rata – rata untuk efek karsinogenik	Hari	70 tahun x 365 hari/tahun = 25.550 hari

### 2. Intake pada jalur pemajanan ingesti (tertelan)

$$I_k = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{AVG}} \dots\dots\dots \text{Rumus 4}$$

#### Keterangan

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
$I_k$ (Intake)	: Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	mg/kg x hari	Tidak ada nilai default
$C$ (Concentration)	: Konsentrasi agen risiko pada air bersih/minum atau pada makanan.	– mg/l (air) – mg/kg (makanan)	Tidak ada nilai default
$R$ (Rate)	: Laju konsumsi atau banyaknya volume air atau jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya	– liter/hari (air) – gram/hari (makanan)	<b>Air Minum</b> – Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari – Anak – anak (pemukiman) : 1 liter/hari – Dewasa (lingkungan kerja) : 1 liter/hari  <b>Makanan</b> – Buah – buahan : 42 gram/hari – Sayuran : 80 gram/hari

$f_E$ ( <i>frequency of exposure</i> )	:	Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun
$D$ ( <i>duration time</i> )	:	Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Tahun	– Pajanan pada Residensial (pemukiman) pajanan seumur hidup : 30 tahun
$W_b$ ( <i>weight of body</i> )	:	Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg
$t_{avg(k)}$ ( <i>time average</i> )	:	Periode waktu rata – rata untuk efek karsinogenik	Hari	70 tahun x 365 hari/tahun =

#### e. Langkah 4 : Karakterisasi Risiko

Menilai bagaimana data yang ada mendukung kesimpulan tentang sifat dan penyebaran risiko dari pajanan terhadap stressor lingkungan. Tujuan dari Tahap 4 adalah untuk merangkum dan mengintegrasikan informasi dari tahap-tahap analisis risiko sebelumnya untuk merumuskan kesimpulan menyeluruh mengenai risiko.

Karakterisasi risiko menyampaikan keputusan assesor mengenai sifat dan kemunculan atau ketidakmunculan risiko, bersama dengan informasi tentang bagaimana risiko dikaji, dimana asumsi dan ketidakpastian masih muncul, dan dimana pilihan kebijakan akan diperlukan untuk disusun. Karakterisasi risiko berlaku baik pada asesmen risiko kesehatan manusia maupun asesmen risiko ekologis.

Pada praktiknya masing-masing komponen asesmen risiko (misalnya, asesmen hazard, Analisis dosis-respon, Analisis Pajanan) memiliki karakteristik risiko sendiri-sendiri yang mengarah pada penemuan kunci, asumsi, pembatasan dan ketidakpastian. Kumpulan dari karakterisasi risiko ini menyediakan informasi basis bagi analisis karakterisasi risiko. Pada akhirnya, karakterisasi risiko secara keseluruhan terdiri dari karakterisasi risiko individu ditambahkan dengan analisis yang telah diintegrasikan.

Karakterisasi risiko yang baik akan mengungkapkan cakupan asesmen, menjabarkan hasil secara jelas, mengartikulasi asumsi mayor dan ketidakpastian, mengidentifikasi alternatif interpretasi yang beralasan, dan memisahkan kesimpulan ilmiah dari keputusan kebijakan.

Kebijakan karakterisasi risiko EPA konsisten dengan prinsip-prinsip sebagai berikut:

- *Transparency* (Transparansi)

Karakterisasi harus membuka metode analisis risiko secara penuh dan

eksplisit, asumsi yang standar, logis, rasional, ekstrapolasi, ketidakpastian dan kekuatan menyeluruh dari masing-masing tahap analisis;

- *Clarity* (Kejelasan)

Produk dari karakterisasi risiko harus siap dipahami oleh pembaca didalam maupun diluar proses analisis risiko. Dokumentasinya harus ringkas, bebas jargon, dan terdiri dari tabel, grafik dan persamaan yang dapat dimengerti;

- *Consistency* (Konsistensi)

Analisis risiko harus dihubungkan dan ditampilkan secara konsisten dengan kebijakan EPA dan konsisten dengan karakterisasi risiko lainnya yang cakupannya sama dengan program lainnya didalam EPA;

- *Reasonableness* (Kelayakan)

Analisis risiko harus berdasarkan oada keputusan yang logis dengan metode dan asumsi yang konsisten terhadap ilmu pengetahuan saat ini dan disampaikan secara lengkap dan seimbang serta informatif.

Empat prinsip ini disingkat dengan TCCR. Untuk mencapai TCCR pada tahap karakterisasi risiko ini, prinsip TCCR juga perlu diterapkan pada tahap-tahap sebelumnya yang pada akhirnya mengarah pada karakterisasi risiko.

## 2.5 Output Analisis Risiko Kesehatan Manusia

### a. Manfaat dalam Kesehatan Masyarakat

Pada mulanya analisis resiko digunakan dalam bidang pengendalian radiasi, bukan dalam industri kimia. Pada tahun 1975 dilakukan analisis risiko yang intensif untuk menyelidiki kematian karena kanker yang disebabkan oleh kebocoran reaktor nuklir. Teknik-teknik analisisnya kemudian diadopsi oleh Food and Drug Administration Amerika Serikat. USEPA selanjutnya menerbitkan pedoman tentang analisis risiko karsinogen tahun 1986. Saat ini analisis risiko tersebut digunakan untuk berbagai bahaya lingkungan termasuk bahaya fisik dan biologis. Bahaya-bahaya fisik, kimiawi dan biologis lingkungan dapat menimbulkan efek yang merugikan terhadap kesehatan manusia dan juga mengakibatkan kerusakan lingkungan. Dengan analisis risiko dapat memperkirakan atau penilaian risiko pada suatu organisme sasaran, sistem atau (sub) populasi, termasuk setelah terpajan oleh agent tertentu.

Menurut Kepmenkes Republik Indonesia Nomor 876/Menkes/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan bahwa konsepsi Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan (ADKL), pada dasarnya merupakan model



pendekatan guna mengkaji, dan atau menelaah secara mendalam untuk mengenal, memahami, dan memprediksi kondisi dan karakteristik lingkungan yang berpotensi terhadap timbulnya risiko kesehatan, dengan mengembangkan tatalaksana terhadap sumber perubahan media lingkungan, masyarakat terpajan dan dampak kesehatan yang terjadi. Dengan demikian penerapan ADKL dapat dilakukan guna menelaah rencana usaha atau kegiatan dalam tahap pelaksanaan maupun pengelolaan kegiatan, serta melakukan penilaian guna menyusun atau mengembangkan upaya pemantauan maupun pengelolaan untuk mencegah, mengurangi, atau mengelola dampak kesehatan masyarakat akibat suatu usaha atau kegiatan pembangunan.

#### **b. Output dapat Dimanfaatkan untuk Meningkatkan Derajat Kesehatan Masyarakat**

Kontribusi lingkungan dalam mewujudkan derajat kesehatan masyarakat merupakan hal yang esensial disamping perilaku masyarakat, pelayanan kesehatan dan faktor keturunan. Derajat kesehatan masyarakat merupakan modal yang sangat penting dalam pembangunan suatu negara. Lingkungan memberikan kontribusi yang terbesar terhadap timbulnya masalah kesehatan masyarakat, sehingga terdapat keterkaitan antara lingkungan bermasalah dan status kesehatan. Dampak yang ditimbulkan bisa langsung ataupun tidak langsung yang berkaitan dengan kualitas derajat kesehatan. Sebagaimana disampaikan diatas bahwa analisis risiko kesehatan manusia bertujuan untuk mengkaji, menelaah dan memprediksi kondisi karakteristik lingkungan yang mempunyai potensi dalam menimbulkan risiko kesehatan.

## **2.6 Komunikasi Risiko**

### **a. Pengertian Komunikasi Risiko**

Komunikasi risiko adalah suatu proses memberitahu orang –orang atau masyarakat mengenai potensi bahaya yang ada di komunitas mereka. Menurut para ahli, komunikasi risiko merupakan pendekatan yang berbasis sains untuk berkomunikasi secara efektif dalam situasi apapun. Tujuan dari komunikasi risiko ini adalah membantu masyarakat atau komunitas yang terkena atau akan terkena dampak dalam memahami bahaya yang mungkin terjadi dan dapat berpartisipasi dalam mengelola resiko tersebut. Alat komunikasi yang digunakan bisa dalam bentuk pernyataan tertulis, verbal atau visual. Idealnya komunikasi risiko yang baik adalah perorangan/masyarakat diberi informasi, prosesnya adil, dan mampu menyelesaikan kesulitan dalam komunikasi.

## **b. Hubungan Komunikasi Risiko dengan Output Analisis Risiko**

Komunikasi risiko yang efektif dapat memberikan informasi yang akurat sesuai dengan target dan kebutuhan, menggambarkan risiko, dan memberikan informasi tentang apa yang sedang dilakukan dan langkah apa yang dapat diambil untuk mengurangi risikonya. Prinsip komunikasi risiko yang baik mencakup :

### **a. Keterbukaan dan transparansi**

Melibatkan semua stakeholder terkait dan mereka yang bertanggung jawab terhadap resiko tersebut. Penilaian, pengelolaan, dan komunikasi risiko harus dilakukan dalam situasi terbuka dan transparan.

### **b. Ketepatan Waktu dan tanggung jawab**

Berkomunikasi dengan waktu yang tepat adalah hal yang penting dalam melindungi kesehatan masyarakat, memberikan kontribusi untuk membangun dan memelihara kepercayaan dan mencegah informasi yang salah.

Dengan memahami komunikasi risiko yang efektif, metode dan pendekatan yang tepat dan menginformasikan hal-hal yang sesuai dengan jenis informasi yang diperlukan dapat mempengaruhi output dari analisis risiko

## **2.7 Hubungan Analisis dan Komunikasi Risiko dengan Lingkungan Kesehatan Global**

Analisis risiko kesehatan lingkungan merupakan penilaian atau penaksiran risiko kesehatan yang bisa terjadi di suatu waktu pada populasi manusia berisiko. Merupakan suatu pendekatan untuk mencermati potensi besarnya risiko yang dimulai dengan mendiskripsikan masalah lingkungan yang telah dikenal dan melibatkan penetapan risiko pada kesehatan manusia yang berkaitan dengan masalah lingkungan yang bersangkutan. Analisis risiko kesehatan biasanya berhubungan dengan masalah lingkungan saat ini atau di masa lalu

Komunikasi risiko adalah proses memberi tahu orang-orang tentang potensi bahaya pada orang, properti, atau komunitas mereka. Para ahli mendefinisikan komunikasi risiko sebagai pendekatan berbasis sains untuk berkomunikasi secara efektif dalam situasi stres tinggi, keprihatinan tinggi atau kontroversi.

Upaya untuk menginformasikan dan menyarankan masyarakat tentang hasil analisis risiko dan dampaknya, mendengar reaksi mereka, dan melibatkan mereka dalam perencanaan pengelolaan risiko.

Mereka harus menempatkan risiko tertentu dalam konteks, mungkin menambahkan perbandingan dengan risiko lain, termasuk saran tentang perilaku pengurangan risiko, dan mendorong dialog antara pengirim dan penerima pesan. Komunikasi risiko terbaik terjadi dalam konteks di mana para peserta diberi informasi, prosesnya adil, dan para peserta bebas dan mampu menyelesaikan kesulitan komunikasi apa pun yang timbul. Idealnya, komunikasi risiko adalah percakapan dua arah di mana lembaga atau organisasi memberi informasi, dan diinformasikan oleh, anggota masyarakat yang terkena dampak.

Analisis dan komunikasi merupakan salah satu metoda kajian efek lingkungan terhadap kesehatan. Kajian ini biasanya dilakukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan khalayak ramai yang (bisa) menimbulkan kepanikan meluas, mencegah provokasi yang dapat memicu ketegangan sosial, atau dalam situasi kecelakaan dan bencana.

## **2.8 Publikasi tentang Analisis Risiko Kesehatan Manusia**

Salah satu bentuk publikasi tentang analisis risiko bagi kesehatan manusia adalah : *“A Bayesian Approach to Landscape Ecological Risk Assessment Applied to the Upper Grande Ronde Watershed, Oregon”*. Dalam publikasi tersebut dijelaskan model jaringan Bayesian berdasarkan kerangka penilaian risiko ekologis untuk mengevaluasi dampak potensial terhadap habitat dan sumber daya yang dihasilkan dari kebakaran, penggembalaan, kegiatan pengelolaan hutan, dan wabah serangga di hutan di timur laut Oregon. Struktur jaringan Bayesian terdiri dari tiga tingkatan simpul: gangguan bentang alam, habitat, dan sumber daya ekologis atau titik akhir yang menarik bagi pengelola lahan. Node pada setiap tier dihubungkan dengan node yang lebih rendah jika ada hubungan ekologis dan spasial di antara mereka. Semua parameter memiliki empat status diskrit potensial: nol, rendah, sedang, dan tinggi. Model kami andal memprediksi kemungkinan risiko terhadap habitat dan titik akhir dari gangguan alami dan antropogenik. Gangguan yang paling mungkin mengubah habitat dan efek sumber daya ekologis adalah pengelolaan hutan dan kebakaran hutan. Dari enam habitat, hutan basah ditemukan memiliki risiko terbesar dampak ekologis. Titik akhir manajemen dengan kemungkinan dampak tertinggi adalah rentang variabilitas (HRV) historis untuk habitat salmon, diikuti oleh rekreasi (berburu ungulata asli) dan api liar HRV.

## **BAB III**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **3.1 Kesimpulan**

- a. Analisis risiko kesehatan masyarakat memiliki peran penting dalam usaha peningkatan derajat kesehatan masyarakat.
- b. Analisis risiko kesehatan dilakukan untuk mengestimasi risiko kesehatan yang dapat diterima atau ditoleransi. Selanjutnya, hasil dari analisis tersebut digunakan sebagai dasar pengelolaan risiko.
- c. Empat langkah yang dilakukan dalam analisis risiko adalah identifikasi bahaya (*hazard identification*); analisis dosis-respon (*dose-response assesment*), analisis pemajanan (*exposure assesment*) dan karakteristik risiko (*risk characterization*).
- d. Agen faktor yang menyebabkan bahaya pada lingkungan adalah *chemical agent* (bahan kimia), *physical agent* (energi radiasi dan gelombang elektromagnetik berbahaya), dan *biological agent* (mahluk hidup atau organisme).
- e. Setelah hasil analisis risiko didapatkan hal yang dilakukan yaitu menginformasikan dan menyarankan masyarakat tentang hasil analisis risiko dan dampaknya, mendengar reaksi mereka, dan melibatkan mereka dalam perencanaan pengelolaan risiko.

#### **3.2 Saran**

- a. Analisis risiko kesehatan sebaiknya dilakukan terus menerus mengikuti perkembangan permasalahan kesehatan yang terus berubah.
- b. Hasil dari analisis risiko kesehatan harus disampaikan secara efektif supaya bisa diterima dengan baik oleh berbagai pihak yang berkaitan.
- c. Pemerintah, masyarakat, dan pihak swasta harus bersinergi untuk mengatasi permasalahan risiko kesehatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldrich, Tim E., and Jack Griffith. Environmental Epidemiologi and Risk Assessment. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- US EPA. Exposure factors Handbook. Environmental Protection Agency, 1997.
- Louvar, J.F., and B.D. Louvar. Health and Environmental Risk Analysis : Fundamental with Application. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- Mukono. Epidemiologi Lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press, 2002
- WHO. Environmental Health Criteria XXX : Principles for Modelling, Dose Response for The Risk Assessment of Chemicals. Jenewa: IPCS, 2004.
- Mckenzie, James F., Robert R. Pinger, and Jerome E. Kotecki. Kesehatan Masyarakat (Suatu Pengantar). Translated by Indah S. Hippy, Iin Nurlinawaty Atik Utami. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC, 2007
- Mukono. Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Kesehatan. Surabaya: Airlangga University Press, 2008.
- ATSDR. "Public Health Assessment Guidance Manual." <http://www.atsdr.cdc.gov/hac/PHSManual/toc.html>. 2005. (accessed Desember 16, 2011).
- NRC. "Risk Assessment in The Federal Government : Managing The Process." <http://www.nap.edu/catalog/366.html>. 1983. (accessed Desember 16, 2011).
- Direktorat Jenderal PP dan PL. Kementerian Kesehatan RI. 2012. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Jakarta.
- Syahrul Basri, Emmi Bujawati, Munawir Amansyah, Habibah, Samsiana. 2014. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Model Pengukuran Risiko Pencemaran Udara terhadap Kesehatan). Bagian Kesehatan Lingkungan, Jurusan Kesehatan Masyarakat, UIN Alauddin Makassar.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). Risk Assessment. 2019. (<https://www.epa.gov/risk>)