

Analisis Risiko Paparan Benzena Terhadap Kesehatan Pekerja Bahan Kimia Di Perusahaan Minyak Dan Gas Bumi PT. A

Adji Swandito

D4K3, Fakultas Vokasi, Universitas Balikpapan, Balikpapan

E-mail : adji@uniba-bpn.ac.id

Abstrak

Benzena merupakan senyawa kimia yang berbahaya bagi kesehatan dan bersifat karsinogenik. Benzena mudah menguap dan terhirup oleh udara pernafasan. Penelitian ini dilakukan untuk memperkirakan tingkat risiko paparan Benzena dan melakukan evaluasi hubungan antara paparan tersebut dengan ketidaknormalan kadar darah para pekerja bahan kimia di perusahaan minyak dan gas bumi PT. A. Penelitian ini dilakukan terhadap seluruh pekerja bahan kimia yang berjumlah 22 orang dengan desain potong lintang. Kelompok pembanding berjumlah sama 22 orang. Pengumpulan data diperoleh dari hasil *workplace exposure monitoring record* dan *medical check-up* rutin tahun 2014, dilengkapi dengan data-data dari kuesioner dan wawancara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa populasi pekerja bahan kimia di PT. A berisiko terhadap paparan Benzena nonkarsinogenik ($RQ=1,7442$) dan karsinogenik ($ECR=1,76 \times 10^{-4}$) pada durasi paparan *lifetime*. Diketahui hubungan yang bermakna antara paparan Benzena terhadap normalitas kadar hemoglobin ($p=0,015$) dan eritrosit ($p=0,000$). Risiko ketidaknormalan kadar hemoglobin dan eritrosit berturut-turut pada populasi terpajan adalah 6,92 kali (95%CI: 1,28 – 37,29) dan 21,53 kali (95%CI: 4,46 – 103,90) dibandingkan populasi tidak terpajan. Selain itu juga diketahui hubungan yang signifikan antara kenaikan jumlah asupan Benzena terhadap penurunan kadar haemoglobin ($rs=-0,433$; $p=0,044$) dan eritrosit ($rs=-0,474$; $p=0,026$). Disimpulkan bahwa risiko kesehatan nonkarsinogenik dan karsinogenik akibat paparan Benzena pada populasi pekerja bahan kimia di perusahaan minyak dan gas PT. A akan terjadi pada durasi paparan *lifetime*. Terdapat hubungan antara paparan Benzena dengan ketidaknormalan hemoglobin dan eritrosit.

Risk Assessment of Benzene Exposure to the Health of Chemical Workers at Oil and Gas Company PT. A.

Abstract

Benzena is chemical substance which is dangerous to health and carcinogenic. Benzene is volatile and inhaled through breathing air. This study was conducted in order to estimate the level of risk exposure to Benzene and evaluate relationship between exposure and blood counts abnormality of chemical workers at oil and gas company PT. A. This study was conducted to 22 chemical workers which was total population with cross sectional design. The control group was 22 personnel. Data was obtained from workplace exposure monitoring record and medical check-up result which then was completed with questioner and interview. The study yield that the population of chemical workers in PT. A is at risk to Benzene non carcinogenic exposure ($RQ=1.7442$) and carcinogenic exposure ($ECR=1.76 \times 10^{-4}$) on the period of lifetime exposure. There is significant correlation between Benzene exposure with normality of haemoglobin counts ($p=0.015$) and erythrocyte counts ($p=0.000$). The risk of abnormality haemoglobin and erythrocyte counts at exposed population was 6,92 times (95%CI: 1,28 – 37,29) dan 21,53 times (95%CI: 4,46 – 103,90) respectively compared to the control. In addition, there is significant correlation between the increase in the intake of Benzene towards the reducing haemoglobin counts ($rs=-0,433$; $p=0,044$) dan eritrosit counts ($rs=-0,474$; $p=0,026$). In summary the health risk of non carcinogenic and carcinogenic due to Benzene exposure to the population of chemical workers in oil and gas company PT. A will occur at the period of lifetime exposure. There is correlation between Benzene exposure with abnormality of haemoglobin and erythrocyte counts.

Keywords : chemical workers; Benzene; non carcinogenic risk; carcinogenic risk; blood counts

Pendahuluan

Keselamatan dan kesehatan kerja sangat terkait erat dengan aspek-aspek legal, ekonomi, dan pemenuhan hak asasi manusia. Sehingga masalah ini menjadi bagian sangat penting dalam sistem operasi di perusahaan minyak dan gas bumi. Benzena merupakan senyawa kimia yang terkandung dalam minyak dan gas bumi, bersifat mudah menguap bercampur dengan udara lingkungan dan bisa terhirup oleh pernafasan. Paparan Benzena telah diketahui memiliki efek risiko kesehatan dan bersifat karsinogenik.

Paparan Benzena merupakan salah penyebab penyakit aplastik anemia. Insiden penyakit ini bervariasi antara 2 sampai 6 kasus tiap 1 juta populasi tergantung dari risiko okupasional, variasi geografis, dan pengaruh lingkungan (Abdulsalam & Isyanto, 2005). Menurut Aksoy (1991) paparan Benzena terhadap tubuh dapat mengakibatkan depresi pada sumsum tulang (*bone marrow*) sehingga menghambat proses produksi sel-sel darah sehingga timbul *anemia* (penurunan eritrosit), *leukopenia* (penurunan leukosit), dan *hrombocytopenia* (penurunan trombosit).

Pada penelitian yang dilakukan terhadap pekerja salah satu perusahaan minyak dan gas bumi di Kalimantan Timur menunjukkan risiko penurunan salah satu komponen darah pada kelompok terpajan sebesar 1,71 kali (95% CI:1,18-2,48) dibandingkan kontrol (Wiraagni, Dwiprahasto, & Ngatidjan, 2012). Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Haen and Oginawati (2012) serta Ramon (2007) mendapatkan korelasi antara konsentrasi paparan Benzena di udara lingkungan kerja terhadap profil darah pekerja.

Mempertimbangkan besarnya efek risiko kesehatan akibat paparan Benzena maka penilaian dan pengendalian risiko sangat diperlukan. Penilaian risiko meliputi identifikasi bahaya, penilaian paparan, penilaian dosis respon, serta karakterisasi risiko (Gerba, 2004). Pengendalian risiko dilakukan dengan pendekatan hirarki kontrol. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan penilaian risiko di kilang minyak (Edokpolo, Yu, & Connell, 2015) serta di lingkungan industri sepatu di Indonesia (Fatonah, 2010).

Hasil *workplace exposure monitoring record* oleh PT. A pada tahun 2014 menunjukkan konsentrasi Benzena di udara lingkungan melebihi nilai ambang batas sebesar 0,09-1,35 ppm di *onshore* serta 0-2,31 ppm di *offshore*. Sementara itu hasil *medical check-up* rutin setiap tahun belum sepenuhnya dimanfaatkan untuk mengetahui efek dari pajanan Benzena tersebut. Penelitian ini dilakukan berdasarkan kedua kondisi diatas, dengan tujuan untuk menjelaskan tingkat risiko pajanan Benzena dan menjelaskan hubungan pajanan Benzena tersebut dengan profil darah pekerja bahan kimia sebagai subyek penelitian.

Tinjauan Teoritis

Benzena, C₆H₆, merupakan hidrokarbon aromatik cair yang mudah menguap, tidak berwarna, dan mudah terbakar. Benzena merupakan bahan kimia *intermediate* untuk membuat banyak senyawa industri yang penting (Fruscella, 2002). Secara alami, Benzena terdapat di udara lingkungan yang berasal dari emisi gas gunung berapi, kebakaran hutan, asap rokok, uap minyak bumi, dan lain sebagainya (ATSDR, 2007).

Individu yang terpajan oleh Benzena secara kronis menurut Aksoy (1991) akan mendapatkan depresi pada sumsum tulang sehingga menimbulkan penurunan kadar eritrosit (*anemia*), penurunan kadar leukosit (*leukopenia*), dan/atau penurunan kadar trombosit (*thrombocytopenia*). Depresi terhadap semua ketiga elemen darah tersebut dikenal sebagai *pancytopenia*. Depresi secara simultan terhadap eritrosit, leukosit, dan trombosit didiagnosis sebagai *aplastic anemia* (U.S. EPA, 2002). Pajanan akut Benzena di tempat kerja bisa menyebabkan *narcosis*, sakit kepala, pening/pusing, mengantuk, kebingungan, tremors, dan kehilangan kesadaran. Pemakaian alkohol bisa meningkatkan efek toksik dari Benzena. Benzena menyebabkan iritasi sedang pada mata dan kulit (World Health Organization, 1993).

Menurut IARC Benzena termasuk dalam kategori grup 1 yaitu karsinogen pada manusia (*carcinogenic to humans*) (IARC, 1987). Nilai Ambang Batas (NAB) untuk Benzena menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER. 13/MEN/X/2011 Tahun 2011 adalah sebesar 0,5 ppm, sedangkan PSD (Paparasi Singkat Diperkenankan) adalah 2,5 ppm (Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi, 2011). Nilai *Threshold Limit Value* (TLV) Benzena yang diberikan oleh ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) adalah 0,5 ppm (TWA) dengan nilai *Short Exposure Limit* (STEL) sebesar 2,5 ppm.

Analisis konsentrasi Benzena diperlukan untuk mengetahui efek dan tingkat pajanan. Metabolit Benzena dalam urine merupakan biomarker paling sensitif untuk pajanan Benzena konsentrasi rendah. *American Conference Governmental Industrial Hygienists* (2010) menetapkan $25 \mu\text{g } S\text{-phenylmercapturic acid/g creatinine}$ dalam urine dan $500 \mu\text{g } trans,trans\text{-muconic acid/g creatinine}$ dalam urine sebagai indek pajanan biologis (*biological exposure indices*) untuk Benzena di tempat kerja. Test darah lengkap meliputi hemoglobin, hematokrit, eritrosit, leukosit, dan trombosit dapat dipergunakan sebagai *surveillance* dan deteksi dini hematotoksitas Benzena (ATSDR, 2007). Untuk penentuan konsentrasi atmosferis Benzena di tempat kerja, OSHA merekomendasikan prosedur meliputi pengambilan sampel uap menggunakan tabung adsorpsi charcoal, dilanjutkan dengan desorpsi diikuti analisis menggunakan GC/MS. Sementara itu NIOSH merekomendasikan untuk melakukan analisis sampel desorpsi dari charcoal menggunakan GC/FID (ATSDR, 2007).

Mempertimbangkan efek dan tingkat bahaya dari senyawa Benzena, maka perlu dilakukan penilaian risiko baik secara kualitatif maupun kuantitatif untuk menentukan tindakan pengendalian yang diperlukan. Menurut Gerba (2004) penilaian risiko merupakan proses estimasi kemungkinan suatu peristiwa akan terjadi dan kemungkinan dampak efek keparahan (ekonomi, keselamatan/kesehatan, atau ekologi) meliputi suatu periode waktu tertentu. Proses penilaian risiko meliputi empat langkah dasar yaitu identifikasi bahaya (*Hazard identification*), penilaian pajanan (*Exposure assessment*), penilaian dosis respon (*Dose respon assessment*), dan karakterisasi risiko (*Risk characterization*)

Identifikasi bahaya merupakan proses mengenal semua bahaya dari suatu bahan dengan potensinya untuk membahayakan individu atau lingkungan (Louvar & Louvar, 1998). Penilaian pajanan merupakan proses pengukuran atau estimasi intensitas, frekuensi, dan durasi manusia terpajan oleh lingkungan agen. Jalur pajanan (*exposure pathway*) merupakan jalur toksikan berpindah dari sumber/*source* ke penerima/*receptor* melalui perantara atau media lingkungan. Rute pajanan (*exposure route*) atau jalur intake (*intake pathway*) merupakan mekanisme terjadinya transfer, biasanya melalui inhalasi, ingesti, dan/atau kontak dermal (Gerba, 2004).

Dosis referensi untuk pajanan Benzena melalui inhalasi (udara) atau *reference concentration* (RfC) yang ditetapkan oleh IRIS (2014) sebesar $3 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$. Nilai RfC tersebut

merupakan hasil penelitian dari Rothman et al. (1996). Konversi nilai RfC kedalam satuan mg/kg/hari menggunakan nilai default U.S. EPA (1988) untuk berat badan (W_b) 70 kg dan laju inhalasi (R) $20 \text{ m}^3/\text{hari}$ sehingga didapatkan nilai $RfC = 0,0086 \text{ mg/kg/hari}$.

Toksisitas untuk efek-efek kanker (karsinogenik) dinyatakan sebagai *Cancer Slope Factor* (CSF). Nilai CSF untuk inhalasi dihitung dari nilai *Air Unit Risk* yang tersedia di IRIS (2014). *Air unit Risk* untuk Benzena adalah $2,2 \times 10^{-6}$ hingga $7,8 \times 10^{-6}$ pada konsentrasi Benzena $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. *Cancer Slope Factor* (CSF) inhalasi untuk Benzena diturunkan dari nilai *Air Unit Risk* menggunakan *Standard Default Factors* dari U.S. EPA (1991) dan formulasi dari U.S. EPA (1997) sehingga didapatkan nilai CSF minimum = $0,0077 \text{ mg/kg/day}$ dan CSF maksimum = $0,0273 \text{ mg/kg/hari}$.

Intake (asupan) merupakan jumlah toksikan yang diterima individu per-berat badan per hari (ATSDR, 2005; Louvar & Louvar, 1998). Dosis intake dihitung dengan persamaan (1) berikut ini:

$$= \text{_____} \quad (1)$$

Dengan :

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

C = Konsentrasi *risk agent* Benzena di udara (mg/m³)

R = Rate (laju) asupan (m³/jam)

t_E = Waktu pajanan/bekerja dalam sehari (jam/hari)

f_E = Frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

Dt = 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 untuk zat non karsinogenik, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogenik.

Menurut (ATSDR, 2005; Kolluru, 1996; Louvar & Louvar, 1998), untuk toksikan yang berpotensi menghasilkan efek non kanker maka rasio untuk penilaian kesehatan dinyatakan dengan *Risk Quotient* (RQ) dengan persamaan (2) berikut ini :

$$= \text{—————} \quad (2)$$

Dengan :

RQ = *Risk Quotient*

I_{nk} = *Intake/asupan non-karsinogenik, mg/kg/hari*

RfD atau RfC = *Dosis referensi*

Sementara itu untuk risiko kanker merupakan fungsi asupan/*intake* karsinogenik dan *Cancer Slope Factor* (CSF) atau *Unit Risk Factor* (URF). Risiko kanker dihitung dengan menggunakan persamaan (3) berikut ini (U.S. EPA, 2005) :

$$= \quad (3)$$

Dengan :

ECR = *Excess Cancer Risk* (Risiko Kanker)

I_k = Jumlah *intake* karsinogenik (sepanjang hayat, yaitu selama 70 tahun)

CSF = *Cancer Slope Factor (ingestion cancer risk)*

URF = *Unit Risk Factor (inhalation cancer risk)*

Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan desain potong lintang. Penelitian dilakukan di perusahaan minyak dan gas bumi PT. A pada periode Desember 2015 sampai dengan April 2016. Populasi penelitian adalah seluruh pekerja bahan kimia yang berjumlah 22 orang, dengan populasi pembanding dipilih 22 orang dari karyawan PT. A non operator dan teknisi. Data sekunder penelitian meliputi konsentrasi Benzena area dari hasil *workplace exposure monitoring record* rutin setiap tahun dan kadar darah dari hasil *medical check-up*. Sedangkan data primer meliputi antropometri pekerja dan pola pajanan, diperoleh dari hasil kuesioner serta wawancara.

Proses pengolahan data dimulai dari perhitungan nilai asupan Benzena baik untuk risiko non karsinogenik maupun karsinogenik menggunakan formulasi *intake* dari Louvar and Louvar

(1998). Untuk risiko non karsinogenik, hasil perhitungan intake kemudian dibandingkan dengan konsentrasi referensi (RfC) untuk mendapatkan nilai RQ (*risk quotient*). Jika nilai RQ lebih besar dari satu maka dinyatakan memiliki risiko non karsinogenik dan segera harus diambil tindakan. Sedangkan untuk risiko karsinogenik, diperhitungkan nilai *excess cancer risk* (ECR) yang merupakan perkalian antara *intake* karsinogenik dengan *cancer slope factor* (CSF). Risiko karsinogenik tidak bisa diterima (*unacceptable*) bila $10^{-6} < \text{ECR} < 10^{-4}$ (Rahman, 2007). Sementara itu untuk mengetahui hubungan antara pajanan Benzena dengan profil darah dilakukan uji statistik korelasi dan *chi square* yang disertai perhitungan *odds ratio*.

Hasil Penelitian

Perhitungan nilai asupan Benzena dilakukan pada populasi pekerja bahan kimia PT. A. Konsentrasi Benzena area diperoleh untuk setiap lokasi kerja meliputi fasilitas produksi A, C, D, dan E, serta fasilitas pengolahan B dan F. Pada setiap lokasi kerja terdapat seorang teknisi bahan kimia dengan jadwal kerja 14 hari kerja – 14 hari libur. Sedangkan pekerja lain meliputi manajer proyek, insinyur kimia, dan teknisi laboratorium bekerja di kantor dengan jadwal kunjungan lapangan secara teratur. Pola pajanan meliputi waktu, frekuensi, dan durasi pajanan dihitung berdasarkan hasil kuesioner. Antropometri pekerja meliputi berat badan diperoleh dari hasil kuesioner sedangkan laju inhalasi menggunakan nilai default dari U.S. EPA (1988) sebesar $20 \text{ m}^3/\text{hari}$. Pada penelitian ini nilai asupan Benzena dihitung untuk durasi pajanan *realtime*, tiga tahun, dan *lifetime*. Dosis referensi pajanan Benzena inhalasi (RfC) yang dipergunakan adalah $0,0086 \text{ mg/kg/hari}$ sedangkan nilai *cancer slope factor* (CSF) adalah $0,0077 \text{ mg/kg/hari}$. Kedua nilai tersebut diturunkan dari nilai standar yang tercantum di IRIS (2014).

Perhitungan nilai RQ dan ECR untuk populasi pekerja bahan kimia di perusahaan PT. A disajikan dalam tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Persentase Nilai RQ Berdasarkan Pajanan Realtime, Tiga Tahun, dan Lifetime

Pajanan	Risk Quotient (RQ)	Excess Cancer Risk (ECR)
Realtime	0,1087	$1,09 \times 10^{-5}$
Tiga Tahun	0,1744	$1,76 \times 10^{-5}$
Lifetime	1,7442	$1,76 \times 10^{-4}$

Analisis hubungan status pajanan, status merokok dan indek masa tubuh terhadap kadar hemoglobin, eritrosit, leukosit, dan trombosit dilakukan dengan menggunakan data kategori melalui uji *chi square* dan perhitungan odds ratio. Hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini :

Table 2. Hubungan Status Pajanan, Status Merokok, Indek Masa Tubuh terhadap Kadar Darah

Variabel Bebas	Variabel Terikat	p-value	OR	95% CI
Status Pajanan	Hemoglobin	0,015	6,923	1,285 – 37,287
	Eritrosit	0,000	21,533	4,463 – 103,900
	Leukosit	1,000	2,100	0,176 – 25,010
	Trombosit	0,488	0,304	0,029 – 3,157
Status Merokok	Hemoglobin	0,093	3,500	0,841 – 14,565
	Eritrosit	0,083	2,968	0,854 – 10,312
	Leukosit	0,558	3,125	0,261 – 37,358
	Trombosit	0,505	0,439	0,042 – 4,555
Indek Masa Tubuh	Hemoglobin	1,000	1,000	0,242 – 4,131
	Eritrosit	0,864	0,897	0,261 – 3,088
	Leukosit	0,290	0,382	0,039 – 3,719
	Trombosit	0,526	0,529	0,051 – 5,513

Analisis hubungan antara jumlah asupan Benzena realtime terhadap kadar hemoglobin, eritrosit, leukosit, serta trombosit menggunakan uji korelasi spearman setelah diketahui salah satu parameter terdistribusi tidak normal. Hasil analisis disajikan pada tabel 2 berikut ini :

Tabel 3. Korelasi Asupan Benzena dengan Kadar Darah

Variabel Bebas	Variabel Terikat	Korelasi	p value
Asupan Benzena	Hemoglobin	- 0,433	0,044
	Eritrosit	- 0,474	0,026
	Leukosit	- 0,348	0,112
	Trombosit	- 0,078	0,730

Pembahasan

Pada proses produksi dan pengolahan minyak dan gas bumi terjadi mekanisme pelepasan senyawa-senyawa ringan penyusun minyak dan gas bumi termasuk Benzena ke udara lingkungan. Pelepasan senyawa ringan ini terjadi pada peralatan produksi dan pengolahan yang bersifat terbuka (*open system*), misalnya API separator, CPI, IGF, dan lain-lain. Selain itu juga terdapat aktifitas operasi yang memberikan peluang terjadinya pelepasan senyawa ringan tersebut ke udara, seperti misalnya pengambilan sampel, analisis sampel di laboratorium, dan lain-lain.

Konsentrasi Benzena di udara pada masing-masing fasilitas produksi dan pengolahan PT. A cukup bervariasi sesuai dengan jenis peralatan dan aktifitas operasi yang dijalankan. Menurut hasil *workplace exposure monitoring record* 2014 ditemukan konsentrasi Benzena di udara melebihi ambang batas 0,5 ppm (American Conference Governmental Industrial Hygienists, 2010; Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi, 2011) pada fasilitas pengolahan B sebesar 1,35 ppm dan fasilitas produksi C sebesar 2,31 ppm di area peralatan yang sama yaitu Wemco.

Subyek penelitian terdiri dari 44 responden, terbagi menjadi kelompok terpajan terdiri dari 22 orang pekerja bahan kimia, dan kelompok tidak terpajan terdiri dari 22 orang karyawan PT. A. Kelompok tidak terpajan dipilih dengan mempertimbangkan kesamaan karakteristik responden dengan kelompok tidak terpajan. Kelompok tidak terpajan merupakan karyawan PT. A yang memiliki posisi jabatan non teknis sehingga dipastikan tidak terpajan oleh uap Benzena di lapangan.

Pada masing-masing kelompok terdapat satu orang responden wanita. Usia responden rata-rata untuk kelompok terpajan adalah 34 tahun dengan rentang usia 23–50 tahun. Sedangkan untuk kelompok tidak terpajan memiliki usia rata-rata 36 tahun dengan rentang usia 24-52 tahun. Sehingga dari segi usia kedua kelompok ini relatif sama. Berat badan responden rata-rata untuk kelompok terpajan adalah 66 kg dengan rentang berat badan 53-84 kg. Sedangkan untuk kelompok tidak terpajan memiliki berat badan rata-rata 69 kg dengan rentang 50-91 kg. Untuk tinggi badan responden rata-rata untuk kelompok terpajan adalah 168 cm dengan rentang 152-180 cm. Sedangkan untuk kelompok tidak terpajan memiliki tinggi badan rata-rata 169 cm dengan rentang 150-185 cm.

Sebanyak 45,5 % responden dari kelompok terpajan berstatus merokok, sedangkan pada kelompok tidak terpajan sebanyak 36,4% berstatus merokok. Indek masa tubuh (IMT) merupakan indikator status gizi. Sebanyak 27,3% responden dari kelompok terpajan mempunyai IMT tidak normal, sedangkan untuk kelompok tidak terpajan sebanyak 45,5% berstatus IMT tidak normal.

Lama pajanan (t_E) pada penelitian ini diperhitungkan sebagai jam kerja efektif dengan mereduksi 12 jam kerja normal setiap responden dengan alokasi waktu untuk aktifitas-aktifitas non-teknis seperti misalnya *tool box meeting*, pengurusan *permit* kerja, *coffee time*, dan makan siang. Berdasarkan hasil analisis data responden diperoleh informasi lama pajanan rata-rata responden adalah 8,9 jam/hari, dengan lama pajanan terendah 6.5 jam/hari dan lama pajanan terlama 10,2 jam/hari. Lama pajanan terlama ini dialami oleh responden 7 dengan posisi teknisi lapangan di fasilitas produksi C dimana hasil pengukuran konsentrasi Benzena di udara melebihi ambang batas normal sebesar 2,31 ppm atau setara dengan 7,36 mg/m³.

Frekuensi pajanan adalah jumlah hari dalam satu tahun responden terpajan oleh sumber pajanan dalam hal ini Benzena. Berdasarkan hasil analisis diperoleh informasi frekuensi pajanan rata-rata responden adalah 142 hari/tahun, dengan frekuensi pajanan terendah 10 hari/tahun dan frekuensi pajanan terlama 182 hari/tahun. Insinyur kimia, pekerja laboratorium, dan manajer proyek bekerja di kantor tetapi memiliki jadwal bekerja lapangan sesuai kebutuhan operasi, sehingga frekuensi pajanan responden dengan posisi tersebut relatif lebih rendah dibandingkan dengan pekerja lapangan.

Durasi pajanan dalam penelitian ini merupakan jumlah tahun responden telah bekerja di fasilitas produksi atau pengolahan PT. A. Perhitungan durasi pajanan dalam penelitian ini erat kaitannya dengan masa kontrak yang sedang berjalan karena responden bekerja berdasarkan klausul kontrak. Beberapa responden memiliki durasi pajanan lebih pendek karena baru bekerja setelah masa kontrak telah berjalan. Rata-rata responden memiliki durasi pajanan 1,8 tahun, dengan durasi pajanan terpendek 0,7 tahun dan durasi pajanan terpanjang 2 tahun.

Analisis risiko kesehatan merupakan prakiraan risiko kesehatan pada suatu populasi atau individu setelah terpajan oleh agent tertentu, dengan memperhatikan karakteristik masing-masing. Karakteristik risiko kesehatan untuk efek non kanker dinyatakan sebagai *Risk*

Quotient (RQ). Hasil perhitungan tingkat risiko non-kanker tiap individu pada saat dilakukan penelitian ini (*realtime*) didapatkan sebanyak 2 orang responden (9%) dengan nilai $RQ > 1$, masuk dalam kategori berisiko. Kedua responden tersebut merupakan teknisi lapangan di fasilitas produksi C dimana konsentrasi Benzena di udara pada lokasi ini melebihi ambang batas. Perhitungan estimasi risiko untuk durasi pajanan 3 tahun diperoleh data sebanyak 4 orang responden (18%) dengan nilai $RQ > 1$. Estimasi risiko untuk durasi pajanan 3 tahun berguna untuk memperkirakan risikopajanan Benzena ketika masa kontrak berakhir. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa masa kontrak penyediaan bahan kimia berikut para pekerja bahan kimia adalah 3 tahun. Sementara itu perhitungan estimasi risiko untuk durasi pajanan sepanjang hayat (*lifetime*) mendapatkan sebanyak 16 orang responden (73%) dengan nilai $RQ > 1$. Semakin lama durasi pajanan maka risiko kesehatan non kanker yang didapatkan semakin besar. Jika responden telah memiliki pengalaman kerja sebelumnya pada bidang yang sama, maka kemungkinan risiko yang didapatkan lebih besar. Hal ini terkait dengan jumlah asupan (*intake*) Benzena yang bersifat akumulatif.

Karakteristik risiko kesehatan untuk efek kanker dinyatakan sebagai *Excess Cancer Risk* (ECR) merupakan probabilitas timbulnya efek kanker dalam durasi pajanan tertentu. Secara teoritis karsinogenitas tidak memiliki *threshold*, sehingga risiko dinyatakan bisa diterima (*acceptable*) atau tidak (*unacceptable*) berdasarkan nilai probabilitas munculnya efek kanker. Pada penelitian ini batasan yang dipergunakan adalah satu kasus kanker per sepuluh ribu orang (1×10^{-4} atau 1E-04) sesuai dengan hasil penelitian Chan, Shie, Chang, and Tsai (2006) mengenai nilai umum tingkat risiko kanker untuk lingkungan kerja dalam 45 tahun waktu kerja (Hassim & Hurme, 2010). Kisaran ECR yang dapat diterima (*acceptable*) menurut EPA adalah 1×10^{-6} dan 1×10^{-4} . ECR dibawah 1×10^{-6} terlalu kecil sehingga dapat diabaikan, sehingga yang menjadi perhatian adalah ECR diatas 1×10^{-4} . Berdasarkan perhitungan risiko kanker tiap individu pada saat dilakukan penelitian (*lifetime*) menunjukkan sebanyak 2 orang responden (9%) menghasilkan risiko yang tidak bisa diterima (*unacceptable*). Estimasi risiko untuk durasi pajanan 3 tahun didapatkan sebanyak 4 orang (18%) menghasilkan risiko yang *unacceptable*, sedangkan untuk durasi pajanan sepanjang hayat (*lifetime*) menunjukkan sebanyak 16 orang (73%) menghasilkan risiko *unacceptable*. Semakin bertambahnya durasi pajanan maka semakin banyak pekerja bahan kimia yang berada pada tingkatan risiko kanker yang tidak bisa diterima (*unacceptable*).

Untuk estimasi risiko kesehatan populasi pekerja bahan kimia di perusahaan minyak dan gas bumi PT. A didapatkan bahwa risiko non kanker dan kanker terjadi pada durasi pajanan *lifetime*. Pada durasi pajanan *lifetime* didapatkan $RQ = 1,74$ ($RQ > 1$) serta $ECR = 1,76 \times 10^{-4}$ ($ECR > 1 \times 10^{-4}$). Meskipun demikian perlu diperhatikan hasil estimasi risiko untuk setiap individu bahwa pada beberapa pekerja sudah berisiko pada durasi pajanan *realtime*, terutama pekerja yang ditempatkan pada fasilitas produksi dan pengolahan dengan tingkat konsentrasi Benzena di udara melebihi ambang batas.

Penelitian mengenai hubungan status pajanan terhadap profil darah dilakukan terhadap 44 responden yang terdiri dari 22 orang pekerja bahan kimia sebagai kelompok terpajan dan 22 orang karyawan PT. A sebagai kelompok tidak terpajan. Pada penelitian ini hanya empat elemen darah yang diamati yaitu kadar hemoglobin, eritrosit, leukosit, dan trombosit. Hal ini sesuai dengan penjelasan diawal bahwa pajanan Benzena dapat mengakibatkan *anemia* (penurunan eritrosit), *leukopenia* (penurunan leukosit) dan *thrombocytopenia* (penurunan trombosit) (Aksoy, 1991). Sedangkan hemoglobin merupakan komponen penting dalam eritrosit sehingga termasuk elemen darah yang diamati dalam penelitian ini.

Berdasarkan hasil analisis statistik menggunakan uji *chi square*, diketahui bahwa terdapat hubungan yang bermakna antara status pajanan dengan normalitas kadar darah pada variabel hemoglobin dan eritrosit ($p < 0,05$). Risiko ketidaknormalan kadar hemoglobin akibat pajanan Benzena pada kelompok terpajan adalah 6,92 (95%CI: 1,28 – 37,29) kali dibandingkan dengan kelompok tidak terpajan. Sedangkan risiko ketidaknormalan kadar eritrosit akibat pajanan Benzena pada kelompok terpajan adalah 21,53 (95%CI: 4,46 – 103,90) kali dibandingkan dengan kelompok tidak terpajan.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Haen and Oginawati (2012) mendapatkan hubungan yang signifikan ($p < 0,05$) antara konsentrasi Benzena pada *breathing zone* dengan jumlah hemoglobin, eritrosit, dan eosinofil pada pekerja di kawasan industri sepatu. Sedangkan penelitian lain yang dilakukan oleh Ramon (2007) ditemukan bahwa kadar Benzena OVM (*organic vapour measurement*) pada udara lingkungan berpotensi berpengaruh terhadap kadar hemoglobin ($p = 0,000$; OR=11,51), eritrosit ($p = 0,008$; OR=5,24), dan MCH ($p = 0,001$; OR=0,13) pada pekerja industri pengolahan minyak bumi. Wiraagni et al. (2012) melalui penelitian terhadap pekerja di sebuah perusahaan minyak dan gas bumi di Kalimantan Timur mendapatkan pekerja yang terpajan Benzena berisiko mengalami penurunan salah satu

komponen darah yaitu hemoglobin, eritrosit, trombosit, dan lekosit 1,71 kali (95% CI:1,18-2,48) dibandingkan kontrol meskipun degradasi masih dalam kisaran normal. Secara umum hasil penelitian sebelumnya diatas sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan bahwa pajanan Benzena berpengaruh terhadap kadar darah . Keterbatasan pada penelitian ini adalah menggunakan data konsentrasi Benzena OVM area, sementara pada penelitian lain menggunakan konsentrasi Benzene OVM personal.

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis hubungan status merokok dan indek masa tubuh terhadap profil darah untuk mengetahui kemungkinan adanya faktor lain yang mempengaruhi ketidaknormalan kadar darah selain faktor pajanan Benzena. Asap rokok telah diketahui sebagai salah satu sumber pajanan Benzena (Darrall, Figgins, & Brown, 1998) sedangkan indek masa tubuh merupakan indikator status/asupan gizi yang berpengaruh terhadap pembentukan sel-sel darah (Hoffbrand, Moss, & Petit, 2006). Berdasarkan hasil analisis statistik menggunakan uji *chi square*, diketahui bahwa tidak terdapat hubungan yang bermakna baik untuk status merokok maupun indek masa tubuh terhadap normalitas kadar darah pada semua variabel ($p > 0,005$).

Sementara itu untuk mengetahui hubungan jumlah asupan Benzena terhadap kadar darah pekerja dilakukan terhadap 22 responden dari kelompok terpajan saja yaitu para pekerja bahan kimia. Berdasarkan hasil analisis statistik menggunakan uji korelasi didapatkan hubungan yang signifikan antara jumlah asupan Benzena dengan kadar darah pada variabel hemoglobin dan eritrosit ($p > 0,05$). Tingkat korelasi asupan Benzena kanker maupun non kanker terhadap kadar hemoglobin masuk dalam kategori sedang dan arah negatif ($r_s = -0,433$). Sedangkan tingkat korelasi asupan Benzena kanker maupun non kanker terhadap eritrosit juga masuk dalam kategori sedang dan arah negatif ($r_s = -0,474$). Arah korelasi negatif memberikan informasi bahwa semakin besar jumlah asupan Benzena maka kadar haemoglobin dan eritrosit semakin turun.

Sebagaimana diketahui bahwa pajanan kronis Benzena diketahui dapat menyebabkan anemia aplastik (World Health Organization, 1993). Pajanan Benzena merupakan salah satu penyebab sekunder terjadinya anemia aplastik (Hoffbrand et al., 2006). Efek toksik Benzena terjadi pada sumsum tulang (*bone marrow*) disebabkan oleh hasil metabolismenya berupa *cathecol* dan *hydroquinone* yang terakumulasi pada sumsum tulang (Smith, Yager, Steinmetz, & Eastmond, 1989). Diagnosis anemia aplastik ditegakkan berdasarkan keadaan *pancytopenia*

yang ditandai oleh anemia (penurunan kadar eritrosit), leukopenia (penurunan kadar leukosit) dan trombositopenia (penurunan kadar trombosit). Anemia aplastik dapat berkembang menjadi kematian jika tidak dilakukan pengobatan karena sifatnya yang progresif (Abdulsalam & Isyanto, 2005).

Berdasarkan hasil penelitian diatas dapat diketahui pengaruh pajanan Benzena di udara lingkungan kerja PT. A terhadap sistem hematologi para pekerja bahan kimia. Dari empat variabel darah yang diteliti, ditemukan kelainan kadar eritrosit dan hemoglobin pada pekerja bahan kimia dalam kaitannya dengan pajanan Benzena di lapangan. Hal ini diduga merupakan indikasi awal timbulnya penyakit aplastik anemia.

Untuk memperkuat hasil penelitian ini, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap dosis internal melalui pengukuran konsentrasi metabolit Benzene seperti misalnya *trans trans muconic acid* atau *s-phenyl-mercaptopuric acid*. Hal ini perlu dilakukan karena pada dasarnya metabolisme Benzena merupakan faktor utama timbulnya efek toksik Benzena serta adanya faktor eliminasi pada proses disposisi Benzena ke dalam tubuh manusia.

Pengendalian risiko adalah usaha untuk mengatur jumlah asupan tidak menimbulkan risiko kesehatan atau melebihi batas risiko yang diperbolehkan. Pada dasarnya ada dua cara yang bisa dilakukan untuk meminimalkan jumlah asupan yaitu menurunkan konsentrasi *risk agent* dan mengurangi waktu pajanan.

Jumlah asupan non kanker yang aman dapat dihitung dengan asumsi menyamakan I_{nk} dengan RfC, yaitu sebesar 0,0086 mg/kg/hari. Sehingga dapat ditentukan konsentrasi Benzena, frekuensi pajanan, dan waktu pajanan yang aman bagi kesehatan. Berdasarkan hasil perhitungan konsentrasi Benzena yang aman adalah 0,163 mg/m³, sementara itu konsentrasi Benzena aktual di lapangan adalah 0,29 mg/m³, sehingga dibutuhkan usaha untuk menurunkan konsentrasi Benzena di udara lingkungan kerja sebesar 43,8 %. Hasil perhitungan frekuensi pajanan yang aman adalah 95,2 hari/tahun, frekuensi pajanan aktual untuk populasi adalah 168,5 hari/tahun, sehingga frekuensi pajanan perlu dikurangi sebanyak 73 hari/tahun. Hasil perhitungan waktu pajanan yang aman adalah 5 jam, waktu pajanan aktual untuk populasi adalah 8,93 jam, sehingga waktu pajanan perlu dikurangi 3,93 jam.

Jumlah asupan kanker yang aman dapat dihitung dengan asumsi bahwa ECR adalah 1×10^{-4} (*acceptable risk level*). Dengan CSF sebesar $0,0273 \text{ (mg/kg/hari)}^{-1}$, maka nilai asupan kanker yang diperbolehkan adalah sebesar $3,66 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}$. Berdasarkan hasil perhitungan nilai asupan kanker yang diperbolehkan tersebut, maka dapat ditentukan konsentrasi Benzena, frekuensi pajanan dan waktu pajanan yang aman bagi kesehatan. Hasil perhitungan untuk efek kanker relatif sama dengan hasil perhitungan untuk efek non kanker. Perhitungan konsentrasi Benzena yang aman adalah $0,163 \text{ mg/m}^3$, pengukuran konsentrasi Benzena pada lingkungan kerja untuk populasi terpajan adalah $0,29 \text{ mg/m}^3$, sehingga dibutuhkan usaha untuk menurunkan konsentrasi Benzena di udara lingkungan kerja sebesar 43,8 %. Hasil perhitungan frekuensi pajanan yang aman adalah 94,5 hari/tahun, frekuensi pajanan aktual untuk populasi adalah 168,5 hari/tahun, sehingga frekuensi pajanan perlu dikurangi sebanyak 74 hari/tahun. Hasil perhitungan waktu pajanan yang aman adalah 5 jam, waktu pajanan aktual untuk populasi adalah 8,93 jam, sehingga waktu pajanan perlu dikurangi 3,93 jam.

Langkah lebih lanjut dari hasil karakterisasi resiko adalah manajemen resiko, salah satunya melalui pendekatan hirarki kontrol yang meliputi eliminasi, substitusi, engineering, administrasi dan alat pelindung diri. Hasil simulasi perhitungan konsentrasi Benzena, frekuensi pajanan, dan waktu pajanan yang aman dapat dijadikan acuan untuk penerapan manajemen risiko.

Pengendalian risiko secara *engineering* adalah dengan membatasi pelepasan uap Benzena pada peralatan dengan sistem terbuka. Secara umum terdapat dua peralatan yang menjadi perhatian yaitu Wemco dan API Separator. Pemasangan penutup (*closure*) pada kedua peralatan tersebut menjadi pilihan yang tepat untuk mengurangi pelepasan uap Benzena ke udara bebas. Sebagai tindak lanjut dari rekomendasi ini diperlukan diskusi dengan pihak engineering untuk mempertimbangkan aspek-aspek teknis.

Secara administratif direkomendasikan untuk dilakukan pengaturan jadwal kerja dan evaluasi medis berkala. Pengaturan jadwal kerja dapat mengurangi frekuensi dan waktu pajanan pada konsentrasi Benzena yang tinggi. Evaluasi medis terutama pemeriksaan kadar darah secara berkala diharapkan dapat mendeteksi gejala efek kesehatan yang muncul akibat pajanan Benzena. OSHA merekomendasikan untuk melakukan pemeriksaan darah setiap bulan dan memindahkan pekerja dari lokasi dengan pajanan Benzena tinggi jika terindikasi kadar leukosit dibawah $4,000/\text{mm}^3$ atau kadar eritrosit dibawah $4,000,000/\text{mm}^3$. (IPCS, 1999).

PT. A telah menetapkan kebijakan pemakaian alat pelindung diri/masker khusus uap organik (*organic vapour*) sesuai dengan standar NIOSH Title 42 CFR 84-1995 untuk setiap pekerja yang berada di area pajanan. Kesadaran dan konsistensi para pekerja bahan kimia untuk selalu menggunakan masker selama bekerja perlu ditingkatkan untuk mencegah asupan Benzena ke dalam tubuh. *Cartridge* filter secara teratur harus di periksa untuk mendapatkan penggantian yang baru jika sudah tidak memenuhi syarat.

Pada penelitian ini terdapat beberapa keterbatasan yang masih perlu disempurnakan lebih lanjut pada penelitian berikutnya. Pengukuran Benzena pada penelitian ini dilakukan pada udara ambient, bukan pada *breathing zone* masing-masing individu. Metode kajian ARKL untuk pajanan inhalasi sebenarnya cukup menggunakan konsentrasi risk agent dalam media lingkungan, namun terkait dengan hubungan kelainan kadar darah lebih akurat menggunakan pengukuran *breathing zone*. Penelitian ini juga tidak melibatkan pengukuran *Biological Exposure Indices* yang biasanya berupa pengukuran konsentrasi metabolit Benzena berupa *S-phenylmercapturic acid* atau *trans,trans-muconic acid* dalam urine untuk mengetahui faktor eliminasi. Keterbatasan lain adalah penelitian ini hanya mengamati empat variabel darah yaitu hemoglobin, eritrosit, leukosit, dan trombosit, dari beberapa variabel darah yang dianalisa pada saat *medical check up*. Pada pemilihan kelompok pembanding juga tidak memperhitungkan pengalaman kerja responden sebelumnya.

Keseimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa besarnya asupan/*intake* Benzena non karsinogenik melalui inhalasi pada populasi pekerja bahan kimia di PT. A pada durasi pajanan *realtime*, 3 tahun, dan *lifetime* berturut-turut sebesar $9,35 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari; $1,5 \times 10^{-3}$; dan $1,5 \times 10^{-2}$ mg/kg/hari. Sedangkan asupan Benzena karsinogenik berturut-turut sebesar $4,01 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari; $6,46 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari; dan $6,46 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari.

Hasil estimasi resiko lebih lanjut berdasarkan nilai asupan Benzena diatas mendapatkan kesimpulan bahwa pajanan Benzena *lifetime* sangat berisiko pada populasi pekerja bahan kimia di PT. A karena *Risk Quotient* jauh diatas 1 (RQ=1,7442) dan *Excess Cancer Risk* lebih besar daripada 10^{-4} (ECR=1,76 x 10^{-4}). Meskipun demikian pada perhitungan risiko untuk setiap individu terdapat 9,1% pekerja sudah berisiko pada durasi pajanan *realtime*.

Hasil evaluasi hubungan pajanan Benzena terhadap profil darah mendapatkan kesimpulan bahwa terdapat hubungan yang bermakna antara pajanan Benzena terhadap normalitas kadar hemoglobin ($p=0,015$) dan eritrosit ($p=0,000$). Risiko ketidaknormalan kadar hemoglobin pada populasi terpajan adalah 6,92 kali (95%CI: 1,28 – 37,29) dibandingkan populasi tidak terpajan. Risiko ketidaknormalan kadar eritrosit pada populasi terpajan adalah 21,53 kali (95%CI: 4,46 – 103,90) dibandingkan populasi tidak terpajan. Pada analisis analisis lebih lanjut didapatkan hubungan yang signifikan antara kenaikan jumlah asupan Benzena terhadap penurunan kadar hemoglobin ($rs=-0,433$; $p=0,044$) dan eritrosit ($rs=-0,474$; $p=0,026$).

Berdasarkan hasil kesimpulan penelitian diatas maka perlu dilakukan tindakan koreksi untuk mencegah tingkat keparahan lebih lanjut akibat pajanan Benzena terhadap kesehatan para pekerja bahan kimia di perusahaan minyak dan gas bumi PT. A. Saran bagi perusahaan adalah pemasangan penutup (closure) pada peralatan dengan sistem terbuka untuk mengurangi pelepasan uap Benzena ke udara lingkungan, meningkatkan program promosi kesehatan mengenai pentingnya penggunaan masker ketika bekerja di area pajanan Benzena, mengembangkan persyaratan *medical check up* dengan melibatkan parameter sesuai dengan pajanan, seperti misalnya menambahkan pengukuran *S-phenylmercapturic acid* atau *trans,trans-muconic acid* dalam pemeriksaan urine.

Untuk kontraktor disarankan mengembangkan program *surveillance* hasil test darah lengkap setiap pekerja untuk mendeteksi kelainan darah akibat pajanan Benzena, melakukan pemeriksaan dan pergantian masker beserta cartridge filter secara teratur, dan melakukan rotasi pekerja untuk menghindari pajanan kronis Benzena.

Para pekerja disarankan untuk berusaha seminimal mungkin di area sumber pajanan, memahami keluhan kesehatan yang muncul, dan selalu memakai masker ketika bekerja di area pajanan Benzena dan rajin untuk memeriksa kondisi masker serta cartridge filter.

Penelitian lebih lanjut mengenai risiko pajanan Benzena ini masih diperlukan dengan melibatkan pengukuran *Biological Exposure Indices* serta pengukuran pengukur Benzena pada *breathing zone* untuk membandingkan dosis eksternal dengan internal dan mengetahui faktor eliminasi. Selain itu juga perlu dipertimbangkan untuk melakukan *dispersion modeling* sehingga bisa diketahui distribusi konsentrasi Benzena dalam suatu area kerja.

Daftar Referensi

- Abdulsalam, M., & Isyanto. (2005). Masalah pada Tata Laksana Anemia Aplastik Didapat. *Sari Pediatri*, 7(1), 26 - 33.
- Aksoy, M. (1991). Hematotoxicity, leukemogenicity and carcinogenicity of chronic exposure to benzene. In E. Arinc, J. B. Chenkman & E. Hodgson (Eds.), *Molecular aspects of monooxygenases and bioactivation of toxic compounds* (pp. 415-434). New York: Plenum Press.
- American Conference Governmental Industrial Hygienists, A. (2010). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, Ohio, U.S.
- ATSDR. (2005). Public Health Assessment Guidance Manual. Atlanta, Georgia: US Department of Health and Human Services.
- ATSDR. (2007). Toxicological profiles for Benzene. Atlanta, Georgia, U.S.A.: U.S. Department of Health and Human Services.
- Chan, C.-C., Shie, R.-H., Chang, T.-Y., & Tsai, D.-H. (2006). Workers' exposures and potential health risks to air toxics in a petrochemical complex assessed by improved methodology. *International archives of occupational and environmental health*, 79(2), 135-142.
- Darrall, K. G., Figgins, J. A., & Brown, R. D. (1998). Determination of benzene and associated volatile compounds in mainstream cigarette smoke. *Analyst*(123), 1095–1101.
- Edokpolo, B., Yu, Q. J., & Connell, D. (2015). Health Risk Assessment for Exposure to Benzene in Petroleum Refinery Environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, 595-610.
- Fatonah, Y. I. (2010). *Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Pada Pekerja Bengkel Sepatu "X" di Kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta Timur*. (Master), Indonesia University, Depok.
- Fruscella, W. (2002). Benzene *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Gerba, C. P. (2004). Risk Assessment and Environmental Regulations. In J. F. Artiola, I. L. Pepper & M. L. Brusseau (Eds.), *Environmental Monitoring and Characterization*. US: Academic Press.
- Haen, M. T., & Oginawati, K. (2012). *Hubungan Pajanan Senyawa Benzena, Toluena, dan Xylen dengan Sistem Hematologi Pekerja di Kawasan Industri Sepatu*. (Magister Teknik Lingkungan), Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Hassim, M. H., & Hurme, M. (2010). Inherent occupational health assessment during basic engineering stage. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23, 260-268.

- Hoffbrand, A. V., Moss, P. A. H., & Petit, J. E. (2006). *Essential Haematology* (5th ed.). USA: Blackwell Publishing Ltd.
- IARC. (1987). Overall Evaluations of Carcinogenic : An Updating Of IARC Monographs *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans* (Vol. 1-42, pp. Supplement 7). Lyon, France: World Health Organization.
- IPCS. (1999). Benzene, International Programme on Chemical Safety Poisons Information Monograph 63 Chemical. Retrieved June 06, 2015, from <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim063.htm>
- IRIS. (2014, October 31, 2014). Benzene (CASRN 71-43-2). Retrieved February 7, 2014, from www.epa.gov/iris/subst/0276.htm
- Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi. (2011). PER. 13/MEN/X/2011 *Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja*. Jakarta.
- Kolluru, R. V. (1996). Health Risk Assessment : Principles and Practise. In B. S. Kolluru RV, Pitblado R, Stricoff S (Ed.), *Risk Assessment and Management Handbook for Environmental, Health, and Safety Professionals*. New York: McGraw-Hill.
- Louvar, J. F., & Louvar, B. D. (1998). *Health and Environment Risk Analysis* (Vol. 2). New Jersey: Prentice Hall PTR.
- Rahman, A. (2007). Public Health Assessment : Model Kajian Prediktif Dampak Lingkungan dan Aplikasinya untuk Manajemen Resiko Kesehatan. Depok: Pusat Kajian Kesehatan Lingkungan dan Industri FKM UI.
- Ramon, A. (2007). *Analisis Paparan Benzena Terhadap Profil Darah Pada Pekerja Industri Pengolahan Minyak Bumi*. (Magister Kesehatan Lingkungan), Universitas Diponegoro, Semarang.
- Rothman, N., Li, G. L., Dosemeci, M., Bechtold, W. E., Marti, G. E., Wang, Y. Z., . . . Hayes, R. B. (1996). Hematotoxicity among Chinese workers heavily exposed to benzene. *Am. J. Ind. Med.*, 29, 236-246.
- U.S. EPA. (1988). Recommendations for and documentation of biological values for use in risk assessment. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. EPA. (1991). Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance *Standard Default Exposure Factors*. Washington, D.C.
- U.S. EPA. (1997). Health Effects Assessment Summary Table. Washington, DC.
- U.S. EPA. (2002). Toxicological Review of Benzene (Non Cancer Effect) *In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency,.
- U.S. EPA. (2005). Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. In R. A. Forum (Ed.). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.

- Wiraagni, I. A., Dwiprahasto, I., & Ngatidjan. (2012). The correlation between the intensity of benzene exposure and complete blood count in the oil and natural gas company workers in East Kalimantan. *J Med Sci*, 44(1), 99-100.
- World Health Organization, W. (1993). Environmental Criteria 150: Benzene. Geneva: International Programme on Chemical Safety (IPCS), WHO/United Nations Environment Programme. *International Labour Organisation*.