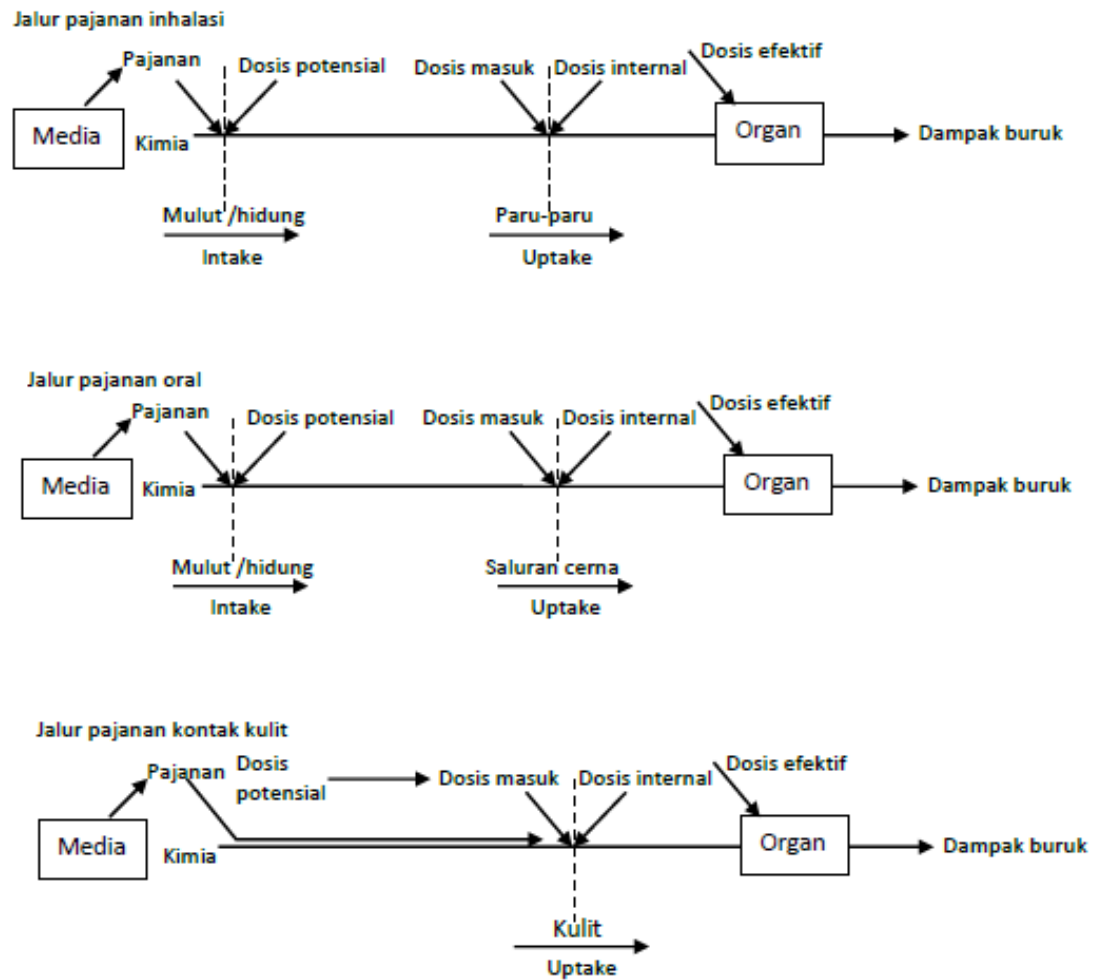


TOPIK 13

ANALISIS RESIKO TOKSIN SECARA KUANTITATIF

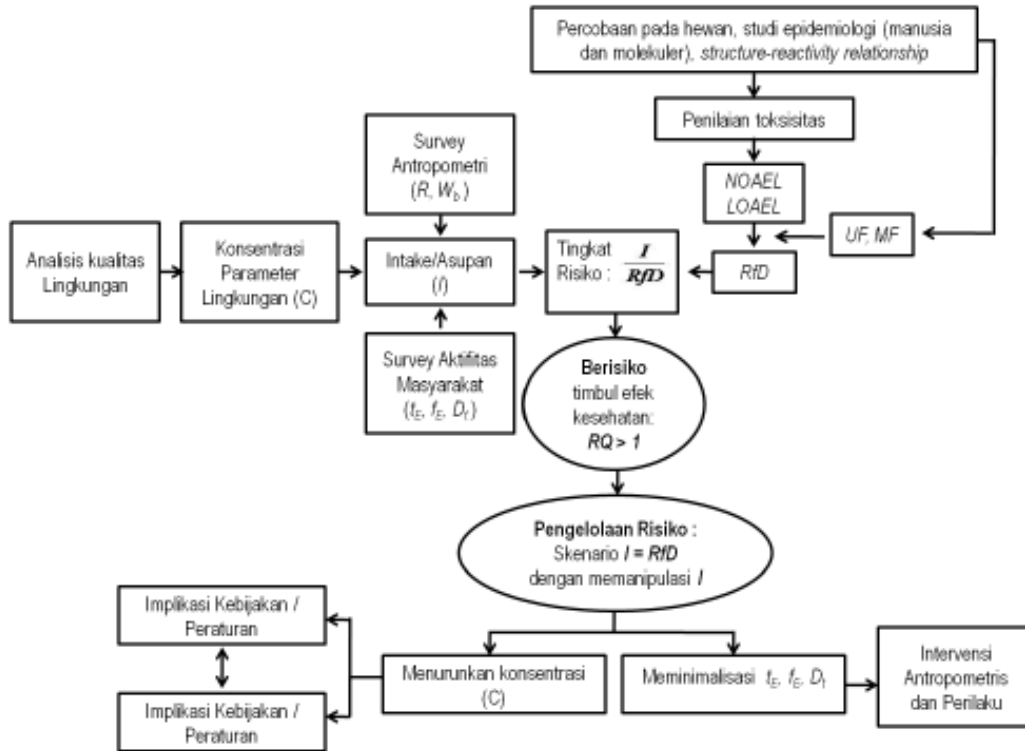
1. Agen Resiko, Paparan, Dosis dan Dampak

Dampak buruk terhadap kesehatan yang ditimbulkan oleh agen risiko terjadi karena adanya pemajanan dengan dosis dan waktu yang cukup. Suatu organisme, sistem, sub/populasi terpajan agen risiko di lingkungan melalui beberapa jalur pemajanan. Dampak buruk yang timbul akibat pajanan agen risiko kimia di lingkungan diilustrasikan melalui gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Skema pajanan dan dosis (Kolluru, 1996)

Prinsip dari penilaian resiko pajanan toksik dilingkungan bisa digambarkan pada gambar berikut:



2. Langkah-langkah dari Penilaian Resiko

Pelaksanaan ARKL meliputi empat langkah yaitu: identifikasi bahaya, analisis dosis - respon, analisis pajanan, dan karakterisasi risiko namun untuk pemahaman yang lebih komprehensif, pedoman teknis ini juga menguraikan/menjelaskan langkah-langkah pengelolaan dan komunikasi risiko sebagai tindak lanjut dari ARKL. Sehingga nantinya diharapkan dapat memberikan petunjuk teknis yang lengkap dalam melakukan analisis dan tindak lanjut dari penilaian resiko bahaya toksik dilingkungan kerja. Selain itu, perumusan masalah juga perlu dilakukan sebelum memasuki langkah - langkah penilaian resiko pajanan toksik.

Perumusan masalah yang dilakukan sebelum melakukan langkah - langkah penilaian resiko pajanan toksik dimaksudkan untuk dapat menjawab pertanyaan apa, dimana, berapa besar, kapan, siapa populasi berisiko, dan bagaimana kepedulian masyarakat (populasi berisiko). Rumusan masalah ini akan digunakan sebagai latar belakang mengapa suatu agen risiko perlu dianalisis risiko, dan akan dimasukkan ke dalam laporan. Uraian apa yang harus dijawab untuk merumuskan masalah dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3 Uraian langkah perumusan masalah

Pertanyaan	Uraian
- Apa yang menjadi masalah :	Media lingkungan yang terkena dampak, jenis kegiatan yang menjadi sumber dampak, jenis polutan apa yang potensial
- Dimana masalah itu terjadi :	Wilayah administrasi, wilayah geografi, batas sosial, batas ekologis.
- Seberapa besar masalahnya :	Prevalensi penyakit terkait lingkungan, konsentrasi agen risiko pada media lingkungan, jumlah populasi yang potensial terkena.
- Kapan masalah terjadi :	Hari, bulan, tahun, dan durasi (lamanya) masalah berlangsung.
- Siapa populasi berisiko	Kelompok masyarakat yang potensial terkena : golongan umur, kelompok berdasarkan tempat tinggal, pekerjaan, dan komunitas tertentu (komunitas hobi, komunitas adat, dll).
- Bagaimana kepedulian masyarakat :	Deskripsi aksi protes masyarakat, opini / pendapat masyarakat dan tokoh masyarakat, pandangan pakar, respon instansi yang berwenang menangani masalah tersebut (program / rencana program kerja terkait penanganan masalah).

Berikut adalah langkah-langkah dari penilaian resikopajanan toksik dilingkungan kerja:

2.1. Langkah 1 adalah identifikasi bahaya (Hazard Identification).

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam penilaian pajanan toksik yang digunakan untuk mengetahui secara spesifik agen risiko apa yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan bila tubuh terpajan. 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. Uraian apa yang harus dijawab dalam identifikasi bahaya dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Uraian langkah identifikasi bahaya

Pertanyaan	Uraian
<i>Agen risiko spesifik apa yang berbahaya :</i>	Agen risiko bahan kimia jelaskan spesi atau senyawa kimia apa yang berbahaya secara jelas. <i>Contoh: Merkuri (Hg) jelaskan apakah agen risiko berupa elemental mercury, anorganic mercury, atau organic mercury (methyl mercury).</i> Agen risiko biologi jelaskan spesiesnya.
<i>Di media lingkungan yang mana agen risiko eksisting :</i>	Jelaskan media lingkungan dimana agen risiko eksisting ; apakah di udara ambien, air, tanah, sludge, biota, hewan, dll. <i>Contoh : jika merkuri sebagai agen risiko, maka media lingkungan yang terkontaminasi antara lain air bersih, sludge (jika pada pertambangan emas rakyat), ataupun di hewan (ikan yang dikonsumsi).</i>

Pertanyaan	Uraian
Seberapa besar kandungan/konsentrasi agen risiko di media lingkungan :	Jelaskan konsentrasi hasil pengukurannya di media lingkungan.
Gejala kesehatan apa yang potensial :	Uraikan gejala kesehatan / gangguan kesehatan apa yang dapat terkait dengan agen risiko. Contoh : jika merkuri sebagai agen risiko maka gejala/gangguan kesehatan yang mungkin timbul antara lain, tremor, gemeteran pada saat berdiri, pusing pada saat berdiri, rasa nyeri pada tangan dan kaki, dan gangguan pada susunan saraf pusat

Untuk membantu dalam melakukan identifikasi bahaya dapat digunakan contoh formulir sebagaimana pada tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5 Contoh formulir bantu identifikasi bahaya

Sumber dan penggunaan	Media lingkungan potensial	Agen Risiko	Konsentrasi		
			Minimal	Rata - rata	Maksimal
Pertambangan mineral (emas, tembaga, perak dll)	Air permukaan (sungai, danau)	Merkuri Anorganik, Total Merkuri	- Merkuri Anorganik : mg/l	- Merkuri Anorganik : mg/l	- Merkuri Anorganik : mg/l
			- Total Merkuri : mg/l	- Total Merkuri : mg/l	- Total Merkuri : mg/l
	Lumpur (tailing)	Metil Merkuri, Merkuri Anorganik, Total Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Tanaman (buah, sayur, umbi)	Metil Merkuri, Merkuri Anorganik, Total Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Air tanah (sumur)	Merkuri Anorganik, Total Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Udara	Total Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
• Biota air (ikan, kerang, dsb)	Metil Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	

2.2. Langkah 2 : Analisis dosis - respon (dose-response assessment)

Setelah melakukan identifikasi bahaya (agen risiko, konsentrasi dan media lingkungan), maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dosis- respons yaitu 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 literature yang tersedia. Langkah analisis dosis respon ini dimaksudkan untuk :

- mengetahui jalur pajanan (*pathways*) dari suatu agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia.
- 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.

Di dalam laporan kajian ARKL ataupun dokumen yang menggunakan ARKL sebagai cara/ metode kajian, analisis dosis – respon perlu dibahas dan dicantumkan. Analisis dosis – respon dipelajari dari berbagai *toxicological reviews*, jurnal ilmiah, atau artikel terkait lainnya yang merupakan hasil dari penelitian eksperimental. Untuk memudahkan, analisis dosis – respon dapat dipelajari pada situs : www.epa.gov/iris.

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

- a) 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.
- b) 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.
- c) Untuk mengetahui *RfC*, *RfD*, dan *SF* suatu agen risiko dapat dilihat pada *Integrated Risk Information System (IRIS)* yang bisa diakses di situs www.epa.gov/iris.
- d) 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.

Untuk memudahkan dalam analisis dosis – respon, pada tabel 6 dan 7 disajikan contoh *RfD*, *RfC*, dan *SF*.

Tabel 6. Contoh *RfD*, dan *SF* beberapa agen risiko atau spesi kimia jalur ingesti

No (<i>RfD</i> , <i>SF</i>)	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) ⁻¹	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 ₂ (Klorin) bebas	1E-1 mg/kg/day	Pajanan kronik air minum tikus (NTP, 1992)
6	Cr ⁶⁺ (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 ⁻ (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 ⁻ (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 ₂ ⁻ (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)

Tabel 7. Contoh *RfC* beberapa agen risiko atau spesi kimia jalur inhalasi

No	Agent	Dosis Respon	Efek Kristis dan Referensi
<i>RfC</i>			
1	NH ₃	2,86E-2	Kenaikan keparahan rinitis dan pneumonia dengan lesi pernafasan pada uji hayati tikus subkronik (Broderson et al 1976)
2	H ₂ 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 ₂	2E-2	Gangguan saluran pernafasan (EPA/NAAQS 1990)
5	SO ₂	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. *RfD*, *RfC*, dan *SF* dari agen risiko yang lain serta update dari *RfD*, *RfC*, dan *SF* pada tabel di atas dapat dilihat dengan mengakses www.epa.gov/iris.

Tampilan evaluasi dosis - respon yang terdapat pada *toxicological review* pada situs tersebut, dapat dilihat pada contoh berikut.

Contoh: evaluasi dosis – respon (1)
Methylmercury (MeHg); CASRN 22967-92-6
 I.A.1. Oral RfD Summary

Critical Effect	Experimental Doses*	UF	MF	RfD
Developmental neuropsychological impairment Human epidemiological studies (Grandjean et al., 1997; Budtz-Jørgensen et al., 1999a)	Benchmark Dose: BMDL ₀₅ range of 46-79 ppb in maternal blood for different neuropsychological effects in the offspring at 7 years of age, corresponding to a range of maternal daily intakes of 0.857-1.472 µg/kg-day	10	1	1E-4 mg/kg-day (0.0001 mg/kg-day)

*Conversion Factors and Assumptions —Maternal daily dietary intake levels were used as the dose surrogate for the observed developmental effects in the children exposed in utero. The daily dietary intake levels were calculated from blood concentrations measured in the mothers with supporting additional values based on their hair concentrations. This conversion is explained in the text below. A benchmark dose approach (BMD) was used rather than a no-observed-adverse-effect level/lowest-observed-adverse-effect level (NOAEL/LOAEL) approach to analyze the neurological effects in children as the response variable. This analysis is also explained in the text below.
 This assessment updates the 1995 RfD assessment on IRIS and is the same as the RfD that was based on the study of a

poisoning episode in Iraq in which developmental neurotoxicity was observed following ingestion of methylmercury-treated grain (Marsh et al.1987).

Contoh: evaluasi dosis - respon (2)

Arsenic, inorganic (CASRN 7440-38-2)
 II.B. Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Oral Exposure
 II.B.1. Summary of Risk Estimates

Oral Slope Factor — 1.5E+0 per (mg/kg)/day

Drinking Water Unit Risk — 5E-5 per (µg/L)

Extrapolation Method — Time- and dose-related formulation of the multistage model (U.S. EPA, 1988)

Drinking Water Concentrations at Specified Risk Levels:

Risk Level	Concentration
E-4 (1 in 10,000)	2E+0 µg/L
E-5 (1 in 100,000)	2E-1 µg/L
E-6 (1 in 1,000,000)	2E-2 µg/L

2.3. Langkah 3 : Analisis pajanan (exposure assessment)

Setelah melakukan langkah 1 dan 2, selanjutnya dilakukan Analisis pemajanan yaitu dengan 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 (I_{nk})

1. Intake pada jalur pemajanan inhalasi (terhirup)

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

Keterangan :

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
I_{nk} (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 ³	Tidak ada nilai default
R (Rate)	: Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya	m ³ /jam	Dewasa : 0,83 m ³ /jam Anak – anak (6 – 12 tahun) : 0,5 m ³ /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
$t_{avg(nk)}$ (time average)	: 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>I_{nk}</i> (<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
<i>C</i> (<i>Concentration</i>)	: Konsentrasi agen risiko pada air bersih/minum atau pada makanan.	- mg/l (air) - mg/kg (makanan)	Tidak ada nilai default
<i>R</i> (<i>Rate</i>)	: Laju konsumsi atau banyaknya volume air atau jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya	- liter/hari (air) - gram/hari (makanan)	Air Minum - Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari - Anak – anak (pemukiman) : 1 liter/hari - Dewasa (lingkungan kerja) : 1 liter/hari Makanan - Buah – buahan : 42 gram/hari - Sayuran : 80 gram/hari - Ikan tangkapan : 54 gram/hari - Paparan pada pemukiman : 350 hari/tahun - Paparan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun
<i>f_E</i> (<i>frequency of exposure</i>)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	Residensial (pemukiman) / pajanan seumur hidup : 30 tahun
<i>D_t</i> (<i>duration time</i>)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Tahun	
<i>W_b</i> (<i>weight of body</i>)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	- Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg - Anak – anak : 15 Kg
<i>t_{avg(nk)}</i> (<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 (I_k)

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 ³	Tidak ada nilai default
R (Rate)	: Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya	m ³ /jam	Dewasa : 0,83 m ³ /jam Anak – anak (6 – 12 tahun) : 0,5 m ³ /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

Notasi	Arti notasi	Satuan	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)	Air Minum – Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari – Anak – anak (pemukiman) : 1 liter/hari – Dewasa (lingkungan kerja) : 1 liter/hari Makanan – Buah – buahan : 42 gram/hari – Sayuran : 80 gram/hari – Paparan pada pemukiman : 350 hari/tahun – Paparan pada Residensial (pemukiman) paparan seumur hidup : 30 tahun
f_E (frequency of exposure)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya paparan setiap tahunnya	Hari/tahun	– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg
D_t (duration time)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya paparan	Tahun	70 tahun x 365 hari/tahun =
W_b (weight of body)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	
$t_{avg(t)}$ (time average)	: Periode waktu rata – rata untuk efek karsinogenik	Hari	

Hal – hal yang perlu diketahui dan dicermati dalam melakukan analisis pemajanan adalah sebagai berikut :

- Terkait dengan variabel perhitungan yang lain (R , tE , fE , Dt , Wb , dan $tAVG$) asumsi didasarkan pada logika yang rasional atau nilai default yang sudah tersedia. Adapun nilai default untuk berbagai variabel pada _desktop_ ARKL dapat dilihat pada tabel 9 berikut.

Tabel 9 Nilai default dari faktor pajanan (Rahman, 2007)

Tataguna lahan	Jalur pajanan	Asupan harian	Frekuensi pajanan (hari/tahun)	Durasi pajanan (tahun)	Berat badan (kg)
Residensial	Air minum	2 L (dewasa)	350	30	70 ; 55 ^b
		1 L (anak)	350	6	15
	Tanah/debu (tertelan)	100 mg (dewasa)	350	24	70 ; 55 ^b
		200 mg (anak)	350	6	15
	Inhalasi (terhirup)	20 m ³ (dewasa) ≈ 0,83 m ³ /jam	350	30	70 ; 55 ^b
		12 m ³ (anak) ≈ 0,5 m ³ /jam	350	6	15
Industri & komersial	Air minum	1 L	250	25	70 ; 55 ^b
Pertanian	Tanaman perkarangan	42 g (buah - buahan)	350	30	70 ; 55 ^b
		80 g (sayur - mayur)	350	30	70 ; 55 ^b
	Air minum	2 L (dewasa)	350	30	70 ; 55 ^b
		1 L (anak)	350	6	15
	Tanah/debu (tertelan)	100 mg (dewasa)	350	24	70 ; 55 ^b
		200 mg (anak)	350	6	15
	Inhalasi (terhirup)	20 m ³ (dewasa) ≈ 0,83 m ³ /jam	350	30	70 ; 55 ^b
Rekreasi	Ikan tangkapan	54 g	350	30	70 ; 55 ^b

Disadur dari Rahman, 2007 : seluruhnya berasal dari *Exposure Factor Handbook* (EPA, 1990) kecuali ^bNukman et al (2005)

2.4. Langkah 4 : Karakterisasi risiko (risk characterization)

Langkah terakhir adalah karakterisasi risiko yang dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau dengan kata lain menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi pajanan yang tertentu) atau tidak.

Karakteristik risiko dilakukan dengan membandingkan / membagi *intake* dengan dosis /konsentrasi agen risiko tersebut. Variabel yang digunakan untuk menghitung tingkat risiko adalah *intake* (yang didapatkan dari analisis pemajanan) dan dosis referensi (*RfD*) / konsentrasi referensi (*RfC*) yang didapat dari literatur yang ada (dapat diakses di situs www.epa.gov/iris).

1. Karakterisasi risiko pada efek non karsinogenik

Perhitungan tingkat risiko non karsinogenik

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 :

$$\frac{I}{RfC} \dots\dots\dots \text{Rumus 5}$$

Keterangan

Digunakan untuk menghitung *RQ* pada pemajanan jalur inhalasi (terhirup)

I (intake) : Intake yang telah dihitung dengan rumus 1

RfC (reference concentration) : Nilai referensi agen risiko pada pemajanan inhalasi.

Didapat dari situs www.epa.gov/iris.

$$\frac{I}{RfC} \dots\dots\dots \text{Rumus 6}$$

Keterangan

Digunakan untuk menghitung *RQ* pada pemajanan jalur ingesti (tertelan)

- I (intake)* : Intake yang telah dihitung dengan rumus 2
- RfD (reference dose)* : Nilai referensi agen risiko pada pemajanan ingesti. Didapat dari situs www.epa.gov/iris.

Interpretasi tingkat risiko non karsinogenik

Tingkat risiko yang diperoleh pada ARKL merupakan konsumsi pakar ataupun praktisi, sehingga perlu disederhanakan atau dipilih bahasa yang lebih sederhana agar dapat diterima oleh khalayak atau publik. Tingkat risiko dinyatakan dalam angka atau bilangan desimal tanpa satuan. Tingkat risiko dikatakan **AMAN** bilamana $intake \leq RfD$ atau $RfCnya$ atau dinyatakan dengan $RQ \leq 1$. Tingkat risiko dikatakan **TIDAK AMAN** bilamana $intake > RfD$ atau $RfCnya$ atau dinyatakan dengan $RQ > 1$.

Narasi yang digunakan dalam penyederhanaan interpretasi risiko agar dapat diterima oleh

khalayak atau publik harus memuat sebagai berikut

:

- Pernyataan risiko \Rightarrow 'aman' atau 'tidak aman'
- Jalur pajanan (dasar perhitungan) \Rightarrow 'inhalasi' atau 'ingesti'
- Konsentrasi agen risiko (dasar perhitungan) \Rightarrow mis. '0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ', '0,02 mg/l ', dll
- Populasi yang berisiko \Rightarrow mis. 'pekerja tambang', 'masyarakat di sekitar jalan tol', dll
- Kelompok umur populasi (dasar perhitungan) \Rightarrow 'dewasa' atau 'anak - anak'
- Berat badan populasi (dasar perhitungan) \Rightarrow mis. '15 kg', '55 kg', '65 kg', '70 kg', dll
- Frekuensi pajanan (dasar perhitungan) \Rightarrow mis. '350 hari/tahun', '250 hari/tahun', dll
- Durasi pajanan (dasar perhitungan) \Rightarrow mis.yang terpajan selama '10 tahun', '30 tahun', dll

Contoh : Tingkat risiko

RQ untuk pajanan Pb (inhalasi) sebesar 0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada masyarakat dewasa yang tinggal di sekitar jalan tol dengan berat badan rata - rata 55 kg dan telah terpajan 350 hari/tahun selama 20 tahun diketahui sebesar 0,098

maka

Interpretasi risiko

Pajanan Pb sebesar 0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secara inhalasi pada masyarakat dewasa yang tinggal di sekitar jalan tol dengan berat badan 55 Kg, masih aman untuk frekuensi pajanan 350 hari/tahun hingga 20 tahun mendatang.

Perhitungan tingkat risiko karsinogenik

Tingkat risiko untuk efek karsinogenik dinyatakan dalam notasi *Excess Cancer Risk (ECR)*. Untuk melakukan karakterisasi risiko untuk efek karsinogenik dilakukan perhitungan dengan mengkali *intake* dengan *SF*. Rumus untuk menentukan *ECR* adalah sebagai berikut :

$$ECR = I \times SF \dots\dots\dots \text{Rumus 7}$$

Keterangan

Digunakan untuk menghitung *tingkat risiko* pada agen risiko dengan efek karsinogenik

- I (intake)* : Intake yang telah dihitung dengan rumus 3 atau rumus 4
- SF (slope factor)* : Nilai referensi agen risiko dengan efek karsinogenik. Didapat dari situs www.epa.gov/iris.

Interpretasi tingkat risiko karsinogenik

Tingkat risiko dinyatakan dalam bilangan eksponen tanpa satuan (cth. $1,3E-4$). Tingkat risiko dikatakan *acceptable* atau aman bilamana $ECR \leq E-4$ (10^{-4}) atau dinyatakan dengan $ECR \leq 1/10.000$. Tingkat risiko dikatakan *unacceptable* atau tidak aman bilamana $ECR > E-4$ (10^{-4}) atau dinyatakan dengan $ECR > 1/10.000$.

Contoh : $ECR = 1,3E-5$ ($1,3 \times 10^{-5}$) dapat diinterpretasikan sebagai berikut : “terdapat 1,3 kasus dalam 100.000 orang yang dapat berkembang menjadi kasus kanker” atau “terdapat 1,3 orang yang berisiko terkena kanker pada 100.000 orang populasi”.

Narasi yang digunakan dalam risiko karsinogenik harus memuat sebagai berikut :

- Pernyataan risiko \Rightarrow ‘*acceptable*’ atau ‘*unacceptable*’ (‘aman’ atau ‘tidak aman’)
- Jalur pajanan (dasar perhitungan) \Rightarrow ‘inhalasi’ atau ‘ingesti’
- Konsentrasi agen risiko (dasar perhitungan) \Rightarrow mis. ‘0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’, ‘0,02 mg/l ’, dll
- Populasi yang berisiko \Rightarrow mis. ‘pekerja tambang’, ‘masyarakat di sekitar jalan tol’, dll
- Kelompok umur populasi (dasar perhitungan) \Rightarrow ‘dewasa’ atau ‘anak – anak’
- Berat badan populasi (dasar perhitungan) \Rightarrow mis. ‘15 kg’, ‘55 kg’, ‘65 kg’, ‘70 kg’, dll
- Frekuensi pajanan (dasar perhitungan) \Rightarrow mis. ‘350 hari/tahun’, ‘250 hari/tahun’, dll
- Durasi pajanan (dasar perhitungan) \Rightarrow mis.yang terpajan selama ‘10 tahun’, ‘30 tahun’, dll
- Risiko kanker \Rightarrow mis. “terdapat 1,3 kasus dalam 100.000 orang yang dapat berkembang menjadi kasus kanker” atau “terdapat 1,3 orang yang berisiko terkena kanker pada 100.000 orang populasi”.

Contoh : *Tingkat risiko*

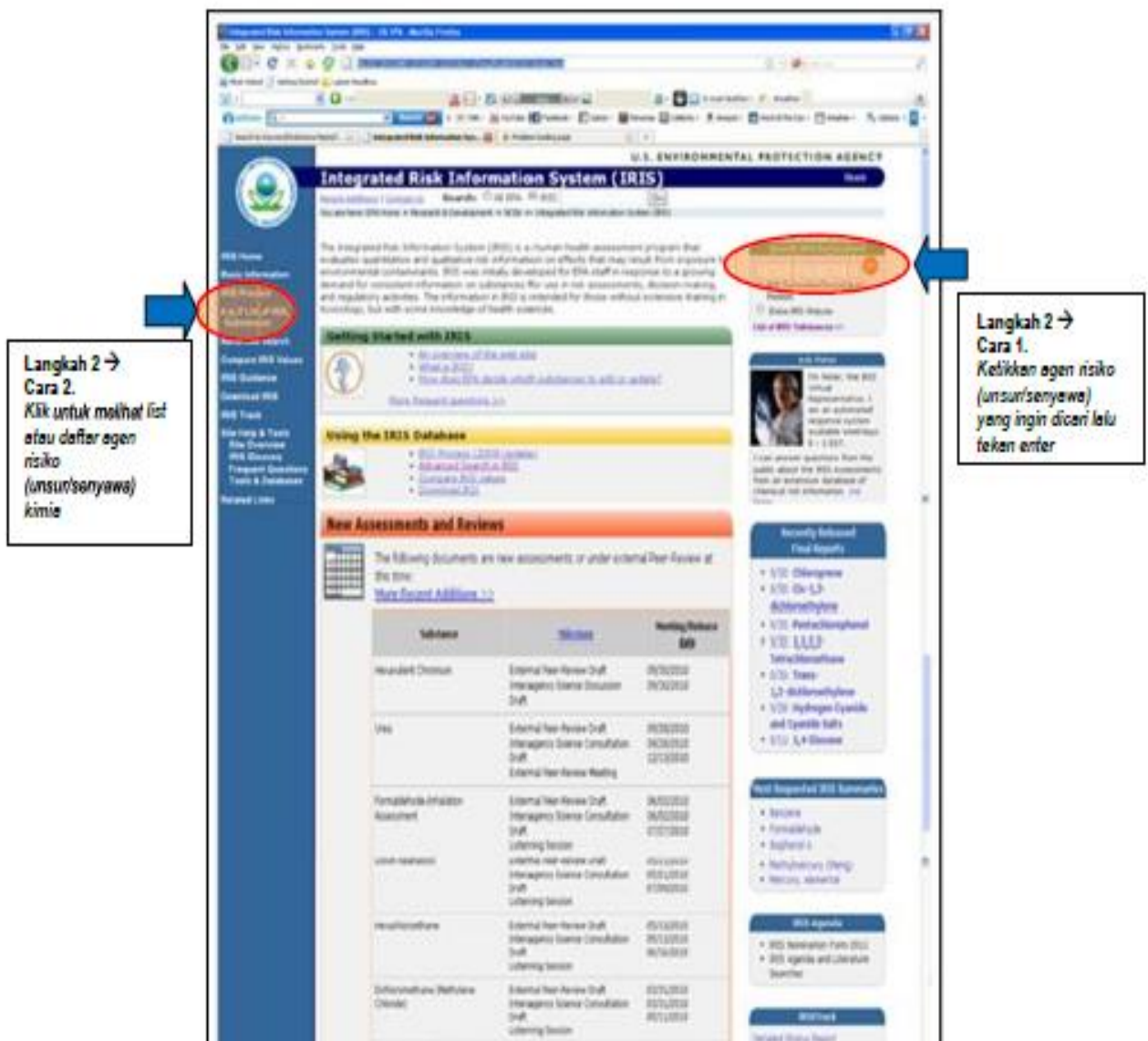
ECR untuk pajanan benzene (inhalasi) sebesar $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada pekerja depo penampungan BBM di Jakarta dengan berat badan rata - rata 60 kg dan telah terpajan 250 hari/tahun selama 10 tahun diketahui sebesar $4,56E-4$

Cara mencari RfD, RfC, SF pada situs www.epa.gov/iris

Langkah 1. Pastikan koneksi internet tersedia lalu ketikkan : <http://www.epa.gov/iris> pada address bar.



Selanjutnya akan muncul tampilan sebagai berikut :



Langkah 2 → Cara 1.
Klikkan agen risiko (unsur/senyawa) yang ingin dicari lalu tekan enter

Langkah 2 → Cara 2.
Klik untuk melihat list atau daftar agen risiko (unsur/senyawa) kimia

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
Integrated Risk Information System (IRIS)

The Integrated Risk Information System (IRIS) is a human health assessment program that evaluates qualitative and quantitative risk information on effects that may result from exposure to environmental contaminants. IRIS was initially developed for use by EPA staff in response to a growing demand for consistent information on substances for use in risk assessments, decision-making, and regulatory activities. The information in IRIS is intended for those without extensive training in toxicology, but with some knowledge of health sciences.

Getting Started with IRIS

- [An overview of the IRIS site](#)
- [What is IRIS?](#)
- [How does IRIS work? What substances is IRIS used for?](#)

[View Research Activities »](#)

Using the IRIS Database

- [IRIS Process \(2010 update\)](#)
- [Advanced Search in IRIS](#)
- [Language File Update](#)
- [Guidance PDF](#)

New Assessments and Reviews

The following documents are new assessments or under external Peer Review at this time:
[View Recent Additions »](#)

Substance	Document	Posting/Review Date
Hexachlor Chlorax	External Peer Review Draft	06/20/2010
	Interagency Science Discussion Draft	06/20/2010
Vas	External Peer Review Draft	06/20/2010
	Interagency Science Consultation Draft	06/20/2010
	External Peer Review Meeting	07/12/2010
Formaldehyde Inhalation Assessment	External Peer Review Draft	06/20/2010
	Interagency Science Consultation Draft	06/20/2010
	Outgoing Section	07/07/2010
Lead (element)	External Peer Review Draft	06/20/2010
	Interagency Science Consultation Draft	06/20/2010
	Outgoing Section	07/09/2010
Hexachlorobenzene	External Peer Review Draft	05/11/2010
	Interagency Science Consultation Draft	05/11/2010
	Outgoing Section	06/24/2010
Dichloromethane (Methylene Chloride)	External Peer Review Draft	07/07/2010
	Interagency Science Consultation Draft	07/07/2010
	Outgoing Section	07/12/2010

Recently Released Final Reports

- [VOC: Chloroform](#)
- [VOC: Di-1,2-Dichloroethane](#)
- [VOC: 1,1,1,2-Tetrachloroethane](#)
- [VOC: Toluene](#)
- [VOC: 1,2-Dichloroethane](#)
- [VOC: Hydrogen Cyanide and Cyanide Salts](#)
- [VOC: 1,4-Dioxane](#)

Most Requested IRIS Assessments

- [Benzene](#)
- [Formaldehyde](#)
- [Asbestos](#)
- [Anthracene \(DHP\)](#)
- [Mercury, Methyl](#)

IRIS updates

- [IRIS Reassessment Plans \(RIP\)](#)
- [IRIS Agents and Literature Searches](#)

[IRIS Home](#)

[Detailed Status Report](#)

Nilai *RfD* untuk senyawa benzene dapat dilihat pada bagian ‘_I.A.1. Oral RfD Summary’ seperti pada tampilan di bawah ini.

I.A.1. Oral RfD Summary				for Carcinogen Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Oral Exposure
Critical Effect	Experimental Dose*	UF	MF	RfD
Decreased lymphocyte count (Human occupational inhalation study; Rothman et al., 1996)	BMDL = 1.2 mg/kg/day	500	1	4.8×10^{-7} mg/kg/day

Conversion factors: MW = 78.11, Assumed 20°C and 760 mm Hg, BMDL (mg/m³) = 7.2 (ppm) × 10⁻⁶, BMDL (μg) = 20 (ppm) × 10 m³/20 m³ × 6 days/Week × 6.2 (ppm)⁻¹. The BMDL was derived by nonlinear extrapolation with the assumption that inhalation absorption was 50% and oral absorption was 100% in the dose range near the BMDL. BMDL_{oral} = 6.2 (ppm)⁻¹ × 20 m³/Week × 6.5 × 70 kg = 1.2 mg/kg/day. (The original BMDL was based on a benchmark response of one standard deviation change from the control mean.)

Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Inhalation Exposure
<ul style="list-style-type: none"> Summary of Risk Estimated Dose-Response Data Additional Comments Discussion of Confidence

Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Inhalation Exposure

<ul style="list-style-type: none"> Summary of Risk
