



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAJANAN BENZENA
PADA KARYAWAN DI SPBU 'X' PANCORANMAS DEPOK
TAHUN 2011**

SKRIPSI

**RENDY NOOR SALIM
0906617145**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
PROGRAM STUDI SARJANA KESEHATAN MASYARAKAT
DEPARTEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAJANAN BENZENA
PADA KARYAWAN DI SPBU 'X' PANCORANMAS DEPOK
TAHUN 2011**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Kesehatan Masyarakat**

**RENDY NOOR SALIM
0906617145**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
PROGRAM STUDI SARJANA KESEHATAN MASYARAKAT
DEPARTEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
DEPOK
JANUARI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Rendy Noor Salim

NPM : 0906617145

Tanda Tangan :



Tanggal : 13 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rendy Noor Salim
NPM : 0906617145
Program Studi : Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Judul Skripsi :

“ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAJANAN BENZENA PADA KARYAWAN DI SPBU ‘X’ PANCORANMAS DEPOK TAHUN 2011”

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat pada Program Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Robiana Modjo SKM., M.Kes 

Penguji : Doni Hikmat Ramdhan SKM., M.KKK., Ph.D 

Penguji : Yuni Kusminanti SKM., M.Si 

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Januari 2012

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Rendy Noor Salim

NPM : 0906617145

Mahasiswa Program : Sarjana Kesehatan Masyarakat

Tahun Akademik : 2009

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul:

Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Pada Karyawan Di SPBU 'X' Pancoranmas Depok Tahun 2011

Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan plagiat maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 25 Januari 2012



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Terhadap Karyawan di SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat jurusan Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ibu Dr. Robiana Modjo, SKM., M.Kes, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Bapak Doni Hikmat Ramdhan, SKM., M.Kes, selaku penguji 1 yang telah bersedia untuk berkenan hadir, memberikan kritik, masukan dan saran terhadap perbaikan dalam penulisan skripsi ini;
- (4) Mba Yuni Kusminanti, SKM, M.Si, selaku penguji 2 yang telah bersedia untuk berkenan hadir, memberikan kritik, masukan dan saran terhadap perbaikan dalam penulisan skripsi ini;
- (5) Bapak Didi, selaku manajer SPBU ‘X’ Pancoramas Depok yang telah bersedia menyediakan waktu dan tempat untuk melakukan penelitian ini.
- (6) Sdra. Ferdian, sdri. Selfi, sdri. Aulia, sdri. Citra dan teman-teman seperjuangan K3 Ekstensi 2009 yang telah memberikan tenaga, pikiran, dan doa agar skripsi ini berjalan dengan lancar dan tepat waktu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Januari 2012

Rendy



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rendy Noor Salim
NPM : 0906617145
Program Studi : Sarjana Kesehatan Masyarakat
Departemen : Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Fakultas : Kesehatan Masyarakat
Jenis Karya : Skripsi

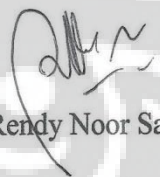
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Pada Karyawan SPBU 'X'
Pancoranmas Depok Tahun 2011**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 11 Januari 2012

Yang menyatakan


(Rendy Noor Salim)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Rendy Noor Salim
NPM : 0906617145
Tempat Tanggal Lahir: Depok, 15 Desember 1988
Jenis Kelamin : Laki-laki
Kewarganegaraan : Indonesia
Agama : Islam
Alamat : Jl. Mujair 9 No. 22 RT 01 RW 09 Pancoranmas Depok
Jawa Barat, 16432
No. Telepon : (021) 7774877/085694651361
Email : raind_kid@yahoo.com, rendy.salim99@gmail.com

Riwayat Pendidikan

2009 – 2012 : Program Sarjana Ekstensi Kesehatan Masyarakat
Indonesia, Peminatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja
2006 – 2009 : Program Diploma Fakultas Kedokteran Universitas
Indonesia, Peminatan Rehabilitasi Medik (Fisioterapi)
2003 – 2006 : SMAN 5 Depok
2000 – 2003 : SLTPN 2 Depok
1994 – 2000 : SDN Depok Baru 3
1992 – 1994 : TK Taman Indria

ABSTRAK

Nama : Rendy Noor Salim
Program Studi : Sarjana
Judul : Analisis Risiko Kesehatan Paparan Benzena Pada Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok Tahun 2011

Sejak penggunaan benzena, ditemukan juga dampak kesehatan akibat paparan dengan bahan kimia ini. Petugas operator pada pengisian BBM adalah salah satu populasi pekerja yang memiliki tingkat risiko paparan benzena yang tinggi, terutama melalui jalur inhalasi dalam waktu paparan yang kontinu. Metode yang digunakan adalah analisis risiko kesehatan lingkungan, yaitu menghitung besar risiko individu dan populasi.

Pada estimasi risiko individu, seluruh karyawan belum berisiko efek nonkarsinogenik, tetapi pada paparan 3 tahun terdapat 1 karyawan yang berisiko efek kanker dan pada paparan *lifetime* seluruh karyawan berisiko efek kanker. Seluruh populasi karyawan belum berisiko efek nonkarsinogenik pada semua durasi paparan. Populasi operator pompa BBM berisiko efek karsinogenik pada durasi paparan *lifetime*. Populasi karyawan bagian administrasi belum berisiko efek karsinogenik pada semua durasi paparan. Disarankan bekerja tidak lebih dari 3 tahun, bekerja selama maksimal 6 jam/hari atau penggunaan APD yang tepat agar terlindung dari risiko kanker.

Kata kunci:

Benzena, Analisis Risiko Kesehatan, Karyawan SPBU, Besar Risiko

ABSTRACT

Name : Rendy Noor Salim
Study Program: Bachelor of Degree
Title : Health Risk Analysis of Benzene Exposure at Employees In Gas Station 'X' Pancoranmas Depok 2011

Since the use of benzene, was also found health effects due to exposure to these chemicals. Operators in charge of fuel is one of the working population who have high levels of benzene exposure is high risk, mainly through the inhalation pathway of exposure is continuous in time. The method used is the analysis of environmental health risks, namely large calculating individual and population risk.

In the individual risk estimates, the employee has not at risk noncarcinogenic effect, but at 3 years of exposure there is an employee at risk of cancer and the effects on lifetime exposure to all employees at risk of cancer effects. The entire population of non-employee has not at risk of carcinogenic effects in all the duration of exposure. The population at risk of fuel pump operators carcinogenic effect on the duration of lifetime exposure. Populations at risk yet the administrative staff of a carcinogenic effect on all the duration of exposure. Advised to work no more than 3 years, working for a maximum of 6 hours / day or the use of appropriate PPE to protect them from the risk of cancer.

Keywords:

Benzene, Health Risk Analysis, Gas Station Employees, Risks.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR BAGAN.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Pertanyaan Penelitian.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Ruang Lingkup Penelitian.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Tinjauan Pustaka Tentang Benzena.....	6
2.1.1. Karakteristik Fisika dan Kimia Benzena.....	6
2.1.2. Sejarah dan Pemanfaatan Benzena.....	7
2.1.3. Sumber Paparan Benzena.....	9
2.1.4. Toksisitas Benzena.....	10
2.1.5. Toksikokinetik Benzena.....	12
2.1.5.1. Absorpsi Benzena.....	12
2.1.5.2. Distribusi Benzena.....	13
2.1.5.3. Metabolisme Benzena.....	13
2.1.5.4. Ekskresi Benzena.....	14
2.1.6. Efek Benzena Terhadap Kesehatan.....	15
2.1.6.1. Efek Paparan Akut Benzena.....	15
2.1.6.2. Efek Paparan Kronis Benzena.....	16
2.1.7. Tanda dan Gejala Paparan Benzena.....	18
2.1.7.1. Paparan Akut.....	18
2.1.7.2. Paparan Kronis.....	18
2.1.8. Ambang Batas Paparan Benzena.....	19
2.1.9. Pengukuran dan Monitoring Benzena di Lingkungan....	20
2.1.10. Alat Pelindung Diri.....	21
2.1.11. Biomarker.....	23
2.2. Analisis Risiko dan Penilaian Risiko.....	24
2.2.1. Identifikasi Bahaya.....	26
2.2.2. Analisis Paparan.....	26
2.2.3. Analisis Dosis-Respon.....	28
2.2.4. Karakteristik Risiko.....	29

2.3. Manajemen Risiko.....	31
2.4. Komunikasi Risiko.....	31
3. KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, dan DEFINISI OPERASIONAL.....	33
3.1. Kerangka Teori.....	33
3.2. Kerangka Konsep.....	35
3.3. Definisi Operasional.....	36
4. METODOLOGI PENELITIAN.....	41
4.1. Jenis dan Desain Penelitian.....	41
4.2. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	41
4.3. Populasi dan Sampel Penelitian.....	41
4.3.1. Populasi Penelitian.....	41
4.3.2. Sampel Penelitian.....	42
4.4. Jenis Data Penelitian.....	42
4.5. Bahan dan Cara Kerja.....	42
4.5.1. Prosedur Pengambilan Sampel Benzena di Udara.....	42
4.5.2. Bahan dan Metode Analisis Benzena Dalam Sampel Udara.....	42
4.6. Pengolahan Data.....	43
4.7. Analisis Data.....	43
4.7.1. Perhitungan Risiko Nonkarsinogenik.....	43
4.7.2. Perhitungan Risiko Karsinogenik.....	44
5. HASIL PENELITIAN.....	46
5.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	46
5.2. Pola Paparan.....	46
5.2.1. Konsentrasi Benzena di Udara.....	46
5.2.2. Waktu Paparan (t_E).....	48
5.2.3. Frekuensi Paparan (f_E).....	48
5.2.4. Durasi Paparan (D_t).....	49
5.3. Antropometri Pekerja.....	50
5.3.1. Berat Badan Karyawan (W_b).....	50
5.3.2. <i>Inhalation Rate</i> (R).....	52
5.3.3. Status Merokok Karyawan.....	53
5.4. Keluhan Kesehatan.....	54
5.5. Analisis Dosis-Respon.....	54
5.5.1. Analisis Dosis-Respon Risiko Nonkanker Paparan Benzena.....	54
5.5.2. Analisis Dosis-Respon Risiko Kanker Paparan Benzena.....	55
5.6. Analisis Paparan.....	56
5.7. Karakteristik Risiko.....	61
5.8. Estimasi Risiko Kesehatan Populasi Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok Terhadap Paparan Benzena.....	66
5.8.1. Estimasi Risiko Kesehatan Paparan Benzena Pada Populasi Karyawan Operator Pompa BBM.....	67

5.8.2. Estimasi Risiko Kesehatan Paparan Benzena Pada Populasi Karyawan Bagian Administrasi.....	70
5.9. Manajemen Risiko.....	72
6. PEMBAHASAN.....	76
6.1. Keterbatasan Penelitian.....	76
6.2. Sumber Paparan Benzena di SPBU 'X' Pancoranmas Depok....	76
6.3. Distribusi Variabel-variabel Pola Paparan dan Antropometri Pekerja.....	77
6.3.1. Konsentrasi Paparan Benzena di Udara.....	77
6.3.2. Berat Badan Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok.....	78
6.3.3. Lama Bekerja Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok.....	79
6.4. Keluhan Kesehatan.....	79
6.5. Analisis Paparan.....	79
6.6. Karakteristik Risiko.....	80
6.7. Estimasi Risiko Kesehatan Populasi Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok Terhadap Paparan Benzena.....	82
6.8. Manajemen Risiko.....	82
7. SIMPULAN dan SARAN.....	85
7.1. Simpulan.....	85
7.2. Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1.	Distribusi konsentrasi benzena di udara SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	47
Tabel 5.2.	Distribusi pola pajanan benzena di udara terhadap karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	50
Tabel 5.3.	Distribusi berat badan (W_b) karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	51
Tabel 5.4.	Distribusi nilai <i>inhalation rate</i> (R) terhadap pajanan benzena di udara pada karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	52
Tabel 5.5.	Distribusi status merokok pada karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	53
Tabel 5.6.	Distribusi nilai <i>intake</i> (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan pajanan benzena <i>realtime</i> , 3 tahun, dan <i>lifetime</i> pada karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	58
Tabel 5.7.	Distribusi nilai <i>Intake</i> (asupan) efek karsinogenik berdasarkan pajanan benzena <i>realtime</i> , 3 tahun, dan <i>lifetime</i> pada karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	60
Tabel 5.8.	Distribusi nilai <i>Risk Quotient</i> (RQ) berdasarkan pajanan benzena selama <i>realtime</i> , 3 tahun, dan <i>lifetime</i> pada karyawan SPBU “X” Pancoranmas Depok tahun 2011.....	62
Tabel 5.9.	Persentase nilai <i>Risk Quotient</i> (RQ) pajanan benzena selama <i>realtime</i> , 3 tahun, dan <i>lifetime</i> berdasarkan perhitungan individu pada karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	63
Tabel 5.10.	Distribusi nilai <i>Excess Cancer Risk</i> (ECR) pajanan benzena selama <i>realtime</i> , 3 tahun, dan <i>lifetime</i> berdasarkan perhitungan individu pada karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	65
Tabel 5.11.	Persentase nilai <i>Excess Cancer Risk</i> (ECR) pajanan benzena selama <i>realtime</i> , 3 tahun, dan <i>lifetime</i> berdasarkan perhitungan individu pada karyawan SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok tahun 2011.....	66
Tabel 5.12.	Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek non kanker terhadap pajanan benzena yang aman pada populasi karyawan operator pompa BBM SPBU “X” Pancoranmas Depok tahun 2011.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Kimia Benzena.....	6
Gambar 2.2. Bahan kimia dan polimer yang dihasilkan dari reaksi benzena.....	10
Gambar 2.3. Jalur Metabolisme Benzena Dalam Tubuh.....	14
Gambar 2.4. Langkah-langkah analisis risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko.....	25



DAFTAR BAGAN

Bagan 3.1. Kerangka Teori.....	34
Bagan 3.2. Kerangka Konsep.....	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Surat Izin Penelitian

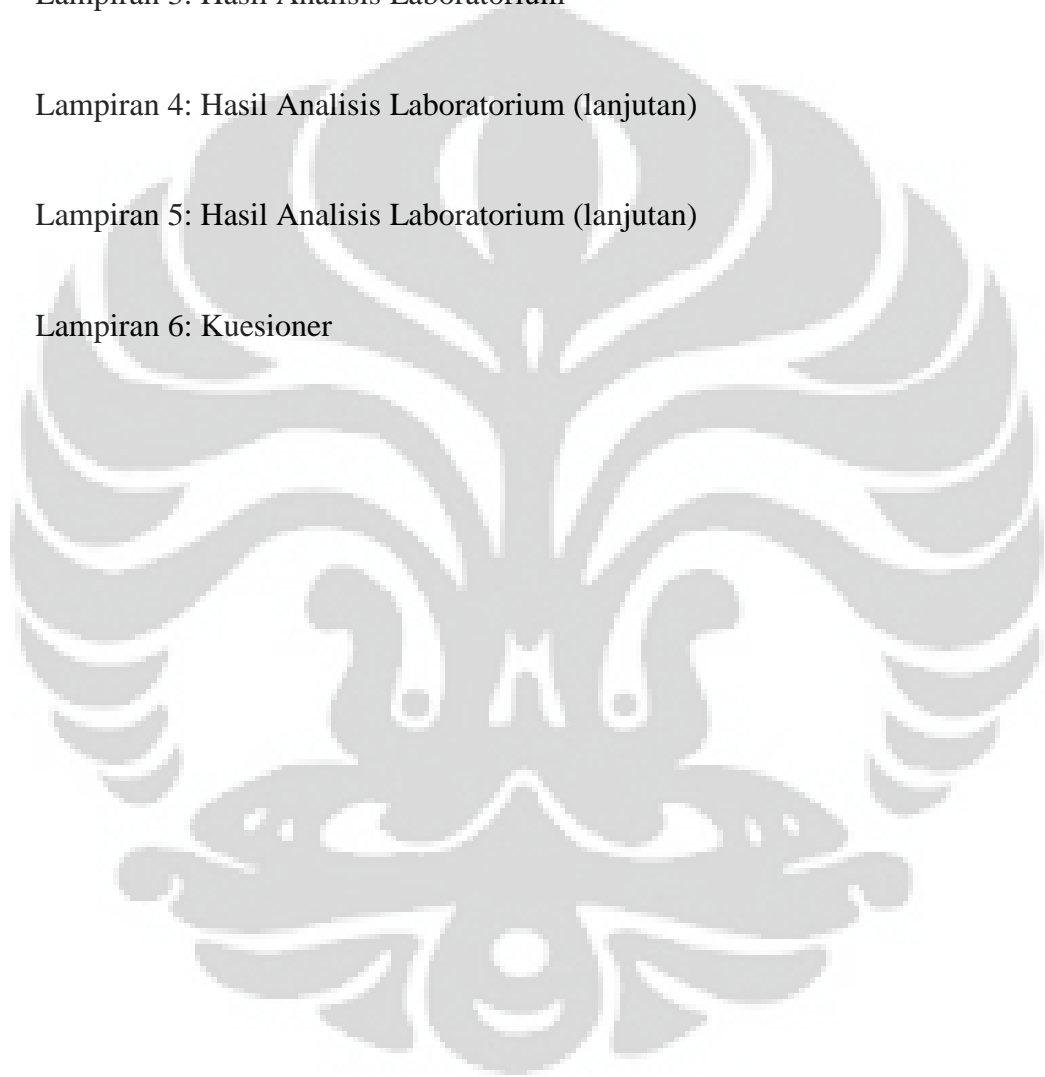
Lampiran 2: Titik Sampling Area

Lampiran 3: Hasil Analisis Laboratorium

Lampiran 4: Hasil Analisis Laboratorium (lanjutan)

Lampiran 5: Hasil Analisis Laboratorium (lanjutan)

Lampiran 6: Kuesioner



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kendaraan merupakan suatu alat transportasi yang sangat dibutuhkan oleh manusia, tanpanya mungkin aktivitas manusia tidak akan berjalan dengan lancar. Kendaraan, baik kendaraan darat, udara ataupun laut pastinya memerlukan bahan bakar minyak (BBM) untuk menghidupkan kendaraan. Hasil pembakaran yang tidak sempurna dari kendaraan-kendaraan tersebut dapat berupa zat-zat kimia yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Salah satu zat kimia yang terdapat dalam bensin adalah benzena. Benzena secara luas digunakan di Amerika Serikat dan berada di daftar 20 bahan kimia terbesar yang diproduksi. Sumber benzena di udara ambien meliputi asap rokok, pembakaran dan penguapan bensin yang mengandung benzena (lebih dari 5%), industri petrokimia, serta proses pembakaran. Rata-rata konsentrasi benzena di udara perkotaan dan pedesaan adalah sekitar $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sampai $5\text{-}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi lebih tinggi benzena di dalam dan luar ruangan akan ditemukan di sekitar sumber emisi seperti Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) (WHO-Europe, 2000).

Menurut *Agency for Toxic Substances and Disease Register* (ATSDR), bahan kimia berbahaya dan beracun yang terdapat di dalam kandungan minyak yaitu benzena, toluene, xylene, ethylene, TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*), *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAHs). Dari keenam bahan kimia tersebut pajanan benzena yang berdampak sangat serius bagi kesehatan. Benzena pertama kali digunakan secara luas di industri ban mobil, tidak lama sebelum Perang Dunia I dimulai. Benzena dihasilkan dari penyulingan batubara, yang kemudian digunakan diberbagai industri seperti industri perminyakan dan industri pertambangan dan energy lainnya (Wahju, 1997).

Sejak penggunaan benzena, ditemukan juga dampak kesehatan akibat pajanan dengan bahan kimia ini. Benzena apabila terinhalasi, dapat menyebabkan anemia aplastik dan leukemia. Hasil penelitian yang dilakukan di Eropa, Amerika, dan Meksiko telah menunjukkan adanya hubungan yang nyata

antara peningkatan kadar benzena di udara dengan peningkatan kasus kanker dan leukemia penduduk setempat (Haryanto, 2006 dalam Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi, 2010). Dalam penelitian lainnya di Amerika Serikat, telah terbukti bahwa menghirup benzena walaupun dalam ambang batas dapat menyebabkan abnormalitas kromosom pada sel sperma (Xing, et al., 2010 dalam Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi, 2010).

Pada tahun 1975 hingga 2002 telah terjadi kenaikan insiden leukemia tipe *Acute Lymphocytic Leukemia* (ALL) pada anak-anak di Amerika Serikat. Namun, saat ini angka insiden ALL pada anak-anak di Amerika Serikat telah stabil di angka 3-4/100.000 anak yang berusia di bawah lima belas tahun dengan jumlah kasus tertinggi pada anak berusia 2-5 tahun (Greenlee et al., 2000; Margolin et al., 2001 dalam Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi, 2010). Di kawasan Eropa, pada tahun 2000, insiden leukemia mencapai angka 46,7 kasus/1.000.000 anak/tahun. Hal ini berarti kasus leukemia di Eropa telah mengalami kenaikan sejak tahun 1970-1999 sebesar 0,7% per tahun (WHO Europe, 2009:1 dalam Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi, 2010). Untuk kawasan Asia Tenggara, Indonesia masih menempati urutan teratas dengan angka kematian akibat leukemia sebesar 9,6/1000 penduduk jika dibandingkan dengan negara-negara tetangga seperti Malaysia (0,9/1000 penduduk), Singapura (0,1/1000 penduduk), Thailand (2,3/1000 penduduk), Filipina (2,4/1000 penduduk), dan Brunei Darussalam (0/1000 penduduk) pada tahun 2002 (WHO, 2004 dalam Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi, 2010).

Karyawan SPBU, khususnya petugas operator pada pengisian BBM (*filling point*) adalah salah satu populasi pekerja yang memiliki tingkat risiko pajanan benzena yang tinggi, terutama melalui jalur inhalasi dalam waktu pajanan yang kontinyu. Egeghy et. al. (2000) menyebutkan bahwa, pembeli BBM secara swalayan terpajan benzena yang terdiri atas emisi dari proses pembakaran bahan bakar, dari tanki penyimpanan bawah tanah, tumpahan BBM, dan dari perpindahan uap dari tangki bahan bakar. Dari jumlah tersebut, perpindahan uap bahan bakar dianggap sebagai proses yang paling bertanggung jawab atas

sebagian besar pajanan benzena. ATSDR (2007) mengestimasikan bahwa rata-rata pajanan benzena terhadap pekerja pada area SPBU adalah sebesar 0,12 ppm.

Stasiun Pengisian Bahan Bakar untuk Umum (SPBU) merupakan prasarana umum yang disediakan oleh PT. Pertamina untuk masyarakat luas guna memenuhi kebutuhan bahan bakar. Pada umumnya SPBU menjual bahan bakar sejenis premium, solar, pertamax dan pertamax plus (PT Pertamina, 2009). Bahan bakar minyak adalah campuran lebih dari 500 senyawa hydrocarbon yang mudah menguap, dan benzena adalah senyawa hydrocarbon yang menjadi perhatian utama dalam penelitian yang menjelaskan gangguan kesehatan akibat pajanan bensin (Keenan et al, 2009 dalam Zuliawan, 2010). Populasi pekerja yang bekerja pada industri yang memproduksi atau menggunakan benzena dapat terpajan dengan tingkat pajanan tertinggi (NIOSH, 2005). ATSDR (2007) menyebutkan bahwa rute pajanan utama terjadi melalui inhalasi, walaupun pada pajanan secara dermal (kontak dengan kulit) dan oral juga mungkin dapat terjadi. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis memilih analisis risiko pajanan benzena akibat pajanan inhalasi.

1.2. Rumusan Masalah

Efek pajanan akut terhadap benzena dengan kadar tinggi (terhadap syaraf/neurological, kulit/dermal, pernapasan/*respiratory*, dan pencernaan/gastrointestinal) dapat terjadi langsung setelah pajanan (ATSDR, 2007). Kemudian pajanan benzena konsentrasi tinggi (minimal 200 ppm) yang terus berulang dapat menyebabkan kerusakan sistem saraf pusat permanen. Pajanan kronis benzena di tempat kerja dihubungkan dengan gangguan hematologik (seperti thrombocytopenia, anemia aplastik, pansitopenia, dan leukemia akut) (ATSDR, 2007). ATSDR (2007) juga mengestimasikan bahwa rata-rata pajanan benzena terhadap pekerja pada area SPBU adalah sebesar 0,12 ppm.

Egeghy et. al. (2000) menyebutkan bahwa, pembeli BBM secara swalayan terpajan benzena yang terdiri atas emisi dari proses pembakaran bahan bakar, dari tanki penyimpanan bawah tanah, tumpahan BBM, dan dari perpindahan uap dari tanki bahan bakar. Bahan bakar minyak adalah campuran lebih dari 500 senyawa

hydrocarbon yang mudah menguap, dan benzena adalah senyawa hydrocarbon yang menjadi perhatian utama dalam penelitian yang menjelaskan gangguan kesehatan akibat pajanan bensin. Dari beberapa hal tersebut, membuat penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang risiko kesehatan pajanan benzena di udara terhadap karyawan di SPBU 'X' Pancoranmas Depok.

1.3. Pertanyaan Penelitian

Seberapa besar tingkat risiko kesehatan pajanan benzena terhadap karyawan di SPBU 'X' Pancoranmas Depok.

1.4. Tujuan

1.4.1. Tujuan Umum

Tujuan umum dari pelaksanaan penelitian ini adalah untuk menjelaskan tingkat risiko pajanan benzena terhadap kesehatan (nonkarsinogenik dan karsinogenik) karyawan di Stasiun Pengisian Bahan Bakar untuk Umum (SPBU) 'X' Pancoranmas Depok.

1.4.2. Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari pelaksanaan penelitian ini untuk:

- 1) Menjelaskan sumber pajanan benzena di area Stasiun Pengisian Bahan Bakar untuk Umum (SPBU) 'X' Pancoranmas Depok
- 2) Menjelaskan *intake* pajanan benzena pada karyawan di area Stasiun Pengisian Bahan Bakar untuk Umum (SPBU) 'X' Pancoranmas Depok
- 3) Menjelaskan tingkat risiko pajanan benzena terhadap kesehatan (nonkarsinogenik dan karsinogenik) karyawan di area Stasiun Pengisian Bahan Bakar untuk Umum (SPBU) 'X' Pancoranmas Depok

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini meliputi:

- 1) Bagi perusahaan, hasil penelitian ini sebagai bahan informasi untuk mengetahui tingkat risiko pajanan benzena terhadap kesehatan (nonkarsinogenik dan karsinogenik) pada para karyawan di area Stasiun

Pengisian Bahan Bakar untuk Umum (SPBU) 'X' Pancoranmas Depok, sehingga perusahaan dapat merencanakan tindakan pencegahan penyakit akibat kerja yang lebih baik di masa datang.

- 2) Bagi institusi pendidikan, hasil penelitian ini dapat digunakan dan menjadi bahan acuan dalam mengembangkan penelitian yang lebih mendalam mengenai penilaian risiko kesehatan.
- 3) Bagi mahasiswa, hasil penelitian ini diharapkan sebagai sarana bagi seluruh mahasiswa K3 dalam menerapkan ilmu K3 khususnya mengenai penilaian risiko kesehatan.

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Jenis penelitian ini dilaksanakan untuk meminimalisasi risiko kesehatan pajanan benzena di udara dengan melakukan penilaian risiko secara menyeluruh dan sistematis, karena di area Stasiun Pengisian Bahan Bakar untuk Umum (SPBU) memiliki potensi risiko kesehatan yang cukup tinggi. Subjek dari penelitian ini ialah karyawan yang bekerja di SPBU 'X' Pancoranmas Depok. Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2011. Tempat penelitian adalah di SPBU 'X' Pancoranmas Depok.

Data mengenai konsentrasi benzena di udara didapatkan dengan melakukan pengukuran langsung menggunakan Coconut shell charcoal dan dianalisis dengan *Gas Chromatography (GC)*. Kemudian untuk mendapatkan nilai intake/asupan benzena, perhitungan berdasarkan konsentrasi benzena di udara, frekuensi pajanan, lama pajanan, *inhalation rate*, dan berat badan, peneliti menggunakan kuesioner dan untuk berat badan diukur langsung menggunakan timbangan berat badan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Tentang Benzena

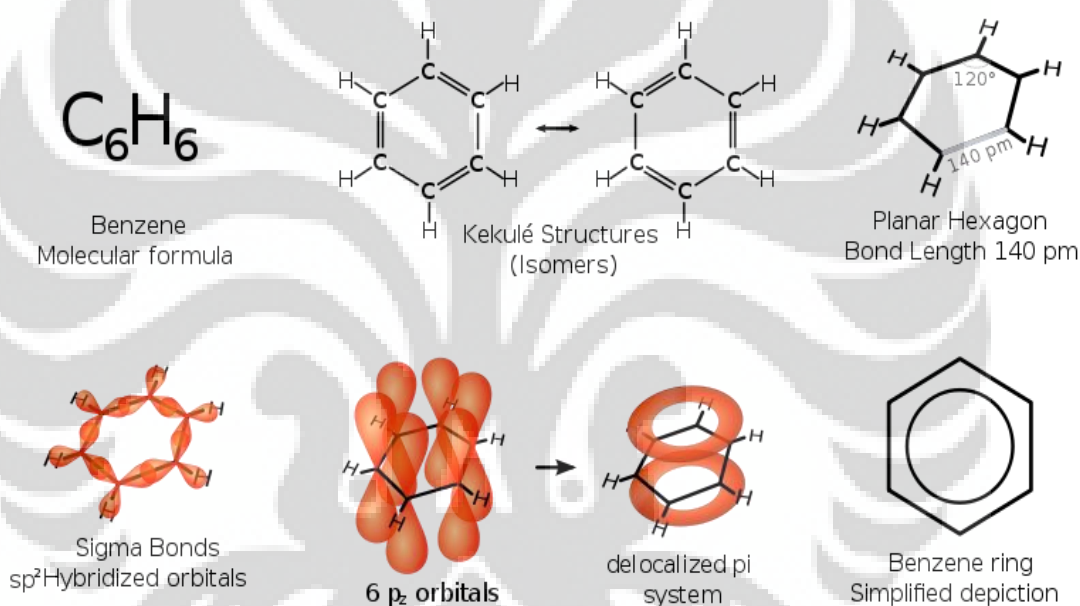
2.1.1. Karakteristik Fisika dan Kimia Benzena (ATSDR, 2007; IRIS, 2002)

Rumus Kimia : C_6H_6

Nama IUPAC : Benzena

Nama Lain : Benzol, Sikloheksa-1,3,5-triena

Struktur Kimia:



Gambar 2.1. Struktur Kimia Benzena

(Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Benzena_Representations.svg)

Nomor CAS : 71-43-2

Sinonim : Annulene, benzena (Dutch), benzena (Polish), benzol, benzole; benzolo (Italian), coal naphtha, cyclohexatriene, fenzen (Czech), phene, phenyl hydride, pyrobenzol, pyrobenzole

Berat Molekul : 78.11 g/mol

Bentuk Fisik : Cairan tidak berwarna

Kerapatan	: 0.8787 g/cm ³ (15 °C)
Titik Leleh	: 5.5 °C, 279 K, 42 °F
Titik Didih	: 80.1 °C
Kelarutan dalam air	: 0.8 g/L (15 °C), 1.75 g/L pada 25 °C
Viskositas	: 0.652 Cp PADA 20 °C
Batas ambang bau	: 1.5 ppm (5 mg/m ³)
Tekanan uap	: 95.2 mmHg pada 25 °C, 75 mmHg pada 20 °C
Faktor konversi	: 1 ppm = 3.24 mg/m ³ pada 20 °C ; 1 mg/m ³ = 0.31 ppm ; 1 mg/L = 313 ppm

2.1.2. Sejarah dan Pemanfaatan Benzena

Benzena ditemukan pada tahun 1825 oleh seorang ilmuwan Inggris bernama Michael Faraday, ia mengisolasiannya dari gas minyak dan menamakannya *bikarburet* dari hidrogen. Lalu pada tahun 1833, kimiawan Jerman, Eilhard Mitscherlich menghasilkan benzena melalui distilasi asam benzoate (dari benzoin karet/*gum benzoin*) dan kapur. Mitscherlich memberinya nama *benzin*. Pada tahun 1845, kimiawan Inggris, Charles Mansfield, yang sedang bekerja di bawah August Wilhelm von Hofmann, mengisolasi benzena dari tir (*coal tar*). Empat tahun kemudian, Mansfield memulai produksi benzena berskala besar pertama menggunakan metode tir tersebut. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Benzena>)

Benzena adalah senyawa kimia organik, tidak berwarna, dan mudah terbakar dengan bau yang manis. Dalam pemanfaatannya, benzena merupakan salah satu komponen dalam bensin dan merupakan pelarut yang penting dalam dunia industri. Benzena juga sebagai bahan dasar dalam produksi obat-obatan, plastik, bensin, karet buatan, dan pewarna. Selain itu, benzena adalah kandungan alami dalam minyak bumi, namun biasanya diperoleh dari senyawa lainnya yang terdapat dalam minyak bumi (<http://en.wikipedia.org/wiki/Benzena>).

Benzena pertama kali diproduksi secara komersial dari *coal tar* pada tahun 1849 dan dari minyak pada tahun 1941. Setelah Perang Dunia II, kebutuhan benzena bagi industri sangat besar, terutama untuk kebutuhan industri plastik, sehingga benzena kemudian diproduksi secara besar-besaran dari industri minyak

bumi. Terdapat empat proses skimia dalam produksi benzena, yaitu *catalytic reforming*, *toluene hydrodealkylation*, *toluene disproportionation*, dan *steam cracking* (ATSDR, 2007).

Benzena merupakan salah satu senyawa kimia yang paling banyak digunakan dalam industri di dunia. Di Amerika Serikat, benzena merupakan peringkat teratas dari 20 zat kimia terbanyak yang diproduksi. Benzena digunakan secara luas sebagai pelarut dan industri obat sebagai bahan baku atau bahan intermediet dalam pembuatan banyak senyawa kimia, juga sebagai zat adiktif pada bensin. Penggunaan utama benzena adalah untuk produksi etilbenzena, *cumene*, dan sikloheksan. Etil benzena (penggunaan 55% benzena yang diproduksi) adalah senyawa intermediet untuk pembentukan stirena, dimana digunakan untuk pembentukan plastic. *Cumene* (24%) digunakan untuk memproduksi fenol dan aseton. Fenol digunakan untuk membuat resin dan nylon sebagai serat sintetik, sedangkan aseton digunakan sebagai pelarut dan industri obat. Sikloheksan (12%) digunakan untuk membuat nylon. Benzena juga merupakan salah satu komponen dalam bensin tanpa timbal untuk meningkatkan nilai oktan bensin, oleh karena itulah polusi udara yang disebabkan senyawa aromatic seperti benzena dalam bensin tanpa timbal meningkat (ATSDR, 2007).

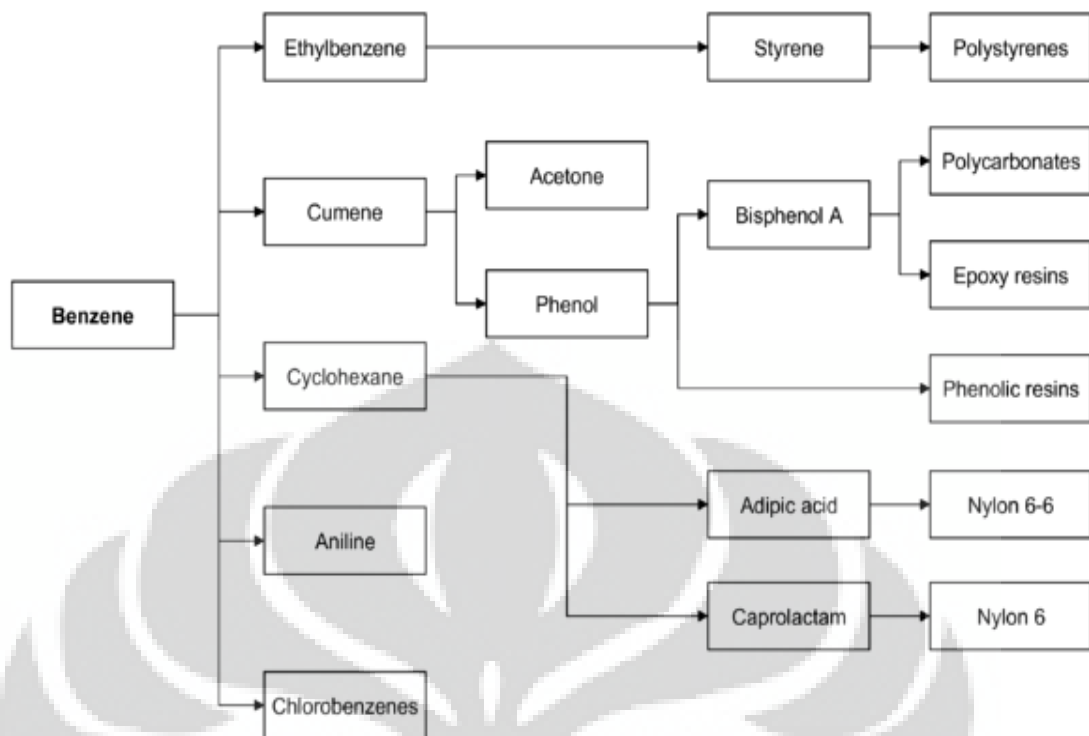
US-EPA telah mengklasifikasikan benzena sebagai polutan udara berbahaya dan limbah berbahaya (US-EPA 1977, 1981). Selain itu, ada bukti yang cukup untuk mendukung dalam pengklasifikasian benzena sebagai karsinogen manusia (Grup A) (IRIS, 2007). Oleh karena pengklasifikasian oleh US-EPA ini, di masa sekarang penggunaan benzena sebagai pelarut semakin dibatasi, tetapi diganti oleh pelarut organik lain. Tetapi karena benzena masih tetap terdapat dalam pelarut organik pengganti ini sebagai impurities (pengotor), maka manusia masih dapat terpajan oleh benzena di lingkungan kerja. Benzena juga digunakan dalam industri pembuatan sepatu dan industri percetakan (ATSDR, 2007). Sebagai zat aditif pada bensin, benzena dapat meningkatkan nilai oktan. Konsekuensinya yaitu bensin mengandung benzena beberapa persen, ketika pada tahun 1050-an diganti oleh Tetraetil timbal sebagai zat anti ketuk. Tetapi karena timbal (Pb) juga merupakan zat berbahaya, maka benzena kembali digunakan sebagai aditif pada bensin di beberapa negara.

Dalam penelitian laboratorium, toluene sekarang sering digunakan sebagai pengganti untuk benzena. Kedua pelarut (benzena dan toluene) ini mempunyai sifat yang mirip, tetapi toluene kurang toksik dibandingkan benzena. Gambar 2.2 memperlihatkan tentang penggunaan bahan dasar benzena pada masa kini yang sebagian besar untuk membuat bahan kimia lain dimana hasil akhirnya berupa polistirena (plastik), polikarbonat, resin, dan nilon (serat sintesis) (<http://en.wikipedia.org/wiki/Benzena#Uses>).

2.1.3. Sumber Paparan Benzena

Benzena dapat ditemukan dari sumber-sumber alami, seperti gunung merapi dan kebakaran hutan, minyak mentah, dan BBM. Sebagian besar sumber paparan benzena adalah berasal dari asap rokok, bengkel, pembakaran kendaraan bermotor dan emisi dari industri. Sumber paparan yang lain berasal dari uap atau gas dari produk-produk yang mengandung benzena, seperti lem, cat, lilin pelapis peralatan rumah tangga dan sabun deterjen. Sekitar 20% dari paparan berasal dari knalpot dan emisi dari industri. Di Amerika Serikat, setengah dari sumber paparan berasal dari asap rokok. Rata-rata jumlah asupan benzena yang terserap perokok (32 batang per hari) adalah sekitar 1,8 mg per hari. Jumlah tersebut lebih besar 10 kali lipat dibandingkan dengan rata-rata asupan benzena per hari dari orang yang tidak merokok.

Konsentrasi lebih tinggi benzena di dalam dan di luar ruangan akan ditemukan di sekitar sumber emisi seperti Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) (WHO-Europe, 2000). Sumber utama yang berasal dari proses penguapan adalah penguapan dari BBM yang mengandung 1-5% Benzena (WHO, 1996). Pekerja pada industri yang membuat atau menggunakan benzena (petrokimia, penyulingan minyak bumi, tambang batubara, pabrik ban, penyimpanan dan distribusi benzena, penyimpanan dan distribusi BBM yang mengandung benzena) dapat terpajan dengan level tinggi. Pekerja lain yang dapat terpajan benzena adalah pekerja yang bekerja di tungku batubara pada industri baja, percetakan, pabrik sepatu, teknisi laboratorium, pemadam kebakaran, dan operator SPBU (ATSDR, 2007).



Gambar 2.2. Bahan kimia dan polimer yang dihasilkan dari reaksi benzena

(Sumber: <http://en.wikipedia.org/wiki/Benzena#Uses>)

2.1.4. Toksisitas Benzena (ATSDR, 2007)

Apabila terpajan oleh benzena akan berdampak buruk pada kesehatan. Kandungan benzena di udara dalam kadar yang rendah dapat berasal dari rokok, bengkel mob, SPBU, poluasi dari kendaraan bermotor dan industry. Uap dari produk yang mengandung benzena, seperti lem, cat, pembersih furniture, dan deterjen juga dapat menjadi sumber pajanan. Benzena merupakan zat yang karsinogenik (zat penyebab kanker) terhadap manusia apabila terpajan. Studi epidemiologi membuktikan adanya hubungan antara pajanan benzena yang berasal dari pelarut yang mengandung benzena dengan kejadian *acute myelogenous leukemia* (AML). Pengujian secara *in vivo* dan *in vitro* pada hewan dan manusia juga mengindikasikan benzena dan zat metabolitnya bersifat genotoksik, merubah gen, perubahan kromosom pada limfosit, dan sel sumsum tulang. Kerusakan pada sistem imun juga terjadi pada pajanan benzena melalui inhalasi. Hal ini ditunjukkan oleh menurunnya jumlah antibodi dan menurunnya jumlah leukosit pada pekerja terpajan.

Efek paling sistemik yang dihasilkan pada pajanan benzena kronis dan subkronis adalah kegagalan pembentukan sel darah merah. Biomarkes awal untuk pajanan benzena tingkat rendah adalah berkurangnya jumlah sel darah merah. Penemuan klinis dalam hematoksisitas benzena adalah cytopenia, yaitu penurunan unsur-unsur yang terkandung dalam sel darah yang mengakibatkan *anemia*, *leukopenia*, atau *thrombocytopenia* pada manusia dan hewan percobaan. Benzena juga dapat menyebabkan kerusakan dalam tubuh yang sangat berbahaya yang disebut anemia aplastik, dimana tubuh tidak berhasil membentuk sel darah merah karena rusaknya sumsum tulang yang memproduksi sel darah. Anemia aplastik ini merupakan indikasi awal terjadinya *acute non-lymphocytic leukemia* (leukemia non-limfosit akut).

Pajanan benzena dengan kadar tinggi melalui inhalasi (jalur pernapasan) dapat menyebabkan kematian, sementara pajanan kronis dosis rendah dapat menyebabkan pusing, detak jantung cepat, kepala pusing, tremor, kebingungan dan tidak fokus. Apabila termakan atau terminum bahan dengan kandungan benzena tinggi dapat menyebabkan batuk, serak, dan rasa terbakar di mulut. Faring dan kerongkongan, iritasi pada lambung, rasa mengantuk berlebihan, dan akhirnya kematian. Efek neurologis telah dilaporkan pada manusia yang terpajan benzena berkadar tinggi. Pajanan fatal melalui inhalasi menyebabkan terjadinya *vascular congestion* di otak. Pajanan inhalasi kronis dapat menyebabkan terjadinya *distal neuropathy*, susah tidur, dan kehilangan memori. Pajanan melalui oral mempunyai efek yang sama dengan pajanan melalui inhalasi. Studi pada hewan menyatakan bahwa pajanan benzena melalui inhalasi menyebabkan berkurangnya aktivitas listrik di otak, kehilangan refleks, dan tremor. Pajanan benzena melalui kulit tidak menyebabkan kerusakan pada saraf. Pajanan akut melalui oral dan inhalasi dengan kadar benzena tinggi dapat menyebabkan kematian, pajanan tersebut yang berhubungan dengan depresi sistem saraf pusat (SSP). Pajanan kronis pada tingkat rendah berhubungan dengan efek terhadap sistem saraf perifer.

2.1.5. Toksikinetik Benzena

Pajanan utama benzena terhadap tubuh manusia melalui rute inhalasi (pernapasan), selain melalui pajanan oral (mulut) dan dermal (kulit) juga dapat terjadi. Benzena yang terabsorpsi kemudian dengan cepat didistribusikan ke seluruh tubuh dan cenderung terakumulasi di jaringan lemak. Hati memiliki peranan penting dalam menghasilkan beberapa metabolit benzena yang reaktif dan berbahaya (ATSDR, 2007).

2.1.5.1. Absorpsi Benzena

Benzena dengan cepat diabsorpsi melalui saluran pernapasan dan pencernaan. Penyerapan melalui kulit cepat tetapi tidak luas, hal ini disebabkan karena benzena yang menguap dengan cepat. Sekitar Sekitar 50% dari benzena yang dihirup diabsorpsi setelah pajanan 4 jam pada konsentrasi sekitar 50 ppm benzena di udara. Sebuah penelitian *in vivo* pada manusia menunjukkan bahwa terjadi absorpsi sekitar 0,05% dari dosis benzena yang diaplikasikan pada kulit, sedangkan pada penelitian *in vitro* kulit manusia, penyerapan benzena secara konsisten sebanyak 0,2% setelah pajanan dosis antara 0,01-520 mikroliter per persegi sentimeter. Belum ada penelitian absorpsi melalui oral pada manusia. Pada hewan, di sedikitnya 90% dari benzena diserap setelah konsumsi pada dosis 340-500 miligram per kilogram per hari (mg/kg/hari) (ATSDR, 2006).

Setengah dari benzena yang terhirup dalam konsentrasi tinggi akan masuk ke dalam saluran pernafasan yang kemudian masuk ke dalam aliran darah. Hal yang sama terjadi jika pajanan benzena melalui makanan dan minuman, sebagian besar benzena akan masuk ke dalam jaringan gastrointestinal, kemudian masuk kedalam jaringan darah. Sejumlah kecil benzena masuk melalui kulit melaluikontak langsung antara kulit dengan benzena atau produk yang mengandung benzena. Di dalam jaringan darah, benzena akan beredar ke seluruh tubuh dandisimpan sementara di dalam lemak dan sumsum tulang, kemudian akandikonversi menjadi metabolit di dalam hati dan sumsum tulang. Sebagian besar hasil metabolisme akan keluar melalui urin dengan waktu sekitar 48 jam setelah pajanan. Apabila tidak segera dikeluarkan melalui ekspirasi, benzena akan diabsorpsi ke dalam darah. Benzena larut dalam cairan tubuh dalam konsentrasi

rendah dan secara cepat dapat terakumulasi dalam jaringan lemak karena kelarutannya yang tinggi dalam lemak. Uap benzena mudah diabsorpsi oleh darah yang sebelumnya diabsorpsi oleh jaringan lemak. Benzena masuk ke dalam tubuh dalam bentuk uap melalui inhalasi dan absorpsi terutama melalui paru-paru, jumlah uap benzena yang diinhalasi sekitar 40-50% dari keseluruhan jumlah benzena yang masuk ke dalam tubuh. Benzena mudah diabsorpsi melalui saluran pernafasan, ketahanan paru-paru mengabsorpsi benzena kira - kira 50% untuk pajanan sebesar 2-100 cm³/m³ selama beberapa jam pajanan (ATSDR, 2007).

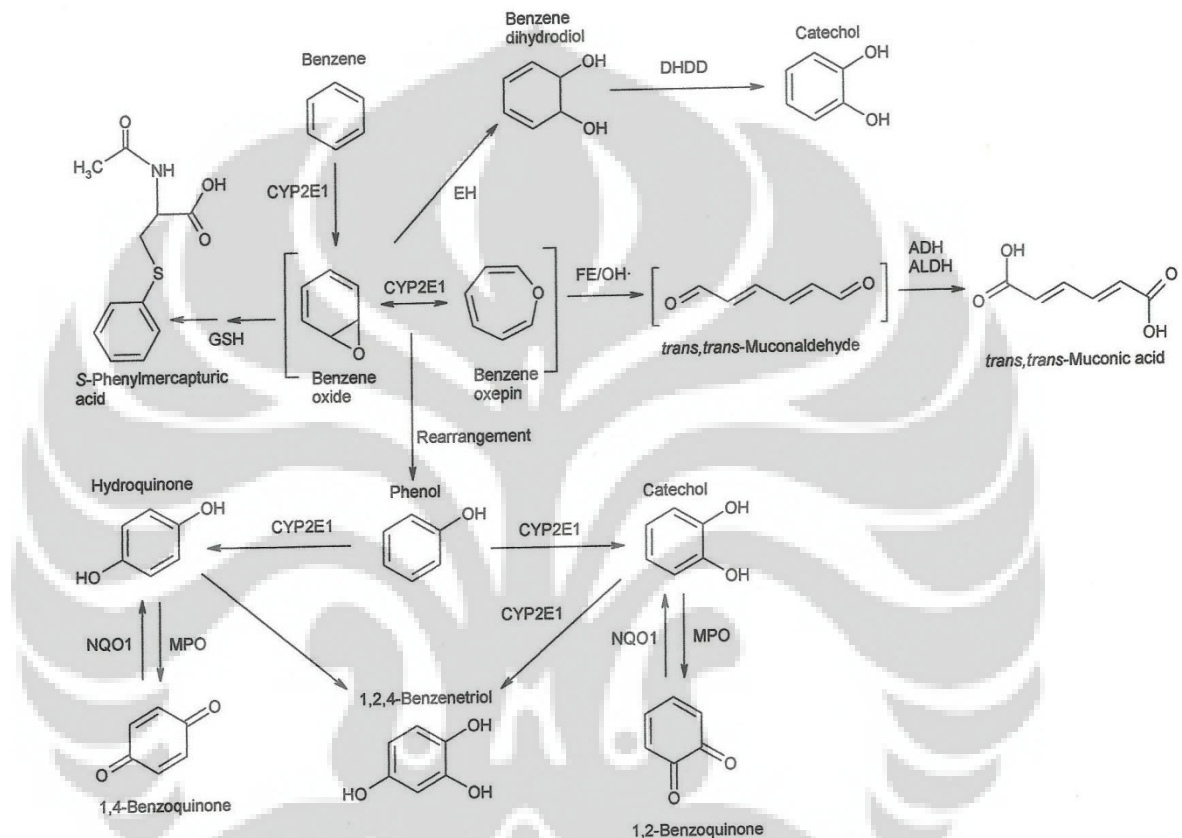
2.1.5.2. Distribusi Benzena

Distribusi benzena ke seluruh tubuh melalui absorpsi dalam darah, karena benzena bersifat lipofilik, maka distribusi terbesar adalah dalam jaringan lemak. Jaringan lemak, sumsum tulang, dan urin mengandung sekitar 20 kali konsentrasi benzena lebih banyak daripada yang terdapat dalam darah. Kadar benzena dalam otot dan organ-organ 1-3 kali lebih banyak dibandingkan dalam darah. Eritrosit (sel darah merah) mengandung benzena sekitar 2 kali lebih banyak di dalam plasma (ATSDR, 2007).

2.1.5.3. Metabolisme Benzena

Meskipun metabolisme benzena telah dipelajari secara ekstensif, proses terjadinya toksisitas benzena belum sepenuhnya dipahami. Umumnya dipahami bahwa efek kanker dan nonkanker disebabkan oleh satu atau lebih metabolit reaktif dari benzena. Metabolit diproduksi di hati, kemudian dibawa ke sumsum tulang dimana toksisitas benzena terlihat. Metabolisme benzena dalam jumlah yang sedikit terdapat dalam sumsum tulang (ATSDR, 2007). Langkah pertama adalah enzim *cytochrome* P-450 2E1 (CYP2E1) mengkatalisis reaksi oksidasi benzena menjadi benzena oksida yang berkesetimbangan dengan benzena oxepin, yang kemudian termetabolisme menjadi fenol (produk metabolit utama benzena). Fenol kemudian dioksidasi dengan katalisis CYP2E1 menjadi katekol atau hidrokuinon, yang kemudian dengan enzim *myeloperoxidase* (MPO) dioksidasi menjadi metabolit reaktif 1,2- dan 1,4-benzokuinon. Katekol dan hidrokuinon dapat diubah menjadi metabolit 1,2,4-benzoenatriol dengan katalisis

CYP2E1. Reaksi metabolisme benzena yang lain adalah reaksi dengan glutathion (GSH) yang menghasilkan asam S-fenilmerkapturat. Kemudian reaksi dengan katalis Fe (besi) yang menghasilkan produk dengan cincin terbuka, yaitu asam trans,trans-mukonat dengan senyawa intermediet trans,trans-mukonaldehida yang merupakan metabolit benzena yang hematoksik (racun terhadap sistem darah) (ATSDR, 2007).



Gambar 2.3. Jalur Metabolisme Benzena Dalam Tubuh
(Sumber: Nebert et al. 2002; Ross 2000 dalam ATSDR, 2007)

2.1.5.4. Ekskresi Benzena

Pada pajanan inhalasi, ekskresi benzena dalam tubuh terjadi melalui proses ekskresi dan ekshalasi, ekskresi benzena terutama di dalam urin sebagai metabolit, khususnya sebagai asam sulfat dan *glucuronid* terkonjugasi fenol (IPCS EHC 150, 1993). Tidak ada studi terkait ekskresi karena pajanan oral pada manusia. Namun, sebuah penelitian pada kelinci dengan benzena radiolabel (sekitar 340 mg/kg berat badan), menemukan bahwa 43% dari label itu hilang sebagai bukan metabolit benzena. Ekskresi urin sebesar 33%, terdiri dalam bentuk *phenol* terkonjugasi

(23.5%), *hydroquinone* (4.8%), *catechol* (2.2%), dan *hydroxyquinol* (0.3%) (Parkes & Williams, 1953 dalam US EPA 2002). Data yang tersedia terbatas terkait ekskresi pajanan benzena dalam tubuh manusia karena pajanan dermal.

2.1.6. Efek Benzena Terhadap Kesehatan (ATSDR, 2007)

Untuk menilai efek kesehatan benzena terhadap pekerja didapat dari data kesehatan para pekerja yang terpajan benzena di lingkungan kerja. Industri percetakan, pembuatan sepatu atau tas, pengolahan karet, dan pembuatan jas hujan (pada proses kimianya) merupakan tempat kerja yang terdapat pajanan benzena. Pajanan utama terjadi melalui inhalasi, walaupun pada pajanan secara dermal (kontak dengan kulit) dan oral juga mungkin dapat terjadi. Efek kesehatan dibagi menjadi beberapa durasi/lama pajanan terjadi, pajanan akut (14 hari atau kurang), pajanan intermediet (15-364 hari), dan pajanan kronis (365 hari atau lebih).

2.1.6.1. Efek Pajanan Akut Benzena (IPCS EHC 150, 1993)

Pajanan pada populasi umum yang mengakibatkan efek toksik akut biasanya berhubungan dengan kecelakaan dan penyalahgunaan benzena. Banyak kematian dan efek kesehatan yang serius terjadi akibat pajanan benzena yang disengaja karena mengendus lem dan lainnya dari produk yang mengandung benzena sebagai pelarut. Diperkirakan bahwa pajanan konsentrasi benzena dari sekitar 64.000 mg/m^3 (20.000 ppm) untuk 5-10 menit dapat mengakibatkan kematian, 24.000 mg/m^3 (7.500 ppm) selama 30 menit adalah berbahaya untuk kehidupan manusia, 4.800 mg/m^3 (1.500 ppm) selama 60 menit menyebabkan gejala yang serius, 1.600 mg/m^3 (500 ppm) selama 60 menit menyebabkan gejala penyakit, dan $160-480 \text{ mg/m}^3$ (50-150 ppm) selama 5 jam menyebabkan sakit kepala, kelelahan, dan kelemahan, sementara 80 mg/m^3 (25 ppm) selama 8 jam tanpa efek klinis. Tanda-tanda klinis toksisitas akut dari benzena termasuk depresi sistem saraf pusat (SSP), aritmia jantung, dan akhirnya sesak napas juga kegagalan pernapasan jika pajanan berada pada tingkat yang mematikan.

Dosis tunggal mematikan melalui pajanan oral yang akut diperkirakan 10 ml benzena (8.8 g). Tanda-tanda klinis toksisitas setelah pajanan oral akut yaitu muntah, mengantuk, kehilangan kesadaran, delirium, pneumonitis, depresi SSP,

dan kolaps. Dosis oral tinggi tetapi sublethal dapat menyebabkan satu atau lebih dari gejala berikut, seperti pusing, gangguan penglihatan, euphoria, eksitasi, pucat, kemerahan, sesak napas dan penyempitan dada, sakit kepala, kelelahan, mengantuk, dan takut datangnya kematian. Selain itu konsumsi benzena menyebabkan ulserasi gastrointestinal. Benzena dapat menyebabkan iritasi pada kulit karena benzena merupakan pelarut lemak yang dapat merusak kulit apabila terjadi pajanan berulang dan lama. Efek bila terkena cairan benzena adalah kulit terasa terbakar dan dapat menyebabkan eritema, dan edema pada kulit. Bila dihirup, benzena dapat mengiritasi lambung, menyebabkan mual, muntah, dan diare (ATSDR, 2007).

2.1.6.2. Efek Pajanan Kronis Benzena (IPCS EHC 150, 1993)

Efek kesehatan yang paling signifikan dari pajanan benzena dalam jangka pendek dan jangka panjang adalah hematoksisitas, immunotoksisitas, neurotoksisitas, dan karsinogenisitas. Selain itu tiga jenis efek terhadap sumsum tulang karena pajanan benzena, yaitu depresi sumsum tulang yang mengarah terjadinya anemia aplastik, perubahan kromosom, dan karsinogenisitas.

Depresi Sumsum Tulang - Anemia Aplastik (EHC 150, 1993)

Sebuah studi dari 32 pasien yang terpajan karena inhalasi benzena pada tingkat 480-2100 mg/m³ (150-650 ppm) selama 4 bulan sampai 15 bulan menunjukkan pansitopenia dengan hipoplasia, hiperplastik atau sumsum tulang normoblastik. Delapan dari 32 orang menunjukkan trombositopenia yang mengakibatkan pendarahan dan infeksi. Pada pajanan kurang dari 32 mg/m³ (10 ppm) tidak ada efek hematologi.

Efek Immunologi (IPCS EHC 150, 1993 & ATSDR 2007)

Studi terdahulu terhadap pekerja yang terpajan benzena, toluene, dan xilen, menunjukkan bahwa pajanan ketiga pelarut organik ini menyebabkan penurunan jumlah agglutinin, IgG dan immunoglobulin IgA, dan meningkatnya jumlah IgM. Penurunan jumlah immunoglobulin ini menunjukkan bahwa benzena dan pelarut organik lainnya mempunyai efek terhadap system immunologi. Pada studi lainnya

juga ditemukan bahwa pajanan benzena dengan kadar tinggi menyebabkan penurunan jumlah limfosit T dalam darah.

Perubahan Kromosom (IPCS EHC 150, 1993)

Telah terbukti bahwa terkait efek kromosomal akibat pajanan benzena terhadap pekerja. Perubahan terjadi pada struktur dan jumlah kromosom, ini terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Huff et al, 1989, yang mengamati dengan konsisten terhadap limfosit dan sel-sel tulang sumsum pekerja yang terpajan benzena. Penelitian lain yang dilakukan oleh Forni et al, 1971, mengamati efek yang sama yakni pada limfosit pekerja di sebuah pabrik rotogravure, dimana telah terpajan benzena tingkat sangat tinggi yaitu $400-1700 \text{ mg/m}^3$ (125-532 ppm) selama 1-22 tahun.

Efek Neurologi (ATSDR, 2007)

Setelah inhalasi akut pajanan benzena pada manusia, menunjukkan gejala terhadap efek sistem saraf pusat (Midzenski et al., 1992). Gejala yang dapat terjadi pada tingkat konsentrasi antara 300-3000 ppm, diantaranya mengantuk, pusing, sakit kepala, vertigo, tremor, delirium, dan kehilangan kesadaran. Pada kondisi akut (5-10 menit) untuk konsentrasi benzena yang lebih tinggi (sekitar 20.000 ppm) dapat mengakibatkan kematian, terkait dengan terjadinya kemacetan pembuluh darah di otak (Avis & Hutton, 1993). Pada pajanan kronis benzena dilaporkan dapat mengakibatkan kelainan neurologis pada manusia. Sebuah studi pada 8 pasien (6 pasien dengan anemia aplastik dan 2 dengan preleukemia) akibat pajanan adhesive/perekat dan pemanfaatannya yang mengandung 9-88% benzena, menghasilkan 4 dari 6 pasien dengan anemia aplastik menunjukkan kelainan neurologis (atrofi global ekstermitas bawah dan neuropati distal ekstermitas atas) (Baslo & Aksoy, 1982). Temuan lain menyebutkan bahwa konsentrasi benzena di udara tempat kerja mencapai tingkat ≥ 210 ppm dapat menyebabkan efek toksik pada sistem saraf perifer yang melibatkan saraf dan atau sumsum tulang belakang.

Efek Karsinogenik (IPCS EHC 150, 1993)

Fakta bahwa benzena merupakan human leukaemogen telah dilakukan pada dalam sebuah studi epidemiologi dan kasus-kasus dimana sebagian besar terpajan di industri. Salah satu studi yang dilakukan oleh Aksoy & Erdem, 1978, mereka meneliti 44 pasien dengan pansitopenia akibat pajanan benzena adhesive (bahan perekat) pada tingkat pajanan sebesar 480-2100 mg/m³ (150-650 ppm) selama 4 bulan sampai 15 tahun membuktikan bahwa 6 dari 44 pasien tersebut terdiagnosis leukemia myeloid metaplasia. Dan masih banyak studi-studi lain yang sebagian besar menyimpulkan ada hubungan antara pajanan benzena dengan leukemia. Namun, salah satu studi yang dilakukan oleh Tsai et al., 1983, mereka meneliti mengenai hubungan antara pajanan benzena dengan angka kematian pada 454 pekerja kilang minyak di Amerika Serikat antara tahun 1952 dan 1981 tidak menunjukkan kematian akibat leukemia.

2.1.7. Tanda dan Gejala Pajanan Benzena

2.1.7.1.Pajanan Akut

Benzol jag adalah istilah yang digunakan para pekerja untuk menjelaskan gejala kebingungan, euforia, dan gaya berjalan goyah terkait dengan pajanan benzena akut. Tergantung pada besarnya dosis, orang yang menelan Benzena mungkin mengalami efek ini 30 sampai 60 menit setelah benzena dikonsumsi. Dalam satu laporan kasus, dosis oral 10 ml dilaporkan menghasilkan hal yang mengejutkan, muntah, takikardia, pneumonitis, mengantuk, delirium, kejang, koma, dan kematian. Gejala lain termasuk iritasi bronkial dan laring setelah pajanan inhalasi. *Pulmonary edema* telah dilaporkan. Pajanan ingesti dapat menyebabkan nyeri sub sternal, batuk, suara serak, dan rasa terbakar pada mulut, faring, dan kerongkongan tak lama setelah konsumsi. Hal ini juga dapat menyebabkan sakit perut, mual, dan muntah (ATSDR, 2006).

2.1.7.2.Pajanan Kronis

Gejala awal pajanan kronis benzena sering tidak spesifik tetapi menunjukkan tanda yang bervariasi. Demam akibat infeksi atau manifestasi trombositopenia, seperti perdarahan diatesis dengan perdarahan dari gusi, hidung,

kulit, saluran pencernaan, atau di tempat lain, kelelahan, dan anoreksia. Sebuah studi kohort pada tahun 1938 terhadap sekitar 300 pekerja pada industri percetakan yang menggunakan tinta pelarut dan pengencer berisi 75 sampai 80% benzena. Setelah diuji, 22 orang memiliki kelainan hematologi berat. Setelah dilakukan penghentian pajanan selama setahun terhadap pekerja, sebagian besar pasien pulih setelah pajanan berhenti (ATSDR, 2006)

2.1.8. Ambang Batas Pajanan Benzena

Di Indonesia memiliki beberapa standar yang telah ditetapkan untuk penetapan Nilai Ambang Batas (NAB) terhadap faktor-faktor fisika dan kimia di tempat kerja. Standar Nasional Indonesia tahun 2005 (SNI 2005) yang mengacu pada Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja Nomor SE 01/Men/1997 yang memuat tentang Nilai Ambang Batas (NAB) rata-rata tertimbang waktu (*TWA/Time Weighted Average*) zat kimia di tempat kerja dengan jumlah jam kerja 8 jam per hari atau 40 jam per minggu menyatakan bahwa benzena yang diklasifikasikan dalam kelompok A2 (zat kimia yang diperkirakan karsinogen untuk manusia) memiliki NAB sebesar 10 ppm atau 32 mg/m^3 benzena di udara (SNI 2005).

Kemudian Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia NOMOR PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja menyatakan bahwa benzena diklasifikasikan dalam kelompok A1 (zat kimia yang terbukti karsinogen untuk manusia) memiliki NAB sebesar 0,5 ppm dan memiliki PSD (Paparan Singkat yang Diperkenankan) sebesar 2,5 ppm.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) mengeluarkan untuk batas ambang pajanan benzena (*PEL/Permissible Exposure Limit*) yang diperbolehkan adalah 1 ppm untuk pajanan selama 8 jam kerja) dan 5 ppm untuk pajanan dalam jangka waktu pendek (*STEL/Short Term Exposure Limit*) kurang dari 15 menit . *The National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) menetapkan batas pajanan benzena untuk *TWA/Time Weighted Average* adalah 0,1 ppm dan untuk nilai ambang batas pajanan singkat atau *Short Term Exposure Limit* (STEL) sebesar 1 ppm, NIOSH juga mengklasifikasikan benzena sebagai karsinogen (NIOSH, 2008).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Threshold limit Values (TLV) atau disingkat TLV-ACGIH menetapkan batas pajanan benzena untuk TWA/*Time Weighted Average* adalah 0.5 ppm (1.6 mg/m^3) dan untuk nilai ambang batas pajanan singkat atau *Short Term Exposure Limit (STEL)* sebesar 2.5 ppm (8 mg/m^3), ACGIH juga mengklasifikasikan benzena sebagai karsinogen bagi manusia (A1) (TLV-ACGIH, 2011).

2.1.9. Pengukuran dan Monitoring Benzena di Lingkungan

Terdapat beberapa metode pengukuran benzena termasuk benzena yang terdapat di udara lingkungan maupun benzena yang masuk ke dalam tubuh. OSHA merekomendasikan pengukuran pajanan benzena di udara tempat kerja dengan menggunakan tabung sorbent arang teraktivasi, dilakukan desorpsi dengan karbon disulfide (CS_2), kemudian dianalisa dengan gas kromatografi menggunakan detektor ionisasi sinar, *Flame Ionization Detector (FID)*. Sedangkan NIOSH merekomendasikan pengumpulan melalui kantung udara, kemudian analisis dengan kromatografi gas portable menggunakan detektor fotoionisasi. Untuk metode penentuan benzena di udara didapat dari metode NIOSH 1501.

Metode yang tersedia untuk penentuan benzena di udara, sedimen air, tanah, makanan, asap rokok, dan minyak bumi dan produk minyak bumi sebagian besar melibatkan pemisahan dengan *Gas Chromatography (GC)* yang dideteksi melalui *Flame Ionization* nyala (*FID*) atau *Photoionization (PID)* atau dengan *Mass Spectrometry (MS)*. Pengukuran benzena di udara (ambien dan tempat kerja) biasanya melibatkan langkah prekonsentrasi dimana sampel dilewatkan melalui sebuah penyerap padat. Umumnya adsorben yang digunakan adalah resin Tenax^R, silica gel, dan karbon aktif. Prekonsentrasi benzena juga bisa dilakukan dengan perangkat kriogenik langsung pada kolom.

Teknik GC/FID atau GC/PID memiliki batas deteksi yang rendah, dari konsentrasi rendah dalam satuan ppb ($\mu\text{g/m}^3$) sampai konsentrasi rendah dalam satuan ppt (Ng/m^3). Sedangkan metode GC/MS memiliki batas deteksi konsentrasi yang rendah dalam satuan ($\mu\text{g/m}^3$). Meskipun GC/FID dan GC/PID memberikan sensitivitas lebih besar dari GC/MS, namun teknik GC/MS umumnya

dianggap lebih handal untuk pengukuran benzena pada sampel yang mengandung beberapa komponen yang memiliki karakteristik yang serupa. *Atomic Line Molecular Spectrometry* (ALMS) telah dikembangkan untuk memantau benzena dan senyawa organik lainnya pada udara ambien. Batas deteksi adalah $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (250 ppb).

Benzena di tempat kerja dapat diukur dengan instrument portable yang dapat langsung dibaca. *Real-time Continuous Monitoring Systems* dan *Passive Dosimeters* memiliki kepekaan jangkauan dalam ppm (mg/m^3). Di Amerika Serikat, prosedur penggunaan *Charcoal* yang diikuti dengan analisis GC/MS adalah prosedur yang sensitif yang menjadi pilihan untuk pengukuran benzena di udara. Benzena dalam media air, tanah, endapan, dan makanan diisolasi melalui metode *Purge and Trap*, yang kemudian dianalisis dengan metode GC/MS, GC/FID atau GC/PID. Gas inert seperti nitrogen digunakan untuk membersihkan sampel, benzena terjebak pada zat pengabsorpsi seperti Tenax^R atau arang aktif, kemudian diikuti oleh desorpsi termal. Sensitivitas dari metode ini dapat mendeteksi pada konsentrasi rendah dalam satuan mg/liter (IPCS EHC 150, 1993). Metode lain juga tersedia untuk mendeteksi benzena di media lingkungan lain seperti asap rokok, bensin, dan bahan bakar jet serta asapnya. Pemisahan dan pendeteksian dengan teknik HPLC/UV, GC/FID, dan GC/MS telah digunakan untuk analisis ini. Sensitivitas dan kehandalan metode ini tidak dapat dibandingkan karena kurangnya data (ATSDR, 2007).

2.1.10. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat Pelindung Diri atau disingkat APD adalah suatu alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang yang fungsinya mengisolasi sebagian atau seluruh tubuh dari potensi bahaya di tempat kerja. APD yang harus ada di tempat kerja untuk melindungi pekerja adalah alat pelindung kepala, pelindung mata dan muka, pelindung telinga, pelindung pernapasan beserta kelengkapannya, pelindung tangan dan pelindung kaki (Permenakertrans No. 08, 2010). Menurut OSHA (2003) alat pelindung diri atau APD seperti sarung tangan, pelindung mata dan kaki, alat-alat pelindung pendengaran, topi keras, respirator, dan baju pelindung seluruh tubuh digunakan untuk meminimalisasi berbagai macam

pajanan bahaya di tempat kerja. Penggunaan APD dalam upaya pencegahan dan pengendalian penyakit dan cedera akibat kerja merupakan pilihan terakhir apabila pengendalian secara teknis (*engineering control*) dan administrasi (*administrative control*) telah dilakukan namun belum dapat maksimal atau memadai dalam meminimalisasi risiko. Pemakaian alat pelindung diri harus disesuaikan dengan lingkungan kerja agar memberikan perlindungan yang efektif dan tidak mengganggu pekerjaan. Menurut OSHA, pemilihan alat pelindung diri, semua pakaian APD dan peralatan harus aman, disain konstruksi, fashionable, serta harus dipelihara di tempat yang bersih.

Alat pelindung pernapasan berfungsi untuk memberikan perlindungan terhadap sumber-sumber bahaya di udara tempat kerja, seperti kekurangan oksigen, pencemaran oleh partikel, dan pencemaran oleh gas atau uap. Ada tiga jenis alat pelindung diri pernapasan, yaitu: 1) respirator yang bersifat memurnikan udara, 2) respirator yang dihubungkan dengan suplai udara bersih, dan 3) respirator pemasok oksigen. Sebelum memilih alat pelindung pernapasan yang sesuai, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan:

1. Sifat bahaya (partikulat, gas, uap, dan lain-lain)
2. Cukup tanda-tanda adanya zat tercemar
3. Kadar zat pencemar
4. Kegawatan bahaya (akibat bila alat pernapasan tidak berfungsi)
5. Lamanya (panjangnya waktu dalam lingkungan yang tercemar)
6. Lokasi (sehubungan dengan sumber udara segar)
7. Jalan (ke dan dari tempat yang tercemar)
8. Aktivitas pemakai yang diperkirakan (kekuatan fisiknya)
9. Mobilitas pemakai
10. Pasnya pada muka dan kenyamanan

(Nedved, Milos, 1991)

Untuk pajanan inhalasi benzena dengan konsentrasi kurang atau sama dengan 10 ppm, 50 ppm, dan 100 ppm tipe masker pelindung pernapasan yang digunakan berturut-turut adalah *half mask respirator with organic vapor cartridge*,

full faceplace with organic vapor catridge, dan *full faceplace powered with organic vapor catridge* (Gunawan, 2000, dalam Zuliawan, 2010)

2.1.11. Biomarker

Biomarker didefinisikan sebagai penanda indikator suatu peristiwa dalam sistem biologi atau sampel. Biomarker telah diklasifikasikan sebagai penanda pajanan, penanda efek, dan tanda kerentanan (ATSDR, 2007). WHO (1996) menyebutkan bahwa, biomarker yang dapat dijadikan indikator pajanan benzena yaitu benzena dalam darah, benzena dalam urin, benzena dalam udara pernapasan, *phenol* dalam urin, *catechol* dalam urin, *hydroquinon* dalam urin, *1,2,4 trihydroxibenzena* dalam urin, *phenylmercapturic acid* dalam urin, dan asam *trans,trans-muconic* dalam urin.

Pengukuran fenol dalam urin telah digunakan untuk pemantauan pajanan benzena (OSHA, 1987), dan tingkat fenol dalam urin tampaknya berkorelasi dengan tingkat pajanan. Efek pajanan cenderung signifikan untuk asam *trans,trans-muconic* dalam urin dan kadar asam *phenylmercapturic* pada subjek di suatu tempat kerja yang terpajan pada tingkat paparan ≤ 1 ppm (Qu et al, 2005 dalam ATSDR, 2007). *American of Governmental Industrial Hygiens* (ACGIH) telah menetapkan 25 $\mu\text{g phenylmercapturic acid/g}$ kreatinin dalam urin dan 500 $\mu\text{g trans,trans-muconic acid/g}$ kreatinin dalam urin sebagai Biological Exposure Indices (BEIs) untuk pajanan benzena di tempat kerja (ACGIH, 2006 dalam ATSDR, 2007).

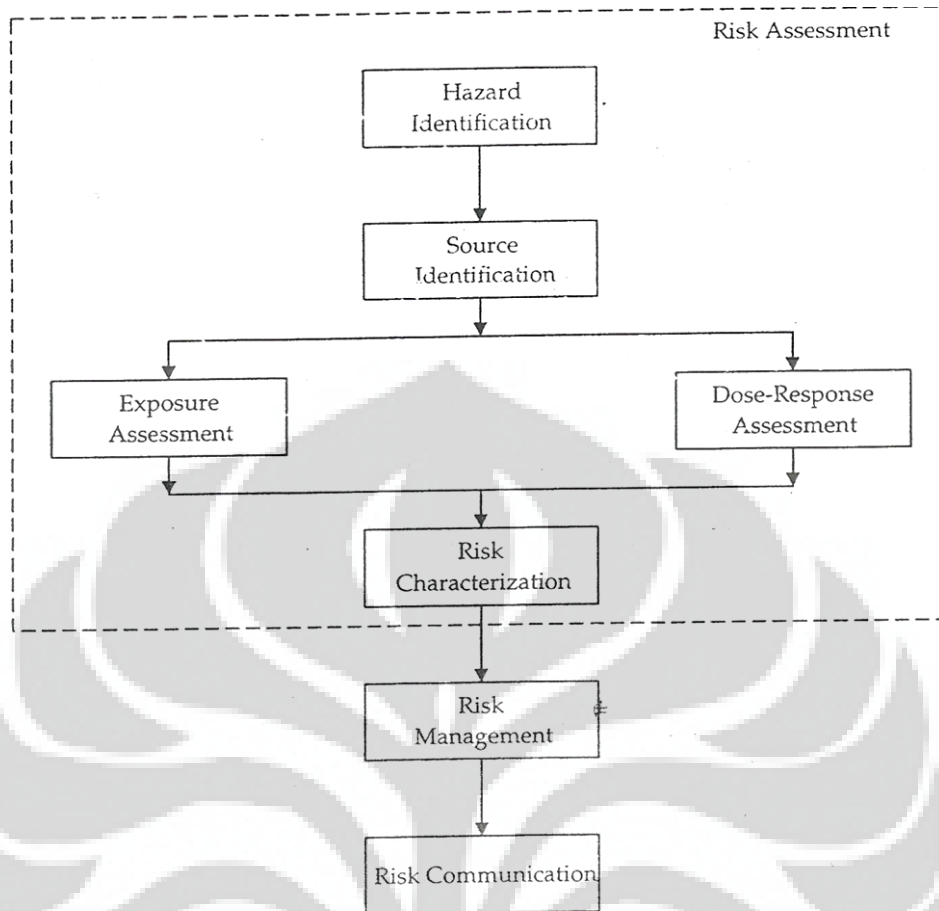
BEI yang utama indeks pajanan dan bukan level dimana efek kesehatan yang mungkin terjadi dari pajanan benzena. Korelasi positif dibuat antara tingkat udara benzena di tempat kerja dengan *catechol* dalam urin dan *hydroquinone* pada pekerja terpajan (Inoue et al. 1988a, 1988b; Rothman et al. 1998 dalam ATSDR, 2007). Asam *muconic* dalam urin berkorelasi terbaik dengan konsentrasi benzena di lingkungan. Tingkat biomarker *hydroquinone* dalam urin yang paling akurat dari pajanan untuk metabolit fenolik benzena, diikuti oleh *phenol* dan *catechol* (Ong et al. 1995 dalam ATSDR, 2007).

2.2. Analisis Risiko (*Risk Analysis*) dan Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Risiko merupakan probabilitas suatu dampak merugikan kesehatan pada suatu organisme, sistem, atau (sub)populasi yang disebabkan oleh pajanan suatu agen dalam jumlah dan dengan jalur pajanan tertentu (IPCS, 2004). Definisi lain menyebutkan risiko K3 adalah kombinasi dan kemungkinan terjadinya kejadian berbahaya atau paparan dengan keparahan dari cedera atau gangguan kesehatan yang disebabkan oleh kejadian atau paparan tersebut. Sedangkan manajemen risiko adalah suatu proses untuk mengelola risiko yang ada dalam setiap kegiatan (OHSAS 18001, 2007 dalam Ramli, 2010).

Risiko tidaklah sama dengan bahaya. Bahaya adalah sifat yang melekat (inherent) pada suatu agen atau situasi yang berpotensi menyebabkan efek merugikan terhadap organisme, sistem, atau sub(populasi) yang terpajan agen tersebut (IPCS, 2004). Bahaya (*hazard*) juga didefinisikan sebagai sumber, situasi atau tindakan yang berpotensi menciderai manusia atau sakit/penyakit atau kombinasi dari semuanya (OHSAS 18001, 2007). Bahaya (*hazard*) di tempat kerja dapat diklasifikasikan menjadi 5, yaitu hazard tubuh pekerja, hazard perilaku kesehatan, hazard lingkungan kerja (faktor atau bahaya fisik, faktor atau bahaya kimia, dan faktor atau bahaya biologik), hazard ergonomik, dan hazard pengorganisasian pekerjaan dan budaya kerja (Kurniawidjaja, 2010).

Dalam manajemen risiko dibutuhkanlah sebuah analisis risiko. Analisis risiko adalah sebuah proses untuk mengendalikan situasi dimana organisme, sistem, atau sub(populasi) dapat terkena bahaya. Proses analisis risiko terdiri atas 3 komponen, yaitu penilaian risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko (IPCS, 2004). Analisis risiko kesehatan (*health risk assessment*) adalah suatu proses memperkirakan masalah kesehatan yang mungkin timbul dan besarnya akibat yang ditimbulkannya pada suatu waktu tertentu. Gambar 2.2 merupakan gambar analisis risiko terdiri atas empat tahap kajian, yaitu identifikasi bahaya (*hazard potential identification*), analisis dosis-respon (*dose-response assessment*), analisis pemajanan (*exposure assessment*), dan karakterisasi risiko (*risk characterization*), yang kemudian dilanjutkan dengan manajemen risiko dan komunikasi risiko (US-EPA/NRC, 1983 dalam Louvar & Louvar, 1998).



Gambar 2.4. Langkah-langkah analisis risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko (Sumber: US-EPA/NRC, 1983 dalam Louvar & Louvar, 1998)

Analisis risiko bisa dilakukan untuk pemajanan bahaya lingkungan yang telah lampau (*post exposure*), dengan efek yang merugikan sudah atau belum terjadi, bisa juga dilakukan sebagai suatu prediksi risiko untuk pemajanan yang akan datang (Rahman dkk., 2007). Rahman dkk. (2007) juga menyebutkan bahwa ada dua kemungkinan kajian ARKL yang dapat dilakukan, yaitu:

1. Evaluasi di atas meja (*Desktop Evaluation*), selanjutnya disebut ARKL Meja
2. Kajian lapangan (*Field Study*), selanjutnya disebut ARKL Lengkap

ARKL Meja dilakukan untuk menghitung estimasi risiko dengan segera tanpa harus mengumpulkan data dan informasi baru dari lapangan. 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. ARKL

Lengkap biasanya berlangsung dalam suasana normal, tidak ada tuntutan mendesak namun perlu dilakukan sebagai tindakan proaktif untuk melindungi dan meningkatkan kesehatan masyarakat. Evaluasi di atas meja hanya membutuhkan konsentrasi *riskagent* dalam media lingkungan bermasalah, dosis referensi *risk agent* dan nilai *default* faktor-faktor antropometri pemajanan untuk menghitung asupan.

ARKL lengkap pada dasarnya sama dengan evaluasi di atas meja namun didasarkan pada data lingkungan dan faktor-faktor pemajanan antropometri sebenarnya yang didapat dari lapangan, bukan dengan asumsi atau simulasi. Kajian ini membutuhkan data dan informasi tentang jalur pemajanan dan populasi berisiko. Berikut adalah langkah-langkah dalam analisis risiko.

2.2.1. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Ada beberapa definisi identifikasi bahaya. Identifikasi bahaya adalah identifikasi jenis dan sifat dari suatu agen, memiliki kapasitas melekat yang dapat menyebabkan dampak pada organisme, sistem atau sub(populasi). Identifikasi bahaya merupakan tahap pertama dalam penilaian bahaya juga merupakan awal dari empat langkah-langkah dalam penilaian risiko (IPCS, 2004). Menurut Louvar & Louvar (1998), identifikasi bahaya adalah suatu proses mengenal semua bahaya dari suatu bahan dengan potensinya untuk membahayakan individu atau lingkungan. Identifikasi bahaya juga didefinisikan “*The process of determining what, where, when, why, and how something could happen*” (proses penentuan apa, dimana, kapan, mengapa, dan bagaimana sesuatu dapat terjadi) (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 kerja, melakukan wawancara dengan pekerja di lokasi kerja, informasi dari pabrik atau asosiasi industri, data keselamatan bahan (*material safety data sheet*) dan lainnya (Ramli, 2010).

2.2.2. Analisis Pemajanan (*Exposure Assessment*)

Pajanan adalah konsentrasi atau jumlah kuantitatif agen risiko yang sampai dan memajani organisme target, sistem, atau sub(populasi) dengan frekuensi dan

durasi pajanan yang tertentu. *Exposure assessment* merupakan evaluasi pemajanan dari organisme, sistem, atau sub(populasi) terhadap 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). *Intake* (asupan) adalah jumlah asupan yang diterima individu per berat badan per hari (Louvar & Louvar, 1998). Data intake ini dapat dengan menggunakan persamaan Louvar & Louvar, 1998 (Rahman dkk., 2007) sebagai berikut:

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad (1)$$

Dengan:

I : asupan/*intake* (mg/kg/hari)

C : konsentrasi risk agent, mg/m³ untuk medium udara, mg/l untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan

R : laju (rate) asupan (m³/jam)

t_E : waktu pajanan/bekerja dalam sehari (jam/hari)

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

D_t : durasi pajanan, tahun (*real time* atau proteksi, 30 tahun untuk nilai *default* residensial)

W_b : berat badan (kg)

t_{avg} : periode waktu rata-rata, ($D_t \times 365$ hari/tahun untuk zat nonkarsinogen, 70 tahun \times 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

Konsentrasi agen risiko dalam media lingkungan diperlakukan menurut karakteristik statistiknya. Jika distribusi konsentrasi risk agent normal, bisa digunakan nilai arithmetic mean-nya. Jika distribusinya tidak normal, harus digunakan log normal atau mediannya. Normal tidaknya distribusi konsentrasi risk agent bisa ditentukan dengan menghitung *coefficiencie of variance* (CoV), yaitu *SD* dibagi mean. Jika $CoV \leq 20\%$ distribusi dianggap normal dan karena itu dapat digunakan nilai mean (Rahman dkk., 2007).

Nilai t_E didapatkan dari hasil penelitian, f_E dihitung dengan mengurangi waktu satu tahun (365 hari) dengan lama responden (dalam hari) meninggalkan lokasi studi atau libur kerja. Nilai D_t merupakan hasil penelitian yang menyatakan waktu responden tinggal di lokasi studi dan terpajan bahaya untuk perhitungan *real time*, sedangkan untuk perhitungan sepanjang hayat dapat digunakan nilai D_t , yaitu 30 tahun. Nilai R adalah laju inhalasi, berdasarkan US-EPA, 1990, nilai R default adalah $20 \text{ m}^3/\text{hari}$ untuk laju inhalasi dengan berat badan 70 kg. Oleh karena antropometri masyarakat Indonesia berbeda, maka laju inhalasi dihitung berdasarkan data yang dihimpun oleh Abrianto (2004) menghimpun berbagai nilai default sehingga didapatkan kurva logaritmik berat badan terhadap laju inhalasi normal (US EPA, 1997) yang menghasilkan persamaan $y = 5,3 \ln(x) - 6,9$ dimana $y = R \text{ (m}^3/\text{hari)}$ dan $x = W_b \text{ (kg)}$, maka laju inhalasi dapat diperkirakan sesuai dengan karakteristik antropometri masyarakat Indonesia.

2.2.3. Analisis Dosis-Respon (*Dose-Response Assessment*)

Dosis adalah unit yang menyatakan pajanan terhadap bahan kimia, fisik, atau biologis yang sampai ke organ sasaran. Dosis diekspresikan sebagai unit berat atau volume per unit luas permukaan tubuh. Misalnya: mg/kgBB , ml/kgBB , atau mg/m^2 , ppm atau ppb (Kurniawidjaja, 2009). Analisis dosis-respon, disebut juga *dose-response assessment* atau *toxicity assessment*, menetapkan nilai-nilai kuantitatif toksisitas risk agent untuk setiap bentuk spesi kimianya. Toksisitas dinyatakan sebagai dosis referensi (*reference dose, RfD*) untuk efek-efek nonkarsinogenik dan *Cancer Slope Factor (CSF)* atau *Cancer Unit Risk (CCR)* untuk efek-efek karsinogenik (Rahman dkk., 2007).

RfD atau *RfC* adalah toksisitas kuantitatif nonkarsinogenik, menyatakan estimasi dosis pajanan harian yang diperkirakan tidak menimbulkan efek merugikan kesehatan meskipun pajanan berlanjut sepanjang hayat (IPCS, 2004). Dosis referensi dibedakan untuk pajanan oral atau tertelan (ingesti, untuk makanan dan minuman) yang disebut *RfD* (saja) dan untuk pajanan inhalasi (udara) yang disebut *reference concentration (RfC)*. 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, 2007).

Nilai *RfD* atau *RfC* didapatkan berdasarkan formula:

$$RfD \text{ atau } RfC = \frac{NOAEL \text{ atau } LOAEL}{UF_1 \times UF_2 \times UF_3 \times UF_4 \times MF} \quad (2)$$

Dengan:

- $UF_1=10$ untuk variasi sensitivitas dalam populasi manusia (10H, human)
- $UF_2=10$ untuk ekstrapolasi dari hewan ke manusia (10A, animal)
- $UF_3=10$ jika NOAEL diturunkan dari uji subkronik, bukan kronik.
- $UF_4=10$ bila menggunakan LOAEL bukan NOAEL.
- MF adalah *modifying factor*, merupakan professional judgement atau penilaian professional terhadap kualitas studi toksisitas dan kelengkapan datanya yang tidak tertampung dalam UF, nilainya >0 sampai ≤ 10 dengan nilai default 1.

NOAEL (*No Observable Advers Effect Levels*) diperoleh berdasarkan eksperimen menggunakan hewan uji (uji bioassay) atau studi epidemiologi. NOAEL adalah nilai dosis tertinggi yang tidak menimbulkan efek kesehatan baik secara statistik atau biologis. LOAEL merupakan dosis terendah yang secara statistik atau biologis (masih) menimbulkan efek merugikan pada hewan uji atau manusia (enHealth, 2002). *RfC* bukan dosis yang acceptable melainkan hanya referensi saja, jika dosis yang diterima manusia melebihi *RfC*, maka probabilitas untuk mendapatkan risiko juga lebih besar (Rahman dkk., 2004).

2.2.4. Karakterisasi Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai *Risk Quotient (RQ, Tingkat Risiko)* untuk efek-efek nonkarsinogenik (ATSDR, 2005; US EPA, 1986; IPCS, 2004; Kolluru, 1996; Louvar & Louvar, 1998) dan *Excess Cancer Risk (ECR)* untuk efek-efek karsinogenik (EPA, 2005). *RQ* dihitung dengan membagi asupan nonkarsinogenik (I_{nk}) risk agent dengan *RfD* atau *RfC*-nya menurut persamaan:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC} \quad (3)$$

Dengan:

RQ : Risk Quotient

I_{nk} : Intake nonkarsinogenik ($m^3/kg/hari$)

RfD/RfC : Reference Dose/reference Concentration ($m^3/kg/hari$)

Jika nilai $RQ \leq 1$ menunjukkan indikasi tidak adanya kemungkinan terjadinya risiko efek yang merugikan, namun perlu dipertahankan agar nilai numerik RQ tidak melebihi 1. Sedangkan $RQ > 1$ menunjukkan indikasi adanya kemungkinan terjadinya risiko efek yang merugikan dan perlu adanya upaya pengendalian (Rahman dkk., 2007).

Sementara untuk perhitungan tingkat risiko karsinogenik dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut: (Louvar & Louvar, 1998):

$$ECR = I_k \times CSF \quad (4)$$

Dengan:

ECR : *Excess Cancer Risk* (Risiko Kanker)

I_{kanker} : Intake/asupan kronis (sepanjang hayat, yaitu 70 tahun)

CSF : *Cancer Slope Factor*

Perlu diperhatikan, 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 merupakan perkiraan (estimasi) besar peluang seseorang (individu) berkembang menjadi kanker karena terpajan (seumur hidup) oleh suatu agen kanker yang potensial (Louvar & Louvar, 1998). Nilai ECR dinyatakan aman apabila $< E-4$ (1 dalam 10.000) yang dapat diinterpretasikan akan terjadi penambahan kasus kanker 1 kasus dalam 10.000 populasi.

Unit risiko benzena di udara adalah sebesar $2,2 \times 10^{-6}$ hingga $7,8 \times 10^{-6}$ meningkatkan risiko sepanjang hayat apabila seseorang terpajan $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ benzena di udara sepanjang hayatnya (US-EPA, IRIS, 1998). Nilai ambang batas risiko kanker yang dapat diterima diadopsi dari US-EPA, yaitu *satu kasus kanker per sepuluh ribu penduduk* (Louvar & Louvar, 1998).

2.3 Manajemen Risiko (*Risk Management*)

Dalam OHSAS 18001 (2007) manajemen risiko terbagi atas 3 bagian, yaitu *Hazard Identification*, *Risk Assessment*, dan *Risk Control*, biasanya dikenal dengan singkatan *HIRARC*. Sementara dalam Kepmenaker No. 05/1996 menempatkan manajemen risiko sebagai salah satu elemen penting yaitu pada klausul 2.2.1. menyebutkan: *Perencanaan Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko, dan Pengendalian Risiko: Identifikasi Bahaya, penilaian, dan pengendalian risiko dari kegiatan, produk barang dan jasa harus dipertimbangkan pada saat merumuskan rencana untuk memenuhi kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja. Untuk itu harus ditetapkan dan dipelihara prosedurnya* (Ramli, 2010).

Berdasarkan nilai karakteristik risiko yang telah didapatkan, manajemen risiko sebenarnya merupakan pilihan-pilihan yang dilakukan untuk memperkecil risiko dampak pajanan benzena terhadap kesehatan karyawan atau pekerja, dengan cara mengubah (memanipulasi) nilai faktor-faktor pajanan, sehingga asupan lebih kecil atau sama dengan dosis referensi toksisitasnya yang pada dasarnya hanya ada 2 cara untuk menyamakan *intake* dengan *RfC*, yaitu dengan menurunkan konsentrasi *Risk Agent* dan/atau mengurangi waktu kontak (Rahman dkk, 2007).

2.4. Komunikasi Risiko (*Risk Communication*)

Hasil manajemen risiko harus dikomunikasikan dan diketahui oleh semua pihak yang berkepentingan sehingga akan memberikan manfaat dan keuntungan bagi semua. Pihak manajemen harus memperoleh informasi yang jelas mengenai semua risiko yang ada di bawah kendalinya. Begitu juga dengan para pekerja, perlu diberi informasi mengenai semua potensi bahaya yang ada di tempat kerjanya sehingga mereka bisa melakukan pekerjaan atau kegiatannya dengan

aman dan sehat. Komunikasi yang digunakan dapat berupa edaran, petunjuk praktis, forum komunikasi, buku panduan atau pedoman kerja. (Ramli, 2010).



BAB 3

KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, dan DEFINISI OPERASIONAL

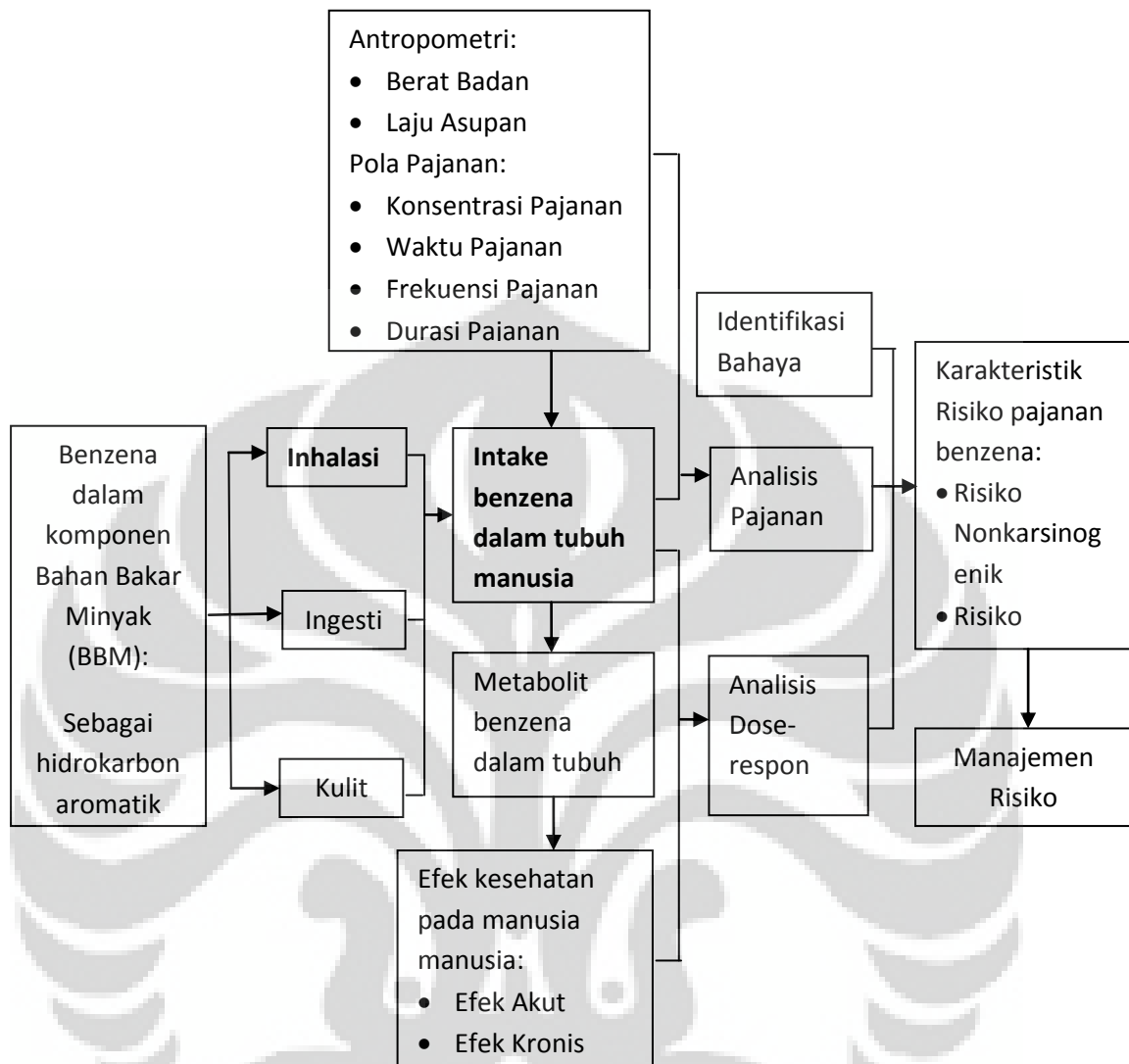
3.1. Kerangka Teori

WHO (1996) menyebutkan bahwa sumber utama yang berasal dari proses penguapan adalah penguapan dari BBM yang mengandung 1-5% Benzena. Menurut *Agency for Toxic Substances and Disease Register* (ATSDR), bahan kimia berbahaya dan beracun yang terdapat di dalam kandungan minyak yaitu benzena, toluene, xylene, ethylene, TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*), *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAHs). Rute pajanan utama terjadi melalui inhalasi, walaupun pada pajanan secara dermal (kontak dengan kulit) dan oral juga mungkin dapat terjadi (ATSDR, 2007).

Pajanan benzena di dalam tubuh melalui proses toksikonetik, yaitu absorpsi, distribusi, metabolisme, dan ekskresi. Fenol merupakan produk metabolit benzena yang utama (ATSDR, 2007). Tanda-tanda klinis toksisitas akut dari benzena termasuk depresi sistem saraf pusat (SSP), aritmia jantung, dan akhirnya sesak napas juga kegagalan pernapasan jika pajanan berada pada tingkat yang mematikan. Efek kesehatan yang paling signifikan dari pajanan benzena dalam jangka pendek dan jangka panjang adalah hematoksisitas, immunotoksisitas, neurotoksisitas, dan karsinogenisitas (IPCS EHC 150, 1993). Fenol merupakan produk metabolit benzena yang utama (ATSDR, 2007).

Proses analisis risiko terdiri atas 3 komponen, yaitu penilaian risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko (IPCS, 2004). Analisis risiko terdiri atas empat tahap kajian, yaitu identifikasi bahaya (*hazard potential identification*), analisis dosis-respon (*dose-response assessment*), analisis pajanan (*exposure assessment*), dan karakterisasi risiko (*risk characterization*), yang kemudian dilanjutkan dengan manajemen risiko dan komunikasi risiko (US-EPA/NRC, 1983 dalam Louvar & Louvar, 1998). Berdasarkan tinjauan kepustakaan tersebut, maka dapat disusun suatu kerangka teori sebagai berikut:

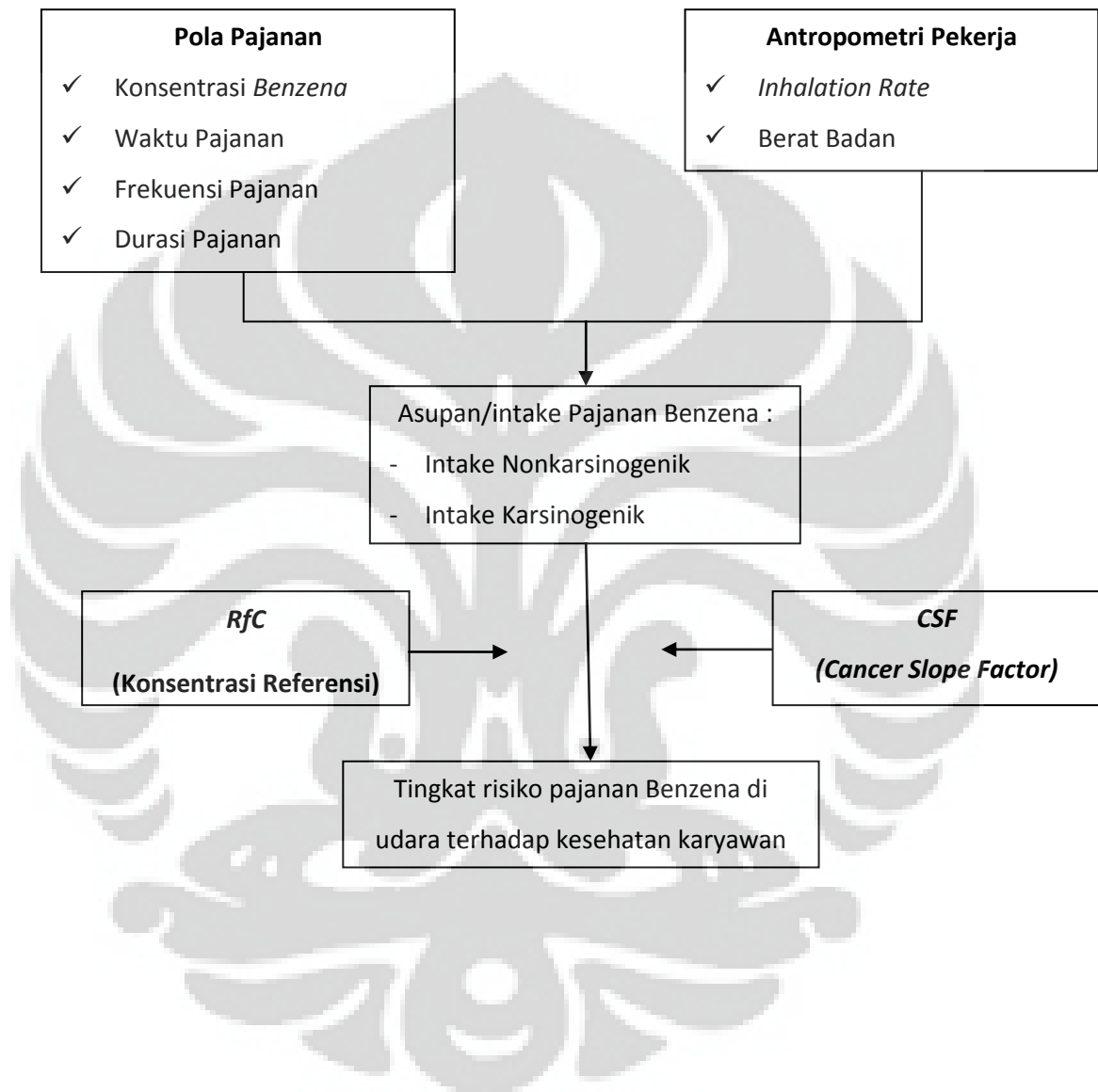
Bagan 3.1. Kerangka Teori



3.2. Kerangka Konsep

Berdasarkan kerangka teori yang telah dijelaskan, berikut adalah bagan kerangka konsep yang digunakan dalam penelitian ini:

Bagan 3.2. Kerangka Konsep



3.3. Definisi Operasional

No.	Variabel	Definisi	Cara Ukur	Alat Ukur	Satuan	Skala
1	Konsentrasi (C) benzena di udara	Kandungan benzena di udara di SPBU 'X' Pancoranmas Depok	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan sampel benzena di udara dilakukan dengan sampler (alat pengambil sampel udara) yang berupa bahan pengabsorb karbon aktif (<i>coconut shell charcoal</i>). • Kemudian alat sampling diletakkan pada 3 titik, yaitu di <i>filling point</i> 1-2, <i>filling point</i> 4, dan ruang administrasi. • Kemudian karbon aktif di bawa ke laboratorium untuk dianalisis dengan Gas Chromatography (GC). 	<ul style="list-style-type: none"> • Pompa sampling • Karbon aktif (<i>coconut shell charcoal</i>) • Gas Chromatography (GC) FID 	mg/m ³	Rasio
2	Waktu Paparan (t_E)	Jumlah jam kerja paparan benzena terhadap para	Kuesioner	Perhitungan hasil kuesioner	jam/hari	Rasio

		karyawan				
3	Frekuensi Pajanan (f_E)	Jumlah hari karyawan terpajan benzena melalui jalur inhalasi dalam satu tahun	Kuesioner	Perhitungan hasil kuesioner	hari/tahun	Rasio
4	Durasi Pajanan (D_t)	Lamanya pekerja terpajan dengan benzena melalui jalur inhalasi dalam satu tahun	Kuesioner	Perhitungan hasil kuesioner	Tahun	Rasio
5	<i>Inhalation Rate</i> (R)	Jumlah udara yang dihirup pekerja dalam satu hari	Studi literatur dari US-EPA, 1997 dalam Yuni, 2010	Kalkulator	m ³ /jam	Rasio
6	Berat Badan (W_b)	Jumlah massa tubuh karyawan	Penimbangan	Dengan menggunakan timbangan berat badan	Kg	Rasio
7	Periode Waktu rata-rata (t_{avg})	Waktu yang dihasilkan dari perkalian durasi frekuensi pajanan	Perhitungan	Kalkulator	Tahun	Rasio

		dengan durasi pajanan, untuk nonkanker : 30 tahun, untuk kanker 70 tahun				
8	<i>Intake (I) Benzena</i>	Jumlah uap benzena di udara yang masuk ke dalam tubuh pekerja melalui jalur inhalasi per-kg berat badan per-hari	Perhitungan berdasarkan konsentrasi udara ambient di udara, frekuensi pajanan, lama pajanan, <i>inhalation rate</i> , dan berat badan	Kalkulator	mg/kg/hari	Rasio
9	<i>Cancer Slope Factor (CSF)</i>	Nilai estimasi kanker, yang diturunkan dari unit risk benzena di udara, yaitu sebesar $2,2 \times 10^{-6}$ hingga $7,8 \times 10^{-6}$	Perhitungan dan studi literatur	Kalkulator	(Tidak ada satuan)	Ordinal

		untuk setiap 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ benzena di udara				
10	<i>RfC</i> (Konsentrasi Referensi Benzena)	NOAEL atau LOAEL benzena dari uji toksisitas kemudian diterapkan pada populasi penelitian dalam bentuk konsentrasi referensi inhalasi (<i>RfC/RfDi</i>)	Literatur dan hasil perhitungan	Kalkulator	mg/kg-hari	Rasio
11	Risiko Nonkanker (<i>RQ</i>)	Perkiraan besaran risiko nonkanker yang menggambarkan kemungkinan timbulnya gangguan	Perhitungan bilangan risiko (<i>RQ</i>)	Kalkulator	$RQ > 1$ berarti berisiko, $RQ \leq 1$ berarti tidak berisiko	Ordinal

		<p>kesehatan disebabkan pajanan benzena di udara lingkungan kerja, dihitung dengan perbandingan antara intake (nonkanker) dengan konsentrasi referensi</p>				
12	Risiko Kanker (<i>ECR</i>)	<p>Perkiraan besar risiko kanker, dihitung dengan intake benzena (kanker) x nilai estimasi kanker (<i>Cancer Slope Factor</i>)</p>	Perhitungan	Kalkulator	Perkiraan jumlah kasus per populasi	Rasio

BAB 4

METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Jenis dan Desain Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian *deskriptif* dengan menggunakan metode analisis kuantitatif. Untuk desain penelitian dimulai dari pengumpulan data sekunder terkait dengan proses kerja yang meliputi bahan kimia yang terdapat di area kerja, MSDS bahan tersebut, dan jumlah pekerja yang terlibat. Kemudian penulis melakukan pengumpulan data primer terkait dengan konsentrasi benzena di udara, frekuensi pajanan, waktu pajanan, durasi pajanan karyawan terhadap benzena serta berat badan karyawan.

Desain studi yang digunakan adalah metode analisis risiko yang diambil dari langkah-langkah analisis risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko (US-EPA/NRC, 1983 dalam Louvar & Louvar, 1998) yang digunakan untuk menilai dan melakukan prediksi yang akan terjadi akibat adanya pajanan zat berbahaya, dalam hal ini adalah benzena yang digunakan sebagai salah satu komponen dalam Bahan Bakar Minyak (BBM). Langkah yang dilakukan dalam paradigm analisis risiko ini adalah:

1. Analisis Risiko, terdiri identifikasi bahaya, analisis pemajanan, analisis dosis respon, dan karakteristik risiko
2. Manajemen Risiko
3. Komunikasi Risiko

4.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada pekerja di SPBU 'X' Pancoranmas Depok. Waktu penelitian pada bulan Desember 2011.

4.3. Populasi dan Sampel Penelitian

4.3.1. Populasi Penelitian

Populasi yang dituju adalah seluruh pekerja yang bekerja hingga saat penelitian dilaksanakan. Jumlah populasi pekerja yang bekerja di SPBU 'X' Pancoranmas Depok yaitu berjumlah 15 orang, terdiri atas 13 karyawan operator mesin pompa BBM, dan 2 karyawan administrasi.

4.3.2. Sampel Penelitian

Jumlah populasi dalam penelitian ini diketahui sebanyak 15 orang, terdiri atas 13 karyawan operator mesin pompa BBM, dan 2 karyawan administrasi. Sampel adalah seluruh karyawan yang bekerja di SPBU 'X' Pancoranmas Depok. Cara pengambilan sampel yaitu total populasi.

4.4. Jenis Data Penelitian

Data sekunder terkait dengan proses kerja yang meliputi bahan kimia yang terdapat di area kerja, MSDS bahan tersebut, dan jumlah pekerja yang terlibat. Kemudian untuk data primer terkait dengan konsentrasi benzena di udara, frekuensi pajanan, waktu pajanan, durasi pajanan karyawan terhadap benzena serta berat badan karyawan.

4.5 Bahan dan Cara Kerja

4.5.1 Prosedur Pengambilan Sampel Benzena di Udara

Menggunakan karbon aktif yang berada dalam tabung kaca bermerek SKC. Karbon aktif ini dipasang pada alat air sampler dan diletakkan di area SPBU dan diletakkan sejajar dengan zona pernapasan karyawan. Kecepatan alir pompa vakum diatur menjadi 0,2 ml/menit, dan pompa diaktifkan selama 5 menit, sehingga diperoleh volume sampling yang sesuai dengan metode NIOSH 1501. Karbon aktif (*charcoal*) yang telah mengandung senyawa benzena ini kemudian dipecahkan dan dilarutkan dengan larutan Carbon Disulfida (CS_2) untuk mengekstrak benzena yang terkandung di dalamnya. Setelah itu, dilakukan analisis konsentrasi benzena dengan menggunakan alat GC/FID di laboratorium.

Pengambilan sampel udara untuk menentukan konsentrasi benzena di lingkungan kerja dilakukan di area filling point sebanyak 2 titik dan 1 titik di bagian administrasi. Proses sampling area dilakukan pada pukul 09.00 – 12.00 WIB.

4.5.2 Bahan dan Metode Analisis Benzena Dalam Sampel Udara

Pengukuran benzena di udara mengacu pada metode NIOSH 1501, 1994. Pengambilan sampel di udara dilakukan dengan sampler (alat pengambil sampel udara) yang berupa bahan pengabsorb karbon aktif (*coconut shell charcoal*). Sampel yang

diambil ini kemudian disimpan pada suhu 4 °C dan dapat stabil selama 3 hari. Kondisi kromatografi gas untuk pengukuran benzena adalah sebagai berikut:

Alat	: Kromatografi Gas dengan Flame Ionization Detector (FID)
Analit	: Benzena
Desorpsi	: 2 mL
Volume Injeksi	: 1 µL
Suhu Injeksi	: 250 °C
Suhu Detektor	: 300 °C
Suhu Kolom	: 40 °C (10 menit) – 230 °C (kenaikan 10 °C/menit)
Gas Pembawa	: Helium UHP dengan kecepatan 1 mL/min
Kolom Kromatografi	: DB Petro (100 m x 0,25 mm x 0,5 µm)
Kalibrasi	: 09-08-2011 s.d. 09-08-2012

4.6. Pengolahan Data

Untuk pengolahan data terhadap hasil penelitian dilakukan dengan menggunakan metode analisis kuantitatif dimana membandingkan nilai *intake* yang telah didapat dari pekerja dengan nilai konsentrasi referensi (*RfC*) yang aman bagi pajanan Benzena untuk efek-efek nonkarsinogenik dan *Cancer Slope Factor (CSF)* untuk efek-efek karsinogenik.

4.7. Analisis Data

4.7.1. Perhitungan Risiko Nonkarsinogenik

Risiko nonkanker dihitung berdasarkan jumlah asupan risk agent sehingga dapat diketahui berapa besar risiko dampak yang ditimbulkan terhadap pekerja. Data dan informasi yang dibutuhkan untuk menghitung asupan benzena dalam tubuh pekerja adalah semua variabel dalam formula berikut (ATSDR, 2005, Louvar & Louvar, 1998).

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

Dengan:

I : Intake (asupan), jumlah risk agent yang diterima individu per satuan, mg/kg/hari

C : Konsentrasi risk agent benzena di udara (mg/m³)

- R : Rate (laju) asupan (m^3/jam)
 t_E : Waktu pajanan / bekerja dalam sehari (jam)
 f_E : Frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)
 D_t : Durasi pajanan, real time atau 30 tahun proyeksi
 W_b : Berat badan (kg)
 t_{avg} : Periode waktu rata-rata, 30 tahun x 365 hari/tahun (nonkarsinogenik)

Kemudian untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan (*Risk Quotient/RQ*) pada karyawan, maka dilakukan perhitungan *RQ* dengan rumus sebagai berikut:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC}$$

RQ (*Risk Quotient*) menyatakan kemungkinan risiko yang potensial terjadi akibat pajanan benzena. Nilai $RQ > 1$ menunjukkan benzena telah di atas normal, sehingga dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi pengemudi tersebut sepanjang hidupnya. Nilai $RQ \leq 1$ menunjukkan bahwa pajanan benzena berada di bawah batas yang diperbolehkan sehingga karyawan yang terpajan masih terhitung aman dari risiko kesehatan akibat benzena selama hidupnya.

4.7.2. Perhitungan Risiko Karsinogenik

Untuk risiko kanker dihitung berdasarkan jumlah asupan risk agent sepanjang hayat sehingga dapat diketahui berapa besar risiko dampak yang ditimbulkannya terhadap karyawan. Data dan informasi yang dibutuhkan untuk menghitung asupan benzena dalam tubuh karyawan adalah semua variabel dalam formula sebagai berikut (Louvar dan Louvar, 1998).

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

Keterangan:

- I : asupan (*intake*), jumlah risk agent yang diterima individu per satuan, mg/kg/hari
 C : Konsentrasi risk agent benzena di udara (mg/m^3)

- R : Rate (laju) asupan (m^3/jam)
 t_E : Waktu pajanan / bekerja dalam sehari (jam)
 f_E : Frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)
 D_t : Durasi pajanan, real time atau 30 tahun proyeksi
 W_b : Berat badan (kg)
 t_{avg} : Periode waktu rata-rata, 30 tahun x 365 hari/tahun (nonkarsinogenik)

Untuk menentukan risiko karsinogenik, maka dibutuhkan nilai *Cancer Slope Factor* (CSF). Dimana nilai ini diturunkan dari data yang ada di IRIS tentang nilai *Air Unit Risk* benzena yaitu: $2,2 \times 10^{-6}$ hingga $7,8 \times 10^{-6}$, untuk kemudian ditentukanlah nilai risiko kankernya dengan menggunakan rumus:

$$ECR = I_k \times CSF$$

Dengan:

- ECR : *Excess Cancer Risk* (Risiko Kanker)
 I_k : Jumlah intake kronis (sepanjang hayat, yaitu selama 70 tahun)
 CSF : *Cancer Slope Factor*

Nilai ambang batas risiko kanker yang dapat diterima, penulis menggunakan mengadopsi dari IRIS US-EPA, yaitu 1×10^{-6} (satu kasus untuk satu juta penduduk) untuk konsentrasi benzena di udara sebesar $13 - 45 \mu g/m^3$, 1×10^{-5} (satu kasus dalam seratus ribu penduduk) untuk konsentrasi benzena di udara $1,3 - 4,5 \mu g/m^3$, dan 1×10^{-4} (satu kasus dalam sepuluh ribu penduduk) untuk konsentrasi benzena di udara $0,13 - 4,5 \mu g/m^3$. Dalam penelitian ini dipilih nilai ambang batas risiko kanker adalah 1×10^{-4} untuk konsentrasi benzena di udara $0,13 - 4,5 \mu g/m^3$, nilai ini dipilih karena populasi responden yang sedikit.

BAB 5

HASIL PENELITIAN

5.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Lokasi SPBU 'X' terletak di Pancoranmas Depok. SPBU ini memiliki 4 tempat penyimpanan BBM bawah tanah, terdiri atas 2 untuk Premium, 1 untuk Pertamina dan Solar dengan kapasitas secara berurutan yaitu 75.000 liter, 21.000 liter, dan 32.000 liter. Kemudian di SPBU ini memiliki 10 mesin pompa bahan bakar, yaitu 7 mesin pompa untuk Premium, 2 untuk Pertamina, dan 1 untuk Solar. Jumlah seluruh karyawan sebanyak 15 orang, terdiri atas 13 orang bagian operator mesin bahan bakar (13 perempuan) dan 2 orang bagian administrasi (2 laki-laki).

Untuk hari kerja operator mesin bahan bakar minyak yaitu dari hari Senin sampai dengan hari Minggu yang terbagi menjadi 2 *shift*. *Shift* pertama bertugas dari pukul 04.30 WIB sampai dengan pukul 13.30 WIB, *Shift* kedua bertugas dari pukul 13.30 WIB sampai dengan pukul 22.30 WIB. Untuk sistem libur bagi operator SPBU adalah sistem libur tidak tetap, jadi operator SPBU hanya diberikan satu hari saja untuk libur dan mereka bisa bebas memilih hari apa saja untuk liburnya. Kemudian untuk hari kerja karyawan bagian administrasi yaitu setiap hari, karena tidak ada hari libur bagi karyawan bagian administrasi.

5.2. Pola Paparan

5.2.1. Konsentrasi Benzene Di Udara

Berikut disajikan Tabel distribusi konsentrasi benzene di udara lingkungan kerja SPBU 'X' Pancoranmas Depok:

Tabel 5.1.

Distribusi konsentrasi benzena di udara SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

Lokasi/titik Pengukuran	Nama Zat	Bentuk Fisik	Hasil Pengukuran (ppm)	Hasil Pengukuran (mg/m ³)	NAB (ppm)*	NAB (mg/m ³)**
Area SPBU "X" (<i>Outdoor Air Quality</i>)	Benzena (C ₆ H ₆)	Gas	0,02	0,06	0,5	32
Area Bagian Administrasi (<i>Indoor Air Quality</i>)	Benzena (C ₆ H ₆)	Gas	0,02	0,06	0,5	32

* **Referensi NAB:** Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia NOMOR PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja.

** **Referensi NAB:** Standar Nasional Indonesia 19-0232-2005 tentang Nilai Ambang Batas (NAB) zat kimia di udara tempat kerja.

Hasil pengukuran apabila dikonversikan ke dalam satuan mg/m³ sebagai berikut:

$$\text{mg/m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{BM}_{\text{Benzena}}}{24,5}$$

(Nedved & Milos, 1991:123)

$$\text{mg/m}^3 = \frac{0,02 \times 78,11}{24,5}$$

$$\text{mg/m}^3 = \frac{0,02 \times 78,11}{24,5}$$

$$\text{mg/m}^3 = 0,06$$

$$\text{mg/m}^3 = 0,06$$

5.2.2. Waktu Pajanan (t_E)

Waktu pajanan didapatkan berdasarkan perhitungan sistem shift yang berlaku atau yang telah ditetapkan perusahaan serta waktu untuk melayani pembelian BBM dalam satu hari. Satuan yang dipakai adalah jumlah keterpajanan karyawan terhadap benzena dalam jam/hari. Jumlah shift yang ada di SPBU 'X' ini yaitu 2 *shift* dengan jumlah karyawan operator SPBU pada masing-masing shift berjumlah 7 orang untuk *shift* siang dan 6 orang untuk *shift* pagi dan 2 orang di bagian administrasi. Berdasarkan hasil kuesioner dan wawancara dengan manager SPBU 'X' didapatkan bahwa dalam satu hari operator SPBU bekerja selama 8 jam/hari dan karyawan administrasi bekerja selama 8 jam/hari, maka dari itu peluang terjadinya terpajan benzena pada setiap shift dalam satu hari adalah sama. Jadi dapat disimpulkan bahwa waktu pajanan pada setiap karyawan terpajan benzena di SPBU 'X' Pancoranmas Depok yaitu 8 jam/hari.

5.2.3. Frekuensi Pajanan (f_e)

Satuan yang dipakai dalam variabel frekuensi pajanan (f_e) adalah hari/tahun. Seberapa lama (dalam hari) pajanan benzena yang diterima oleh karyawan di SPBU "X" Pancoranmas Depok dalam satu tahun. Variabel ini didapatkan dari hasil perhitungan jumlah seluruh jam kerja selama satu tahun dikurangi dengan jumlah hari libur. Berdasarkan hasil wawancara dengan manager SPBU bahwa sistem shift yang berlaku adalah sebagai berikut:

- Untuk operator pompa BBM: sistem dua *shift*, yaitu *shift* pagi (dari pukul 04.30 WIB s.d. 13.30 WIB) dan *shift* siang (dari pukul 13.30 WIB s.d. 22.30 WIB). Jumlah hari kerja untuk operator SPBU yaitu 6 hari/minggu.
- Untuk karyawan administrasi: sistem dua *shift*, yaitu *shift* pagi (dari pukul 04.30 WIB s.d. 13.30 WIB) dan *shift* siang (dari pukul 13.30 WIB s.d. 22.30 WIB). Jumlah hari kerja untuk karyawan administrasi yaitu 7 hari/minggu.

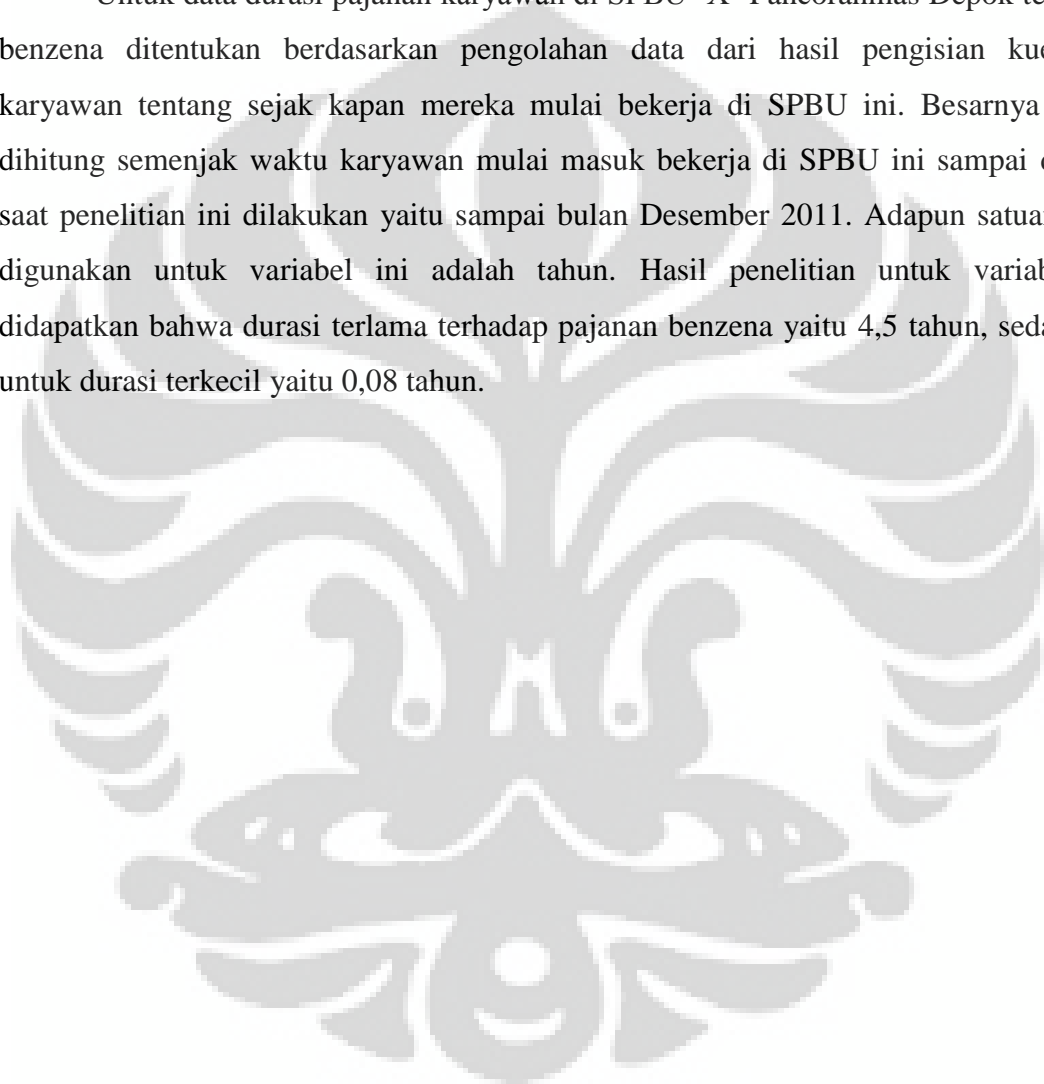
Untuk mendapatkan jumlah hari kerja total karyawan dalam satu tahun, penulis mengalikan jumlah hari kerja (dalam satu minggu) dengan 4 minggu (dalam satu bulan) kemudian dikali 12 bulan (dalam satu tahun). Berikut uraiannya:

- Untuk operator pompa BBM : 6 hari/minggu x 4 minggu x 12 bulan = 288 hari/tahun
- Untuk karyawan administrasi : 7 hari/minggu x 4 minggu x 12 bulan = 336 hari/tahun

Menurut informasi yang didapatkan dari hasil wawancara dengan manager SPBU bahwa tidak ada hari libur di SPBU ini dalam satu tahun. Berdasarkan informasi keseluruhan, dapat ditentukan frekuensi pajanan dalam satu tahun yaitu 288 hari/tahun untuk operator SPBU dan 336 hari/tahun untuk karyawan administrasi.

5.2.4. Durasi Pajanan (D_i)

Untuk data durasi pajanan karyawan di SPBU 'X' Pancoranmas Depok terhadap benzena ditentukan berdasarkan pengolahan data dari hasil pengisian kuesioner karyawan tentang sejak kapan mereka mulai bekerja di SPBU ini. Besarnya durasi dihitung semenjak waktu karyawan mulai masuk bekerja di SPBU ini sampai dengan saat penelitian ini dilakukan yaitu sampai bulan Desember 2011. Adapun satuan yang digunakan untuk variabel ini adalah tahun. Hasil penelitian untuk variabel ini didapatkan bahwa durasi terlama terhadap pajanan benzena yaitu 4,5 tahun, sedangkan untuk durasi terkecil yaitu 0,08 tahun.



Tabel 5.2.
Distribusi pola pajanan benzena di udara terhadap karyawan SPBU 'X' Pancoranmas
Depok tahun 2011

Nomor Responden	Konsentrasi Benzena di Udara / C (mg/m^3)	Waktu Pajanan / t_E (jam/hari)	Frekuensi Pajanan / f_E (hari/tahun)	Durasi Pajanan / D_t (tahun)
1 *	0,06	8	228	4,5
2 *	0,06	8	228	0,6
3 *	0,06	8	228	0,5
4 *	0,06	8	228	0,6
5 *	0,06	8	228	4,5
6 *	0,06	8	228	1,3
7 **	0,06	8	336	3
8 *	0,06	8	228	0,25
9 *	0,06	8	228	0,6
10 *	0,06	8	228	1
11 *	0,06	8	228	0,5
12 **	0,06	8	336	4
13 *	0,06	8	228	2
14 *	0,06	8	228	3
15 *	0,06	8	228	0,1

Keterangan:

* Operator SPBU

** Karyawan Administrasi

5.3. Antropometri Pekerja

5.3.1. Berat Badan Karyawan (W_b)

Berikut disajikan Tabel Distribusi Berat Badan (W_b) karyawan SPBU "X" Pancoranmas Depok:

Tabel 5.3.

Distribusi berat badan (W_b) karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

Nomor Responden	Berat Badan / W_b (kg)
1 *	50
2 *	44
3 *	44
4 *	51
5 *	55
6 *	68
7 **	62
8 *	45
9 *	55
10 *	62
11 *	42
12 **	90
13 *	78
14 *	60
15 *	60
Min	42
Max	90
Mean	57,73
Median	55
Varian	179,35
Standar Deviasi (SD)	13,40
COV	23,21%

Keterangan:

* Operator SPBU

** Karyawan Administrasi

Variabel berat badan karyawan diukur berdasarkan hasil pengukuran langsung dengan menggunakan timbangan berat badan. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali

kemudian dihitung nilai rata-ratanya dengan tujuan untuk menjaga reliabilitas data. Berat badan karyawan di SPBU 'X' Pancoranmas Depok berada pada range 42 - 90 kg. Rata-rata berat badan seluruh karyawan di SPBU ini adalah 57,73 kg dengan nilai Standar Deviasi yaitu 13,40.

5.3.2. *Inhalation Rate (R)*

Berikut disajikan Tabel Distribusi *Inhalation Rate (R)* terhadap pajanan benzena di udara lingkungan kerja pada karyawan SPBU "X" Pancoranmas Depok:

Tabel 5.4.

Distribusi nilai *inhalation rate (R)* terhadap pajanan benzena di udara pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

Nomor Responden	<i>Inhalation Rate /R</i> (m ³ /jam)
1 *	0,6
2 *	0,54
3 *	0,54
4 *	0,6
5 *	0,6
6 *	0,64
7 **	0,62
8 *	0,55
9 *	0,6
10 *	0,62
11 *	0,53
12 **	0,7
13 *	0,7
14 *	0,61
15 *	0,61

Untuk nilai *inhalation rate (R)* atau laju inhalasi, penulis menggunakan berdasarkan data yang dihimpun oleh Abrianto (2004), menghimpun berbagai nilai

default sehingga didapatkan kurva logaritmik berat badan terhadap laju inhalasi normal (US-EPA, 1997) yang menghasilkan persamaan:

$$y = 5,3 \ln(x) - 6,9$$

dengan: $y = R$ (m^3/hari)

$x = W_b$ (kg).

Contoh perhitungan pada responden pertama sebagai berikut:

$$y = 5,3 \ln(x) - 6,9$$

$$\text{m}^3/\text{hari} = 5,3 \ln(50) - 6,9$$

$$\text{m}^3/\text{hari} = 13,83 \rightarrow \mathbf{0,6 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

Dari hasil perhitungan *inhalation rate* (R) pada responden pertama didapat nilai $R = 0,6 \text{ m}^3/\text{jam}$. Kemudian dihitung juga pada responden kedua sampai responden lima belas (lihat tabel 5.4.).

5.3.3. Status Merokok Karyawan

Berikut disajikan tabel distribusi status merokok pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok:

Tabel 5.5.

Distribusi status merokok pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

Karakteristik Responden (Status Merokok)	Jumlah	Presentase (%)
Merokok	2	13,3
Tidak Merokok	13	86,7

Kebiasaan merokok akan menambah jumlah asupan benzena ke dalam tubuh karyawan dimana akan memperburuk risiko kesehatan yang dihadapinya. Didapatkan hasil sebanyak 13 orang tidak merokok (86,7%) dan sebanyak 2 orang merokok (13,3%).

5.4. Keluhan Kesehatan

Berdasarkan perhitungan kuesioner kepada seluruh karyawan dengan total 15 responden, didapatkan data keluhan subjektif terhadap kesehatan karyawan sebagai berikut:

Tabel 6.1. Data keluhan kesehatan terhadap pajanan benzena pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

Keluhan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Pusing	11	73,33
Sesak napas	7	47
Mudah/cepat marah	8	53,33
Mual	2	13,33
Muntah	0	0

Dari seluruh keluhan kesehatan akibat pajanan benzena, yang terbanyak dikeluhkan oleh responden adalah merasa pusing yaitu sebanyak 11 orang (73,33%), mudah/cepat marah sebanyak 8 orang (53,33%), sesak napas sebanyak 7 orang (47%), dan mual sebanyak 2 orang (13,33%).

5.5. Analisis Dosis-Respon

5.5.1. Analisis Dosis-Respon Risiko Nonkanker Pajanan Benzena

Konsentrasi referensi merupakan nilai *RfC* (*Reference Concentration*) dari pajanan benzena terhadap karyawan di SPBU 'X' Pancoranmas Depok. Nilai *RfC* dalam penelitian ini menggunakan dosis referensi untuk inhalasi (*reference dose, RfC*) yang ditetapkan oleh IRIS dari US-EPA yaitu sebesar $3 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$. Nilai *RfC* ini harus dikonversi sehingga memiliki satuan mg/kg/hari . Karena nilai *RfC* didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Rothman et al. (US-EPA, 2002) yang menggunakan nilai-nilai default dari US-EPA dalam eksperimennya, maka untuk konversi satuan *RfC* ini digunakan data-data sebagai berikut:

$$\text{Berat Badan } (W_b) = 70 \text{ kg}$$

$$\text{Laju Inhalasi } (R) = 20 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Maka } RfC : 0,03 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 20 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{1}{70 \text{ kg}}$$

$$= 0,0086 \text{ mg/kg/hari} = \mathbf{0,01} \text{ mg/kg/hari}$$

Nilai *RfC* (*Reference Concentration*) ini yang akan digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan nonkanker akibat pajanan benzena dengan rumus:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC}$$

5.5.2. Analisis Dosis-Respon Risiko Kanker Pajanan Benzena

Perkiraan risiko karsinogenik ini dihitung dengan lama pajanan sepanjang hayat (*lifetime*) selama 70 tahun (Louvar & Louvar, 1998). Perhitungan risiko karsinogenik ini akan dilakukan untuk karyawan per bagian pekerjaan dan masing-masing individu. Dalam perhitungan risiko kanker ini, selain membutuhkan pajanan sepanjang hayat juga nilai *CSF* (*Cancer Slope Factor*). Nilai *CSF* ini dapat diturunkan dari nilai *air unit risk* benzena melalui inhalasi yang diterapkan oleh IRIS US-EPA, yaitu sebesar $2,2 \times 10^{-6}$ hingga $7,8 \times 10^{-6}$ untuk setiap $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ benzena, yang dapat diartikan bahwa untuk setiap $\mu\text{g}/\text{m}^3$ benzena di udara dapat menyebabkan risiko kanker (*ECR*) sebesar 2,2 hingga 7,8 kasus per 1.000.000 populasi. Nilai *CSF* ini merupakan nilai yang tetap untuk setiap populasi, hanya saja nilai *air unit risk*-nya yang berbeda.

Untuk menurunkan nilai *CSF*, digunakan dua nilai *air unit risk*, yaitu $2,2 \times 10^{-6}$ dan $7,8 \times 10^{-6}$ untuk setiap konsentrasi benzena di udara $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai $2,2 \times 10^{-6}$ adalah untuk perkiraan risiko yang minimal, sementara nilai $7,8 \times 10^{-6}$ adalah untuk perkiraan risiko yang *over estimate* sehingga diperkirakan lebih dapat melindungi responden. Dan dalam proses penurunan nilai *CSF* ini, digunakan nilai-nilai default dari US-EPA *Standard Default Exposure Factors* (1991) dengan data-data sebagai berikut:

- Laju inhalasi (*R*) = $20 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,82 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Frekuensi pajanan (*f_e*) = 250 hari
- Waktu pajanan (*t_E*) = 8 jam/hari
- Durasi pajanan (*D_t*) = 25 tahun
- Berat badan (*W_b*) = 70 kg
- Periode waktu rata-rata (*t_{avg}*) = 365 hari/tahun x 70 tahun
- Konsentrasi benzena (*C*) = $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{m}^3$
- Risiko kanker (*ECR*) = $2,2 \times 10^{-6}$ dan $7,8 \times 10^{-6}$

Risiko kanker ini merupakan risiko kanker untuk populasi tertentu yang digunakan dalam penelitian penentuan *air unit risk* yang diambil oleh IRIS US-EPA, tetapi dapat ditentukan nilai *Cancer Slope Factor (CSF)* dengan menurunkan rumus sebagai berikut:

$$ECR = I_k \times CSF \quad \Rightarrow \quad CSF = ECR / I_k$$

Maka untuk *air unit risk* untuk $7,8 \times 10^{-6}$ didapatkan nilai *CSF* maksimum:

$$\begin{aligned} CSF &= 7,8 \times 10^{-6} : \frac{1 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 250 \text{ hari} \times 25 \text{ tahun}}{70 \text{ kg} \times 365 \text{ hari/tahun} \times 70 \text{ tahun}} \\ &= 0,0000078 : \frac{41,5}{1.788.500} \\ &= \mathbf{0,34 \text{ mg/kg/hari}} \end{aligned}$$

Kemudian *air unit risk* untuk $2,2 \times 10^{-6}$ didapatkan nilai *CSF* minimum:

$$\begin{aligned} CSF &= 2,2 \times 10^{-6} : \frac{1 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 250 \text{ hari} \times 25 \text{ tahun}}{70 \text{ kg} \times 365 \text{ hari/tahun} \times 70 \text{ tahun}} \\ &= 0,0000022 : \frac{41,5}{1.788.500} \\ &= \mathbf{0,1 \text{ mg/kg/hari}} \end{aligned}$$

Kedua nilai *Cancer Slope Factor (CSF)* ini yang akan digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan kanker akibat pajanan benzena di udara lingkungan kerja terhadap karyawan di SPBU 'X' Pancoranmas Depok, untuk memperkirakan risiko minimum dan risiko maksimum (*over estimate*) yang akan terjadi terhadap para karyawan.

5.6. Analisis Pemajanan (*Exposure Assessment*)

Analisis pajanan adalah mengukur jumlah pajanan benzena ke dalam tubuh karyawan di SPBU 'X' Pancoranmas Depok dengan menggunakan persamaan:

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

Untuk melakukan analisis pajanan dilakukan perhitungan *intake* (asupan) benzena dengan memasukkan nilai variabel yang dibutuhkan dalam perhitungan. Data konsentrasi yang digunakan dalam perhitungan adalah data konsentrasi pajanan atau konsentrasi benzena di lingkungan yang didapat dari hasil sampling area (*indoor air quality* dan *outdoor air quality*). *Intake* (asupan) yang dihitung adalah berdasarkan kondisi pajanan *realtime*, 3 tahun (UU RI No. 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan, batas waktu maksimal kontrak kerja karyawan) dan *lifetime*.

Perhitungan *intake* individu sebagai contoh akan dilakukan pada responden pertama dengan data-data yang dimiliki oleh responden pertama adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan Intake pajanan nonkanker

$$I_{\text{realtime (nk)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times 4,5 \text{ th}}{50 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= \mathbf{0,0005 \text{ mg/kg/hari}}$$

$$I_{\text{3 tahun (nk)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (4,5+3)\text{th}}{50 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= \mathbf{0,001 \text{ mg/kg/hari}}$$

$$I_{\text{lifetime (nk)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (4,5+30)\text{th}}{50 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= \mathbf{0,004 \text{ mg/kg/hari}}$$

Perhitungan intake pajanan nonkanker dilakukan pada pajanan *realtime*, 3 tahun dan *lifetime*. Yang membedakan pajana *realtime*, 3 tahun dan *lifetime* adalah nilai durasi pajanan, yakni pada pajanan *realtime* durasi yang diperhitungkan adalah durasi sebenarnya atau lama responden telah bekerja di SPBU tersebut. Pada pajanan 3 tahun, nilai durasi yang digunakan adalah durasi batas waktu maksimal kontrak kerja karyawan berdasarkan UU RI No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan. Sedangkan pada pajanan *lifetime* nonkanker yakni 30 tahun.

Tabel 5.6.

Distribusi nilai *intake* (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan pajanan benzena *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

No.	No. Responden	<i>Realtime</i> (mg/kg/hari)	3 tahun (mg/kg/hari)	<i>lifetime</i> (mg/kg/hari)
1.	1 *	0,0005	0,001	0,004
2.	2 *	0,0008	0,0004	0,004
3.	3 *	0,0001	0,0004	0,004
4.	4 *	0,0001	0,0004	0,003
5.	5 *	0,0005	0,001	0,004
6.	6 *	0,0001	0,0004	0,003
7.	7 **	0,0004	0,001	0,005
8.	8 *	0,00003	0,0004	0,004
9.	9 *	0,0001	0,0004	0,003
10.	10 *	0,0001	0,0004	0,003
11.	11 *	0,0001	0,0004	0,004
12.	12 **	0,0004	0,001	0,004
13.	13 *	0,0002	0,0004	0,003
14.	14 *	0,0003	0,001	0,003
15.	15 *	0,00001	0,0003	0,003

Keterangan:

* Operator SPBU

** Karyawan Administrasi

b. Perhitungan Intake pajanan kanker

$$\begin{aligned}
 I_{\text{realtime (k)}} &= \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times 4,5 \text{ th}}{50 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}} \\
 &= \mathbf{0,0002 \text{ mg/kg/hari}}
 \end{aligned}$$

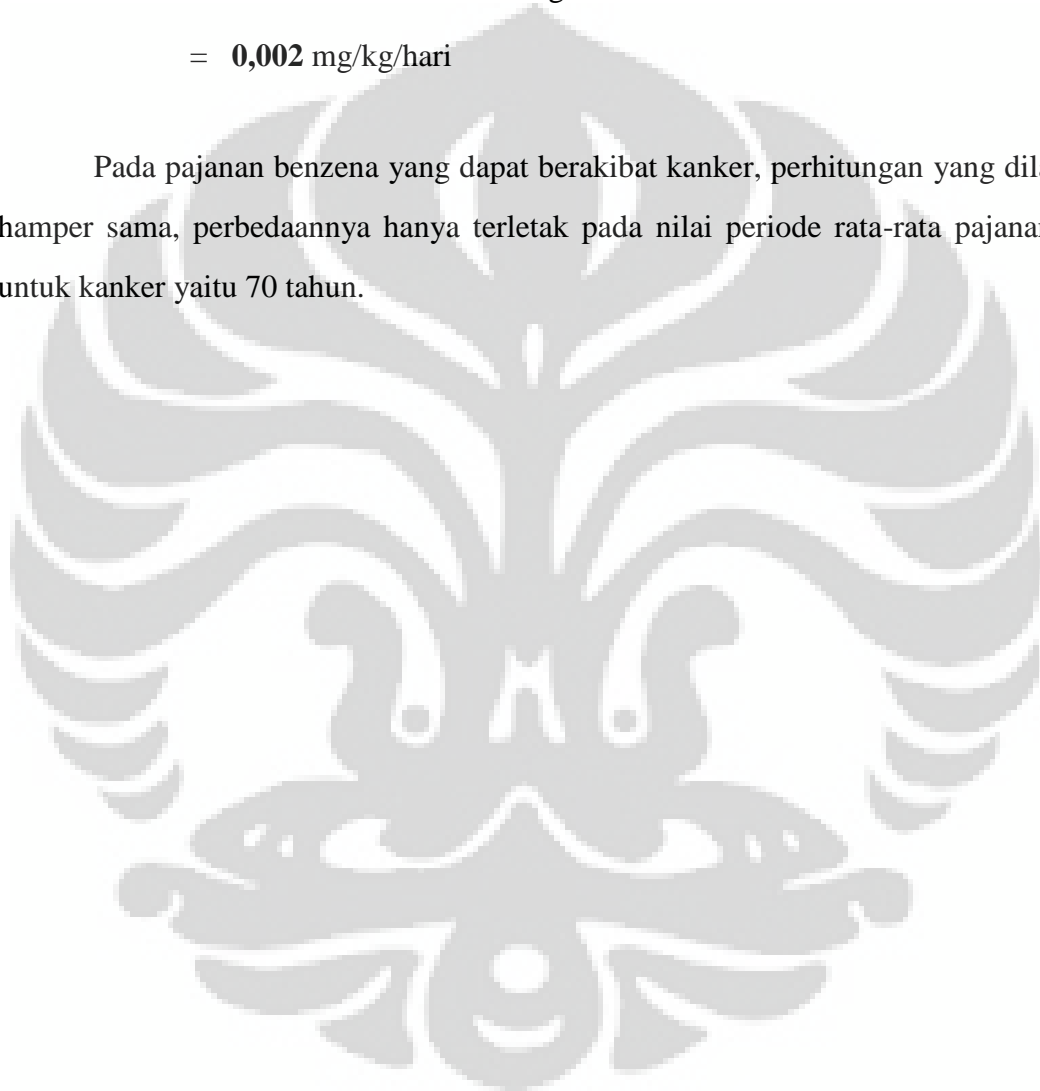
$$I_{3 \text{ tahun (k)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (4,5+3)\text{th}}{50 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= \mathbf{0,0004} \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{lifetime (k)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (4,5+30)\text{th}}{50 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= \mathbf{0,002} \text{ mg/kg/hari}$$

Pada pajanan benzena yang dapat berakibat kanker, perhitungan yang dilakukan hamper sama, perbedaannya hanya terletak pada nilai periode rata-rata pajanan (t_{avg}) untuk kanker yaitu 70 tahun.



Tabel 5.7.

Distribusi nilai *Intake* (asupan) efek karsinogenik berdasarkan pajanan benzena *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

No.	No. Responden	<i>Realtime</i> (mg/kg/hari)	3 tahun (mg/kg/hari)	<i>Lifetime</i> (mg/kg/hari)
1.	1 *	2×10^{-4}	4×10^{-4}	2×10^{-3}
2.	2 *	3×10^{-5}	2×10^{-4}	2×10^{-3}
3.	3 *	3×10^{-5}	2×10^{-4}	2×10^{-3}
4.	4 *	3×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
5.	5 *	2×10^{-4}	3×10^{-4}	2×10^{-3}
6.	6 *	5×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
7.	7 **	2×10^{-4}	5×10^{-4}	2×10^{-3}
8.	8 *	1×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
9.	9 *	3×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
10.	10 *	4×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
11.	11 *	2×10^{-5}	2×10^{-4}	2×10^{-3}
12.	12 **	2×10^{-4}	4×10^{-4}	2×10^{-3}
13.	13 *	7×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
14.	14 *	1×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
15.	15 *	3×10^{-6}	1×10^{-4}	1×10^{-3}

Keterangan:

* Operator SPBU

** Karyawan Administrasi

5.7. Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko untuk efek nonkanker dapat diketahui dengan membagi nilai *Intake* dengan nilai *RfD* atau *RfC* sebagai berikut:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC}$$

Setelah diperoleh nilai *RQ*, maka asumsi yang digunakan sebagai berikut:

- Jika $RQ \leq 1$, maka konsentrasi hazard belum berisiko dapat menimbulkan efek kesehatan nonkarsinogenik.
- Jika $RQ > 1$, maka konsentrasi hazard berisiko dapat menimbulkan efek kesehatan nonkarsinogenik.

Sedangkan karakteristik untuk efek kanker dapat diketahui dengan mengalikan nilai *Intake* dengan nilai *CSF*.

$$ECR = I_k \times CSF$$

Setelah diperoleh nilai *ECR*, maka asumsi yang digunakan sebagai berikut:

- Jika $ECR \leq 10^{-4}$, maka konsentrasi hazard belum berisiko menimbulkan efek kesehatan karsinogenik.
 - Jika $ECR > 10^{-4}$, maka nilai konsentrasi hazard sudah dapat berisiko efek kesehatan karsinogenik.
- a. Perhitungan *Risk Quotient (RQ)* pada individu untuk pajanan nonkanker (pada responden pertama)

$$RQ_{\text{realtime (nk)}} = \frac{0,0005 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 0,05$$

$$RQ_{\text{3 tahun (nk)}} = \frac{0,001 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 0,1$$

$$RQ_{\text{lifetime (nk)}} = \frac{0,004 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 0,4$$

Diketahui pada responden pertama nilai *RQ* pada pajanan *realtime*, 3 tahun, dan pajanan *lifetime* berturut-turut adalah 0,05 ; 0,1 ; 0,4. Ini menunjukkan bahwa pada pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* belum berisiko terhadap efek nonkanker pada responden pertama.

Tabel 5.8.

Distribusi nilai *Risk Quotient (RQ)* berdasarkan pajanan benzena selama *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* pada karyawan SPBU “X” Pancoranmas Depok tahun 2011

No. Responden	<i>Realtime</i>	3 tahun	<i>Lifetime</i>
1 *	0,05	0,1	0,4
2 *	0,1	0,04	0,4
3 *	0,01	0,04	0,4
4 *	0,01	0,04	0,3
5 *	0,05	0,1	0,4
6 *	0,01	0,04	0,3
7 **	0,04	0,1	0,5
8 *	0,003	0,04	0,4
9 *	0,01	0,04	0,3
10 *	0,01	0,04	0,3
11 *	0,01	0,04	0,4
12 **	0,04	0,1	0,4
13 *	0,02	0,04	0,3
14 *	0,03	0,1	0,3
15 *	0,001	0,03	0,3

Tabel 5.9.

Persentase nilai *Risk Quotient (RQ)* pajanan benzena selama *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* berdasarkan perhitungan individu pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas

Depok tahun 2011

Pajanan	<i>Risk Quotient (RQ)</i>	Jumlah		Total
		Orang	Persentase	
<i>RQ</i> Realtime	$RQ \leq 1$	15	100%	15 orang
	$RQ > 1$	0	0%	
<i>RQ</i> 3 tahun	$RQ \leq 1$	15	100%	15 orang
	$RQ > 1$	0	0%	
<i>RQ</i> Lifetime	$RQ \leq 1$	15	100%	15 orang
	$RQ > 1$	0	0%	

Diketahui nilai *RQ* dari seluruh responden yaitu pada pajanan *realtime* tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai $RQ > 1$ dan 15 orang (100%) dengan nilai $RQ \leq 1$. Pada pajanan 3 tahun tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai $RQ > 1$ dan 15 orang (100%) dengan nilai $RQ \leq 1$. Dan pada pajanan *lifetime*, juga tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai $RQ > 1$ dan 15 orang (100%) dengan nilai $RQ \leq 1$. Kesimpulannya, seluruh karyawan pada pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* belum berisiko efek nonkanker terhadap pajanan benzena.

- b. Perhitungan risiko kanker (*ECR*) individu pada pajanan yang dapat mengakibatkan kanker (pada responden pertama):

$$ECR = I_k \times CSF$$

- $ECR_{\text{realtime (k)}} = (2 \times 10^{-4}) \times 0,1 = 0,0002 \times 0,1 = 0,00002$

$$= 2 \times 10^{-5} \Rightarrow \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{\text{realtime (k)}} = (2 \times 10^{-4}) \times 0,34 = 0,0002 \times 0,34 = 0,00007$$

$$= 7 \times 10^{-5} \Rightarrow \text{risiko maksimum}$$

- $$ECR_{3 \text{ tahun}}(k) = (4 \times 10^{-4}) \times 0,1 = 0,0004 \times 0,1 = 0,00004$$

$$= 4 \times 10^{-5} \implies \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{3 \text{ tahun}}(k) = (4 \times 10^{-4}) \times 0,34 = 0,0004 \times 0,34 = 0,0001$$

$$= 1 \times 10^{-4} \implies \text{risiko maksimum}$$
- $$ECR_{\text{lifetime}}(k) = (2 \times 10^{-3}) \times 0,1 = 0,002 \times 0,1 = 0,0002$$

$$= 2 \times 10^{-4} \implies \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{\text{lifetime}}(k) = (2 \times 10^{-3}) \times 0,34 = 0,002 \times 0,34 = 0,0007$$

$$= 7 \times 10^{-4} \implies \text{risiko maksimum}$$

Risiko kesehatan kanker pajanan *realtime* pada responden pertama yaitu sebesar $2 \times 10^{-5} - 7 \times 10^{-5}$, artinya nilai risiko kanker ini belum melebihi ambang batas ($ECR \leq 1 \times 10^{-4}$). Kemudian pada pajanan selama 3 tahun, nilai *ECR* sebesar $4 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$, artinya pada nilai *ECR* minimal dan maksimal belum berisiko kanker. Dan pada pajanan *lifetime*, nilai *ECR* sebesar $2 \times 10^{-4} - 7 \times 10^{-4}$, artinya kedua nilai tersebut sudah berisiko kanker.

Tabel 5.10.

Distribusi nilai *Excess Cancer Risk (ECR)* pajanan benzena selama *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* berdasarkan perhitungan individu pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

No. Responden	<i>Realtime</i>		3 tahun		<i>Lifetime</i>	
	<i>ECR</i> Min	<i>ECR</i> Maks	<i>ECR</i> Min	<i>ECR</i> Maks	<i>ECR</i> Min	<i>ECR</i> Maks
1 *	2×10^{-5}	7×10^{-5}	4×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	7×10^{-4}
2 *	3×10^{-6}	2×10^{-5}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	2×10^{-4}	7×10^{-4}
3 *	3×10^{-6}	2×10^{-5}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	2×10^{-4}	7×10^{-4}
4 *	3×10^{-6}	2×10^{-5}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	1×10^{-4}	3×10^{-4}
5 *	2×10^{-5}	7×10^{-5}	3×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	7×10^{-4}
6 *	5×10^{-6}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	1×10^{-4}	3×10^{-4}
7 **	2×10^{-5}	7×10^{-5}	5×10^{-5}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	7×10^{-4}
8 *	1×10^{-6}	3×10^{-6}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	1×10^{-4}	3×10^{-4}
9 *	3×10^{-6}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	1×10^{-4}	3×10^{-4}
10 *	4×10^{-6}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	1×10^{-4}	3×10^{-4}
11 *	2×10^{-6}	7×10^{-6}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	2×10^{-4}	7×10^{-4}
12 **	2×10^{-6}	7×10^{-6}	4×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	7×10^{-4}
13 *	7×10^{-6}	2×10^{-5}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	1×10^{-4}	3×10^{-4}
14 *	1×10^{-5}	3×10^{-5}	2×10^{-5}	7×10^{-5}	1×10^{-4}	3×10^{-4}
15 *	3×10^{-7}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	3×10^{-5}	1×10^{-4}	3×10^{-4}

Tabel 5.11.

Persentase nilai *Excess Cancer Risk (ECR)* pajanan benzena selama *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* berdasarkan perhitungan individu pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok tahun 2011

Pajanan	ECR	Jumlah		Total
		Orang	Persentase	
ECR Realtime	$ECR \leq 10^{-4}$	15	100%	15 orang
	$ECR > 10^{-4}$	0	0%	
ECR 3 tahun	$ECR \leq 10^{-4}$	14	93,33%	15 orang
	$ECR > 10^{-4}$	1	6,66%	
ECR Lifetime	$ECR \leq 10^{-4}$	0	0%	15 orang
	$ECR > 10^{-4}$	15	100%	

Diketahui nilai *ECR* seluruh responden yaitu pada pajanan *realtime* tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai $ECR > 10^{-4}$ dan terdapat 15 orang (100%) dengan nilai $ECR \leq 10^{-4}$. Kemudian pada pajanan 3 tahun, terdapat 1 karyawan (6,66%) dengan nilai $ECR > 10^{-4}$ dan terdapat 14 orang (93,33%) dengan nilai $ECR \leq 10^{-4}$. Dan pada pajanan *lifetime*, terdapat 15 karyawan (100%) dengan nilai $ECR > 10^{-4}$ dan tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai $ECR \leq 10^{-4}$.

5.8. Estimasi Risiko Kesehatan Populasi Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok Terhadap Pajanan Benzena

Perhitungan risiko populasi terhadap pajanan benzena dilakukan pada durasi pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime*. Yang membedakan perhitungan populasi dengan individu adalah nilai variabel yang digunakan pada perhitungan ini merupakan nilai-nilai yang mewakili nilai tiap-tiap variabel pada populasi.

Nilai konsentrasi (C) adalah nilai konsentrasi pajanan benzena yang berbeda pada 2 titik pada lokasi penelitian ini, yaitu area SPBU dan ruang administrasi. Nilai konsentrasi pada titik 1 (area SPBU) yaitu $0,06 \text{ mg/m}^3$ dan nilai konsentrasi pada titik 2 (ruang administrasi) yaitu $0,06 \text{ mg/m}^3$. Nilai laju inhalasi (R) yang digunakan berdasarkan pengolahan data, diketahui bahwa data laju inhalasi responden berdistribusi

normal ($COV \leq 20\%$), sehingga nilai laju inhalasi yang digunakan adalah data *mean* yaitu $0,6 \text{ m}^3/\text{jam}$ (operator pompa BBM) dan $0,08 \text{ m}^3/\text{jam}$ (karyawan administrasi). Waktu/lama pajanan (t_E) adalah nilai waktu pajanan responden dalam 1 hari, yaitu 8 jam/hari. Nilai ini sama pada semua responden karena lama jam kerja responden adalah 8 jam dalam 1 shift.

Variabel frekuensi pajanan (f_E) adalah jumlah hari kerja responden dalam 1 tahun, yaitu 228 hari/tahun (operator pompa BBM) dan 336 hari/tahun (karyawan administrasi). Dan untuk variabel durasi pajanan (D_t) pada masing-masing responden berbeda, bergantung pada berapa lama responden bekerja untuk pajanan *realtime*. Nilai durasi pajanan pada responden operator pompa BBM berdistribusi tidak normal, sehingga menggunakan nilai *median* yaitu 0,58 tahun dan nilai durasi pada responden karyawan administrasi berdistribusi normal sehingga menggunakan nilai *mean* yaitu 3,5 tahun.

Pajanan 3 tahun dihitung untuk mempertimbangkan waktu maksimal seorang karyawan dipekerjakan di dalam sebuah perusahaan. Sedangkan untuk pajanan lifetime digunakan nilai default (30 tahun untuk nonkanker dan 70 tahun untuk kanker). Nilai berat badan (W_b) pada responden operator pompa BBM berdistribusi normal, sehingga menggunakan nilai *mean* yaitu 55 kg dan nilai berat badan pada responden karyawan administrasi berdistribusi tidak normal, sehingga menggunakan nilai *median* yaitu 76 kg.

5.8.1. Estimasi Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Pada Populasi Karyawan Operator Pompa BBM

Perhitungan estimasi risiko kesehatan pada pajanan benzena nonkanker sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{realtime (nk)}} &= \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times 0,58 \text{ th}}{55 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}} \\
 &= 6 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$I_{3 \text{ tahun (nk)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (0,58+3)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= 4 \times 10^{-4} \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{lifetime (nk)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (0,58+30)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= 3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}$$

Pada perhitungan *Intake* nonkanker, didapatkan nilai pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 6×10^{-5} mg/kg/hari ; 4×10^{-4} mg/kg/hari, dan 3×10^{-3} mg/kg/hari. Kemudian dilakukan perhitungan *Risk Quotient (RQ)* sebagai berikut:

$$RQ_{\text{realtime (nk)}} = \frac{0,00006 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 6 \times 10^{-3}$$

$$RQ_{3 \text{ tahun (nk)}} = \frac{0,0004 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 4 \times 10^{-2}$$

$$RQ_{\text{lifetime (nk)}} = \frac{0,003 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 3 \times 10^{-1}$$

Nilai estimasi risiko nonkanker (*RQ*) pada populasi karyawan operator pompa BBM yang terpajan benzena untuk pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 6×10^{-3} ; 4×10^{-2} ; dan 3×10^{-1} . Dari nilai-nilai tersebut diketahui bahwa pada semua pajanan di populasi ini belum berisiko terkena efek nonkanker ($RQ < 1$).

Perhitungan estimasi risiko kesehatan kanker pajanan benzena sebagai berikut:

$$I_{\text{realtime (k)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times 0,58 \text{ th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= 2 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{3 \text{ tahun (k)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (0,58+3)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= 1 \times 10^{-4} \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{lifetime (k)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (0,58+30)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= 1 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}$$

Pada perhitungan *Intake* berisiko kanker, didapatkan nilai pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 2×10^{-5} mg/kg/hari ; 1×10^{-4} mg/kg/hari, dan 1×10^{-3} mg/kg/hari. Kemudian dilakukan perhitungan *ECR* sebagai berikut:

$$ECR_{\text{realtime (k)}} = 2 \times 10^{-5} \times 0,1 = 2 \times 10^{-6} \Rightarrow \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{\text{realtime (k)}} = 2 \times 10^{-5} \times 0,34 = 7 \times 10^{-6} \Rightarrow \text{risiko maksimum}$$

$$ECR_{3 \text{ tahun (k)}} = 1 \times 10^{-4} \times 0,1 = 1 \times 10^{-5} \Rightarrow \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{3 \text{ tahun (k)}} = 1 \times 10^{-4} \times 0,34 = 3 \times 10^{-5} \Rightarrow \text{risiko maksimum}$$

$$ECR_{\text{lifetime (k)}} = 1 \times 10^{-3} \times 0,1 = 1 \times 10^{-4} \Rightarrow \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{\text{lifetime (k)}} = 1 \times 10^{-3} \times 0,34 = 3 \times 10^{-4} \Rightarrow \text{risiko maksimum}$$

Nilai estimasi risiko kanker (*ECR*) pada populasi karyawan operator pompa BBM yang terpajan benzena untuk pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 2×10^{-6} (risiko minimum) dan 7×10^{-6} (risiko maksimum), 1×10^{-5} (risiko minimum) dan 3×10^{-5} (risiko maksimum), dan 1×10^{-4} (risiko minimum) dan 3×10^{-4} (risiko maksimum). Dari nilai-nilai tersebut populasi ini sudah berisiko kanker pada pajanan *lifetime* karena $ECR > 10^{-4}$, sehingga diperlukan upaya manajemen risiko.

5.8.2. Estimasi Risiko Kesehatan Paparan Benzena Pada Populasi Karyawan Bagian Administrasi

Perhitungan estimasi risiko kesehatan nonkanker paparan benzena sebagai berikut:

$$I_{\text{realtime (nk)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 336 \text{ hari/th} \times 3,5 \text{ th}}{76 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= 5 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{3 tahun (nk)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 336 \text{ hari/th} \times (3,5+3)\text{th}}{76 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= 1 \times 10^{-4} \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{lifetime (nk)}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 336 \text{ hari/th} \times (3,5+30)\text{th}}{76 \text{ kg} \times 30 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$= 5 \times 10^{-4} \text{ mg/kg/hari}$$

Pada perhitungan *Intake* nonkanker, didapatkan nilai paparan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 5×10^{-5} mg/kg/hari ; 1×10^{-4} mg/kg/hari, dan 5×10^{-4} mg/kg/hari. Kemudian dilakukan perhitungan *Risk Quotient (RQ)* sebagai berikut:

$$RQ_{\text{realtime (nk)}} = \frac{0,00005 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 5 \times 10^{-3}$$

$$RQ_{\text{3 tahun (nk)}} = \frac{0,0001 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 1 \times 10^{-2}$$

$$RQ_{\text{lifetime (nk)}} = \frac{0,0005 \text{ mg/kg/hari}}{0,01 \text{ mg/kg/hari}} = 5 \times 10^{-2}$$

Nilai estimasi risiko nonkanker (RQ) pada populasi karyawan bagian administrasi yang terpajan benzena untuk pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 5×10^{-3} ; 1×10^{-2} ; dan 5×10^{-2} . Dari nilai-nilai tersebut diketahui bahwa pada semua pajanan di populasi ini belum berisiko terkena efek nonkanker ($RQ < 1$).

Perhitungan estimasi risiko kesehatan kanker pajanan benzena sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{realtime (k)}} &= \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 336 \text{ hari/th} \times 3,5 \text{ th}}{76 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}} \\
 &= 2 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/hari} \\
 I_{3 \text{ tahun (k)}} &= \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 336 \text{ hari/th} \times (3,5+3)\text{th}}{76 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}} \\
 &= 4 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/hari} \\
 I_{\text{lifetime (k)}} &= \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 336 \text{ hari/th} \times (3,5+30)\text{th}}{76 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}} \\
 &= 2 \times 10^{-4} \text{ mg/kg/hari}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan *Intake* berefek kanker, didapatkan nilai pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 2×10^{-5} mg/kg/hari; 4×10^{-5} mg/kg/hari, dan 2×10^{-4} mg/kg/hari. Kemudian dilakukan perhitungan *ECR* sebagai berikut:

$$ECR_{\text{realtime (k)}} = 2 \times 10^{-5} \times 0,1 = 2 \times 10^{-6} \Rightarrow \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{\text{realtime (k)}} = 2 \times 10^{-5} \times 0,34 = 7 \times 10^{-6} \Rightarrow \text{risiko maksimum}$$

$$ECR_{3 \text{ tahun (k)}} = 4 \times 10^{-5} \times 0,1 = 4 \times 10^{-6} \Rightarrow \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{3 \text{ tahun (k)}} = 4 \times 10^{-5} \times 0,34 = 1 \times 10^{-5} \Rightarrow \text{risiko maksimum}$$

$$ECR_{\text{lifetime (k)}} = 2 \times 10^{-4} \times 0,1 = 2 \times 10^{-5} \Rightarrow \text{risiko minimum}$$

$$ECR_{\text{lifetime (k)}} = 2 \times 10^{-4} \times 0,34 = 7 \times 10^{-5} \Rightarrow \text{risiko maksimum}$$

Nilai estimasi risiko kanker (*ECR*) pada populasi karyawan operator pompa BBM yang terpajan benzena untuk pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 2×10^{-6} (risiko minimum) dan 7×10^{-6} (risiko maksimum), 4×10^{-6} (risiko minimum) dan 1×10^{-5} (risiko maksimum), dan 2×10^{-5} (risiko minimum) dan 7×10^{-5} (risiko maksimum). Dari nilai-nilai tersebut populasi ini belum berisiko efek kanker.

5.9. Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah suatu upaya untuk melindungi populasi yang terpajan dengan berbagai cara, dapat dengan menghindari kontak, mengurangi kontak atau menggunakan alat perlindungan. Namun dalam perhitungan Analisis Risiko Kesehatan, manajemen risiko yang dilakukan adalah dengan memperhitungkan setiap komponen atau variabel sehingga ditemukan batas aman yang dapat melindungi populasi, yaitu dengan menurunkan konsentrasi pajanan, mengurangi waktu keterpaparan atau durasi pajanan dan frekuensi pajanan.

Berdasarkan karakteristik risiko, dapat dirumuskan pilihan-pilihan manajemen risiko untuk meminimalkan *RQ* dan *ECR* dengan memanipulasi (mengubah) nilai faktor-faktor pemajanan yang tercakup dalam Persamaan (1) sedemikian rupa sehingga asupan lebih kecil atau sama dengan dosis referensi toksisitasnya. Pada dasarnya hanya ada dua cara untuk menyamakan I_{nk} dengan *RfD* atau *RfC* atau mengubah I_k sedemikian rupa sehingga *ECR* tidak melebihi E-4, yaitu menurunkan konsentrasi *risk agent* atau mengurangi waktu kontak. Ini berarti hanya variabel-variabel Persamaan (1) tertentu saja yang bisa diubah-ubah nilainya.

Dari hasil perhitungan estimasi untuk efek nonkanker dan efek kanker, baik pada populasi operator pompa BBM dan karyawan administrasi bahwa semuanya diketahui belum berisiko efek nonkanker dan efek kanker. Namun, apabila diketahui salah satu populasi berisiko nonkanker ($RQ > 1$) dan atau berisiko kanker ($ECR > 10^{-4}$), sehingga diperlukan suatu manajemen risiko untuk melindungi populasi tersebut.

Perhitungan *Intake* pada kegiatan manajemen risiko efek karsinogenik pada karyawan operator pompa BBM adalah sebagai berikut:

$$\text{Intake} = 10^{-4} / 0,34$$

$$= 0,0003 \text{ mg/kg/hari} \Rightarrow \text{intake minimum}$$

$$\text{Intake} = 10^{-4} / 0,1$$

$$= 0,001 \text{ mg/kg/hari} \Rightarrow \text{intake maksimum}$$

a. Mengurangi konsentrasi selama pajanan *lifetime*

$$\frac{0,0003 \text{ mg/kg/hari}}{\text{mg/kg/hari}} = \frac{C \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (0,58+30)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$\begin{aligned} C \text{ mg/m}^3 &= \frac{0,0003 \text{ mg/kg/hari} \times 55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}{0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times 30,58 \text{ th}} \\ &= \mathbf{0,013 \text{ mg/m}^3} \end{aligned}$$

$$\frac{0,001 \text{ mg/kg/hari}}{\text{mg/kg/hari}} = \frac{C \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (0,58+30)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$\begin{aligned} C \text{ mg/m}^3 &= \frac{0,001 \text{ mg/kg/hari} \times 55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}{0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times 30,58 \text{ th}} \\ &= \mathbf{0,042 \text{ mg/m}^3} \end{aligned}$$

b. Mengurangi lama pajanan (t_E) selama pajanan *lifetime*

$$\frac{0,0003 \text{ mg/kg/hari}}{\text{mg/kg/hari}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times t_E \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (0,58+30)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$t_E \text{ jam/hari} = \frac{0,0003 \text{ mg/kg/hari} \times 55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 228 \text{ hari/th} \times 30,58 \text{ th}}$$

$$= 2 \text{ jam/hari}$$

$$\frac{0,001 \text{ mg/kg/hari}}{\text{mg/kg/hari}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times t_E \text{ jam/hari} \times 228 \text{ hari/th} \times (0,58+30)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$t_E \text{ jam/hari} = \frac{0,001 \text{ mg/kg/hari} \times 55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 228 \text{ hari/th} \times 30,58 \text{ th}}$$

$$= 6 \text{ jam/hari}$$

- c. Mengurangi frekuensi pajanan (f_E) selama pajanan *lifetime*

$$\frac{0,0003 \text{ mg/kg/hari}}{\text{mg/kg/hari}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times f_E \text{ hari/th} \times (0,58+30)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$f_E \text{ hari/th} = \frac{0,0003 \text{ mg/kg/hari} \times 55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 30,58 \text{ th}}$$

$$= \mathbf{47 \text{ hari/tahun}}$$

$$\frac{0,001 \text{ mg/kg/hari}}{\text{mg/kg/hari}} = \frac{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times f_E \text{ hari/th} \times (0,58+30)\text{th}}{55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}$$

$$f_E \text{ hari/th} = \frac{0,001 \text{ mg/kg/hari} \times 55 \text{ kg} \times 70 \text{ th} \times 365 \text{ hari/th}}{0,06 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 30,58 \text{ th}}$$

$$= \mathbf{159 \text{ hari/tahun}}$$

- d. Mengurangi durasi pajanan (D_t)

Durasi pajanan dapat langsung ditentukan sebesar 3 tahun terhadap karyawan SPBU 'X', hasil perhitungan estimasi risiko kanker terhadap populasi karyawan operator pompa BBM yang terpajan benzene dengan durasi pajanan 3 tahun ternyata belum berisiko untuk mendapatkan efek kanker pada populasi tersebut.

Tabel 5.12.

Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek nonkanker terhadap pajanan benzena yang aman pada populasi karyawan operator pompa BBM SPBU “X” Pancoranmas Depok tahun 2011

Komponen	Data Awal	Variabel Aman	
		Nilai Min	Nilai Maks
Konsentrasi (C)	0,06 mg/m ³	0,013 mg/m ³	0,032 mg/m ³
Lama Pajanan (t_E)	8 jam/hari	2 jam/hari	6 jam/hari
Frekuensi Pajanan (f_E)	228 hari/tahun	47 hari/tahun	159 hari/tahun
Durasi Pajanan (D_t)	30 tahun	3 tahun	



BAB 6 PEMBAHASAN

6.1. Keterbatasan Penelitian

Hasil penelitian ini tidak dapat digeneralisasikan untuk populasi pekerja yang terpajan benzena pada umumnya, karena penelitian ini terbatas hanya memperkirakan risiko kesehatan pajanan benzena terhadap karyawan di SPBU “X” Pancoranmas Depok.

Penulis menggunakan bahan pustaka yang diambil dari negara-negara yang telah maju dalam menggunakan pendekatan ini, dikarenakan bahan pustaka di dalam negeri yang terbatas membuat penulis menggunakan referensi dari penelitian di negara-negara tersebut. Seperti penetapan nilai *reference concentration* (*RfC*) benzena yang dalam hal ini penulis mengadopsi nilai acuan dari penelitian yang dilakukan oleh Rothman et al. (US-EPA, 2002) yang menggunakan nilai-nilai default dari US-EPA dalam eksperimennya. Di dalam nilai acuan ini terdapat dua nilai, yaitu nilai berat badan (W_b) dan laju inhalasi (R). Untuk nilai berat badan belum mewakili nilai berat badan orang Indonesia yaitu 50 kg (Laurence dan Bacharach, 1964 dalam Febriyantho, 2009), tetapi untuk nilai laju inhalasi (*inhalation rate*/ R) penulis mengadopsi dari data yang dihimpun oleh Abrianto (2004) menghimpun berbagai nilai default sehingga didapatkan kurva logaritmik berat badan terhadap laju inhalasi normal (US-EPA, 1997) yang menghasilkan persamaan $y = 5,3 \ln(x) - 6,9$ dimana $y = R$ (m^3 /hari) dan $x = W_b$ (kg), maka laju inhalasi dapat diperkirakan sesuai dengan karakteristik antropometri masyarakat Indonesia.

Kemudian untuk pengukuran konsentrasi benzena di udara, pengukuran hanya dilakukan satu kali, yaitu pada pagi hari pukul 09.00 WIB sampai dengan 12.00 WIB. Hal ini kurang representatif dalam mewakili keadaan keseluruhan dalam penentuan konsentrasi benzena di udara lingkungan kerja SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok.

6.2. Sumber Pajanan Benzena di SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok

Terdapat beberapa sumber potensial pajanan benzena di SPBU ‘X’ Pancoranmas Depok, yaitu sumber pajanan tetap dan sumber pajanan tidak tetap. Sumber pajanan tetap yaitu berasal dari 4 tempat penyimpanan BBM bawah tanah, terdiri atas 2 untuk

Premium, 1 untuk Pertamina dan Solar dengan kapasitas secara berurutan yaitu 75.000 liter, 21.000 liter, dan 32.000 liter. Kemudian 10 mesin pompa bahan bakar, yaitu 7 mesin pompa untuk Premium, 2 untuk Pertamina, dan 1 untuk Solar. Sedangkan sumber tidak tetap yaitu berasal dari pembakaran kendaraan bermotor yang mengantri untuk membeli Bahan Bakar Minyak (BBM).

6.3. Distribusi Variabel-variabel Pola Paparan dan Antropometri Pekerja

6.3.1. Konsentrasi Paparan Benzena di Udara

Hasil pengukuran kadar benzena di udara di tiga titik yang berbeda yaitu, 0,0170 ppm (titik 1, *filling point* 1-2), 0,0170 ppm (titik 2, *filling point* 4), dan 0,0214 ppm (titik 3, ruang administrasi). Dikarenakan subjek penelitian ini adalah operator pompa BBM dan karyawan administrasi, jadi hasil pengukuran pada titik 1 dan 2 penulis mengambil nilai rata-ratanya menjadi 0,02 ppm untuk nilai konsentrasi area SPBU dan 0,02 ppm untuk nilai konsentrasi ruang administrasi. Kemudian nilai tersebut dikonversi menjadi satuan mg/m^3 yaitu $0,06 \text{ mg}/\text{m}^3$ untuk konsentrasi area SPBU dan $0,06 \text{ mg}/\text{m}^3$ untuk konsentrasi ruang administrasi.

Dari hasil pengukuran awal (kadar benzena di udara), terlihat bahwa nilai konsentrasi di ruang administrasi (0,02 ppm) sama dengan nilai konsentrasi di area SPBU (0,02 ppm). Menurut penulis hal ini terjadi karena walaupun kedua hasil pengukuran tersebut sama dan yang berisiko tinggi terpajan benzena ialah operator pompa BBM, tetapi di ruang administrasi terdapat pintu yang terkadang dalam keadaan tertutup dan terbuka. Ini terjadi karena aktifitas keluar masuk karyawan dari dan menuju ke ruang administrasi sering terjadi, sehingga mengakibatkan kadar benzena yang diemisikan dari beberapa sumber di lingkungan SPBU dengan mudah dapat masuk ke dalam ruangan, sehingga akan terjadi akumulasi konsentrasi karena tidak terjadi pengenceran atau pergantian udara. Ditambah juga para karyawan operator mesin pompa BBM melakukan absensi dan *briefing* setelah selesai bertugas di ruangan administrasi, mengakibatkan kulit dan pakaian kerja yang mereka gunakan saat bekerja kemungkinan dapat menghantarkan uap benzena ke dalam ruangan akibat percikan atau tumpahan bahan bakar minyak.

Jika dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditentukan oleh ACGIH, NIOSH, dan OSHA (0,5 ppm, 0,1 ppm, dan 1 ppm), konsentrasi benzena di lingkungan SPBU 'X' ini masih berada di bawah nilai NAB yang ditetapkan untuk

pajanan selama 8 jam kerja. Selain itu, jika dibandingkan juga dengan beberapa peraturan di Indonesia, diantaranya Standar Nasional Indonesia tahun 2005 (SNI 2005) yang mengacu pada Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja Nomor SE 01/Men/1997 yang memuat tentang Nilai Ambang Batas (NAB) rata-rata tertimbang waktu (TWA/*Time Weighted Average*) zat kimia di tempat kerja dengan jumlah jam kerja 8 jam per hari atau 40 jam per minggu menyatakan bahwa benzena NAB sebesar 10 ppm atau 32 mg/m³ benzena di udara (SNI 2005) dan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia NOMOR PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja menyatakan bahwa benzena memiliki NAB sebesar 0,5 ppm dan memiliki PSD (Paparan Singkat yang Diperkenankan) sebesar 2,5 ppm juga masih berada di bawah NAB tersebut. ATSDR (2007) mengestimasi bahwa rata-rata pajanan benzena terhadap pekerja di area SPBU di dunia hanyalah sebesar 0,12 ppm.

6.3.2. Berat Badan Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok

Pada prinsipnya besarnya nilai *Intake* berbanding lurus dengan nilai konsentrasi bahan kimia, laju asupan, frekuensi pajanan, dan durasi pajanan, artinya semakin besar nilai tersebut maka akan semakin besar pula asupan atau *Intake* seseorang. Begitu pula dengan nilai *intake*, *intake* berbanding lurus dengan nilai berat badan. Karena benzena bersifat lipofilik dimana distribusi terbesar dalam tubuh adalah dalam jaringan lemak (ATSDR, 2007), sehingga semakin besar berat badan seseorang maka semakin besar pula risiko kesehatannya.

Rata-rata berat badan karyawan adalah 57,73 kg yang digunakan dalam perhitungan, walaupun demikian, dasar perhitungan ini mengacu pada US-EPA yang menggunakan pengukuran dengan berat badan orang barat dewasa yaitu dengan nilai default 70 kg. Berdasarkan konsep ARKL dan rata-rata keseluruhan (pria dan wanita) angka harapan hidup orang Indonesia yaitu 70,76 kg (*CIA World Factbook* dalam Wikipedia Indonesia), semakin besar berat badan seseorang, maka akan semakin berisiko, sehingga kemungkinan risiko orang Indonesia untuk terkena efek yang merugikan dari pajanan suatu bahan atau zat kimia lebih tinggi.

6.3.3. Lama Bekerja Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok

Lama karyawan bekerja di SPBU 'X' Pancoranmas Depok ini rata-rata 1,76 tahun dengan 1 orang yang baru bekerja selama 1 bulan dan 2 orang yang telah bekerja selama 4,5 tahun. Masa kerja sangat mempengaruhi pajanan dan nilai *intake* yang kemudian dapat menimbulkan risiko kesehatan. Menurut Undang-undang Republik Indonesia No. 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan yang mengisyaratkan batas waktu maksimal 3 tahun bagi pengusaha untuk mempekerjakan karyawan, secara tidak langsung hal ini memberikan perlindungan kepada karyawan SPBU terhadap pajanan dan nilai *intake* senyawa benzena dalam waktu yang lebih lama.

6.4. Keluhan Kesehatan

Berdasarkan perhitungan kuesioner kepada seluruh karyawan dengan total 15 responden, keluhan subjektif terhadap kesehatan karyawan akibat pajanan benzena yaitu yang terbanyak dikeluhkan oleh responden adalah merasa pusing yaitu sebanyak 11 orang (73,33%), mudah/cepat marah sebanyak 8 orang (53,33%), sesak napas sebanyak 7 orang (47%), dan mual sebanyak 2 orang (13,33%).

Tingkat risiko yang didapat dari gambaran penelitian ini bahwa populasi karyawan (operator pompa BBM dan karyawan bagian administrasi) belum berisiko efek nonkarsinogenik pada semua durasi pajanan ($RQ \leq 1$). Tetapi dari hasil pengukuran kuesioner diketahui bahwa sebanyak 11 responden mengeluh pusing, 8 orang mengeluh mudah/cepat marah, 7 responden merasa mengeluh sesak napas, dan 2 orang mengeluh mual. Melihat gejala-gejala atau keluhan-keluhan karyawan tersebut mengindikasikan bahwa karyawan SPBU 'X' telah terpajan benzena.

6.5. Analisis Pemajanan

Perhitungan *intake* dilakukan dengan membedakan durasi pajanan, yaitu durasi untuk pajanan *realtime* (perhitungan berdasarkan waktu pajanan yang sebenarnya), pajanan 3 tahun dan pajanan *lifetime* (dengan durasi pajanan seumur hidup). Pada pajanan nonkarsinogenik periode waktu rata-rata selama 30 tahun untuk orang dewasa, sedangkan pada karsinogenik selama 70 tahun. Nilai risiko (RQ) Pajanan nonkarsinogenik dapat diperhitungkan jika diketahui nilai RfD atau RfC , sedangkan pada karsinogenik dapat diperhitungkan jika diketahui nilai *Cancer Slope Factor*. Besarnya nilai *intake* berbanding lurus dengan nilai konsentrasi bahan kimia, laju

asupan, frekuensi pajanan dan durasi pajanan, yang artinya semakin besar nilai tersebut maka akan semakin besar asupan seseorang. Sedangkan asupan berbanding terbalik dengan nilai berat badan dan periode waktu rata-rata, yaitu semakin besar berat badan maka akan semakin kecil risiko kesehatan.

Dari hasil perhitungan, dapat diketahui nilai intake (nonkarsinogenik) *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berurutan pada populasi karyawan operator pompa BBM adalah sebesar 6×10^{-5} mg/kg/hari ; 4×10^{-4} mg/kg/hari ; 3×10^{-3} mg/kg/hari, nilai intake (karsinogenik) *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berurutan adalah sebesar 2×10^{-5} mg/kg/hari ; 1×10^{-4} mg/kg/hari ; 1×10^{-3} mg/kg/hari. Kemudian dapat diketahui nilai intake (nonkarsinogenik) *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berurutan pada populasi karyawan administrasi adalah sebesar 5×10^{-5} mg/kg/hari ; 1×10^{-4} mg/kg/hari ; 5×10^{-4} mg/kg/hari, nilai intake (karsinogenik) *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berurutan adalah sebesar 2×10^{-5} mg/kg/hari ; 4×10^{-5} mg/kg/hari ; 2×10^{-4} mg/kg/hari.

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa durasi pajanan sangat berpengaruh terhadap nilai *intake*, semakin lama karyawan bekerja maka nilai *intake* akan semakin besar dan risiko untuk mendapatkan efek yang merugikan kesehatan pun semakin tinggi pula.

6.6. Karakteristik Risiko

Karakteristik risiko dapat ditentukan dari hasil perbandingan intake dengan nilai dosis referensi yang diperbolehkan, dengan hubungan semakin besar intake maka akan semakin besar risiko. Nilai *RfC* 0,03 dari benzena adalah 0,01 mg/kg/hari (US-EPA, 2003) dan nilai *Slope Factor (SF)* yaitu $0,1 \text{ mg/m}^3/\text{hari}$ untuk *SF* minimum dan $0,34 \text{ mg/m}^3/\text{hari}$ untuk *SF* maksimum. Nilai ini digunakan baik pada pajanan *realtime* , 3 tahun dan *lifetime*. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan pekerja yang memiliki risiko kesehatan dengan pekerja yang belum memiliki risiko kesehatan, hal ini dipengaruhi oleh besar *intake* yang masuk ke dalam tubuh.

Dari hasil perhitungan efek nonkarsinogenik, didapatkan nilai *RQ* dari seluruh responden yaitu pada pajanan *realtime* tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai $RQ > 1$ dan 15 orang (100%) dengan nilai $RQ \leq 1$. Pada pajanan 3 tahun tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai $RQ > 1$ dan 15 orang (100%) dengan nilai $RQ \leq 1$. Dan pada pajanan *lifetime*, juga tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai $RQ > 1$ dan 15 orang (100%) dengan nilai $RQ \leq 1$. Kesimpulannya, seluruh karyawan pada pajanan

realtime, 3 tahun, dan *lifetime* belum berisiko efek nonkanker terhadap pajanan benzena.

Efek pajanan akut benzena dengan konsentrasi tinggi pada sistem syaraf, kulit, sistem pernapasan dan pencernaan dapat segera terjadi setelah pajanan. Efek neurologis adalah efek yang pertama muncul di pusat sistem saraf. Reaksi anestesi benzena di pusat sistem saraf mirip dengan gas anestesi lain, pertama merangsang eksitasi diikuti oleh depresi, dan jika pajanan terus terjadi, kematian dapat terjadi karena kegagalan pernapasan. Efek pada kulit, pernapasan dan efek gastrointestinal disebabkan sifat iritasi dari benzena (ATSDR, 2007).

Dari hasil perhitungan efek karsinogenik, didapatkan nilai *ECR* seluruh responden yaitu pada pajanan *realtime* tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai *ECR* $> 10^{-4}$ dan terdapat 15 orang (100%) dengan nilai *ECR* $\leq 10^{-4}$. Kemudian pada pajanan 3 tahun, terdapat 1 karyawan (6,66%) dengan nilai *ECR* $> 10^{-4}$ dan terdapat 14 orang (93,33%) dengan nilai *ECR* $\leq 10^{-4}$. Dan pada pajanan *lifetime*, terdapat 15 karyawan (100%) dengan nilai *ECR* $> 10^{-4}$ dan tidak terdapat karyawan (0%) dengan nilai *ECR* $\leq 10^{-4}$.

Tidak ada batas terendah yang aman terhadap pemajanan senyawa kimia ini untuk mendapatkan risiko leukemia pada semua tingkat pajanan. WHO memberikan peringatan bahwa setiap pajanan benzena setingkat $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ akan terdapat 4 - 8 tambahan kasus leukemia per sejuta populasi selama masa hidup (Larbey, 1994 dalam Zuliyawan, 2010). US-EPA, IARC, dan Departemen Kesehatan dan Layanan Kemanusiaan Amerika Serikat telah menyimpulkan bahwa benzena adalah karsinogen terhadap manusia. IARC mengklasifikasikan *Benzene* di Grup 1 (karsinogenik pada manusia), sedangkan EPA mengklasifikasikan benzena dalam Kategori A (terbukti karsinogen pada manusia) berdasarkan bukti yang meyakinkan pada manusia didukung oleh bukti dari studi hewan. Benzena ditetapkan karsinogen pada manusia untuk semua rute pajanan. Hematologi neoplasma seperti leukemia akut *myelogenous* telah didokumentasikan terjadi pada pajanan kronis dengan konsentrasi rendah (10 ppm).

6.7. Estimasi Risiko Kesehatan Populasi Karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok Terhadap Paparan Benzena

Hasil perhitungan estimasi risiko nonkanker (RQ) terhadap populasi karyawan operator pompa BBM, pada paparan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah sebesar 6×10^{-3} ; 4×10^{-2} ; dan 3×10^{-1} . Kemudian nilai estimasi risiko kanker (ECR) pada paparan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah sebesar 2×10^{-6} (risiko minimum) dan 7×10^{-6} (risiko maksimum), 1×10^{-5} (risiko minimum) dan 3×10^{-5} (risiko maksimum), dan 1×10^{-4} (risiko minimum) dan 3×10^{-4} (risiko maksimum).

Hasil perhitungan estimasi risiko nonkanker (RQ) terhadap populasi karyawan bagian administrasi pada paparan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah sebesar 5×10^{-3} ; 1×10^{-2} ; dan 5×10^{-2} . Kemudian nilai estimasi risiko kanker (ECR) pada paparan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* secara berturut-turut adalah sebesar 2×10^{-6} (risiko minimum) dan 7×10^{-6} (risiko maksimum), 4×10^{-6} (risiko minimum) dan 1×10^{-5} (risiko maksimum), dan 2×10^{-5} (risiko minimum) dan 7×10^{-5} (risiko maksimum).

Dari nilai-nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa populasi karyawan operator pompa BBM sudah berisiko efek kanker, sehingga diperlukan langkah manajemen risiko.

6.8. Manajemen Risiko

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan pada prinsipnya harus dilakukan dalam bentuk pengelolaan risiko jika nilai $RQ > 1$ dan $ECR > 10^{-4}$. Manajemen risiko yang dapat dilakukan yaitu menurunkan konsentrasi paparan (C), mengurangi waktu kontak, diantaranya dapat dilakukan dengan mengurangi lama paparan (t_E), mengurangi frekuensi paparan (f_E) dan mengurangi durasi paparan (D_t).

Menurunkan konsentrasi paparan yang aman dilakukan dengan mengganti nilai *intake* dengan nilai RfC pada paparan nonkanker, sedangkan nilai komponen lain yang digunakan sesuai dengan keadaan saat sampling. Nilai RfC dianggap sebagai nilai asupan aman sehingga didapatkan nilai konsentrasi aman. Perlakuan perhitungan yang sama dilakukan pada paparan efek kanker, namun nilai yang menggantikan nilai *intake* adalah nilai $CSF = 0,1 \text{ mg/kg/hari}$ atau $0,34 \text{ mg/kg/hari}$.

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa seluruh populasi di SPBU ini (karyawan operator pompa BBM dan karyawan administrasi) pada pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* belum berisiko efek nonkarsinogenik ($RQ \leq 1$) terhadap pajanan benzena. Sedangkan untuk risiko kanker didapatkan bahwa hanya populasi karyawan operator pompa BBM pada pajanan *lifetime* yang berisiko efek kanker ($ECR > 10^{-4}$) terhadap pajanan benzena. Oleh karena itu diperlukan langkah manajemen risiko lebih lanjut.

Konsentrasi pajanan benzena terhadap karyawan SPBU 'X' tergantung pada kandungan benzena dalam bahan bakar minyak dan dipengaruhi oleh kondisi pencemaran benzena pada udara ambien di lingkungan SPBU. Sedangkan variable waktu berhubungan dengan ketentuan/peraturan kerja yang telah disepakati antara karyawan dan manajemen SPBU, yang mengaju kepada peraturan ketenagakerjaan. Hasil perhitungan langkah manajemen risiko terhadap konsentrasi, lama, dan frekuensi berturut-turut adalah $0,013 \text{ mg/m}^3$ atau $0,032 \text{ mg/m}^3$, 2 jam/hari atau 6 jam/hari, 47 hari/tahun atau 159 hari/tahun.

Dari hasil tersebut, pilihan yang dapat diambil sebagai upaya pengendalian efek karsinogenik bagi populasi karyawan SPBU 'X', dengan konsentrasi pajanan benzena sebesar $0,06 \text{ mg/m}^3$, lama pajanan 8 jam/hari, frekwensi pajanan 228 hari/tahun dengan berat badan 55 kg, adalah menetapkan durasi pajanan paling lama adalah 3 tahun dan lama pajanan selama maksimal 6 jam/hari. Bila melihat peraturan ketenagakerjaan di Indonesia (UU RI No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan) yang mengisyaratkan mengenai kontrak kerja maksimal 3 tahun terhadap seorang karyawan, maka pilihan manajemen risiko di atas sangat tepat, karena secara tidak langsung peraturan tersebut memberikan perlindungan bagi karyawan SPBU 'X' untuk menghindari efek kanker akibat pajanan benzena di SPBU. Kemudian penerapan jam kerja selama 6 jam/hari juga dapat mengurangi intensitas karyawan terpajan benzena. Menurut rumus fungsional efek kesehatan:

$$D = f(I \times t)$$

Keterangan: D penyakit, efek atau penyakit; I Intensitas; t Waktu

Rumus tersebut menjelaskan hubungan pajanan dan efek, serta hubungan pajanan dan respon. Hubungan pajanan dan efek atau *Dose-Effect Relationship* menggambarkan

hubungan antara dosis pajanan dan efek yang ditimbulkan; apabila intensitas pajanan semakin tinggi dan waktu pajanan semakin panjang maka gangguan kesehatan atau masalah kesehatan yang timbul akan semakin berat (Kurniawidjaja, 2010). Oleh karena itu penerapan sistem waktu kerja 6 jam/hari menurut penulis tepat jika direalisasikan.

Kemudian dari hasil perhitungan per individu untuk efek karsinogenik didapatkan bahwa pada pajanan 3 tahun, terdapat 1 karyawan (6,66%) dengan nilai $ECR > 10^{-4}$ dan terdapat 14 orang (93,33%) dengan nilai $ECR \leq 10^{-4}$. Dan pada pajanan *lifetime*, terdapat 15 karyawan (100%) dengan nilai $ECR > 10^{-4}$ dan tidak terdapat karyawan (0 %) dengan nilai $ECR \leq 10^{-4}$. Oleh karena itu diperlukan manajemen risiko lebih lanjut. Menurut penulis, tindakan manajemen risiko yang dibutuhkan yaitu dengan pengendalian risiko. Pengendalian risiko merupakan langkah penting dan menentukan dalam keseluruhan manajemen risiko. OHSAS 18001 (2007) memberikan pedoman pengendalian risiko yang lebih spesifik untuk bahaya K3 dengan pendekatan eliminasi, substitusi, *engineering control* (pendekatan teknis), *administrative control* (pengendalian administrasi), dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Untuk pendekatan eliminasi, substitusi, dan *engineering control* sepertinya tidak bisa diterapkan, dikarenakan sumber pajanan benzena di SPBU ini berasal dari sumber tetap dan tidak tetap juga sumber-sumber tersebut berada di *outdoor*.

Pendekatan pengendalian risiko terakhir yang dapat dilakukan yaitu dengan penggunaan alat pelindung diri berupa masker. Menurut penulis, pendekatan ini dapat meminimalisir kemungkinan terpajan inhalasi benzena di udara, sehingga risiko kesehatan karyawan pun dapat dicegah. Pendekatan ini pun sepertinya akan sulit direalisasikan, karena perusahaan telah memberlakukan peraturan “3S” (Senyum, Salam, Sapa) kepada karyawan operator pompa BBM di setiap SPBU milik perusahaan sejak tahun 2006 ketika mereka melayani *costumer* atau pembeli BBM. Peraturan ini mengakibatkan ketika para operator tersebut ketika sedang melayani pembeli BBM tidak memakai masker. Dari hasil kuesioner juga terbukti bahwa perusahaan sama sekali tidak menyediakan alat pelindung diri (masker, sarung tangan/*gloves*, *safety glasses*, dan *safety shoes*) bagi karyawannya. Penggunaan *half mask respirator with organic vapor cartridge* pada konsentrasi pajanan benzena kurang atau sama dengan 10 ppm (Gunawan, 2000 dalam Zuliyawan, 2010), dapat dijadikan sebagai acuan dalam pemilihan APD yang tepat untuk meminimalisir pajanan inhalasi benzena di udara.

BAB 7

SIMPULAN dan SARAN

7.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian analisis risiko pajanan benzena pada karyawan SPBU 'X' Pancoranmas Depok dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karyawan pada SPBU 'X' dapat diklasifikasikan sebagai pekerja dengan risiko tinggi terhadap pajanan benzena. Mereka secara konstan terpajan benzena karena berada pada lingkungan yang mengemisikan benzena yang berasal dari mesin pompa bahan bakar minyak saat pengisian BBM, gudang penyimpanan bahan bakar minyak serta yang dikeluarkan oleh knalpot kendaraan pada saat antrian pengisian bahan bakar.
2. Dari hasil perhitungan efek nonkarsinogenik per individu dapat disimpulkan bahwa seluruh karyawan pada pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* belum berisiko efek nonkarsinogenik terhadap pajanan benzena ($RQ \leq 1$). Dan hasil perhitungan efek karsinogenik per individu dapat disimpulkan bahwa pada pajanan 3 tahun terdapat 1 karyawan yang berisiko efek kanker ($ECR > 10^{-4}$) dan pada pajanan *lifetime* seluruh karyawan berisiko efek kanker.
3. Populasi karyawan (operator pompa BBM dan karyawan bagian administrasi) belum berisiko efek nonkarsinogenik pada semua durasi pajanan ($RQ \leq 1$).
4. Populasi karyawan (operator pompa BBM) berisiko efek karsinogenik ($ECR > 10^{-4}$) pada durasi pajanan *lifetime*. Populasi karyawan bagian administrasi belum berisiko efek karsinogenik pada semua durasi pajanan ($ECR \leq 10^{-4}$).
5. Berdasarkan analisis penulis, pengendalian risiko terakhir yang dapat dilakukan adalah menggunakan alat pelindung diri berupa *half mask respirator with organic vapor cartridge* dapat dijadikan sebagai acuan dalam pemilihan APD yang tepat untuk meminimalisir pajanan inhalasi benzena di udara.

7.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi Manajemen Perusahaan

- a. Menetapkan masa kerja karyawan agar tidak boleh lebih dari 3 tahun.

Berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan yang mengisyaratkan batas waktu maksimal 3 tahun bagi pengusaha untuk mempekerjakan karyawan. Menurut penulis hal ini tentunya secara tidak langsung memberikan perlindungan kepada karyawan SPBU terhadap pajanan dan nilai *intake* senyawa benzena dalam waktu yang lebih lama. Jadi, apabila seorang karyawan terdeteksi sakit akibat pajanan benzena sebelum masa kerja 3 tahun, pihak manajemen tentunya harus mengajukan surat kontrak kepada karyawan agar memberikan pilihan apakah melanjutkan kerja di perusahaan tersebut ataupun berhenti.

- b. Pelaksanaan absensi dan *briefing* di SPBU 'X' Pancoranmas Depok setelah selesai bertugas sebaiknya tidak di dalam ruang administrasi, karena dapat meningkatkan konsentrasi pajanan benzena di dalam ruangan yang kemungkinan berasal dari pakaian atau kulit yang terciprat bahan bakar minyak dan pernapasan ekshalasi dari karyawan operator mesin pompa BBM sesaat setelah selesai bertugas. Kalaupun sulit direalisasikan, sebaiknya jangan terlalu lama dalam melakukan absensi dan *briefing* di dalam ruangan tersebut, gunakan waktu dengan seefisien mungkin.
- c. Pemeriksaan berkala terhadap kadar Biomarker pajanan benzena untuk memantau kondisi konsentrasi benzena di udara ambien atau area pernapasan karyawan di SPBU ini.

2. Bagi Pemerintah atau Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi

Selalu memantau nilai ambang batas yang telah ditetapkan untuk konsentrasi benzena di lingkungan kerja, karena konsentrasi yang sedikit pun berpotensi menimbulkan efek kanker terhadap karyawan SPBU yang telah ditetapkan saat ini yaitu 0,5 ppm.

3. Bagi Mahasiswa atau Peneliti Lainnya

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pajanan benzena di SPBU lainnya. Selain itu dapat dilakukan dengan menganalisis kadar Biomarker di setiap pekerja dimanapun yang kontak dengan benzena, tidak hanya di SPBU saja tetapi masih banyak pekerjaan-pekerjaan lain yang menggunakan bahan kimia ini sebagai bahan campuran dan tentu saja berisiko terhadap kesehatan pekerjanya.



DAFTAR PUSTAKA

Australian/New Zealand Standard. *Risk Management*. Australia, 2004.

ATSDR. *Toxicological Profile for Benzene*. Atlanta, 2007. Diunduh dari <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3-c8.pdf>. Pada tanggal 16 November 2011, pada pukul 21.29 WIB.

ATSDR. *Case Study in Environment Medicine*. Atlanta, 2006. Diunduh dari <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/lead/docs/lead.pdf>. Pada tanggal 5 Desember 2011, pada pukul 20.57 WIB.

Egeghy, Velez, dan Rapport. *Environment and Biological Monitoring of Benzene during Self-Service Automobile Refueling*. North Carolina, USA, 2000. Diunduh dari <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240202/pdf/ehp0108-001195.pdf>. Pada tanggal 1 Januari 2012, pada pukul 20.40 WIB.

EPA. *User's Guide Biomarkers Data Base*. USA, 2004.

EPA-IRIS. *Toxicological Review of Benzene (Noncancer Effect)*. Washington, 2002. Diunduh dari <http://www.epa.gov/iris/toxreviews/0276tr.pdf>. Pada tanggal 6 Desember 2011, pada pukul 14.26 WIB.

EPA-IRIS. *Carcinogenic Effects of Benzene: An Update*. Washington, 1998. Diunduh dari <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/benzenef.pdf>. Pada tanggal 13 Desember 2011, pada pukul 14.01 WIB.

Fatonah I. *Analisis Risiko Kesehatan Paparan Benzena Pada Pekerja Sepatu 'X' Di Kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta Timur Tahun 2010*. Tesis. Depok, 2010.

IPCS. *Environment Health Criteria 150, Benzene*. WHO, 1993. Diunduh dari <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc150.htm>. Pada tanggal 11 Oktober 2011, pada pukul 22.50 WIB.

IPCS. *Risk Assessment Terminology*. Geneva, 2004. Diunduh dari <http://www.inchem.org/documents/harmproj/harmproj/harmproj1.pdf>. Pada tanggal 7 Desember 2011, pada pukul 22.22 WIB.

Louvar FL and Louvar BD (1998). *Health and Environment Risk Analysis Volume 2*. New Jersey: Prentice Hall PTR.

Naufal, Eky, dan Nanda. *Leukimia Sebagai Dampak Penggantian Timbal Dengan High Octane Mogas Component Dalam Bahan Bakar Minyak di Indonesia*. Diunduh dari <http://uiuntukbangsa.files.wordpress.com/2011/06/leukimia-sebagai-dampak-penggantian-timbal-dengan-high-octane-mogas-component-dalam-bahan-bakar-minyak-di-indonesia-achmad-n-azhari-eky-pramitha-dp-nanda-pratiwi.pdf>. Pada tanggal 3 Desember 2011, pada pukul 21.44 WIB.

NIOSH. *Manual of Analytical Methods, Hydrocarbon Aromatic*. CDC, 2003. Diunduh dari <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1501.pdf>. Pada tanggal 24 November 2011, pada pukul 21.09 WIB.

NIOSH. *Pocket Guide to Chemical Hazards*. Pittsburgh, 2007. Diunduh dari <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-149/pdfs/2005-149.pdf>. Pada tanggal 26 Maret 2010, pada pukul 12.06 WIB.

Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi. *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor PER.08/MEN/VII/2010 tentang Alat Pelindung Diri*. Jakarta, 2010.

Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi. *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor PER13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja*. Jakarta, 2011.

PT. Pertamina. *Info SPBU*. Jakarta, 2009. Diunduh dari <http://sppbe.pertamina.com/spbu.aspx#spbu2> . Pada tanggal 17 Desember 2011, pada pukul 20.00 WIB.

Rahman. *Public Health Assessment: Model Kajian Prediktif Dampak Lingkungan dan Aplikasinya Untuk Manajemen Risiko Kesehatan*. Depok, 2007. Diunduh dari <http://arrahan29.files.wordpress.com/2008/02/ph-a-130208.pdf>. Pada tanggal 11 Oktober 2011, pada pukul 12.47 WIB.

Ramli, S (2010). *Manajemen Risiko: Dalam perspektif K3 OHS Risk Management*. Jakarta: Dian Rakyat.

Standar Nasional Indonesia (SNI). *Nilai Ambang Batas (NAB) Zat Kimia di Udara Tempat Kerja*. Jakarta, 2005.

Undang-undang Republik Indonesia No.13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan Indonesia.

Wikipedia Ensiklopedia Bebas. *Benzena*. Diunduh dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Benzena>. Pada tanggal 28 November 2011, pada pukul 21.53 WIB.

Wikipedia The Free Encyclopedia. *Benzene*. Diunduh dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>. Pada tanggal 28 November 2011, pada pukul 21.40 WIB.

World Health Organization. *Air Quality Guidelines for Europe Second Edition*. Copenhagen, 2000. Diunduh dari http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf. Pada tanggal 9 Januari 2012, pada pukul 19.50 WIB.

World Health Organization. *Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace Guidelines*, Volume 2. Geneva, 1996. Diunduh dari http://whqlibdoc.who.int/hq/1996/WHO_HPR_OCH_96.2.pdf. Pada tanggal 19 Desember 2011, pada pukul 21.22 WIB.

Zuliyawan. *Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Melalui Penentuan Level Trans-trans-muconic Acid Dalam Urin Pada Karyawan di SPBU 'X' Jakarta Utara 2010*. Skripsi. Depok, 2010.



Lampiran 1: Surat Izin Penelitian



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
KAMPUS BARU UNIVERSITAS INDONESIA DEPOK 16424, TELP. (021) 7864975, FAX. (021) 7863472

No : 179 /H2.F10/PPM.00.00/2012
Lamp. : ---
Hal : Ijin penelitian dan menggunakan data

6 Januari 2012

Kepada Yth.
**Kepada Manajer SPBU Pitara
Pancoran Mas
Depok**


Sehubungan dengan penulisan skripsi mahasiswa Program Studi Sarjana Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia mohon diberikan ijin kepada mahasiswa kami:

Nama : Rendy Noor Salim
NPM : 0906617145
Thn. Angkatan : 2009/2010
Peminatan : Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Untuk melakukan penelitian dan menggunakan data, yang kemudian akan dianalisis kembali dalam penulisan skripsi dengan tema, "*Analisis Risiko Paparan Benzena Terhadap Karyawan di SPBU X Pancoranmas Depok*".

Selanjutnya Unit Akademik terkait atau mahasiswa yang bersangkutan akan menghubungi Institusi Bapak/Ibu. Namun, jika ada informasi yang dibutuhkan dapat menghubungi sekretariat Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja dinomor telp. (021) 7270803.

Atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami haturkan terima kasih.

Wakil Dekan,

Dr. Dian Ayubi, SKM, MQIH
NIP. 19720825 199702 1 002

Tembusan:
- Pembimbing skripsi
- Arsip

Lampiran 2: Titik Sampling Area



Titik Sampling 1: *Filling Point* 1 dan 2




Titik Sampling 2: *Filling Point* 4



Titik Sampling 3: Ruang Administrasi

Lampiran 3: Hasil Analisis Laboratorium



PT PETROLAB SERVICES

Service : Regular


REPORT OF ANALYSIS

<p>Nama Pelanggan : K3 - Fakultas Kesehatan Masyarakat UI (Customer Name) Alamat : Kampus UI Depok 16424 (Address) Ditujukan Kepada : Mr. Rendy Noor Salim (Attention) Telepon/Faks : 085694651361 (Phone/Fax) Untuk Pelanggan : - (Attention) Parameter Analisa : BTX (Outdoor Air Quality) (Parameter) Jenis Sampel : Gases (Sample Matrix)</p>	<p>No. Pekerjaan : ENV-020/PS-XII/2011 (Serial Number) Tgl. Sampling : 22 Desember 2011 (Sampling Date) Tgl. Penerimaan : 22 Desember 2011 (Received Date) Tgl. Analisis : 22 - 30 Des 2011 (Analysis Date) Tgl. Laporan : 30 Desember 2011 (Report Date) No. Lab : 06072/ENV/11 (Lab. No.) Kode Sampel : Filling Point 1-2 (Sample Code)</p>
---	---

No.	Parameter	Hasil	Baku Mutu*	Satuan	Metode
1	Benzen	0.02	-	ppm	NIOSH 1501 - 2003
2	Toluen	0.003	-	ppm	NIOSH 1501 - 2003
3	Xilon	0.02	-	ppm	NIOSH 1501 - 2003
KONDISI CUACA SAMPLING					
1	Kecepatan Angin	0.0-2.4	-	nv/s	
2	Suhu	33.9	-	°C	
3	Kelembaban	58.4	-	%	
4	Arah Angin	B-T	-	-	

Peteterangan :
 Nilai Baku Mutu mengacu pada PPRI No. 41 Tahun 1999 Tentang Baku Mutu Udara Ambien Nasional
 Limit Deteksi (LOD) BTX adalah 0,001 ppm

Manager Teknis,



Anna, S.Si., M.Si.


Catatan : Beleidigen tidak dienen, seker 30 hari der tanggal Report diehtijag.
 Note : Complaint Not Served After 30 Days From Date of Report Published

RK/5.10/01/01/07

LUBRICANT & FUEL LABORATORY SERVICES & CONSULTANT • ENVIRONMENT • INDUSTRIAL HYGIENE • BIOMONITORING

<p>Head Office: Graha Mas Pemuda Commercial Centre Blok AD / 23 Taman Berdikari Sentosa, Jl. Pemuda - Jakarta 13220 Tel. (021) 471 7001 (Hunting), Fax. (021) 471 6985 E-mail petrolab@cbn.net.id, Website www.petrolab.co.id</p>	<p>Branch Office: Jl. Jend Sudirman No. 874, Sepingan Balikpapan 76114 Tel. (0542) 765 019, Fax (0542) 762 873 E-mail petrobpn@cbn.net.id</p>
--	--

Lampiran 4: Hasil Analisis Laboratorium (lanjutan)



PT PETROLAB SERVICES

Service : Reguler

REPORT OF ANALYSIS

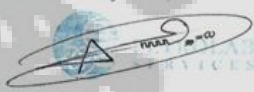
Nama Pelanggan : K3 - Fakultas Kesehatan Masyarakat UI (Customer Name) Alamat : Kampus UI Depok 16424 (Address) Diturunkan Kepada : Mr. Rendy Noor Salim (Attention) Telepon/Faks : 085694651361 (Phone/Fax) Untuk Pelanggan : - (Attention) Parameter Analisa : BTX (Outdoor Air Quality) (Parameter) Matrik Sampel : Gases (Sample Matrix)	No. Pekerjaan : ENV-020/PS-XII-011 (Serial Number) Tgl. Sampling : 22 Desember 2011 (Sampling Date) Tgl. Pengiriman : 22 Desember 2011 (Received Date) Tgl. Analisis : 22 - 30 Des 2011 (Analysis Date) Tgl. Laporan : 30 Desember 2011 (Report Date) No. Lab : 06073/ENV/11 (Lab. No.) Kode Sampel : Filling Point 4 (Sample Code)
---	---

No.	Parameter	Hasil	Baku Mutu*	Satuan	Metode
1	Benzen	0.02	-	ppm	NIOSH 1501 - 2003
2	Toluen	0.003	-	ppm	NIOSH 1501 - 2003
3	Xilen	0.01	-	ppm	NIOSH 1501 - 2003

KONDISI CUACA SAMPLING

1	Kecepatan Angin	0.0-1.7	-		m/s
2	Suhu	35.8	-		°C
3	Kelembaban	58	-		%
4	Arah Angin	B-T	-		

Keterangan :
 * Nilai Baku Mutu mengacu pada PPRI No. 41 Tahun 1999 Tentang Baku Mutu Udara Ambien Nasional
 Limit Deteksi (LOD) BTX adalah 0,001 ppm



Manager Teknis,
Anna, S. Si., M. Si.


Catatan : Pengisian tidak disyahi setelah 30 hari dari tanggal Report diterbitkan.
 Note : Complaint Not Served After 30 Days From Date of Report Published.

RX/S 10/01/01/07

LUBRICANT & FUEL LABORATORY SERVICES & CONSULTANT • ENVIRONMENT • INDUSTRIAL HYGIENE • BIOMONITORING

Head Office: Graha Mas Pemuda Commercial Centre Blok AD / 23 Taman Berdikari Sentosa, Jl. Pemuda - Jakarta 13220 Tel. (021) 471 7001 (Hunting), Fax. (021) 471 6985 E-mail petrolab@cbn.net.id, Website www.petrolab.co.id	Branch Office: Jl. Jend Sudirman No. 874, Sepinggan Balikpapan 76114 Tel. (0542) 765 019, Fax (0542) 762 873 E-mail petrolab@cbn.net.id
---	--

Lampiran 5: Hasil Analisis Laboratorium (lanjutan)



PT PETROLAB SERVICES

Service : Regular

REPORT OF ANALYSIS


<p>Nama Pelanggan : K3 - Fakultas Kesehatan Masyarakat UI (Customer Name)</p> <p>Alamat : Kampus UI-Depok 16424 (Address)</p> <p>Ditujukan Kepada : Mr. Rendy Noor Salim (Attention)</p> <p>Telpon/Faks : 085694651361 (Phone/Fax)</p> <p>Ujutan Pelanggan : - (Attention)</p> <p>Parameter Analisa : BTX (Indoor Air Quality) (Parameter)</p> <p>Matrik Sampel : Gases (Sample Matrix)</p>	<p>No. Pekerjaan : ENV-020/PS-XII/2011 (Serial Number)</p> <p>Tgl. Sampling : 22 Desember 2011 (Sampling Date)</p> <p>Tgl. Penerimaan : 22 Desember 2011 (Received Date)</p> <p>Tgl. Analisis : 22 - 30 Des 2011 (Analysis Date)</p> <p>Tgl. Laporan : 30 Desember 2011 (Report Date)</p> <p>No. Lab : 06074/ENV/11 (Lab. No.)</p> <p>Kode Sampel : Ruang Administras. (Sample Code)</p>
--	--

No.	Parameter	Hasil	NAB*	Satuan	Metode
1	Benzen	0.02	0.5	ppm	NIOSH 1501 - 2003
2	Toluen	0.033	50	ppm	NIOSH 1501 - 2003
3	Xilon	0.004	100	ppm	NIOSH 1501 - 2003

KONDISI-UMUAM SAMPLING					
1	Suhu	30.7			°C
2	Kelembaban	53			%

Peteterangan :
* NAB = Nilai Ambang Batas, mengacu kepada PERATURAN MENTERI TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI NOMOR PER. 13/MEN/X/2011 Lampiran II - NAB Faktor Kimia Di Udara Tempat Kerja
Limit Deteksi (LOD) BTX adalah 0,001 ppm

Manager Teknis,



Anna, S.Si., M.Si.

Catatan : Pengaduan terkait dengan keluhan 30 hari dan tanggal Report of the Report
Note : Complaint Not Solved After 30 Days From Date of Report Received

RG/5.10/01/01/07

LUBRICANT & FUEL LABORATORY SERVICES & CONSULTANT • ENVIRONMENT • INDUSTRIAL HYGIENE • BIOMONITORING

<p>Head Office: Graha Mas Pemuda Commercial Centre Blok AD / 23 Taman Berdikari Sentosa, Jl. Pemuda - Jakarta 13220 Tel. (021) 471 7001 (Hunting), Fax. (021) 471 8985 E-mail petrolab@cbn.net.id, Website www.petrolab.co.id</p>	<p>Branch Office: Jl. Jend Sudirman No. 874, Sepinggan Balikpapan 76114 Tel. (0542) 765 019, Fax (0542) 762 873 E-mail petrolab@cbn.net.id</p>
--	---

KUESIONER

Perkenalkan nama saya Rendy Noor Salim, mahasiswa Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia bidang studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Saya saat ini sedang melaksanakan penelitian (skripsi) dengan tema “Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena di Udara Terhadap Karyawan di SPBU X Pancoranmas Depok Tahun 2011” sebagai syarat kelulusan untuk memperoleh gelar sarjana kesehatan masyarakat. Untuk itu, saya memohon kesediaan bapak/ibu/sdra/sdri untuk menjawab beberapa pertanyaan di bawah ini. Jawaban yang jujur akan menjadi data yang valid dan nantinya dapat menjadi saran-saran perbaikan terkait Keselamatan dan Kesehatan Kerja di SPBU X Pancoranmas Depok ini.

A. KARAKTERISTIK RESPONDEN

1. Nama :
.....
2. Jenis kelamin : Laki-laki / Perempuan (coret yang tidak perlu)
3. Pendidikan Terakhir :
 - a. Tidak/belum sekolah
 - b. Belum/tidak tamat SD
 - c. Sekolah Dasar (SD)
 - d. SMP
 - e. SMA
 - f. D3/S1 ke atas
4. Apakah Anda merokok?
 - a. Ya. Berapa batang dalam sehari?
.....
 - b. Sudah berhenti merokok sejak
.....

c. Tidak

5. Apakah dalam 2 minggu terakhir Anda pernah merasakan / mengeluh seperti gejala-gejala berikut ini:

Keluhan	Ya	Tidak
Pusing		
Sesak napas		
Mudah/cepat marah		
Mual		
Muntah		

B. KARAKTERISTIK ANTROPOMETRI

6. Umur : tahun

7. Berat Badan : kg (penimbangan langsung)

8. Pola aktivitas

a. Sejak kapan Anda bekerja di SPBU ini?

.....

b. Pukul berapa Anda mulai bekerja dan pulang dari SPBU ini?

.....

c. Dalam satu minggu, berapa hari Anda bekerja di SPBU ini?

.....

d. Berapa hari Anda mendapat jatah libur setiap minggunya?

..... dan hari apa saja?

.....

e. Apakah libur nasional Anda juga libur atau tetap masuk kerja?
.....

9. Apa pekerjaan atau posisi Anda di SPBU ini?

- a. Operator SPBU
- b. Bagian administrasi

C. PENGGUNAAN ALAT PELINDUNG DIRI (APD)

10. Apakah di tempat kerja Anda menyediakan *masker* (penutup hidung) untuk Anda bekerja?

- a. Jika ya, lanjut ke pertanyaan no. 11
- b. Jika tidak, lanjut ke pertanyaan no. 12

11. Apakah anda selalu memakai *masker* (penutup hidung) dalam bekerja?

- a. Ya (setiap hari)
- b. Kadang-kadang
- c. Tidak pernah. Alasannya kenapa?
.....

12. Apakah di tempat kerja Anda menyediakan sarung tangan untuk Anda bekerja?

- a. Jika ya, lanjut ke pertanyaan no. 13
- b. Jika tidak, lanjut ke pertanyaan no. 14

13. Apakah anda selalu memakai sarung tangan dalam bekerja?

- a. Ya (setiap hari)
- b. Kadang-kadang
- c. Tidak pernah. Alasannya kenapa?
.....

14. Apakah di tempat kerja Anda menyediakan *safety glasses* (kacamata safety) untuk Anda bekerja?

- a. Jika ya, lanjut ke pertanyaan no. 15
- b. Jika tidak, lanjut ke pertanyaan no. 16

15. Apakah anda selalu memakai *safety glasses* (kacamata safety) dalam bekerja?

- a. Ya (setiap hari)
- b. Kadang-kadang
- c. Tidak pernah. Alasannya kenapa?

.....

16. Apakah di tempat kerja Anda menyediakan *safety shoes* (sepatu safety) untuk Anda bekerja?

- a. Jika ya, lanjut ke pertanyaan no. 17
- b. Jika tidak, lanjut ke pertanyaan no. 18

17. Apakah anda selalu memakai *safety shoes* (sepatu safety) dalam bekerja?

- a. Ya (setiap hari)
- b. Kadang-kadang
- c. Tidak pernah. Alasannya kenapa?

.....

18. Apakah Anda mengetahui bahaya Bahan Bakar Minyak (BBM) atau bensin bagi kesehatan anda?

- a. Ya
- b. Tidak

- Terima kasih -