

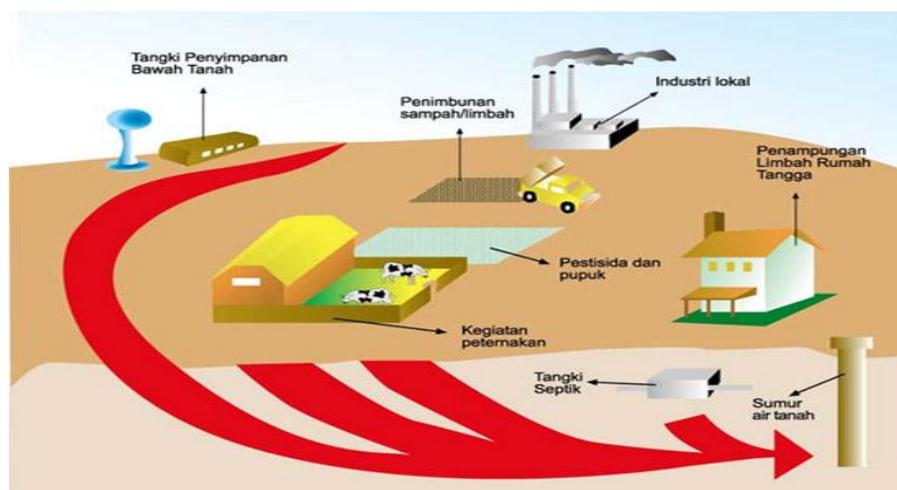
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pencemaran Air Tanah

Pencemaran adalah suatu penyimpangan dari keadaan normalnya. Maka pencemaran air tanah adalah suatu keadaan air tersebut telah mengalami penyimpangan dari keadaan normalnya. Keadaan normal air masih tergantung pada faktor penentu, yaitu kegunaan air itu sendiri dan asal sumber air (Harmayani, 2007).

Air tanah merupakan sumber daya alam bersifat *non-renewable*, sehingga tidak dapat diperbaharui. Ditambah dengan perkembangan area pemukiman, area industri yang berpotensi menghasilkan zat-zat pencemar. Potensi pencemaran air tanah dapat berasal dari berbagai aspek, diantaranya adalah pengaruh geomorfologi yaitu bentuk permukaan bumi, litologi yaitu batuan, geologi, iklim dan penggunaan lahan. Potensi pencemaran tanah dan air tanah akan semakin tinggi untuk media yang bersifat porus (lolos air) dimana faktor tersebut akan mempengaruhi kecepatan aliran air tanah dan sebarannya (Marsono, 2009).



Gambar 2.1 Sumber pencemaran air tanah  
(Sumber : Warta, 2010)

Salah satu faktor potensi pencemaran tanah dan air tanah adalah karena adanya tumpahan (*spill*) atau kebocoran minyak pada tangki penyimpanan bahan bakar minyak di SPBU. Kandungan produk minyak bumi merupakan kelompok kontaminan hidrokarbon atau pencemar organik mudah menguap yang paling berpotensi terhadap pencemaran air tanah apabila terpapar atau mencemari tanah dan air tanah. Sejalan dengan penggunaan BBM yang intensif, terutama sebagai suatu kebutuhan sumber energi, maka kemungkinan potensi pencemaran oleh bahan bakar minyak pada tanah dan air tanah sangat besar (Setyaningsih, 2007).

## **2.2 Benzene, Toluene, Ethyl Benzene, Xylene (BTEX)**

Benzena merupakan sebuah cairan yang tidak berwarna dengan bau yang khas, mudah menguap dan memiliki kelarutan yang kecil di air yang sering digunakan di industri sebagai bahan pembuat detergen, pewarna, pelumas dan pestisida dan paparan benzena sering ditemukan di udara berasal dari asap rokok, SPBU dan kendaraan bermotor. Konsentrasi benzena paling tinggi dalam ruangan maupun luar ruangan akan ditemukan di sekitar sumber emisi seperti Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (WHO-Europe, 2000).

Toluena merupakan pelarut yang sering digunakan dan menjadi bahan pencampur bensin bersama dengan benzena dan xilena. Toluena digunakan untuk membuat car, tiner cat, cat kuku serta pada beberapa proses percetakan dan penyamakan kulit sehingga paparan toluena dapat berasal dari akibat terkontaminasi oleh makanan maupun udara. Toluena ditemukan pada air tanah dan air permukaan sebesar 99% dan 77% ditemukan pada tanah di tempat pembuangan akhir limbah B3 (EPA, 1998).

Etilbenzena adalah cairan tidak berwarna dan berbau seperti bensin. Etilbenzena di tanah terurai oleh bakteri yang ada dalam tanah, sedangkan untuk etilbenzena di udara terurai kurang dari 3 hari dengan bantuan sinar matahari. Etilbenzena dalam konsentrasi tinggi yang ditemukan dalam air berasal dari

pemukiman yang memiliki sumur dekat dengan TPA, tempat pembuangan limbah B3 maupun tangki pendam SPBU yang bocor (ATSDR, 2010).

Xilena digunakan sebagian besar sebagai pelarut dalam industri percetakan karet dan kulit (Jacobson & McLean, 2003). Xilena dapat dengan mudah terurai matahari, namun untuk keberadaan xilena pada tanah dapat menembus hingga ke air tanah dan mengakibatkan kontaminasi pada air minum. Keberadaan xilena pada air tanah yang terkontaminasi adalah melebihi dari 10000 ppb. Paparan xilena dapat terjadi dengan minum maupun makan dari minuman dan makanan yang telah terkontaminasi xilena. Pemaparan melalui oral akibat kontaminasi xylene lebih dikarenakan kurang higienis pekerja setelah menggunakan atau setelah terpapar xylene, seperti makan tanpa mencuci tangan. Pemaparan via oral yang melebihi ambang batas dapat langsung masuk ke dalam saluran pencernaan dan dapat mengiritasinya, namun sebagian besar dengan paparan yang kurang dari ambang batas hanya akan bergerak menuju hati dan dimetabolisis kemudian diekresikan. Dikarenakan xylene memiliki karakteristik mudah menguap maka pemaparan melalui inhalasi dapat menyebabkan uap xylene dapat terabsorpsi dengan cepat melalui paru-paru (Jacobson dan McLean, 2003). Pemaparan melalui dermal menyebabkan kulit mengalami kerusakan berupa larutnya lemak oleh xylene. Hal ini dikarenakan xylene memiliki karakteristik mudah larut dalam lemak. Tujuan akhir pengangkutan xylene berada di hati. Selama di hati xylene akan mengalami proses metabolisme dimana xylene akan terabsorpsi ke dalam tubuh, 95% di metabolisme dalam hati menjadi *methyl hippuric acid* (MHA). MHA adalah hasil pengolahan xylene oleh tubuh yang dikeluarkan bersama urin. 70-80% hasil metabolisme diekresikan melalui urin dalam jangka waktu 24 jam (Jacobson dan McLean, 2003).

### **2.3 Jalur Masuk BTEX**

#### **a) Inhalasi (Terhirup)**

Jalur inhalasi merupakan jalur paparan yang umum untuk masuknya bensin ke dalam tubuh. Umumnya, bau bensin memberikan peringatan akan adanya konsentrasi

yang berbahaya. Ambang batas bau bensin adalah 0.025 ppm. Dengan paparan akut dapat menyebabkan iritasi iritasi, telinga berdenging, mual, muntah, dada terasa perih, sukar bernafas, denyut jantung tidak normal, sakit kepala, lemah, mabuk dan koma.

b) Tertelan

Bensin bersifat toksik sedang jika tertelan. Namun, absorpsi bensin melalui saluran pencernaan tidak secepat absorpsi bensin jika melalui saluran pernafasan. Menelan sejumlah bensin dalam jangka waktu pendek (akut) dapat menimbulkan efek buruk terhadap sistem saraf. Efek yang ditimbulkan akan bertambah berat seiring dengan meningkatnya jumlah bensin yang tertelan. Pada orang dewasa, menelan 20-50 gram bensin dapat menimbulkan keracunan berat. Kadar bensin yang dapat menimbulkan kematian adalah sekitar 350 gram jika tertelan. Pada anak-anak, menelan 10 hingga 15 gram bensin berakibat fatal.

c) Kontak kulit

Pada paparan akut bensin dapat mengiritasi kulit dan menyebabkan kulit melepuh. Jika bensin terperangkap di kulit, misalnya pada kejadian pakaian terendam dalam bensin atau kulit kontak dengan genangan bensin, dapat menimbulkan luka bakar. Paparan berulang menyebabkan kulit kering dan dermatitis. Bentuk uap air yang mengandung benzena akan lebih lambat terabsorpsi pada kulit dibandingkan dengan benzena yang cair dengan rata-rata permeabilitas kulit sebesar  $0,002 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{-hr})$  sedangkan untuk bentuk cair adalah sebesar  $550 \text{ mg/m}^2/\text{hr}$  (EPA, 1982).

## 2.4 Efek BTEX bagi Kesehatan dan Lingkungan

Pajanan ringan menyebabkan denyut jantung tidak teratur, sakit kepala, pusing, mual dan bahkan pingsan jika pajanan dilakukan dalam waktu lama, gejala ini dapat terjadi pada tingkat konsentrasi benzena antara 300-3000 ppm (Midzenski et al. 1992). Pada pajanan terus-menerus dapat mengakibatkan kerusakan pada sumsum tulang manusia, kerusakan DNA pada sel mamalia dan penurunan sistem kekebalan

tubuh. Tabel 2.1 menjelaskan kumpulan berbagai konsentrasi BTEX yang dilaporkan berada pada air tanah dan air permukaan sehingga dapat digolongkan menjadi air permukaan dan air tanah yang terkontaminasi dan tidak terkontaminasi oleh BTEX.

Tabel 2.1 Konsentrasi BTEX dalam Air

<b>Kontaminan</b>	<b>Air Permukaan (ppb)</b>	<b>Air Permukaan terkontaminasi (ppb)</b>	<b>Air Tanah (ppb)</b>	<b>Air Tanah terkontaminasi (ppb)</b>
Benzena	<0,1-0,2	<i>Up to 100</i>	<0,1-1,8	<i>Up to 330</i>
Toluena	<1-15	NA	<1-100	<i>Up to 3500</i>
Etilbenzena	<0,1-1,8	<i>Up to 15</i>	<0,1-1,1	<i>Up to 2000</i>
Total Xilena	<0,1-1,2	<i>Up to 32</i>	<0,1-0,5	<i>Up to 1340</i>

(Sumber : Leush, 2010)

Keberadaan benzena dalam air tanah pada umumnya sangat rendah karena sifatnya yang mudah menguap, sehingga pajanan akut untuk benzena lebih banyak disebabkan oleh akibat pajanan melalui rute inhalasi. Toluena dapat terdeteksi di air tanah dan saluran air minum, namun persebarannya tidak luas dan memiliki konsentrasi yang rendah yakni sekitar dibawah 3 ppb (untuk air terkontaminasi dapat lebih dari 3500 ppb dalam air tanah). Etilbenzena pada air tanah yang tidak terkontaminasi berada pada kisaran konsentrasi <0,1 ppb. Tetapi, konsentrasi etilbenzena yang lebih tinggi dapat ditemukan pada air tanah yang terkontaminasi oleh industri, tumpahan minyak, dan tempat pembuangan. Pada umumnya xilena hanya ditemukan dalam konsentrasi rendah di air tanah (<0,1 ppb). Konsentrasi lebih tinggi ditemukan pada air tanah yang terkontaminasi limbah industri (Leusch et al. 2010).

Tabel 2.2 Baku mutu BTEX untuk Air Minum

Kontaminan	NPDWR, USEPA 2009 <sup>a</sup> (ppb)	DWG WHO, 2008 <sup>b</sup> (ppb)	PERMENKES 492, 2010 <sup>c</sup> (ppb)
Benzena	5	10	10
Toluena	1000	700	700
Etilbenzena	700	300	500
Xilena	10000	500	300

(<sup>a</sup>National primary Drinking Water Regulation USEPA 2009, <sup>b</sup> Drinking Water Guidelines WHO 2008. Peraturan Menteri Kesehatan No 492 TAHUN 2010)

Lingkungan yang telah tercemar BTEX dapat mengakibatkan perubahan kimiawi tanah dari adanya bahan kimia beracun/berbahaya pada bensin bahkan pada dosis rendah sekalipun. Sehingga, menyebabkan perubahan metabolisme dari mikroorganisme endemik dan antropoda yang hidup di lingkungan tanah tersebut. Akibatnya, dapat memusnahkan beberapa spesies primer dari rantai makanan. Kecepatan dan arah aliran air tanah juga merupakan salah satu faktor dimana sangat menentukan kemampuan air dalam melarutkan polutan. Kemampuan air tanah melalui batuan tergantung pada permeabilitas batuan maka dapat disimpulkan bahwa rembesan bensin dapat menutupi sebagian pori tanah dan mengurangi efektivitas pelepasan karbon dalam tanah. Karbon yang dihasilkan oleh mikroba akan tersimpan dan tidak dapat dikeluarkan, tentu saja akan sangat berpengaruh terhadap kesuburan tanah. Tanah yang telah terkontaminasi oleh pencemar seperti solar dikategorikan sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003 karena akan berdampak langsung bagi manusia.

## 2.5 *Headspace* dan GC-MS

*Headspace* atau *Equilibrium Headspace Extraction, One-Step Gas Extraction* merupakan cara yang sederhana dan efektif untuk menganalisis senyawa karena menggunakan injeksi langsung senyawa yang dibebaskan dari sampel. Metode ini menggunakan uap sampel, dimana sampel cair atau padat diubah menjadi fase gas.

GC-MS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan Spektrofometri Massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Saat GC dikombinasikan dengan MS, akan didapatkan sebuah metode analisis yang sangat baik. Peneliti dapat menganalisis larutan organik, memasukkannya ke dalam instrumen, memisahkannya menjadi komponen tinggal dan langsung mengidentifikasi larutan tersebut. Selanjutnya, peneliti dapat menghitung analisa kuantitatif dari masing-masing komponen.

*Headspace* dipilih karena sampel yang berbentuk cair yang tidak memungkinkan untuk langsung disuntikkan ke dalam gerbang suntik. Sampel tersebut masih perlu diproses secara bertingkat dan lama agar dapat disuntikkan ke dalam gerbang suntik (Sari, 2010). Kelebihan metode ini adalah sampel yang digunakan dapat berupa padatan atau cairan. Kelemahannya yaitu pada saat pengujian sampel, udara yang berada disekitar tabung dapat mengganggu proses analisis dan analit yang dihasilkan sering tidak cukup pekat sehingga hasil yang diperoleh kurang akurat.

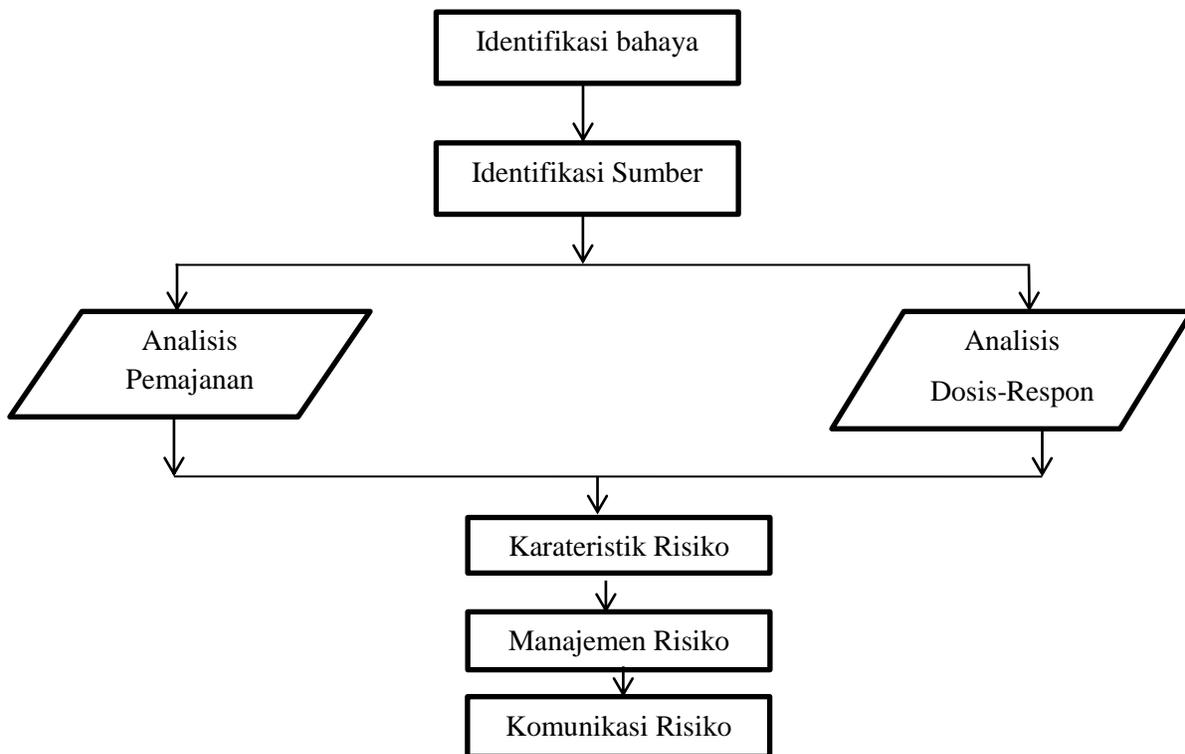


Gambar 2.2 Alat *Headspace GC-MS*

(Sumber : Dokumentasi penelitian)

## 2.6 Analisis Risiko (*Risk Analysis*) dan Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Risiko adalah probabilitas suatu populasi yang disebabkan oleh pajanan suatu agen dalam jumlah dan jalur pajanan tertentu atau dampak merugikan kesehatan pada suatu organisme, sistem. (IPCS, 2004). Sedangkan manajemen risiko adalah suatu proses untuk mengelola risiko yang ada dalam setiap kegiatan (OHSAS 18001, 2007).



Gambar 2.3 Langkah-langkah analisis risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko (US-EPA/NRC, 1983).

Penilaian risiko dilakukan dengan membandingkan perhitungan *intake* dengan berbagai metode yang telah ditetapkan oleh US-EPA. Diantaranya adalah dosis asupan harian yang diterima, metode pengukuran faktor risiko karsinogenik, dan metode pengukuran faktor risiko nonkarsinogenik.

### **2.6.1 Identifikasi Sumber Bahaya (*Hazard Identification*)**

Identifikasi bahaya merupakan tahap pertama dalam langkah-langkah penilaian risiko (IPSC, 2004). Identifikasi bahaya juga didefinisikan “*The process of determining what, here, why, and how something could happen*”(AS-NZS 4360, 2004). Bahaya dapat diketahui dengan berbagai cara dan dari berbagai sumber, yaitu dari peristiwa atau kecelakaan yang pernah terjadi, pemeriksaan ke tempat penelitian, melakukan wawancara/penyebaran kuisioner dengan pekerja/masyarakat di lokasi penelitian, informasi dari pekerja atau warga/masyarakat, data keselamatan bahan (*material safety data sheet*) dan lainnya (Ramli, 2010).

### **2.6.2 Analisis Dosis - Respon**

Analisis dosis-respon disebut juga *dose-response assessment* atau *toxicity assessment* yaitu menetapkan nilai-nilai risk agent untuk setiap bentuk spesi kimianya (Rahman et al, 2004). Toksisitas dinyatakan sebagai dosis referensi (*reference dose*, RfD) untuk efek nonkarsinogenik dan *Cancer Slope Factor* (CSF) atau *Cancer Unit Risk* (CCR) untuk efek karsinogenik. Dalam analisis dosis-respon, dosis dinyatakan sebagai *risk agent* yang terhirup (*inhaled*), tertelan (*ingested*) atau terserap melalui kulit (*absorbed*) per kg berat badan per hari (mg/kg/hari) (Rahman et al. 2004). Dosis referensi dibedakan untuk pajanan oral atau tertelan (ingesti, untuk makanan dan minuman) yang disebut RfD dan untuk pajanan inhalasi (udara) yang disebut *reference concentration* (RfC).

### 2.6.3 Analisis Pemajanan (*Exposure Assessment*)

*Exposure assessment* adalah langkah evaluasi pemajanan dari sistem, organisme atau sub (populasi) terhadap suatu agen (IPCS, 2004). Dalam analisis ini dilakukan identifikasi tentang dosis atau jumlah *risk agen* yang diterima seseorang (*Intake/asupan*) yang masuk melalui ingesti (saluran pencernaan) maupun kulit. *Intake* (asupan) adalah jumlah asupan yang diterima individu per berat badan per hari (Louvar dan Louvar, 1998). Dibawah ini merupakan Perhitungan untuk mencari nilai *intake* dari jalur pajanan yakni sebagai berikut :

#### **INTAKE (ORAL)**

$$I = \frac{CW \times CR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

I : Asupan/*Intake* (mg/kg/hari)

CW : Konsentrasi *risk agent*, mg/m<sup>3</sup> untuk medium udara, mg/l untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan.

CR : Laju (*rate*) asupan (m<sup>3</sup>/jam)

tE : Waktu pajanan/bekerja dalam sehari (jam/hari)

fE : Frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

Dt / ED : Durasi pajanan, tahun (*real time* atau proteksi, 30 tahun untuk nilai default residensial)

BW : Berat badan (kg)

AT : Periode waktu rata-rata, (Dt x 365 hari/tahun untuk zat nonkarsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

#### **INTAKE ( DERMAL)**

$$I = \frac{CW \times SA \times PC \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

CW	: Konsentrasi Kontaminan dalam air (mg/l)
SA	: <i>Skin Surface Contact Area</i> Z(cm <sup>2</sup> )
PC	: <i>Dermal Permeability Constan</i> (cm/jam) (0.11)
ET	: Waktu paparan (jam/ <i>even</i> ) , jalur media spesifik
EF	: Frekuensi paparan (hari/tahun)
ED	: Durasi paparan (tahun)
CF	: Faktor Konversi Volumetrik Untuk Air, (1 liter/1000 m <sup>3</sup> )
BW	: Berat badan (kg)
AT	: Rerata waktu (hari), jalur spesifik.

#### 2.6.4 Karakteristik Risiko (*Risk Charaterization*)

Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ, tingkat risiko) untuk efek-efek nonkarsinogenik (IPCS, 2010) dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek-efek karsinogenik (enHelath, 1992). Penelitian ini menggunakan nilai RFD yang telah menjadi indikator yang banyak digunakan dalam toksisitas kronis, dan telah ditetapkan untuk nilai oral dan inhalasi terhadap senyawa berbahaya paling umum, yaitu dengan nilai RFD (0,029) untuk senyawa Benzena (Watts, 1997). Nilai RfD (*Reference Dose*) 0,029 ini yang akan digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan nonkanker akibat pajanan benzena dengan nilai RfD yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya, sedangkan nilai RfD untuk senyawa etilbenzena , toluena dan xilena menggunakan nilai dari ketentuan *Environmental Protection Agency* (EPA, 1996) dengan nilai RfD toluena 0,08, etilbenzena 0,01, dan xilena 0,02 dengan satuan mg/kg-hari. Penentuan RQ dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$RQ = \frac{I}{RfD \text{ atau } RfC} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :  
RQ = *Risk Qoutient*

I = *Intake* ( mg/kg x hari)  
 RfD = *reference dose* (mg/kg x hari)

Risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika  $RQ > 1$ . Namun apabila  $RQ \leq 1$ , risiko tidak perlu dikendalikan tetapi perlu dipertahankan agar nilai numerik RQ tidak lebih dari 1 (Rahman et al, 2004). Risiko karsinogenik dihitung dengan total lama pajanan sepanjang hayat (*lifetime*). Perhitungan risiko kanker, akan membutuhkan data pajanan sepanjang hayat dan juga nilai CSF (*Cancer Slope Factor*). Nilai CSF yang digunakan adalah nilai yang diadopsi dari US-EPA dan berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Rothman et al (US-EPA, 1996) yaitu dengan nilai *slope* faktor pada senyawa bahan kimia umum untuk Benzena adalah 0,029 (Watts, 1997 ) Sementara, untuk perhitungan tingkat risiko karsinogenik dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$ERC = I_k \times CSF \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

ECR : *Excess Cancer Risk* (Risiko kanker )

$I_k$  : *Intake/asupan* kronis (sepanjang hayat, yaitu 70 tahun)

CSF : *Cancer slope factor*.

Penilaian asupan karsinogenik dengan nonkarsinogenik tidak sama karena perbedaan bobot waktu rata-ratanya ( $t_{avg}$ ). *Cancer slope factor* didefinisikan sebagai hubungan kuantitatif antara dosis dan respon, yang memperkirakan besar peluang seseorang (individu) berkembang menjadi kanker karena terpajan (seumur hidup) oleh suatu agen kanker yang potensial (Louvar dan Louvar, 1998). Pada penelitian ini perhitungan risiko kanker hanya dilakukan pada pajanan oleh senyawa *benzene* karena *benzene* merupakan senyawa karsinogenik golongan A (karsinogenik pada manusia) (IARC, 2005).