



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAJANAN BENZENA PADA  
PEKERJA BENGKEL SEPATU 'X' DI KAWASAN  
PERKAMPUNGAN INDUSTRI KECIL (PIK) PULOGADUNG  
JAKARTA TIMUR**

**TESIS**

**YUNI INDRIATI FATONAH  
NPM. 0806443622**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
PROGRAM STUDI PASCA SARJANA ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAJANAN BENZENA PADA  
PEKERJA BENGKEL SEPATU 'X' DI KAWASAN  
PERKAMPUNGAN INDUSTRI KECIL (PIK) PULOGADUNG  
JAKARTA TIMUR**

**TESIS**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

**MAGISTER KESEHATAN MASYARAKAT**

**YUNI INDRIATI FATONAH  
NPM 0806443622**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
PROGRAM STUDI PASCA SARJANA ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JUNI 2010**

Universitas Indonesia

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Yuni Indriati Fatonah

NPM : 0806443622

Tanda Tangan :



Tanggal : 30 Juni 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Yuni Indriati Fatonah  
NPM : 0806443622  
Program Studi : Ilmu Kesehatan Masyarakat  
Judul tesis : Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena pada Pekerja Bengkel sepatu 'X' di Kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta Timur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Kesehatan Masyarakat pada Program Studi Ilmu Kesehatan masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Laila Fitria, SKM, MKM (..........)  
Penguji 1 : Drs. Abdur Rahman, M.Env (..........)  
Penguji 2 : Dr. Suyud Warno Utomo (..........)  
Penguji 3 : Dr. June Mellawati (..........)  
Penguji 4 : Ricki M. Mulia, ST, M.Sc (..........)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2010

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya:

Nama : Yuni Indriati Fatonah

NPM : 0806443622

Mahasiswa Program : Ilmu Kesehatan Masyarakat

Tahun Akademik : 2008 – 2010

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

Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Pada Pekerja Bengkel Sepatu 'X' di Kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta Timur

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, 30 Juni 2010



(Yuni Indriati Fatonah)

Universitas Indonesia

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini. Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada kedua orang tua yang telah membesarkan, membimbing dan membimbing serta doa yang tidak pernah putus selalu dipanjatkan untuk saya selama ini. Terima kasih dan penghargaan yang tidak terhingga kepada suamiku tercinta Nasrullah, S.Si yang telah memberikan segala dukungan, bimbingan, arahan dan bantuan serta cinta yang begitu tulus sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini, serta kepada buah hati tersayang Farhah Nashrillah, Fadhilah Nashrillah dan Fathiya Nashrillah dengan seluruh cinta dan kesabaran kalian menemani dan menjadi semangat dalam menyelesaikan tesis ini.

Penelitian dan penulisan tesis ini dapat terlaksana berkat bantuan, bimbingan dan masukan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan terima kasih yang tidak terhingga kepada Ibu Laila, SKM, MKM selaku pembimbing dengan segala kebaikan dan kemudahan yang telah diberikan untuk membimbing dan mengarahkan penulis menyelesaikan tesis.

Rasa hormat dan terima kasih kepada Bapak Drs. Abdur Rahman, M.Env yang telah bersedia menjadi penguji dan banyak membantu dalam memahami studi analisis risiko serta memberikan arahan pada penulis dalam penelitian ini. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak Dr. Suyud Warno Utomo yang telah bersedia menjadi penguji dan memberikan banyak masukan untuk penulisan tesis ini.

Terima kasih saya sampaikan kepada Ibu Dr. June Mellawati yang telah bersedia menjadi penguji diantara kesibukannya sebagai Ahli Peneliti Madya BATAN, juga atas bimbingan dan dukungan moril selama penulis bekerja di BATAN. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak Ricki M.Mulia,ST,M.Sc yang telah bersedia menjadi penguji diantara kesibukannya sebagai Kasi Analis Hiperkes dan Kesehatan Kerja, Hiperkes.

Terima kasih kepada seluruh dosen Fakultas Kesehatan Masyarakat UI atas seluruh ilmu dan pengajaran yang telah diberikan kepada penulis, serta Bapak Nasir,

Universitas Indonesia

Bapak Tusin, dan Ibu Ictus selaku staf Departemen Kesehatan Lingkungan yang telah banyak membantu.

Terima kasih saya sampaikan kepada Ibu Imelda sebagai kepala BLUD PIK Pulogadung yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian di wilayah PIK Pulogadung, Jakarta Timur. Serta kepada Bapak Ardian, ST dan seluruh pekerja atas diizinkan penulis melakukan penelitian.

Terima kasih saya sampaikan kepada Bapak Fouri dan Ibu Hastinah dari Laboratorium Balai Hiperkes DKI Jakarta yang telah banyak membantu penulis dalam pengumpulan sampel benzena di udara dan pengukuran di laboratorium.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada bapak Puji dan Bapak Rasyid dari Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPA UI yang banyak membantu penulis dalam pengukuran kadar *t,t-muconic acid*.

Terima kasih kepada Yana Irawati dan Nanik Prihartini atas persahabatan, bantuan, serta dukungan yang diberikan selama menjalani suka dan duka penelitian. Kepada Hanna D.L Damanik, dan Hardini atas pertemanan yang sangat berkesan selama dua tahun menyelesaikan program magister ini. Juga kepada seluruh teman-teman peminatan Epidemiologi Kesehatan Lingkungan atas persahabatannya.

Terima kasih kepada seluruh adik-adikku dan seluruh keluarga yang telah banyak membantu dan memberikan doa dalam proses penyelesaian tesis ini. Terima kasih kepada seluruh Karyawan Orchid Realty dan Natura Health Center Beji atas dukungan dan pengertiannya kepada penulis.

Masih banyak lagi ucapan terima kasih yang saya ingin sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Untuk itu saya mohon maaf dan pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih. Semoga Allah membalas semua kebaikan yang telah diberikan, amin.

Depok, Juni 2010

Penulis

Universitas Indonesia

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

---

Sebagai sivitas akademik universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yuni Indriati Fatonah  
NPM : 0806443622  
Program Studi : Ilmu Kesehatan Masyarakat  
Departemen : Kesehatan Lingkungan  
Fakultas : Fakultas Kesehatan masyarakat  
Jenis Karya : Tesis

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

Analisis Risiko Kesehatan Paparan Benzena Pada Pekerja Bengkel Sepatu 'X' di Kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta Timur

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 30 Juni 2010

Yang menyatakan



(Yuni Indriati Fatonah)

**PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT**

**Yuni Indriati Fatonah**

**Analisis Risiko Kesehatan Paparan Benzena Pada Pekerja Bengkel Sepatu 'X' di Kawasan Perkampungan Industri Kecil Pulo Gadung Jakarta Timur**

xv + 116 hal, 27 tabel, 16 gambar, lampiran

**ABSTRAK**

Industri sepatu di Indonesia berperan penting pada perekonomian masyarakat berpenghasilan rendah. Dalam proses produksinya, industri sepatu menggunakan lem mengandung pelarut organik berbahaya seperti benzena. Penelitian ini dilakukan untuk memperkirakan risiko kesehatan akibat paparan benzena dan manajemen risiko yang harus dilakukan. Tempat penelitian adalah bengkel sepatu 'X' di kawasan Perkampungan Industri Kecil Pulogadung, Jakarta Timur. Pengukuran konsentrasi benzena di udara dalam empat bagian proses produksi sepatu, yaitu bagian sol, upper, open, finishing, dan satu ruang administrasi, pengukuran karakteristik antropometri terhadap dua puluh enam pekerja, yang meliputi berat badan, lama paparan, frekuensi dan durasi paparan, serta analisis biomarker *trans,trans-muconic acid* (t,t-MA) dalam urin telah dilakukan. Risiko kesehatan non karsinogenik dinyatakan dengan *Risk Quotient* (RQ) yang didapatkan dengan membagi rata-rata asupan harian non kanker sepanjang hayat dengan konsentrasi referen (RfC), sementara risiko karsinogenik dinyatakan dengan *Excess Cancer Risk* (ECR) yang didapatkan dari perkalian antara asupan harian kanker sepanjang hayat dengan *cancer slope factor* (CSF) benzena.

Didapatkan bahwa konsentrasi rata-rata benzena pada bagian sol, upper, open, finishing, dan administrasi secara berurutan adalah 0,058 mg/m<sup>3</sup>, 0,008 mg/m<sup>3</sup>, 0,045 mg/m<sup>3</sup>, 0,076 mg/m<sup>3</sup>, 0,085 mg/m<sup>3</sup>, and 0,014 mg/m<sup>3</sup>. Dengan konsentrasi benzena demikian dan karakteristik antropometri serta laju asupan sepanjang hayat bagi para pekerja bengkel 'X' didapatkan bahwa bagian sol, upper dan administrasi tidak terindikasi adanya risiko kesehatan non karsinogenik terhadap para pekerja (RQ ≤ 1), tetapi pada bagian open dan finishing, risiko kesehatan non karsinogenik telah terindikasi (RQ > 1). Pada perkiraan risiko karsinogenik semua pekerja memiliki ECR melebihi batas yang diperbolehkan (ECR > 1 x 10<sup>-4</sup>) yang berkisar antara 1,09 x 10<sup>-4</sup> hingga 18 x 10<sup>-4</sup>. Analisa konsentrasi biomarker t,t-MA dalam urin menunjukkan bahwa konsentrasi t,t-MA dalam urin adalah 4.795 hingga 68.062 µg/g kreatinin atau lebih tinggi 9,6 hingga 136 kali dibanding batas konsentrasi referen. Manajemen risiko terhadap risiko kanker merekomendasikan batas aman konsentrasi benzena adalah 0,01 mg/m<sup>3</sup>.

Disimpulkan bahwa risiko kesehatan non karsinogenik hanya terjadi pada sebagian pekerja di bagian open dan finishing, sementara pada perkiraan risiko kesehatan karsinogenik seluruh pekerja telah melebihi batas yang diperbolehkan.

**Kata Kunci** : lem sepatu, Benzena, Analisis Risiko Kesehatan, Risiko kanker, Risiko Non Kanker.

**POSTGRADUATE PROGRAM  
STUDY OF PUBLIC HEALTH SCIENCE PROGRAM  
SCHOOL OF PUBLIC HEALTH  
UNIVERSITY OF INDONESIA**

**Yuni Indriati Fatonah**

**Health Risk Assessment of Benzene Exposure Among Footware Factory Workers at Center of Small Industry in Pulogadung, East Jakarta**

xv + 116 pages + 27 tables + 16 pictures, appendices

**ABSTRACT**

In Indonesia, footwear industry has been contributing to the economy of low-income community. Footwear industry uses extensively adhesive glue containing hazardous organic solvent such as benzene. To estimate health risks from exposure to benzene and formulate management options, an environmental health risk assessment has been conducted in a shoes industry at Center of Small Industry (PIK) in Pulogadung, East Jakarta. Benzene concentrations were measured in indoor air at four processing rooms (sol, upper, open, finishing) and office room, twenty-six workers were subjected to anthropometric measurement for body weight, contact rate survey for exposure time, frequency, and duration, and biomarkers analysis for urine trans,trans-muconic acid (t,t-MA). Non-carcinogenic health risk is expressed as Risk Quotient (RQ) and estimated by dividing average of lifetime daily non-cancer intake by benzene reference concentration (RfC), while carcinogenic risk expressed as Excess Cancer Risk (ECR) calculated by multiplying lifetime daily cancer intake by benzene cancer slope factor (CSF).

It was found that the mean concentration of benzene in sol, upper, open, finishing room and office room are 0.058 mg/m<sup>3</sup>, 0.008 mg/m<sup>3</sup>, 0.045 mg/m<sup>3</sup>, 0.076 mg/m<sup>3</sup>, 0.085 mg/m<sup>3</sup>, and 0.014 mg/m<sup>3</sup>, respectively. Exposing to these benzene concentrations with current anthropometric and contact rate characteristics, RQ ≤ 1 was found in sol, upper and office room, whereas RQ > 1 was found in open and finishing room. On the other hand, all workers have ECR > 1 × 10<sup>-4</sup>, ranging from 1.09 × 10<sup>-4</sup> to 18. × 10<sup>-4</sup>. Meanwhile, urine t,t-MA concentration ranges from 4,795 to 68,062 µg/g creatinine, or 9.6 to 136 folds higher than the reference value of 500 µg/g creatinine. Management options for ECR > 1 × 10<sup>-4</sup> suggests that safe concentration of benzene is 0.01 mg/m<sup>3</sup>, while the existing national threshold value is 32 mg/m<sup>3</sup>.

It is concluded while non-carcinogenic risks are only suffered by workers in open and finishing unit, carcinogenic risks for all workers are unacceptable.

**Keywords :** Footwear Glues, Benzene, Health Risk Analysis, Cancer Risk, Non-Cancer Risk.

## DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK  
 ABSTRACT  
 KATA PENGANTAR  
 DAFTAR ISI  
 DAFTAR TABEL  
 DAFTAR GAMBAR

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1	Latar Belakang.....	1
1.2	Rumusan Masalah.....	8
1.3	Pertanyaan Penelitian.....	8
1.4	Tujuan Penelitian.....	8
1.4.1	Tujuan Umum.....	8
1.4.2	Tujuan Khusus.....	9
1.5	Manfaat Penelitian.....	9
1.5.1	Bagi Keilmuan.....	9
1.5.2	Bagi Pengambil Kebijakan.....	9
1.5.3	Bagi Tenaga Kerja dan Masyarakat.....	9
1.6	Ruang Lingkup Penelitian.....	10

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

2.1	Benzena.....	11
2.1.1	Karakteristik Fisika dan Kimia Benzena.....	11
2.1.2	Sumber dan Pemanfaatan Benzena.....	12
2.1.3	Toksisitas Benzena.....	14
2.1.4	Toksikokinetik Benzena.....	16
2.1.4.1	Absorpsi Benzena.....	16
2.1.4.2	Metabolisme Benzena.....	16
2.1.4.3	<i>Trans,Trans-Muconic Acid</i> .....	19
2.1.4.4	Eliminasi dan Ekskresi Benzena.....	20
2.2	Efek Benzena terhadap Kesehatan.....	20
2.2.1	Efek Paparan Akut Benzena.....	20
2.2.2	Efek Paparan Kronis Benzena.....	21
2.2.2.1	Haematoksisitas dan Depresi Sumsum Tulang.....	21
2.2.2.2	Efek Immunologi.....	22
2.2.2.3	Efek Reproduksi.....	22
2.2.2.4	Efek Genotoksik.....	23

Universitas Indonesia

2.2.2.5	Efek Karsinogenik.....	23
2.3	Pengukuran dan Monitoring Benzena di Lingkungan.....	23
2.4	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	24
2.4.1	Identifikasi Bahaya ( <i>Hazard Potential Identification</i> ).....	28
2.4.2	Analisis Pemajanan ( <i>Exposure Assesment</i> ).....	28
2.4.3	Analisis Efek/Analisis Dosis-Respon.....	31
2.4.3.1	Efek Non Karsinogenik.....	32
2.4.3.2	Efek Karsinogenik.....	33
2.4.4	Karakterisasi Risiko ( <i>Risk Characterization</i> ).....	33
2.5	Manajemen Risiko.....	35
2.5.1	Faktor Risiko Keterpaparan Benzena.....	35
2.5.2	Ambang Batas Pajanan Benzena.....	36
<b>BAB 3</b>	<b>KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL</b>	
3.1	Kerangka Teori.....	38
3.2	Kerangka Konsep.....	39
3.3	Definisi Operasional.....	40
<b>BAB 4</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
4.1	Rancangan Studi.....	42
4.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	42
4.3	Populasi dan Sampel.....	42
4.4	Bahan dan Cara Kerja.....	43
4.4.1	Cara Pengumpulan Sampel dan Sediaan Urin.....	43
4.4.2	Bahan dan Metode Analisis Benzena Dalam Sampel Udara	45
4.4.3	Bahan dan Metode Analisis Asam Trans,Trans-Mukonat Dalam Urin.....	45
4.5	Pengumpulan Data.....	47
4.6	Pengolahan dan Analisis Data.....	48
4.6.1	Pengolahan Data.....	48
4.6.2	Analisis Data.....	48
<b>BAB 5</b>	<b>HASIL PENELITIAN</b>	
5.1	Cakupan Penelitian dan Gambaran Umum Lokasi Studi.....	52
5.2	Karakteristik Antropometri dan Sosiodemografi Pekerja Bengkel 'X'	53
5.3	Gambaran Jumlah Asupan benzena.....	55
5.3.1	Pola Aktivitas Responden.....	55
5.3.2	Pengalaman Bekerja.....	56

5.3.3	Konsentrasi Benzena di Udara Lingkungan kerja.....	56
5.4	Analisis Dosis Respon.....	58
5.4.1	Analisis Dosis Respon Risiko Non Kanker Benzena.....	58
5.4.2	Analisis Dosis Respon Risiko Kanker Benzena.....	58
5.5	Perkiraan Risiko Kesehatan.....	60
5.5.1	Perkiraan Risiko Kesehatan Seluruh Pekerja.....	60
5.5.1.1	Perkiraan Risiko Non Kanker Seluruh Pekerja.....	60
5.5.1.2	Perkiraan Risiko Kanker Seluruh Pekerja.....	62
5.5.1.3	Perbandingan RQ dan ECR Seluruh Pekerja Bengkel Sepatu.....	63
5.5.2	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Pembuatan Sol... Sol.....	64
5.5.2.1	Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian Pembuatan Sol.....	64
5.5.2.2	Perkiraan Risiko Kanker Bagian Pembuatan Sol.....	66
5.5.2.3	Perbandingan RQ dan ECR Pekerja Bagian Pembuatan Sol.....	67
5.5.3	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Upper.....	68
5.5.3.1	Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian Upper.....	68
5.5.3.2	Perkiraan Risiko Kanker Pekerja Bagian Upper.....	70
5.5.3.3	Perbandingan RQ dan ECR pekerja Bagian Upper..	71
5.5.4	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Open.....	72
5.5.4.1	Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian Open.....	72
5.5.4.2	Perkiraan Risiko Kanker Pekerja Bagian Open.....	74
5.5.4.3	Perbandingan RQ dan ECR Pekerja Bagian Open...	75
5.5.5	Perkiraan Risiko Kesehatan Bagian Finishing.....	76
5.5.5.1	Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian Finishing.....	76
5.5.5.2	Perkiraan Risiko Kanker Pekerja Bagian Finishing..	78
5.5.5.3	Perbandingan RQ dan ECR Pekerja Bagian Finishing.....	79
5.5.6	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Administrasi.....	80
5.5.6.1	Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian Administrasi.	80
5.5.6.2	Perkiraan Risiko Kanker Bagian Administrasi.....	82
5.5.6.3	Perbandingan RQ dan ECR Pekerja bagian Administrasi.....	83
5.5.7	Perbandingan RQ dan ECR Pada Tiap Bagian Bengkel.....	84
5.5.8	Perkiraan Risiko Kesehatan Individu.....	85
5.5.8.1	Perkiraan Risiko Non Kanker Individu.....	85
5.5.8.2	Perkiraan Risiko kanker Individu.....	87
5.6	Konsentrasi <i>Trans,Trans-Muconic Acid</i> Dalam Urin.....	88
5.7	Keluhan kesehatan	90

**BAB 6 PEMBAHASAN**

6.1	Sumber Paparan Benzena.....	91
6.2	Karakteristik Antropometri dan Sosiodemografi Pekerja Bengkel 'X'	92
6.3	Pola Aktivitas Pekerja.....	93
6.4	Konsentrasi Benzena di Lingkungan kerja.....	94
6.5	Karakteristik Risiko Kesehatan.....	96
6.5.1	Perkiraan Risiko Kesehatan Total Responden.....	96
6.5.2	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Pembuatan Sol...	97
6.5.3	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Upper.....	98
6.5.4	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Open.....	99
6.5.5	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Finishing.....	100
6.5.6	Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Administrasi.....	101
6.5.7	Perbandingan Nilai RQ dan ECR Pada Tiap Bagian Bengkel	102
6.5.8	Perkiraan Risiko Kesehatan Individu.....	103
6.6	Konsentrasi <i>Trans,Trans-Muconic Acid</i> Dalam Urin.....	104
6.7	Pengendalian Risiko Kesehatan.....	105
6.8	Evaluasi NAB Benzena di Indonesia.....	109

**BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN**

7.1	Simpulan.....	112
7.2	Saran.....	114
7.2.1	Kepada Pemerintah .....	114
7.2.2	Kepada Pengelola Wilayah PIK pulogadung.....	115
7.2.3	Kepada Pemilik Pabrik.....	115
7.2.4	Kepada Tenaga Kerja.....	116
7.2.5	Untuk Penelitian.....	116

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Kemungkinan Pajanan zat toksik pada pekerja bengkel sepatu.....	6
Tabel 2.1 Aspek Penilaian dalam Analisis Pemajanan.....	29
Tabel 2.4 Batas minimal pajanan yang benzena yang diizinkan bagi penggunaan pelarut Di berbagai industri sepatu pada beberapa negara	37
Tabel 5.1 Distribusi karakteristik responden analisis risiko pajanan benzena pada pekerja bengkel sepatu X di PIK Pulogadung tahun 2010.....	54
Tabel 5.2 Disribusi Frekuensi Pola Aktivitas Pajanan Benzena pada bengkel 'X' di PIK, Pulogadung, tahun 2010.....	55
Tabel 5.3 Distribusi konsentrasi kadar benzena di udara lingkungan bengkel sepatu 'X' di PIK, Pulogadung, tahun 2010.....	57
Tabel 5.4 Analisis Deskriptif faktor pemajanan pekerja sepatu bengkel 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	61
Tabel 5.5 Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010	62
Tabel 5.6 Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	63
Tabel 5.7 Analisis Deskriptif faktor pemajanan pekerja sepatu bagian pembuatan sol di bengkel 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	65

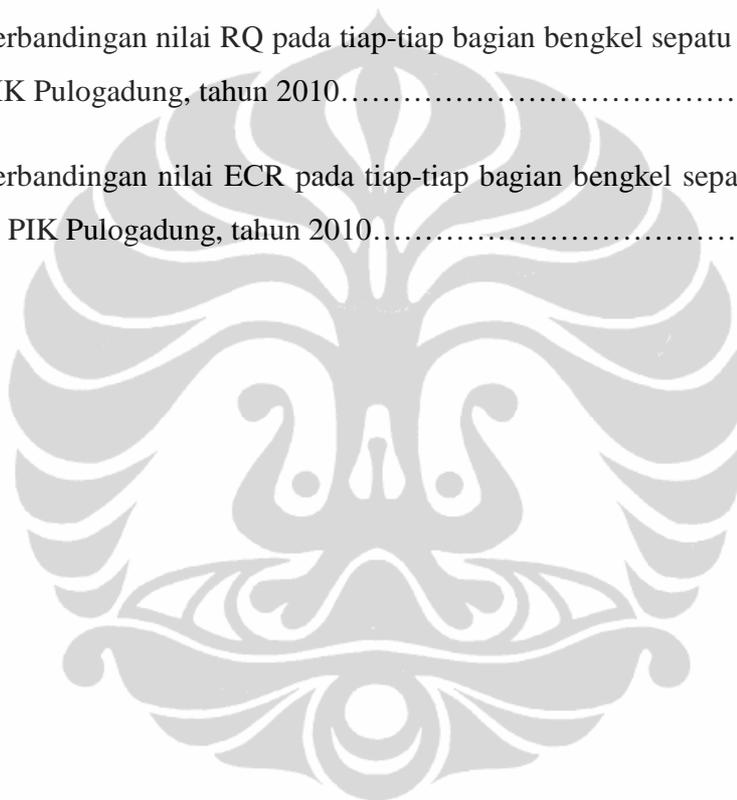
Tabel 5.8	Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian pembuatan sol bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	66
Tabel 5.9	Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian pembuatan sol bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	67
Tabel 5.10	Analisis deskriptif faktor pemajanan pada pekerja sepatu bagian Upper bengkel 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	69
Tabel 5.11	Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian Upper bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	70
Tabel 5.12	Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian upper bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	71
Tabel 5.13	Analisis Deskriptif faktor pemajanan anthropometri pekerja sepatu bagian Open di bengkel 'X' di PIK, Pulogadung tahun 2010.....	73
Tabel 5.14	Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian Open bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	74
Tabel 5.15	Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian Open bengkel sepatu 'X' di PIK Pulo Gadung, tahun 2010.....	75
Tabel 5.16	Analisis Deskriptif faktor pemajanan anthropometri pekerja sepatu bagian Finishing di bengkel 'X' di PIK Pulo Gadung, tahun 2010....	77

Tabel 5.17	Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian Finishing bengkel sepatu 'X' di PIK Pulo Gadung, tahun 2010.....	78
Tabel 5.18	Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian finishing bengkel sepatu 'X' di PIK Pulo Gadung, tahun 2010.....	79
Tabel 5.19	Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian Administrasi bengkel sepatu 'X' di PIK Pulo Gadung, tahun 2010.....	81
Tabel 5.20	Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian administrasi bengkel sepatu 'X' di PIK Pulo Gadung, tahun 2010.....	82
Tabel 5.21	Perkiraan Risiko Kesehatan untuk individu pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK, Pulo Gadung 2010.....	87
Tabel 5.22	Distribusi frekuensi kadar <i>trans,trans-muconic acid</i> dalam urin pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulo Gadung, tahun 2010.....	88
Tabel 5.23	Perbandingan konsentrasi t,t-MA dalam urin dengan konsentrasi benzena di udara, nilai RQ, ECR min, ECR maks (durasi pajanan real time) pada bengkel sepatu 'X' di PIK, Jakarta Timur, tahun 2010.....	89
Tabel 5.24	Data keluhan kesehatan yang dialami oleh pegawai bengkel sepatu 'X' di PIK Pulo Gadung, tahun 2010.....	90

## DAFTAR GAMBAR

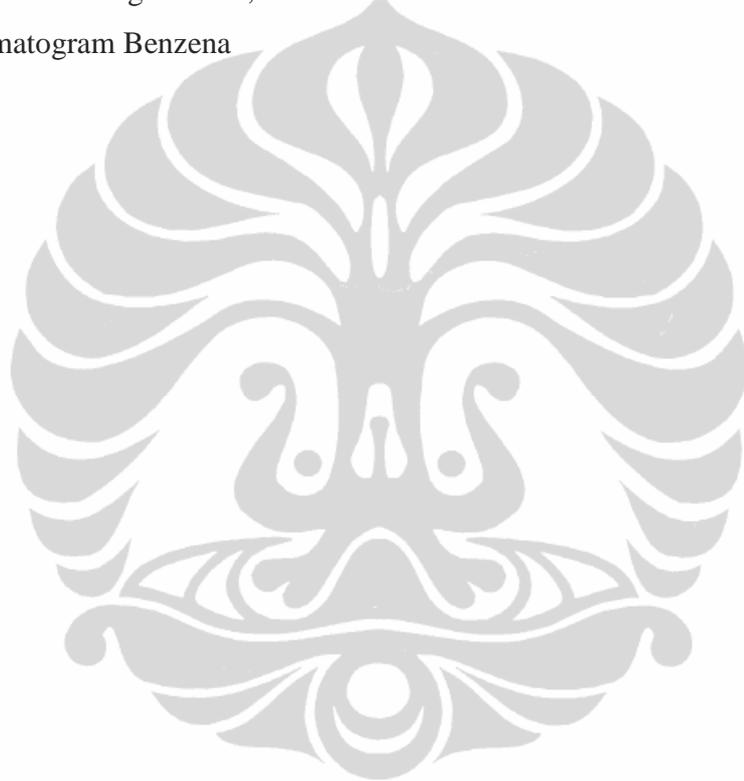
	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Kimia Benzena.....	11
Gambar 2.2 Bahan kimia dan polimer yang dihasilkan dari reaksi benzena...	14
Gambar 2.3 Jalur Metabolisme Benzena dalam tubuh (Ross,1996 dalam US-EPA, 1998).....	18
Gambar 2.4 Langkah-langkah dalam Analisis Risiko, Manajemen Risiko, Komunikasi Risiko (US-EPA/NRC, 1983 dalam Louvar, 1998)...	26
Gambar 2.5 Paradigma Analisis Risiko (NRC, 1983).....	27
Gambar 3.1 Kerangka Teori.....	38
Gambar 3.2 Kerangka Konsep.....	39
Gambar 4.1 Denah pengambilan sampel udara pada lingkungan bengkel sepatu 'X' di kawasan Pulogadung, Jakarta Timur tahun 2010.....	44
Gambar 5.1 Perbandingan nilai RQ , ECR <sub>min</sub> dan ECR <sub>maks</sub> untuk total responden pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung Tahun 2010.....	64
Gambar 5.2 Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian pembuatan sol bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	68
Gambar 5.3 Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian Upper bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	72
Gambar 5.4 Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian Open	76

	bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung.....	
Gambar 5.5	Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian Finishing bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung.....	80
Gambar 5.6	Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian Finishing bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung.....	83
Gambar 5.7	Perbandingan nilai RQ pada tiap-tiap bagian bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	84
Gambar 5.8	Perbandingan nilai ECR pada tiap-tiap bagian bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010.....	85



## DAFTAR LAMPIRAN

1. Surat Persetujuan Mengikuti Penelitian (Inform Consent)
2. Kuesioner
3. Data Hasil Pengukuran t,t-Muconic Acid
4. Kromatogram Benzena



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar belakang

Sektor industri merupakan salah satu mata rantai pembangunan nasional yang bertujuan untuk mensejahterakan masyarakat Indonesia dengan cara penyerapan tenaga kerja, pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan investasi, dan peningkatan devisa negara. Beberapa industri penopang perekonomian selain sektor minyak dan gas bumi, adalah industri tekstil, *plywood*, karet, makanan, semen, pupuk kimia, pariwisata, dan industri sepatu.

Industri sepatu merupakan salah satu industri yang termasuk dalam prioritas industri yang akan dikembangkan sesuai dengan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (Peraturan Presiden No. 7/ 2005) karena beberapa pertimbangan, diantaranya adalah (Road Map Industri Alas Kaki, 2007):

1. Terdapat sekitar 390 perusahaan industri sepatu dengan kapasitas produksi 1,14 milyar pasang sepatu pertahun, dan 84 sentra Industri Kecil Sepatu.
2. Tersedianya SDM yang mudah untuk dididik menjadi tenaga terampil dengan upah bersaing.
3. Terdapat sekitar 100 perusahaan industri penyamakan kulit dengan kapasitas produksi 140 juta *sq feet* yang menjadi pemasok bahan baku sepatu skala nasional, juga berkembangnya industri kulit sintetis /imitasi untuk bahan baku sepatu non kulit.
4. Merupakan salah satu negara produsen sepatu potensial di dunia. Tahun 1996 nilai ekspor produk alas kaki nasional sekitar USD 2,2 milyar menduduki peringkat ketiga dunia . Krisis ekonomi yang melanda Indonesia berpengaruh terhadap kinerja industri khususnya ekspor, sehingga pada tahun 2006, posisi Indonesia melorot ke peringkat 10 di bawah China dan Vietnam, dengan nilai ekspor sekitar USD 1,6 milyar, atau share 2,05 %. Disisi lain, kebutuhan pasar dunia terus meningkat dengan pertumbuhan

dalam tahun 2002-2005 sekitar 10,30% dan ditambah potensi pasar domestik cukup besar dengan jumlah penduduk sekitar 220 juta jiwa lebih.

Industri sepatu merupakan bagian dari industri tekstil dan produk tekstil (TPT) yang berperan penting dalam menyerap tenaga kerja dan ekspor nonmigas. Setidaknya ada sekitar 98.000 unit usaha kecil dan menengah (UKM) yang menekuni industri ini. Data menunjukkan, UKM-TPT ini mampu menyerap tenaga kerja sebanyak 490.000 dengan nilai produksi 14,7 trilyun dan ekspor US\$ 900 juta. Industri skala besar yang menggeluti bisnis ini umumnya padat karya dan mengandalkan tenaga kerja yang murah, total penyerapan tenaga kerja industri TPT ini diperkirakan mencapai 3,2 juta pekerja ([http://www.mudrajad.com/upload/newspaper\\_industri-indonesia-persimpangan-jalan.pdf](http://www.mudrajad.com/upload/newspaper_industri-indonesia-persimpangan-jalan.pdf)).

Saat ini banyak industri sepatu yang sudah otomatis dan menggunakan mesin, tetapi sepatu buatan tangan (*hand made shoes*) tetap dianggap sebagai produk kualitas terbaik. Proses pembuatan sepatu dengan menggunakan tangan ini dapat menyebabkan adanya risiko kesehatan akibat pajanan bahan berbahaya selama pekerjaan. Selama proses produksi, industri pembuatan sepatu dimulai dengan proses memotong, mengelem, menjahit, mewarnai, dan melapisi sepatu. Risiko terbesar terhadap keracunan akibat kerja terdapat dalam proses pengeleman karena pajanan pelarut organik yang terdapat dalam lem. Hal tersebut dibuktikan melalui beberapa penelitian yang menunjukkan hubungan yang kuat antara pajanan beberapa jenis pelarut organik dengan penyakit tertentu pada pekerja (Hamilton, 2003).

Sebagian besar pelarut yang digunakan dalam industri terutama industri sepatu adalah pelarut organik yang mudah menguap. Lem berbasis cairan pelarut, pencair lem (primer), cairan pembersih, dan bahan kimia lainnya kemungkinan menyebabkan bahaya kesehatan bagi pekerja dewasa dan anak-anak. Lem yang dipakai biasanya mengandung pelarut yang beracun seperti benzena, toluen, metil etil keton, dan aseton yang dapat menimbulkan ketagihan dan masalah kesehatan lainnya ([http://www.elsppat.or.id/download/file/PA\\_4.pdf](http://www.elsppat.or.id/download/file/PA_4.pdf)).

Benzena merupakan salah satu senyawa hidrokarbon aromatik yang memiliki banyak kegunaan bagi kehidupan manusia terutama bagi sektor industri. Pada tahun 1998, kurang lebih 8 juta ton benzena diproduksi di Amerika Serikat. Penggunaan benzena ini cukup luas pada industri yang meliputi industri karet, penyulingan minyak, bengkel kimia, industri pembuat sepatu, dan industri yang terkait dengan minyak, namun demikian benzena juga memiliki dampak yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Udara luar mungkin mengandung benzena dalam kadar rendah yang berasal dari asap rokok, pembakaran kayu bakar, stasiun pengisian bahan bakar (SPBU), asap kendaraan bermotor, dan asap industri. Benzena juga dihasilkan oleh produk yang mengandung benzena seperti lem, cat, lilin furnitur dan deterjen (WHO, 1993).

Pajanan benzena dalam jumlah besar dapat menyebabkan kematian, sedangkan pajanan tingkat rendah dapat menyebabkan mual, debar jantung cepat, sakit kepala, tremor, kebingungan, dan tidak fokus. Memakan dan meminum makanan yang mengandung benzena dengan kadar tinggi dapat menyebabkan muntah, iritasi terhadap lambung, pusing, kejang, hingga kematian. Efek pajanan kronis benzena terhadap kesehatan terutama adalah terhadap darah. Benzena merusak sumsum tulang sehingga menyebabkan penurunan jumlah sel darah merah sehingga berakibat anemia. Benzena juga dapat menyebabkan pendarahan, dan penurunan sistem kekebalan tubuh, sehingga meningkatkan kemungkinan terkena penyakit infeksi. Benzena juga dapat menyebabkan leukimia, dan penyakit lain yang berkaitan dengan kanker darah (<http://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>).

Berdasarkan banyak penelitian yang dilakukan pada hewan dan manusia, terbukti secara signifikan bahwa salah satu efek yang berbahaya bagi kesehatan yaitu efek karsinogen. ACGIH telah mengkategorikan benzena pada grup A1 yang berarti zat ini terbukti sebagai bahan kimia yang bersifat karsinogen. Terkait dengan efek ini, pada tahun 1987, di Cina, kurang lebih 237 ribu pekerja pada berbagai industri yang membuat atau menggunakan benzena dapat beresiko pada pajanan yang besar zat karsinogenik ini.

Efek pemajanan benzena dengan konsentrasi yang besar dalam waktu singkat (akut), dapat dikenali pertama-tama oleh baunya, kemudian dapat terasa sesak napas,

cepat marah, euforia, pusing, gejala-gejala iritasi pada mata, hidung dan saluran napas, dapat juga terasa sakit kepala, pusing berputar, mual, atau tanda-tanda intoksikasi. Pemajanan yang sangat besar dapat menimbulkan kejang-kejang dan kehilangan kesadaran. Makan atau minum makanan yang mengandung kadar benzena yang tinggi, dapat menimbulkan muntah, iritasi lambung, rasa mengantuk, pusing, berdebar-debar hingga kematian (ATSDR,2007).

Pemajanan benzena kronis yang berulang dan lama meskipun dalam konsentrasi yang rendah pada tempat kerja, dapat menimbulkan bermacam kelainan darah yang bervariasi dari anemia, *thrombocytopenia*, anemia aplastik, *pancytopenia*, dan leukemia akut. Pajanan kronis pada anak-anak akan lebih berbahaya karena mereka memiliki periode laten yang lebih lama (ATSDR,2003). Benzena bersifat mengiritasi kulit. Kontak langsung dengan kulit dapat menimbulkan eritema. Kontak berulang dan menahun dapat menimbulkan dermatitis yang kering dan berskuama atau terjadinya infeksi kulit sekunder. Benzena juga menimbulkan gangguan kesehatan pada ginjal, hati, dan otot, dan juga menyebabkan kerusakan pada sistem *cardiovascular*, *neurological*, *immunological*, dan reproduksi (Chen dan Chan, 1999).

Jalur absorpsi benzena adalah melalui pernafasan/ inhalasi, kulit atau mukosa mata. Paparan tersebut dapat menyebabkan keracunan yang bersifat akut maupun kronik. Efek paparan benzena secara kronis yaitu kerusakan pada sistem pembentukan darah (sumsum tulang) yang dapat menimbulkan risiko terjadinya penurunan jumlah elemen sel darah secara progresif yang meliputi penurunan kadar Hb, jumlah eritrosit, trombosit, dan leukosit yang kemungkinan disebabkan oleh metabolit benzen epoksida. Penderita keracunan benzena secara kronik hanya mempunyai 50% jumlah eritrosit dari keadaan normal (Mahawati, 2006).

Di negara Industri, benzena tidak lagi digunakan sebagai pelarut dalam lem sepatu. Di Italia, penggunaan pelarut ini dihentikan pada tahun 1965 karena timbulnya dua kejadian epidemi anemia aplastik yang disebabkan oleh benzena, bahkan Taiwan yang merupakan negara industri baru, pada tahun 1976 telah membatasi penggunaan benzena sebagai pelarut dengan kadar penggunaan yang tidak boleh lebih dari 5%. Amerika Serikat juga telah menurunkan konsentrasi batas ambang (*permissible*

*exposure limit*, PEL) benzena yang boleh dipergunakan dari 10 ppm menjadi 1 ppm pada tahun 1987, dan *The National Institute for Occupational Safety and Health* telah merekomendasikan penurunan kembali PEL hingga 0,1 ppm (Chen dan Chan, 1999).

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 (*time weighted average*) zat kimia di udara tempat kerja, dengan jumlah jam kerja 8 jam per hari atau 40 jam per minggu, menyatakan bahwa benzena yang dimasukkan dalam kelompok A2 (zat kimia yang diperkirakan karsinogen untuk manusia) memiliki NAB adalah sebesar 10 ppm atau 32 mg/m<sup>3</sup> benzena di udara (SNI, 2005).

Kejadian gangguan kesehatan akibat pajanan benzena pada pekerja bengkel sepatu dilaporkan terjadi di China, yang merupakan produsen sepatu terbesar di dunia. Sebuah studi kohort retrospektif terhadap 75.000 pekerja terpapar benzena pada tahun 1987 hingga 1991 di 12 kota di China menemukan bahwa sebanyak 43 kelompok pekerja terpapar benzena. Studi ini mengemukakan bahwa pekerja yang terpapar benzena lebih berisiko terkena kematian akibat leukimia dengan risiko relatif sebesar 2,3 dibanding dengan pekerja yang tidak terpapar benzena (Chen dan Chan, 1999).

Di Indonesia, ternyata masih terdapat banyak kasus kesehatan akibat pajanan benzena di udara. Dampak kesehatan akibat pajanan benzena pada pekerja sepatu di Indonesia dilaporkan terjadi pada pekerja anak di sentra industri sepatu Cibaduyut, Bandung. Sekitar 200 anak yang menjadi responden mengalami gangguan tingkat penciuman kronis dan mayoritas ketergantungan pada lem. Kadar fenol, yang merupakan metabolit dari benzena, dalam darah anak-anak pekerja tersebut besarnya 50 hingga 80 mg/dL, sementara batas ambang kadar fenol dalam darah tidak bisa lebih dari 10 mg/dL (<http://majalah.tempinteraktif.com/id/arsip/2002>).

Penelitian yang dilakukan Mahawati, 2006 terhadap para pekerja karoseri yang menggunakan benzen sebagai pelarut cat, menemukan bahwa 42,9 persen responden mengalami pajanan benzen berlebihan yang dinyatakan dengan kandungan fenol dalam urin pekerja lebih dari 20 mg/L, dan terdapat kasus anemia sebesar 68,9 persen, anemia

dan trombositopenia 6,6 persen, serta anemia dan leukopenia sebesar 1,6 persen (Mahawati, 2006).

Tabel 1.1 menunjukkan beberapa pajanan toksik yang mungkin dialami oleh para pekerja di bengkel sepatu.

Tabel 1.1 Kemungkinan Pajanan zat toksik pada pekerja bengkel sepatu (Hamilton et.al 2003)

Pajanan toksik	Sumber	Rute pajanan	Efek keracunan kronis	PEL
Benzena	Lem	Inhalasi, Kulit	Multiple myeloma, aplastik, dan leukimia	1 ppm
n-Heksana	Lem	Inhalasi	Peripheral neuropathy	50 ppm
Sikloheksana	Lem	inhalasi atau kulit	Iritasi kulit	300 ppm
Isoheksana	Lem	Inhalasi atau kulit	Iritasi kulit	500 ppm
Metil etil keton	Lem	Inhalasi	Efek exarabation n-heksana	200 ppm
Toluena	Lem dan pewarna	Inhalasi	Disfungsi otak, efek terhadap sumsum tulang (karena kontaminasi benzena)	50 ppm
Aseton	Lem	Inhalasi	Dada seperti terbakar, bronkitis, gastritis, iritasi mata	750 ppm
Vinyl Klorida	Pelembut	Inhalasi atau kulit	Acroosteolysis, Scleroderma, dermatitis	5 ppm
Debu kulit	Proses pemotongan	Inhalasi	Nasopharyngeal adenocarcinoma	Tidak ada standar

Menurut ILO, 2004, hampir 70 persen gangguan pernafasan dialami oleh pekerja sepatu di Tasikmalaya. Mereka juga sering merasa pusing dan pegal pinggang dikarenakan menghirup uap lem dan debu dalam waktu lama. Terdapat lima gangguan kesehatan yang sering dialami para pekerja industri sepatu di Tasikmalaya dan Ciomas, yaitu kejang lengan sebesar 26%, sering pusing 20%, batuk dan mudah lelah masing-masing 19%, iritasi kulit 9%, dan masalah pernafasan 7%.

Disebabkan masih banyaknya kejadian gangguan kesehatan akibat pajanan benzena terhadap para pekerja dan kenyataan bahwa benzena masih digunakan sebagai pelarut pada bermacam-macam industri, maka perlu dilakukan penelitian yang mengkaji risiko dampak kesehatan benzena terhadap pekerja ini sehingga dapat dibuat kebijakan yang melindungi pekerja. Dalam penelitian ini, analisis risiko kesehatan efek pajanan benzena dilakukan di sebuah perkampungan industri kecil, yang menghimpun banyak pengrajin sepatu buatan tangan yang dalam proses pekerjaannya masih menggunakan benzena sebagai pelarut dalam lem.

Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung yang dibangun pada tahun 1983 merupakan kawasan home industry yang menampung sekitar 500 usaha kecil hingga menengah. Perkampungan industri yang berada di Jl. PIK Kelurahan Penggilingan, Pulogadung, Jakarta Timur ini merupakan relokasi *home industry* yang berasal dari kelurahan Palmerah dan *home industry* dari kawasan Pluit. Didalam kawasan PIK terdapat lima kelompok pengusaha kecil dan menengah, antara lain sentra garmen sebanyak 273 pengusaha dengan jumlah pekerja 3.619 orang, industri logam 96 pengusaha dengan 927 pekerja, industri kulit (termasuk industri sepatu) 72 pengusaha dengan 632 pekerja, aneka komoditi 46 pengusaha dengan 491 pekerja dan industri meubel sebanyak delapan pengusaha dengan pekerja 37 orang (<http://www.indonesia.com/mod.php?mod=publisher&op=viewarticle&cid=11&artid=4606>).

Pengrajin sepatu di PIK berjumlah ratusan, mulai skala rumah tangga hingga industri kecil. Sistem yang digunakan biasanya adalah sistem pekerja borongan yang bekerja enam hari sepekan, dan masing-masing tenaga kerja memiliki tugas sendiri, biasanya satu bengkel terdiri dari 25 hingga 30 orang pekerja dengan omzet 3.000 sepatu sebulan, dengan kondisi bengkel yang jauh dari standar, ventilasi kurang sehingga aroma lem sepatu yang mengandung pelarut organik sangat kuat tercium didalam setiap bengkel sepatu yang ada. (<http://berita.liputan6.com/ekbis/200210/42654>).

## **1.2. Rumusan masalah**

Perkampungan Industri kecil (PIK) Pulogadung merupakan kawasan yang menampung berbagai macam industri dari tingkat kecil hingga menengah, termasuk industri sepatu buatan tangan (*hand made*). Industri berskala besar biasanya melakukan pemantauan kesehatan dan keselamatan para pekerja dan lingkungannya secara berkala, tetapi hal ini tidak terjadi pada industri berskala kecil dan menengah. Industri berskala kecil dan menengah biasanya kurang memperhatikan kesehatan dan keselamatan pekerjanya dari pajanan bahan-bahan berbahaya yang terdapat dalam lingkungan kerja sehingga menimbulkan kemungkinan terjadinya gangguan kesehatan akibat pajanan bahan berbahaya tersebut. Dalam industri sepatu, bahan kimia benzena terdapat sebagai pelarut dalam lem sepatu. Keberadaan benzena dalam lem sepatu ini membahayakan kesehatan para pekerja di bengkel sepatu karena sifatnya yang toksik dan karsinogenik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai analisis risiko dampak pajanan benzena terhadap kesehatan pekerja bengkel sepatu 'X' di kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung, Jakarta Timur.

## **1.3. Pertanyaan Penelitian**

Pertanyaan penelitian berdasarkan rumusan masalah adalah bagaimanakah tingkat risiko gangguan kesehatan akibat pajanan benzena pada pekerja di bengkel sepatu 'X' di kawasan perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta Timur, dan bagaimana manajemen yang perlu dilakukan agar risiko dapat diminimalisasi.

## **1.4. Tujuan Penelitian**

### **1.4.1 Tujuan umum**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat risiko gangguan kesehatan akibat pajanan benzena terhadap kesehatan pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, Jakarta Timur dan merumuskan upaya-upaya pengendalian risiko kesehatannya.

### **1.4.2 Tujuan Khusus**

1. Mengetahui konsentrasi benzena pada lingkungan bengkel sepatu 'X' di kawasan PIK Pulogadung, Jakarta Timur.
2. Mengetahui karakteristik antropometri dan faktor pemajanan pekerja bengkel sepatu 'X' di kawasan PIK Pulogadung, Jakarta Timur.
3. Mengetahui rata-rata laju asupan, frekuensi pajanan, dan durasi atau lama pajanan benzena pada pekerja bengkel sepatu 'X' di kawasan PIK Pulogadung, Jakarta Timur.
4. Mengestimasi tingkat risiko kesehatan akibat pajanan benzena pada pekerja bengkel sepatu 'X' di kawasan PIK Pulogadung, Jakarta Timur.
5. Merumuskan manajemen risiko untuk menurunkan tingkat risiko kesehatan akibat pajanan benzena terhadap pekerja bengkel sepatu 'X' di kawasan PIK Pulogadung, Jakarta Timur.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

#### **1.5.1. Bagi Keilmuan**

1. Dapat digunakan sebagai referensi untuk studi atau penelitian sejenis
2. Dapat menjadi acuan untuk dilakukan penelitian sejenis dengan karakteristik yang berbeda.

#### **1.5.2. Bagi Pengambil Kebijakan**

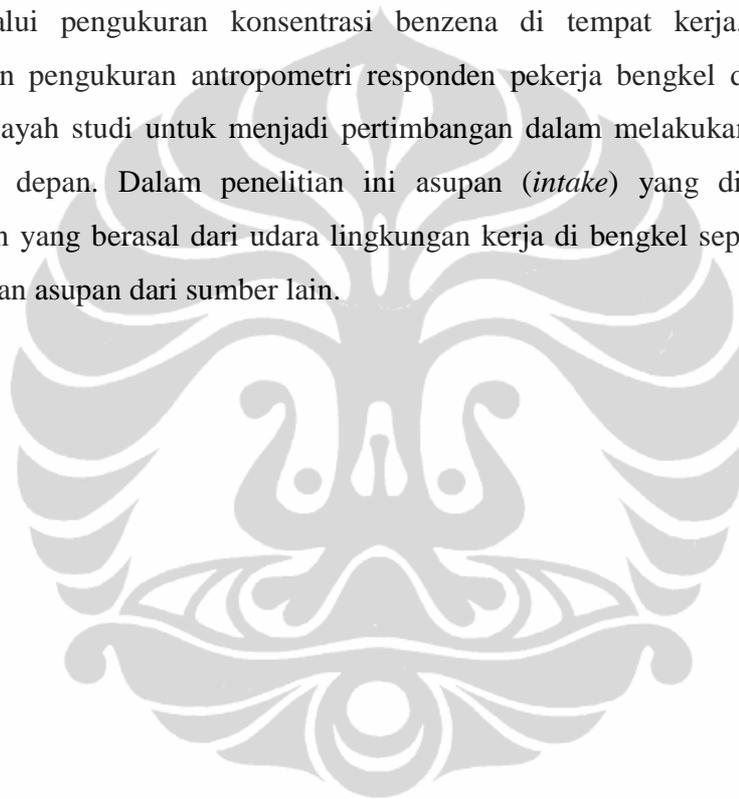
Dapat dibuat kebijakan dalam manajemen risiko untuk menurunkan tingkat risiko gangguan kesehatan yang diakibatkan oleh pajanan benzena pada pekerja industri sepatu.

#### **1.5.3. Bagi Tenaga Kerja dan Masyarakat**

Dapat meningkatkan pengetahuan tentang kemungkinan risiko kesehatan akibat pajanan benzena sehingga dapat berperan aktif dalam meningkatkan kesehatan dan mencegah gangguan kesehatan yang ditimbulkan.

## 1.6. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini menganalisis perkiraan besaran risiko akibat pajanan benzena terhadap kesehatan pekerja di industri bengkel sepatu dengan menggunakan pendekatan studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), berlokasi di bengkel 'X' pada kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung, Jakarta Timur. Proses pengumpulan data dilakukan pada bulan April – Mei 2010. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran konsentrasi benzena di tempat kerja, wawancara karakteristik dan pengukuran antropometri responden pekerja bengkel dan observasi lapangan di wilayah studi untuk menjadi pertimbangan dalam melakukan manajemen risiko di masa depan. Dalam penelitian ini asupan (*intake*) yang diperhitungkan hanyalah asupan yang berasal dari udara lingkungan kerja di bengkel sepatu dan tidak memperhitungkan asupan dari sumber lain.



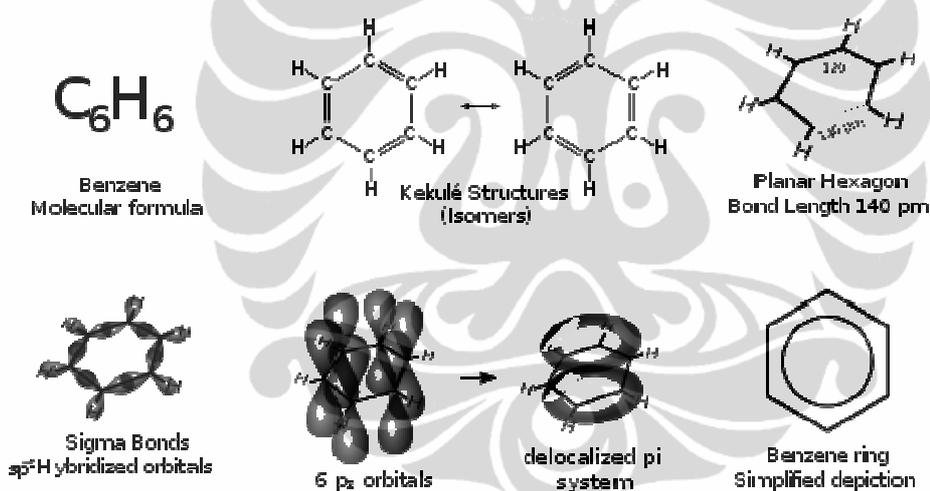
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. 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

Nomor CAS	: 71-43-2
Sinonim	: Annulene, Benzeen (Dutch), Benzen (Polish), Benzine, Benzol, Benzole, Benzolo (Italian), Bicarburet of Hydrogen, Coal Naphta, Cyclohjexatriene, Fenzen (Czech), Mineral Naphta, Motor Benzol, NCI-C55276, Phene, Phenyl Hydride, Pyrobenzole.

Berat Molekul	: 78.11 g/mol
Bentuk fisik	: Cairan tak berwarna
Kerapatan	: 0.8787 g/cm <sup>3</sup> (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 <sup>3</sup> )
Tekanan uap	: 95.2 mmHg pada 25 °C, 75 mm Hg pada 20 °C
Log Kow	: 2.13
Faktor konversi	: 1 ppm = 3.24 mg/m <sup>3</sup> pada 20 °C; 1 mg/m <sup>3</sup> = 0.31 ppm; 1 mg/L=313 ppm
PEL ( <i>Permissible Exposure Limit</i> )	: 1 ppm (OSHA, 1987)
TLV ( <i>Threshold Limit Value</i> )	: 10 ppm (ACGIH, 1996)

### 2.1.2. Sumber dan Pemanfaatan Benzena

Benzena merupakan suatu cairan yang tidak berwarna dengan bau yang manis (*sweet odor*), mudah menguap di udara, larut dalam air dan mudah terbakar. Kadar benzena dalam jumlah kecil di alam dihasilkan bila bahan yang kaya karbon mengalami pembakaran tidak sempurna, biasanya dihasilkan pada letusan gunung berapi dan kebakaran hutan, juga merupakan salah satu komponen yang terkandung dalam rokok. Pertama kali diisolasi oleh Michael Faraday pada tahun 1825 dari residu minyak dan diberi nama bikarburet hidrogen. Pada tahun 1833, Eilhard Mitscherlich dari Jerman berhasil menghasilkan benzena dari destilasi asam benzoat dan diberi nama *benzin*. Pada tahun 1845, Charles Mansfield mengisolasi benzena dari tir (*coal tar*) yang merupakan hasil akhir dari pengolahan minyak bumi, dan dengan metode ini kemudian dilakukan produksi benzena dalam skala besar untuk industri (<http://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>).

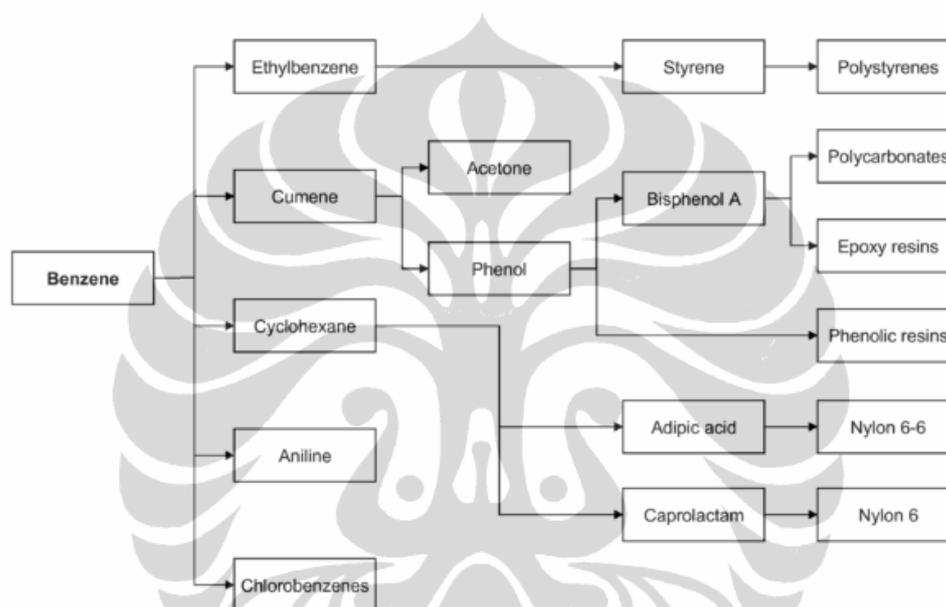
Benzena pertama kali diproduksi secara komersial dari *coal tar* pada tahun 1849 dan dari minyak pada tahun 1941. Setelah Perang Dunia II, kebutuhan benzena bagi

industri sangat besar, terutama untuk kebutuhan industri plastik, sehingga benzena kemudian diproduksi secara besar-besaran dari industri minyak bumi. Terdapat empat proses kimia dalam produksi benzena : *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 salah satu 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, dan juga sebagai zat aditif 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, yang digunakan untuk pembentukan plastik. *Cumene* (24%) digunakan untuk memproduksi fenol dan aseton. Fenol digunakan untuk membuat resin dan nylon sebagai serat sintetik, sementara aseton digunakan sebagai pelarut dan industri obat. Sikloheksan (12%) digunakan untuk membual nylon. Benzena juga merupakan salah satu komponen dalam bensin tanpa timbal untuk meningkatkan nilai oktan bensin, oleh karena itu polusi udara yang disebabkan senyawa aromatik terutama benzena dalam bensin tanpa timbal meningkat (ATSDR,2007).

EPA telah menggolongkan benzena sebagai zat karsinogenik terhadap manusia (GrupA) (EPA, 1997). Karena penggolongan oleh 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 impuritis (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 adalah bensin mengandung benzena beberapa persen, ketika pada tahun 1950-an diganti oleh Tetraetil timbal sebagai zat anti ketuk. Tapi, karena timbal (Pb) juga merupakan zat berbahaya, maka benzena kembali digunakan sebagai aditif pada bensin di beberapa negara.

Pada penggunaan di laboratorium, toluena sering dipakai untuk menggantikan fungsi pelarut dari benzena. Kedua pelarut ini mempunyai sifat yang mirip, sementara toluen kurang toksik dibanding benzena. Pada gambar 2.2, diperlihatkan tentang penggunaan benzena pada masa kini yang sebagian besar adalah untuk membuat bahan kimia lain, yang mempunyai hasil akhir polistirena (plastik), polikarbonat, resin, dan nilon (serat sintesis).



Gambar 2.2. Bahan kimia dan polimer yang dihasilkan dari reaksi benzena (<http://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>)

### 2.1.3. Toksisitas Benzena (ATSDR, 2007)

Pajanan benzena terhadap tubuh mempunyai dampak yang sangat buruk pada kesehatan. Udara dapat mengandung benzena dalam kadar rendah yang berasal dari rokok, bengkel mobil, SPBU, polusi dari kendaraan bermotor dan industri. Uap dari produk yang mengandung benzena, seperti lem, cat, pembersih furnitur, dan deterjen juga dapat menjadi sumber pajanan.

Benzena merupakan zat yang karsinogenik (penyebab kanker) terhadap pekerja/manusia yang 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 immune 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 sedang adalah kegagalan pembentukan sel darah merah. Biomarker awal untuk pajanan benzena tingkat rendah adalah berkurangnya jumlah sel darah. Penemuan klinis yang biasa 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 dapat menyebabkan kerusakan dalam tubuh yang sangat berbahaya yang disebut anemia aplastik, yaitu 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* (leukimia non-limfosit akut).

Pajanan benzena dengan kadar tinggi melalui inhalasi (pernafasan) dapat menyebabkan kematian, sementara pajanan dosis rendah 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 pada mulut, faring, dan kerongkongan, iritasi pada lambung, rasa mengantuk berlebihan, dan akhirnya kematian.

Efek neurologik telah dilaporkan pada manusia yang terpajan benzena kadar tinggi. Pajanan fatal melalui inhalasi menyebabkan terjadinya *vascular congestion* pada 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. Paparan benzena melalui kulit tidak menyebabkan kerusakan pada syaraf. Paparan akut melalui oral dan inhalasi dengan kadar benzena tinggi dapat menyebabkan kematian, yang berhubungan dengan depresi sistem syaraf pusat (SSP). Paparan tingkat rendah yang kronis berhubungan dengan efek terhadap sistem syaraf peripheral.

Pajanan kronis benzena menyebabkan toksisitas yang lebih besar dibandingkan paparan akut, karena paparan ini dapat terjadi pada kadar di bawah ambang bau. Paparan pada lingkungan kerja lebih banyak melalui pernafasan (inhalasi), selain melalui ingesti (tertelan) dan melalui kulit. Gejala dan tanda keracunan kronis ini dapat muncul dengan cepat, tapi periode laten dari benzena ini adalah selama 29 tahun, yaitu sejak paparan terakhir hingga toksisitasnya dalam tubuh hilang (Hamilton, et.al, 2003).

#### **2.1.4. Toksikokinetik Benzena**

##### **2.1.4.1 Absorpsi Benzena**

Pajanan utama benzena terhadap tubuh manusia terutama melalui inhalasi (pernafasan), selain melalui paparan oral (mulut) dan dermal (kulit). Benzena yang terabsorpsi kemudian terdistribusi ke seluruh tubuh, dan berkumpul di jaringan lemak. Hati mempunyai peranan penting dalam menghasilkan beberapa metabolit benzena yang reaktif dan berbahaya. Toksisitas benzena sangat berkaitan erat dengan proses metabolismenya dalam tubuh, metabolit-metabolit yang terbentuk ini yang berbahaya bagi tubuh, yaitu efek hematopoitik dan leukomogenik.

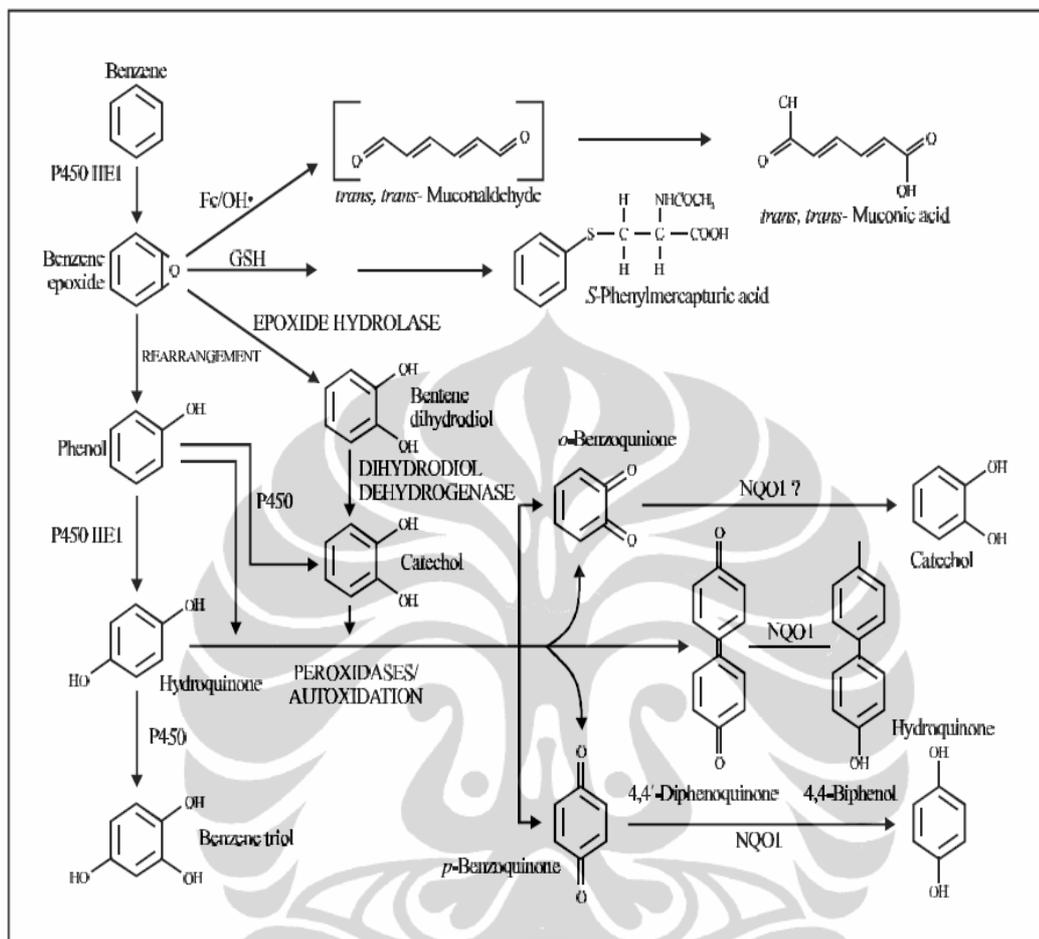
Melalui inhalasi, absorpsi benzena adalah sekitar 70-80% pada 5 menit pertama, dan 20-60% sampai satu jam berikutnya. Melalui oral, 98% benzena terabsorpsi tubuh, dan melalui kulit benzena yang terabsorpsi 80% ke dalam tubuh (ATSDR,2007).

##### **2.1.4.2 Metabolisme Benzena**

Benzena terdistribusi ke seluruh tubuh lewat darah. Karena sifatnya yang lipofilik (lebih larut dalam minyak dibandingkan air) maka benzena terakumulasi pada jaringan yang kaya dengan lemak. Pada studi terhadap pekerja yang meninggal karena paparan benzena kadar tinggi, ditemukan 0,38 mg% benzena terdapat dalam darah, 1,38

mg% pada otak, dan 0,26 mg% pada jaringan hati. Pada studi pajanan 2000 ppm uap benzena selama 10 menit terhadap mencit yang sedang hamil, didapatkan bahwa senyawa benzena dan metabolitnya ditemukan pada jaringan yang kaya lemak seperti otak, jaringan lemak, hati dan ginjal, juga ditemukan dalam plasenta dan fetus. Senyawa metabolit benzena seperti fenol, katekol, dan hidrokuinon terdeteksi dalam darah dan sumsum tulang setelah pajanan benzena selama 6 jam, jalur metabolisme benzena dan senyawa metabolit yang terbentuk dalam tubuh dapat dilihat pada gambar 2.1.4.

Gambar 2.1.4 menunjukkan mekanisme reaksi metabolisme benzena dalam tubuh. Langkah pertama adalah enzim *cytochrome* P-450 2E1 (CYP2E1) mengkatalisis reaksi oksidasi benzena menjadi benzen oksida yang berkesetimbangan dengan benzen 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-benzenatriol dengan katalisis CYP2E1. Reaksi metabolisme benzena yang lain adalah reaksi dengan *glutathion* (GSH) menghasilkan asam S-fenilmerkapturat. Reaksi dengan katalis Fe (besi) menghasilkan produk dengan cincin terbuka, yaitu asam trans,trans- mukonat dengan senyawa intermediet trans,trans- mukonaldehida yang merupakan metabolit benzen yang hematotoksik ( racun terhadap sistem darah) . Reaksi metabolisme ini dapat terjadi pada hati dan sumsum tulang yang menjadi organ target dari benzena. Beberapa senyawa metabolit yang diperkirakan menyebabkan efek hematotoksik dan leukomogenik adalah benzen oksida, produk dari jalur fenol (katekol, hidrokuinon, dan 1,4-benzokuinon), dan trans,trans-mukonaldehida (EPA,2008).



Gambar 2.3 Jalur Metabolisme Benzena dalam tubuh (Ross,1996 dalam US-EPA, 1998)

Hamilton et.al (2003) mengungkapkan bahwa salah satu senyawa metabolit benzena yang berbahaya adalah fenol. Benzena diubah menjadi fenol ketika diserap oleh tubuh dengan proses hidroksilasi hidrokarbon aryl pada hati dan sumsum tulang. Senyawa intermediet yang terbentuk pada proses ini adalah benzen oksida yang merupakan elektrofil yang tidak stabil dan dapat berikatan dengan asam nukleat dan sel proliferasi, yang berefek dapat merusak DNA.

Efek langsung benzena terhadap kerusakan DNA pekerja bengkel sepatu telah dibuktikan. Studi tentang perubahan DNA kromatid dalam darah peripheral terhadap 11 wanita pekerja sepatu dan dibandingkan dengan kontrol. Paparan benzena dalam

lingkungan kerja dikonfirmasi dengan mengukur kadar fenol setelah dan sebelum bekerja. Dilaporkan terdapat peningkatan kromosom disentris pada pekerja terpapar. Psds studi terhadap 217 pekerja bengkel sepatu di Turki, hampir 25% pekerja mengalami abnormalitas hematologik yang berkaitan erat dengan toksisitas benzena (Aksoy, M. et.al dalam Hamilton et.al, 2003).

Pengujian terhadap individu yang terpajan benzena dilakukan dengan menguji keberadaan fenol dalam urin. Individu yang normal (tidak terpajan benzena) mengekskresikan kurang dari 10 mg/L fenol. Pengujian dengan menggunakan fenol dalam urin ini dapat digunakan walaupun pekerja tidak menyadari adanya pajanan benzena karena benzena mungkin hanya merupakan kontaminan dalam pelarut lain yang digunakan dalam industri. Fakta ini dibuktikan oleh studi mengenai pajanan benzena yang signifikan terhadap 33 pekerja wanita yang menyatakan tidak menggunakan benzena sebagai pelarut dalam industrinya (Karacic, V. et.al dalam Hamilton, et.al, 2003). Pajanan benzena juga dapat diperkirakan dengan mengukur *phenylmercapturic acid* (asam fenilmerkapturat) dan *t,t-muconic acid* dalam tubuh pekerja.

#### **2.1.4.3 *Trans,Trans-Muconic Acid***

Senyawa *trans,trans-muconic acid* (asam trans,trans mukonat) merupakan hasil oksidasi dari senyawa *muconaldehyde* (MUC). *Muconaldehyde* merupakan senyawa diena dan dialdehid dengan enam rantai karbon yang diperkirakan merupakan penyebab daya racun benzena terhadap sumsum tulang. Asupan 2 mg/kg/hari MUC ke tikus selama 16 hari menyebabkan penurunan jumlah sel sumsum tulang, limfosit, sel darah merah, hematokrit, dan Haemoglobin, serta diiringi dengan peningkatan sel darah putih.

Metabolisme benzena menjadi MUC merupakan langkah pertama terbentuknya senyawa *t,t-muconic acid* (MA) dalam urin. Ekskresi MA dalam urin telah digunakan sebagai biomarker pajanan benzena terhadap manusia yang cukup sensitif. Pada dosis rendah, konsentrasi MA ditemukan berhubungan secara linear dengan konsentrasi pajanan benzena tertimbang waktu (TWA- *Total Weight Average*).

#### **2.1.4.4 Eliminasi dan Ekskresi Benzena**

Dari ketiga absorpsi pajanan benzena terhadap tubuh manusia, yaitu inhalasi (pernapasan), oral / ingesti (pencernaan), dan dermal (melalui kulit), benzena dikeluarkan dari tubuh melalui urin berupa fenol dan senyawa konjugasinya, asam trans,trans - mukonat, dan asam S-fenil merkapturat. Ekskresi benzena dari tubuh melalui urin ini merupakan jalur ekstresi utama jika dibandingkan dengan ekskresi melalui feses.

### **2.2. Efek Benzena terhadap Kesehatan**

Efek kesehatan benzena didapat dari data kesehatan para pekerja yang terpajan benzena di lingkungan kerja. Pajanan benzena dapat terjadi pada industri percetakan, pembuatan sepatu, pengolahan karet, dan pembuatan jas hujan pada proses kimianya. Pajanan yang utama adalah melalui inhalasi, walaupun pajanan secara dermal (kontak dengan kulit) juga dimungkinkan terjadi. Efek kesehatan disini terbagi menjadi beberapa pajanan, tergantung pada durasi /lama pajanan. Pajanan akut (14 hari atau kurang), pajanan intermediet (15 -364 hari), pajanan kronis (lebih dari 365 hari).

#### **2.2.1 Efek Pajanan Akut Benzena**

Efek pajanan akut terhadap benzena dengan kadar tinggi (terhadap syaraf / *neurological*, kulit/dermal, pernafasan/*respiratory*, dan pencernaan/*gastrointestinal*) dapat terjadi langsung setelah pajanan. Efek neurologikal karena sifat anestetis benzena yang langsung menyerang sistem syaraf pusat, didahului dengan perasaan melayang, depresi, dan apabila pajanan benzena kadar tinggi terus terjadi, dapat menyebabkan kematian. Efek dermal, respirasi, dan gastrointestinal disebabkan oleh sifat iritatif benzena (ATSDR, 2007).

Toksisitas benzena terhadap sistem syaraf pusat muncul setelah pajanan benzena melalui inhalasi/ pernafasan dengan konsentrasi tinggi (3.000 ppm selama 5 menit) atau 30 hingga 60 menit melalui pencernaan. Efek pajanan benzena konsentrasi sedang dapat menimbulkan sakit kepala, pusing, mual, sempoyongan, dan mata perih/ terasa terbakar.

Efek pajanan yang terus berlanjut dapat menyebabkan tremor, sesak nafas, kebingungan, hilang kesadaran, koma, hingga kematian.

Pajanan akut uap benzena dapat mengiritasi membran mukosa pada saluran pernafasan. Dengan pajanan sebesar 20.000 ppm selama 5 menit, terdapat akumulasi cairan di paru-paru sehingga susah dan sesak untuk bernafas, efek yang terjadi ketika menghirup uap benzena yang terus menerus atau tertelan cairan benzena akan menyebabkan radang paru-paru. Efek pajanan akut benzena (lebih dari 1.000 ppm) juga berbahaya terhadap sistem *cardiovascular* tubuh (jantung).

Benzena dapat menyebabkan iritasi 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).

### **2.2.2. Efek Pajanan Kronis Benzena**

Pajanan benzena konsentrasi tinggi (minimal 200 ppm) yang terus berulang dapat menyebabkan kerusakan sistem syaraf pusat permanen. Pajanan kronis benzena di tempat kerja dihubungkan dengan gangguan hematologik (seperti *thrombocytopenia*, anemia aplastik, *pancytopenia*, dan leukimia akut). Efek kronis benzena lebih berbahaya pada anak-anak karena mereka memiliki periode laten yang lebih panjang (ATSDR, 2007).

#### **2.2.2.1 Haematoksisitas dan depresi sumsum tulang**

Terdapat beberapa jenis kerusakan darah akibat pajanan benzena, yaitu *pancytopenia*, *anemia aplastik*, *thrombocytopenia*, *granulocytopenia* dan *lymphositopenia*. Hal ini karena organ target benzena adalah sumsum tulang tempat pembentukan sel darah. Kerusakan pada sel darah ini dilaporkan beberapa tahun yang lalu ketika benzena dipakai sebagai pelarut pada berbagai tempat kerja. Meningkatnya frekuensi kejadian anemia pada pekerja industri sepatu, percetakan, dan pekerja di pengolahan karet yang terpajan benzena kadar tinggi (ratusan mg/m<sup>3</sup> udara) dalam

waktu lama. Dari penelitian yang lain didapatkan bahwa pajanan benzena dengan kadar sedang (kurang lebih  $120 \text{ mg/m}^3$ ) mempunyai jumlah sel darah putih dan merah yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pekerja yang terpajan benzena lebih rendah. Pada studi terhadap sekelompok pekerja yang terpajan benzena dengan kadar  $0,03 - 4,5 \text{ mg/m}^3$ , didapatkan tidak terdapat perbedaan haematologikal dengan pekerja yang tidak terpajan, hal ini sesuai dengan literatur dari WHO yang menyatakan tidak ada efek terhadap sumsum tulang atau timbulnya anemia pada pekerja yang terpajan benzena selama  $3,2 \text{ mg/m}^3$  (1 ppm) atau kurang dari itu selama 10 tahun (WHO,2000).

#### **2.2.2.2. Efek Immunologi**

Studi terdahulu terhadap pekerja yang terpajan benzen, toluen, dan xylen, menunjukkan bahwa pajanan ketiga pelarut organik ini menyebabkan penurunan jumlah aglutinin, IgG dan immunoglobulin IgA, dan meningkatnya jumlah IgM. Penurunan jumlah immunoglobulin ini menunjukkan bahwa benzena dan pelarut organik lainnya mempunyai efek terhadap sistem immunologi. Pada studi lain disebutkan juga bahwa pajanan benzena dengan kadar tinggi menyebabkan penurunan jumlah limfosit T dalam darah.

#### **2.2.2.3. Efek Reproduksi**

Walaupun benzena dapat menembus plasenta, tapi tidak terdapat bukti tentang efek teratogenik (efek pada janin) dan efek reproduktif (efek pada sistem reproduksi) manusia, meskipun terdapat studi yang menyatakan pajanan benzena kadar tinggi dapat menyebabkan terganggunya siklus menstruasi. Pada studi tentang pajanan benzena yang kurang dari  $15 \text{ mg/m}^3$  terhadap istri dari 823 pekerja pria, ditemukan tidak ada aborsi spontan yang terjadi.

#### 2.2.2.4. Efek Genotoksik

Terdapat beberapa bukti tentang efek kromosomal benzena pada pekerja yang terpajan. Terdapat perubahan struktur dan jumlah kromosom pada konsentrasi benzena sekitar  $320 \text{ mg/m}^3$  (100 ppm), dan pada beberapa studi perubahan terjadi pada kadar benzena sekitar  $32 \text{ mg/m}^3$  (10 ppm). Tompa et.al melaporkan bahwa aberasi kromosom menurun dengan menurunnya pajanan benzena dari  $3\text{-}69 \text{ mg/m}^3$  menjadi  $1\text{-}18 \text{ mg/m}^3$ . Pada studi yang dilakukan oleh Rothman et.al, terdapat mutasi somatik yang membuktikan bahwa benzena mempunyai sifat genotoksik pada pekerja yang terpajan benzena dalam kadar tinggi. Disimpulkan bahwa benzena menyebabkan mutasi – duplikasi gen diduga melalui mekanisme rekombinasi.

#### 2.2.2.5. Efek Karsinogenik

Terdapat beberapa studi epidemiologi dan klinis yang membuktikan bahwa pajanan benzena dalam jangka panjang menyebabkan leukimia, sehingga diklasifikasikan sebagai zat yang karsinogenik pada manusia (Grup 1) oleh IARC (WHO,2000)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rinsky et.al dengan menggunakan metode case-control menemukan adanya hubungan eksponensial dosis-respon antara pajanan benzena secara kumulatif dan timbulnya leukimia. Sehingga, pekerja yang terpajan  $3.2 \text{ mg/m}^3$  (1 ppm) benzena selama 40 tahun (40 ppm-tahun) akan berisiko 1.7 kali dibandingkan yang tidak terpajan.

### 2.3. Pengukuran dan Monitoring Benzena di Lingkungan

Terdapat berbagai metode pengukuran benzena terutama benzena yang terdapat dalam udara lingkungan, maupun pajanan benzena yang masuk ke dalam tubuh. Menurut OSHA dapat dilakukan pengukuran pajanan benzena dalam udara di tempat kerja dengan pengumpulan menggunakan tabung sorbent arang teraktivasi, dilakukan desorpsi dengan karbon disulfida ( $\text{CS}_2$ ), dianalisa dengan gas kromatografi menggunakan detektor ionisasi sinar, *Flame ionization Detector* (FID). Sedangkan

menurut NIOSH, pengumpulan melalui kantung udara, analisa dilakukan dengan kromatografi gas portabel menggunakan detektor fotoionisasi, metode penentuan benzena di udara didapatkan dari metode NIOSH 1501.

Pengukuran konsentrasi benzena dalam tubuh dapat dilakukan dengan mengukur metabolit yang dihasilkan dalam urin. Beberapa metabolit yang dapat diukur adalah fenol, katekol, *S-phenil mercapturic acid*, dan *trans,trans-muconic acid*. Pengukuran fenol dan senyawa konjugasinya sebagai metabolit utama dilakukan dengan menggunakan kromatografi gas dan detektor *Flame Ionization Detector* (GC-FID), tetapi cara ini kurang sensitif dan selektif untuk pajanan benzena level rendah (WHO,1993). Cara penentuan konsentrasi benzena dalam tubuh yang paling spesifik adalah dengan mengukur kadar *S-phenil mercapturic acid* dalam urin, tetapi pengukuran metabolit ini hanya dapat dilakukan dalam waktu dekat setelah terjadi pajanan (ATSDR, 2007). Metabolit benzena lain yang dapat diukur adalah *trans,trans-muconic acid* (asam trans,trans-mukonat) dalam urin dengan menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* dan Detektor UV merupakan penentuan adanya benzena dalam tubuh (WHO, 1993). Tetapi pengukuran metabolit-metabolit ini tidak dapat menentukan jumlah tepat pajanan benzena dari suatu sumber, karena benzena bisa berasal dari banyak sumber dalam kehidupan sehari-hari (ATSDR, 2007). Khan,2005, melakukan beberapa tehnik kromatografi untuk menganalisis benzena dan beberapa metabolit utamanya, yaitu fenol, hidrokuinon, katekol, asam t,t-mukonat, dan asam S-fenil merkapturat.

Untuk pengambilan sampel benzena, harus digunakan instrumen yang memadai dan strategi pengambilan sampel yang tepat (lokasi, waktu, durasi, frekuensi dan jumlah sampel) yang representatif menggambarkan kondisi pajanan benzena pada lingkungan kerja tersebut.

#### **2.4. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan**

Risiko didefinisikan sebagai kebolehjadian (probabilitas) suatu dampak merugikan kesehatan pada suatu organisme, sistem, atau (sub)populasi yang disebabkan

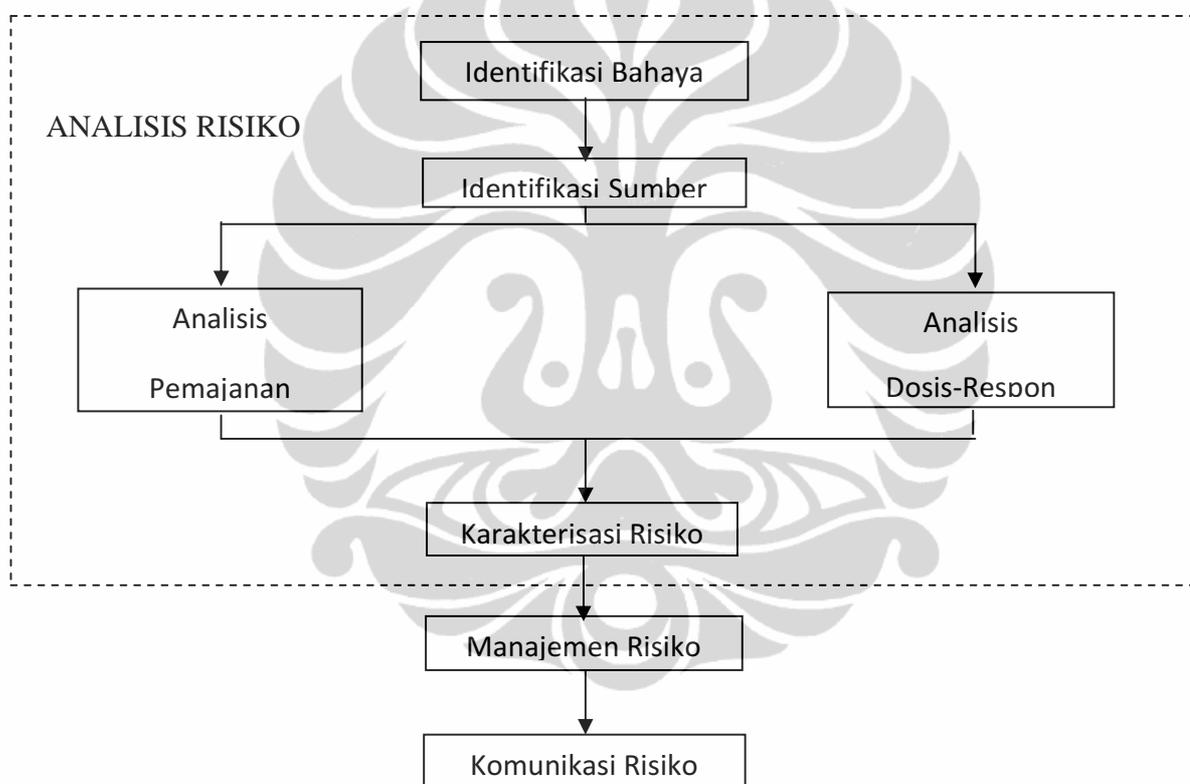
oleh pajanan suatu agen dalam jumlah dan dengan jalur pajanan tertentu (IPCS,2004). Risiko juga didefinisikan sebagai kebolehjadian kerusakan kesehatan seseorang yang disebabkan oleh pemajanan atau serangkaian pemajanan bahaya lingkungan (EPA, 1990).

Analisis Risiko juga merupakan proses menghitung/memprakirakan risiko pada suatu organisme, sistem, atau (sub)populasi sasaran, termasuk segala ketidakpastian yang menyertainya, setelah terpajan oleh agent tertentu, dengan memperhatikan karakteristik agent yang menjadi perhatian dan karakteristik sistem sasaran yang spesifik (IPCS, 2004). Manfaat analisis risiko adalah untuk melindungi manusia dari kemungkinan efek yang merugikan dari suatu bahan berbahaya. Tujuan analisis risiko adalah untuk memperkirakan risiko yang mungkin dapat terjadi. Jika studi Epidemiologi kesehatan lingkungan (EKL) menyelidiki kejadian dan distribusi penyakit, cedera atau kematian menurut orang, tempat dan waktu (Griffith et.al, 1993) yang bersifat kilas balik, maka Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah kajian kilas depan dengan meramalkan risiko kesehatan yang bisa menimpa orang-orang pada suatu waktu.

Analisis risiko digunakan untuk menilai atau menaksir risiko kesehatan manusia yang disebabkan oleh pajanan bahaya lingkungan. Bahaya didefinisikan sebagai sifat yang melekat pada suatu agen risiko atau situasi yang berpotensi menimbulkan efek merugikan pada organisme, sistem, atau sub sistem yang terpajan agen tersebut (IPCS, 2004). Bahaya lingkungan terdiri atas tiga agen risiko, yaitu chemical agents (zat-zat kimia), physical agents (energi radiasi atau gelombang elektromagnetik berbahaya) dan biological agents (organisme patogen) (Rahman, 2010).

Bahaya tidak sama dengan risiko. Bahaya merupakan suatu potensi risiko dan risiko tidak akan terjadi kecuali syarat-syarat tertentu telah terpenuhi, yang meliputi toksisitas agen risiko dan pola pajanannya. Suatu agen risiko walaupun bersifat toksik dapat tidak berisiko terhadap kesehatan jika tidak memajani dengan dosis dan waktu tertentu. Toksisitas merupakan fungsi dari berbagai variabel seperti dosis, waktu, dan karakteristik reseptor biologisnya (organisme, sistem atau sub populasi).

Analisis risiko kesehatan (*health risk assessment*) adalah suatu proses memperkirakan masalah kesehatan yang mungkin timbul dan besarnya akibat yang ditimbulkannya pada suatu waktu tertentu. Analisis risiko terdiri dari empat tahap kajian, yaitu identifikasi bahaya (*hazard potential identification*), analisis dosis-respon (*dose-response assesment*), analisis pemajanan (*exposure assesment*) dan karakterisasi risiko (*risk characterization*), yang kemudian dilanjutkan dengan manajemen risiko dan komunikasi risiko (US-EPA/NRC,1983 dalam Louvar, 1998)

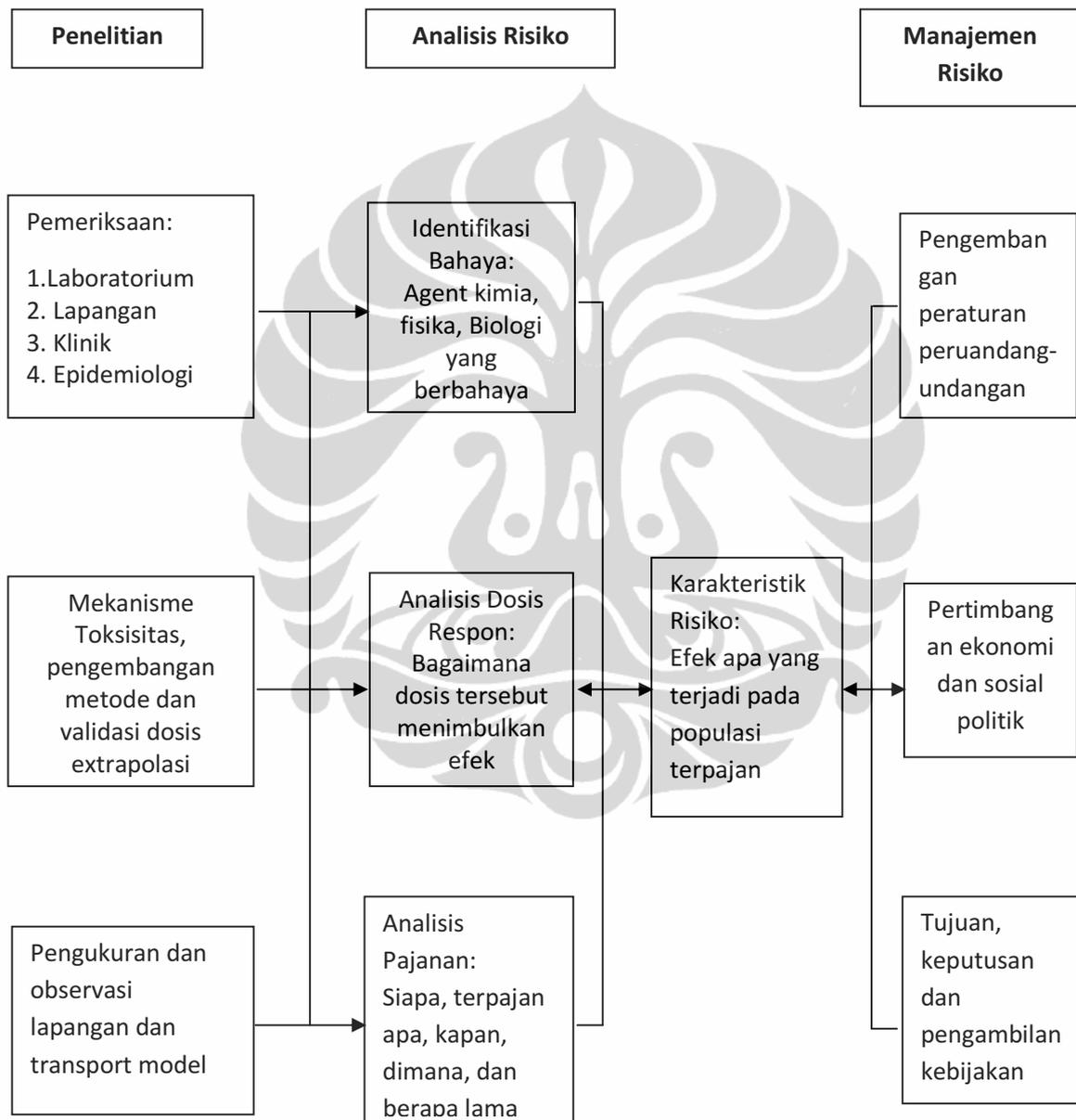


Gambar 2.4 Langkah-langkah dalam Analisis Risiko, Manajemen Risiko, Komunikasi Risiko (US-EPA/NRC, 1983 dalam Louvar, 1998).

Analisis risiko bertujuan untuk menilai dan memperkirakan risiko kesehatan manusia yang disebabkan oleh pajanan dari agen risiko di lingkungan. Teknik ini dapat

dilakukan pada pemajanan lingkungan yang telah terjadi, dengan efek merugikan yang belum ataupun sudah terjadi.

Model analisis kesehatan dengan menggunakan paradigma analisis risiko kesehatan lingkungan adalah sebagai berikut :



Gambar 2.5 .Paradigma Analisis Risiko (NRC, 1983)

Perhitungan analisis risiko dilakukan dengan pendekatan deterministik, dimana *single value* (satu nilai tertentu) dipilih untuk setiap faktor pajanan, baik faktor antropometri maupun faktor pola aktivitas (James,2000). Pendekatan *single point estimate* (satu nilai tertentu) bisa didapatkan dengan pendekatan *Coefficient of Variance Test/COV* (uji variasi). Apabila nilai COV lebih kecil dari 0,5 maka data berdistribusi normal dan *single point estimate* yang dipilih adalah nilai rata-rata (*mean*), sementara apabila nilai COV lebih besar dari 0,5 maka data berdistribusi tidak normal dan *single point estimate* yang dipilih adalah nilai tengah/ *median* (McBean and Rovers, 1998).

#### **2.4.1 Identifikasi bahaya (*Hazard Potential Identification*)**

Identifikasi bahaya adalah langkah identifikasi efek yang merugikan atau kapasitas yang dimiliki suatu bahan yang dapat menyebabkan kerugian (BPOM RI, 2001), dalam hal ini adalah bahaya pemajanan benzena terhadap kesehatan para pekerja industri sepatu. Identifikasi bahaya adalah upaya untuk mengenali struktur dan komposisi yang melekat dalam risk agent serta efek yang merugikan kesehatan. Bahaya diidentifikasi sebagai zat-zat toksik yang berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan (Rahman, 2004).

Berdasarkan IPCS (1997) dalam *The Exposure Factor Handbook*, bahan yang mempunyai bahaya antara lain bahan toksik yang dapat menimbulkan efek yang merugikan atau merusak pada organisme hidup, bahan korosif yang dapat menimbulkan kerusakan pada permukaan kulit apabila terjadi kontak langsung dan bahan karsinogenik yang dapat menyebabkan terjadinya kanker. Proses identifikasi bahaya ini merupakan langkah pertama dalam empat langkah analisis risiko.

#### **2.4.2. Analisis Pemajanan (*Exposure Assesment*)**

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 (IPCS, 2004). Pemajanan adalah proses yang menyebabkan organisme kontak dengan bahaya. Pemajanan ini dapat terjadi karena *risk agent* terhirup

dalam udara, tertelan bersama air atau makanan, terserap melalui kulit atau kontak langsung (Kolluru, 1996). Analisis pemajanan dilakukan untuk mengevaluasi konsentrasi, jumlah, atau intensitas suatu agen risiko di dalam media lingkungan tertentu sehingga dapat mencapai sasaran atau reseptor .

Dalam analisis ini juga ditetapkan jalur atau rute pemajanan utama, yang dapat melalui inhalasi, ingesti, atau absorpsi, sedangkan media lingkungan yang dilalui oleh agen risiko dapat berupa udara, air, tanah, makanan dan minuman. Selain itu juga dibutuhkan data mengenai waktu, frekuensi, lama pajanan, karakteristik manusia sasaran (anthropometri) dan pola aktivitas sasaran (Kolluru, 1996).

Ada beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan dalam melakukan penilaian terhadap analisis pemajanan (IPCS,2000) yang ditampilkan dalam tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1. Aspek Penilaian dalam Analisis Pemajanan

No.	Aspek	Keterangan
1.	Agent	Biologis, kimia, dan fisika Agent tunggal, berganda dan campuran
2.	Sumber	Antropogenik atau non antropogenik, area atau titik, bergerak atau diam, indoor atau outdoor.
3.	Media pembawa	Air, udara, tanah, debu, makanan, produk
4.	Jalur pajanan	Memakan makanan yang terkontaminasi, menghirup udara yang terkontaminasi, menyentuh permukaan benda yang terkontaminasi
5	Rute pajanan	Inhalasi, kontak kulit, ingesti, rute berganda
6	Konsentrasi pajanan	mg/kg (makanan), mg/liter (air), $\mu\text{m}/\text{m}^3$ (udara), $\mu\text{m}/\text{cm}^3$ (permukaan terkontaminasi), % (berat)
7	Durasi	Detik, menit, jam, hari, minggu, bulan, tahun, seumur hidup
8.	Frekuensi	Kontinyu, intermitten, bersiklus, acak
9.	Latar pajanan	Lingkungan kerja atau bukan lingkungan kerja, pemukiman atau bukan pemukiman, indoor atau outdoor
10.	Populasi terpajan	Populasi umum, sub populasi, individu
11.	Lingkup geografis	Tempat atau sumber spesifik, lokal, regional, nasional, internasional, global
12.	Kerangka waktu	Masa lalu, sekarang, masa depan, trend

Sumber : Human Exposure Assesment, Environmental health Criteria 214 (IPCS,2000)

Dalam analisis ini dilakukan identifikasi tentang dosis atau jumlah risk agent 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 didapat dengan menggunakan persamaan Louvar & Louvar, 1998 (Rahman,2009) sebagai berikut:

$$I = \frac{C.R.t_e.f_e.D_t}{W_b t_{avg}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

- I : Intake (asupan), jumlah risk agent yang diterima individu per satuan berat badan setiap hari ( $m^3/kg/hari$ )
- C : Konsentrasi *Risk agent*, benzena di udara ( $mg/m^3$ )
- R : Laju (rate) asupan ( $m^3/jam$ )
- $t_e$  : Waktu pajanan per hari (jam/hari)
- $f_e$  : 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) atau 70 tahun x 365 hari/tahun (karsinogenik)

Nilai  $t_e$  didapatkan dari penelitian,  $f_e$  dihitung dengan mengurangi waktu satu tahun (365 hari) dengan lama responden (dalam hari) meninggalkan lokasi studi. Nilai  $D_t$  merupakan hasil penelitian yang menyatakan waktu responden tinggal di lokasi studi dan terpajan agen risiko untuk perhitungan real time, sedangkan untuk perhitungan sepanjang hayat dapat digunakan nilai  $D_t$  default, yaitu 30 tahun. R adalah laju inhalasi, berdasarkan US-EPA, 1990 nilai R default adalah  $20 m^3/hari$  untuk laju inhalasi dengan berat badan 80 kg. Dikarenakan antropometri masyarakat Indonesia berbeda, maka laju inhalasi dihitung berdasarkan data yang dihimpun oleh Abrianto, 2004. Abrianto(2004) menghimpun berbagai nilai default sehingga didapatkan kurva logaritmik berat badan

terhadap laju inhalasi normal (EPA, 1997 dalam Abrianto, 2004) yang menghasilkan persamaan  $y = 5,3 \ln(x) - 6,9$  dengan  $y = R$  ( $m^3/hari$ ) dan  $x = Wb$  (kg), maka laju inhalasi dapat diperkirakan sesuai dengan karakteristik antropometri masyarakat Indonesia.

Analisis pajanan dapat dilakukan dengan menetapkan konsentrasi pajanan. Penetapan emisi, jalur dan laju perpindahan suatu bahan kimia menggambarkan keadaan dan ukuran populasi yang terpajan, tinggi rendah pajanan dan lama pajanan. Hal ini perlu dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi pajanan atau atau dosis pajanan yang mengenai polulasi manumur (BPOM RI, 2001).

### 2.4.3. Analisis Efek/ Analisis Dosis-Respon

Analisis efek memperkirakan hubungan antara dosis atau tingkat pajanan bahan pada suatu organisme, dengan insidensi dan tingkat efek yang diakibatkannya, termasuk deskripsi hubungan kuantitatif antara derajat pajanan terhadap suatu bahan kimia dengan derajat efek toksik (BPOM RI, 2001).

Hubungan dosis-respon menyatakan tingkat toksisitas suatu agen risiko terhadap reseptor, juga memperkirakan dampak negatif agen risiko tertentu terhadap kesehatan serta estimasi efek negatif terhadap kesehatan bila agen risiko tersebut terus berada dan kadarnya meningkat dilingkungan. Data toksisitas biasanya diperoleh dari penelitian eksperimental pada hewan percobaan (bioassay), penelitian epidemiologi, uji klinik, dan biomolekuler. Respons atau efek yang timbul oleh suatu dosis dapat bervariasi mulai tidak teramati yang sifatnya reversible (seperti berkurangnya kadar enzim akibat pajanan pestisida), kerusakan organ menetap (seperti kerusakan ginjal dan hati akibat pelarut organik berklorinasi dan logam berat), kelainan fungsi organ menetap (bronkitis, emfisema akibat merokok), sampai kematian (Kolluru, 1996).

Konsep risiko memiliki pengertian probabilitas yang disebut RfD (*Reference Dose*) dan CSF (*Cancer potency slope factor*). Dosis-respon atau efek dosis suatu zat toksik menunjukkan tingkat toksisitas zat tersebut dan dinyatakan sebagai *nonthreshold effects* (efek yang tidak mempunyai batas ambang), yaitu efek karsinogenik dan

*threshold effect* (efek yang mempunyai ambang batas), yaitu efek non kanker (Kolluru, 1996).

#### 2.4.3.1. Efek Non Karsinogenik

Efek non karsinogenik juga disebut sebagai efek sistemik, dan toksisitasnya dinyatakan dengan *Reference Dose*, RfD. RfD adalah toksisitas kuantitatif nonkarsinogenik, menyatakan estimasi dosis pajanan harian yang diprediksi 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, dan untuk pajanan inhalasi (udara) yang disebut *Reference Concentration* (RfC). RfC adalah estimasi pajanan harian dengan rentang ketidakpastian bagi populasi umum termasuk subkelompok yang sensitif yang tidak akan mengalami risiko efek-efek merugikan sepanjang hayat. Dengan kata lain RfC adalah jumlah zat kimia yang memajani manusia setiap hari dalam waktu lama (umumnya lifetime) yang tidak menimbulkan efek merugikan. RfC bukan dosis yang *acceptable* melainkan hanya referensi saja, jika dosis yang diterima manusia melebihi RfC maka probabilitas untuk mendapatkan risiko juga bertambah (Rahman, dkk, 2004).

Menentukan RfD atau RfC dapat menggunakan dua cara, yaitu

1. Pendekatan data NOAEL (*No Observable Advers Effect levels*), yaitu nilai dosis tertinggi yang tidak menimbulkan efek kesehatan. RfD atau RfC ditetapkan dengan membagi NOAEL dengan UF (*Uncertainty Factor*) x MF (*Modifying Factor*) (Louvar & Louvar, 1998) sebagai berikut:

$$RfC = \frac{NOAEL}{UF1.UF2.MF} \dots\dots\dots(2.2)$$

UF1 : 10 untuk variasi sensitivitas dalam populasi manusia

UF2 : 10 untuk ekstrapolasi toksisitas dari hewan ke manusia

0 < MF < 10 merupakan professional Judgement terhadap kualitas dan kelengkapan data studi toksisitas.

2. Pendekatan teknik *Bench Mark Dose Modelling*, teknik ini mengambil data eksperimen penelitian sebelumnya dan mengekstrapolasikannya untuk mendapatkan nilai RfC. Data eksperimen yang diambil sebagai dasar dalam

penentuan RfC benzena adalah penelitian yang dilakukan oleh Rothman et.al tentang hematoksisitas pajanan benzena di lingkungan kerja (EPA, 2002). Berdasarkan data yang ada di IRIS (EPA, 2002), RfC dari benzena yang diambil dari data eksperimen Rothman, et.al, 1996 adalah sebesar  $3 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$ .

#### 2.4.3.2 Efek Karsinogenik

Dalam efek karsinogenik suatu agen, risiko dinyatakan sebagai risiko kanker yang diestimasi dari perkalian antara dosis harian yang diterima (*actual human dose*) dengan *slope factor* yang diperoleh dari pemodelan dosis-respons. Kanker adalah proses toksifikasi dengan periode laten yang panjang. *Cancer Slope Factor* (CSF) yang sering juga disebut *potency factor* didefinisikan oleh EPA sebagai “*a plausible upper-bound estimate of the probability of a response per unit intake of a chemical over a lifetime*”, perkiraan probabilitas respon per unit asupan zat kimia sepanjang hayat (Kolluru, 1996). Perkiraan risiko kuantitatifnya dinyatakan dengan tiga jenis. *Cancer Slope Factor* yang merupakan suatu nilai toksik yang menunjukkan potensi karsinogenik dari suatu bahan yang sudah diketahui sebagai bahan yang bersifat karsinogenik terhadap manusia yang merupakan hasil aplikasi dari prosedur ekstrapolasi dosis rendah yang dinyatakan dalam risiko per (mg/kg)/ hari. Unit risiko, perkiraan kuantitatif dengan satuan risiko per  $\mu\text{g/L}$  air minum atau risiko per  $\mu\text{g/cu.m}$  udara dihisap. Bentuk ketiga adalah risiko dinyatakan dalam air minum maupun konsentrasi di udara yang dapat menimbulkan risiko kanker sebesar 1 dalam 10.000, 1 dalam 100.000, atau 1 dalam 1.000.000 (IRIS dalam EPA, 1998).

#### 2.4.4 Karakterisasi Risiko (*Risk Characterization*)

Karakterisasi risiko adalah perkiraan suatu risiko yang merugikan yang dapat terjadi pada manusia akibat pajanan. Perkiraan ini dilakukan melalui estimasi risiko, yaitu kuantifikasi probabilitas terjadinya risiko berdasarkan identifikasi bahaya, analisis efek, dan analisis pajanan.

Dalam tahap karakterisasi risiko ini, untuk perhitungan tingkat risiko kesehatan non karsinogenik dihitung melalui pajanan pada manusia (*intake*) yang dibandingkan

dengan dosis acuan (RfC). Rasio antara *intake* dengan RfC dikenal dengan bilangan Risiko (*Risk Quotients*) disingkat RQ, yang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$RQ = \frac{\text{Intake} \left( \frac{m^3}{kg/hari} \right)}{RfC \left( \frac{m^3}{kg/hari} \right)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Jika nilai  $RQ \leq 1$  menunjukkan indikasi tidak adanya kemungkinan terjadinya risiko efek yang merugikan. Sedangkan  $RQ > 1$  menunjukkan indikasi adanya kemungkinan terjadinya risiko efek yang merugikan dan perlu dikendalikan (Rahman, 2009).

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

$$ECR = \text{Intake}_{kanker} \times CSF \dots\dots\dots(2.4)$$

- dengan ECR : *Excess Cancer Risk* (Risiko Kanker)  
 I kanker : Jumlah asupan kronis (sepanjang hayat, yaitu 70 tahun)  
 CSF : *Cancer Slope Factor*

*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, 1998). 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  $1 \mu g/m^3$  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, 1998).

## 2.5 Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah pilihan-pilihan yang dilakukan untuk memperkecil risiko dampak pajanan benzena terhadap kesehatan pekerja bengkel, dengan cara mengubah (memanipulasi) nilai faktor-faktor pemajanan, sehingga asupan lebih kecil atau sama dengan dosis referensi toksisitasnya, yang pada dasarnya hanya ada dua cara untuk menyamakan intake dengan RfC, yaitu dengan menurunkan konsentrasi *Risk Agent* atau mengurangi waktu kontak (Rahman, 2007).

Hasil karakterisasi risiko perlu ditindak lanjuti dengan kegiatan sebagai berikut:

1. Merumuskan tingkat risiko(kanker dan nonkanker) menurut intake maksimum dan intake minimum. Intake maksimum disebut sebagai *worst scenario* sedangkan intake minimum sebagai *best scenario*.
2. Estimasi tingkat risiko pada berbagai konsentrasi, jumlah atau intensitas agen risiko dan waktu pemajanan.
3. Penetapan nilai-nilai standart berbasis kesehatan. Nilai-nilai ini perlu ditindaklanjuti melalui proses legislasi atau regulasi menjadi standard kualitas lingkungan seperti baku mutu atau nilai ambang batas.

Pernyataan kuantitatif dari risiko juga perlu dirumuskan secara kualitatif, antara lain penjelasan mengenai bukti bahwa agen risiko yang dikaji aman digunakan dalam kondisi-kondisi tertentu, saran-saran untuk menghindari, meminimalisasi atau mengurangi dan menghindari pemajanan.

### 2.5.1. Faktor Risiko Keterpajanan Benzena

Selama proses produksi sepatu atau pemakan lem yang mengandung benzena, maka konsentrasi benzena di udara akan semakin meningkat. Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan meningkatnya risiko pajanan benzena pada pekerja bengkel :

1. Penyimpanan

Bahan yang mengandung benzena sebagai pelarut (seperti lem) harus disimpan dalam wadah yang aman dan jauh dari jangkauan anak-anak. Hal ini dikarenakan benzena mempunyai bau manis yang disukai anak-anak dan dapat menimbulkan efek mabuk (euforia), karena banyak terdapat kasus anak-anak

yang sengaja menghirup uap lem untuk menimbulkan efek mabuk. Penyimpanan harus dilakukan dalam wadah yang tertutup rapat.

## 2. Ventilasi

Adanya ventilasi di ruangan akan menyebabkan aliran udara mengalir dengan lancar, hal ini karena benzena merupakan zat yang mudah menguap. Apabila ventilasi dalam ruangan bagus, maka pajanan terhadap manusia bisa dikurangi.

## 3. Penggunaan alat pelindung diri

Pakaian pelindung harus dikenakan untuk melindungi kulit dari kontak dengan benzena dan mengurangi inhalasi benzena. Pelindung yang direkomendasikan adalah sarung tangan, sepatu karet, celemek, bahkan masker udara. Pakaian pelindung bahan kimia harus dipilih yang dapat mengatasi pajanan benzena selama 8 jam.

## 4. Asap rokok

Rokok mengandung hampir 4000 zat kimia dan sebagiannya merupakan zat berbahaya. Seperti aminobifenil, benzo(a)pirena, toluena, dan benzena yang dapat menyebabkan berbagai macam penyakit dan kanker. Pada fasa uap, asap rokok mengandung karbon monoksida, karbon dioksida, benzena, toluena, amonia, formaldehida, hydrogen sianida, N-nitrosodietilamin, dan lain-lain. Komponen-komponen tersebut dapat pula diklasifikasikan menurut aktivitas biologiknya, yaitu asphyxiants, pengiritasi, siliatoksin, mutagen, karsinogen, inhibitor enzim, neurotoksin atau komponen farmakologi aktif (IPCS, 2000).

### 2.5.2 Ambang Batas Pajanan Benzena

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 (*time weighted average*) zat kimia di udara tempat kerja, dengan jumlah jam kerja 8 jam per hari atau 40 jam per minggu, menyatakan bahwa benzena yang dimasukkan dalam kelompok A2 (zat kimia yang

diperkirakan karsinogen untuk manusia) memiliki NAB adalah sebesar 10 ppm atau 32 mg/m<sup>3</sup> benzena di udara (SNI, 2005).

Berdasarkan *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), batas ambang pajanan benzena (PEL) yang diperbolehkan adalah 1 ppm (untuk pajanan selama 8 jam kerja) dan 5 ppm untuk pajanan dalam jangka waktu pendek, *short term exposure limit* (STEL) (kurang dari 15 menit). *The National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) menetapkan batas pajanan yang langsung berbahaya untuk kehidupan, *immediately dangerous to life or health* (IDLH) sebesar 500 ppm. Tabel 2.4.2 mengungkapkkan batas minimal pajanan benzen pada beberapa negara.

Tabel 2.4 Batas minimal pajanan yang benzena yang diizinkan bagi penggunaan pelarut di berbagai industri sepatu pada beberapa negara (Chen dan Chan, 1999).

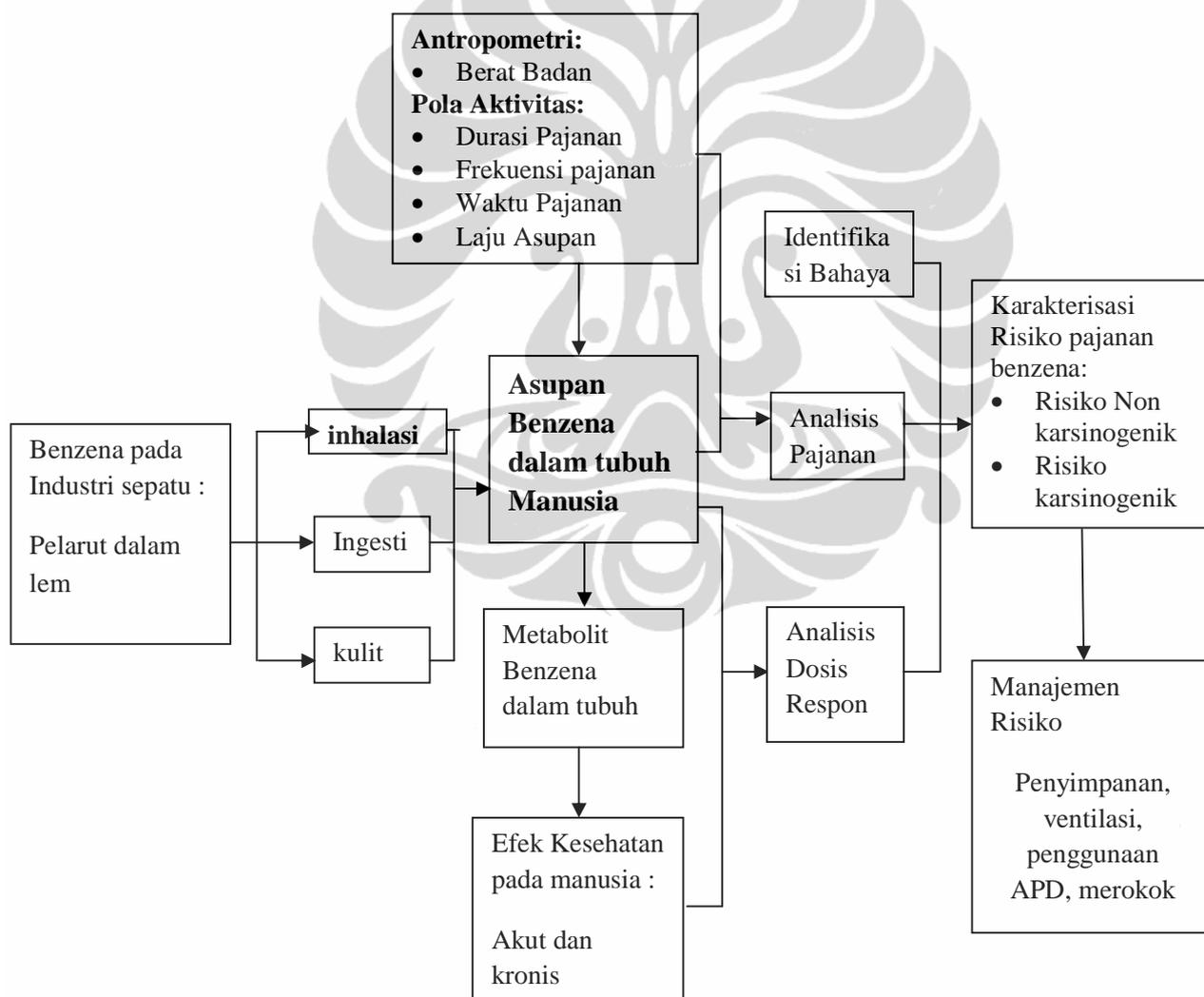
Negara	Jumlah Ambang batas benzena
<b>Cina</b>	1958 : 25 ppm (80 mg/m <sup>3</sup> )
	1962 : 19 ppm (60 mg/m <sup>3</sup> )
	1979 : 12.5 ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )
<b>Amerika Serikat</b>	1941 : 100 ppm
	1947 : 50 ppm
	1948 : 35 ppm
	1957 : 25 ppm
	1969 : 10 ppm
	1971 : 10 ppm
	1987 : 1 ppm
<b>Taiwan</b>	1974 : 25 ppm
	1985 : 10 ppm
	1995 : 5 ppm (16 mg/m <sup>3</sup> )
<b>Australia</b>	5 ppm ( 16 mg/m <sup>3</sup> )
<b>Eropa</b>	1995 : 1 ppm
<b>Uni Soviet</b>	1980 : 1,57 ppm (5 mg/m <sup>3</sup> )

### BAB 3

## KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL

### 3.1. Kerangka Teori

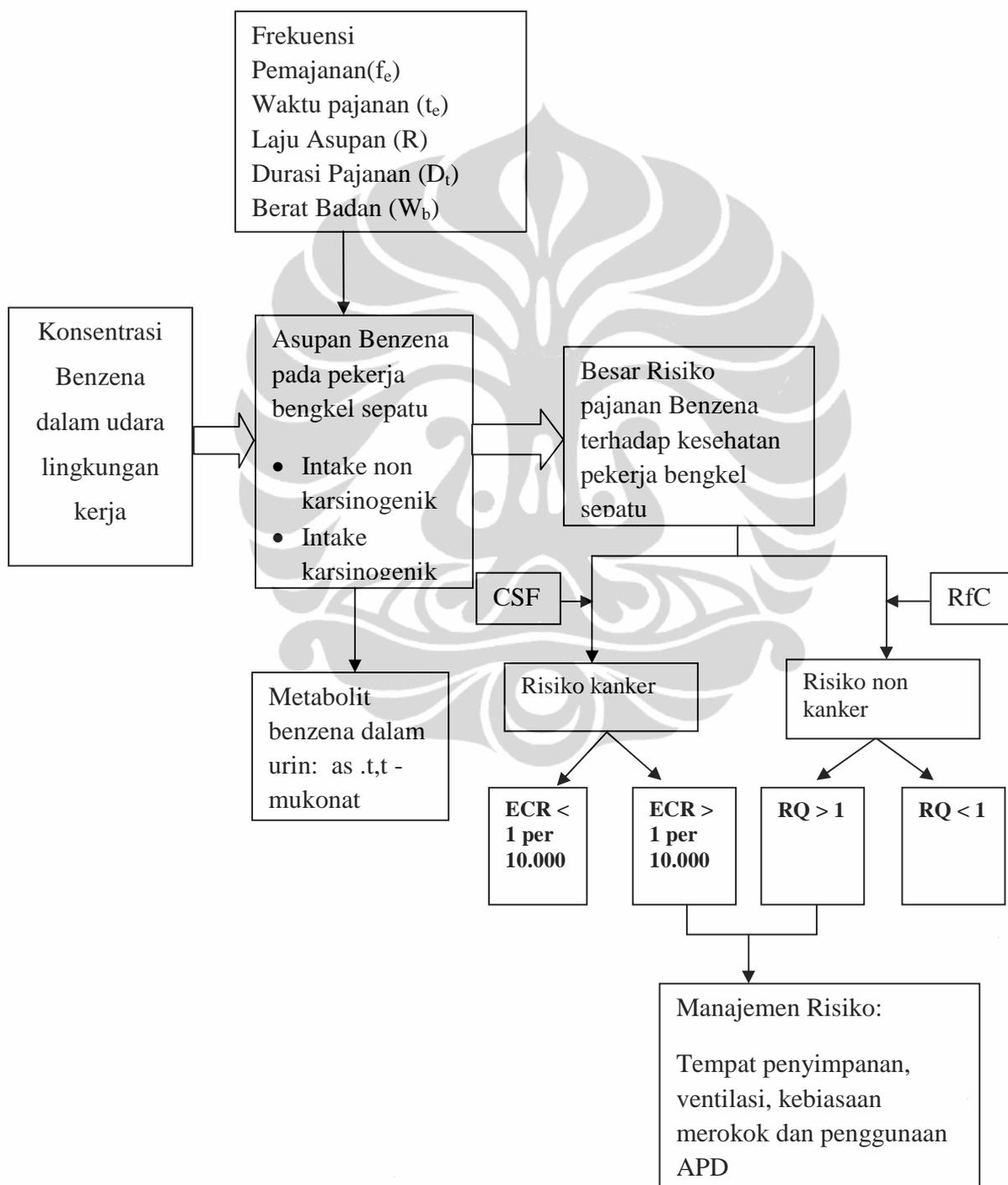
Berdasarkan tinjauan kepustakaan, maka disusun suatu kerangka teori yang diambil dari ATSDR 2007, US-EPA (IRIS) 2002, Louvar 1998, tentang sumber, mekanisme absorpsi dan efek Benzena terhadap kesehatan, mekanisme toksisitas, serta proses analisis risiko, dan manajemen risiko.



Gambar 3.1. Kerangka Teori

### 3.2. Kerangka Konsep

Dari kerangka teori, disusunlah kerangka konsep penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui risiko kesehatan pekerja industri sepatu akibat pajanan benzena pada lingkungan kerja, yaitu pada gambar 3.2



Gambar 3.2. Kerangka Konsep

iversitas Indonesia

### 3.3. Definisi Operasional

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Alat Ukur	Satuan	Skala
1.	Konsentrasi benzena di udara	Massa Benzena di udara per satuan volume dalam ruang tempat responden bekerja membuat sepatu	Prosedur Kerja NIOSH 1501	Gas Chromatography (GC)	mg/m <sup>3</sup>	Rasio
2.	Frekuensi Pemajanan (f <sub>E</sub> )	Kekerapan (hari) pemajanan benzena yang diterima responden dalam satu tahun dikurangi lama responden meninggalkan wilayah studi	Wawancara	Kuesioner	Hari/tahun	Rasio
3.	Laju Asupan (R)	Volume udara (m <sup>3</sup> ) yang dihirup per satuan waktu (hari atau jam), dihitung melalui rumus kurva logaritmik berat badan terhadap laju inhalasi normal yang menghasilkan persamaan:  $y = 5,3 \ln x - 6,9$ $y = R \text{ (m}^3\text{/hari)}$ $x = Wb \text{ (kg)}$	Perhitungan rumus	Kalkulator	m <sup>3</sup> / hari atau m <sup>3</sup> /jam	Rasio
4.	Durasi pajanan (D <sub>i</sub> )	Lamanya waktu kontak responden dengan benzena di lokasi studi yang dihitung dalam satuan tahun untuk real time atau 25 tahun untuk proyeksi pajanan <i>default</i> pekerja industri (EPA, 1991)	Wawancara dan studi literatur	Kuesioner dan penelusuran kepustakaan	Tahun	Rasio
5.	Berat Badan (Wb)	Berat badan responden saat penelitian	Penimbangan	Timbangan kamar mandi	Kg	Rasio
6.	Periode Waktu rata-rata (T <sub>avg</sub> )	Waktu yang dihasilkan dari perkalian durasi frekuensi pajanan dengan durasi pajanan, untuk non kanker 30 tahun, kanker 70 tahun	Perhitungan	Kalkulator	Tahun	Rasio
7.	Waktu Pajanan (t <sub>e</sub> )	Waktu kerja dalam sehari responden bekerja membuat sepatu (terpapar benzena)	wawancara	Kuesioner	Jam	Rasio
8.	RfC (Reference Concentration)	RfC adalah jumlah zat kimia yang memajani manusia setiap hari dalam waktu lama (umumnya lifetime) yang tidak menimbulkan efek merugikan	Studi Literatur	Kepustakaan	mg/m <sup>3</sup>	Rasio
9.	Asupan benzena	Perhitungan jumlah agen risiko (benzena) yang masuk dalam tubuh per kg berat badan perhari	perhitungan	Kalkulator dan komputer	(mg/kg)/hari	Rasio

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Alat Ukur	Satuan	Skala
10.	Cancer Slope Factor (CSF)	Nilai estimasi kanker, yang diturunkan dari unit risk benzena diudara, yaitu sebesar $2,2 \times 10^{-6}$ hingga $7,8 \times 10^{-6}$ untuk setiam $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ benzena di udara	Perhitungan dan kepustakaan	Kalkulator dan komputer	Tidak ada satuan	Ordinal
10.	Risiko kanker (ECR)	Perkiraan besar risiko kanker, dihitung dengan asupan benzena(kanker) x nilai estimasi kanker ( <i>Cancer Slope Factor</i> )	Perhitungan	Kalkulator dan komputer	Perkiraan jumlah kasus per populasi	Rasio
11.	Risiko non kanker (RQ)	Perkiraan besaran risiko nonkanker yang menggambarkan kemungkinan timbulnya gangguan kesehatan disebabkan pajanan benzena di udara lingkungan kerja, dihitung dengan perbandingan antara asupan (non kanker) dengan konsentrasi referen.	Perhitungan bilangan risiko (RQ),	Kalkulator dan komputer	RQ > 1 berisiko RQ ≤ 1 Tidak berisiko	Ordinal
12.	Konsentrasi <i>t,t-muconic acid</i>	Besarnya konsentrasi <i>t,t-muconic acid</i> dalam urin pekerja	Prosedur kerja NIOSH	High Performance Liquid Chromatography (HPLC)	$\mu\text{g}/\text{g}$ kreatinin	Rasio

## BAB 4

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 4.1. Rancangan Studi

Disain studi yang digunakan adalah metode analisis risiko (desain prediksi – *Risk Analysis paradigm*, NRC, 1983), yang digunakan untuk menilai dan melakukan prediksi yang akan terjadi akibat adanya paparan terhadap zat berbahaya, dalam hal ini adalah Benzena yang digunakan sebagai pelarut dalam lem, atau merupakan kontaminan dalam pelarut organik lain yang dipakai. Langkah yang dilakukan dalam paradigma analisis risiko ini adalah:

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

Dalam perhitungan estimasi atau perkiraan risiko dalam analisis ini digunakan estimasi satu titik (*single point estimate*), artinya dari semua data yang diambil harus mempunyai satu nilai.

#### 4.2. Tempat dan waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di bengkel sepatu 'X' yang berlokasi di Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta pada bulan April – Mei 2010.

#### 4.3. Populasi dan sampel

Populasi penelitian adalah seluruh pekerja di bengkel sepatu 'X' yang ada di kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung. Jumlah pekerja bengkel sepatu 'X' adalah sebanyak 26 orang pekerja.

Sampel adalah seluruh pekerja yang bekerja di bengkel sepatu 'X' di kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung. Cara pengambilan sampel adalah total sampling. Pada setiap responden, dilakukan persetujuan etic, wawancara,

penimbangan berat badan, pengukuran sampel udara selama kerja, dan pengambilan sediaan urin.

#### **4.4. Bahan dan Cara Kerja**

##### **4.4.1 Cara pengumpulan Sampel dan Sediaan Urin**

###### **1. Pengumpulan data di lapangan:**

Pengumpulan data dan informasi di lapangan meliputi : Pengukuran konsentrasi benzena di udara dalam ruangan tiap bagian bengkel sepatu, pengumpulan urin, pengukuran berat badan dan wawancara terhadap responden. Pengumpulan data konsentrasi benzena di udara dilakukan dengan alat pompa vakum yang dikombinasikan dengan tabung kaca berisi karbon aktif (active charcoal), pengukuran berat badan dengan menggunakan timbangan standart dan wawancara menggunakan kuesioner.

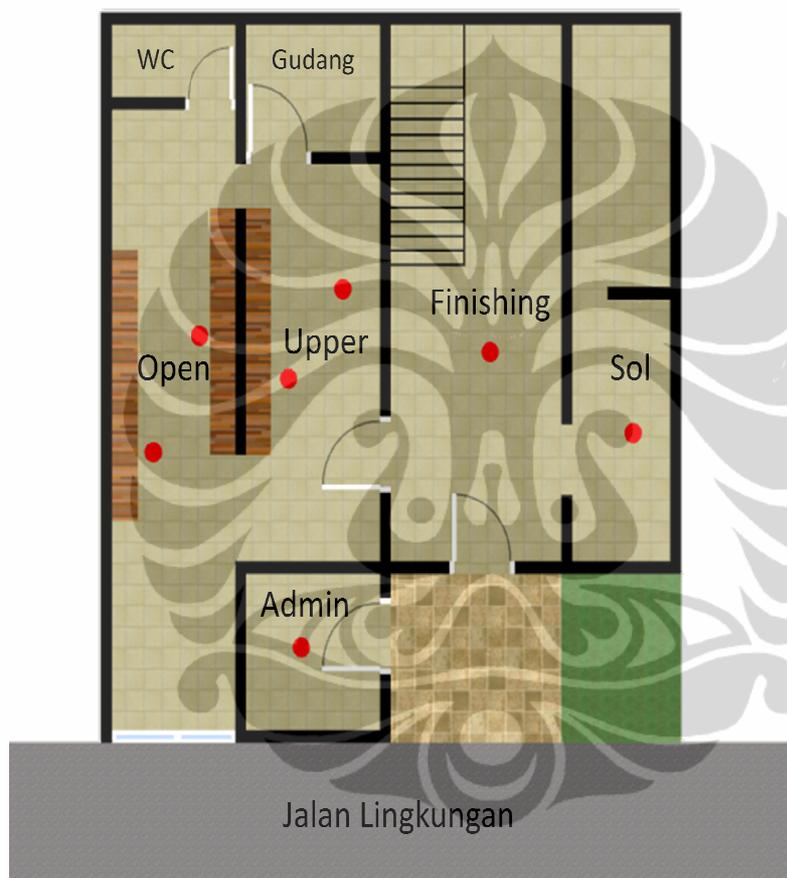
Pengambilan sampel udara dilakukan pada saat pekerja paling banyak menggunakan lem, yang ditentukan melalui observasi dilapangan. Sampel diambil pada tiap-tiap bagian di bengkel, yaitu bagian administrasi, pembuatan sol, *finishing*, pembuatan *upper* (bagian atas sepatu), dan bagian *open* (pemasangan bagian atas sepatu dengan sol).

Tenaga pelaksana pengumpul data adalah peneliti dibantu petugas ahli dari laboratorium balai Hiperkes DKI Jakarta.

###### **2. Prosedur pengambilan sampel benzena di udara**

Digunakan karbon aktif yang berada dalam tabung kaca bermerek 'perisai'. Karbon aktif ini dipasang pada alat air sampler, dan diletakkan pada setiap ruangan bagian di bengkel sepatu, dan diletakkan sejajar dengan zona pernafasan pekerja. Kecepatan alir pompa vakum diatur menjadi 200 mL/menit, dan pompa diaktifkan selama 30 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<sub>2</sub>) untuk mengekstrak benzena yang terkandung didalamnya. Setelah itu, dilakukan analisa konsentrasi Benzena dengan menggunakan alat GC/FID dilaboratorium.

Pengambilan sampel udara untuk menentukan konsentrasi benzena di lingkungan kerja dilakukan pada bagian administrasi, pembuatan sol, dan *finishing* sebanyak satu titik, sementara untuk bagian *upper* dan *open* diambil sebanyak masing-masing 2 titik, proses pengambilan sampel dilakukan pada pukul 14 – 15 WIB, dengan memperkirakan waktu tersebut merupakan waktu puncak pekerjaan dan penggunaan lem.



Gambar 4.1 Denah pengambilan sampel udara pada lingkungan bengkel sepatu 'X' di kawasan Pulogadung, Jakarta Timur tahun 2010

### 3. Prosedur pengumpulan sampel urin

Prosedur pengumpulan sampel urin dilakukan dengan mengikuti prosedur sampling WHO 1995. Pengumpulan sampel urin dilakukan dengan menggunakan wadah (container), diambil setelah masa pemajanan berlangsung sekitar 7-8 jam, kemudian diletakkan dalam suhu di bawah 5°C untuk membuat zat yang terkandung

dalam urin tidak menguap. Jumlah urin yang dikumpulkan kira-kira sebanyak 20 mL, yang akan memadai jika akan dilakukan analisa ulangan. Sampel urin dianalisa di Laboratorium Afiliasi, Departemen Kimia, FMIPA Universitas Indonesia.

#### 4.4.2 Bahan dan Metode Analisis benzena dalam sampel udara

Pengukuran benzena di udara mengacu pada metode 1501 (NIOSH, 1994). Pengambilan sampel di udara dilakukan dengan sampler (alat pengambil sampel udara) yang berupa bahan pengabsorb karbon aktif ( coconut shell carchoal). Sampel yang diambil ini kemudian disimpan pada suhu 5°C dan dapat stabil selama 30 hari. Kondisi kromatografi gas untuk pengukuran benzena adalah sebagai berikut:

Alat	: Kromatografi Gas dengan detektor <i>Flame Ionization Detector</i>
Analit	: Benzena
Desorpsi	: 1 mL CS <sub>2</sub> yang didiamkan 30 menit dengan agitasi
Volum 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 dengan kecepatan 2.6 mL/min
Kolom kromatografi	: kolom kapiler, <i>fused silica</i> . 30 m x 0.32 mm
Kalibrasi	: larutan analit dalam CS <sub>2</sub>
Waktu retensi benzena:	3.52 menit

#### 4.4.3. Bahan dan metode analisis asam *trans,trans*-mukonat dalam urin

Analasia *t,t-muconic acid* / asam *t,t*-mukonat (MA) dilakukan dengan menggunakan HPLC. Karena satuan pengukuran *t,t*-muconicacid ini dilakukan per gram kreatinin, maka juga dilakukan pengukuran kreatinin dalam urin dengan menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis.

### 1. Pengujian kreatinin dalam urine

Prinsip pengujian kreatinin dalam urin adalah senyawa kreatinin dalam urine bereaksi dengan alkali pikrat membentuk kreatinin pikrat berwarna merah-coklat dan diukur pada panjang gelombang serapannya .

Alat dan bahan yang digunakan :

- a. Labu ukur 25 mL
- b. Labu ukur 100 mL
- c. Pipet Volumetri
- d. Pipet Ukur
- e. Kreatinin Standar
- f. NaOH 0.5 N
- g. Asam Pikrat jenuh
- h. Aquades

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 510 nm.

### 2. Pengujian *trans,trans-muconic acid*

Senyawa *trans,trans-muconic acid* yang terdapat didalam urin di deteksi dengan menggunakan alat *High Performane Liquid Chromatography* (HPLC), prinsip yang dipakai untuk pendeteksian senyawa ini adalah prinsip pemisahan kromatografi, yaitu perbedaan kelarutan *trans,trans-muconic acid* dalam fasa gerak dan fasa diam.

Alat dan Bahan yang digunakan :

- a. Labu ukur 25 mL
- b. Labu ukur 100 mL
- c. Pipet Volumetri
- d. Pipet Ukur
- e. Vial
- f. Water Bath
- g. Vortex
- h. HPLC Shimadzu, kolom C-18, detektor UV-Vis

- i. Standar trans,trans-muconic acid
- j. HCL 6 N
- k. NaCl
- l. Etil Asetat
- m. Asetonitril
- n. Aquades

Pengujian dilakukan dengan pengaturan HPLC sbb :

Fasa gerak : Asetonitril : Air : Asam asetat glasial (10:90:1)  
Kolom : C-18  
Laju alir : 1.2 mL/min  
Detektor : UV-Vis 254 nm

#### 4.5. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Data laboratorium hasil analisis konsentrasi benzena dalam sampel udara di lingkungan kerja yang dilakukan di laboratorium Hyperkes Jakarta.
2. Data kuesioner, yaitu data yang diperoleh dari hasil wawancara dengan para pekerja industri bengkel sepatu yang berada di kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung sebagai responden. Yaitu data karakteristik responden, laju asupan, frekuensi dan durasi pajanan.
3. Data dosis referensi untuk pajanan benzena diambil dari data yang dikeluarkan oleh IRIS (Integrated Risk Information System) yaitu sebesar  $3 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$ .
4. Data unit risk benzena diudara yang diambil dari data yang dikeluarkan oleh IRIS yaitu sebesar  $2,2 \times 10^{-6}$  hingga  $7,8 \times 10^{-6}$  untuk setiap  $1 \mu\text{g/m}^3$  benzena di udara .

## 4.6. Pengolahan dan Analisis Data

### 4.6.1 Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh selama penelitian dilapangan diolah dengan beberapa tahapan:

1. Pengecekan data. Kegiatan pemeriksaan semua data, baik data hasil pengisian kuesioner maupun data hasil pengukuran laboratorium. Tahapan ini bertujuan untuk menghindari terjadinya *missing data* pada waktu analisis.
2. Penandaan data. Kegiatan yang dilakukan untuk memudahkan proses pemasukan data melalui pemberian kode-kode yang dapat dikenali dengan *software* penelitian.
3. Pemasukan data. Proses memasukkan data ke dalam program komputer yang bertujuan memudahkan serta mengantisipasi terjadinya kesalahan perhitungan dalam melakukan analisis data.
4. Pembersihan data. Kegiatan memeriksa ulang data yang sudah dimasukkan, untuk melihat distribusi frekuensi masing-masing variabel yang diteliti berdasarkan kelogisannya dan berguna untuk memeriksa kembali kelengkapan data sehingga kesalahan analisis dapat ditekan seminimal mungkin.

### 4.6.2. Analisis Data

1. Analisis univariat

Analisis univariat dilakukan untuk memperoleh gambaran masing-masing variabel. Dalam analisis ini digunakan ukuran nilai tengah mean, median, nilai minimal maksimal dan nilai skewness untuk data numerik dan distribusi frekuensi .

2. Perhitungan Risiko non kanker

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

$$I_{nk} = \frac{C \cdot R \cdot t_e \cdot f_e \cdot D_t}{W_b t_{avg}}$$

Dengan : I : Intake (asupan), jumlah risk agent yang diterima individu per satuan

berat badan setiap hari ( $m^3/kg/hari$ )

C : Konsentrasi Risk agent, benzena di udara ( $mg/m^3$ )

R : Laju (rate) 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 mengetahui tingkat risiko kesehatan (Risk Qoutients/RQ) pada konsumen maka dilakukan perhitungan RQ dengan persamaan berikut:

$$RQ = \frac{I_k \left( \frac{m^3}{kg/hari} \right)}{RfC \left( \frac{m^3}{kg/hari} \right)}$$

RQ, Risk Qoutients menyatakan kemungkinan risiko yang potensial terjadi akibat pajanan benzena. Nilai  $RQ > 1$  menunjukkan benzena telah diatas batas normal, sehingga dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi pekerja yang ada di industri tersebut sepanjang hidupnya. Nilai  $RQ \leq 1$  menunjukkan bahwa pajanan masih berada di bawah batas yang diperbolehkan sehingga pekerja yang terpajan masih terhitung aman dari risiko kesehatan akibat benzena selamahirupnya.

### 3. Perhitungan risiko kanker

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

$$I_k = \frac{C \cdot R \cdot t_e \cdot f_e \cdot D_t}{W_b t_{avg}}$$

Dengan :

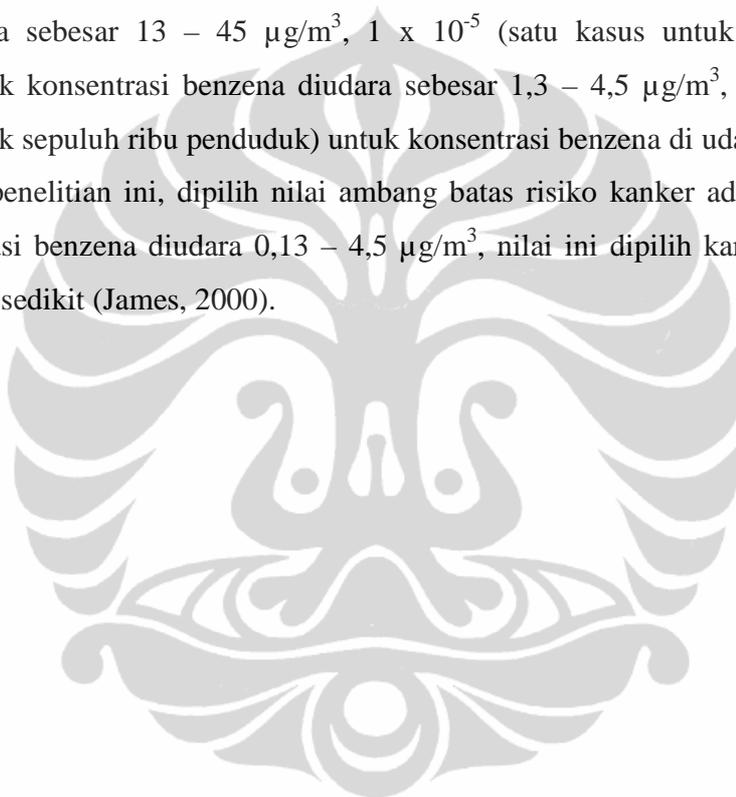
- I : Intake (asupan), jumlah risk agent yang diterima individu per satuan berat badan setiap hari ( $m^3/kg/hari$ )
- C : Konsentrasi Risk agent, benzena di udara ( $mg/m^3$ )
- R : Laju (rate) asupan ( $m^3/jam$ )
- $t_e$  : Waktu pajanan / bekerja dalam sehari (jam)
- $f_e$  : Frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)
- $D_t$  : Durasi pajanan, real time atau 30 tahun proyeksi
- $W_b$  : Berat badan (kg)
- $t_{avg}$  : periode waktu rata-rata (70 tahun x 365 hari/tahun (karsinogenik))

Untuk menentukan risiko karsinogenik, maka dibutuhkan nilai *Cancer Slope Factor*. 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 ditentukan nilai risiko kankernya, dengan menggunakan rumus :

$$ECR = I_k \times CSF$$

dengan ECR : *Excess Cancer Risk* (Risiko Kanker)  
I<sub>k</sub> : Jumlah asupan kronis (sepanjang hayat, yaitu 70 tahun)  
CSF : *Cancer Slope Factor*

Nilai ambang batas risiko kanker yang dapat diterima yang digunakan diadopsi dari US-EPA. yaitu  $1 \times 10^{-6}$  (satu kasus untuk satu juta penduduk) untuk konsentrasi benzena diudara sebesar  $13 - 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $1 \times 10^{-5}$  (satu kasus untuk seratus ribu penduduk) untuk konsentrasi benzena diudara sebesar  $1,3 - 4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan  $1 \times 10^{-4}$  (satu kasus untuk sepuluh ribu penduduk) untuk konsentrasi benzena di udara  $0,13 - 4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dalam penelitian ini, dipilih nilai ambang batas risiko kanker adalah  $1 \times 10^{-4}$  untuk konsentrasi benzena diudara  $0,13 - 4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , nilai ini dipilih karena populasi responden yang sedikit (James, 2000).



## BAB 5

### HASIL PENELITIAN

#### 5.1 Cakupan Penelitian dan Gambaran Umum Lokasi Studi

Penelitian ini dilaksanakan di salah satu bengkel sepatu 'X' yang berada di Perkampungan Industri Kecil, di daerah Pulogadung, Jakarta Timur. Bengkel 'X' ini sudah berdiri sejak tahun 1997 dengan jumlah pekerja yang tidak tetap karena menggunakan sistem kerja borongan dan mengerjakan beberapa pesanan merek sepatu.

Dalam proses pengeleman, lem yang dipakai ada dua jenis, yaitu lem kuning dan lem putih. Lem kuning lebih banyak dipakai dibandingkan lem putih, pemakaian lem kuning biasanya 10 kg untuk pekerjaan satu hari, sementara 10 kg lem putih bisa digunakan selama 2 – 3 hari. Terdapat 26 responden yang merupakan seluruh pekerja pada bengkel sepatu 'X' tersebut, yang terdiri dari 5 bagian pekerjaan, yaitu bagian administrasi, bagian pembuatan sol, bagian pembuatan *upper* (bagian atas sepatu), bagian *open*/tarik (memasangkan bagian atas sepatu dengan sol), dan bagian *finishing*. Bagian sol dan *upper* biasanya memakai lem putih, bagian *open* memakai lem kuning dan lem putih, sementara bagian *finishing* hanya memakai lem kuning.

Bengkel terdiri dari ruang administrasi, bagian *upper* dan *open*, bagian pembuatan sol, dan bagian *finishing*. Pada ruang bagian *upper* dan *open* hanya dilengkapi oleh satu buah ventilasi berupa satu buah dinding berkasa, dengan luas 2 x 2 m (4 m<sup>2</sup>), satu buah pintu ukuran standar, dan dilengkapi dengan 15 buah kipas angin ukuran kecil, dan tanpa pendingin udara.

Pada bagian administrasi, terdapat satu buah pendingin ruangan, suasana di bagian ini lebih baik dibandingkan dengan bagian sol dan yang lainnya. Persediaan lem ditempatkan diruangan ini, juga stok sepatu yang telah selesai dikerjakan dan akan dijual. Sehingga, bau lem di ruangan administrasi ini juga tercium cukup menyengat. Dalam ruang *finishing*, bau lem sangat menyengat karena pemakaian lem kuning yang digunakan cukup banyak.

Pegawai biasanya mengelem dengan menggunakan jari tangan langsung tanpa ada alat pelindung diri, baik sarung tangan, masker, maupun apron. Kondisi udara

bengkel juga sangat panas dengan bau uap lem yang sangat menyengat. Kebanyakan pekerja bahkan bekerja dengan bertelanjang dada, sambil merokok atau bahkan makan ditempat mereka bekerja. Ketika beristirahatpun, mereka beristirahat dan tidur dalam ruangan bengkel tersebut.

## 5.2 Karakteristik Antropometri dan Sosiodemografi Pekerja Bengkel 'X'

Tabel 5.1 menampilkan karakteristik antropometri dan sosiodemografi responden. Didapatkan sebagian besar responden berjenis kelamin laki-laki, yaitu sebanyak 25 orang (96,15%) dan 1 orang (3,85%) pegawai perempuan. Karakteristik umur responden berkisar antara 19 tahun sampai dengan 55 tahun, dengan persentase terbesar berusia diatas 35 tahun sebanyak 13 orang (50%), usia 30 – 34 tahun sebanyak 5 orang (19,23%), 25 – 29 tahun dan 19 – 24 tahun masing-masing sebanyak 4 orang (15,38%). Tingkat pendidikan responden terendah adalah tidak lulus SD, sampai yang tertinggi yaitu D3. Responden dengan tingkat pendidikan tidak tamat SD hingga SD sebanyak 8 orang (31%), SMA sebanyak 5 orang (19%), D3 sebanyak 1 orang (3,85%). Dari 26 pekerja bengkel sepatu 'X' ini sebagian besar pekerja sudah menikah yaitu sebanyak 21 orang atau 80,77 persen, sisanya belum menikah sebanyak 5 orang atau 19,23 persen.

Kebiasaan merokok akan menambah jumlah asupan benzena ke dalam tubuh pekerja, yang akan memperburuk risiko kesehatan yang dihadapinya. Didapatkan hasil sebanyak 5 orang tidak merokok (19,23 persen), responden yang merokok antara 1 hingga 10 batang per hari sebanyak 42,3 persen, dan yang lebih dari 10 batang sebanyak 10 orang responden (38,46 persen). Sebagian responden yang mempunyai keluarga diluar kota tinggal sehari-hari di dalam bengkel sebanyak 12 pekerja (46,15 persen), sehingga responden yang tinggal diluar bengkel sebanyak 14 pekerja (53,85 persen).

Berat badan merupakan salah satu faktor penting dalam proses analisis risiko kesehatan, hal ini disebabkan berat badan merupakan denominator dalam perhitungan dosis suatu agen pencemar yang masuk ke dalam tubuh. Gambaran distribusi berat badan responden adalah berkisar antara 45 kg hingga 80 kg. Rata-rata berat badan pekerja bengkel sepatu adalah sebesar 57,27 kg, dengan nilai tengah sebesar 55 kg.

Tabel 5.1. Distribusi karakteristik responden analisis risiko pajanan benzena pada pekerja bengkel sepatu X di PIK Pulogadung tahun 2010

Karakteristik Responden	Jumlah	Persentase (%)
1. Jenis Kelamin		
a. Perempuan	1	3,85
b. Laki-laki	25	96,15
2. Umur		
a. 19 – 24	4	15,38
b. 25 – 29	4	15,38
c. 30 -34	5	19,23
d. 35 - >	13	50,0
3. Pendidikan		
a. SD kebawah	8	30,77
b. SMP	12	46,15
c. SMA	5	19,23
d. D3	1	3,85
4. Status Marital		
a. Belum Menikah	5	19,23
b. menikah	21	80,77
5. Status Merokok		
a. Tidak Merokok	5	19,23
b. Merokok ( 1-10 batang)	11	42,31
c. Merokok ( > 10 batang)	10	38,46
6. Tempat Tinggal		
a. Didalam bengkel	12	46,15
b. Diluar bengkel	14	53,85
7. Berat Badan Pekerja (kg)		
Min	45	
Max	80	
Rata-rata	57,27	
Median	55	
Standar deviasi	9,44	
varian	0,16	

### 5.3. Gambaran Jumlah Asupan Benzena

#### 5.3.1. Pola Aktivitas Responden

Sistem pekerjaan pada bengkel sepatu 'X' ini menggunakan sistem borongan, para pekerja menerima penghasilan sejumlah pasang sepatu yang mereka selesaikan, sehingga tidak dapat dipastikan jumlah jam kerja yang sama untuk semua pekerja, karena para pekerja bekerja selama mungkin untuk menghasilkan pasang sepatu yang lebih banyak. Jumlah jam kerja, yang merupakan faktor lama pajanan ( $t_e$ ) benzena didapatkan melalui kuesioner.

Selain jumlah jam kerja/lama pajanan, variabel lain yang perlu diperhitungkan adalah jumlah hari kerja per tahun. Karena sistem pekerjaan borongan, maka hari libur setiap pekerja juga berbeda-beda. Jadi analisa deskriptif tentang jumlah hari yang menyatakan frekuensi pajanan juga dilakukan. Lama bekerja responden di bengkel sepatu tersebut juga bervariasi.

Tabel 5.2. Distribusi Frekuensi Pola Aktivitas Pajanan Benzena pada bengkel 'X' di PIK, Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Lama pajanan, $t_e$ (jam/hari)	Frekuensi pajanan, $f_e$ (hari)	Durasi pajanan, $D_t$ (tahun)
Min	9	283	0,0027
Max	17	306	15
Rata-rata	14,58	301,08	3,48
Median	14,50	304,50	1,75
Standar deviasi	2,14	6,84	4,41
Varian	0,15	0,02	1,26

Tabel 5.2 menggambarkan distribusi deskriptif jumlah jam kerja per hari ( $t_e$ ), jumlah hari bekerja dalam setahun (frekuensi pajanan,  $f_e$ ) dan lama bekerja responden pada bengkel sepatu tersebut (durasi pajanan,  $D_t$ ). Didapatkan bahwa pada lama pajanan yang berkisar antara 9 – 17 jam, karena varian  $< 0,50$  berarti data berdistribusi normal, sehingga diambil data nilai rata-rata, yaitu 14,58 hari. Hari kerja dalam setahun berkisar antara 283 hari hingga 306 hari, dengan rata-rata 301,07 hari (varian  $< 0,50$ ). Sementara

untuk lama bekerja responden (Dt) dalam bengkel tersebut bervariasi antara 1 hari hingga 15 tahun dengan varian  $> 0,50$  yang berarti data berdistribusi tidak normal sehingga dipakai nilai median 1,75 tahun untuk nilai perkiraan satu titiknya (*single point estimate*).

### 5.3.2 Pengalaman Bekerja

Responden yang bekerja pada bengkel sepatu 'X' tersebut biasanya merupakan pekerja ahli yang sudah bekerja lama sebelumnya, oleh sebab itu perlu diperhatikan masa responden bekerja dibidang pembuatan sepatu sebelum mereka bekerja di bengkel tersebut, hal ini untuk dapat menguatkan bahwa mereka selalu berada pada lingkungan yang berkemungkinan terpajan benzena. Berikut distribusi pengalaman responden bekerja dalam membuat sepatu. Sebanyak 19,8% ( 5 orang) bekerja pada jangka masa kerja 0 – 5 tahun, 16 – 20 tahun, dan 21 – 25 tahun. Terdapat 15,4% (4 orang) responden yang sudah bekerja membuat sepatu lebih dari 30 tahun. 11,5% ( 3 orang) telah bekerja selama 6 – 10 tahun dan 11 – 15 tahun, sementara yang pengalaman kerja selama 26 – 30 tahun sebanyak 10 orang (3,8%).

### 5.3.3. Konsentrasi Benzena di Udara Lingkungan Kerja

Pengukuran sampel udara yang mengandung benzena dilakukan di tiap-tiap bagian bengkel sepatu. Yaitu pada bagian administrasi, pembuatan sol, dan *finishing* masing-masing satu titik pengambilan, sedangkan untuk bagian *upper* dan *open* dilakukan dua titik pengambilan.

Dari hasil pengukuran di laboratorium didapatkan konsentrasi benzena di lingkungan udara bengkel 'X' pada pengambilan tujuh titik pengukuran diketahui bahwa konsentrasi yang paling tinggi terdapat pada bagian *open* titik 1, dan yang paling rendah adalah bagian pembuatan sol. Hasil pengukuran konsentrasi benzena pada setiap titik dan distribusi frekuensi konsentrasi benzena di udara dapat di lihat pada tabel 5.3. Konsentrasi benzena tertinggi di dapat pada bagian *open* titik 1 sebesar  $0,09424 \text{ mg/m}^3$  dan terendah pada bagian pembuatan sol sebesar  $0,00805 \text{ mg/m}^3$ . Didapatkan rata-rata sebesar  $0,04983 \text{ mg/m}^3$ , tetapi karena distribusi frekuensinya menunjukkan distribusi

yang tidak normal (varian > 0,50), maka digunakan nilai tengah sebesar 0,05781 mg/m<sup>3</sup>. Walaupun konsentrasi benzena ini masih berada di bawah nilai *permissible exposure limit* yang dikeluarkan oleh OSHA, 1987 yaitu sebesar 1 ppm atau 3,24 mg/m<sup>3</sup> benzena (IRIS-EPA, 2002), tetapi tidak estimasi risiko kesehatan dapat terjadi karena adanya perbedaan karakteristik antropometri pekerja dan pola pajanan. Konsentrasi benzena di tiap titik dan distribusi frekuensi konsentrasi benzena ditampilkan pada tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Distribusi konsentrasi kadar benzena di udara lingkungan bengkel sepatu 'X' di PIK, Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Konsentrasi Benzena (10 <sup>-3</sup> mg/m <sup>3</sup> )
1. Bagian Sol	8,05
2. Bagian Administrasi	14,05
3. Bagian <i>Open</i> (titik 1)	94,24
4. Bagian <i>Open</i> (titik 2)	57,81
5. Bagian <i>Upper</i> (titik 1)	14,10
6. Bagian <i>Upper</i> (titik 2)	75,28
7. Bagian <i>Finishing</i>	85,31
Rata-rata	49,83
Median	57,81
Min	8,05
Max	94,24
Standar Deviasi	37,07
Varian	0,74

## 5.4. Analisis Dosis Respon

### 5.4.1 Analisis Dosis Respon Risiko Non Kanker Benzena

Untuk risiko non kanker, digunakan 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 sedemikian rupa sehingga memiliki satuan (mg/kg)/ hari. Karena nilai RfC didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Rothman et.al (EPA, 2002) yang menggunakan nilai-nilai default dari US-EPA dalam eksperimennya, maka untuk konversi satuan RfC ini digunakan data-data sebagai berikut:

Berat Badan (Wb) = 70 kg

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

$$\begin{aligned} \text{Maka RfC} & : \quad 0,03 \text{ mg/m}^3 = \frac{0,03 \text{ mg/m}^3 \times 20 \text{ m}^3/\text{hari}}{70} \\ & = 0,0086 \text{ (mg/kg)/ hari} \end{aligned}$$

Nilai RfC (*Reference Concentration*) untuk pajanan lewat inhalasi ini yang akan digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan non kanker akibat pajanan benzena,

dengan rumus : 
$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfC}$$

### 5.4.2 Analisis Dosis Respon Risiko Kanker Benzena

Perkiraan risiko karsinogenik ini dihitung dengan lama pajanan sepanjang hayat (life time) selama 70 tahun (Louvar, 1998). Perhitungan risiko karsinogenik ini akan dilakukan untuk seluruh pekerja, pekerja per bagian pekerjaan yang berbeda-beda dan masing-masing individu,

Dalam perhitungan risiko kanker ini, yang dibutuhkan selain pajanan sepanjang hayat, juga nilai CSF (*Cancer Slope Factor*). Nilai CSF ini dapat diturunkan dari nilai *air unit risk* benzena melalui inhalasi yang ditetapkan oleh IRIS, US-EPA, yaitu sebesar  $2,2 \times 10^{-6}$  hingga  $7,8 \times 10^{-6}$  untuk setiap  $1 \mu\text{g/m}^3$  benzena, yang dapat diartikan bahwa untuk setiap  $\mu\text{g/m}^3$  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-beda.

Untuk menurunkan nilai CSF, dipakai dua nilai *air unit risk*, yaitu  $2,2 \times 10^{-6}$  dan  $7,8 \times 10^{-6}$  untuk setiap konsentrasi benzena diudara  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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, digunakan nilai-nilai default dari US-EPA, dengan data-data sebagai berikut:

Laju Inhalasi (R)	= $20 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$
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 ( $T_{\text{avg}}$ )	= 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:

$$ECR = I_k \times CSF \qquad CSF = \frac{ECR}{I_k}$$

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

$$CSF = 7,8 \times 10^{-6} : \frac{1 \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 8 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 250 \text{ hari} \times 25 \text{ tahun}}{70 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 70 \text{ tahun}}$$

$$= 0,34 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$$

Untuk air unit risk  $2,2 \times 10^{-6}$  didapatkan nilai CSF minimum sebesar 0,095.

Kedua nilai *Cancer Slope Factor* (CSF) ini yang akan digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan kanker akibat pajanan benzena terhadap pekerja sepatu, untuk memperkirakan risiko minimum dan risiko maksimum (*over estimate*) yang akan terjadi terhadap para pekerja.

## **5.5. Perkiraan Risiko Kesehatan**

Benzena memiliki efek kesehatan yang non karsinogenik dan efek karsinogenik. Pada penelitian kali ini akan dihitung perkiraan risiko kesehatan kanker dan non kanker akibat pajanan benzena di lingkungan kerja terhadap para pekerja bengkel sepatu 'X' dikawasan PIK Pulogadung, Jakarta Timur. Pada perhitungan efek risiko non kanker benzena terhadap para pekerja, dibuat beberapa katagori. Risiko non kanker untuk seluruh pekerja, risiko nonkanker pada tiap bagian bengkel sepatu, dan risiko non kanker untuk tiap individu.

### **5.5.1. Perkiraan Risiko Kesehatan pada seluruh pekerja**

#### **5.5.1.1. Perkiraan Risiko Non Kanker pada seluruh pekerja**

Pada perhitungan risiko non kanker seluruh pekerja, digunakan data-data berdasarkan analisis deskriptif faktor-faktor pemajanan anthropometri pada bengkel sepatu 'X' yang ditampilkan pada tabel 5.4 sebagai berikut :

Tabel 5.4 Analisis Deskriptif faktor pemajanan pekerja sepatu bengkel 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Faktor Pemajanan	Satuan	Nilai numerik					
		Rata-rata	Median	Min	Max	Stdev	Varian
Berat Badan	Kg	57,27	55,00	45,00	80,00	9,44	0,17
Lama pajanan (te)	Jam/hari	14,58	14,50	9,00	17,00	2,14	0,15
Frekuensi pajanan (fe)	Hari	301,08	304,50	283,00	306,00	6,84	0,02
Durasi pajanan (Dt)	tahun	3,48	1,75	0,003	15,00	4,41	1,26
C benzena (10 <sup>-3</sup> )	mg/m <sup>3</sup>	49,83	57,81	8,05	94,20	0,04	0,74

Berdasarkan tabel 5.4 , maka perhitungan asupan benzena proyeksi *real time* untuk pekerja sepatu bengkel 'X' menggunakan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi benzena (C)} &= 0,0578 \text{ mg/m}^3 \\
 \text{Berat badan (Wb)} &= 57,27 \text{ kg} \\
 \text{Laju Inhalasi (R)} &= 5,3 \ln (57,27) - 6,9 \text{ m}^3/\text{hari} = 14,553 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,6064 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Lama pajanan per hari (te)} &= 14,58 \text{ jam} \\
 \text{Lama hari kerja pertahun (fe)} &= 301,08 \text{ hari} \\
 \text{Lama pajanan real time (Dt)} &= 1,75 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Konsentrasi benzena (C) dan lama pajanan *real time* diambil nilai tengah (median) karena variannya > 0,50 yang berarti distribusinya adalah tidak normal.

$$\begin{aligned}
 \text{Asupan(nonkanker)benzena} &= \frac{(0,0578 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,6064 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (14,58 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (301,08 \text{ hari}) \times 1,75 \text{ tahun}}{57,27 \text{ kg} \times (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\
 &= 4,30 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}
 \end{aligned}$$

Dengan konsentrasi referen sebesar  $8,6 \times 10^{-3}$  (mg/kg)/hari, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Risk Qoutient (RQ) real time} &= \text{Asupan/ konsentrasi referen} \\
 &= 4,30 \cdot 10^{-4} / 8,6 \cdot 10^{-3} \\
 &= 0,05
 \end{aligned}$$

Risiko kesehatan non kanker (RQ) untuk seluruh pekerja bengkel sepatu 'X' pada saat ini (*real time*) tidak menunjukkan adanya risiko. Dilakukan juga perhitungan apabila pajanan dilakukan selama 5,10,15,20,25 hingga 30 tahun, dan dapat diestimasi bahwa pajanan benzena untuk para pekerja bengkel sepatu tersebut hingga 30 tahun mendatang tidak berisiko ( $RQ \leq 1$ ). Risiko kesehatan non kanker pajanan benzena pada pekerja bengkel sepatu digambarkan pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg)/hari	1,227	2,453	3,680	4,906	6,133	7,36
RQ	0,143	0,285	0,428	0,571	0,713	0,856

### 5.5.1.2 Perkiraan Risiko Kesehatan Kanker Seluruh Pekerja

Berdasarkan tabel 5.4, maka data-data yang dipergunakan untuk menentukan jumlah asupan (kanker) *real time* untuk seluruh pekerja adalah sama dengan data yang digunakan pada penentuan risiko non kanker, kecuali nilai periode pajanan rata-rata:

$$\text{Periode waktu rata-rata (Tavg)} = 70 \text{ thn} \times 365 \text{ hari}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Asupan (kanker) benzena} &= \frac{(0,0578 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,6064 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (14,58 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (301,08 \text{ hari}) \times 1,75 \text{ tahun}}{57,27 \text{ kg} \times (70 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\ &= 1,84 \times 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF minimum :  $0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka:

$$\begin{aligned} \text{Risiko kesehatan kanker (ECR)} &= 1,84 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg hari)} \times 0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1} \\ &= 1,75 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF maksimum :  $0,34 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka nilai ECR adalah :  $6,26 \times 10^{-5}$

Risiko kesehatan kanker real time untuk seluruh pekerja bengkel sepatu 'X' adalah sebesar  $1,75 \times 10^{-5}$  hingga  $6,26 \times 10^{-5}$ , artinya nilai risiko kanker ini tidak melebihi ambang batas ( $ECR \leq 1 \times 10^{-4}$ ). Untuk memprediksi risiko kesehatan kanker bila para pekerja bekerja di bengkel tersebut selama tahun-tahun mendatang, dibuat ECR untuk lama pajanan 5,10,15,20,25, dan 30 tahun, yang dapat dilihat pada tabel 5.6. Didapatkan hasil bahwa pada risiko kanker minimum, didapatkan risiko mulai diatas ambang batas ketika tahun ke-15, tetapi pada perhitungan risiko kanker maksimum, mulai pajanan tahun ke-5, sudah terdapat risiko kanker, yaitu sebesar  $1,79 \times 10^{-4}$  (terjadi 2 kasus pada setiap 10.000 pekerja), hingga pada pajanan 30 tahun risiko kankernya adalah  $10,7 \times 10^{-4}$  (terjadi 11 kasus kanker pada setiap 10.000 pekerja).

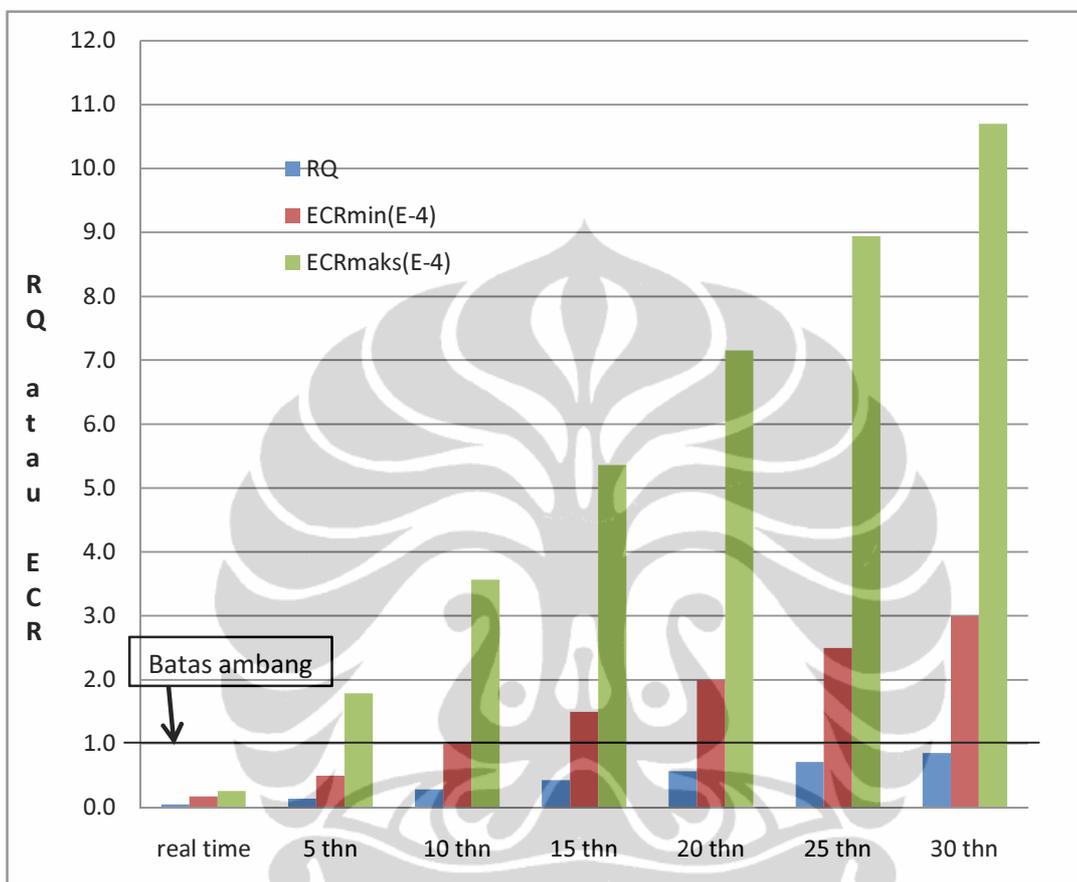
Tabel 5.6 Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake $10^{-3}$ (mg/kg)/hari	0,52	1,05	1,58	2,10	2,63	3,15
ECR min	5E-05	9,99 E-05	1,5E-04	2 E-04	2,5 E-04	3 E-04
ECR maks	1,79E-04	3,57E-04	5,36E-04	7,15E-04	8,94E-04	10,7E-04

### 5.5.1.3 Perbandingan RQ dan ECR Seluruh Pekerja Bengkel Sepatu

Dilakukan perbandingan antara perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik (RQ) dan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) untuk total responden. Didapatkan perbandingan bahwa pada perkiraan risiko kesehatan non kanker, sampai pajanan 30 tahun, tidak terdeteksi adanya risiko kesehatan ( $RQ \leq 1$ ), sementara pada perkiraan ECR minimum, risiko kesehatan yang melebihi ambang batas baru terjadi pada pajanan tahun ke-15, sedangkan pada perkiraan ECR maksimum, pajanan 5 tahun benzena sudah menyebabkan risiko kesehatan kanker yang melebihi ambang ( $ECR > 1 \times 10^{-4}$ ).

Berdasarkan tabel 5.5 dan 5.6, dibuat grafik perbandingan antara RQ dan ECR untuk total responden pekerja (Gambar 5.1).



Gambar 5.1. Perbandingan nilai RQ , ECRmin dan ECRmaks untuk total responden pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung Tahun 2010

## 5.5.2 Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Pembuatan Sol

### 5.5.2.1 Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian Pembuatan Sol

Perkiraan risiko kesehatan untuk para pekerja bagian pembuatan sol dihitung dengan menggunakan analisis deskriptif yang ada pada tabel 5.7 untuk menentukan nilai perkiraan satu titiknya (*single point estimate*)

Tabel 5.7 Analisis Deskriptif faktor pemajanan pekerja sepatu bagian pembuatan sol di bengkel 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Faktor Pemajanan	Satuan	Nilai numerik					
		Rata-rata	Median	Min	Max	Stdev	Varian
Berat Badan	Kg	67	66	55	80	12,53	0,187
Lama pajanan (te)	Jam/hari	14,67	15	14	15	0,577	0,039
Frekuensi pajanan (fe)	Hari	290	283	283	304	12,124	0,042
Durasi pajanan (Dt)	tahun	6,67	5	4	11	3,786	0,567
C benzena	mg/m <sup>3</sup>	0,00805					

Berdasarkan tabel 5.7 , maka perhitungan asupan benzena proyeksi real time untuk pekerja sepatu pada bagian pembuatan sol bengkel 'X' menggunakan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi benzena (C)} &= 0,00805 \text{ mg/m}^3 \\
 \text{Berat badan (Wb)} &= 67 \text{ kg} \\
 \text{Laju Inhalasi (R)} &= 5,3 \ln(67) - 6,9 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 15,3849 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,641 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Lama pajanan per hari(te)} &= 14,67 \text{ jam/hari} \\
 \text{Lama hari kerja pertahun (fe)} &= 290 \text{ hari} \\
 \text{Lama pajanan real time (Dt)} &= 5 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Lama pajanan real time diambil nilai tengah (median) karena variannya  $> 0,50$  yang berarti distribusinya adalah tidak normal.

$$\begin{aligned}
 \text{Asupan (non kanker) benzena} &= \frac{(0,00805 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,641 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (14,67 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (290 \text{ hari}) \times 5 \text{ tahun}}{67 \text{ kg} \times (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\
 &= 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}
 \end{aligned}$$

Dengan konsentrasi referen sebesar  $8,6 \times 10^{-3}$  (mg/kg)/hari, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Risk Qoutient (RQ) real time} &= \text{Asupan/ konsentrasi referen} \\
 &= 1,5 \cdot 10^{-4} / 8,6 \cdot 10^{-3} \\
 &= 0,0174
 \end{aligned}$$

Risiko kesehatan non kanker (RQ) untuk para pekerja bengkel sepatu 'X' di bagian pembuatan sol pada saat ini (real time) tidak menunjukkan adanya risiko kesehatan non kanker. Dilakukan juga perhitungan estimasi risiko apabila pajanan dilakukan selama 5,10,15,20,25 hingga 30 tahun didapatkan bahwa pajanan benzena untuk para pekerja bengkel sepatu pada bagian pembuatan sol tersebut tidak berisiko ( $RQ \leq 1$ ). Risiko kesehatan non kanker pajanan benzena pada pekerja bengkel sepatu bagian pembuatan sol digambarkan pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian pembuatan sol bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg)/hari	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90
RQ	0,017	0,035	0,052	0,070	0,087	0,104

### 5.5.2.2 Perkiraan Risiko Kanker Pekerja Bagian Pembuatan Sol

Data-data yang digunakan untuk menghitung asupan (kanker) sesuai dengan tabel 5.7 dengan periode waktu rata-rata ( $T_{avg}$ ) adalah sepanjang hayat (70 tahun).

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Asupan (kanker) benzena} &= \frac{(0,00805) \times (0,641 \frac{m^3}{jam}) \times (14,67 \frac{jam}{hari}) \times (290 \text{ hari}) \times 5 \text{ tahun}}{67 \text{ kg} \times (70 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\ &= 6,4 \times 10^{-5} \text{ (mg/kg)/hari} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF minimum :  $0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka

$$\begin{aligned} \text{Risiko kesehatan kanker (ECR)}_{\min} &= 6,4 \cdot 10^{-5} \text{ (mg/kg hari)} \times 0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1} \\ &= 6,08 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF maksimum, didapatkan  $ECR_{\max}$  sebesar  $2,18 \times 10^{-5}$

Risiko kesehatan kanker *real time* untuk pekerja bagian pembuatan sol bengkel sepatu 'X' ini berkisar antara  $6,08 \times 10^{-5}$  hingga  $2,18 \times 10^{-5}$ , artinya perkiraan risiko kanker tidak melebihi ambang batas ( $ECR \leq 1 \times 10^{-4}$ ). Untuk memprediksi risiko kesehatan kanker bila para pekerja bekerja di bengkel tersebut selama tahun-tahun mendatang maka dibuat perkiraan ECR untuk lama pajanan 5,10,15,20,25, dan 30 tahun, yang dapat dilihat pada tabel 5.9. Didapatkan bahwa pada estimasi risiko kanker minimum (ECR min) hingga pajanan ke-30 tidak didapatkan risiko kesehatan yang melebihi ambang batas, tetapi pada estimasi risiko kanker maksimum (ECR maks), pada pajanan tahun ke-25 terdapat risiko kanker yang melebihi ambang batas, yaitu sebesar  $1,09 \times 10^{-4}$  (terjadi 1 kasus pada setiap 10.000 pekerja).

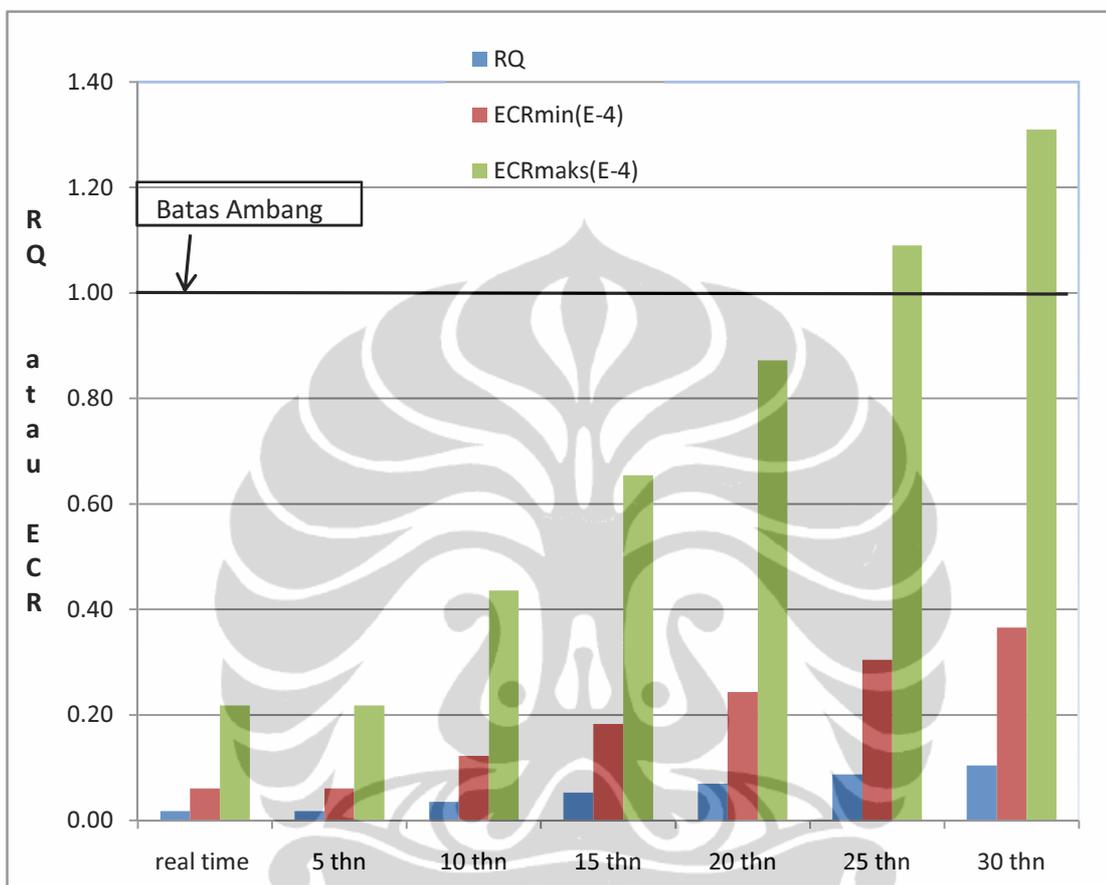
Tabel 5.9 Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian pembuatan sol bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg/hari)	6,41E-02	0,13	0,19	0,26	0,32	0,39
ECRmin	6,09E-06	1,22E-05	1,82E-05	2,44E-05	3,05E-05	3,65E-05
ECRmaks	2,1797E-05	4,36E-05	6,54E-05	8,72E-05	1,09E-04	1,31E-04

### 5.5.2.3 Perbandingan RQ dan ECR Pekerja Bagian Pembuatan Sol

Dilakukan perbandingan antara perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik (RQ) dan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) untuk para pekerja yang berada dibagian pembuatan sol. Didapatkan perbandingan bahwa pada perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ), sampai pajanan 30 tahun, tidak terdeteksi adanya risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ \leq 1$ ), pada perhitungan ECR min risiko kanker juga belum melebihi ambang batas hingga pajanan 30 tahun. Sementara pada perhitungan ECRmaks, pada pajanan 25 tahun risiko kesehatan kanker yang melebihi ambang sudah terjadi.

Berdasarkan tabel 5.7 dan 5.8, dibuat grafik perbandingan antara RQ dan ECR pada total responden pekerja (Gambar 5.2).



Gambar. 5.2. Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian pembuatan sol bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

### 5.5.3 Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian *Upper*

#### 5.5.3.1 Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian *Upper*

Perkiraan risiko kesehatan untuk para pekerja pada bagian *upper* dihitung dengan menggunakan data-data hasil analisis deskriptif yang ditunjukkan pada tabel 5.10

Tabel 5.10 Analisis Deskriptif faktor pemajanan pada pekerja sepatu bagian *Upper* di bengkel 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Faktor Pemajanan	Satuan	Nilai numerik					
		Rata-rata	Median	Min	Max	Stdev	Varian
Berat Badan	Kg	55,36	52	45	80	9,500	0,172
Lama pajanan (te)	Jam/hari	14,64	15	9	17	2,420	0,165
Frekuensi pajanan (fe)	Hari	304,9	305	304	305	0,302	0,001
Durasi pajanan (Dt)	tahun	1,43	1	0,003	4	1,604	1,119
C benzena	mg/m <sup>3</sup>	0,04464					

Berdasarkan tabel 5.10, maka perhitungan asupan benzena proyeksi real time untuk pekerja bagian *Upper* bengkel sepatu 'X' menggunakan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi benzena (C)} &= 0,04464 \text{ mg/m}^3 \\
 \text{Berat badan (Wb)} &= 55,36 \text{ kg} \\
 \text{Laju Inhalasi (R)} &= 5,3 \ln(55,36) - 6,9 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 14,374 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,599 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Lama pajanan per hari (te)} &= 14,64 \text{ jam/hari} \\
 \text{Lama hari kerja pertahun (fe)} &= 304,9 \text{ hari} \\
 \text{Lama pajanan real time (Dt)} &= 1 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Asupan (non kanker) benzena} &= \frac{(0,04464 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,599 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (14,64 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (304,9 \text{ hari}) \times 1 \text{ tahun}}{55,36 \text{ kg} \times (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\
 &= 1,97 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}
 \end{aligned}$$

Dengan konsentrasi referen sebesar  $8,6 \times 10^{-3}$  (mg/kg)/hari, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Risk Qoutient (RQ) real time} &= \text{Asupan/ konsentrasi referen} \\
 &= 1,97 \cdot 10^{-4} / 8,6 \cdot 10^{-3} \\
 &= 0,023
 \end{aligned}$$

Risiko kesehatan non kanker (RQ) untuk para pekerja bengkel sepatu 'X' di bagian *Upper* pada saat ini (real time) tidak menunjukkan adanya risiko. Dilakukan juga perhitungan apabila pajanan dilakukan selama 5,10,15,20,25 hingga 30 tahun

didapatkan bahwa pajanan benzena untuk para pekerja bengkel sepatu tersebut tidak berisiko ( $RQ \leq 1$ ). Perkiraan risiko kesehatan non kanker pajanan benzena pada pekerja bagian *Upper* bengkel sepatu 'X' digambarkan pada tabel 5.11

Tabel 5.11 Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian *Upper* bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg)/hari	0,98	1,97	2,95	3,94	4,92	5,90
RQ	0,114	0,229	0,343	0,458	0,572	0,687

### 5.5.3.2 Perkiraan Risiko Kanker Pekerja Bagian *Upper*

Data-data faktor pemajanan yang dipakai untuk menghitung jumlah asupan (kanker) diambil berdasarkan tabel 5.10, dan periode waktu rata-rata yang digunakan adalah sepanjang hayat (70 tahun).

$$\begin{aligned} \text{Asupan (kanker) benzena} &= \frac{(0,004464) \times (0,599 \frac{m^3}{jam}) \times (14,64 \frac{jam}{hari}) \times (304,9 \text{ hari}) \times 1 \text{ tahun}}{55,36 \text{ kg} \times (70 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\ &= 8,43 \times 10^{-5} \text{ (mg/kg)/hari} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF minimum :  $0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka

$$\begin{aligned} \text{Risiko kesehatan kanker (ECR)} &= 8,43 \cdot 10^{-5} \text{ (mg/kg hari)} \times 0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1} \\ &= 8 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF maksimum  $0,34 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , didapatkan nilai ECR sebesar  $2,87 \times 10^{-5}$ .

Risiko kesehatan kanker *real time* untuk seluruh pekerja bagian *upper* bengkel sepatu 'X' pada perkiraan minimum hingga maksimum tidak melebihi ambang batas ( $ECR \leq 1 \times 10^{-4}$ ). Untuk memprediksi risiko kesehatan kanker bila para pekerja bekerja

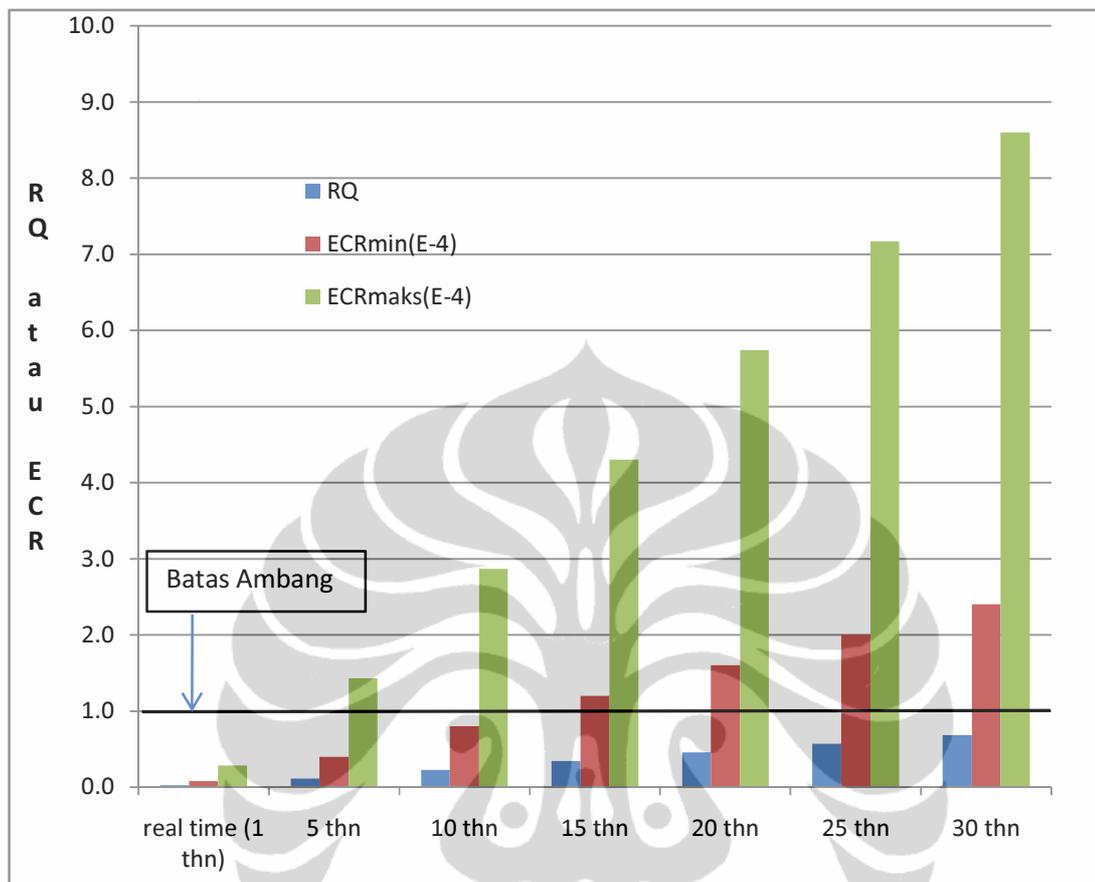
di bengkel tersebut selama tahun-tahun mendatang, dibuat ECR untuk lama pajanan 5,10,15,20,25, dan 30 tahun, yang dapat dilihat pada tabel 5.12. Pada perkiraan ECR minimum, nilai risiko kanker yang melebihi batas ambang terjadi pada pajanan benzena setelah 15 tahun, sementara pada perkiraan ECR maksimum, didapatkan bahwa pada pajanan tahun ke-5, sudah terdapat risiko kanker, yaitu sebesar  $1,43 \times 10^{-4}$  (terjadi 1 kasus pada setiap 10.000 pekerja), hingga pada pajanan 30 tahun risiko kankernya adalah  $8,6 \times 10^{-4}$  (terjadi 9 kasus kanker pada setiap 10.000 pekerja).

Tabel 5.12 Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian *upper* bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg)/hari	0,42	0,84	1,27	1,69	2,11	2,53
ECR min	4,01E-05	8,01E-05	1,20E-04	1,60E-04	2,00E-04	2,40E-04
ECR maks	1,43E-04	2,87E-04	4,30E-04	5,74E-04	7,17E-04	8,60E-04

### 5.5.3.3 Perbandingan RQ dan ECR Pekerja Bagian *Upper*

Dilakukan perbandingan antara perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik (RQ) dan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) untuk para pekerja yang berada dibagian pembuatan *upper*. Didapatkan perbandingan bahwa pada perkiraan risiko kesehatan non kanker sampai pajanan 30 tahun tidak terdeteksi adanya risiko kesehatan ( $RQ \leq 1$ ), pada perkiraan risiko kanker (ECR) minimum risiko kanker yang melebihi batas ambang terjadi setelah pajanan 15 tahun, sementara pada perhitungan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) maksimum, pajanan 5 tahun benzena telah menyebabkan risiko kesehatan kanker yang melebihi batas ambang sudah terjadi. Berdasarkan tabel 5.11 dan 5.12, dibuat grafik perbandingan antara RQ dan ECR pada pekerja bagian *upper* bengkel sepatu 'X' responden pekerja (Gambar 5.3).



Gambar 5.3. Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian *Upper* bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

#### 5.5.4 Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian *Open*

##### 5.5.4.1 Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian *Open*

Perkiraan risiko kesehatan untuk para pekerja pada bagian *open* dihitung dengan menggunakan data-data dari analisis deskriptif faktor pemajanan pada pekerja bagian *open*, seperti ditampilkan pada tabel 5.13.

Tabel 5.13 Analisis deskriptif faktor pemajanan anthropometri pekerja sepatu bagian *Open* di bengkel ‘X’ di PIK, Pulogadung tahun 2010

Faktor	Satuan	Nilai numerik					
		Rata-rata	Median	Min	Max	Stdev	Varian
Pemajanan							
Berat Badan	Kg	58,4	57	55	65	4,219	0,0722
Lama pajanan (te)	Jam/hari	14,4	14	13	17	1,517	0,105
Frekuensi pajanan (fe)	Hari	303,4	304	299	306	2,702	0,009
Durasi pajanan (Dt)	tahun	2	1	1	5	1,732	0,866
C benzena	mg/m <sup>3</sup>	0,07603					

Berdasarkan tabel 5.13 , maka perhitungan asupan benzena proyeksi *real time* untuk pekerja bagian *Upper* bengkel sepatu ‘X’ menggunakan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi benzena (C)} &= 0,07603 \text{ mg/m}^3 \\
 \text{Berat badan (Wb)} &= 58,4 \text{ kg} \\
 \text{Laju Inhalasi (R)} &= 5,3 \ln (58,4) - 6,9 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 14,657 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,611 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Lama pajanan per hari(te)} &= 14,4 \text{ jam/hari} \\
 \text{Lama hari kerja pertahun (fe)} &= 303 \text{ hari} \\
 \text{Lama pajanan real time (Dt)} &= 1 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Asupan (non kanker) benzena} &= \frac{(0,07603 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,611 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (14,4 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (303 \text{ hari}) \times 1 \text{ tahun}}{58,4 \text{ kg} \times (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\
 &= 3,17 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}
 \end{aligned}$$

Dengan konsentrasi referen sebesar  $8,6 \times 10^{-3}$  (mg/kg)/hari, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Risk Qoutient (RQ) real time} &= \text{Asupan/ konsentrasi referen} \\
 &= 3,17 \cdot 10^{-4} / 8,6 \cdot 10^{-3} \\
 &= 0,037
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, risiko kesehatan non kanker (RQ) untuk para pekerja bengkel sepatu 'X' di bagian *Open* pada saat ini (real time) tidak menunjukkan adanya risiko. Untuk mengestimasi risiko kesehatan pada tahun yang akan datang, dilakukan juga perhitungan apabila pajanan terjadi selama 5,10,15,20,25 hingga 30 tahun. Didapatkan bahwa pada jangka waktu pajanan 30 tahun, para pekerja bengkel sepatu dibagian *open* memiliki risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ > 1$ ). Risiko kesehatan non kanker pajanan benzena pada pekerja bagian *Open* bengkel sepatu 'X' pada beberapa tahun pajanan digambarkan pada tabel 5.14 berikut:

Tabel 5.14 Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian *Open* bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg)/hari	1,59	3,17	4,76	6,34	7,93	9,52
RQ	0,184	0,369	0,553	0,738	0,922	1,107

#### 5.5.4.2 Perkiraan Risiko Kanker Pekerja Bagian *Open*

Data-data anthropometri yang dipakai untuk menghitung jumlah asupan (kanker) diambil berdasarkan tabel 5.13, dan periode waktu rata-rata yang digunakan adalah sepanjang hayat (70 tahun).

$$\begin{aligned} \text{Asupan (kanker) benzena} &= \frac{(0,07603 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,611 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (14,4 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (303 \text{ hari}) \times 1 \text{ tahun}}{58,4 \text{ kg} \times (70 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\ &= 1,36 \times 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF minimum :  $0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka

$$\begin{aligned} \text{Risiko kesehatan kanker (ECR)}_{\text{min}} &= 1,36 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg hari)} \times 0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1} \\ &= 1,24 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF maksimum  $0,34 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka perhitungan ECR maksimum adalah  $4,62 \times 10^{-5}$

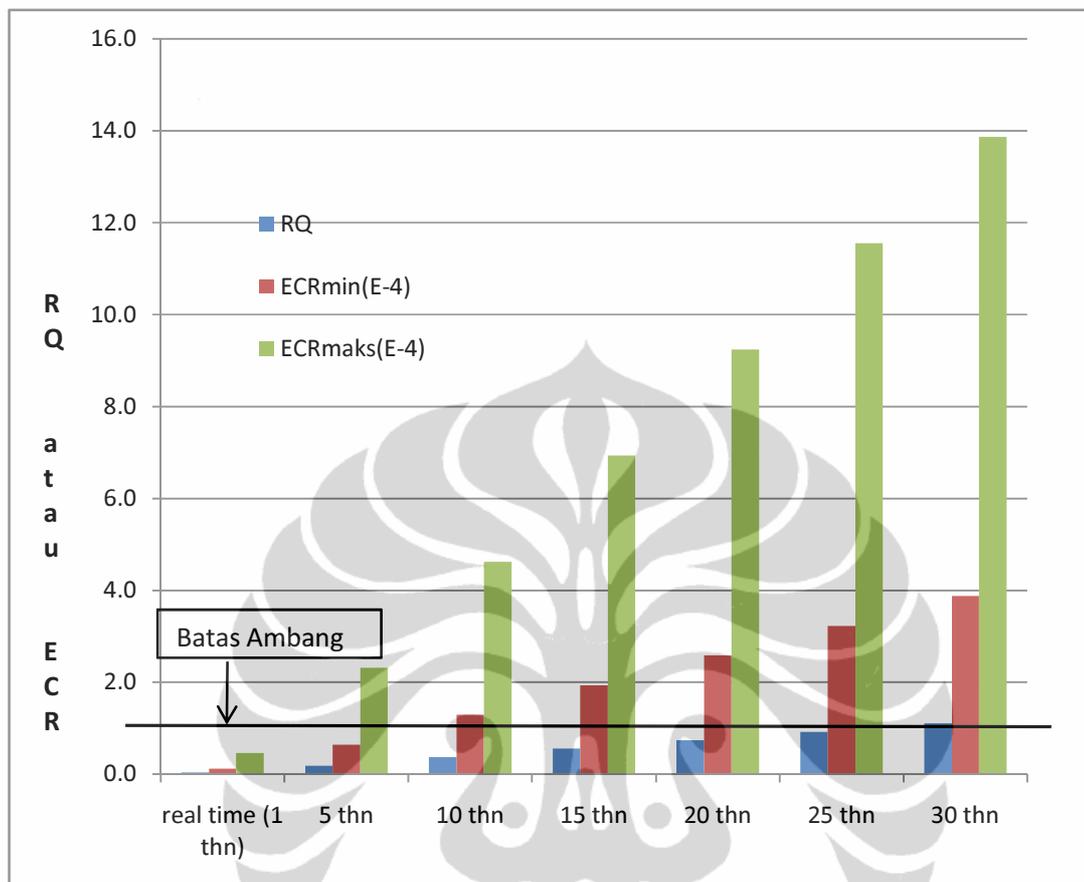
Risiko kesehatan kanker *real time* untuk pekerja bagian *open* pada bengkel sepatu 'X' berkisar antara  $1,24 \times 10^{-5}$  hingga  $4,62 \times 10^{-5}$  dan belum melebihi ambang batas ( $ECR \leq 1 \times 10^{-4}$ ). Untuk memprediksi risiko kesehatan kanker bila para pekerja bekerja di bengkel tersebut selama tahun-tahun mendatang, dibuat perkiraan ECR untuk lama pajanan 5,10,15,20,25, dan 30 tahun, yang dapat dilihat pada tabel 5.15. Didapatkan bahwa untuk nilai ECRmin, pada pajanan tahun ke-10 diperkirakan terjadi risiko kesehatan yang melebihi ambang batas, sementara untuk perhitungan dengan ECRmaks, pada pajanan tahun ke-5 saja, nilai ECR sebesar  $2,31 \times 10^{-4}$  (terjadi 2 kasus untuk 10.000 pekerja), sedangkan pada tahun ke-30, nilai ECR adalah  $13,9 \times 10^{-4}$  (terjadi 14 kasus untuk setiap 10.000 pekerja).

Tabel 5.15 Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian *open* bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg)/hari	0,68	1,35	2,04	2,72	3,40	4,07
ECR min	6,46 E-05	1,29E-04	1,94E-04	2,58E-04	3,23E-04	3,87E-04
ECR	2,31E-04	4,62E-04	6,93E-04	9,24E-04	1,16E-03	1,39E-03

#### 5.5.4.3 Perbandingan RQ dan ECR Pekerja Bagian *Open*

Dilakukan perbandingan antara perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik (RQ) dan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) untuk para pekerja yang berada dibagian pembuatan *open*. Didapatkan perbandingan bahwa pada perkiraan risiko kesehatan non kanker, terdapat risiko kesehatan ( $RQ > 1$ ) baru setelah pajanan terjadi selama 30 tahun, sementara pada perhitungan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) maksimal, mulai pajanan 5 tahun, risiko kesehatan kanker sudah terjadi. Berdasarkan tabel 5.14 dan 5.15, dibuat grafik perbandingan antara RQ dan ECR pada total responden pekerja (Gambar 5.4).



Gambar 5.4. Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian *Open* bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung

### 5.5.5 Perkiraan Risiko Kesehatan Bagian *Finishing*

#### 5.5.5.1 Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian *Finishing*

Perkiraan risiko kesehatan untuk para pekerja pada bagian *finishing* dihitung dengan menggunakan analisis deskriptif faktor pemajanan yang ada pada tabel 5.16 untuk menentukan *single point estimate* untuk perhitungan risiko kesehatan pada bagian tersebut.

Tabel 5.16 Analisis deskriptif faktor pemajanan anthropometri pekerja sepatu bagian Finishing di bengkel 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Faktor Pemajanan	Satuan	Nilai numerik					
		Rata-rata	Median	Min	Max	Stdev	Varian
Berat Badan	Kg	53,2	50	45	71	10,78	0,202
Lama pajanan (te)	Jam/hari	16	17	14	17	1,414	0,088
Frekuensi pajanan (fe)	Hari	298,2	298	292	305	6,26	0,021
Durasi pajanan (Dt)	tahun	6,47	1,5	0,333	15	7,803	1,206
C benzena	mg/m <sup>3</sup>	0,08531					

Berdasarkan tabel 5.16, maka perhitungan asupan benzena proyeksi real time untuk pekerja bagian *finishing* bengkel sepatu 'X' menggunakan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi benzena (C)} &= 0,08531 \text{ mg/m}^3 \\
 \text{Berat badan (Wb)} &= 53,2 \text{ kg} \\
 \text{Laju Inhalasi (R)} &= 5,3 \ln(53,2) - 6,9 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 14,163 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,590 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Lama pajanan per hari (te)} &= 16 \text{ jam/hari} \\
 \text{Lama hari kerja pertahun (fe)} &= 298,2 \text{ hari} \\
 \text{Lama pajanan real time (Dt)} &= 1,5 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Asupan (non kanker) benzena} &= \frac{(0,08531 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,590 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (16 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (298,2 \text{ hari}) \times 1,5 \text{ tahun}}{53,2 \text{ kg} \times (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\
 &= 6,19 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}
 \end{aligned}$$

Dengan konsentrasi referen sebesar  $8,6 \times 10^{-3}$  (mg/kg)/hari, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Risk Qoutient (RQ) real time} &= \text{Asupan/ konsentrasi referen} \\
 &= 6,19 \cdot 10^{-4} / 8,6 \cdot 10^{-3} \\
 &= 0,072
 \end{aligned}$$

Risiko kesehatan non kanker (RQ) untuk para pekerja bengkel sepatu 'X' di bagian *Finishing* pada saat ini (*real time*) tidak menunjukkan adanya risiko. Dilakukan juga perhitungan apabila pajanan dilakukan selama 5,10,15,20,25 hingga 30 tahun didapatkan bahwa pada jangka waktu pajanan 25 dan 30 tahun, para pekerja bengkel sepatu dibagian *finishing* memiliki risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ > 1$ ). Risiko kesehatan non kanker pajanan benzena pada pekerja bagian *finishing* bengkel sepatu 'X' pada beberapa tahun pajanan digambarkan pada tabel 5.17.

Tabel 5.17 Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian *Finishing* bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg)/hari	2,06	4,12	6,18	8,25	10,31	12,37
RQ	0,240	0,479	0,719	0,959	1,199	1,438

### 5.5.5.2 Perkiraan Risiko Kesehatan Kanker Bagian *Finishing*

Data-data faktor pemajanan yang dipakai untuk menghitung jumlah asupan (kanker) diambil berdasarkan tabel 5.16, dan periode waktu rata-rata yang digunakan adalah sepanjang hayat (70 tahun).

$$\begin{aligned} \text{Asupan (kanker) benzena} &= \frac{(0,08531 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,590 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (16 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (298,2 \text{ hari}) \times 1,5 \text{ tahun}}{53,2 \text{ kg} \times (70 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\ &= 2,65 \times 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF minimum :  $0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka

$$\begin{aligned} \text{Risiko kesehatan kanker (ECR)} &= 6,18 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg hari)} \times 0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1} \\ &= 5,87 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Apabila dipakai nilai CSF maksimum  $0,34 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$  maka didapatkan nilai ECR maks sebesar  $9,01 \times 10^{-5}$ .

Risiko kesehatan kanker *real time* untuk pekerja bagian *finishing* bengkel sepatu 'X' berkisar antara  $5,87 \times 10^{-5}$  hingga  $9,01 \times 10^{-5}$ , yang berarti risiko kesehatan non kanker yang diperhitungkan belum melebihi ambang batas ( $\text{ECR} \leq 1 \times 10^{-4}$ ). Untuk memprediksi risiko kesehatan kanker bila para pekerja bekerja di bengkel tersebut selama tahun-tahun mendatang, dibuat ECR untuk lama pajanan 5,10,15,20,25, dan 30 tahun, yang dapat dilihat pada tabel 5.18. Didapatkan bahwa pada untuk perhitungan ECR minimum, jangka waktu pajanan benzena selama 10 tahun menyebabkan estimasi risiko sudah melebihi batas ambang, sementara untuk perhitungan ECR maksimum, padapajanan tahun ke-5 nilai ECR sebesar  $3,00 \times 10^{-4}$  (terjadi 3 kasus untuk 10.000 pekerja), sedangkan pada tahun ke-30, nilai ECR adalah  $18 \times 10^{-4}$  (terjadi 18 kasus untuk setiap 10.000 pekerja).

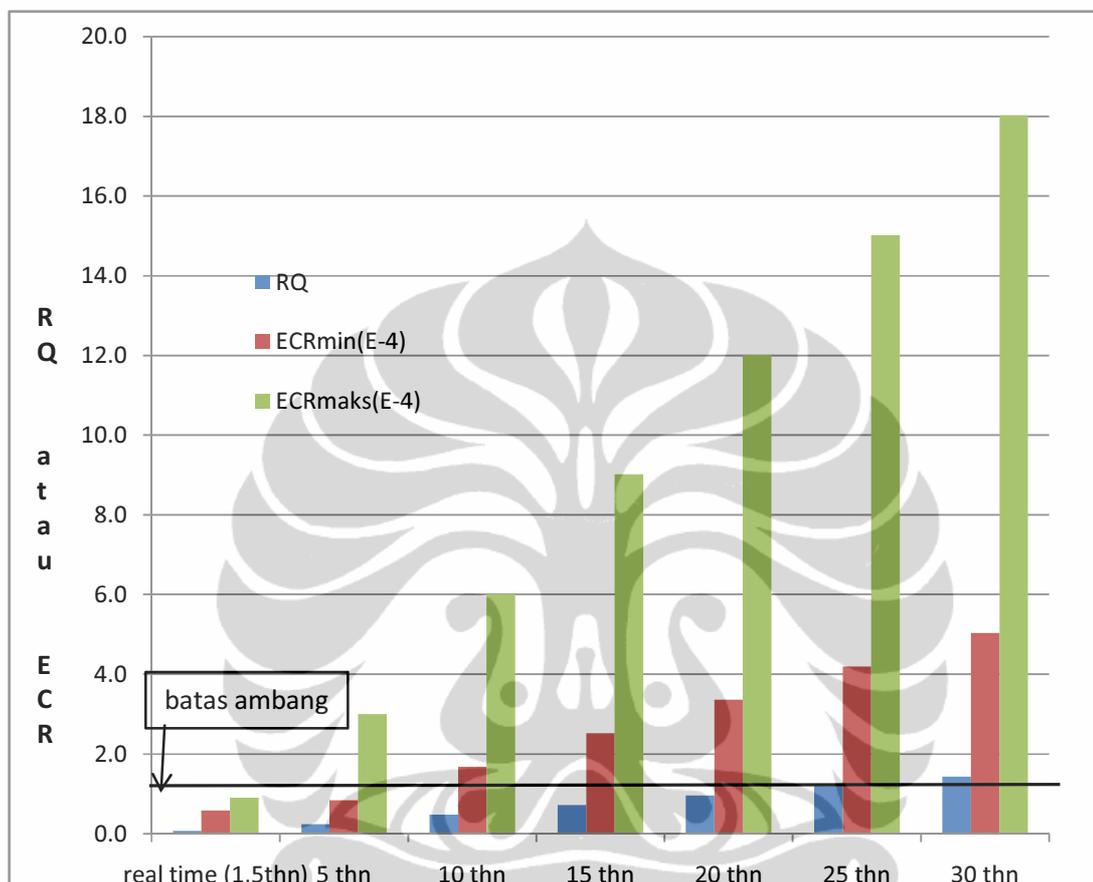
Tabel 5.18 Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian finishing bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3} \text{ mg/kg/hari}$ )	0,88	1,77	2,65	3,53	4,42	5,30
ECRmin	8,39E-05	1,68E-04	2,52E-04	3,36E-04	4,20E-04	5,04E-04
ECRmaks	3,00E-04	6,01E-04	9,01E-04	1,20E-03	1,50E-03	1,80E-03

### 5.5.5.3 Perbandingan RQ dan ECR Pekerja Bagian *Finishing*

Dilakukan perbandingan antara perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik (RQ) dan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) untuk para pekerja yang berada dibagian *finishing*. Didapatkan perbandingan bahwa pada perkiraan risiko kesehatan non kanker, terdapat risiko kesehatan ( $\text{RQ} > 1$ ) baru setelah pajanan terjadi selama 25 tahun, sementara pada perhitungan risiko kesehatan karsinogenik (ECR), mulai pajanan 5

tahun, risiko kesehatan kanker sudah terjadi. Berdasarkan tabel 5.17 dan 5.18, dibuat grafik perbandingan antara RQ dan ECR pekerja bagian *finishing* (Gambar 5.5).



Gambar. 5.5. Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian Finishing bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung

## 5.5.6 Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Administasi

### 5.5.6.1 Perkiraan Risiko Non Kanker Bagian Administrasi

Perkiraan risiko kesehatan untuk para pekerja pada bagian administrasi langsung dihitung dengan menggunakan nilai rata-rata, karena responden yang bekerja di bagian administrasi hanya terdapat dua orang. Data yang digunakan untuk menghitung nilai asupan adalah :

Konsentrasi benzena (C)	= 0,01405 mg/m <sup>3</sup>
Berat badan (Wb)	= 60,5 kg
Laju Inhalasi (R)	= 5,3 ln (60,5) – 6,9 m <sup>3</sup> /hari = 14,844 m <sup>3</sup> /hari = 0,619 m <sup>3</sup> /jam
Lama pajanan per hari(te)	= 11 jam/hari
Lama hari kerja pertahun (fe)	= 298 hari
Lama pajanan real time (Dt)	= 6,25 tahun

$$\text{Asupan (non kanker) benzena} = \frac{(0,01405 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,619 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (11 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (298 \text{ hari}) \times 6,25 \text{ tahun}}{60,5 \text{ kg} \times (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})}$$

$$= 2,69 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}$$

Dengan konsentrasi referen sebesar  $8,6 \times 10^{-3}$  (mg/kg)/hari, maka :

$$\begin{aligned} \text{Risk Qoutient (RQ) real time} &= \text{Asupan/ konsentrasi referen} \\ &= 2,69 \cdot 10^{-4} / 8,6 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,031 \end{aligned}$$

Risiko kesehatan non kanker (RQ) untuk para pekerja bengkel sepatu 'X' di bagian administrasi pada saat ini (*real time*) tidak menunjukkan adanya risiko. Dilakukan juga perhitungan apabila pajanan dilakukan selama 5,10,15,20,25 hingga 30 tahun didapatkan bahwa tidak terdapat risiko kesehatan non kanker pada pekerja bagian administrasi ( $RQ \leq 1$ ). Risiko kesehatan non kanker pajanan benzena pada pekerja bagian administrasi bengkel sepatu 'X' pada beberapa tahun pajanan digambarkan pada tabel 5.19.

Tabel 5.19 Perkiraan risiko kesehatan non kanker (RQ) pajanan benzena terhadap pekerja bagian Administrasi bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake (10 <sup>-3</sup> mg/kg)/hari	0,21	0,43	0,64	0,86	1,07	1,29
RQ	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150

### 5.5.6.2 Perkiraan Risiko Kesehatan Kanker Bagian Administrasi

Data-data faktor pemajanan yang dipakai untuk menghitung jumlah asupan (kanker) sama dengan perhitungan asupan (non kanker) pekerja bagian administrasi dan periode waktu rata-rata yang digunakan adalah sepanjang hayat (70 tahun).

$$\begin{aligned} \text{Asupan (kanker) benzena} &= \frac{(0,01405 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,619 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (11 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (298 \text{ hari}) \times 6,25 \text{ tahun}}{60,5 \text{ kg} \times (70 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\ &= 1,15 \times 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF minimum, yaitu  $0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka:

$$\begin{aligned} \text{Risiko kesehatan kanker (ECR)} &= 1,15 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg hari)} \times 0,095 \text{ (mg/kg hari)}^{-1} \\ &= 1,09 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Dengan nilai CSF maksimum  $0,34 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$  didapatkan nilai ECR sebesar  $3,92 \times 10^{-5}$

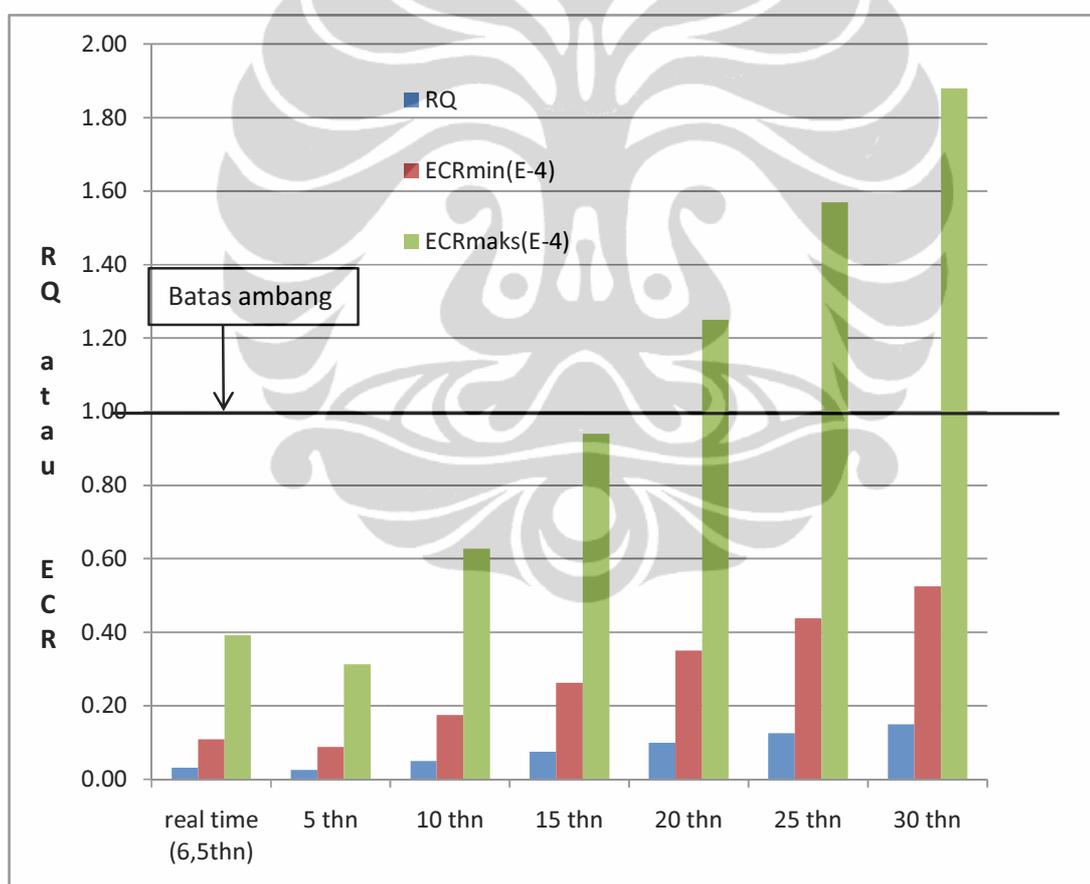
Risiko kesehatan kanker *real time* untuk pekerja bagian administrasi bengkel sepatu 'X' berkisar antara  $1,09 \times 10^{-5}$  hingga  $3,92 \times 10^{-5}$ , belum melebihi ambang batas ( $\text{ECR} \leq 1 \times 10^{-4}$ ). Untuk memprediksi risiko kesehatan kanker bila para pekerja bekerja di bengkel tersebut selama tahun-tahun mendatang, dibuat ECR untuk lama pajanan 5,10,15,20,25, dan 30 tahun, yang dapat dilihat pada tabel 5.20. Didapatkan bahwa pada perhitungan ECR minimum sampai tahun ke-30 tidak terjadi risiko kesehatan kanker yang melebihi ambang batas, tetapi pada perhitungan ECR maksimum setelah pajanan tahun ke-20 terdapat risiko kesehatan kanker dengan nilai ECR sebesar  $1,25 \times 10^{-4}$  (terjadi 1 kasus untuk 10.000 pekerja), sedangkan pada tahun ke-30, nilai ECR adalah  $1,88 \times 10^{-4}$  (terjadi 2 kasus untuk setiap 10.000 pekerja).

Tabel 5.20 Perkiraan risiko kesehatan kanker (ECR) pajanan benzena terhadap pekerja bagian administrasi bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Dt (Lama pajanan-tahun)					
	5	10	15	20	25	30
Intake ( $10^{-3}$ mg/kg)/hari	9,21E-02	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55
ECRmin	8,75E-06	1,75E-05	2,63E-05	3,5E-05	4,38E-05	5,25E-05
ECRmaks	3,1328E-05	6,27E-05	9,40E-05	1,25E-04	1,57E-04	1,88E-04

### 5.5.6.3 Perbandingan RQ dan ECR Pekerja Bagian Administrasi

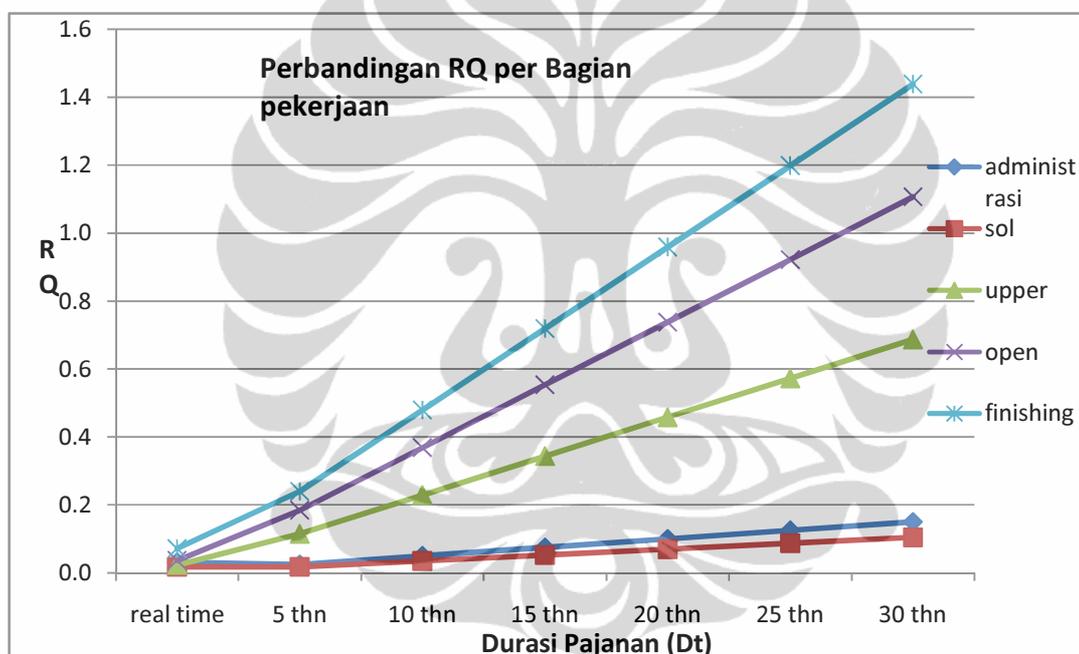
Dilakukan perbandingan antara perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik (RQ) dan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) untuk para pekerja yang berada dibagian administrasi. Didapatkan perbandingan bahwa pada perkiraan risiko kesehatan non kanker, tidak terdapat risiko kesehatan ( $RQ \leq 1$ ) bahkan sampai pajanan 30 tahun, sementara pada perhitungan risiko kesehatan karsinogenik (ECR) maksimum, mulai pajanan 20 tahun risiko kesehatan kanker yang melebihi ambang batas sudah terjadi. Berdasarkan tabel 5.19 dan 5.20, dibuat grafik perbandingan antara RQ dan ECR pada total responden pekerja (Gambar 5.6).



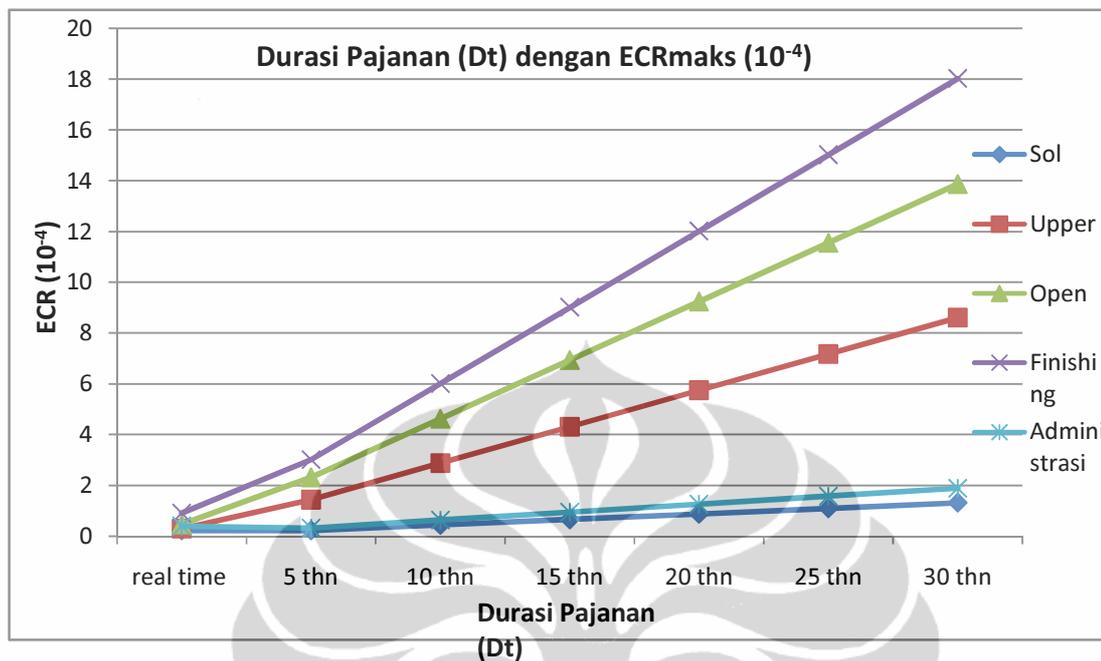
Gambar. 5.6. Perbandingan nilai RQ dan ECR untuk pekerja bagian Administrasi bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung

### 5.5.7 Perbandingan RQ dan ECR Tiap Bagian Bengkel

Masing-masing bagian pekerjaan pada bengkel ini memiliki tingkat risiko kesehatan yang berbeda-beda, disebabkan oleh perbedaan jumlah penggunaan lem perekat sehingga pajanan benzena terhadap para pekerja pun berbeda-beda. Gambar 5.7 dan 5.8 memberikan gambaran tentang perbedaan RQ dan ECR terhadap bagian-bagian dalam bengkel. Perbandingan nilai RQ dan ECR pada tiap-tiap bagian memiliki kecenderungan yang sama, yaitu risiko pada bagian *finishing* > risiko bagian *open* > risiko bagian *upper* > risiko bagian administrasi > risiko bagian sol.



Gambar. 5.7 Perbandingan nilai RQ pada tiap-tiap bagian bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010



Gambar. 5.8 Perbandingan nilai ECR pada tiap-tiap bagian bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

### 5.5.8. Perkiraan Risiko Kesehatan Individu

#### 5.5.8.1 Perkiraan Risiko Non Kanker Individu

Pada perhitungan risiko non kanker individu, perhitungan asupan benzena dibuat dengan data-data individu responden. Berikut diberikan contoh perhitungan asupan benzena untuk salah satu individu:

a. Konsentrasi benzena.

Konsentrasi benzena disesuaikan dengan kadar benzena pada tiap-tiap bagian tempat responden bekerja. Sehingga konsentrasi benzena yang dipakai adalah:

Bagian sol : 0,00805 mg/m<sup>3</sup>

Bagian administrasi : 0,01405 mg/m<sup>3</sup>

Bagian *open* (rata-rata) : 0,07603 mg/m<sup>3</sup>

Bagian *upper* (rata-rata): 0,04469 mg/m<sup>3</sup>

## b. Laju inhalasi

Untuk mendapatkan laju inhalasi, digunakan persamaan  $y = 5,3 \ln(x) - 6,9$  dengan  $y$  adalah laju inhalasi  $R$  ( $m^3$ /hari) dan  $x$  adalah berat badan  $W_b$  (kg). contoh perhitungan untuk salah seorang responden dengan berat badan 66 kg :

$$R = 5,3 \ln(66) - 6,9 = 15,305 \text{ m}^3/\text{hari} = \frac{15,305 \text{ m}^3/\text{hari}}{24 \text{ jam/hari}} = 0,638 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Untuk data laju pajanan per hari, lama hari kerja pertahun, dan lama pajanan didapatkan dari data-data individu responden. sehingga dapat dilakukan perhitungan asupan dengan menggunakan rumus :

$$I_{nk} = \frac{C \cdot R \cdot t_e \cdot f_e \cdot D_t}{W_b t_{avg}}$$

Contoh perhitungan untuk salah satu responden yang bekerja pada bagian sol:

$$\text{Konsentrasi benzena (C)} = 0,00805 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{Laju inhalasi (R)} = 0,638 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Lama pajanan per hari (te)} = 15 \text{ jam/hari}$$

$$\text{Lama hari kerja per tahun (fe)} = 283 \text{ hari}$$

$$\text{Lama pajanan real time} = 11 \text{ tahun}$$

$$\text{Berat badan (Wb)} = 66 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka Asupan (non kanker) benzena} &= \frac{(0,00805 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}) \times (0,638 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}) \times (15 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}) \times (283 \text{ hari}) \times 11 \text{ tahun}}{66 \text{ kg} \times (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})} \\ &= 0,0003317 \text{ (mg/kg)/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Risk Qoutient (RQ) real time} &= \text{Asupan/ konsentrasi referen} \\ &= 0,0003317 / 0,0086 = 0,00386 \end{aligned}$$

Dari semua RQ *real time* individu didapatkan bahwa belum ada individu yang berisiko,  $RQ < 1$ , sedangkan untuk perhitungan RQ *life time* (sepanjang hayat, 30 tahun), terdapat 38,46% ( 10 orang) responden yang mempunyai  $RQ > 1$ .

### 5.5.8.2. Perkiraan Risiko Kanker Individu

Perkiraan risiko kanker individu pada saat kini (*real time*) diperhitungkan dengan mencari asupan kanker menggunakan data-data setiap individu responden. Data-data yang digunakan sama dengan data yang dipakai dalam perhitungan risiko non kanker, kecuali periode waktu rata-rata non kanker adalah untuk 70 tahun ( $T_{avg} = 365$  hari x 70 tahun).

Dari hasil perhitungan risiko kanker maksimum didapatkan bahwa terdapat responden yang memiliki risiko kanker *real time* melebihi ambang batas sebanyak 5 orang responden (19,23%). Risiko kesehatan kanker *real time* pada individu berkisar antara  $4,91 \times 10^{-8}$  hingga  $10,4 \times 10^{-4}$ , yang berarti sebagian (19,23%) pekerja berada di atas ambang batas risiko kanker yang ditetapkan oleh US-EPA yaitu sebesar  $1 \times 10^{-4}$  (satu kasus untuk setiap 10.000 populasi). Pada perkiraan risiko karsinogenik, hingga jangka waktu pajanan 15 tahun, didapatkan 100% responden tidak memiliki risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ \leq 1$ ), pada jangka waktu pajanan 20 tahun, terdapat 11,54% responden yang memiliki risiko kesehatan non kanker, pajanan 25 tahun meningkat menjadi 19,23% responden, dan pada pajanan 30 tahun menjadi 30,77% responden memiliki risiko non karsinogenik.

Tabel 5.21. Perkiraan risiko kesehatan untuk individu pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK, Pulogadung 2010

Durasi Pajanan	$RQ > 1$	$ECR_{min} > 1.10^{-4}$	$ECR_{maks} > 1.10^{-4}$
5 tahun	0%	0%	76,92%
10 tahun	0%	38,46%	80,77%
15 tahun	0%	76,92%	80,77%
20 tahun	11,54%	80,77%	88,46%
25 tahun	19,23%	80,77%	96,15%
30 tahun	30,77%	80,77%	100%

Untuk risiko karsinogenik pada perhitungan tingkat risiko maksimum pajanan 5 tahun, didapatkan sebanyak 76,92% responden memiliki tingkat risiko kanker diatas batas ambang. Sementara, pada perhitungan risiko kanker minimum, risiko kesehatan

sebanyak 38,46% baru terjadi pada saat pajanan 10 tahun. Presentase perkiraan risiko non kanker dan kanker untuk setiap individu pekerja pabrik digambarkan pada tabel 5.21.

### 5.6. Konsentrasi *Trans,Trans-Muconic Acid* Dalam Urin

Konsentrasi metabolit benzena *trans,trans-muconic acid* (MA) dalam urin diukur dengan menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Apabila dibandingkan dengan nilai batas ambang (*Threshold Limit Value*) *t,t-Muconic Acid* dalam urin yang dikeluarkan oleh *The American Conference of Governmental Industrial Hygienist* (ACGIH) tahun 2008 yaitu sebesar 500  $\mu\text{g/g}$  kreatinin, didapatkan bahwa seluruh responden memiliki kadar MA dalam urin yang berada diatas batas ambang. Kadar MA dalam urin seluruh responden berkisar antara 4.795  $\mu\text{g/g}$  kreatinin hingga 68.062  $\mu\text{g/g}$  kreatinin, dengan rata-rata sebesar 25.551,35  $\mu\text{g/g}$  kreatinin. Tabel 5.22 menggambarkan distribusi frekuensi dari konsentrasi *trans,trans-muconic acid* dalam urin.

Tabel 5.22. Distribusi frekuensi kadar *trans,trans-muconic acid* dalam urin pekerja bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

Keterangan	Konsentrasi <i>trans,trans-Muconic Acid</i> ( $\mu\text{g/g}$ kreatinin)
1. Min	4,795
2. Max	68,062
3. Rata-rata	25,551,35
4. Median	25,064,5
5. Standar Deviasi	16,585
6. Varian	0,649

Konsentrasi *trans,trans-Muconic Acid* dalam urin pada pekerja tiap bagian bengkel sebanding dengan konsentrasi benzena pada bagian bengkel tersebut, kecuali pada pekerja bagian sol yang memiliki kadar benzena dalam udara lingkungan kerjanya paling rendah, sementara konsentrasi t,t-MA dalam urinnnya cukup tinggi. Proporsi konsentrasi t,t-MA dalam urin dengan benzena di udara lingkungan kerja, risiko kesehatan non kanker ( $RQ_{\text{real time}}$ ), risiko kanker minimum ( $ECR_{\text{min real time}}$ ) dan risiko kanker maksimum ( $ECR_{\text{maks real time}}$ ) ditampilkan dalam tabel 5.23 berikut:

Tabel 5.23 Perbandingan konsentrasi t,t-MA dalam urin dengan konsentrasi benzena di udara, nilai RQ, ECR min, ECR maks (durasi pajanan real time) pada bengkel sepatu 'X' di PIK, Jakarta Timur, tahun 2010

	<b>C benzen (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CMA (mg/g krt)</b>	<b>RQ<sub>real time</sub></b>	<b>ECR<sub>min</sub> real time</b>	<b>ECR<sub>maks</sub> realtime</b>
<b>Sol</b>	0,00805	25,621	0,0174	6,09E-06	2,18E-05
<b>Upper</b>	0,04469	24,508	0,0229	8,00E-06	2,87E-05
<b>Open</b>	0,07603	26,968	0,0369	1,24E-05	4,62E-05
<b>finishing</b>	0,08531	28,152	0,0719	5,87E-05	9,01E-05
<b>Administrasi</b>	0,01405	11,675	0,0312	1,09E-05	3,92E-05

### 5.7. Keluhan Kesehatan

Dilakukan wawancara tentang keluhan kesehatan yang dialami responden. Dari seluruh keluhan kesehatan yang disebabkan oleh pajanan benzena, yang terbanyak dikeluhkan oleh responden adalah sering merasa lelah/ lemas, yaitu sebanyak 19 orang (73,08 persen), cepat haus sebanyak 18 orang ( 69,23 persen), dan yang keluhan kesehatan yang paling sedikit adalah mimisan dengan hanya 1 orang yang mengalaminya (3,85 persen). Data keluhan kesehatan dapat dilihat pada tabel 5.24.

Tabel 5.24. Data keluhan kesehatan yang dialami oleh pegawai bengkel sepatu 'X' di PIK Pulogadung, tahun 2010

<b>Keluhan</b>	<b>Jumlah Responden</b>	<b>%</b>
sering merasa lelah/lemas	19	73,08
Cepat haus	18	69,23
susah tidur	14	53,85
Pusing	12	46,15
Nafsu makan menurun	11	42,31
Sering lupa	10	38,46
Mata panas seperti terbakar	10	38,46
kulit iritasi	10	38,46
sakit kepala berat (berputar)	9	34,62
Sempoyongan	8	30,77
Mudah marah	7	26,92
Sering Mual	7	26,92
Telinga berdenging	6	23,08
Sering Mulas/Sakit Perut	6	23,08
sering muntah	4	15,38
Mimisan	1	3,84

Dari hasil wawancara juga didapatkan bahwa pada pekerja dengan pengalaman bekerja 35 tahun di bidang pembuatan sepatu, sering mengalami tremor, insomnia/sukar tidur, dan sering merasa lelah.

## BAB 6

### PEMBAHASAN

#### 6.1 Sumber Paparan Benzena

Proses pembuatan sepatu terdiri dari berbagai proses yang memiliki berbagai hazard (bahaya) bagi manusia : kebisingan, debu, kecelakaan karena mesin, dan paparan bermacam-macam pelarut organik beracun, yang tidak hanya digunakan sebagai lem, tetapi juga sebagai larutan pembersih dan pelumas dalam proses pembuatan sepatu.

Dalam penelitian ini, hazard yang diidentifikasi adalah pelarut organik yang sangat toksik, yaitu benzena. Sumber paparan benzena yang utama dalam penelitian ini berasal dari lem yang digunakan dalam proses produksi pembuatan sepatu. Di bengkel ini, terdapat dua jenis lem yang dipakai oleh para pekerjanya, yaitu lem kuning dan lem putih, keduanya merupakan bahan perekat atau lem yang menggunakan pelarut bahan organik (*solvent based*).

Studi awal yang dilakukan mengenai kandungan bahan kimia dalam lem, mendapatkan bahwa kedua lem yang digunakan di bengkel sepatu ini mengandung benzena, lem putih mengandung benzena dan toluen, sementara lem kuning mengandung benzena, toluena, dan xylen. Konsentrasi benzena dalam lem putih adalah sebanyak 0,454 mg/L, sementara lem kuning mengandung benzena sebanyak 4,397 mg/L.

Adanya benzena pada kedua jenis lem ini membuktikan bahwa walaupun benzena tidak lagi digunakan secara besar-besaran sebagai pelarut dan telah diganti dengan toluena yang mempunyai toksisitas lebih rendah, benzena tetap ada dalam lem sebagai *impurities* (pengotor). Chen, 1999 menyatakan bahwa perekat berpelarut toluen dengan kualitas yang paling baik masih mengandung benzena dalam jumlah 5 persen atau kurang, beberapa pelarut bahkan masih mengandung benzena dengan kadar 10, 20, hingga 30 persen. Dalam beberapa bengkel di Cina, kadar benzena di udara tetap tinggi walaupun pelarut yang digunakan dalam bengkel sepatu itu berbasis toluen dan xylen, terutama pada ruangan berventilasi kurang baik.

## 6.2 Karakteristik Antropometri dan Sosiodemografi Pekerja Bengkel 'X'

Dari hasil analisa deskriptif, didapatkan bahwa kebanyakan pekerja adalah laki-laki (96,15%) dan berpendidikan rendah / SMP kebawah ( 76,92%), berusia 30 tahun keatas (69,23%), dan berpengalaman bekerja dibidang pembuatan sepatu lebih dari 10 tahun ( 66,5%).

Menurut Mahawati, 2006, umur seseorang akan mempengaruhi daya tahan tubuh terhadap pajanan zat toksik/ bahan kimia. Dalam penelitian ini, responden berusia antara 19 – 55 tahun. Umur dapat berpengaruh terhadap toksisitas karena pada usia lanjut (>45 tahun) terjadi penurunan faal organ tubuh sehingga mempengaruhi metabolisme dan penurunan kerja otot (Mahawati, 2006). Menurut ILO, tenaga kerja yang berumur kurang dari 18 tahun sebaiknya tidak bekerja di lingkungan yang terpapar benzena, karena pada umur tersebut ketahanan sumsum tulang terhadap efek toksik benzena masih sangat rendah (ILO, 1983). Pada penelitian ini, tidak terdapat responden yang berusia 18 tahun kebawah, tetapi berdasarkan hasil wawancara dan kuesioner, pertama kali mereka bekerja membuat sepatu pada usia 12 – 15 tahun, sehingga menyebabkan pemajanan benzena telah terjadi pada usia anak-anak dan risiko kesehatan yang buruk akan lebih besar probabilitasnya.

Responden dalam bengkel sepatu ini hanya mempunyai satu orang pekerja wanita. Wanita cenderung mempunyai jumlah asupan benzena per kg berat badan yang lebih tinggi dibanding laki-laki. Perokok pasif wanita memiliki jumlah asupan harian benzena sebanyak 2,1 µg/kg berat badan sementara laki-laki dengan pajanan yang sama asupan benzena hanya sebesar 1,74 µg/kg berat badan (ATSDR, 2007).

Pendidikan yang rendah juga menyebabkan risiko kesehatan meningkat, karena pengetahuan tentang bahayanya zat-zat yang terkandung dalam lem yang mereka gunakan tidak diketahui, hal ini ditunjukkan dengan cara penggunaan lem yang langsung dengan tangan, dan tanpa perlindungan apapun.

Merokok merupakan salah satu sumber pajanan utama benzena. Selain asap kendaraan yang merupakan salah satu penyumbang terbesar pajanan benzena pada populasi penduduk, Wallace, 1995 dalam ATSDR, 2007 menyatakan bahwa sebagian dari pajanan individu benzena berasal dari asap rokok.

Kebiasaan merokok pada para pekerja bengkel sepatu disini sangat tinggi, sebanyak 80,76 persen pekerja merupakan perokok, dengan 38,46 persen merokok lebih dari 10 batang perharinya. Hal ini akan meningkatkan jumlah asupan benzena ke dalam tubuh pekerja dan memperburuk tingkat risiko kesehatannya.

Sebagian besar pekerja sudah menikah sebanyak 80,77 persen dan sebanyak 46,15 persen pekerja tinggal didalam bengkel. Pekerja yang tinggal didalam bengkel biasanya merupakan pekerja dari luar kota yang hanya pulang ketika hari libur tiba. Adanya pekerja yang tinggal didalam bengkel akan menyebabkan pajanan benzena memiliki waktu pajan yang lebih lama, dan akan meningkatkan risiko kesehatan pekerja akibat pajanan benzena.

Berat badan pekerja bervariasi, dengan nilai rata-rata berat badan pekerja adalah 57,27 kg. berat badan ini sangat penting karena mempengaruhi jumlah asupan benzena ke dalam tubuh. Berat badan ini juga digunakan untuk menghitung laju asupan benzena dari tiap-tiap pekerja.

### **6.3 Pola Aktivitas Pekerja**

Pola aktivitas pajanan benzena terdiri dari beberapa variabel, lama pajanan yaitu jumlah jam kerja pekerja sepatu, frekuensi pajanan yaitu jumlah hari kerja dalam setahun, dan durasi pajanan yaitu jumlah tahun pekerja telah bekerja di bengkel sepatu 'X'. Dalam perhitungan lama pajanan benzena terhadap para pekerja bengkel sepatu 'X', menurut perhitungan didapatkan bahwa dalam satu hari kerja mereka bekerja antara 9 hingga 17 jam, dengan rata-rata jam kerja adalah 14,57 jam dengan jumlah hari kerja sebanyak 6 hari. Jumlah jam kerja seperti ini jauh diatas standar jam kerja yang diatur oleh pemerintah, yaitu sebanyak 8 jam kerja sehari dan 5 hari seminggu (KEP. 102/MEN/VI/2004). Hal ini dikarenakan sistem kerja borongan, penghasilan yang akan mereka dapatkan tergantung dari jumlah sepatu yang dibuat, sehingga mereka bekerja tanpa memperhatikan jumlah jam mereka bekerja dan kondisi terpapar oleh zat-zat toksik setiap hari. Jam kerja seperti ini menyebabkan mereka terpapar oleh zat-zat

toksik juga lebih lama melebihi ambang batas pajanan lingkungan kerja (rata-rata jam kerja 8 jam).

Jumlah hari libur para pekerja juga berbeda-beda, sehingga perlu dilakukan perhitungan jumlah hari kerja dalam setahun untuk menghitung jumlah asupan benzena dalam setahun pajanan. Didapatkan hari kerja dalam setahun berkisar antara 283 hari hingga 306 hari.

Lama bekerja (durasi pajanan) para responden juga dianalisa, karena akan dilakukan perhitungan jumlah asupan benzena terhadap para pekerja dalam kondisi bengkel yang demikian. Lama bekerja responden di bengkel sepatu 'X' ini juga sangat bervariasi, antara 1 hari hingga 15 tahun. Walaupun responden bekerja di bengkel sepatu itu belum lama, berdasarkan wawancara dan kuesioner tentang pengalaman bekerja mereka membuat sepatu, didapatkan data bahwa 81,8 persen responden telah bekerja di bidang pembuatan sepatu selama lebih dari 5 tahun, bahkan terdapat 15,4 persen yang sudah bekerja membuat sepatu lebih dari 30 tahun. Lama bekerja responden di bidang pembuatan sepatu ini menyatakan kemungkinan (probabilitas) responden terpajan benzena hingga 30 tahun pajanan.

#### **6.4 Konsentrasi Benzena di Lingkungan Kerja**

Melalui pengukuran kadar benzena dalam sampel udara lingkungan kerja bengkel 'X', didapatkan gambaran mengenai konsentrasi benzena dalam bengkel. Dari tujuh titik sampling, didapatkan konsentrasi benzena dalam bengkel berkisar antara  $0,00805 \text{ mg/m}^3$  (titik pada bagian pembuatan sol) hingga  $0,09424 \text{ mg/m}^3$  (pada bagian *open* titik 1), dengan nilai tengah sebesar  $0,05781 \text{ mg/m}^3$  benzena di udara.

Konsentrasi benzena rata-rata pada bagian *open* ( $0,076 \text{ mg/m}^3$ ), *upper* ( $0,045 \text{ mg/m}^3$ ), dan *finishing* ( $0,0853 \text{ mg/m}^3$ ) berada di atas nilai *Reference Concentration* (RfC) yang ditetapkan oleh EPA yaitu sebesar  $0,03 \text{ mg/m}^3$ . Selain konsentrasi benzena pada ketiga bagian tersebut, konsentrasi benzena pada bagian administrasi ( $0,014 \text{ mg/m}^3$ ) juga berada di atas nilai *Minimal Risk Level* (MRL) untuk pajanan inhalasi kronis yang diturunkan oleh ATSDR sebesar  $0,003 \text{ ppm}$  ( $0,0096 \text{ mg/m}^3$ ) benzena (EPA, 2002 dan ATSDR, 2007).

*Air unit risk* benzena dari IRIS untuk efek karsinogenik benzena yaitu sebesar  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hingga  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yang akan menyebabkan risiko kanker sebesar  $1 \times 10^{-4}$ , bila konsentrasi benzena pada semua bagian dibandingkan dengan nilai ini maka semua bagian kecuali bagian sol telah melebihi nilai tersebut.

Bila dibandingkan dengan ketentuan lainnya, konsentrasi benzena dalam bengkel 'X' ini masih berada di bawah batas ambang pajanan benzena selama 8 jam yang ditetapkan oleh *American Conference of governmental Industrial Hygeine* (ACGIH) yaitu sebesar 0,5 ppm ( $1,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), dan masih di bawah nilai *Recommended Exposure Limit* (REL) yang ditetapkan oleh *National Institute for occupational Safety and Health* (NIOSH) sebesar 0,1 ppm ( $0,32 \text{ mg}/\text{m}^3$ ). Juga masih berada di bawah ketentuan yang dikeluarkan oleh *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) tentang jumlah maksimum pajanan benzena yang diperbolehkan pada pajanan 8 jam kerja, dan 40 jam seminggu yaitu sebesar 1 ppm ( $3,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) (ATSDR, 2007).

Berdasarkan Standar nasional Indonesia tahun 2005 (SNI 2005) yang mengacu pada Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja Nomor SE 01/Men/1997 yang memuat nilai batas ambang pajanan benzena selama 8 jam per hari, NAB benzena di udara adalah sebesar 10 ppm atau  $32 \text{ mg}/\text{m}^3$ , maka konsentrasi benzena pada bengkel 'X' ini masih berada jauh di bawah batas ambang yang ditetapkan.

Dari beberapa batas ambang tersebut, konsentrasi benzena di udara lingkungan bengkel sepatu 'X' masih berada di bawah nilai batas ambang yang ditetapkan oleh ACGIH, NIOSH, OSHA dan SNI. Tetapi, karena nilai batas ambang ini ditetapkan dengan karakteristik antropometri masyarakat yang berbeda dan untuk pajanan jam kerja selama 8 jam sehari dan 40 jam seminggu, maka nilai ini tidak dapat dijadikan dasar bahwa konsentrasi benzena dalam bengkel masih dalam kondisi tidak berbahaya, dikarenakan responden bekerja dengan rata-rata jam kerja 14,58 jam sehari selama 6 hari kerja seminggu.

## 6.5 Karakteristik Risiko Kesehatan

Pada penelitian ini, karena benzena mempunyai risiko kesehatan kanker dan non kanker, maka dilakukan perhitungan terhadap kedua risiko tersebut, dan juga dilakukan untuk tiap individu, total responden, dan per bagian pekerjaan.

### 6.5.1 Perkiraan Risiko Kesehatan Total Responden

Pada perhitungan risiko kesehatan untuk total populasi, digunakan nilai antropometri yang diambil dari analisis deskriptif faktor-faktor pemajanan tersebut. Didapatkan nilai asupan (non kanker) real time benzena sebesar  $4,3 \times 10^{-4}$  (mg/kg)/hari yang apabila dibandingkan dengan nilai konsentrasi referen dari EPA ( $0,03 \text{ mg/m}^3$  atau  $8,6 \cdot 10^{-3}$  (mg/kg)/hari)) maka didapatkan nilai *Risk Qoutient* (Risiko nonkanker) untuk real time sebanyak 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa untuk pajanan benzena terhadap seluruh total responden pekerja sepatu bengkel'X' tidak menunjukkan adanya risiko kesehatan non karsinogenik pada saat ini. Untuk memperkirakan faktor risiko di tahun-tahun yang akan datang, maka telah dilakukan perhitungan untuk pajanan benzena beberapa tahun yang akan datang. Didapatkan nilai RQ pada tahun-tahun tersebut tidak menunjukkan adanya risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ < 1$ ), sehingga disimpulkan bahwa pada perkiraan risiko kesehatan untuk seluruh responden pekerja sepatu tidak terjadi risiko kesehatan bahkan untuk pajanan life time (30 tahun).

Perkiraan risiko kesehatan karsinogenik dilakukan dengan menghitung jumlah asupan (kanker) yang terjadi sepanjang hayat (70 tahun). Nilai asupan untuk pajanan *real time* adalah sebesar  $1,84 \times 10^{-4}$  (mg/kg)/hari, yang kemudian dihitung nilai ECR (*Excess Cancer Risk*, Risiko Kanker) dengan dua skenario, yaitu skenario risiko kanker minimal, dengan *Cancer Slope Factor* (CSF) 0,095 dan risiko kanker maksimal dengan CSF 0,34. Didapatkan pada pajanan *real time* risiko kanker berkisar antara  $1,75 \times 10^{-5}$  hingga  $6,26 \times 10^{-5}$  yang masih berada di bawah batas ambang risiko kanker dari EPA ( $1 \times 10^{-4}$ ). Hal ini dapat diartikan bahwa tidak terdapat risiko kesehatan kanker yang melebihi batas untuk pajanan real time benzena terhadap seluruh pekerja bengkel.

Pada perhitungan risiko kanker dan non kanker untuk seluruh populasi disini, *real time* yang didapat adalah sebesar 1,75 tahun. Perhitungan risiko kanker yang

dilakukan untuk memperkirakan risiko pada pajanan tahun yang akan datang, menunjukkan bahwa pada pajanan tahun ke-5, terdapat risiko kesehatan karsinogenik sebesar  $5 \times 10^{-5}$  (5 kasus kanker per 100.000 pekerja) hingga  $1,79 \times 10^{-4}$  (terjadi 2 kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja yang terpajan), hingga pada pajanan tahun ke-30 didapatkan nilai ECR sebesar  $3 \times 10^{-4}$  hingga  $10,74 \times 10^{-4}$  (terjadi 3 hingga 11 kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja yang terpajan). Pada perkiraan risiko kanker yang minimum, didapatkan baru setelah pajanan tahun ke-15, terdapat risiko kanker yang melebihi ambang batas, sementara pada perhitungan risiko kanker yang maksimum (*over estimate*), pajanan 5 tahun benzena diperkirakan sudah mempunyai efek kanker yang melebihi ambang batas.

Dari perbandingan nilai antara RQ dan ECR didapatkan bahwa besaran tingkat risiko antara efek non karsinogenik dan efek karsinogenik terjadi pada durasi atau jangka waktu pajanan yang berbeda. Untuk efek karsinogenik, jangka waktu pajanan 5 tahun saja sudah berisiko karena ECR maksimum sudah melampaui batas ambang kanker ( $ECR > 1 \times 10^{-4}$ ), sementara untuk risiko non karsinogenik, hingga jangka waktu pajanan 30 tahun belum berisiko karena  $RQ < 1$ .

### **6.5.2 Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Pembuatan Sol**

Risiko kesehatan dihitung untuk tiap bagian pekerjaan karena masing-masing pekerjaan memiliki karakteristik pajanan benzena tersendiri disebabkan oleh pemakaian lem yang berbeda-beda pada tiap bagian yang membuat konsentrasi benzena di udara juga berbeda-beda.

Dalam perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik untuk pekerja bengkel sepatu bagian pembuatan sol, didapatkan nilai RQ untuk *real time* sebesar 0,0174 ( $RQ < 1$ ), berarti belum ada risiko non karsinogenik pajanan benzena terhadap pekerja bagian pembuatan sol tersebut pada saat ini. Untuk jangka waktu pajanan 5 hingga 30 tahun, juga tidak terdapat risiko kesehatan ( $RQ < 1$ ), pada jangka waktu pajanan selama 30 tahun nilai RQ-nya adalah 0,104. Hal ini menunjukkan pada pekerja bagian pembuatan

sol tidak terjadi risiko kesehatan non karsinogenik akibat pajanan benzena bahkan pada jangka waktu pajanan 30 tahun.

Perkiraan risiko kesehatan karsinogenik untuk pekerja pembuatan sol didapatkan nilai ECR untuk *real time* (5 tahun) sebesar  $6,09 \times 10^{-6}$  hingga  $2,18 \times 10^{-5}$  (masih berada di bawah batas ambang risiko kanker). Perhitungan ECR minimum tidak menunjukkan nilai ECR yang melebihi batas ambang risiko kanker, sementara pada perhitungan ECR maksimum dengan jangka waktu pajanan 10 hingga 30 tahun, didapati bahwa pada tahun ke-25, terdapat risiko kanker yang *unacceptable*, yaitu sebesar  $1,09 \times 10^{-4}$  (terjadi 1 kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja terpajan).

Bila dibandingkan antara nilai RQ dan ECR pada jangka waktu pajanan yang akan datang, maka didapatkan kembali besaran tingkat risiko yang berbeda untuk efek karsinogenik dan non karsinogenik. Nilai RQ dan ECR yang tidak melampaui ambang batas ini sesuai dengan hasil pengukuran konsentrasi benzena di udara yang merupakan konsentrasi terendah, yaitu sebesar  $0,00805 \text{ mg/m}^3$ . Berdasarkan pengamatan penelitian, pada bagian sol ini hanya dipakai lem putih yang merupakan lem yang lebih kuat daya rekatnya untuk proses pembuatan sol (bagian bawah sepatu). Berdasarkan studi awal, kandungan benzena dalam lem putih sangat sedikit, yaitu hanya sebesar  $0,454 \text{ mg/L}$  lem perekat, sehingga pajanan benzena terhadap para pekerja bagian sol ini juga sedikit.

### **6.5.3 Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Upper**

Pada jangka waktu *real time* (1 tahun) para pekerja bagian *upper* mendapatkan asupan benzena sejumlah  $1,97 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}$  dengan nilai RQ sebesar 0,023 yang menunjukkan tidak terjadinya risiko kesehatan non karsinogenik pada pekerja bagian *upper* tersebut untuk saat ini (jangka waktu 1 tahun). Dilakukan perhitungan risiko kesehatan untuk pajanan 5 hingga 30 tahun mendatang, dan didapatkan perkiraan risiko hingga 30 tahun mendatang tetap tidak terdapat risiko, RQ untuk bagian *upper* pada jangka waktu pajanan 30 tahun adalah sebesar 0,687 ( $RQ < 1$ ).

Perkiraan risiko kesehatan karsinogenik benzena pada pegawai bagian *upper* saat ini juga dilakukan untuk perhitungan minimum dan maksimum risiko kanker dapat terjadi, didapatkan jumlah asupan (kanker) benzena sebesar  $8,43 \times 10^{-5} \text{ (mg/kg)/hari}$

dan dengan nilai ECR  $4,01 \times 10^{-5}$  hingga  $1,43 \times 10^{-4}$  (perhitungan ECR minimum masih berada di bawah batas ambang yang diperbolehkan, tetapi perhitungan ECR maksimum sudah menunjukkan risiko diatas ambang batas). Pada perhitungan risiko kanker yang minimum didapatkan risiko kanker yang melebihi ambang batas baru terjadi pada pajanan 15 tahun. pada saat pajanan 30 tahun nilai ECR yang didapat adalah  $2,4 \times 10^{-4}$  hingga  $8,6 \times 10^{-4}$  (terjadi 2 hingga 9 kasus kanker pada setiap 10.000 pekerja).

Perbandingan nilai RQ dan ECR pada pekerja bagian *upper* menunjukkan bahwa risiko kesehatan non karsinogenik tidak terjadi sampai jangka waktu pajanan 30 tahun ( $RQ < 1$ ), sedangkan untuk risiko kesehatan kanker, dengan waktu pajanan selama 5 tahun telah timbul risiko kesehatan yang *unacceptable*. Pekerjaan di bagian *upper* adalah membuat bagian atas sepatu, yang dilakukan dari mulai membuat pola, menggantung, menyambung pola-pola dengan lem, dan menjahit. Berdasarkan pengamatan penelitian, pada para pekerja bagian *upper* ini juga hanya digunakan lem putih tetapi dalam jumlah yang lebih banyak jika dibandingkan penggunaan lem pada bagian sol, konsentrasi benzena pada bagian *upper* ini lebih besar daripada konsentrasi benzena pada bagian sol, yaitu sebesar  $0,045 \text{ mg/m}^3$ .

#### **6.5.4 Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja bagian *Open***

Dalam perhitungan perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik pajanan benzena terhadap pekerja bagian *open*, didapatkan nilai asupan (non kanker) benzena terhadap pekerja pada *real time* adalah sebesar  $3,17 \times 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}$  dengan nilai RQ 0,037, nilai RQ untuk *real time* ini menyatakan bahwa pada saat ini belum terjadi risiko kesehatan non karsinogenik pada pekerja bagian *open*. Untuk perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik pada tahun selanjutnya, dibuat jangka waktu pajanan 5 hingga 30 tahun, dan didapatkan bahwa pada pajanan 30 tahun, nilai RQ didapat sebesar 1,107 ( $RQ > 1$ ), berarti bahwa apabila pajanan berlangsung hingga 30 tahun maka akan ada risiko kesehatan non karsinogenik yang harus dihindari.

Risiko kesehatan karsinogenik yang juga dilakukan pada durasi pajanan *real time* mendapatkan jumlah asupan (kanker) benzena sebesar  $1,36 \times 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}$  dan

nilai ECR sebesar  $4,62 \times 10^{-5}$ . Pada prediksi risiko kesehatan karsinogenik terhadap pekerja bagian *open* dengan jangka waktu pajanan yang akan datang, pajanan selama 5 tahun telah menghasilkan nilai ECR sebesar  $6,46 \times 10^{-5}$  hingga  $2,3 \times 10^{-4}$  (terjadi 2 kasus untuk 10.000 pekerja bagian *open*), pada tahun ke-30 nilai ECR yang didapat adalah sebesar  $3,87 \times 10^{-4}$  hingga  $13,9 \times 10^{-4}$  (terjadi 4 hingga 14 kasus untuk setiap 10.000 pekerja bagian *open*).

Pada pekerja bagian *open* ini, didapati bahwa  $RQ > 1$  bila pajanan berlangsung selama 30 tahun, sementara  $ECR > 1 \times 10^{-4}$  pada pajanan yang baru berlangsung 5 tahun. Risiko kanker dan non kanker akibat pajanan benzena yang terjadi pada pekerja bagian *open* ini lebih besar jika dibandingkan dengan pekerja bagian sol dan *upper*, hal ini dikarenakan pada bagian *open*, lem yang dipakai adalah lem kuning dan lem putih yang kedua-duanya mengandung benzena. Konsentrasi benzena pada bagian *open* ini juga lebih tinggi daripada konsentrasi benzena di bagian sol dan *upper*, yaitu sebesar  $0,076 \text{ mg/m}^3$ . Bagian ini bertugas untuk menggabungkan bagian sol dengan bagian *upper* yang sudah dibuat. Proses penggabungan dilakukan dengan menggunakan lem kuning dan lem putih kemudian dilakukan proses penekanan (*press*) pada mesin tekan untuk memastikan sepatu berkualitas baik.

#### **6.5.5 Perkiraan Risiko Kesehatan Pekerja bagian *Finishing***

Pada bagian *finishing*, perkiraan risiko kesehatan *real time* dilakukan untuk durasi pajanan 1,5 tahun dan didapatkan jumlah asupan (non kanker) benzena sebesar  $6,19 \times 10^{-4} \text{ (mg/kg)/hari}$  dan nilai  $RQ$  sebesar 0,072 ( $RQ < 1$ , menunjukkan tidak terjadi risiko kesehatan non kanker terhadap pekerja bagian *finishing* selama pajanan *real time*). Pada perhitungan dengan jangka waktu pajanan selanjutnya, didapatkan bahwa pada jangka waktu pajanan 25 tahun, nilai  $RQ$  yang didapat adalah 1,199 ( $RQ > 1$ ), yang berarti bahwa pada jangka waktu pajanan 25 tahun mulai terdapat risiko kesehatan non karsinogenik yang harus diperhatikan terhadap para pekerja bagian *finishing*.

Risiko karsinogenik yang dihitung untuk jangka waktu pajanan real time mendapatkan hasil nilai asupan(kanker) sebesar  $2,65 \times 10^{-4}$  (mg/kg)/hari dan ECR sebesar  $5,87 \times 10^{-5}$  hingga  $9,01 \times 10^{-5}$  (masih berada di bawah batas ambang risiko kanker yang diperbolehkan). Pada perhitungan ECR dengan jangka waktu pajanan 5 hingga 30 tahun, didapatkan bahwa risiko kanker minimum pada pajanan 5 tahun masih di bawah batas ambang ( $8,39 \times 10^{-4}$ ) sementara risiko kanker maksimum sebesar  $3 \times 10^{-4}$  (terjadi 3 kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja), sedangkan pada jangka waktu pajanan 30 tahun didapatkan nilai ECR sebesar  $5,04 \times 10^{-4}$  hingga  $18 \times 10^{-4}$  (terjadi 18 kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja apabila pajanan terjadi selama 30 tahun).

Pada perbandingan risiko non karsinogenik dan karsinogenik, didapatkan pula perbedaan jangka waktu pajanan terjadinya risiko. Risiko kesehatan karsinogenik lebih cepat terjadi melebihi ambang batas jika dibandingkan dengan risiko non karsinogenik. Apabila risiko non karsinogenik membutuhkan jangka waktu pajanan hingga 25 tahun, maka pada perhitungan risiko kanker yang maksimum pajanan 5 tahun sudah menyebabkan risiko kanker yang melebihi batas ambang.

Nilai risiko kesehatan non karsinogenik dan karsinogenik pada para pekerja sepatu bagian *finishing* merupakan yang paling tinggi diantara bagian-bagian yang lain, hal ini sesuai dengan pengamatan bahwa pada bagian *finishing* digunakan hanya lem kuning dalam jumlah yang lebih banyak jika dibandingkan dengan bagian-bagian yang lainnya, yang menyebabkan konsentrasi benzena di bagian *finishing* ini juga paling tinggi diantara bagian lainnya, yaitu sebesar  $0,08531 \text{ mg/m}^3$ .

#### **6.5.6 Perkiraan Risiko Kesehatan Bagian Administrasi**

Pada perhitungan jumlah asupan (non kanker) benzena pada pekerja bagian administrasi didapatkan nilai asupan sebesar  $2,69 \times 10^{-4}$  (mg/kg)/hari untuk pajanan *real time* (6,25 tahun) dengan nilai RQ sebesar 0,031 ( $RQ < 1$ , tidak terjadi risiko kesehatan non karsinogenik). Pada perhitungan terhadap jangka waktu pajanan 5 hingga 30 tahun, juga didapatkan nilai  $RQ < 1$ . Hal ini berarti pegawai bagian administrasi tidak

memiliki risiko nonkarsinogenik apabila bekerja di bengkel sepatu tersebut sampai 30 tahun.

Pada perhitungan risiko kanker pajanan *real time* untuk pekerja bagian administrasi ini didapatkan jumlah asupan sebesar  $1,15 \times 10^{-4}$  (mg/kg)/hari dengan nilai ECR sebesar  $8,75 \times 10^{-6}$  hingga  $3,92 \times 10^{-5}$  (masih di bawah batas yang diperbolehkan oleh EPA). Perhitungan risiko kanker minimum tidak mendapatkan risiko kanker melebihi ambang batas hingga pajanan 30 tahun. Sementara, perhitungan perkiraan risiko kanker maksimum, pada jangka waktu pajanan selama 20 tahun, didapatkan nilai ECR sebesar  $1,25 \times 10^{-4}$  (terjadi 1 kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja).

Pada pekerja bagian administrasi, walaupun tidak terdapat risiko non karsinogenik bahkan untuk pajanan selama 30 tahun, tetapi memiliki risiko karsinogenik ketika sudah terpajan selama 20 tahun (untuk perhitungan risiko kanker maksimum). Hal ini disebabkan karena walaupun para pekerja bagian administrasi tidak melakukan proses pekerjaan yang berhubungan dengan lem yang mengandung benzena, tetapi karena stok lem yang akan digunakan dan sepatu yang sudah siap dipasarkan diletakkan diruangan administrasi memungkinkan uap benzena terdistribusi pada ruangan tersebut, maka para pekerja administrasi juga memiliki risiko kesehatan terpapar benzena, hal ini dibuktikan dengan konsentrasi benzena pada ruangan administrasi ini lebih besar dari ruangan bagian pembuatan sol, yaitu sebesar  $0,01405 \text{ mg/m}^3$  benzena.

#### **6.5.7 Perbandingan Nilai RQ dan ECR Pada Tiap Bagian Bengkel**

Berdasarkan hasil penelitian yang dapat dilihat pada gambar 7 dan 8, didapatkan hasil bahwa pada tiap-tiap bagian, nilai RQ dan ECR memiliki kecenderungan yang sama, yaitu besaran risiko kesehatan non karsinogenik dan karsinogenik pada bagian *finishing* > bagian *open* > bagian *upper* > bagian administrasi > bagian sol. Hal ini sesuai dengan konsentrasi rata-rata benzena pada masing-masing bagian tersebut, dimana konsentrasi benzena (C benzena) pada bagian *finishing* ( $0,085 \text{ mg/m}^3$ ) >

C benzena bagian *open* ( $0,076 \text{ mg/m}^3$ ) > C benzena bagian *upper* ( $0,045 \text{ mg/m}^3$ ) > C benzena bagian administrasi ( $0,014 \text{ mg/m}^3$ ) > C benzena bagian sol ( $0,0081 \text{ mg/m}^3$ ).

Dari data ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penggunaan lem yang mengandung benzena, semakin meningkat konsentrasi benzena dalam udara lingkungan kerja maka semakin berisiko pula terhadap kesehatan, baik itu risiko kesehatan non karsinogenik maupun risiko kesehatan karsinogenik.

### 6.5.8 Perkiraan Risiko Kesehatan Individu

Masing-masing individu memiliki karakteristik antropometri dan pola pemajanan berbeda, oleh karena itu juga dilakukan perhitungan perkiraan risiko kesehatan untuk tiap individu pekerja bengkel sepatu 'X' ini. Pada perkiraan risiko kesehatan non kanker individu dengan durasi pajanan *real time* (saat ini) didapatkan bahwa semua responden memiliki RQ *real time* individu dengan nilai  $RQ < 1$ , artinya pada saat ini belum terdapat risiko kesehatan non kanker, risiko non karsinogenik tidak terjadi hingga pajanan 15 tahun. Pada pajanan tahun ke-20, pekerja dengan  $RQ > 1$  sebanyak 11,54 persen, dan meningkat pada pajanan 25 tahun menjadi 19,23 persen, hingga RQ *life time* (sepanjang hayat, 30 tahun) didapati sejumlah 8 orang pekerja (30,77%) mempunyai  $RQ > 1$ .

Pada perkiraan risiko kanker minimum, didapatkan individu yang memiliki risiko kanker yang melebihi batas ambang baru terjadi apabila pajanan 10 tahun sebanyak 38,46%, pada pajanan ke 20 tahun hingga ke 30 tahun jumlah pekerja yang berisiko kanker tetap yaitu sebanyak 80,77%.

Pada perkiraan risiko kanker individu maksimum saat ini (*real time*) didapati dari seluruh responden, terdapat 5 orang responden yang memiliki nilai risiko kanker yang melebihi 1 kasus per 10.000 populasi, hal ini berarti sebagian pekerja (19,23%) berisiko terkena kanker. Pada pajanan 5 tahun benzena pekerja yang berisiko kanker sebanyak 76,92% pekerja hingga pada pajanan 30 tahun, perhitungan risiko kanker maksimum ini menunjukkan bahwa semua pekerja berisiko.

## 6.6 Konsentrasi *Trans,Trans-Muconic Acid* Dalam urin

Pada tahun 1990, *The U.S Clean Air Act Amandements* membuat peraturan tentang 187 polutan udara berbahaya yang dapat menyebabkan kanker, efek terhadap sistem syaraf, reproduksi, dan perkembangan tubuh, salah satunya adalah benzena (McCarthy, 2009). Efek karsinogenik benzena salah satunya adalah disebabkan karena proses metabolisme didalam tubuh yang kemudian menghasilkan senyawa-senyawa metabolit yang reaktif dan berbahaya bagi organ tubuh manusia. Beberapa metabolit utama dari benzena adalah fenol, hidrokuinon, katekol, dan *trans,trans-muconic acid*.

Berdasarkan Rappaport, 2009, mekanisme toksisitas benzena diperkirakan melalui dua cara, yang pertama toksisitas benzena bisa terjadi melalui metabolit fenol dan benzenoksida dan turunannya, dan yang kedua adalah proses pembukaan cincin benzena membentuk senyawa *muconate* yang reaktif, membentuk *trans,trans-muconaldehyde* yang diperkirakan merupakan senyawa yang berperan pada toksisitas benzena. Senyawa ini kemudian dikeluarkan melalui urin berupa *trans,trans-muconic acid*.

Pada pajanan dengan konsentrasi benzena di udara berkisar antara 0,1 hingga 10 ppm, didapatkan bahwa 70-85% metabolit yang ada dalam urin berupa fenol, sementara hidrokuinon, *t,t-muconic acid* dan katekol sebesar 5 – 10%, sementara metabolit *S-phenylmercapturic acid* (SPMA) dalam urin kurang dari 1 persen (Rappaport, 2009).

Dari penelitian, didapatkan kadar *t,t-muconic acid* dalam urin responden jauh melebihi batas ambang yang ditetapkan oleh ACGIH sebesar 500 µg/g kreatinin. Kadar *t,t-muconicacid* dalam urin responden berkisar antara 4.795 µg/g kreatinin hingga 68.062 µg/g kreatinin, kadar ini sekitar 9,6 hingga 136 kali lebih tinggi dari pada nilai *threshold limit value* (TLV) yang ditetapkan oleh ACGIH.

Berdasarkan Kim et.al dalam Rappaport (2009) dan Sorensen et.al (2004) dinyatakan bahwa kadar metabolit berhubungan secara signifikan dengan pajanan benzena, jenis kelamin responden, umur, kebiasaan merokok. Penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi *t,t-MA* berbanding lurus dengan konsentrasi benzena di udara, yang artinya semakin besar konsentrasi benzena di udara maka konsentrasi

metabolit t,t-MA dalam urin juga meningkat. Kadar metabolit dalam urin ini juga sesuai dengan nilai perkiraan risiko kesehatan pekerja. Artinya, semakin banyak jumlah metabolit dalam urin yang terdeteksi, maka pekerja akan semakin berisiko. Tetapi, terjadi ketidaksesuaian pada pengukuran jumlah metabolit dalam urin pekerja bagian sol. Pekerja bagian sol dengan konsentrasi benzena paling rendah, ternyata memiliki konsentrasi t,t-MA yang cukup tinggi bahkan melebihi bagian *upper*. Hal ini salah satunya mungkin disebabkan oleh pengalaman bekerja yang lebih lama dibandingkan dengan pekerja bagian administrasi dan kebiasaan merokok. Perbedaan pada bagian sol ini sesuai dengan penelitian Rappaport, 2009 yang menyatakan bahwa efek pajanan benzena dengan jumlah metabolit yang dihasilkan meningkat sesuai dengan meningkatnya konsentrasi benzena di udara untuk konsentrasi benzena di udara sebesar 1 – 100 ppm. Pada konsentrasi di bawah 1 ppm, korelasi tersebut terganggu dengan *background level* dari metabolit yang bersumber dari pajanan selain di lingkungan kerja seperti merokok, sementara untuk pajanan lebih besar dari 100 ppm, kadar metabolit mencapai efek plateau (Rappaport, 2009).

#### **6.7 Pengendalian Risiko Kesehatan**

Upaya pengendalian risiko adalah mengatur dan mengendalikan risiko agar nilai asupan (*intake*) tidak menyebabkan risiko kesehatan melebihi batas risiko yang tidak dapat diterima. Pengendalian risiko kesehatan didasarkan pada hasil perbandingan antara perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik dan risiko karsinogenik, yaitu risiko karsinogenik dapat terjadi pada jangka waktu pajanan yang lebih rendah dibandingkan risiko non karsinogenik sehingga pengendalian risiko didasarkan pada pengendalian risiko karsinogenik karena dengan mengendalikan risiko karsinogenik, maka risiko non karsinogenik juga akan terkendali. Risiko karsinogenik yang dipilih adalah risiko karsinogenik maksimum atau menggunakan *worst scenario* (kondisi terburuk) agar perlindungan juga maksimal.

Beberapa pilihan manajemen untuk pengendalian risiko didasarkan pada jumlah asupan (kanker) atau  $I_k$  benzena yang aman. Jumlah  $I_k$  yang aman dapat dihitung

dengan asumsi bahwa ECR adalah  $1 \times 10^{-4}$  (batas ambang yang diperbolehkan), dengan perhitungan sebagai berikut:

$$ECR = CSF \times I_k$$

$$I_k = ECR / CSF$$

Dengan ECR sebesar  $1 \times 10^{-4}$  dan CSF sebesar  $0,34 \text{ (mg/kg hari)}^{-1}$ , maka nilai asupan yang diperbolehkan adalah sebesar :

$$I_k = 1 \times 10^{-4} / 0,34 = 2,94 \times 10^{-4} \text{ mg/m}^3$$

Dengan rumus asupan :

$$I_k = \frac{C \cdot R \cdot t_e \cdot f_e \cdot D_t}{W_b t_{avg}}$$

Dengan memakai data-data antropometri dan durasi pajanan sepanjang hayat, pada perhitungan ECR untuk seluruh pekerja, maka dapat ditentukan :

1. Konsentrasi benzena dalam lingkungan kerja yang aman bagi kesehatan.

$$C = \frac{I_k \cdot W_b \cdot T_{avg}}{R \cdot t_e \cdot f_e \cdot D_t}$$

Dengan:

$$I_k = 2,94 \times 10^{-4} \text{ mg/kg hari}$$

$$W_b = 57,27 \text{ kg}$$

$$T_{avg} = 365 \text{ hari} \times 70 \text{ tahun}$$

$$R = 0,606 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$t_e = 14,58 \text{ jam}$$

$$f_e = 301,08 \text{ hari}$$

$$D_t = 30 \text{ tahun}$$

Maka konsentrasi benzena yang aman untuk pekerja bengkel sepatu 'X' adalah:

$$C = \frac{2,94 \cdot 10^{-4} \times 57,27 \times 365 \times 70}{0,606 \times 14,58 \times 301,08 \times 30} = 0,0054 \text{ mg/m}^3$$

Konsentrasi benzena pada bengkel tersebut saat ini adalah  $0,0578 \text{ mg/m}^3$ , sehingga harus dilakukan pengurangan konsentrasi benzena sebesar sepersepuluhnya atau sebesar 9,34 %

2. Pilihan untuk mengurangi frekuensi pajanan, yaitu jumlah hari kerja dalam setahun.

Dengan menggunakan konsentrasi benzena data-data antropometri asal, dan menyusun ulang persamaan 1, maka didapatkan:

$$f_e = \frac{I_k \cdot W_b \cdot T_{avg}}{R \cdot t_e \cdot C \cdot D_t}$$

Maka didapatkan nilai  $f_e$  sebesar:

$$f_e = \frac{2,94 \cdot 10^{-4} \times 57,27 \times 365 \times 70}{0,606 \times 14,58 \times 0,0578 \times 30} = 28 \text{ hari}$$

Jumlah hari kerja yang aman untuk pajanan benzena seperti saat ini adalah 28 hari kerja.

3. Pilihan untuk mengurangi waktu pajanan, yaitu jumlah jam kerja dalam sehari.

Dengan menggunakan data-data antropometri asal, dan menyusun ulang persamaan 1, maka didapatkan:

$$t_e = \frac{I_k \cdot W_b \cdot T_{avg}}{R \cdot f_e \cdot C \cdot D_t}$$

Maka didapatkan nilai  $f_e$  sebesar:

$$t_e = \frac{2,94 \cdot 10^{-4} \times 57,27 \times 365 \times 70}{0,606 \times 301,08 \times 0,0578 \times 30} = 1,36 \text{ jam}$$

Jumlah jam kerja sehari yang aman untuk pajanan benzena seperti saat ini adalah 1,36 jam.

Dengan kondisi lingkungan kerja bengkel 'X' saat ini dan dari perhitungan yang telah dilakukan, terdapat beberapa pilihan yang dapat dilakukan untuk meminimalkan risiko kesehatan pajanan benzena terhadap para pekerja, yaitu:

1. Dengan mengurangi pemakaian lem sampai sepersepuluhnya, sehingga konsentrasi benzena yang ada diudara lingkungan kerja dapat berkurang sampai 9,34 persen. Apabila saat ini jumlah lem kuning yang dipakai sebanyak 10 L sehari, maka pemakaian yang aman adalah sebanyak 1 L sehari.
2. Dengan pemakaian lem seperti biasa (konsentrasi benzena tetap  $0,058 \text{ mg/m}^3$ ) dan jam kerja 14,58 jam/hari, maka kondisi risiko kesehatan yang aman dapat

dilakukan dengan mengurangi hari kerja para pekerja bengkel menjadi 28 hari dalam setahun

3. Dengan pemakaian lem seperti biasa (konsentrasi benzena tetap  $0,058 \text{ mg/m}^3$ ) dan hari kerja dalam setahun tetap (301,08 hari) maka kondisi risiko kesehatan yang aman dapat dilakukan dengan mengurangi jam kerja para pekerja dalam satu hari menjadi 1,36 jam per hari.

Ketiga pilihan ini sepertinya sulit untuk dilakukan karena akan mempengaruhi kualitas sepatu yang dihasilkan dan produktivitas pekerja dan bengkel sepatu tersebut. Pilihan yang terbaik mungkin bisa didapatkan apabila kita menggunakan pemodelan untuk mencari skenario terbaik melindungi para pekerja dari risiko kanker, seperti yang dilakukan oleh Warouw (2007) yang menggunakan simulasi model dinamis untuk meminimalkan risiko kesehatan pajanan Benzo(a)pyrene.

Upaya yang dapat dilakukan adalah dengan meminimalisasi pajanan benzena dengan beberapa cara, diantaranya adalah membuat agar uap benzena yang terdapat dalam ruangan cepat terdistribusi dengan udara luar bengkel dengan membuat sistem ventilasi yang baik agar sirkulasi udara dalam bengkel baik. Karena benzena merupakan senyawa yang mudah menguap, dengan ventilasi yang baik, maka konsentrasi benzena dalam ruangan juga dapat diminimalisasi.

Upaya pencegahan pajanan benzena dapat dilakukan dengan peran serta aktif para pekerja bengkel dan pabrik sepatu yaitu meminimalkan kontak antara benzena dan pekerja dengan cara melengkapi para pekerja dengan alat pelindung diri (APD). Semua pekerja pada bengkel tidak dilengkapi oleh alat pelindung diri, sehingga pajanan benzena tidak hanya terjadi melalui inhalasi (pernafasan), tetapi juga absorpsi melalui kulit karena penggunaan lem yang langsung dengan tangan, oleh karena itu perlu dilakukan penyuluhan terhadap para pekerja tentang pentingnya menggunakan alat pelindung diri bagi kesehatan mereka.

Perhatian pemilik bengkel terhadap pekerjaanya juga perlu ditingkatkan dengan melakukan pemberian makanan tambahan yang berprotein tinggi terhadap para pekerja. Pemberian makanan tambahan akan meningkatkan daya tahan tubuh dan dapat menetralkan zat toksik yang masuk ke dalam tubuh.

## 6.8 Evaluasi NAB Benzena di Indonesia

Ambang batas konsentrasi benzena di udara yang ditetapkan oleh SNI 2005 berdasarkan Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja Nomor SE 01/Men/1997 tentang nilai ambang batas benzena rata-rata tertimbang waktu (time weighted average) jumlah jam kerja 8 jam per hari atau 40 jam perminggu adalah sebesar 10 ppm atau 32 mg/m<sup>3</sup> benzena. Ambang batas ini berada di atas nilai ambang batas yang ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 1 ppm atau 3,2 mg/m<sup>3</sup> benzena di udara.

Dengan menggunakan nilai NAB benzena ini sebagai konsentrasi benzena di udara, dilakukan perhitungan risiko kesehatan non kanker dan risiko kanker terhadap pekerja pabrik di Indonesia dengan karakteristik antropometri dan pola pajanan yang sama seperti pekerja sepatu bengkel 'X'. Dalam perhitungan estimasi risiko untuk mengevaluasi nilai NAB ini, digunakan data-data untuk seluruh pekerja bengkel 'X' pada saat *real time* yang terdapat dalam tabel 5.3 sebagai berikut:

Berat badan (Wb)	= 57,27 kg
Laju Inhalasi (R)	= 0,61 m <sup>3</sup> /jam
Lama pajanan per hari (te)	= 14,58 jam
Lama hari kerja per tahun(fe)	= 301,08 hari
Lama pajanan real time (Dt)	= 1,75 tahun

Dan dengan menggunakan nilai konsentrasi benzena sama dengan NAB, yaitu 32 mg/m<sup>3</sup> maka didapatkan nilai asupan non karsinogenik:

$$I_{nk} = \frac{32 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 0,61 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \cdot 14,58 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \cdot 301,08 \text{ hari} \cdot 1,75 \text{ tahun}}{57,27 \text{ kg} \cdot (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})}$$

$$I_{nk} = 0,24 \text{ mg/kg hari}$$

Dengan RfC 8,6 x 10<sup>-3</sup> mg/kg hari, maka estimasi risiko non karsinogenik pada saat real time untuk pekerja bengkel 'X' adalah sebesar :

$$RQ = I_{nk} / RfC$$

$$RQ = 0,24 \text{ mg/kg hari} : 8,6 \times 10^{-3} \text{ mg/kg hari} \\ = 27,63$$

Untuk menghitung risiko karsinogenik minimum, maka dilakukan perhitungan asupan efek kanker benzena sebagai berikut:

$$I_k = \frac{32 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{0,61 \text{m}^3}{\text{jam}} \cdot \frac{14,58 \text{jam}}{\text{hari}} \cdot 301,08 \text{ hari} \cdot 1,75 \text{ tahun}}{57,27 \text{ kg} \cdot (70 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari})}$$

$$I_k = 0,10 \text{ mg/kg hari}$$

Dengan menggunakan nilai  $CSF_{\min}$  untuk risiko kanker minimum, didapatkan nilai ECR untuk pajanan real time sebesar  $96,8 \times 10^{-4}$  (terjadi 97 kasus kanker untuk tiap 10.000 populasi), dan pada perhitungan risiko kanker maksimum didapatkan  $ECR_{\max}$  untuk pajanan *real time* adalah  $346 \times 10^{-4}$  (terjadi 346 kasus untuk tiap 10.000 populasi).

Dari estimasi risiko kanker dan non kanker ini didapatkan bahwa dengan menggunakan konsentrasi sesuai NAB yang ditetapkan oleh pemerintah, estimasi risiko non kanker untuk pekerja bengkel 'X' pada durasi pajanan real time adalah sebesar 27,63 yang berarti bahwa telah terjadi indikasi risiko non kanker terhadap para pekerja ( $RQ > 1$ ). Demikian juga pada estimasi risiko kanker sebesar  $96,8 \times 10^{-4}$  hingga  $346 \times 10^{-4}$ , yang berarti pada pajanan real time dengan konsentrasi benzena sama dengan NAB risiko kanker pada pekerja adalah 97 hingga 346 pekerja terkena kasus kanker tiap 10.000 pekerja.

Perkiraan risiko kesehatan baik non kanker maupun kanker bila menggunakan NAB dari SNI ini jauh diatas ambang risiko yang diperbolehkan, sehingga pemerintah perlu memperbaharui NAB ini dengan memperhatikan karakteristik antropometri dan pola aktivitas pekerja industri di Indonesia.

Konsentrasi benzena yang dapat diusulkan untuk menjadi batas ambang dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan estimasi risiko maksimum, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{ECR} &= I_k \times \text{CSF} \\
 1 \times 10^{-4} &= I_k \times 0,34 \\
 I_k &= 1 \times 10^{-4} / 0,34 \\
 &= 2,94 \times 10^{-4} \text{ mg/kg hari}
 \end{aligned}$$

Konsentrasi benzena aman dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C = \frac{I_k \cdot W_b \cdot T_{avg}}{R \cdot t_e \cdot f_e \cdot D_t}$$

Dengan menggunakan data antropometri pekerja dan nilai default yang ditetapkan EPA sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat badan (Wb)} &= 57,27 \text{ kg} \\
 T_{avg} &= 365 \text{ hari} \times 70 \text{ tahun} \\
 \text{Laju Inhalasi (R)} &= 20 \text{ m}^3/\text{hari} : 24 \text{ jam/hari} = 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Lama pajanan per hari}(t_e) &= 8 \text{ jam} \\
 \text{Lama hari kerja per tahun (f}_e\text{)} &= 5 \text{ hari/minggu} \times 4 \text{ minggu/bulan} \times 12 \text{ bulan/tahun} \\
 &= 240 \text{ hari} \\
 \text{Lama pajanan default} &= 25 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Maka konsentrasi benzena :

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{2,94 \cdot \frac{10^{-4} \text{ mg}}{\text{kg}} \text{ hari} \cdot 57,27 \text{ kg} \cdot 365 \text{ hari} \cdot 70 \text{ tahun}}{0,84 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \cdot 8 \text{ jam/hari} \cdot 240 \text{ hari} \cdot 25 \text{ tahun}} \\
 &= 0,01 \text{ mg/m}^3
 \end{aligned}$$

Maka konsentrasi benzena yang dapat diusulkan untuk menjadi nilai ambang batas benzena untuk pajanan 8 jam per hari dan 5 hari perminggu adalah 0,01 mg/m<sup>3</sup>.

## BAB 7

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1 Simpulan

Hasil analisis risiko kesehatan menunjukkan bahwa kadar benzena di udara lingkungan kerja bengkel sepatu 'X' di wilayah Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung, Jakarta Timur pada tahun 2010 ini dapat menyebabkan risiko kesehatan baik risiko kesehatan non karsinogenik dan risiko kesehatan karsinogenik, dengan rincian sebagai berikut:

1. Konsentrasi benzena dalam bengkel adalah sebesar  $0,05781 \text{ mg/m}^3$ , yang sudah berada di atas *Reference Concentration* (RfC) yang ditetapkan oleh EPA yaitu sebesar  $0,03 \text{ mg/m}^3$  dan nilai *minimal risk level* (MRL) yang ditetapkan oleh ATSDR sebesar  $0,0096 \text{ mg/m}^3$ .
2. Konsentrasi benzena pada tiap-tiap bagian yang berbeda menyebabkan tingkat risiko kesehatan yang berbeda pula untuk para pekerja tiap bagian.
3. Pada bagian pembuatan sol, dengan konsentrasi benzena di udara sebesar  $0,00805 \text{ mg/m}^3$ , para pekerja tidak memiliki risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ < 1$ ) bahkan hingga pajanan sepanjang hayat (30 tahun), tetapi dengan perhitungan risiko kesehatan karsinogenik maksimum, pada pajanan 25 tahun sudah terindikasi risiko kanker yang melebihi ambang batas, yaitu sebesar  $1,09 \times 10^{-4}$  (terjadi kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja yang terpajan) dan bila pajanan berlanjut hingga 30 tahun ECR yang dihasilkan sebesar  $1,31 \times 10^{-4}$ .
4. Pada bagian pembuatan *upper*, dengan konsentrasi benzena di udara sebesar  $0,045 \text{ mg/m}^3$ , para pekerja tidak memiliki risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ < 1$ ) hingga pajanan sepanjang hayat (30 tahun), tetapi akan mengalami risiko kesehatan karsinogenik maksimum sebesar  $1,43 \times 10^{-4}$  (terjadi 1 kasus kanker pada 10.000 pekerja terpajan) akibat pajanan benzena selama 5 tahun, bila pajanan berlanjut hingga 30 tahun, maka didapatkan nilai ECR maksimum sebesar  $8,6 \times 10^{-4}$  (terjadi 9 kasus kanker pada setiap 10.000 pekerja).

5. Pada bagian pembuatan *open*, dengan konsentrasi benzena di udara sebesar  $0,076 \text{ mg/m}^3$ , para pekerja tidak memiliki risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ < 1$ ) hingga durasi pajanan 25 tahun, pada pajanan 30 tahun didapatkan para pekerja akan mengalami risiko kesehatan ( $RQ > 1$ ). Sementara itu, para pekerja juga akan mengalami risiko kesehatan karsinogenik maksimum sebesar  $2,3 \times 10^{-4}$  (terjadi 2 kasus kanker pada 10.000 pekerja terpajan) akibat pajanan benzena selama 5 tahun, bila pajanan berlanjut hingga 30 tahun, maka didapatkan nilai  $ECR_{maks}$  sebesar  $13,9 \times 10^{-4}$  (terjadi 14 kasus kanker pada setiap 10.000 pekerja).
6. Pada bagian *finishing*, dengan konsentrasi benzena di udara sebesar  $0,085 \text{ mg/m}^3$ , pada pajanan 25 tahun didapatkan nilai  $RQ$  sebesar 1,199, yang bermakna para pekerja akan mengalami risiko kesehatan ( $RQ > 1$ ). Sementara itu, para pekerja juga akan mengalami risiko kesehatan karsinogenik maksimum sebesar  $3 \times 10^{-4}$  (terjadi 3 kasus kanker pada 10.000 pekerja terpajan) akibat pajanan benzena selama 5 tahun, bila pajanan berlanjut hingga 30 tahun, maka didapatkan nilai  $ECR_{maks}$  sebesar  $18 \times 10^{-4}$  (terjadi 18 kasus kanker pada setiap 10.000 pekerja).
7. Pada administrasi, dengan konsentrasi benzena di udara sebesar  $0,0141 \text{ mg/m}^3$ , para pekerja tidak memiliki risiko kesehatan non karsinogenik ( $RQ < 1$ ) hingga pajanan sepanjang hayat (30 tahun), akan tetapi mengalami risiko kesehatan karsinogenik maksimum sebesar  $1,25 \times 10^{-4}$  (terjadi 1 kasus kanker pada 10.000 pekerja terpajan) akibat pajanan benzena selama 20 tahun, yang apabila pajanan berlanjut hingga 30 tahun risiko karsinogeniknya sebesar  $1,88 \times 10^{-4}$ .
8. Risiko kesehatan non karsinogenik yang dihitung untuk seluruh pekerja mendapatkan bahwa hingga pajanan sepanjang hayat (30 tahun) tidak terjadi risiko kesehatan ( $RQ < 1$ ), tetapi untuk risiko kesehatan karsinogenik didapatkan risiko sebesar  $1,79 \times 10^{-4}$  (terjadi 2 kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja yang terpajan) pada tahun ke-5 dan apabila pajanan berlanjut hingga 30 tahun didapatkan nilai  $ECR$  sebesar  $10,74 \times 10^{-4}$  (terjadi 11 kasus kanker untuk setiap 10.000 pekerja yang terpajan).

9. Perbandingan nilai risiko kesehatan (baik RQ maupun ECR) untuk tiap-tiap bagian bengkel menghasilkan bahwa risiko kesehatan bagian *finishing* > bagian *open* > bagian *upper* > administrasi > sol, yang berkesesuaian dengan jumlah pemakaian lem berpelarut benzena pada tiap-tiap bagian tersebut.
10. Dari analisa *t,t-muconic acid* yang merupakan metabolit benzena dalam urin, didapatkan jumlah *t,t-muconic acid* pada semua pegawai berkisar antara 4.795 µg/g kreatinin hingga 68.062 µg/g kreatinin, kadar ini sekitar 9,6 hingga 136 kali lebih tinggi dari pada nilai *threshold limit value* (TLV) yang ditetapkan oleh ACGIH, dan kadar t,t-MA dalam urin sebanding dengan konsentrasi benzena di udara lingkungan kerja bengkel 'X'.
11. NAB yang ditetapkan oleh pemerintah harus dievaluasi, karena estimasi risiko non kanker untuk pekerja bengkel 'X' pada durasi pajanan *real time* dengan konsentrasi benzena sama dengan NAB adalah sebesar 27,63 yang berarti bahwa telah terjadi indikasi risiko non kanker terhadap para pekerja ( $RQ > 1$ ). Demikian juga pada estimasi risiko kanker sebesar  $96,8 \times 10^{-4}$  hingga  $346 \times 10^{-4}$ , yang berarti risiko kanker pada pekerja adalah 97 hingga 346 pekerja terkena kasus kanker tiap 10.000 pekerja. Konsentrasi benzena yang diusulkan sebagai batas ambang adalah  $0,01 \text{ mg/m}^3$ .

## 7.2. Saran

### 7.2.1 Kepada Pemerintah

1. Perlu dibuat peraturan baru mengenai Nilai Ambang Batas konsentrasi benzena yang sesuai dengan karakteristik antropometri dan pola aktivitas pekerja pada industri di Indonesia, sehingga dapat melindungi para pekerja dari efek karsinogenik dan non karsinogenik benzena.
2. Kementerian Kesehatan dan Kementerian Tenaga Kerja merumuskan dan mengembangkan program deteksi dini risiko kanker serta pemeriksaan kesehatan berkala terhadap para pekerja yang berisiko.

3. Kementerian Kesehatan dan Kementerian Tenaga Kerja perlu membuat peraturan khusus mengenai perlindungan tenaga kerja yang berisiko terpajan benzena, mengingat industri sepatu merupakan industri yang padat karya.
4. Kementerian Tenaga Kerja perlu membuat peraturan mengenai kewajiban pemilik industri untuk perlindungan keamanan kesehatan dan perbaikan tingkat ekonomi pekerja.
5. Pemerintah Daerah wilayah Jakarta Timur perlu melakukan kerjasama dengan pengelola wilayah PIK dan para pemilik industri sepatu untuk membuat kebijakan terkait pajanan benzena ini.

### **7.2.2 Kepada Pengelola Wilayah PIK Pulogadung**

1. Membuat program penyuluhan kepada pemilik pabrik dan pekerja pabrik di wilayah PIK tentang pentingnya pengadaan dan penggunaan APD (Alat Pelindung Diri) untuk pemeliharaan tingkat kesehatan pekerja.
2. Untuk mengurangi asupan pajanan benzena, maka pengelola wilayah PIK disarankan untuk melakukan pengendalian administratif, antara lain dengan pengaturan jam kerja, waktu libur dan cuti.
3. Untuk mengurangi pajanan benzena terhadap para pekerja, maka perlu dilakukan penyuluhan, pembuatan peraturan dan imbauan untuk melakukan program berhenti merokok bagi para pekerja pabrik.

### **7.2.3 Kepada Pemilik Pabrik**

1. Melakukan pergantian secara bertahap terhadap lem yang digunakan menjadi lem yang aman bagi kesehatan pekerja.
2. Menambah jumlah ventilasi dalam bengkel, dan meletakkan sejumlah penyedot udara (*exhaust fan*) di titik-titik rawan yang banyak menggunakan lem perekat berpelarut benzena.

3. Melengkapi para pekerja dengan alat pelindung diri, seperti sarung tangan, menggunakan kuas untuk mengoleskan lem, dan masker berkarbon aktif yang dapat menyerap pelarut organik berbahaya yang terdapat di udara.
4. Mengatur jumlah jam kerja, waktu libur, dan waktu cuti bagi para pekerja.
5. Memberikan program pemberian makanan utama dan makanan tambahan kepada para pekerja.
6. Membuat ruangan yang terpisah dari ruang kerja untuk pekerja beristirahat dan melakukan aktivitas lain.

#### **7.2.4 Kepada Tenaga kerja**

1. Mengenakan alat bantu ketika mengelem, misal dengan menggunakan kuas dan tidak mengelem dengan tangan langsung.
2. Menutup lem sesegera mungkin setiap kali selesai dipakai.
3. Tidak melakukan pekerjaan lain seperti makan dan tidur didalam ruangan bengkel tempat mengelem.

#### **7.2.5 Untuk penelitian**

1. Dengan telah terdeteksinya pajanan benzena di udara lingkungan kerja dan di dalam tubuh pekerja bengkel sepatu, maka disarankan penelitian lanjutan untuk melihat efek pajanan pada sistem peredaran darah dengan memperhitungkan *whole blood count* para pekerja.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan cakupan kelompok risiko yang lebih luas, dengan memperhitungkan sumber pajanan benzena lainnya seperti rokok dan asap kendaraan.
3. Diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan skenario terbaik menurunkan tingkat risiko kesehatan dengan menggunakan sistem modelling.

## DAFTAR PUSTAKA

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007, *Toxicological Profile for Benzene*, U.S. Department of Public Health and Human Services

Abrianto, Harry. 2004, “*Analisis Risiko Pencemaran Partikel Debu Terhirup (PM<sub>10</sub>) Terhadap Siswa Selama Berada di Sekolah Dasar Negeri 1 Pondok Cina, kota Depok, Jawa Barat, 2004*”, Skripsi Universitas Indonesia

B POM RI.2001, *Aspek Fundamental Kajian dan Pengendalian Risiko Bahan Kimia. Direktorat Pengawasan Produk dan Bahan Berbahaya*, Deputi Bidang Pengawasan Keamanan Pangan dan Bahan Berbahaya, Jakarta

Chen, M., Chan, A. 1999, “*China’s “Market Economics in command” Footwear Workers Health in Jeopardy*”, *International Journal of Health Services*, Volume 29, Number 4, Pages 793–811, 1999. <http://footwearsinfothree.tripod.com> (2 April 2010)

Dor frederic, et.al. 1999, *Validity of Biomarkers in Environmental health Studies : the Case of PAH and Benzene*, *Critical Reviews in Toxicology*, Vol. 29, No.2, p. 129-168

EPA.1998, *Carcinogenic effects of benzenes (an update)*, U.S Environmental Protection Agency , <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/benzenef.pdf>

EPA.1990, *Exposure Factors Handbook*, U.S Environmental Protection Agency EPA 600/8-89/043

EPA.2002, *Toxicological review of benzene (non cancer effects) In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)*, October 2002, U.S. Environmental Protection Agency Washington

Forrest, M.S., Lan, Q., Hubbard, A.E., Zhang, L., 2005, *Discovery of Novel Biomarkers by Microarray Analysis of Peripheral Blood Mononuclear Cell Gene Expression in Benzene-Exposed Workers*, *Environmental Health Perspective Journal*, vol.113, no. 6

Hamilton, R.J, Phillips, S.D, McCluskey, G.J. 2003, *Occupational, Industrial, and Environmental Toxicology*, 2<sup>nd</sup>.ed., Mosby Inc, Pennsylvania

International Programme on Chemical Safety (IPCS). 2000, *Environmental Health Criteria 214 Human Exposure Assessment*, WHO, Geneva

IPCS. 2004, *IPCS Risk Assessment Terminology, Part 1: IPCS/OECD Key Generic Terms used in Chemical Hazard/Risk Assessment; Part 2: IPCS Glossary of Key Exposure Assessment Terminology*, Geneva: World Health Organization and Environmental Programme on Chemical Safety

International Programme on Chemical Safety (IPCS). 1993, *Environmental Health Criteria 150, Benzene*, WHO, Geneva

IRIS. 2007, *Benzene. Integrated Risk Information System*, Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iris/subst/index.html>. May 1, 2007.

ILO. 1983, *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*, 3<sup>rd</sup> edition, Volume 1, Geneva

James.R.C., Warren, D.A., Halmes, N.C., Roberts, S.M., 2000, *Principle of Toxicology : Environmental and Industrial Applications, Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc

Lin, Y.S., Vermeulen, R., Tsai, C.H., Waidyantana, S., 2007, “Albumin Adducts of Electrophilic benzene Metabolites in Benzene-Exposed and Control Workers”, *Environmental Health Perspective Journal*, Vol. 115, No. 1

Kolluru, R.V., Bartell, S.M., Pitblado, R.M., Stricoff, R.S. 1996, *Risk Assesment and Management Handbook*, McGraw-Hill Inc

Lemeshow, S. (1997), *Besar Sampel Dalam Penelitian Kesehatan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

Loh,M., Levy, J., Spengler, J.D., Houseman, E.A., Benneti, D.H., 2007, “Ranking Cancer Risk of Organic Hazardous Air Pollutants in The United States”, *Environmental Health Perspective Journal*, Vol.115, No. 8

Louvar, J.F., Louvar,B.D. 1998, *Health and Environmental Risk Analysis : Fundamentals with Aplication*, New jersey: Prentice Hall

Mahawati, Eni, Suhartono, Nurjazuli. 2006, “Hubungan Antara Kadar Fenol Dalam Urin Dengan Kadar Hb, Eritrosit, Trombosit Dan Leukosit (Studi Pada Tenaga Kerja Di Industri Karoseri CV Laksana Semarang)”, *J Kesehatan Lingkungan Indonesia* Vol. 5 No.1, April 2006

McBean,E.A., Rovers, F.A., 1998, *Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assesment*, Prentice Hall PTR

McCarthy, Michael C, Theresa E. O’Brien, Jessica G.Charrier, and Hillary R. Hafner, 2009, “Characterization of the Chronic Risk and Hazard of Hazardous Air Pollutants in the United States using Ambient Monitoring Data”, *Environmental health Perspectives Journal*, Vol. 117 No. 5, May 2009

Keputusan Menteri tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor Kep.102/MEN/2004 tentang Waktu Kerja Lembur dan Upah Kerja Lembur

NIOSH 1501. 2003, NIOSH Manual of Analytical Methods, <http://www.cdc.gov/niosh/pgms/worknotify/benzene>

Rahman,A, dkk .2004, *Analisis Kualitas Lingkungan*, Modul KML 22420, edisi 5, Laboratorium Kesehatan Lingkungan FKM UI, Depok

Rahman, A. 2007, *Public Health Assesment: Model Kajian Prediktif Dampak Lingkungan dan Aplikasinya untuk Manajemen Risiko Kesehatan*, Makalah Pertemuan Penguatan Jaringan Kerja Sama dan Kemitraan Program B/BTKL-PPM se Indonesia.

Rahman, A. 2009, *Prinsip-prinsip Dasar Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*. Modul Kuliah Kesehatan Lingkungan, FKM UI, Depok

Rahman A. 2010, *Prinsip-prinsip dasar dan metode analisis risiko kesehatan lingkungan*, Bahan ajar pelatihan teknis dan manajemen amdal bagi petugas kesehatan

Road map industri alas kaki, departemen perindustrian, direktorat jenderal industri logam, tekstil, dan aneka, 2007.

Rappaport, Stephen M, Sungkyoon Kim, Qing Lan, Roel Vermeulen, Suramya Waidyanatha, Louping Zhang, Gulain Li, Songnian Yin, Richard B. Hayes, Nathaniel Rothman, Martyn T.Smith. 2009,” *Evidence That Humans Metabolize Benzene via Two Pathways*”, *Environmental Health Perspective Journal*, Volume 117, Number 6

SNI 19-0232-2005, *Nilai Ambang Batas (NAB) zat kimia di udara tempat kerja*, ICS 13.040.30, BSN (Badan Standarisasi nasional)

Vlaanderen, J., Vermeulen,R., Heederik, D., Kroumhout, H., 2008, “*Guidelines to Evaluate Human Observational Studies for Quantitative Risk Assessment*”, *Environmental Health Perspective Journal*, Vol. 116, No.12

WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark. 2000, *Air Quality Guidelines- Second Edition*, Chapter 5.2 Benzene

Woodrow Setzer, Jr, R., Kimmel, C.A., 2003, *Use of NOAEL, Benchmark Dose, and Other Models for Human Risk Assessment of Hormonally Active Substances*, *Pure Appl. Chem.*, Vol. 75, No.11-12

[http://www.elsppat.or.id/download/file/PA\\_4.pdf](http://www.elsppat.or.id/download/file/PA_4.pdf). Kesehatan Pekerja Alas Kaki Ciomas.

<http://majalah.tempointeraktif.com/id/arsip/2002/11/11/KSH/mbm.20021111.KSH82408.id.html>. Euforia Berbahaya di Bengkel Sepatu. (3 April 2010)

<http://www.indonesia.com/mod.php?mod=publisher&op=viewarticle&cid=11&artid=4606>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>.

KOMPAS (Sabtu, 19 Februari 2005), di down load dari : [http://www.mudrajad.com/upload/newspaper\\_indonesia-persimpangan-jalan.pdf](http://www.mudrajad.com/upload/newspaper_indonesia-persimpangan-jalan.pdf)



## PENGANTAR

### BACAKAN/CERITAKAN KEPADA RESPONDEN TENTANG MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN INI

Ucapkan salam terlebih dahulu, lalu perkenalkan diri pewawancara. Selanjutnya ceritakan dengan bahasa sehari-hari bahwa maksud penelitian ini adalah untuk mengumpulkan data dan informasi mengenai kualitas udara lingkungan kerja salah satu bengkel sepatu di kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta Timur. Tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat resiko kesehatan akibat pajanan zat kimia di udara lingkungan kerja sehingga gangguan kesehatan dapat diminimalkan.

Dalam penelitian ini ketenangan dan waktu Bapak/Ibu/Sdr. responden mungkin akan terganggu karena kami akan menanyakan beberapa data antropometri, seperti berat badan dan laju asupan, pola aktivitas (lama pajanan dan frekuensi pajanan) serta karakteristik demografi (umur dan jenis kelamin). Kami mengharapkan kerjasama Bapak/Ibu/Sdr. responden untuk menjelaskan hal-hal yang kami butuhkan dengan sejujurnya dan serinci-rincinya. Penelitian ini Insya Allah bermanfaat bagi kita semua. Untuk itu kami menghaturkan terima kasih atas partisipasi responden.

Pewawancara

Responden

.....  
(Tanda tangan & nama jelas)

.....  
(Tanda tangan & nama jelas)

Universitas Indonesia



No. Responden :  
Nama Pewawancara :  
Tanggal Wawancara dan observasi : ...../...../2010 (tanggal/bulan/tahun)

**KUESIONER**  
**ANALISIS RESIKO KESEHATAN PAJANAN BENZENE**  
**PADA UDARA LINGKUNGAN KERJA BENGKEL SEPATU 'X'**  
**DI PERKAMPUNGAN INDUSTRI KECIL (PIK) PULOGADUNG JAKARTA TIMUR**  
**TAHUN 2010**

**A. KARAKTERISTIK RESPONDEN**

1. Nama :  
.....
2. Jenis kelamin\*) : Laki-laki/Perempuan
3. Status perkawinan : 1. Menikah  
2. Belum Menikah
4. Pendidikan terakhir :
  - a. Tidak/belum sekolah
  - b. Belum/tidak tamat SD
  - c. Sekolah Dasar
  - d. SMP
  - e. SMA
  - f. D3/S1 ke atas
5. Apa Anda tinggal di bengkel ini, atau tinggal di luar bengkel?
6. Apakah Anda merokok, kalau ya, berapa batang dalam sehari anda merokok? ..... batang
7. Apakah dalam dua minggu terakhir, Anda pernah mengalami gejala-gejala berikut ini?

Keluhan	Ya	Tidak
Sering merasa lelah		
Pusing		
Sakit kepala berat (sekeliling tampak berputar-putar)		
Susah tidur		

Mudah marah		
Sering lupa		
Kehilangan nafsu makan		
Keluhan	Ya	Tidak
Cepat haus		
Mata panas terasa seperti terbakar		
Telinga berdenging		
Mimisan		
Sering mual		
Sering muntah		
Sempoyongan		
Sering mulas/sakit perut		
Kulit iritasi		

#### B. KARAKTERISTIK ANTROPOMETRI

8. Umur : ..... tahun
9. Berat badan : ..... Kg (ditimbang di tempat)
10. Pola aktivitas :
  - a. Sejak kapan Anda mulai bekerja di bengkel sepatu ini?
  - b. Jam berapa Anda mulai bekerja dan pulang dari bengkel sepatu ini?
  - c. Dalam satu minggu, berapa hari Anda bekerja di bengkel sepatu 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?

11. Tuliskan pekerjaan/tugas yang Anda kerjakan di bengkel sehari-hari:  
(misalnya mengelem, menjahit, dll)?

.....

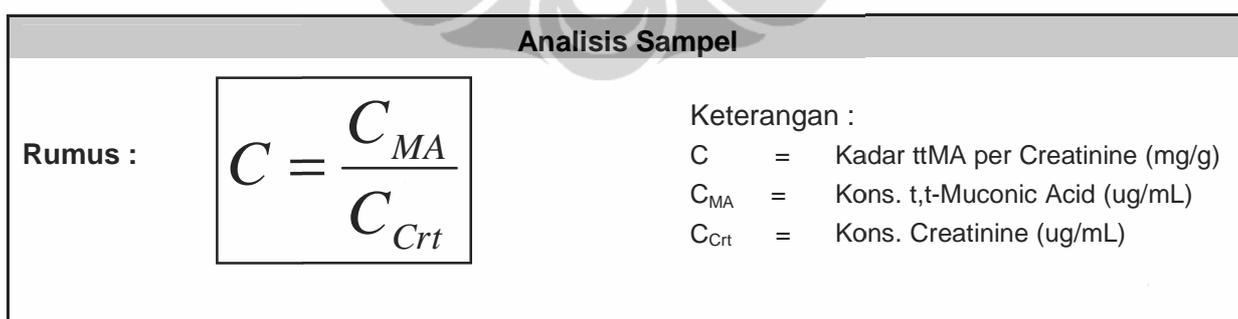
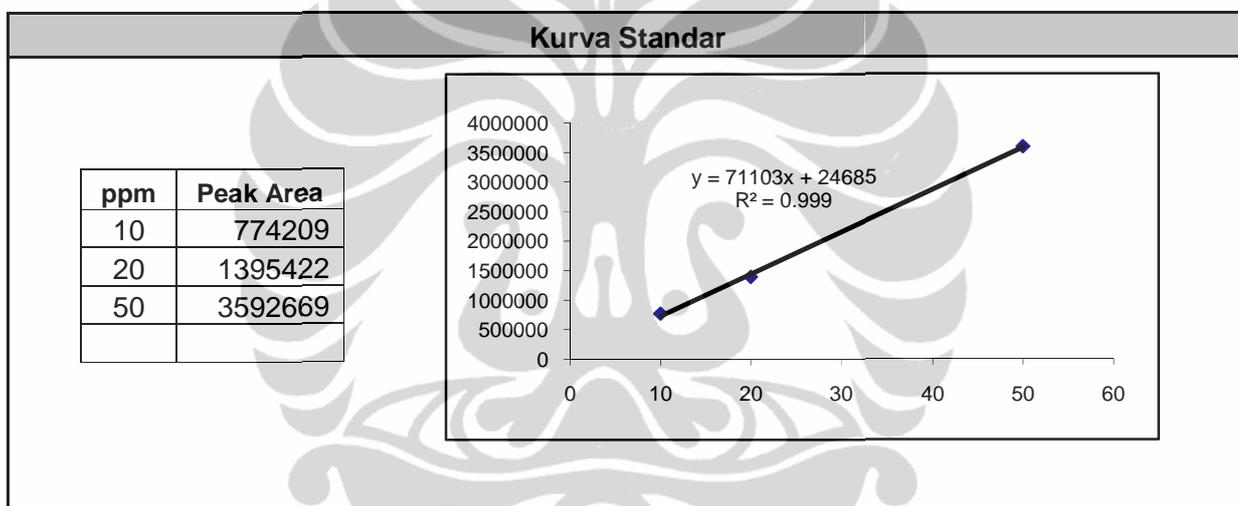
.....

.....

## Lembar Data Hasil Analisis HPLC

Instrumen : LC-20 Shimadzu

**Job No** : 173/V/010  
**Customer** : Ibu Yuni  
**Parameter** : t,t-Muconic Acid in Urine (per Creatinine)  
**Analisis** : Rasyid, Arya  
**Tgl Analisis** : 3/8/2010



No.	Sampel	Peak Area ttMA	C <sub>MA</sub>	C <sub>Crt</sub>	Conc	
			(µg/mL)	(µg/mL)	(µg ttMA/g Crtnne)	
1	Nursalim	2785643	116.49	2847	40921	
2	Ramadhan	1137363	46.95	874	53722	
3	Junaedi	1188377	49.10	1417	34662	
4	Khaidir	262093	10.02	1439	6963	
5	Dedi	4280749	179.57	3294	54514	
6	Edi	267618	10.25	418	24508	
7	Murchan	4515887	189.49	2784	68062	
8	Ishak	913167	37.49	1676	22361	
9	Romi	807307	33.02	1173	28152	
10	Jeni	719705	29.32	686	42750	
11	Ade Bagus	992551	40.84	2196	18593	
12	Yusuf	1225868	50.68	1692	29961	
13	Iwan	2339251	97.66	4456	21914	
14	Darsim	734611	29.95	3552	8432	
15	Dwi Wahyu	2260427	94.33	3238	29135	
16	Irwan	238438	9.02	1417	6365	
17	Anwar	548010	22.08	1666	13251	
18	Buyung Asdi	2070460	86.32	2901	29750	
19	Ricca Agus N	2006116	83.60	4506	18555	
20	Daniel	775342	31.67	5892	5376	
21	Ade R	1710710	71.14	2194	32420	
22	Masdi	472996	18.92	2638	7172	
23	Erwin	378576	14.93	3114	4795	
24	Agus M	1470028	60.98	2261	26968	
25	Agus Suhendi	2373808	99.11	3869	25621	
26	Rohman	819720	33.54	3564	9412	
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						

## KROMATOGRAM BENZENA

VARIAN 3400 GAS CHROMATOGRAPH  
 METHOD 2 RUN 3188  
 TIME 02:26 17 JUN 07  
 SAMPLE: BTX-9  
 RUN MODE: ANALYSIS  
 CALCULATION TYPE: PERCENT  
 BASELINE CORRECTED

PEAK NO.	PEAK NAME	TIME MIN	RESULT MG-L	AREA COUNTS
1		0.486	0.1146	1938
2		0.532	0.1793	3031
3		0.621	0.8891	13679
4		0.681	3.8207	64593
5		0.725	1.7757	30020
6		0.784	0.2561	4331
7		0.853	0.3824	6466
8		1.063	4.3781	74015
9	BENZEN	1.290	0.2682	4534
10		1.428	1.3918	23529
11		1.531	0.1007	1703
12		1.876	1.8467	31219
13	TOLUEN	2.457	83.8507	1417557
14		3.577	0.4212	7122
15		3.669	0.3327	5624
16	XYLEN	4.009	0.0711	1202

TOTALS: 100.0000 1690571

DETECTED PEAKS: 18 REJECTED PEAKS: 2  
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000  
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000  
 NOISE: 175.9 OFFSET: -4426

