

TUGAS AKHIR

**ANALISIS RISIKO PAJANAN *Benzene, Toluene, dan Xylene*
di LINGKUNGAN KERJA UNIT 1 PT. X**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**GANDHES PROBO SITORESMI
16513027**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR
ANALISIS RISIKO PAJANAN *Benzene, Toluene, dan Xylene* di
LINGKUNGAN KERJA UNIT 1 PT. X

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



GANDHES PROBO SITORESMI
16513027

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Pembimbing I :
Azham Umar Abidin, S.KM, M.PH.
NIK. 165131303
Tanggal :

Pembimbing II:
Eko Siswovo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025190406
Tanggal:



Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Eko Siswovo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS RISIKO PAJANAN *Benzene, Toluene, dan Xylene* di
LINGKUNGAN KERJA UNIT 1 PT. X

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat

Tanggal : 09 April 2021

Disusun Oleh:

Gandhes Probo Sitoresmi

16513027

Tim Penguji :

Azham Umar Abidin, S.KM.MPH.

()

Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

()

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program software komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 10 Desember 2020

Yang membuat pernyataan,



Gandhes Probo Sitoresmi

NIM: 16513027

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Allah subhanahu wa ta'ala penulis panjatkan atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak 15 November 2019 – 20 Februari 2020 ini dengan judul: **Analisis Risiko Paparan Benzene, Toluene, dan Xylene di Lingkungan Kerja Unit 1 PT. X**. Tugas Akhir ini disusun dalam rangka memenuhi tugas akhir penyelesaian program sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan semangat, dukungan, dorongan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan kekuatan dan energi sehingga dapat menjalani dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini,
2. Bapak Azham Umar Abidin, S.KM., M.PH selaku pembimbing 1, serta Ibu Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T.,M.Si dan Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku pembimbing 2 yang telah banyak memberi saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian berlangsung dan penulisan tugas akhir ini,
3. Bapak Rudyanto, pembimbing lapangan selama di PT.X yang telah banyak memberikan arahan dan saran kepada penulis dari awal masuk hingga selesai melaksanakan penelitian.
4. Bapak Rudhy Wurdianto, Bapak nikko, Bapak Hendri dan Mba Silvi serta seluruh rekan-rekan *Occupational Health* dan *Safety* yang telah banyak membantu selama penelitian berlangsung.
5. Bapak Iskandar serta rekan-rekan Unit 1 PT. X yang telah membantu dan bersedia untuk melengkapi data penelitian.
6. Kedua orang tua yang selalu memberikan segala doa, motivasi dan kasih sayangnya,
7. Sahabat SMA tersayang (Finda, Andhin, Anin, Devi, Vani dan Bagas) yang selalu membantu, menemani, dan memberikan semangat serta doa.

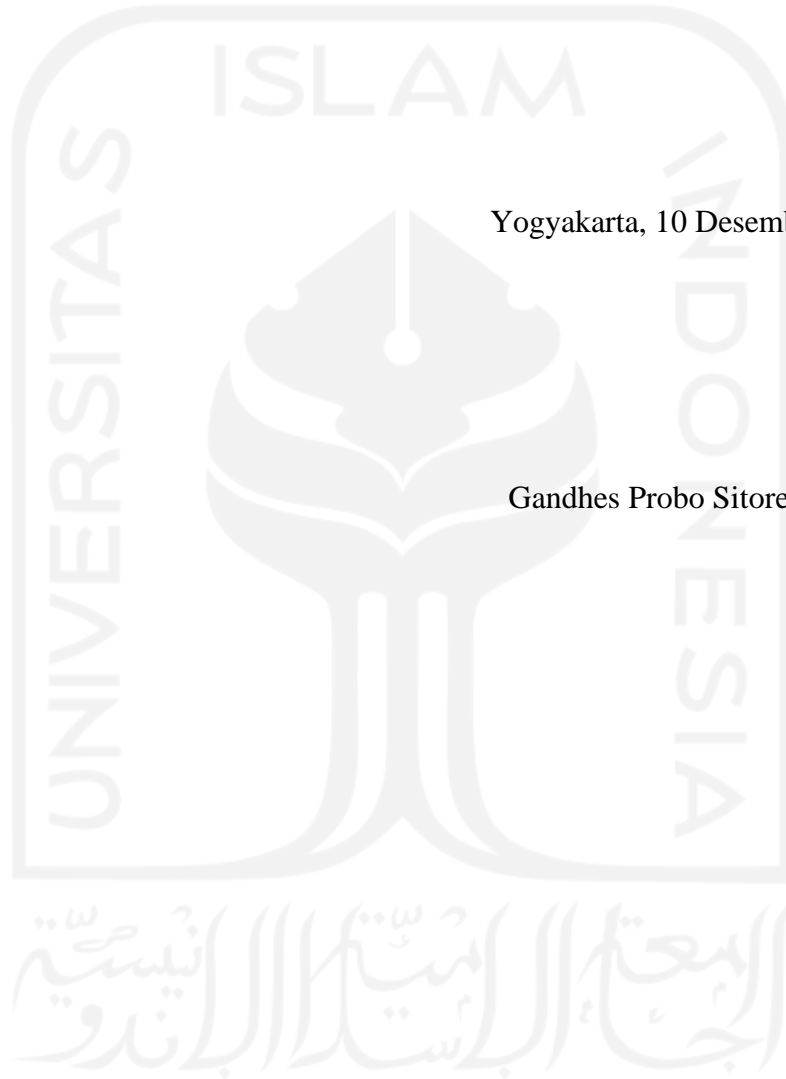
8. Sahabat kuliah (Adin, Maya, Husna, Mei, Itsna dan Qisthy) yang telah saling menyemangati untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

9. Mas Moko yang telah menemani, membantu, serta selalu menyemangati.

Penyusunan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan yang telah penulis sadari. Maka dari itu, untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Harapan dari penulis yaitu semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Yogyakarta, 10 Desember 2020

Gandhes Probo Sitoresmi



ABSTRAK

Gandhes Probo Sitoresmi. Analisis Risiko Paparan *Benzene, Toluene, dan Xylene (BTX)* di Lingkungan Kerja Unit 1 PT. X. Dibimbing oleh Azham Umar Abidin, S.KM., M.PH., Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T.,M.Si. dan Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Benzene, Toluene dan Xylene (BTX) merupakan senyawa organik yang dapat menyebabkan risiko karsinogenik dan non-karsinogenik. Pada unit 1 terdapat paparan senyawa BTX yang cukup tinggi dibandingkan dengan unit lainnya, sehingga pekerja operator unit 1 yang berisiko terpapar paparan BTX. Data hasil penelitian didapatkan melalui *grab sampling* dengan menggunakan *gas tube detector* untuk mengetahui konsentrasi paparan. Data dianalisis dengan menggunakan metode Analisis Risiko Kualitas Lingkungan (ARKL) dengan membandingkan nilai *intake* yang didapat dari pekerja dengan nilai *Cancer Slope Factor (CSF)* untuk efek karsinogenik dan nilai konsentrasi referensi (*RfC*) yang aman bagi paparan BTX untuk efek non-karsinogenik. Paparan senyawa *benzene, toluene, dan xylene* yang terdeteksi di 2 titik lokasi sekitar pompa yaitu sebesar 0,5 ppm, 20 ppm, dan 10 ppm. Nilai paparan dianalisis sehingga mendapatkan hasil perhitungan, untuk senyawa *benzene* efek non-karsinogenik paparan *realtime* sebanyak 17% dan paparan *lifetime* sebanyak 85%. Pada senyawa *toluene* efek non-karsinogenik paparan *realtime* terdapat 10% dan paparan *lifetime* sebanyak 88%. Pada senyawa *xylene* efek non-karsinogenik paparan *realtime* dan *lifetime* sebanyak 98%. Hasil perhitungan efek karsinogenik hanya untuk senyawa *benzene* yang mana diketahui pada paparan *realtime* sebesar 59 % dan dan *lifetime* 98% dengan nilai ECR $>10^{-4}$. Dari hasil tersebut bisa dinyatakan bahwa dengan konsentrasi *benzene, toluene, dan xylene* sebesar 0,5 ppm, 20 ppm, dan 10 ppm dapat menimbulkan efek non-karsinogenik dan karsinogenik baik pada paparan *realtime* maupun *lifetime* pada para pekerja unit 1, sehingga dibutuhkan pencegahan dengan menerapkan manajemen risiko seperti penambahan jumlah shift, memasang *chemical signal* untuk mendeteksi jika terjadi kebocoran disekitar pompa dan melakukan monitoring lebih rutin.

Kata Kunci : ARKL, BTX, Risiko

ABSTRACT

Gandhes Probo Sitoresmi. Analysis of Benzene, Toluene, and Xylene (BTX) Exposure in Unit 1 at PT. X. Supervised by Azham Umar Abidin, S.KM., M.PH., Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T.,M.Si., and Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Benzene, Toluene and Xylene (BTX) are volatile organic compounds that may cause non-carcinogenic and carcinogenic risks. In Unit 1 there is a relatively high BTX compound exposure compared to other units, so that operator workers unit 1 are at risk of exposure which can cause harmful impacts. The research data was determined through grab sampling using a gas tube detector to determine the concentration of exposure. Data were analyzed using Analisis Risiko Kualitas Lingkungan (ARKL) methods that performed by comparing the intake values obtained from workers with reference concentration values (RfC) that are safe for BTX exposure for non-carcinogenic effects and Cancer Slope Factor (CSF) for carcinogenic effects. Exposure to benzene, toluene, and xylene compounds detected around the pump is 0.5 ppm, 20 ppm and 10 ppm. Then, analyzed to get the results of calculations, for the benzene compound non-carcinogenic effects of realtime exposure's available 17% and lifetime exposure's available 85%. In the toluene compound the non-carcinogenic effects of realtime exposure's available 10% and lifetime exposure's available 88%. In the xylene compound the non-carcinogenic effects of realtime and lifetime exposure's available 98%. The results of the calculation of carcinogenic effects only for benzene compounds which are known in realtime exposure's available 59% with and realtime exposure available 98% with ECR values $> 10^{-4}$. From these results it can be stated that with concentrations of benzene, toluene, and xylene of 0.5 ppm, 20 ppm, and 10 ppm it can cause non-carcinogenic and carcinogenic effects both on realtime and lifetime exposures to workers unit 1, so prevention is needed with implementing risk management such as increasing the number of shifts, installing chemical signals to detect if there is a leak around the pump and monitoring more regularly.

Keywords : ARKL, BTX, Risks

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	vi
PRAKATA	x
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN 1.1 Latar Belakang	2
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kilang <i>Paraxylene</i>	5
2.2 Karakteristik BTX.....	6
2.3 Transportasi dan Partisi BTX di Udara Ambien.....	14
2.4 Metode Analisa	15
2.5 Jalur Paparan	21
2.6 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).....	22
2.7 Pemantauan Paparan BTX	23
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	26
3.2 Jenis dan Metode Penelitian	26
3.3 Instrumen	26
3.4 Prosedur Analisis Data.....	27
3.5 Metode Pengukuran BTX	27
3.6 Populasi dan Sampel Penelitian	29
3.7 Variabel.....	29
3.8 Pengolahan Data	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	34
4.2 Karakteristis Responden	35
4.3 Hasil Monitoring Paparan BTX	37
4.4 Karakteristik Antropometri.....	39
4.5 Penggunaan Alat Pelindung Diri	44
4.6 Pengaruh dari Paparan BTX.....	46
4.5 Analisis Dosis Respon	51
4.6 Analisis Paparan.....	52
4.7 Karakteristik Risiko	56
4.8 Teknik Pengendalian Risiko	60
4.9 Komunikasi Risiko	65
BAB V PENUTUP	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kapasitas Kilang <i>Paraxylene</i>	6
Tabel 2. 2 Sifat Fisika dan Kimia <i>Benzene, Toluene, dan Xylene</i>	7
Tabel 2. 3 Toksisitas BTX.....	9
Tabel 2. 4 Efek dan Gejala Akut BTX	10
Tabel 2. 5 Efek dan Gejala Kronis BTX	12
Tabel 2. 6 Nilai Ambang Batas BTX	14
Tabel 3. 1 Nilai Ambang Batas BTX	30
Tabel 4. 1 Proses Pengolahan Produksi pada Masing-Masing Area	34
Tabel 4. 2 Sistem Pekerja Operator, Pannelman dan Administrasi.....	35
Tabel 4. 3 Karakteristik Responden di Unit 1	35
Tabel 4. 4 Hasil Monitoring Pajanan BTX di Unit 1.....	37
Tabel 4. 5 Hasil Konversi Nilai BTX.....	38
Tabel 4. 6 Analisa Konsentrasi BTX di Unit 1 dengan NAB	38
Tabel 4. 7 Hasil Statistik Karakteristik Antropometri Pekerja di Unit 1.....	39
Tabel 4. 8 Hasil Kuisisioner Penggunaan APD	45
Tabel 4. 9 Hasil Kuisisioner Pengetahuan BTX pada Para Pekerja di Unit 1.....	46
Tabel 4. 10 Perbandingan Standar IRIS dengan NAB	47
Tabel 4. 11 Hasil Keluhan Kesehatan Pekerja di Unit 1	50
Tabel 4. 12 Hasil Konversi Nilai RfC BTX	51
Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran Intake Non-Karsinogenik.....	53
Tabel 4. 14 Hasil Pengukuran Intake Karsinogenik	54
Tabel 4. 15 Intake Rata-Rata Berdasarkan Rentang Durasi Pajanan	55
Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan RQ.....	56
Tabel 4. 17 Persentasi Nilai RQ pajanan BTX pada Para Pekerja di unit KP.....	57
Tabel 4. 18 Persentase Nilai ECR Pajanan BTX pada Pekerja di Unit 1	59
Tabel 4. 19 Manajemen Risiko Pajanan Non-Karsinogenik	62
Tabel 4. 20 Manajemen Risiko Pajanan Karsinogenik <i>Benzene</i>	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram Blok Proses PT. X.....	5
Gambar 2 Diagram Blok Kilang <i>Paraxylene</i>	6
Gambar 3 Skema Paparan dan Dosis (Kolluru, 1996) dalam (Pedoman ARKL, 2012)	21
Gambar 4 Diagram Alir Kerangka Penelitian	27
Gambar 5 <i>Gas Tube Detector</i>	28
Gambar 6 Diagram Blok Unit Proses di unit 1.....	35
Gambar 7 Korelasi Usia dengan Jumlah <i>Intake Benzene</i>	40
Gambar 8 Korelasi Berat Badan dengan <i>Intake Benzene</i>	41
Gambar 9 Korelasi Lama Paparan dengan <i>Intake Benzene</i>	42
Gambar 10 Korelasi antara Frekuensi Paparan dengan <i>Intake Benzene</i>	43
Gambar 11 Diagram Analisis Histogram Durasi Paparan	44
Gambar 12 Korelasi antara Durasi Paparan dengan <i>Intake Benzene</i>	44



DAFTAR LAMPIRAN

1 Lembar Kuisisioner	78
2 Hasil Pengukuran Senyawa BTX di Unit 1	82
3 Hasil Analisis Paparan BTX	83
4 Detail Perhitungan	85





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri minyak dan gas bumi merupakan salah satu industri yang berkembang pesat saat ini (Dewi dkk, 2016). Produk yang dihasilkan dari proses produksi terdapat beberapa senyawa kimia yang sering terdeteksi di kilang antara lain H₂S, NH₃, Metil Etil Keton (MEK), klorin, merkuri, dan *Benzene Toluene Xylene* (BTX) (Indrawan, 2014). Menurut *Agency for Toxic Substances and Disease Register* (ATSDR) (2007), dalam kandungan minyak terdapat bahan kimia berbahaya dan beracun seperti *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH), *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAHs), *benzene*, *toluene*, *xylene*, dan *ethylene*.

Salah satu bahan kimia berbahaya yang terdapat di kilang terutama unit *Paraxylene* dan Laboratorium di industri minyak PT. X adalah BTX (Dwito dkk, 2014). BTX itu sendiri merupakan senyawa organik yang mudah menguap (VOC) (Zhang, 2013). Pada dasarnya BTX berasal dari minyak mentah. Seperti halnya *benzene*, ditemukan pada konsentrasi hingga 4 gr/L dalam kandungan minyak bumi, selain itu juga ditemukan dalam air laut dengan konsentrasi hingga 0,8 ppb di sekitar gas alam dan penyimpanan minyak bumi. Selain itu sumber-sumber alami senyawa BTX antara lain emisi gas dari kebakaran hutan dan gunung berapi. Sumber utama BTX hasil aktifitas manusia yaitu melalui emisi knalpot pesawat, kegiatan pemasaran bensin, emisi kendaraan bermotor, tumpahan minyak, pelarut organik dan asap rokok (Arnold dkk, 2013).

Pemantauan BTX diperlukan karena meskipun pada konsentrasi yang sangat rendah, senyawa ini dapat menyebabkan efek buruk bagi kesehatan manusia secara akumulasi (Masih dkk, 2018). BTX itu sendiri merupakan pelarut organik yang biasanya digunakan pada beberapa industri dan mudah menguap (Haen dan Oginawati, 2012). Efek kesehatan akut yang umum terjadi akibat paparan BTX adalah terganggunya sistem syaraf pusat (SSP). Gejala terganggunya sistem syaraf ini seperti pusing, muntah, mual dan sakit kepala.

Paparan dengan konsentrasi yang cukup tinggi maka dapat timbul gejala seperti lemas, sakit kepala, gemetar, gangguan pada tekanan darah, pusing mendadak, vertigo, dehidrasi, muntah hingga kematian (Smith, 2010). Salah satu senyawa dari BTX yakni *benzena* dapat menyebabkan dampak yang telah dikaitkan dengan terjadinya sejumlah penyakit darah seperti anemia aplastik dan berbagai jenis kanker termasuk leukemia myeloid akut. Sedangkan *toluene* dikenal sebagai teratogen yang dapat menyebabkan kelainan janin. Sementara itu, *xylene* bertindak sebagai *sensitizer* kulit dan dapat menyebabkan kulit kering, pecah dan melepuh. Pada konsentrasi yang lebih tinggi, *toluena* dan *xylene* dapat menyebabkan melemahnya sistem saraf, ginjal dan hati (Masih, 2018).

Menurut Ramon (2007), penelitian yang dilakukan dalam pengukuran kadar *benzene* di udara lingkungan kerja pada Unit *Paraxylene*. Penelitian tersebut menunjukkan kadar *benzene* di udara lingkungan kerja sebesar berkisar antara 0,383–0,506 ppm. Sedangkan dosis inhalasi yang ditemukan pada penelitian ini berkisar antara 0,006 – 0,986 ppm (rata-rata 0,460 ppm). Berdasarkan *Recommended Exposure Limit* (REL) yang dikeluarkan oleh *National Institute for Occupational Health and Safety* (NIOSH), (2003), sebesar 0,1 ppm untuk 8 jam kerja, maka pekerja kilang *paraxylene* tersebut merupakan populasi yang beresiko akibat paparan benzena. Sedangkan menurut data pada laporan pemantauan lingkungan perusahaan bulan januari 2019 silam terdeteksi kadar *benzene* di udara lingkungan kerja sebesar berkisar 0,5-3 ppm untuk paparan selama 15 menit dan 0,2 ppm untuk paparan selama 8 jam kerja (Laporan Pemantauan, 2019).

Berdasarkan data menurut Halamainen (2017) pada *World Congress on Safety and Health at Work*, akibat dari kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja terdapat 2,78 juta pekerja yang meninggal setiap tahun dan kematian yang disebabkan akibat penyakit akibat kerja yakni sekitar 2,4 juta yakni 86,3%. Kejadian penyakit akibat kerja berdasarkan data statistik menunjukkan bahwa lebih tinggi di kalangan pekerja yang lebih tua dibandingkan di kalangan pekerja muda. Insiden penyakit akibat kerja yang lebih tinggi di kalangan muda yakni lebih rendah bukan berarti memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap penyakit akibat kerja. Namun, hanya saja dapat terjadi paparan kumulatif yang muncul karena penyakit akibat kerja ini biasanya Selain itu, terdapat kesulitan untuk mendapatkan data yang akurat mengenai penyakit akibat kerja. Terutama mengenai data penyakit akibat kerja yang disebabkan paparan bahaya di tempat kerja selama masa muda. Data lain menurut *the Institute of Occupational Safety and Health* (IOSH), (2013), terdapat 660.000 pekerja meninggal perkiraan tiap tahunnya akibat kanker yang timbul disebabkan pekerjaannya.

Mengingat bahaya dari pajanan bahan kimia berbahaya perlunya mengkaji pajanan dengan menggunakan kerangka Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Aplikasi menggunakan ARKL ini dapat digunakan untuk memprediksi besarnya risiko saat ini dan memperkirakan besarnya risiko di masa depan dengan titik tolak dari kegiatan pembangunan yang sudah berjalan. Dengan demikian tujuan penelitian untuk mengetahui potensial risiko akibat dari pajanan bahan kimia berbahaya terhadap kesehatan para pekerja di Unit 1 (*Paraxylene*) PT. X. Penelitian Tugas Akhir ini menggunakan metode ARKL yang deskriptif menggunakan data sekunder hasil monitoring pada perusahaan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah;

1. Apa saja sumber pajanan senyawa kimia berbahaya paling dominan yang dihasilkan oleh proses produksi di unit 1 PT. X?
2. Bagaimana nilai risiko kesehatan dari pajanan BTX yang diterima oleh para pekerja di Unit 1 PT. X?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah;

1. Mengetahui sumber senyawa *Benzene*, *Toluene* dan *Xylene* (BTX) pada proses produksi unit 1 PT. X.
2. Mengetahui nilai risiko kesehatan pajanan *Benzene*, *Toluene* dan *Xylene* (BTX) di unit 1 PT. X.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian tugas akhir ini adalah;

1. Bagi instansi, hasil dari penelitian ini yaitu sebagai informasi untuk mengetahui tingkat risiko pajanan BTX terhadap kesehatan (karsinogenik dan non-karsinogenik) pada para pekerja. Sehingga, di masa yang akan datang, pecegahan penyakit akibat kerja dapat direncanakan lebih baik lagi oleh perusahaan.
2. Bagi universitas, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk menjadi bahan acuan dalam mengembangkan penelitian yang lebih dalam mengenai penilaian analisis risiko paparan senyawa BTX di lingkungan kerja pada pekerja dan referensi bahan ajar untuk mata kuliah Toksikologi Lingkungan dan Analisis Risiko Lingkungan.
3. Bagi penulis, hasil penelitian ini diharapkan guna memberi solusi dari permasalahan yang timbul di lapangan serta menambah pengetahuan baru.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui sumber pajanan BTX yang dihasilkan oleh proses produksi di unit 1 PT. X.
2. Menggunakan *tube gas detector* sebagai alat pengukuran senyawa BTX.
3. Mengetahui nilai risiko bahaya kesehatan menggunakan metode ARKL.

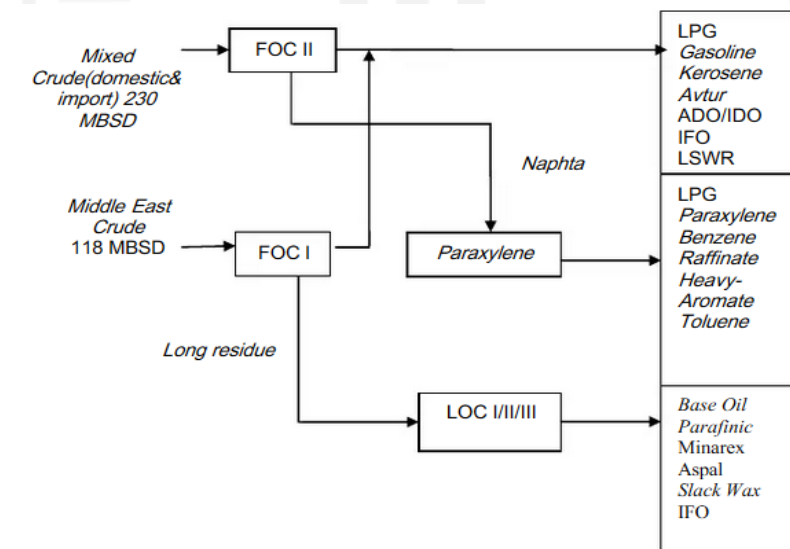
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

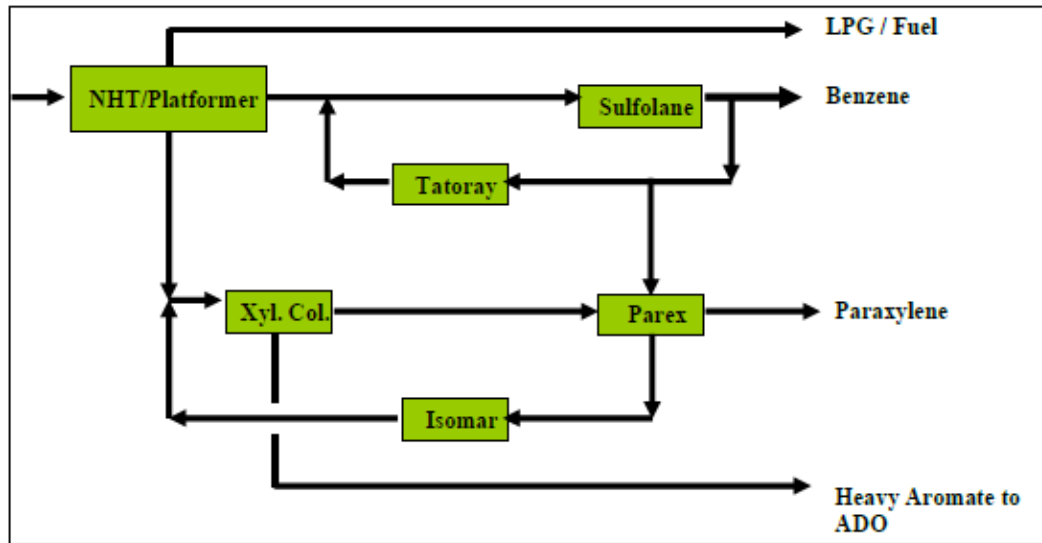
2.1 Kilang *Paraxylene*

Keberadaan bahan baku *naphta* yang cukup, sarana pendukung berupa dermaga, tangki, dan utilitas, serta peluang pasar domestik dan luar yang terbuka lebar, menyebabkan PT. X membangun Kilang *Paraxylene*. Kilang ini dirancang oleh *Universal Oil Product* (UOP) ini dibangun pada tahun 1988 oleh kontraktor *Japan Gasoline Corporation* (JGC) dan memulai operasinya setelah diresmikan oleh Presiden Soeharto pada tanggal 20 Desember 1990 dengan seluas 90,00 Ha. Tujuan pembangunan kilang ini adalah untuk mengolah *naphta* dari FOC II menjadi produk-produk petrokimia yaitu *paraxylene* dan *benzene* sebagai produk utama, dan *raffinate*, *heavy aromate*, *toluene*, dan LPG sebagai produk sampingan. Total kapasitas produksi dari kilang ini adalah 270.000 ton/tahun. PT. X semakin penting dengan adanya Kilang *Paraxylene* karena dengan mengolah *naphta* 590.000 ton/tahun menjadi produk utama *paraxylene*, *benzene*, dan produk samping lainnya, menyebabkan PT. X menjadi satu-satunya unit pengolahan minyak bumi di Indonesia yang terintegrasi dengan industri petrokimia. (PT. X, 2018)

Paraxylene yang dihasilkan sebagian digunakan sebagai bahan baku pabrik *Purified Terephthalic Acid* (PTA) pada pusat aromatik di Plaju, Sumatera Selatan dan diekspor ke luar negeri. Hal ini merupakan suatu bentuk usaha penghematan devisa sekaligus sebagai usaha peningkatan nilai tambah produksi kilang BBM. Sedangkan, seluruh *benzene* yang dihasilkan diekspor keluar negeri. Produk-produk sampingan dari kilang ini dimanfaatkan lebih lanjut untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Kilang *Paraxylene* terdiri dari unit-unit proses sebagai berikut:



Gambar 1 Diagram Blok Proses PT. X



Gambar 2 Diagram Blok Kilang *Paraxylene*

Sumber: PT. X

Tabel 2. 1 Kapasitas Kilang *Paraxylene*

Unit	Kapasitas Desain (TPSD)
NHT	1.791
CCR Platformer	1.791
Sulfolane	1.100
Tatoray	1.730
Xylene Fractionator	4.985
Parex	4.440
Isomar	3.590

Sumber: PT. X

2.2 Karakteristik BTX

2.3.1. Definisi dan Sumber BTX

Benzene adalah senyawa kimia hidrokarbon aromatik yang memiliki sifat toksik yang sedikit larut dalam air yang mana merupakan cairan tidak berwarna dan memiliki aroma yang manis serta cepat menguap ke udara (Pudyoko, 2010). Kemudian, *Toluene* yaitu cairan bening dan tidak berwarna dengan aroma khas yang mana merupakan pelarut yang baik (zat yang bisa melarutkan zat lain) serta mudah menguap ke udara (ATSDR, 2017). Lalu, *Xylene* merupakan bahan kimia aromatik yang terdapat dalam tiga bentuk isomer yaitu ortho, meta dan para yang mudah menguap dan tidak larut dengan air, tapi

larut dengan alkohol dan banyak bahan kimia lainnya (ATSDR, 2007). BTX ini merupakan senyawa paling melimpah dalam emisi di udara. Hal ini disebabkan karena berasal dari alam (aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, minyak mentah) dan aktivitas manusia (kebocoran minyak bumi dan produknya, emisi kendaraan bermotor, asap rokok, pembakaran batu bara dan biomassa, pengecatan dan industri petrokimia). (Xiaoyong Duan, 2017)

2.3.2. Sifat Fisika dan Kimia (BTX)

1. Sifat Fisika dari *Benzene*, *Toluene* dan *Xylene*

Tabel 2. 2 Sifat Fisika dan Kimia *Benzene*, *Toluene*, dan *Xylene*

Indikator	<i>Benzene</i>	<i>Toluene</i>	<i>Xylene</i>
Formula	C ₆ H ₆	C ₇ H ₈	C ₈ H ₁₀
Berat Molekul	78,114 gr/mol	92,1 gr/mol	106.16 gr/mol
Temperatur Kritis	288,95 °C	318,64 °C	343,05
Titik Didih (P=1 atm)	80,24 °C	110,629 °C	138,5 °C
Titik Beku (P=1 atm)	5,68 °C	-94,965 °C	-47,4 °C
Titik Nyala	-11 °C	4,4 °C	29°C
Density pada 25°C	0,8765 gr/cm ³	0,8623 gr/cm ³	0,864 g/cm ³
Panas Penguapan pada 25°C	33,9 kJ/mol	37,99 kJ/mol	58,21 kJ/mol

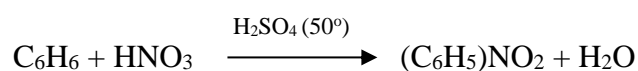
Sumber : (Kirk Othmer, 1984)

2. Sifat Kimia dari *Benzene*, *Toluene* dan *Xylene*

Senyawa BTX ini memiliki sifat mudah menguap, mudah terbakar, cairan tidak berwarna dan reaktif. BTX ini pun dapat bereaksi dengan suatu zat sehingga menciptakan zat/senyawa baru yang tentunya berbahaya. Masing-masing dari senyawa *benzene*, *toluene* dan *xylene* memiliki reaksi yang berbeda seperti sebagai berikut;

a. *Benzene* (Kirk Othmer, 1984)

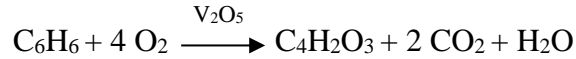
- Nitiasi menghasilkan *nitrobenzene*



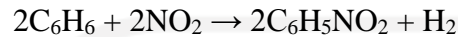
- Sulfonasi menghasilkan *Benzenesulfonat*



- Oksidasi fase uap dengan udara dan katalis vanadium pentaoksida menjadi *maleic anhydride*

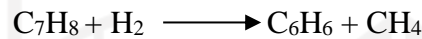


- *Benzene* bereaksi dengan NO_2 menghasilkan Niacin dan Dihidrogen

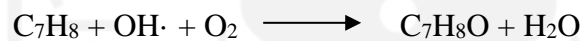


b. *Toluene*

- Saat *Toluene* bereaksi dengan H_2 menghasilkan *benzene* dan *methane* (Kirk Othmer, 1984)



- Saat *Toluene* bereaksi dengan OH radikal bertemu dengan O_2 menghasilkan *cresol* (Atkinson dkk, 1980)



- Saat *Toluene* bereaksi dengan OH radikal bertemu dengan NO_2 menghasilkan *nitrotoluene* (Atkinson dkk, 1980)



c. *Xylene*

- *Xylene* bereaksi dengan OH radikal bertemu NO_2 menghasilkan *nitroxylenes* (Daniel G, 1991)



- *Xylene* bereaksi dengan OH radikal bertemu dengan O_2 menghasilkan *dimethylphenols (xlenols)* (Daniel G, 1991)



2.3.3. Toksisitas BTX

Pajanan BTX terhadap tubuh mempunyai dampak yang sangat buruk pada kesehatan manusia terutama pajanan *benzene* karena lebih bersifat karsinogenik daripada senyawa *toluene* dan *xylene*. Pajanan tingkat rendah yang kronis pada *benzene* berhubungan dengan efek terhadap sistem *syaraf peripheral*. Pajanan kronis benzena menyebabkan toksisitas yang lebih besar dibandingkan pajanan akut, karena pajanan ini dapat terjadi pada kadar di bawah ambang bau. Pajanan pada lingkungan kerja lebih banyak melalui inhalasi, selain melalui ingesti dankulit. Gejala dan tanda keracunan kronis ini dapat muncul dengan cepat, tapi periode laten dari benzena ini adalah selama 29 tahun, yaitu sejak pajanan terakhir hingga toksisitasnya dalam tubuh hilang (Hamilton dkk, 2003). Namun terdapat penjelasan lebih seperti dibawah berikut;

Tabel 2. 3 Toksisitas BTX

No	Senyawa	Dampak
1.	<i>Benzene (ATSDR, 2007) (Young & Kaufman, 2008)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bersifat genotoksik; dapat mengubah gen dan kromosom pada limfosit dan sel sumsum tulang belakang - Menyebabkan kerusakan imun (menurunnya jumlah antibodi dan leukosit) - Menurunkan unsur2 didalam sel darah merah yang mengakibatkan leukopenia, anemia atau <i>thrombocytopenia</i>. - Menyebabkan anemia aplastik; gagal memproduksi sel darah merah karena sumsum tulang yang rusak - Menyebabkan pusing, detak jantung cepat, kebingungan, tremor, tidak fokus pada paparan rendah - Paparan <i>benzene</i> kronis dan sedang dapat menyebabkan kegagalan pembentukan sel darah merah - Paparan inhalasi kronis juga menyebabkan distal neurophy, kehilangan daya ingat dan susah tidur - Menyebabkan kematian pada paparan tinggi; terjadinya depresi sistem syaraf pusat (SSP)
2.	<i>Toluene (Warsito, 2006)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Menyebabkan sakit kepala, pusing, iritasi mata, iritasi saluran pernapasan - Menyebabkan gangguan pada sistem syaraf - Menyebabkan fungsi syaraf menurun pada konsentrasi 322 mm/m³ (88 ppm) - Menyebabkan gangguan pendengaran
3.	<i>Xylene (Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 4th ed. (Clayton & Clayton (ed.), 1994))</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Menyebabkan iritasi mata pada paparan 460 ppm (1980 mg/m³) - Menyebabkan iritasi kulit (terbakar, mengering, mengelupas) - Menyebabkan iritasi inhalasi (akut); kematian mendadak, pendarahan otak, pingsan selama 19-24 jam, retrograde amnesia, hipotermia dan kongesti paru pada ~10.000 ppm (~43.1 mg/l) selama 18,5 jam

2.3.4. Efek dan Gejala Akut *Benzene*, *Toluene* dan *Xylene* Terhadap Kesehatan

Paparan BTX dapat menimbulkan beberapa efek dan gejala kesehatan yang bisa didapat dari data kesehatan para pekerja di lingkungan kerja yang potensial akan pajanan BTX. Paparan utama yaitu melalui jalur inhalasi, meskipun pajanan melalui jalur oral dan dermal memungkinkan untuk terjadi. Efek dan gejala kesehatan disini terbagi menjadi beberapa pajanan dimana tergantung pada durasi paparannya. Durasi dari pajanan akut yaitu 14 hari atau <14 hari. Lain hal dan pajanan kronis dimana lebih dari 365 hari. (ASTDR, 2007)

1. Efek dan Gejala Akut

Terdapat beberapa rincian mengenai efek dan gejala akut akibat paparan BTX pada tabel 2.4 terutama *benzene* merupakan senyawa yang paling bahaya dari pada senyawa *toluene* dan *xylene*. Namun, untuk senyawa *toluene* pada penelitian Christianti (2007), mengenai Hubungan Paparan Uap Pelarut Organik dengan Timbulnya Keluhan Iritasi Mata (Penelitian Pada Pekerja Laki-laki Sektor Informal di Industri Alas Kaki, Kecamatan Ciomas, Bogor) bahwa responden yang terpapar *toluene* pada konsentrasi yang tinggi memiliki risiko 4,6 kali lebih tinggi terjadi iritasi mata daripada responden yang terpapar *toluene* pada kadar yang rendah. Dan untuk senyawa *xylene*, terdapat penelitian pada hewan uji yang terindikasi bahwa *xylene* lebih bersifat toksik daripada *toluene*. Efeknya baru dapat diketahui pada batas minimum dosis atau kadar *toluene*. Meskipun demikian, *xylene* pada dosis atau kadar yang tinggi lebih bersifat toksik daripada *toluene* (Sharada dan Malathi, 2014). Senyawa BTX dapat menyebabkan beberapa efek dan gejala seperti berikut;

Tabel 2. 4 Efek dan Gejala Akut BTX

No	Senyawa	Efek dan Gejala
1.	<i>Benzene</i> (ATSDR, 2007)	<ul style="list-style-type: none">- Pada Paparan tinggi mengganggu sistem syaraf, kulit, pernapasan dan pencernaan- Menyerang SSP dengan gejala awal perasaan melayang dan depresi pada kosentrasi tinggi (3.000 ppm selama 5 menit melalui inhalasi)- Paparan rendah menyebabkan sakit kepala, pusing, rasa mual, dan mata perih)- Pajanan berlanjut dapat menyebabkan efek tremor, sesak napas hingga kematian- Menyebabkan iritasi membrane mukosa- Kadar 20.000 ppm selama 5-10 menit dapat menyebabkan suatu cairan tertumpuk di paru-paru yang terakumulasi sehingga sesak napas dan dapat menyebabkan kematian akibat penyumbatan pembuluh darah di otak

		<ul style="list-style-type: none"> - Menyebabkan radang paru-paru bila menghirup berkelanjutan - Menyebabkan iritasi kulit dengan terasa terbakar (edema dan eritema pada kulit)
2.	<i>Toluene</i> (Christiani, 2007), (Baleum,1985)	<ul style="list-style-type: none"> - Paparan mendekati 50 ppm dapat menyebabkan gejala rasa mengantuk dan sakit kepala - Paparan 50-100 ppm menyebabkan iritasi hidung, tenggorokan hingga sistem inhalasi - Paparan 100 ppm menyebabkan efek pusing dan mual - Paparan >200 ppm menyebabkan mual, pusing berat dan mati rasa - Paparan >500 mengakibatkan kelainan mental dan gangguan koordinasi - Paparan jangka pendek kadar tinggi (600 ppm) menyebabkan rasa lelah, pusing, gangguan koordinasi, mual, hingga tak sadarkan diri - Paparan 10.000 ppm menyebabkan kematian akibat kegagalan pada sistem inhalasi - Menyebabkan iritasi mata akibat uap toluene pada kadar >750 mg/m³ pada paparan singkat (gangguan penglihatan) - Menyebabkan iritasi pada kulit
3.	<i>Xylene</i> (Sharada dan Malathi, 2014), (IPCS, 2004)	<ul style="list-style-type: none"> - Menyebabkan gangguan SSP dengan menimbulkan gejala seperti intoksikasi, rasa lelah, buruknya daya tahan tubuh, kepala terasa sakit, rasa mual, rasa pusing, gemetar, gangguan keseimbangan hingga depresi ringan - Menyebabkan iritasi mata, hidung, tenggorokan - Menyebabkan pusing serta sakit kepala ringan, gangguan memori angka pendek dan waktu merespon lebih lama, rasa mengantuk, rasa lelah dan mual - Paparan toksik tinggi dapat menyebabkan gangguan pernapasan, histologi hati yang abnormal, naiknya serum transaminase, rusaknya ginjal reversible dengan albuminuria, pyuria serta hematuria - Efek pernapasan anoksik dengan kemungkinan aritma jantung dapat menyebabkan kematian

2. Efek dan Gejala Kronis

Efek pajanan kronis terhadap BTX dapat mengganggu kesehatan manusia seperti sebagai berikut;

Tabel 2. 5 Efek dan Gejala Kronis BTX

No	Senyawa	Efek dan Gejala
1.	<i>Benzene</i> (ATSDR, 2007)	<ul style="list-style-type: none"> - Haematoksisitas dan Depresi Sumsum Tulang Gejala terjadi kerusakan darah yang dapat menyebabkan <i>anemia aplastic, pancytopenia, thrombocytopenia, granukocytopenia</i> dan <i>lymphositopenia</i>. Terjadi anemia jika terpapar pada kadar yang tinggi (ratusan mg/m³) dalam kurun waktu lama. Paparan dengan kadar ±120 mg/m³ menyebabkan memiliki sel darah putih dan merah yang lebih rendah daripada terpajan dengan kadar yang lebih rendah. - Efek Immunologi Menyebabkan penurunan jumlah agglutinin, IgG dan immunoglobulin IgA dan meningkatnya IgM. Paparan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan jumlah limfosit T dalam darah menurun. - Efek Neurologi Pada kadar 300-3000 ppm menimbulkan gejala mengantuk, sakit kepala, pusing, tremor, delirium, hingga pingsan. Kadar 20.000 ppm dapat menyebabkan kelainan neurologis. Kadar >210 ppm dapat menyebabkan efek toksis pada SPP dengan melibatkan sumsum tulang belakang. - Efek Genotoksik Terdapat perubahan struktur dan jumlah kromosom pada kadar ± 32 mg/m³ (100 ppm), dan beberapa studi terjadi perubahan pada kadar <i>benzene</i> 32 mg/m³ (10 ppm) (ATSDR, 2007). Terdapat mutasi somatik dalam kadar yang tinggi. Sehingga disimpulkan bahwa <i>benzene</i> menyebabkan mutasi duplikasi gen diduga melalui mekanisme rekombinasi. (Tompa dkk, 2002) - Efek Karsinogenik Paparan jangka panjang dapat menyebabkan leukemia. Terdapat 44 pasien menderita pansitopenia akibat paparan <i>benzene</i> adhesive (bahan perekat) pada konsentrasi sebesar 480-2100 mg/m³ (150-650 ppm) selama empat bulan hingga

		15 tahun ini membuktikan bahwa terdiagnosa leukemia myeloid metaplasia.
2.	<i>Toluene</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mengurangi lemak alami dari kulit sehingga menjadi kering, pecah-pecah hingga terjadi dermatitis (Prihartini, 2010) - Efek pada SSP Menimbulkan efek berupa aksitasi, gangguan psikomotor, penurunan memori jangka pendek, halusinasi, tremor, ataksia hingga koma. Paparan 3750 mg/m³ dalam jangka waktu lama dan rutin mengindikasikan menyebabkan penurunan neurologi yang permanen (Nanik, 2010). Gejala kerusakan SSP; kehilangan memori, gangguan tidur, kurangnya fokus dalam beraktivitas. - Efek pada Ginjal Terkena distal renal tubular asidosis. Gejala yang dialami; lemahnya otot, mual, dan muntah.(IPCS,2000) - Efek pada Pendengaran dan Penglihatan Menurunnya kemampuan membedakan warna. Gangguan ini bersifat reversible dan tergantung kadar paparan (Warsito, 2007). Risiko gangguan pendengaran di Taiwan intensitas ≥ 25 dB 10,9 kali lebih besar daripada yang terkontrol dari paparan (Chang dkk, 2006)
3.	<i>Xylene</i> (IPCS, 2004)	<ul style="list-style-type: none"> - Paparan kadar rendah menyebabkan mual, anoreksia, iritasi mata (mata kering), hidung, dan tenggorokan - Berkaitan dengan sistem syaraf menimbulkan efek sakit kepala, rasa lelah berlebihan, emosional, menurunnya kinerja, kehilangan memori jangka pendek - Gejala lain yakni vertigo, tremor, paresthesia (terasa kebas), rasa lemah. - Meyebabkan efek pada ginjal (proliferatif glomerulonephritis)

2.3.6. Nilai Ambang Batas Benzene

Terdapat standar yang telah ditetapkan guna penetapan Nilai Ambang Batas (NAB) terhadap faktor fisika dan kimia di lingkungan kerja yaitu *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) dan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018 seperti sebagai berikut;

Tabel 2. 6 Nilai Ambang Batas BTX

No	Hazardous Chemicals	Standard	TWA (ppm)	TWA (mg/m ³)	STEL (ppm)	STEL (mg/m ³)
1	Benzene	PP No. 5 th 2018	0.5	1.595	2.5	7.975
		NIOSH	0.1	0.319	1	3.188
2	Toluene	PP No. 5 th 2019	50	188		
		NIOSH	100	375	150	560
3	Xylene	PP No. 5 th 2019	100	434	150	651
		NIOSH	100	435	200	868

TWA (Time Weighted Average) : untuk pajanan 8 jam kerja

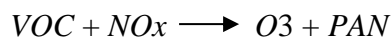
STEL (Short Term Exposure Limit) : untuk pajanan singkat selama 10-15 menit

Pada Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018 menyatakan bahwa benzena diklasifikasikan dalam kelompok A1 (zat kimia yang terbukti memiliki sifat karsinogenik pada manusia). Sedangkan untuk *Toluene* dan *Xylene* diklasifikasikan dalam kelompok A4 (senyawa tidak diklasifikasikan karsinogenik terhadap manusia).

2.3 Transportasi dan Partisi BTX di Udara Ambien

BTX adalah senyawa organik yang mudah menguap atau biasa disebut senyawa VOC. Secara struktural di antara hidrokarbon aromatik yang paling sederhana, mereka dapat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keadaan lingkungan. Hal ini disebabkan karena memainkan peran kunci dalam pembentukan polutan sekunder, berpartisipasi dalam proses seperti pembentukan kabut fotokimia (ozon + oksidan) dan intensifikasi efek rumah kaca. Selain itu, senyawa *benzene*, *toluene*, dan *xylene* memiliki struktur kimia yang serupa. Namun, terdapat perbedaan sifat fisikokimia dari berbagai senyawa tersebut. Mereka secara khas tidak reaktif dalam kondisi atmosfer. Selain itu, benzena sangat stabil dibandingkan dengan *toluena* dan *xylene*. (Gallego dkk, 2008)

VOC memainkan peran penting dalam kimia atmosfer. Karena strukturnya, VOC monoaromatik dan teralkilasi seperti *toluena* dan *xylene* memiliki potensi fotokimia yang tinggi dan dengan demikian terlibat dalam reaksi fotokimia yang terjadi di atmosfer, termasuk pembentukan ozon troposfer dengan melibatkan senyawa NO_x. Pembentukan ozon ini terjadi disebabkan oleh reaksi nitrogen oksida (NO_x) dengan VOC yang dipancarkan ke udara dan terbentuknya kabut fotokimia. Produk dari jenis reaksi ini adalah peroksiasetil nitrat dan ozon troposfer, berikut reaksinya (Atkinson, 2008);



Fakta bahwa reaksi ini pada akhirnya masuk ke perairan dan tanah merupakan bukti dari peran penting yang dimainkan oleh senyawa BTX di troposfer (Fally dkk, 2009).

Mengingat struktur kimia, jalur perubahan kimianya, kinetika reaksi, kecenderungan mereka untuk bereaksi secara istimewa dengan fotooksidan, dan waktu

paruhnya, senyawa BTX adalah salah satu zat paling signifikan di atmosfer yang berkontribusi terhadap perubahan saat ini di iklim bumi. Proses pencampuran yang terjadi secara langsung dari kondisi meteorologi, serta adveksi dan konveksi massa udara, menyebarkan dan mengangkut polutan udara ke seluruh belahan dunia. (Roukos dkk, 2009)

Polutan VOC di troposfer tunduk pada berbagai proses fisik dan kimiawi yang mengarah pada konversi atau pembuangannya dari atmosfer. Proses kimiawi yang menyebabkan VOC terdegradasi adalah fotolisis/degradasi yang diperantarai cahaya (panjang gelombang > 290 nm), reaksi dengan radikal hidroksil dan nitrogen, reaksi dengan ozon, dan reaksi dengan ion Cl^- , yang umumnya terjadi di wilayah pesisir. (Corsmeier dkk, 2005)

BTX ini merupakan hidrokarbon aromatik, dimana senyawa tersebut sangat reaktif terhadap radikal atmosfer yang ada di troposfer bawah. Reaksi radikal di atmosfer memainkan peran penting dalam dekomposisi hidrokarbon ini termasuk BTX, yang di daerah industri hadir pada tingkat 1–100 ppb (v) (Fally dkk., 2009). Pengetahuan tentang produk degradasi benzena dan turunannya merupakan prasyarat untuk memberikan perlindungan yang memadai bagi organisme hidup. Hal ini disebabkan karena produk dekomposisi BTX mungkin lebih karsinogenik dan mutagenik dibandingkan senyawa aslinya. (Qu dkk, 2006)

2.3.1 Bagian yang Dimainkan oleh Awan dalam Dekomposisi dan Turunan *Benzene* di Atmosfer

Keberadaan uap air di troposfer yang berupa awan ini sangat bermakna. Awan merupakan salah satu komponen paling universal dari air yang terkondensasi, membentuk sekitar 60% uap air yang terkandung di troposfer. Meskipun hanya mengandung sedikit air, awan memainkan peran kunci dalam kimia atmosfer. Senyawa aromatik seperti BTX memiliki konstanta Henry yang sangat kecil, yang berarti level BTX dalam fase air sangat rendah. Namun, fakta bahwa fasa air memang ada di awan ini penting selama masih terkait dengan senyawa BTX. Karena, jika reaksi senyawa individu dengan fasa air memiliki konstanta laju yang tinggi, mereka dapat bertindak secara kompetitif, menaikkan ke jalur reaksi tambahan; dan semakin polar produk oksidasi hidrokarbon monoaromatik (fenol dan nitrofenol), semakin baik kelarutannya dalam air yang di atmosfer. Selain itu, perlunya diketahui bahwa awan juga bertindak sebagai penghalang dimana mengisolasi polutan dari lapisan atmosfer lainnya. (Kopmann, 2007)

2.4 Metode Analisa

Metode analisa yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode ARKL. ARKL itu sendiri merupakan sebuah proses yang dimaksud untuk menghitung ataupun memperkirakan nilai risiko pada kesehatan manusia. Selain itu juga melakukan identifikasi terhadap penelusuran pada pajanan tertentu, keberadaan faktor

ketidakpastian, karakteristik dari sasaran yang spesifik dan memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen tertentu. (Pedoman ARKL, 2012)

2.4.1 Analisis Risiko dan Penilaian Risiko

Proses untuk mengendalikan situasi pada organisme atau sistem yang dapat terkena bahaya disebut Analisis Risiko. Prosesnya terdiri dari tiga komponen yaitu penilaian risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko (IPCS, 2004). Terdapat definisi lain seperti analisis risiko kesehatan (*health risk assessment*) yang merupakan proses untuk memperkirakan masalah kesehatan yang mungkin terjadi. Selain itu, memperkirakan besar dari akibat yang dapat terjadi pada suatu waktu tertentu. Prosesnya dibagi menjadi empat tahapan dalam analisis risiko yaitu; identifikasi bahaya, analisis dosis-respon, analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko, yang kemudian dilakukan analisis lanjutan berupa manajemen risiko dan komunikasi risiko (Pedoman ARKL, 2012).

Tujuan dari analisis risiko ini yaitu untuk menilai dan mengestimasi risiko kesehatan akibat dari pajanan dari agen risiko di lingkungan pada manusia. Metode ini dapat dilakukan pada lingkungan yang telah terpajan dengan memberikan dampak yang merugikan baik belum ataupun sudah terjadi. Menurut pedoman ARKL, (2012), terdapat dua kajian ARKL yang dapat dilakukan, yaitu:

1. Evaluasi di atas meja (*Desktop Evaluation*), biasa disebut ARKL meja
2. Kajian lapangan (*Field Study*), biasa disebut ARKL lengkap

ARKL meja umumnya dilakukan untuk menghitung perkiraan risiko segera mungkin tanpa harus mengumpulkan data yang baru dari lapangan. Kajian ini umumnya dilakukan guna meminimalisir kepanikan yang meluas, mencegah provokasi yang dapat memicu ketegangan sosial, atau dalam situasi kecelakaan dan bencana yang dikhawatirkan oleh khalayak ramai. ARKL lengkap umumnya dilakukan pada suasana normal dimana tidak terdapat tuntutan mendesak. Namun, pada kajian ini perlu dilakukan untuk menghitung asupan sebagai reaksi proaktif guna melindungi serta meningkatkan kesehatan masyarakat. Evaluasi di atas meja yang dibutuhkan hanya konsentrasi agen risiko pada lingkungan yang bermasalah dan dosis-referensi agen risiko serta nilai *default* dari faktor pemajanan antropometri.

Pada dasarnya ARKL lengkap ini sama dengan evaluasi di atas meja. Namun, kajiannya berdasarkan dari data lingkungan dan faktor pemajanan antropometri yang didapat bukan karena asumsi ataupun simulasi, melainkan *real* dari lapangan. ARKL lengkap ini dibutuhkan data dan informasi mengenai jalur pemajanan serta populasi yang berisiko.

2.3.6.1. Identifikasi Bahaya

Langkah pertama pada metode ARKL ini adalah identifikasi bahaya yang dilakukan untuk mengetahui agen risiko apa yang berpotensi dapat mengakibatkan gangguan kesehatan pada tubuh yang terpapar secara spesifik (Pedoman ARKL, 2012). Selain itu, untuk melengkapi data penelitian harus dijabarkan dengan jelas mulai dari

proses penentuan apa, dimana, kapan, mengapa, dan bagaimana sesuatu dapat terjadi. Terdapat pula bahan berbahaya seperti; 1) bahan toksik yang dapat memberikan dampak negatif (merugikan/merusak) organisme, 2) bahan korosif yang dapat merusak permukaan kulit jika terjadi kontak langsung, dan 3) bahan karsinogenik yang dapat memberikan dampak terjadinya kanker.(Noor, 2012)

2.3.6.2. Analisis Pemajanan

Pajanan adalah konsentrasi dari suatu agen risiko dengan frekuensi dan durasi pajanan tertentu yang memajani organisme target (IPCS, 2004). Proses yang dapat menimbulkan organisme kontak dengan bahaya disebut pemajanan. Pemajanan ini dapat terjadi karena agen risiko terhirup dalam udara, tertelan bersama air atau makanan, terserap melalui kulit atau kontak langsung (Pedoman ARKL, 2012). Analisis pemajanan digunakan untuk mengevaluasi konsentrasi, intensitas ataupun jumlah suatu agen risiko di lingkungan tertentu. Analisis ini dilakukan dengan mengidentifikasi mengenai dosis agen risiko yang diterima oleh seseorang yang masuk melalui inhalasi (saluran pernapasan). *Intake* atau asupan merupakan jumlah asupan yang diterima perorangan per berat badan per hari (Louvar & Louvar, 1998). Perhitungan data intake ini didapat menggunakan persamaan Louvar & Louvar, 1998 (Rahman, 2007) seperti berikut:

$$I = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Dengan:

I : Intake , jumlah agen risiko yang diterima oleh orang per satuan, mg/kg/hari

C : Konsentrasi agen risiko di udara (mg/m³)

R : Rate/laju asupan (m³/jam)

t_E : Waktu pajanan / bekerja dalam sehari (jam)

f_E : Frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

D_t : Durasi pajanan, *realtime* atau 30 tahun proyeksi

W_b : Berat badan (kg)

t_{avg} : Periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun utk non-karsinogenik dan 70 tahun x 365 hari/tahun karsinogen)

Nilai waktu pajanan didapatkan dari hasil penelitian. Sedangkan nilai frekuensi pajanan dihitung dengan mengurangi waktu satu tahun dengan lama responden libur kerja. Selain itu, nilai durasi pajanan didapatkan dari hasil penelitian yang menyatakan lama responden bekerja di lokasi untuk perhitungan *realtime*, sedangkan untuk perhitungan sepanjang hayat dapat digunakan nilai *D_t*, yaitu 30 tahun. Pada perhitungan ini terdapat nilai *R* yang merupakan laju inhalasi. Berdasarkan US-EPA (1990), nilai *R default* adalah 20 m³/hari untuk laju inhalasi dengan berat badan 70 kg. Selain itu, terdapat perhitungan lain untuk menghitung laju inhalasi seperti yang dihitung berdasarkan data yang telah

dihimpun oleh Abrianto (2004) sehingga didapatkan kurva logaritmik berat badan terhadap laju inhalasi normal (US EPA, 1997) yang menghasilkan persamaan $y = 5,3 \ln(x) - 6,9$ dimana $y = R$ (m^3/hari) dan $x = Wb$ (kg), maka laju inhalasi dapat diperkirakan sesuai dengan karakteristik antropometri responden.

2.3.6.3. Analisis Dosis Respon

Unit yang menyatakan pajanan terhadap bahan kimia, biologi ataupun fisik yang sampai ke organ sasaran disebut dosis. Dosis dijabarkan sebagai unit berat atau volume per unit luas permukaan tubuh, seperti contoh; mg/kgBB , ml/kgBB , mg/m^2 , ppb dan ppm (Kurniawidjaja, 2010). Proses menetapkan nilai kuantitatif toksisitas agen risiko untuk setiap senyawa kimianya disebut dengan analisis dosis-respon (*dose-response assessment* atau *toxicity assessment*). Toksisitas dinyatakan sebagai dosis referensi (*reference dose*, *RfD*) untuk efek non-karsinogenik, sedangkan untuk efek karsinogenik dinyatakan dalam *Cancer Slope Factor (CSF)* atau *Cancer Unit Risk (CCR)* (Rahman, 2007).

1. Efek non-karsinogenik

Efek sistemik merupakan definisi lain dari efek non-karsinogenik dimana toksisitasnya dinyatakan dalam *Reference Dose (RfD)* atau *Reference Concentration (RfC)*. RfD itu sendiri merupakan toksisitas kuantitatif non-karsinogenik yang menyatakan perkiraan dosis pajanan harian yang diperkirakan tidak menimbulkan dampak yang merugikan bagi kesehatan, walaupun pajanan berlanjut sepanjang hayat (IPCS, 2004). RfD ini pun merupakan besar dosis untuk jalur pajanan oral. Sedangkan, dosis untuk jalur pajanan inhalasi disebut *Reference Concentration (RfC)*. RfC merupakan perkiraan pajanan harian dengan rentang ketidakpastian bagi populasi umum yang tidak akan mengalami risiko dampak yang merugikan sepanjang hayat. Oleh karena itu, RfC ini pun dapat dikatakan sebagai jumlah zat kimia yang memajani manusia setiap hari dalam kurun waktu yang lama dimana tidak menyebabkan dampak yang merugikan. Selain itu, RfC bukan dosis yang *acceptable* melainkan hanya referensi saja. Apabila dosis yang diterima oleh manusia melebihi RfC maka kemungkinan untuk mendapatkan risiko juga bertambah (Rahman, 2007).

Menentukan RfC dapat menggunakan pendekatan teknik *Bench Mark Dose Modelling* ini yaitu dengan mengambil data eksperimen penelitian sebelumnya dan mengekstrapolasikannya untuk mendapatkan nilai RfC (Susilowati, 2011). Data dosis acuan *Reference Dose Concentration (RfC)* diambil dari nilai *default* yang terdapat di IRIS (*Integrated Risk Information System*). Berdasarkan IRIS (2003), dosis acuan untuk benzena (*RfC*) yang diperbolehkan adalah $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$. Nilai ini perlu dikonversikan menjadi $\text{mg}/\text{kg}/\text{hari}$ sehingga didapatkan nilai *RfC* dari *benzene* sebesar $0,00857 \text{ mg}/\text{kg}/\text{hari}$. Sedangkan untuk *xylene* yang diperbolehkan adalah $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ dan untuk *toluene* yang diperbolehkan adalah $5 \text{ mg}/\text{m}^3$.

2. Efek karsinogenik

Efek karsinogenik suatu agen risiko dinyatakan sebagai risiko kanker yang diperkirakan dari perkalian antara dosis harian yang diterima (*actual human dose*) dengan *slope factor* yang diperoleh dari pemodelan dosis-respons. Proses toksifikasi dengan periode laten yang panjang disebut dengan kanker. *Cancer Slope Factor (CSF)* yang sering juga disebut faktor potensi yang didefinisikan oleh EPA sebagai perkiraan probabilitas respon per unit asupan zat kimia sepanjang hayat. 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 (ATSDR, 2006). Data dosis acuan menurut (EPA, 2007), nilai CSF untuk *benzene* sebesar 0,027 (mg/kg)/hari.

2.3.6.4. Karakteristik Risiko

Karakteristik risiko kesehatan untuk efek non-karsinogenik disebut Risk Quotient (RQ) (ATSDR, 2006) dan Excess Cancer Risk (ECR) untuk efek-efek karsinogenik (EPA, 2005). Pehitungan nilai RQ yaitu membagi asupan non-karsinogenik (*Ink*) agen risiko dengan nilai RfC seperti persamaan berikut:

$$RQ = \frac{I}{RfC}$$

Dengan:

RQ : Risk Quotient

Ink : Intake nonkarsinogenik (m³/kg/hari)

RfC : Reference Concentration (m³/kg/hari)

Apabila nilai $RQ < 1$, menunjukkan indikasi tidak adanya kemungkinan terjadinya risiko efek yang merugikan. Sedangkan $RQ > 1$ menunjukkan indikasi adanya kemungkinan terjadinya risiko efek yang merugikan sehingga perlu adanya upaya pengendalian (Dewi, 2016). Sementara untuk perhitungan efek karsinogenik menggunakan rumus sebagai berikut (Pedoman ARKL, 2012);

$$ECR = I \times CSF$$

Dengan:

ECR : Excess Cancer Risk (Risiko Kanker)

Ik : Jumlah intake kronis (sepanjang hayat, yaitu selama 70 tahun)

CSF : Cancer Slope Factor

Cancer Slope Factor dapat didefinisikan sebagai hubungan kuantitatif antara dosis dan respon. Nilai ini merupakan estimasi besar peluang individu terkena kanker akibat pajanan dari suatu agen kanker yang potensial. Sedangkan ECR merupakan jumlah penduduk yang terkena efek merugikan yang dapat terkena efek yang merugikan yang dapat berkembang sebagai kanker untuk setiap 10.000, 100.000 atau 1.000.000 penduduk.

Berdasarkan EPA (1998) nilai ECR dibatasi pada rentang 10^{-4} hingga 10^{-6} . Namun, rentang nilai ECR yang digunakan yaitu 10^{-4} yang mana merupakan nilai batas minimum risiko kanker untuk para pekerja yang terpapar toksik. (Betty, 2011)

2.4.2 Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan proses yang dilakukan untuk memperkecil risiko dari dampak paparan terhadap kesehatan pekerja. Prosesnya dapat dilakukan dengan mengubah nilai faktor pemajanan, sehingga asupan lebih kecil atau sama dengan dosis referensi toksisitasnya. Namun, pada dasarnya hanya terdapat dua cara untuk menyamakan intake dengan RfC yaitu; 1) menurunkan konsentrasi agen risiko saja atau mengurangi waktu kontak, 2) melakukan kombinasi yaitu menurunkan konsentrasi sekaligus mengurangi waktu kontak. Pernyataan kuantitatif dari karakteristik risiko juga perlu dijelaskan secara kualitatif. Penjelasan kualitatif yang dapat dilakukan dimulai dari penjelasan mengenai bukti bahwa agen risiko yang dikaji aman digunakan dalam kondisi tertentu, saran guna menghindari paparan atau meminimalisir pemajanan. (Rahman, 2007)

Terdapat pengendalian terhadap paparan bahan kimia di lingkungan kerja. Pengendalian ini dapat dilakukan dalam 3 hal yaitu pencegahan terhadap sumbernya, media pengantar dan terhadap manusia yang terpajan sebagai berikut (Susilowati, 2011);

1. Pencegahan Terhadap Sumbernya

Pada pengendalian ini dilakukan dengan cara monitoring penggunaan bahan berbahaya di area kerja. Hal ini dapat dilakukan dengan mengisolasi sumber paparan supaya tidak mengeluarkan konsentrasi secara besar di area kerja dengan '*Local Exhauster*'.

2. Pencegahan Terhadap Transmisi

Pada pengendalian ini dapat dilakukan dengan memperbanyak ventilasi udara ataupun alat bantu pertukaran udara di ruang kerja. Alat bantu yang dimaksud yakni seperti *exhaust fan* atau kipas angin.

3. Pencegahan terhadap Tenaga Kerja

Pada pengendalian ini dapat dilakukan dengan menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) berupa *safety glasses, mask, safety gloves, safety shoes, earplug/earmuff*, dan pakaian dalam bekerja. Selain itu, memberikan informasi mengenai masalah kesehatan dan keselamatan dalam bekerja untuk para pekerja.

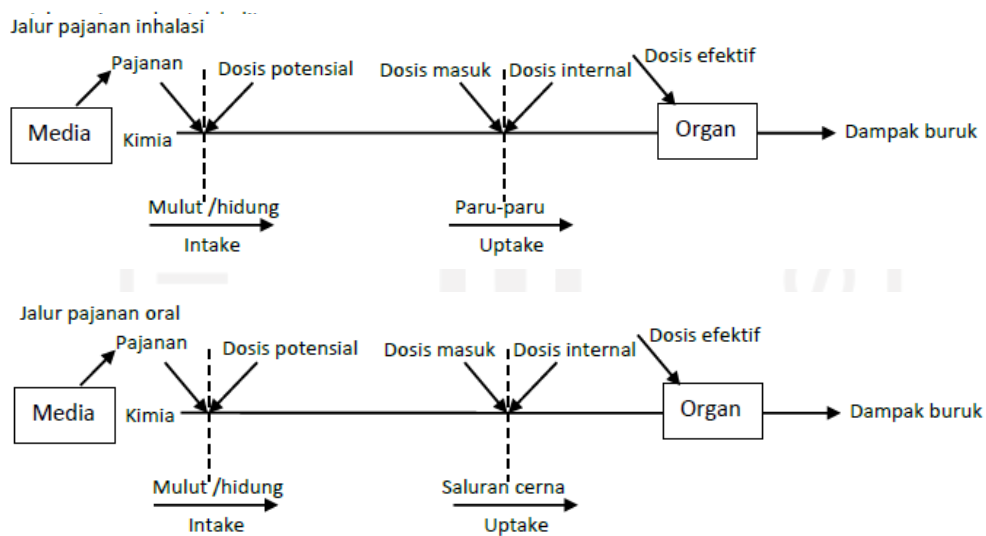
2.4.3 Komunikasi Risiko

Komunikasi risiko merupakan pertukaran informasi dan pandangan mengenai risiko beserta fakta yang berkaitan dengan risiko diantara para pengkaji risiko, manajer risiko, konsumen dan berbagai pihak lain yang berkepentingan. Memberikan informasi yang bermakna, relevan dan akurat dalam istilah yang jelas dan mudah dipahami

merupakan tujuan pokok dari komunikasi risiko. Bentuk komunikasi risiko ini merupakan hasil dari analisis manajemen risiko sebelumnya yang telah dikaji dimana perlu diketahui oleh semua pihak yang berkepentingan sehingga akan memberikan manfaat bagi pihak yang berkaitan. Informasi yang jelas harus didapatkan oleh pihak manajemen mengenai semua risiko yang ada di bawah kendalinya. Selain itu, para pekerja pun perlu mendapatkan informasi mengenai semua potensi bahaya di lingkungan kerjanya sehingga mereka bisa melakukan pekerjaan dengan aman dan sehat. Komunikasi yang digunakan dapat berupa forum komunikasi, edaran atau poster, petunjuk praktis, dan buku panduan atau pedoman kerja. (Ramli, 2010)

2.5 Jalur Paparan

Agan risiko dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan. Pemajanan dengan dosis dan waktu yang cukup mendukung akan dampak buruk yang diterima oleh manusia. Terdapat beberapa jalur paparan yang dapat memaparkan agen risiko di lingkungan pada organisme, sistem ataupun populasi. Pajanan agen risiko kimia di lingkungan yang dapat menimbulkan dampak buruk ini dijabarkan seperti gambar 3 dibawah berikut. (Pedoman ARKL, 2012)



Gambar 3 Skema Paparan dan Dosis (Kolluru, 1996) dalam (Pedoman ARKL, 2012)

Diketahui ada tiga pintu masuk (*portal of entry*) bahan kimia berbahaya terutama BTX ke dalam tubuh, yaitu inhalasi (pernafasan), oral (mulut) dan dermal (kulit). Paparan oral jarang terjadi, kecuali pada kasus tangan seorang pekerja kena pelarut tersebut lalu mengambil makanan dan memakannya langsung dari tangan. toksik akan masuk ke dalam lambung lalu menuju hati untuk dimetabolisme kemudian dieksresikan lewat urin. Paparan inhalasi sering terjadi karena mudah menguap dan uapnya diadsorbsi di paru-paru. Paparan ini menimbulkan iritasi pada saluran pernapasan. Adsorbsi pada dermal atau kulit juga bisa terjadi, dan dapat melarutkan lemak di kulit tetapi kuantitasnya tidak sebanyak inhalasi. (Jacobson dan McLean, 2003)

2.6 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

2.6.1. Pengertian Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Kualitas perusahaan untuk mengelola serta mengatur sehingga dapat berfungsi secara produktif dipengaruhi oleh sumber daya manusia. Namun, untuk mencapai tujuan kerja terdapat risiko yang dapat diterima oleh sumber daya manusia itu sendiri sehingga perusahaan harus selalu memiliki upaya untuk menghindari risiko kecelakaan kerja dengan menjamin Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Kesehatan Kerja itu sendiri dapat didefinisikan sebagai suatu kondisi dimana seseorang dapat menunjukkan kemampuan untuk berinteraksi dengan lingkungan dan pekerjaannya bukan hanya perihal suatu kondisi fisik, mental dan sosial seseorang yang tidak saja bebas dari penyakit atau gangguan kesehatan (Budiono, 2003). Sedangkan, kondisi keselamatan yang bebas dari risiko kecelakaan dan kerusakan dimana kita bekerja yang mencakup mengenai keadaan bangunan, peralatan keselamatan, keadaan mesin, dan keadaan pekerja disebut Keselamatan Kerja (Simanjuntak, 1997).

Melihat beberapa uraian sebelumnya mengenai pengertian keselamatan dan kesehatan kerja, sehingga didapat definisi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang merupakan bidang yang berkaitan dengan keselamatan, kesehatan, dan kesejahteraan manusia yang bekerja di sebuah institusi maupun lokasi proyek (Widodo, 2015). Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah No.50 Tahun 2012, kesehatan dan keselamatan kerja adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan kerja dan penyakit akibat kerja. Keselamatan dan Kesehatan Kerja ini diatur oleh Undang-Undang No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan khususnya pada paragraf 5 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja di pasal 86. Pada pasal 86 ayat 1 dijelaskan bahwa setiap pekerja memiliki hak untuk memperoleh perlindungan atas Keselamatan dan Kesehatan Kerja mereka. Sedangkan, pada pasal 86 ayat 2 menjelaskan bahwa penyelenggaraan Keselamatan dan Kesehatan Kerja ini untuk melindungi keselamatan para pekerja supaya menciptakan produktivitas kerja secara optimal. Pada Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan Tenaga Kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Selain itu, terdapat ketetapan terbaru mengenai nilai ambang batas pajanan senyawa toksik guna menjadi nilai batas dalam melakukan monitoring lingkungan kerja supaya tetap aman.

2.6.2. Tujuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Berdasarkan Undang-Undang No.1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, bahwa tujuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang berkaitan dengan mesin, peralatan, landasan tempat kerja dan lingkungan tempat kerja adalah mencegah terjadinya kecelakaan dan sakit akibat kerja, memberikan perlindungan pada sumber-sumber produksi sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas.

Menurut (Suma'mur, 1992) tujuan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yaitu melindungi tenaga kerja atas hak dan keselamatannya dalam melakukan pekerjaannya. Selain itu juga untuk kesejahteraan hidup, meningkatkan kinerja, menjamin keselamatan seseorang di lingkungan kerja, dan menjadi sumber produksi terpelihara dan dipergunakan secara aman dan efisien. Namun, menurut Mangkunegara (2004), tujuan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) seperti; 1) supaya setiap pekerja mendapatkan jaminan K3 baik secara fisik, psikologis, dan sosial, 2) supaya setiap perlengkapan dan peralatan kerja digunakan dengan baik secara selektif mungkin, 3) semua hasil produksi dijaga keamanannya, 4) Supaya terdapat jaminan atas pemeliharaan dan peningkatan kesehatan gizi para pekerja, 5) supaya meningkatkan etos kerja, partisipasi kerja, dan keserasian kerja para pekerja, 6) supaya terhindar dari gangguan kesehatan yang disebabkan oleh kondisi lingkungan kerja, dan 7) supaya setiap pegawai merasa aman dan merasa dilindungi dalam bekerja.

2.7 Pemantauan Paparan BTX

Pemantauan paparan BTX dapat dideteksi dengan menggunakan alat bernama *Tube Gas Detector* yang mana digunakan untuk mengukur konsentrasi gas/vapour kimia berbahaya yang ada di udara dengan metode *colorimetry* analisis secara grab sampling (aktif) maupun TWA (pasif). *Tube Gas Detector* dapat menyerap berbagai macam jenis zat kimia ataupun partikel yang ada di udara yang mana dapat mendeteksi 200 gas atmosfer dimana alat ini terdiri dari pompa dan tabung indikator kolorimetri (*Tube*). Meskipun satu *Tube* dapat menyerap berbagai macam jenis senyawa kimia dan partikel, tetapi hanya dapat mendeteksi satu senyawa sesuai dengan indikator kolorimetri *Tube*. NIOSH telah mengeluarkan sertifikasi untuk 63 unit tabung detektor gas. Tabung indikator (*Tube*) adalah tabung gelas tertutup rapat yang berisi bahan granular seperti silika gel, alumina, atau apung yang penuh dengan pereaksi kimia dimana bereaksi dengan kontaminan dalam aliran udara saat ia ditarik melalui tabung untuk menyerap paparan gas di udara dengan dilengkapi oleh *Tube* yang disesuaikan berdasarkan jenis gas yang ingin dideteksi. (Honeywell, 2015)

Masing-masing *Tube* hanya bisa mendeteksi satu jenis gas saja dan memiliki rentang pengukuran. Pada *tube benzene* terdapat *range* pengukuran sebesar 0,2 – 20 ppm, sedangkan *tube toluene* sebesar 2 – 50 ppm, dan pada *tube xylene* sebesar 10 – 250 ppm. Penggunaan alat ini biasanya ditunggu hingga tanda baca berubah warna menjadi putih. Jika terdapat kontaminan pada tube akibat paparan toksik, masing-masing tube akan berubah warna hingga konsentrasi tertentu. Perubahan warna yang terjadi terbaca oleh pembaca sehingga hasil yang diperoleh sangat subjektif. Penilaian visual ini tergantung pada visi warna pembaca dan kualitas pencahayaan di area terdekat. Untuk mengurangi sumber kesalahan pembaca ini, terdapat indikator warna pada tiap jenis tube. Pada *benzene* akan berubah warna menjadi coklat muda, sedangkan *toluene* berubah menjadi coklat dan *xylene* berubah menjadi coklat kemerahan. (TKO, 2018)

Terdapat sumber kesalahan lainnya yaitu pada suhu. Karena laju reaksi kimia tergantung pada suhu, harus diakui bahwa banyak tabung akan memberikan pembacaan

yang salah pada suhu tinggi atau rendah. Selain itu, kesederhanaan dan kemudahan operasi, alat ini diiklankan secara luas dimana dapat digunakan oleh personel tidak terampil untuk dengan cepat menilai paparan pekerja terhadap tingkat gas/vapour kimia berbahaya. Meskipun benar bahwa prosedur operasi sederhana, cepat, dan mudah, telah berulang kali diperlihatkan dalam praktiknya bahwa kesalahan dalam operasi sampler seperti pada pemilihan lokasi dan waktu pengambilan sampel serta dalam interpretasi hasil pengukuran. Hal ini dapat teratasi jika instrumen ada di tangan operator terlatih yang diawasi oleh profesional kesehatan yang kompeten. Tube ini pun dapat menyerap sejumlah zat organik tidak spesifik dimana menghasilkan reaksi warna kromatik tertentu. Semua zat yang mudah teroksidasi dapat mempengaruhi indikasi. (Zefon, 2019)

Tube Gas Detector ini memang merupakan alat yang sederhana karena hanya terdiri dari pompa dan Tube. Lalu, cepat untuk mendeteksi gas/vapour kimia berbahaya, karena penggunaan alatnya sehingga tidak perlu menunggu lama seperti melakukan pengecekan melalui laboratorium. Selain itu, mudah untuk digunakan karena hampir setiap orang dapat dengan cepat belajar untuk mengambil sampel dan menginterpretasikan hasilnya. Sehingga, tidak perlu pengetahuan kimia untuk membaca pengukur di sisi tabung. *Tube Gas Detector* ini tentunya harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan metode pengambilan sampel kualitas udara lainnya. (Honeywell, 2015)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Peneliti melakukan penelitian PT. X, Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah. Lokasi penelitian yaitu berada di Unit 1. Proses pengambilan data dimulai 15 November 2019 - Mei 2020.

3.2 Jenis dan Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian yang deskriptif yaitu menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Metode ARKL ini digunakan untuk menilai dan melakukan prediksi yang akan terjadi yang disebabkan adanya paparan terhadap bahan kimia berbahaya di udara lingkungan kerja. Terdapat beberapa langkah yang dilakukan pada metode ini yaitu (Pedoman ARKL, 2012) ;

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

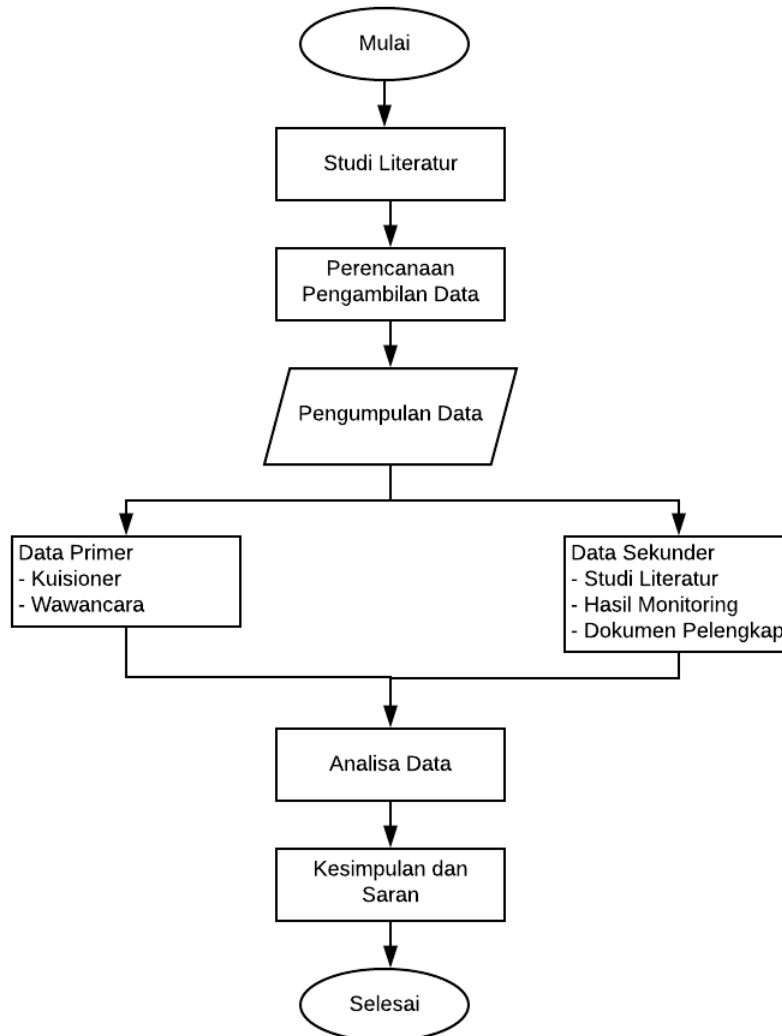
Pada penelitian ini yang dimaksud dengan penelitian deskriptif dalam metode ARKL dilakukan dengan dua metode yakni secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis secara kuantitatif dilakukan dengan mengolah data yang diambil dari data primer (kuisisioner) dan data sekunder hasil monitoring paparan senyawa kimia berbahaya. Sedangkan, analisis secara kualitatif mengulas dari hasil observasi wawancara dan dokumen pelengkap sehingga menghasilkan kesimpulan yang berlandaskan teori. (Reinard, 2006)

3.3 Instrumen

Pada penelitian ini menggunakan beberapa instrumen guna mendukung keberhasilan berjalannya penelitian yaitu;

1. Alat Tulis
2. *Tube Gas Detector* (detektor toksik)
3. Lembar Kuisisioner
4. Pedoman ARKL
5. Dokumen hasil pemantauan
6. Dokumentasi lapangan maupun kegiatan.

3.4 Prosedur Analisis Data



Gambar 4 Diagram Alir Kerangka Penelitian

3.5 Metode Pengukuran BTX

Pada penelitian ini, pengukuran BTX di lingkungan kerja menggunakan alat yaitu *Tube Gas Detector*. *Tube Gas Detector* ini berfungsi untuk mengukur konsentrasi gas/vapour kimia berbahaya yang ada di udara dengan metode *colorimetry analysis*. Alat ini merupakan alat yang dapat mendeteksi senyawa kimia berbahaya secara aktif dan pasif dengan menggunakan tube sesuai senyawa toksik yang diinginkan. Pengukuran secara aktif yaitu pengukuran senyawa toksik dalam waktu singkat, sedangkan pengukuran secara pasif yaitu pengukuran senyawa toksik selama 8 jam waktu normal bekerja.

Masing-masing tube memiliki *measuring range* yang berbeda-beda. Pada *tube benzene* terdapat *range* pengukuran sebesar 0,2 – 20 ppm dengan *detecting limit* 0,1 ppm,

sedangkan *tube toluene* sebesar 2-50 ppm dengan *detecting limit* 0,1 ppm, dan pada *tube xylene* sebesar 10 - 250 ppm dengan *detecting limit* 0,1 ppm.



Gambar 5 *Gas Tube Detector*

Cara penggunaannya tertera pada Tata Kerja Organisasi Pengoperasian *Tube Gas Detector* sebagai berikut sebagai berikut (TKO Pengoperasian Tube Gas Detector, 2018);

1. *Passive Tube*

Tentukan titik lokasi yang akan dideteksi paparan gas toksiknya. Kemudian, siapkan tube sesuai jenis gas yang akan diukur dan pastikan tidak kadaluarsa. Ujung tube dipatahkan dengan menggunakan fasilitas *tip breaker* yang tersedia pada *gas sampling pump*. Lalu, melakukan pengukuran pada lokasi kerja dengan meletakkan pada ketinggian sekitar zona area pernafasan manusia. Setelah itu, ambil dosi-tube setelah 6-8 jam pengukuran dan catat hasil pengukuran dengan melihat perubahan warna pada tube hingga konsentrasi tertentu.

2. *Active Tube*

Tentukan titik lokasi yang akan dideteksi paparan gas toksiknya. Kemudian, lakukan tes *vacuum* pada *gas sampling pump* sebelum digunakan dengan cara menutup inlet pompa dengan ujung jari atau tube yang masih utuh. Lalu, poisisikan garis merah pada handle pump sesuai dengan indikator garis merah pada *casing pump* dan atur sampling udara yang diinginkan 50 ml/100 ml. setelah itu, siapkan tube sesuai jenis gas yang akan diukur dan pastikan tidak kadaluarsa. Ujung tube dipatahkan dengan menggunakan fasilitas *tip breaker* yang tersedia pada *gas sampling pump*. Lalu, memasang tube melalui inlet pada *gas sampling pump* dengan tanda panah mengarah ke inlet *gas sampling pump* dan tarik *handle pump* pada batas 50 ml/100 ml (1/2 atau penuh) hingga bunyi klik. Lakukanlah pengukuran pada lokasi kerja dengan ketinggian sekitar zona area pernafasan manusia. Amati indikator pada pangkal *handle gas* hingga berubah warna dari gelap menjadi putih yang menandakan bahwa selesainya proses sampling.

3.6 Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini merupakan pekerja yang bekerja di kilang khususnya pada unit 1. Sehingga, sampel yang dapat diambil yakni hanya pekerja yang bekerja di unit 1 dari populasi sebanyak 75 orang. Namun, terdapat rumus besar sampel untuk menentukan jumlah sampel yang akan digunakan sebagai berikut (Dahlan, 2014);

$$\begin{aligned}n &= \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 P(1-P)N}{d^2(N-1) + Z_{1-\alpha/2}^2 P(1-P)} \\&= \frac{1,96 \times 0,5 (1-0,5)75}{0,1^2(75-1) + (1,96 \times 0,5 \times (1-0,5))} \\&= 29,87 \\&\approx 30 \text{ orang}\end{aligned}$$

Keterangan :

n = jumlah sampel

P = Proporsi perkiraan jumlah sampel maksimal (0,5)

N = Besar Populasi

d = Derajat kesalahan atau tingkat ketepatan absolut (0,1)

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2$ = Nilai deviasi standar normal 1,96 sesuai tingkat signifikansi 95%

Jumlah sampel yang didapat dari perhitungan yakni hanya 30 pekerja saja dengan menggunakan *error tolerance* sebesar 5 %. Sampel ini guna untuk mengetahui pajanan toksik pada para pekerja dengan pemberian kuisioner. Namun, untuk lebih memaksimalkan hasil penelitian maka estimasi dengan menambah 10 responden untukantisipasi berkurangnya pekerja akibat pensiun ataupun *dropout*. Selain itu, tentunya didukung dengan data sekunder dari besarnya konsentrasi pajanan toksik.

3.7 Variabel

Terdapat beberapa variabel yang terkait dalam penelitian ini yang tertera seperti sebagai berikut;

1. Variabel bebas : Praktek kerja (penggunaan APD), pajanan bahan kimia (durasi dan lama pajanan), berat badan, kebiasaan merokok dan riwayat penyakit.
2. Variabel terikat : Konsentrasi pajanan bahan kimia (toksik), potensial risk (PAK).

3.8 Pengolahan Data

Pengolahan data yang akan dilakukan yaitu membandingkan hasil penelitian (nilai *intake*) yang telah didapat dari pekerja dengan nilai *Cancer Slope Factor (CSF)* untuk efek karsinogenik dan nilai konsentrasi referensi (*RfC*) untuk efek non-karsinogenik yang aman bagi pajanan. Namun, pengolahan data ini berasal dari dua sumber yaitu data primer dan data sekunder. Sehingga, pegolahan data dapat memberikan hasil yang signifikan.

3.8.1. Data Primer

Hasil data primer diperoleh melalui wawancara serta kepada informan yaitu kepada pihak-pihak yang bertanggung jawab, memahami pelaksanaan proses produksi pada kilang PT. X. Pihak tersebut yaitu meliputi kepala seksi departemen *Occupational Health*, pekerja, serta pihak lain yang berkaitan dengan proses produksi di perusahaan. Proses produksi yang dimaksud adalah proses pengolahan apa saja yang berpotensi dapat menyebabkan bahaya pada pekerja dari pajanan kimia hasil olahan produksi., terutama mengganggu kesehatan para pekerja. Selain menggunakan wawancara pada pengumpulan data, dilakukan juga dengan mengisi lembar kuisioner untuk mengetahui durasi pajanan, lama pajanan, berat badan, kebiasaan merokok, dan riwayat penyakit. Hal ini perlu dilakukan guna mengetahui factor-faktor yang mendukung dampak dari pajanan bahan berbahaya tersebut.

3.8.2. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder diperoleh antara lain dari profil perusahaan, struktur organisasi, jumlah tenaga kerja, alur proses produksi, serta dokumen atau informasi pendukung lainnya. Selain itu, mengumpulkan hasil monitoring pemantauan lingkungan kerja yang menghasilkan bahan kimia toksik pada proses produksi.

3.8.3. Nilai Ambang Batas BTX

Pada pengukuran konsentrasi BTX dilapangan, dilakukan analisis singkat dengan membandingkan nilai konsentrasi dengan Nilai Ambang Batas (NAB). NAB yang digunakan dalam analisis ini yaitu;

Tabel 3. 1 Nilai Ambang Batas BTX

No	Hazardous Chemicals	Standard	TWA (ppm)	TWA (mg/m3)	STEL (ppm)	STEL (mg/m3)
1	Benzene	PP No. 5 th 2018	0.5	1.595	2.5	7.975
		NIOSH	0.1	0.319	1	3.188
2	Toluene	PP No. 5 th 2019	50	188		
		NIOSH	100	375	150	560
3	Xylene	PP No. 5 th 2019	100	434	150	651
		NIOSH	100	435	200	868

TWA (Time Weighted Average) : untuk pajanan 8 jam kerja

STEL (Short Term Exposure Limit) : untuk pajanan singkat selama 10-15 menit

3.8.4. Analisis Risiko Pajanan BTX

Pada analisis risiko pajanan BTX, hal yang pertama dapat dilakukan sebelum melakukan perhitungan intake perlu dilakukan konversi nilai konsentrasi pajanan BTX. .

Nilai tersebut masih dalam satuan ppm sehingga perlu dikonversikan ke dalam satuan mg/m³ dengan rumus sebagai berikut;

$$\text{mg/m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{BM toksik}}{24.5}$$

Kemudian, setelah dilakukan konversi bisa melakukan analisis risiko untuk mengetahui nilai risiko dari pajanan BTX. Proses analisa data terdapat perhitungan massa guna mengetahui nilai risiko nonkarsinogenik dan risiko karsinogenik dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut;

1. Perhitungan Risiko Non-karsinogenik

Berdasarkan jumlah asupan agen risiko dapat dihitung risiko non-karsinogeniknya. Sehingga, besar risiko dampak yang ditimbulkan terhadap pekerja dapat diketahui. Data yang dibutuhkan untuk melengkapi perhitungan asupan dalam tubuh pekerja terdapat beberapa variabel dalam formula berikut (Louvar dan Louvar, 1998);

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

Dengan:

I_{nk} : Intake/asupan, jumlah agen risiko yang diterima orang per satuan, mg/kg/hari

C : Konsentrasi agen risiko di udara (mg/m³)

R : Rate/laju asupan (m³/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 utk non-karsinogenik dan 70 tahun x 365 hari/tahun karsinogen)

Kemudian, terdapat perhitungan RQ (*Risk Quotient*) untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan pada pekerja dengan menggunakan rumus;

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfC}$$

Perhitungan nilai RQ (*Risk Quotient*) ini guna mengetahui kemungkinan risiko yang berpotensi terjadi yang disebabkan oleh pajanan toksik dengan menggunakan nilai RfC yang diambil dari data IRIS (2003). Nilai RQ > 1 menunjukkan BTX telah diatas normal, maka berpotensi dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi pekerja tersebut. Sedangkan, untuk nilai RQ < 1 berarti diartikan bahwa pajanan

bahan kimia toksik berada dibawah batas normal, maka pekerja yang terpapar ini berpotensi masih termasuk aman dari risiko kesehatan akibat paparan senyawa BTX selama hidupnya.

2. Perhitungan Risiko Karsinogenik

Berdasarkan jumlah agen risiko sepanjang hayat dapat dihitung nilai risiko karsinogeniknya. Sehingga, besar risiko dampak yang ditimbulkan terhadap pekerja dapat diketahui. Data yang dibutuhkan untuk melengkapi perhitungan asupan dalam tubuh pekerja terdapat beberapa variabel dalam formula berikut (Louvar dan Louvar, 1998);

$$I = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Dengan:

I : Intake/asupan, jumlah agen risiko yang diterima orang per satuan, mg/kg/hari

C : Konsentrasi agen risiko di udara (mg/m³)

R : Rate/laju asupan (m³/jam)

t_e : Waktu pajanan / bekerja dalam sehari (jam)

f_e : Frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

D_t : Durasi pajanan, real time atau 70 tahun proyeksi

W_b : Berat badan (kg)

t_{avg} : Periode waktu rata-rata

Pada perhitungan nilai risiko karsinogenik dibutuhkan nilai *Cancer Slope Factor* (*CSF*). Besarnya nilai *CSF* ini diambil dari data yang terdapat pada *IRIS* (2003) mengenai nilai *Air Unit Risk*. Perhitungan nilai risiko karsinogenik ini menggunakan rumus:

$$ECR = I_K \times CSF$$

Dengan:

ECR : *Excess Cancer Risk* (Risiko Kanker)

I_k : Jumlah *intake* kronis (sepanjang hayat, yaitu selama 70 tahun)

CSF : *Cancer Slope Factor*

Analisa yang digunakan setelah mendapatkan hasil *ECR* dari perhitungan maka dapat diasumsikan dengan dua syarat. Pertama, jika $ECR \leq 10^{-4}$ maka konsentrasi hazard berpotensi tidak berisiko menimbulkan efek kesehatan karsinogenik. Kedua, jika $ECR > 10^{-4}$ maka nilai konsentrasi hazard berpotensi dapat berisiko efek kesehatan karsinogenik. (Pedoman ARKL, 2012)

3. Perhitungan Manajemen Risiko

Selain itu, hasil analisa yang telah didapat ditindak lanjuti guna memperkecil risiko dari dampak paparan yang mempengaruhi kesehatan pekerja. Hal yang butuh untuk dilakukan dengan cara mengkalkulasikan; 1) Penurunan konsentrasi pajanan BTX, 2) Mengurangi waktu kontak yang meliputi lama pajanan, frekuensi pajanan, dan durasi pajanan, dengan rumus yang sama pada saat menghitung risiko karsinogenik dan nonkarsinogenik sebagai berikut ;

a. Penurunan konsentrasi pajanan (C)

$$C_{\text{aman}} = \frac{I \times W_b \times t_{\text{avg}}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

b. Mengurangi lama pajanan (t_E)

$$t_{E \text{ aman}} = \frac{I \times W_b \times t_{\text{avg}}}{C \times R \times f_E \times D_t}$$

c. Mengurangi frekuensi pajanan (f_E)

$$f_{E \text{ aman}} = \frac{I \times W_b \times t_{\text{avg}}}{C \times R \times t_E \times D_t}$$

d. Mengurangi durasi pajanan (D_t)

$$D_{t \text{ aman}} = \frac{I \times W_b \times t_{\text{avg}}}{C \times R \times t_E \times f_E}$$

4. Komunikasi Risiko

Setelah dilakukan manajemen risiko, hasil yang didapat dapat sebagai bahan evaluasi supaya dapat dikomunikasikan kepada para pekerja mengenai bahaya dari pajanan BTX serta solusi yang akan ditindaklanjuti. Komunikasi terhadap pekerja dapat dilakukan dengan melakukan beberapa kegiatan seperti *routine sharing* mengenai monitoring lingkungan serta bahayanya. Selain itu, ditunjang dengan program-program lainnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

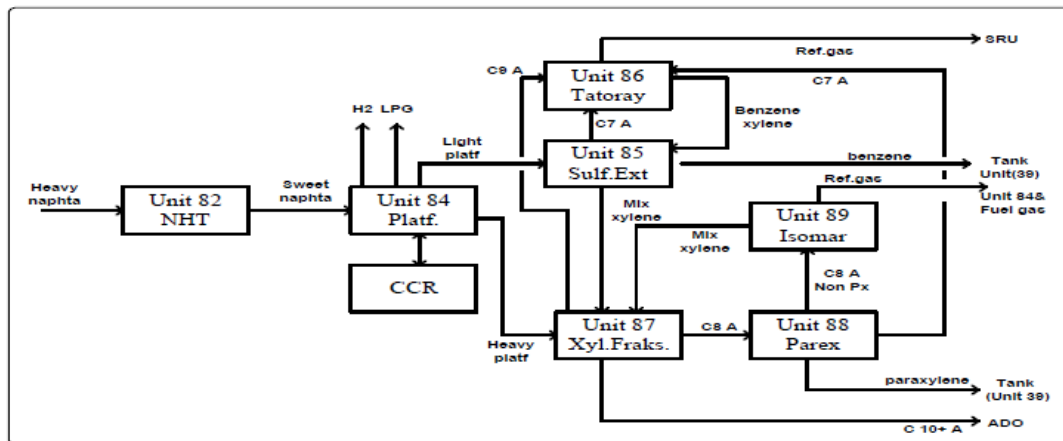
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

PT. X terdiri dari 15 unit pengolahan. Salah satunya yaitu unit kilang *paraxylene* atau biasa disebut dengan 1. Unit 1 ini mengolah *naphta* menjadi produk petrokimia seperti *paraxylene* dan *benzene* sebagai produk utama, dan *raffinate*, *heavy aromate*, *toluene*, serta LPG (produk sampingan). Unit kerja di Kilang *Paraxylene Complex* secara garis besar dibagi menjadi tiga area proses yang masing-masing bertanggung jawab terhadap unit-unit proses yang ada di masing-masing area yaitu: area proses A, area proses B dan area proses C seperti tabel dibawah;

Tabel 4. 1 Proses Pengolahan Produksi pada Masing-Masing Area

Area	Jml pekerja per shift	Proses Produksi
A	6	<p>a. <i>Naphtha Hydro Treater (Unit 82)</i> menghilangkan atau mengurangi senyawa-senyawa impuritis (<i>Sulfur</i>, Oksigen, Nitrogen dan logam-logam yang terdapat didalam umpan (<i>Heavy Naphtha</i>)) yang dapat meracuni proses platforming</p> <p>b. <i>Unit Platforming dan CCR (Unit 84)</i> mengkonversi atau merubah senyawa-senyawa hydrocarbo rantai lurus (<i>Parafin</i>) dan rantai karbon siklis (<i>Naphthene</i>) yang terdapat didalam umpan (sweet naphta) untuk mendapatkan produk gas hydrogen, LPG, <i>Light platformate</i>, <i>heavy plateformate</i>.</p>
B	5	<p>a. <i>Unit Sulfolane extraction (Unit 85)</i> menghilangkan senyawa non aromatis yang ada dalam umpan (<i>light platformate</i>) dengan proses ekstraksi dengan solven /pelarut <i>Sulfolane</i>. produk yang dihasilkan yaitu <i>Benzene</i>, rafinat, <i>Toluene</i>.</p> <p>b. <i>Unit Tatoray (Unit 86)</i> mengkonversi senyawa <i>Toluene</i> dan C9 aromatis menjadi <i>Benzene</i> dan <i>Xylenes</i> sebanyak mungkin.</p>
C	5	<p>a. <i>Unit Xylene Fracionation (Unit 87)</i> memisahkan komponen C8 aromatis dengan C9+ aromatis yang ada di dalam umpan (<i>heavy platformate</i>).</p> <p>b. <i>Unit Paraxylene Extraction/Parex (Unit 88)</i> memisahkan <i>Paraxylene</i> yang ada di dalam umpan (C8 aromatis) sehingga menghasilkan produk <i>Paraxylene</i> dan C8 aromatis non <i>Paraxylene</i></p> <p>c. <i>Unit Isomar (Unit 89)</i> Unit ini berfungsi untuk merubah senyawa C8 Aromatis non <i>Paraxylene</i> menjadi <i>Paraxylene</i> atau <i>mix xylenes</i></p>

Sumber : Data Sekunder, 2020



Gambar 6 Diagram Blok Unit Proses di unit 1

Tabel 4. 2 Sistem Pekerja Operator, Pannelman dan Administrasi

Hari Kerja	
Operator dan Pannelman	Admin
shift	harian (5 hari kerja dari pukul 08.00-16.00)
shift pagi (08.00-16.00)	
shift siang (16.00-24.00)	
shift malam (24.00-08.00)	

Sumber : Data Sekunder, 2020

Dilihat dari proses produksi unit 1 yang menghasilkan produk BTX menjadi menarik untuk dikaji oleh peneliti lebih lanjut. Senyawa tersebut memiliki dampak negatif bagi kesehatan, sehingga pada penelitian ini akan mencari tau sebesar apa risiko dari kesehatan akibat paparan senyawa BTX tersebut. Metode yang akan digunakan dalam proses analisa penelitian yaitu menggunakan ARKL dengan melihat variabel yang didapat dari para pekerja.

4.2 Karakteristis Responden

Karakteristik responden didapatkan dari hasil kuesioner yang mana akan dijabarkan pada tabel sebagai berikut;

Tabel 4. 3 Karakteristik Responden di Unit 1

Variabel	Jumlah Responden	Persentase (%)
<i>Jenis Kelamin</i>		
perempuan	0	0
laki-laki	41	100
Jumlah	41	100

<i>Pendidikan</i>		
Tidak tamat SD	0	0
SD	0	0
SMP	0	0
SMA	24	58.54
Diploma/sarjana	17	41.46
Jumlah	41	100
<i>Kebiasaan Merokok</i>		
Iya	8	19.51
Tidak	33	80.49
Jumlah	41	100
Jumlah batang		
1 - 6	5	12.20
7 - 12	1	2.44
≥ 12	2	4.88

Sumber : Data Primer, 2020

Karakteristik 41 responden yang telah diakumulasi dari hasil kuisioner tersebut didapatkan dari beberapa informasi tambahan mengenai pekerja yang bekerja di unit 1 yang meliputi jenis kelamin, tingkat pendidikan, dan kebiasaan merokok. Pekerja pada bagian unit pengolahan 1 100% adalah laki-laki. Tingkat pendidikan pekerja di unit 1 ini 58,54% merupakan lulusan SMA dan sisanya 41,46% merupakan lulusan diploma/sarjana. Didapatkan pula informasi tambahan tentang perilaku pekerja dimana sebagian besar 80,49% pekerja tidak merokok dan sisanya sebesar 19,51% merokok. Selain itu, terdapat informasi dari data kuisioner bahwa mayoritas pekerja sebagai operator, dan satu orang pannelman dan satu orang administrasi.

Rata-rata pekerja sudah mulai bekerja di PT. X sejak lulus SMA hingga sekarang yakni berkisar lebih dari 20 tahunan. Massa bekerja pekerja ini berpengaruh terhadap risiko kesehatan karena semakin banyak pajanan uap *benzene*, *toluene*, dan *xylene* (BTX) yang dihirup oleh mereka selama mereka bekerja. Hal ini berbanding lurus dengan risiko kesehatan yang dapat mengancam para pekerja akibat pajanan BTX. Pajanan BTX ini dapat mengganggu kesehatan karena sangat berbahaya. Lebih berbahaya lagi jika dihirup secara terus-menerus selama bertahun-tahun.

BTX merupakan senyawa yang dihasilkan dari pengolahan kilang *paraxylene*. Namun, BTX juga terkandung pada asap rokok. Para pekerja merokok setiap hari dan dilakukan saat waktu istirahat atau saat pulang kerja yang tepatnya adalah tidak dilakukan didalam kilang. Kebiasaan merokok pada pekerja dapat menambah jumlah konsentrasi *benzene* dalam tubuh. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Egheggy dkk (2000), di Amerika Serikat menyatakan bahwa asap rokok merupakan penyumbang setengah dari sumber paparan *benzene*. Selain itu, didapatkan data untuk rata-rata asupan *benzene* pada seorang perokok aktif 10 kali lipat lebih besar daripada pekerja yang tidak merokok. Meskipun, kemungkinan pekerja yang tidak merokok pun masih bisa tetap terpajan oleh *benzene* dari asap rokok orang lain. Terdapat penelitian lain yaitu Sharon dkk (2001),

terdapat kandungan *benzene* pada rokok yang mana kadar *benzene* pada asap rokok sampingan (ujung rokok yang dibakar) 10 kali lipat lebih tinggi daripada asap yang dihisap oleh si perokok. Selain itu, terdapat kandungan *toluene* pada rokok yang mana kadar *toluene* pada asap rokok sampingan (ujung rokok yang dibakar) 6-8 kali lipat lebih tinggi daripada asap yang dihisap oleh si perokok.

4.3 Hasil Monitoring Paparan BTX

Monitoring paparan BTX dilakukan di 14 titik pemantauan. Lokasi pemantauan ini telah ditetapkan oleh bagian Occupational Health dimana berkoordinasi dengan bagian Unit 1. Dari 13 titik pemantauan, ditemukan sumber paparan BTX di 2 titik yang berada di area C. Sumber paparan BTX ditemukan di pompa 87 201 A dan 87 202 A/B ditandai dengan adanya rembesan disekitarnya. Fungsi dari 87 pump 201 A merupakan *inter tower pump* untuk mengalirkan *heavy platformate* C9+ dari kolom 202 A ke kolom 202 B dan 87 pump 202 A/B untuk mengalirkan *heavy platformate* C9+ dari kolom 202 B ke dapur dan kolom 203. Dari sumber tersebut didapat konsentrasi BTX sebagai berikut;

Tabel 4. 4 Hasil Monitoring Paparan BTX di Unit 1

Lokasi	Senyawa	Hasil Active (ppm)	Hasil Active (mg/m ³)	Hasil Passive (ppm)	Hasil Passive (mg/m ³)
Area C (87 P 201 A)	<i>Toluene</i>	0	0	20	75,22
	<i>Xylene</i>	0	0	10	43,33
	<i>Benzene</i>	0	0	0,5	1,594
Area C (87 P 202 A/B)	<i>Toluene</i>	0	0	20	75,22
	<i>Xylene</i>	0	0	10	43,33
	<i>Benzene</i>	0	0	0.5	1,594

Sumber : Data Primer,2020

Nilai paparan BTX yang didapatkan terdiri dari nilai aktif dan pasif yang mana dilakukan pada pekerja yang shift pagi hari dimana banyaknya pekerja yang aktif melakukan aktivitas patrol dan perbaikan unit. Selain itu, tidak mendapatkan ijin dari perusahaan bagi penelitian untuk melakukan pengukuran paparan pada shift sore dan malam. Nilai aktif untuk senyawa *benzene*, *toluene* dan *xylene* yaitu sama besarnya sebesar 0 ppm. Nilai 0 ini bukan berarti tidak ada senyawa sama sekali namun, dikarenakan alat deteksi memiliki batas pengukuran sehingga nilai 0 yang dimaksud yaitu nilai dibawah batas standar alat pengukuran. Sedangkan untuk nilai pasif *benzene* sebesar 0,5 ppm (1,594 mg/m³), pasif *toluene* sebesar 20 ppm (75,22 mg/m³), pasif *xylene* sebesar 10 ppm (43,33 mg/m³). Konsentrasi BTX ini hanya ditemukan di dua titik lokasi pemantauan dengan besar nilai yang sama. Maka dari itu, untuk memudahkan analisis lanjutan digunakan nilai rata-rata dari dua titik lokasi tersebut. Hasil dari rata-rata dua lokasi yaitu yaitu 0,5 ppm untuk *benzene*, 20 pm untuk *toluene*, dan 10 ppm untuk *xylene*. Namun, hal yang perlu diketahui paparan BTX tidak selalu ada setiap bulannya, karena setelah adanya paparan makanya langsung diadakan evaluasi untuk pengecekan operasi alat-alat di lapangan sehingga di bulan selanjutan tidak terdeteksi paparan BTX lagi.

Selain itu, BTX pun senyawa yang dapat menguap di udara sehingga saat melakukan pemantauan hal yang mungkin terjadi adalah tidak terdeteksinya paparan BTX. Nilai tersebut masih dalam satuan ppm sehingga perlu dikonversikan ke dalam satuan mg/m^3 dengan rumus sebagai berikut;

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

Tabel 4. 5 Hasil Konversi Nilai BTX

Senyawa	Satuan ppm	Satuan mg/m^3
<i>Benzene</i>	0.5	1.594
<i>Toluene</i>	20	75.22
<i>Xylene</i>	10	43.33

Pada nilai aktif pajanan BTX didapatkan nilai sebesar 0 ppm. Hal ini bisa disebabkan akibat tidak terdeteksinya paparan singkat, namun tidak bisa dipungkiri jika setelah dilakukan pengukuran BTX terdeteksi paparan. Maka dari itu, ini dapat dikatakan potensi untuk adanya paparan BTX di kemudian waktu. Sehingga, perlunya pemantauan secara pasif yakni selama 8 jam untuk memantau lingkungan kerja akan paparan BTX tersebut. Setelah didapatkan hasil tersebut saat pemantauan, dilakukan analisis singkat dimana membandingkan nilai konsentrasi hasil pemantauan dengan NAB dari BTX sebagai berikut;

Tabel 4. 6 Analisa Konsentrasi BTX di Unit 1 dengan NAB

No	Hazardous Chemicals	Standard	Hasil Active (ppm)	Hasil Passive (ppm)	*TWA (ppm)	*STEL (ppm)	Keterangan
1	<i>Benzene</i>	Permenaker No. 5 th 2018	0	0,5	0,5	2,5	Memenuhi NAB
		NIOSH	0		0,1	1	Memenuhi NAB
2	<i>Toluene</i>	Permenaker No. 5 th 2019	0	20	50		Memenuhi NAB
		NIOSH	0		100	150	Memenuhi NAB
3	<i>Xylene</i>	Permenaker No. 5 th 2019	0	10	100	150	Memenuhi NAB
		NIOSH	0		100	200	Memenuhi NAB

*Referensi NAB : Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan Kerja di Lingkungan Kerja dan *The National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH)

Konsentrasi BTX hasil monitoring tersebut jika dibandingkan dengan NAB masih berada pada batas aman. Pada konsentrasi *benzene* masih berada pada batas maksimum NAB yaitu 0,5 ppm dan untuk *toluene* dan *xylene* masih berada di bawah NAB dimana terjadi paparan selama 8 jam. Meskipun nilai konsentrasi masih dalam batas aman, tidak dapat dipungkiri bahwa senyawa BTX dapat memberikan dampak negatif terhadap

kesehatan akibat akumulasi paparan BTX jika terpapar setiap hari. Permenaker No. 5 2018 pun menyatakan bahwa *benzene* diklasifikasikan dalam kelompok A1 (zat kimia yang terbukti karsinogen untuk manusia) dan untuk *toluene* dan *xylene* masuk ke dalam klasifikasi A4 yang mana senyawa tidak diklasifikasikan karsinogenik terhadap manusia. Hal ini disebabkan karena tidak cukupnya data untuk mengklasifikasikan bahan ini bersifat karsinogenik terhadap manusia atau hewan uji.

4.4 Karakteristik Antropometri

Terdapat beberapa karakteristik antropometri dimana hasil data diolah mengenai distribusi antropometri yaitu: usia, berat badan, lama pajanan, frekuensi pajanan, dan durasi pajanan disajikan pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 4. 7 Hasil Statistik Karakteristik Antropometri Pekerja di Unit 1

Variabel	Satuan	Mean	Median	Modus	Min	Max
Usia	Tahun	32	25	24	19	55
Berat	kg	75,43	78	70	54	95
Lama Pajanan (tE)	jam/hari	3,78	4	4	0	6
Frekuensi Pajanan (fE)	Hari	273,7	274	274	261	274
Durasi Pajanan (Dt)	Tahun	10,13	6	6	0,5	34,5

Sumber : Data Sekunder, 2020

Berdasarkan tabel hasil statistik karakteristik antropometri di Unit 1 diketahui bahwa rata-rata usia pekerja di unit 1 adalah 32 tahun, usia tertua 55 tahun dan termuda adalah 19 tahun. Berat badan pekerja yang digunakan untuk perhitungan yaitu nilai meannya yaitu 75.43 kg. Berat badan pekerja antara 54 kg hingga 95 kg. Selain itu, Lama pajanan perhari pekerja di lapangan rata-rata adalah 3,78 jam dimana jam kerja terlama di lapangan selama 6 jam dan tercepat selama 0 jam. Frekuensi pajanan pekerja pertahun rata-rata yaitu 274 hari. Frekuensi pajanan minimum 261 hari merupakan frekuensi kerja pekerja administrasi, sedangkan nilai maksimumnya yakni untuk para pekerja shift. Pada durasi pajanan pekerja yaitu antara 0,5 tahun hingga 35 tahun, dimana nilai rata-ratanya selama 10,13 tahun.

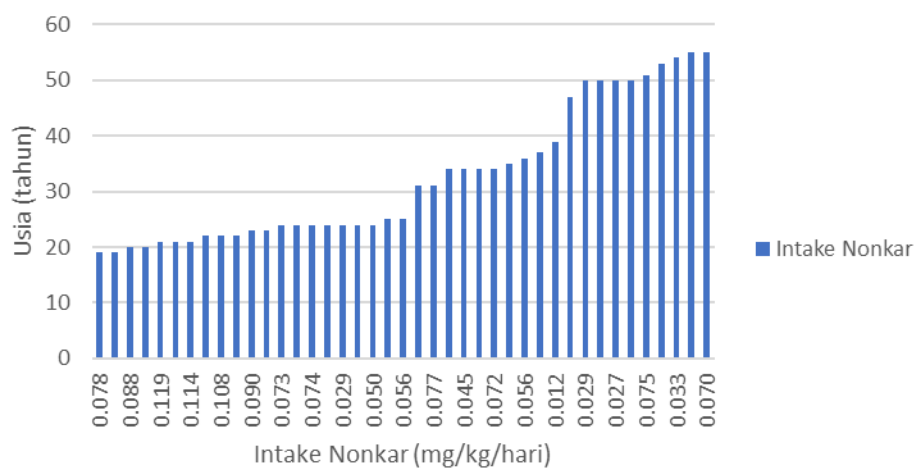
Berdasarkan hasil statistik karakteristik antropometri diketahui nilai yang dapat dijadikan penentuan yang dipertimbangkan untuk perhitungan risiko kesehatan. Terdapat hasil beberapa variabel terurai seperti usia, berat badan, lama pajanan, frekuensi pajanan dan durasi pajanan seperti sebagai berikut;

1. Usia

Hasil penelitian diketahui bahwa rata-rata usia pekerja di unit A adalah 32 tahun dengan rentang usia pekerja di unit ini yaitu 19 tahun hingga 55 tahun. Nilai rata-rata inilah yang akan digunakan pada perhitungan risiko. Dari distribusi data berdasarkan usia, ternyata usia seseorang dapat mempengaruhi daya tahan tubuh terhadap pajanan toksik. Menurut penelitian Mahawati dkk (2006) diketahui bahwa semakin tua usia

pekerja maka semakin tinggi pula risiko terpapar *benzene* yang dianalisa berdasarkan kadar fenol dalam urin.

Pada dasarnya memang usia dapat berpengaruh terhadap toksisitas suatu zat. Hal ini bisa terjadi seperti penjelasan pada penelitian Andersson dkk (2011) dimana pada usia tertentu seperti usia lanjut yaitu >45 tahun terjadi penurunan fungsi organ tubuh yang mana mempengaruhi metabolisme tubuh serta menyebabkan penurunan kinerja otot pada tubuh. Dijelaskan juga oleh ILO, tenaga kerja yang berusia <18 tahun lebih baik tidak bekerja di lingkungan yang terpapar BTX. Hal ini disebabkan, pada usia tersebut ketahanan sumsum tulang terhadap efek toksik BTX masih sangat rendah. Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh dr. Lelitasari menunjukkan bahwa semakin tua usia tenaga kerja yang terpapar pelarut organik maka akan berisiko enam kali lebih tinggi untuk mengalami gangguan sistem syaraf, sebagaimana terdapat pada salah satu contoh hasil penelitian pajanan *benzene* pada pekerja sebagai berikut.



Gambar 7 Korelasi Usia dengan Jumlah *Intake Benzene*

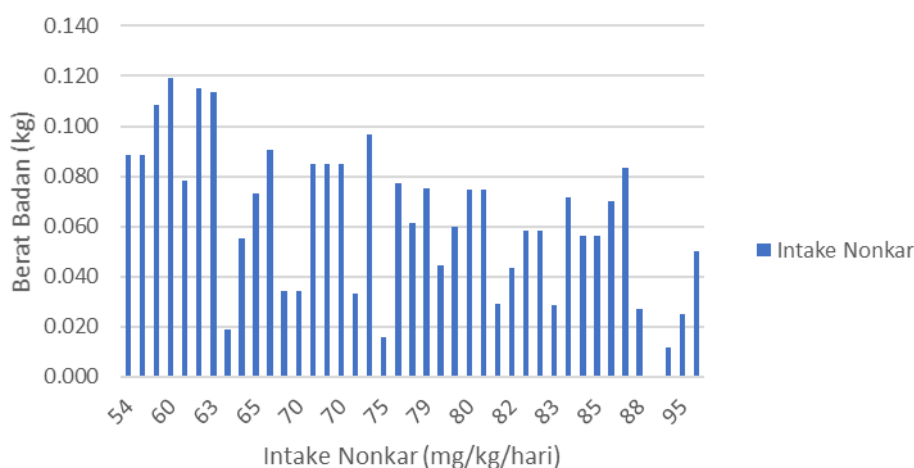
Terlihat pada contoh grafik untuk pajanan *benzene* dimana semakin bertambahnya usia semakin berisiko terkenanya pajanan BTX. Terutama pada penelitian ini terdapat responden yang berusia >45 tahun, maka perlu dilakukan manajemen risiko terhadap responden tersebut dikarenakan memiliki risiko kesehatan yang lebih besar daripada yang lainnya akibat pajanan BTX tersebut. Terutama bagi para pekerja yang mayoritas sebagai operator yang terjun langsung di lapangan ini kemungkinan terpajan BTX lebih besar dibandingkan pekerja *pannelman* dan administrasi kantor.

2. Berat badan

Hasil analisa data 41 responden didapatkan nilai rata-rata berat badan pekerja. Berat badan pekerja rata-rata ini yang digunakan untuk perhitungan yaitu 75,43 kg dengan rentang antara 54 kg hingga 95 kg. Berat badan merupakan salah satu faktor dimana dapat mempengaruhi jumlah asupan yang masuk ke dalam tubuh. Seperti yang telah diketahui, nilai *intake* ini berbanding lurus dengan nilai konsentrasi, laju asupan,

frekuensi pajanan dan durasi pajanan. Sedangkan nilai *intake* dengan nilai berat badan dan periode waktu rata-rata ini berbanding terbalik. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar berat badan seseorang maka semakin kecil risiko kesehatannya.

Berdasarkan US EPA berat badan yang menjadi referensi dalam studi analisis risiko kesehatan yaitu sebesar 70 kg (standar orang dewasa yang normal) berat badan rata-rata orang Indonesia adalah 55 kg (US EPA, 2002). Apabila hal ini dikaitkan dengan konsep analisis risiko, semakin rendah berat badan maka semakin berisiko akibat terpajan senyawa toksik. Oleh karena itu, pekerja di unit 1 tidak terlalu berisiko akan efek kesehatan yang merugikan akibat pajanan BTX bagi berat badan yang tidak rendah. Untuk pekerja yang berat badannya berada dibawah normal perlu dilakukan manajemen risiko yang lebih dibandingkan pekerja yang lain guna mengurangi efek kesehatan yang memungkinkan untuk timbul. Namun, hasil yang didapat pada penelitian fluktuatif walaupun jika dibandingkan responden berat badan 54 kg dan 94 kg, nilai intake berat 54 kg lebih tinggi dibandingkan nilai intake berat 95 kg. Terdapat contoh korelasi grafik untuk pajanan *benzene* sebagai berikut;



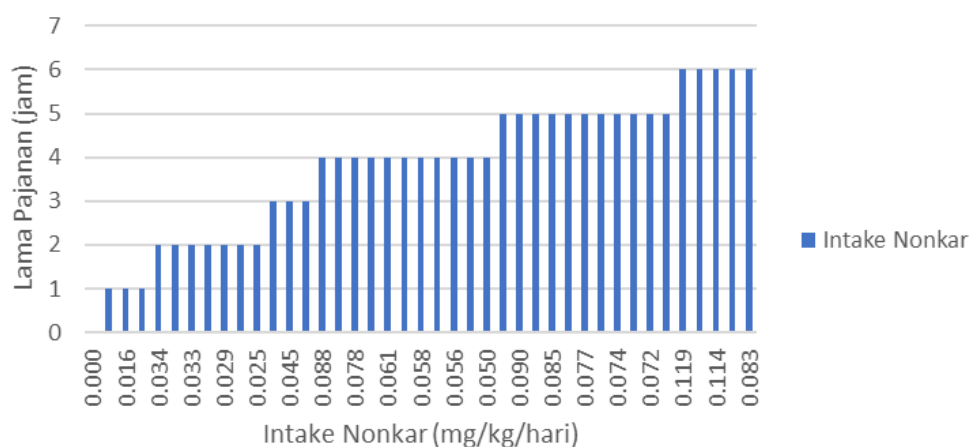
Gambar 8 Korelasi Berat Badan dengan *Intake Benzene*

3. Lama Pajanan (t_E)

Lama pajanan merupakan banyaknya jumlah jam kerja para pekerja pada setiap harinya di lingkungan kerja. Hasil penelitian ini menunjukkan rata-rata lama kerja pekerja di unit 1 yaitu sebesar 3,78 jam/hari dimana jumlah jam terendah yaitu 0 jam/hari dan tertinggi sebesar 6 jam/hari. Nilai rata-rata ini yang akan digunakan pada perhitungan risiko. Didaptkan nilai jam terendah dengan 0 jam/hari ini diartikan pekerja tidak bekerja diluar kantor seperti *pannelman* yang hanya memantau melalui *pannel* yang berada di ruang kerja sama halnya seperti pekerja administrasi pun jarang untuk berada di lapangan. Waktu bekerja tersebut merupakan waktu bekerja saat berada dilapangan yang artinya kemungkinan terpapar oleh senyawa toksik, sedangkan jam kerja sesungguhnya adalah 8 jam/hari dengan sistem *shift* untuk operator. Jumlah jam kerja para pekerja ini tidak melebihi standar jam kerja normal yaitu 8

jam/hari dan 40 jam kerja dalam seminggu. Dengan adanya sistem *shift* ini pekerja operator yang melakukan patrol di lapangan lebih lama hanya ketika terjadi *trouble* atau saat *shift* pagi. Hal ini mempengaruhi kadar terpajan senyawa toksik karena pada *shift* sore dan malam hanya sedikit waktu untuk patrol di lapangan.

Lama pajanan pada pekerja berhubungan dengan banyaknya pajanan BTX yang menyebabkan pekerja terpajan selama berada di lapangan. Meskipun, tidak selalu menghirup BTX dengan konsentrasi kecil ataupun besar. Namun, konsentrasi kecil yang dihirup dan berada dibawah NAB yang ditetapkan, apabila konsentrasi BTX ini dihirup setiap hari dalam kurun waktu yang lama dapat mempengaruhi jumlah asupan dari BTX itu sendiri yang akhirnya bersifat akumulasi. Terdapat contoh korelasi grafik untuk pajanan *benzene* sebagai berikut;



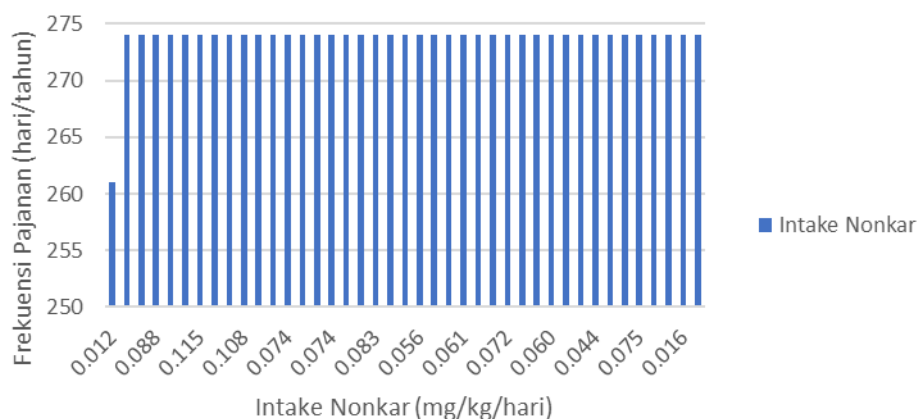
Gambar 9 Korelasi Lama Pajanan dengan *Intake Benzene*

Terlihat pada grafik dimana semakin lama pajanan maka semakin berisiko terpapar oleh BTX yang merugikan kesehatan tubuh. Ditambah dengan adanya pola bekerja dengan sistem *shift* ini mempengaruhi kesehatan dimana pola hidup atau waktu istirahat untuk para pekerja yang mana seperti pada *shift* malam dan sore pekerja dipaksa untuk terbangun saat waktu istirahat dan dapat istirahat setelah selesai bekerja. Hal ini dapat merusak metabolisme yang mana pada malam hari tubuh manusia memproduksi hormon melatonin yang dapat menyebabkan rasa lelah dan kantuk, serta tubuh pun sedang menjalani proses pembersihan atau detoksifikasi. Akibat dari kelelahan dan mengantuk ini dapat menyebabkan kurangnya fokus dalam bekerja sehingga memungkinkan menyebabkan terjadinya kesalahan dalam bekerja sehingga perlu waspada para pekerja yang sedang bekerja pada *shift* sore dan malam.

4. Frekuensi Pajanan

Frekuensi pajanan merupakan lamanya waktu kerja yang dihitung dalam satuan hari/tahun. Berdasarkan hasil wawancara didapatkan nilai rata-rata frekuensi pajanan para pekerja operator, pannelman dan administrasi di unit 1 ini yaitu bekerja selama 274 hari/tahun, dengan frekuensi pajanan terendah yaitu 261 hari/tahun (administrasi) dan tertinggi yaitu 274 hari/tahun (operator). Pada perhitungan akan diambil nilai modus nya yaitu 274 hari/tahun, sebab mayoritas pekerja yaitu pekerja operator. Pekerja operator dan pannelman bekerja selama 3 hari dengan ditambah 1 hari *off* sehingga didapat rata-rata satu minggu 40 jam. Namun, untuk pekerja administrasi tetap bekerja dengan normal yaitu 5 hari kerja dalam seminggu.

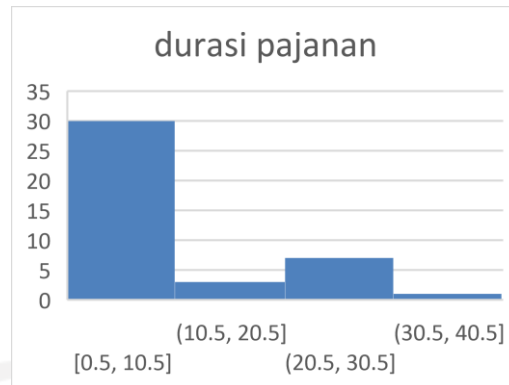
Frekuensi pajanan ini berbanding lurus dengan nilai intake. Sehingga semakin besar nilai frekuensi pajanan maka semakin tinggi nilai intake. Terlihat pada grafik penelitian dimana nilai frekuensi sebesar 261 hari/tahun lebih kecil nilai intakenya dibandingkan dengan frekuensi pajanan 274 hari/tahun. Maka benar adanya semakin besar nilai frekuensi pajanan maka semakin berisiko terpapar BTX yang mana dapat membahayakan kesehatan. Terdapat contoh korelasi grafik untuk pajanan *benzene* sebagai berikut;



Gambar 10 Korelasi antara Frekuensi Pajanan dengan *Intake Benzene*

5. Durasi Pajanan

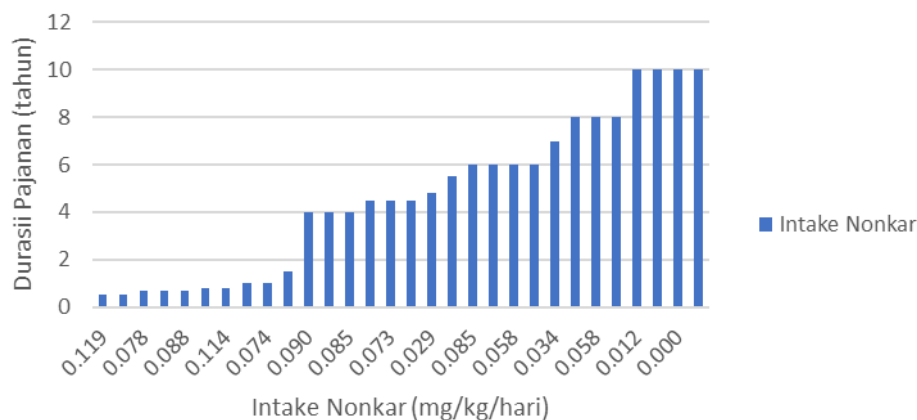
Durasi pajanan merupakan berapa lama pekerja ini bekerja dalam satuan tahun. Data sudah berapa lama bekerja ini didapatkan dari hasil kuisisioner. Hasil kuisisioner yang didapat menunjukkan rentang waktu durasi pajanan antara 0,5 tahun hingga 34,5 tahun. Dari data hasil analisis didapatkan nilai rata-rata lamanya para pekerja bekerja di unit 1 selama 10,13 tahun. Namun, nilai rata-rata ini tidak layak digunakan sebab distribusi data yang tidak merata. Sehingga, perlu dilakukan analisis histogram guna melihat sebaran data seperti sebagai berikut;



Gambar 11 Diagram Analisis Histogram Durasi Pajanan

Dilihat dari sebaran data, terdapat 30 responden yang telah bekerja di unit pada rentang 0,5 tahun hingga 10 tahun. Dari 30 data responden ini maka dapat dicari nilai rata-ratanya. Nilai rata-rata ini yang akan digunakan dalam perhitungan risiko sebesar 4,43 tahun. Terdapat informasi tambahan dari hasil wawancara individu diketahui bahwa tidak dapat dipungkiri jika unit 1 ini memang yang paling banyak menyawa toksik BTX akibat proses pengolahannya. Hal ini semakin memungkinkan dari tingginya risiko pekerja akibat terpajan oleh BTX.

Durasi Pajanan ini berbanding lurus dengan nilai intake. Sehingga semakin lama durasi pajanan maka semakin tinggi nilai intake. Dapat disimpulkan bahwa semakin berisiko jika semakin lama durasi pajanan. Hasil penelitian pun menyatakan bahwa semakin tinggi durasi pajanan semakin tinggi pula nilai intakenya. Hal ini dapat mempengaruhi kesehatan pekerja. Terdapat contoh korelasi grafik untuk pajanan *benzene* sebagai berikut;



Gambar 12 Korelasi antara Durasi Pajanan dengan *Intake Benzene*

4.5 Penggunaan Alat Pelindung Diri

Hasil penelitian didapatkan hasil mengenai penggunaan APD pada para pekerja selama bekerja di unit 1 seperti pekerja yang memakai APD sebagai berikut;

Tabel 4. 8 Hasil Kuisisioner Penggunaan APD

Kelengkapan APD	Persentase Ya (%)	Persentase Kadang-Kadang (%)	Persentase Tidak (%)
Masker Dust	0	34.15	65.85
Masker Half	36.59	60.98	2.44
Sarung Tangan	85.37	12.20	2.08
Safety Glasses	68.29	12.20	2.44
Shoes	95	4.88	0

Dari hasil tersebut tertera bahwa pekerja yang menggunakan *dustmask* sebanyak 34,15% kadang-kadang dan 65,85% tidak menggunakan *dustmask*, 36,59% selalu memakai *halfmask*, 60,98% kadang-kadang, dan 2,44% tidak memakai *halfmask*, 85,37% selalu memakai sarung tangan, 12,20% kadang-kadang, dan 2,08% tidak memakai sarung tangan, 68,29% selalu memakai, 12,20% kadang-kadang, 2,44% tidak memakai *safety glasses*, serta 100% pekerja mengenakan *safety shoes* dan *wearpack*.

Personal Hygiene di lingkungan kerja mempengaruhi tingkat toksisitas terhadap tenaga kerja akan bahan kimia atau zat toksik. Seperti penggunaan APD tersebut untuk menghindari kontak langsung dengan senyawa toksik, tidak memakai sarung tangan lalu kemudian mengkonsumsi makanan tidak dengan cuci tangan terlebih dahulu dapat menambah jumlah pajanan senyawa toksik yang masuk kedalam tubuh melalui jalur pajanan oral. Tidak memakai *safety glasses* juga dapat membahayakan pekerja saat bekerja karena pekerja dapat terpapar senyawa toksik yang dapat membuat mata pedih kapan saja, sehingga pencegahan utama lebih baik dengan menggunakan *safety glasses* untuk menjaga keselamatan saat bekerja. Perlu diperhatikan kembali untuk mendukung penggunaan APD tersebut, maka diperlukan prosedur keamanan dalam bekerja yang dapat disesuaikan dengan potensi risiko pajanan *BTX* serta jenis pekerjaannya serta pekerja melakukan prosedur yang telah ditetapkan tersebut.

Penggunaan APD seperti masker ini sangat penting karena mempengaruhi paparan senyawa toksik yang masuk kedalam tubuh dimana sebagian besar senyawa toksik masuk melalui jalur inhalasi. Seperti contoh pada senyawa *benzene*, menurut Mahawati (2006), menunjukkan hasil pada pemajanan *benzene* ini berhubungan dengan penggunaan APD berupa masker dan sarung tangan. Penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa jumlah eritrosit mengalami penurunan apabila dibandingkan dengan jumlah eritrosit standar normal untuk laki-laki dewasa. Penurunan jumlah eritrosit ini berarti menunjukkan bahwa adanya efek akibat pajanan *benzene*. Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa masih terdapat pekerja yang tidak mengenakan *dustmask* (65.85%), *halfmask* (2.44%), sarung tangan (2.44%). Penggunaan masker yang tepat serta efektif dapat melindungi paparan partikel gas toksik seperti *halfmask* yang dilengkapi filter. Selain kesesuaian

fungsi dan jenis APD nya, harus diperhatikan pula kenyamanannya sehingga tidak mengganggu saat bekerja.

Keengganan pekerja dalam penggunaan APD ini mungkin berhubungan juga dengan kurangnya pengetahuan akan bahayanya senyawa toksik ataupun malas dengan alasan kurang nyaman saat mengenakan *dustmask/halfmask* sehingga sulit untuk menghimbau para pekerja yang tidak mengenakan APD selama bekerja. Hal ini akan memberikan dampak kesehatan tersendiri akibat tidak menggunakan APD selama bekerja karena paparan toksik yang masuk ke dalam tubuh melalui hidung yang mana dapat menyebabkan efek akut dan kronik. Selain itu, rasa malas para pekerja untuk memakai APD dikarenakan minimnya kesadaran diri akan pentingnya menggunakan APD lengkap untuk menghindari kemungkinan yang dapat membahayakan diri sendiri saat bekerja karena sosialisasi dan himbauan selalu dilakukan kepada para pekerja mengenai dampak kesehatan yang dapat timbul akibat pajanan BTX selama bekerja. Berikut hasil kuisisioner mengenai pengetahuan akan bahayanya senyawa toksik pada pekerja;

Tabel 4. 9 Hasil Kuisisioner Pengetahuan BTX pada Para Pekerja di Unit 1

Pengetahuan Pekerja	Persentase YA (%)	Persentase Tidak (%)
Bahaya BBM	97,56	2,44
Senyawa BTX	95,12	4,88
Bahaya BTX	97,56	2,44

4.6 Pengaruh dari Pajanan BTX

1. *Benzene*

Hasil pengukuran untuk konsentrasi *benzene* udara di lingkungan kerja unit 1 pada bulan februari 2020 didapatkan bahwa semua konsentrasi *benzene* berada pada batas maksimum NAB yaitu 0,5 ppm. Hal ini dapat dibandingkan dengan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan Kerja di Lingkungan Kerja menyatakan bahwa benzena diklasifikasikan dalam kelompok A1 (zat kimia yang terbukti karsinogen untuk manusia) memiliki NAB sebesar 0,5 ppm (1,595 mg/m³) untuk paparan selama 8 jam. Sedangkan untuk paparan singkat yang diperkenankan selama 15 menit sebesar 2,5 ppm (7,975 mg/m³). Pengaruh dari *benzene* terhadap tubuh manusia sangat berbahaya terutama dengan sifatnya yang memiliki mudah menguap, mudah terbakar, cairan tidak berwarna dan reaktif. Menurut penelitian Eastmond dkk (2005), menunjukkan bahwa *benzene* dapat menyebabkan induksi perubahan kromosom yang mana menimbulkan efek karsinogenik dengan indikasi efek genotoksik dan leukemogeniknya. Pada penelitian Hoxha dkk (2009) pun dinyatakan bahwa paparan *benzene* dapat menurunkan kadar *Leukocyte Telomere Length (LTL)* dalam darah. Senyawa *benzene* ini memang dapat

menimbulkan efek karsinogenik karena memang merupakan senyawa yang bersifat karsinogenik.

Selain dapat menyebabkan efek karsinogenik juga dapat menimbulkan efek non-karsinogenik. IARC (2012) dan WHO serta beberapa badan internasional lain telah membuat keputusan seperti IRIS bahwa batas konsentrasi *benzene* yang memajani manusia setiap hari dalam waktu lama yang tidak menimbulkan efek merugikan yaitu sebesar $0,03 \text{ mg/m}^3$. Nilai tersebut masih relatif jauh dibandingkan dengan standar di Indonesia, maka perlu adanya pemantauan dan pengukuran kembali mengenai nilai ambang batas *benzene* yang sesuai atau mendekati dengan WHO dan IRIS. Nilai ambang batas *benzene* yang ada di Indonesia saat ini masih jauh dari nilai aman bagi kesehatan (*reference dose concentration*).

Tabel 4. 10 Perbandingan Standar IRIS dengan NAB

No	Standar	Satuan ppm	Satuan (mg/m^3)
1	IRIS		0,03
2	NIOSH	0,1	0,318
3	Permenaker No. 5 th 2018	0,5	1,594

Jika dilihat dari tabel tersebut nilai ambang batas *benzene* masih jauh dari nilai aman yang ditetapkan oleh IRIS. Nilai ini bukan nilai *acceptable* melainkan hanya referensi saja, jika dosis yang diterima manusia melebihi nilai yang ditetapkan IRIS maka probabilitas untuk mendapatkan risiko juga bertambah Konsentrasi *benzene* pada unit 1 ini termasuk cukup tinggi dikarenakan pengolahan produk dalam jumlah banyak yang mana perlu adanya pemeliharaan yang baik terhadap mesin pengolahan supaya meminimalisir paparan senyawa toksik. Meskipun ruang kerja terbuka yang terdapat pada area kerja ini sudah cukup untuk menghindari uap senyawa toksik yang tertahan disuatu titik tetapi perlu diketahui bahwa sifat *benzene* ini yakni reaktif.

Senyawa ini dapat bereaksi dengan senyawa lain sehingga menciptakan zat/senyawa baru yang tentunya berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Seperti contoh reaksi nitrasi *benzene* menghasilkan *nitrobenzene* yang dapat memberikan dampak bagi kesehatan seperti menyebabkan sakit kepala, mual, kelelahan, pusing, sianosis, kelemahan pada lengan dan tungkai (ATSDR,2000). Selain itu, reaksi oksidasi *benzene* fase uap di udara dengan katalis vanadium pentaoksida menghasilkan *maleic anhydride* yang mana dapat menyebabkan *respiratory hypersensitivity* (Sylvie Remy dkk, 2014). Tidak hanya efek dari *benzene* itu sendiri, namun dapat disebabkan dari hasil reaksi *benzene* di udara. Sehingga paparan yang masuk ke sangat kompleks dan dapat menyebabkan penyakit baru atau mendukung penyakit bawaan pekerja semakin parah.

Dengan demikian perlunya adanya perlindungan diri dengan menggunakan APD lengkap untuk pencegahan awal dengan dilengkapi monitoring rutin terhadap paparan

senyawa toksik, pemeliharaan alat serta kelengkapan darurat jika terjadinya kecelakaan kerja akibat terkenanya paparan toksik. Kebiasaan para pekerja yang lebih memilih tidak mengenakan APD dapat menambah konsentrasi *benzene* pada tubuh dan pekerja yang memiliki kebiasaan merokok ini adalah salah satu faktor atau penyebab dimana dapat menyebabkan tingginya konsentrasi *benzene*. Rokok memang merupakan salah satu sumber pajanan *benzene* akibat aktivitas manusia. Menurut penelitian Sharon dkk (2001), terdapat kandungan *benzene* pada rokok yang mana kadar *benzene* pada asap rokok sampingan (ujung rokok yang dibaka) 10 kali lipat lebih tinggi daripada asap yang dihisap oleh si perokok. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa kemungkinan tingginya konsentrasi pajanan *benzene* pada tubuh pekerja selain karena paparan di lingkungan kerja juga akibat aktivitas merokok (bagi pekerja perokok aktif). Namun, perlu diketahui paparan *benzene* tidak selalu terdeteksi pada setiap monitoringnya, karena menurut Lei Li dkk (2014), senyawa *benzene* merupakan komponen yang mudah menguap.

2. Toluene

Hasil pengukuran pada konsentrasi *toluene* udara di lingkungan kerja unit 1 pada bulan februari 2020 didapatkan bahwa semua konsentrasi *toluene* berada dibawah NAB yaitu 20 ppm. Hal ini dapat dibandingkan dengan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan Kerja di Lingkungan Kerja menyatakan bahwa masuk dalam klasifikasi A4 yang mana senyawa tidak diklasifikasikan karsinogenik terhadap manusia, dikarenakan tidak cukupnya data untuk mengklasifikasikan bahan ini bersifat karsinogenik terhadap manusia atau hewan uji. Namun, tetap timbul gejala efek non-karsinogenik pada manusia jika terjadi pemaparan secara berlebihan. Menurut Andersen dkk (1983), terjadi penurunan REL akut yang menimbulkan gejala sakit kepala, pusing, efek depresi, iritasi mata dan iritasi saluran pernafasan setelah terpajan *toluene* selama enam jam pada *Low Observed Adverse Effect Level* (LOAEL) pada 100 ppm dan *No Observed Adverse Effect Level* (NOAEL) pada 40 ppm merupakan gejala akut. Sedangkan pada efek kronis akan terjadi gangguan setelah enam hingga delapan tahun dengan menimbulkan gangguan pada sistem syaraf.

Meskipun paparan senyawa *toluene* kecil dan ruang kerja terbuka yang terdapat pada area kerja ini sudah cukup untuk menghindari uap senyawa toksik yang tertahan disuatu titik tetapi perlu diketahui bahwa salah satu sifat *toluene* yaitu reaktif. Senyawa ini dapat bereaksi dengan senyawa lain sehingga menciptakan zat/senyawa baru yang tentunya berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Seperti contoh *toluene* bereaksi dengan H_2 menghasilkan *benzene* dan metan. Seperti yang sudah diketahui bahwa *benzene* dan menyebabkan kanker darah dan gangguan SSP (ATSDR, 2007). Selainitu terdapat reaksi *toluene* dengan OH radikal bertemu dengan O_2 menghasilkan *cresol* yang mana *cresol* ini dapat menyebabkan efek pada sistem pernapasan seperti asma dan bronkitis kronis, dan sistem saraf menyebabkan eksitasi, kelelahan, dan kejang (ATSDR, 2008). Dan terdapat reaksi *toluene* dengan OH radikal bertemu NO_2 yang

menghasilkan *3-nitrotoluene* yang menyebabkan bibir, kuku jari tangan dan kulit menjadi biru, pusing, kejang, sakit kepala, mual hingga pingsan (ILO dan WHO, 2017). Mungkin memang benar seperti yang telah tertera bahwa *toluene* tidak menyebabkan efek karsinogenik, namun hasil reaksi *toluene* lah yang dapat menyebabkan efek karsinogenik. Karena paparan yang masuk ke sangat kompleks sebab dapat menyebabkan penyakit baru atau mendukung penyakit bawaan pekerja semakin parah.

Dengan demikian perlunya perlindungan diri dengan menggunakan APD lengkap terutama masker untuk mencegah terkena paparan sewaktu-waktu. Kebiasaan para pekerja yang lebih memilih tidak mengenakan APD dapat menambah konsentrasi *toluene* pada tubuh dan pekerja yang memiliki kebiasaan merokok merupakan salah satu faktor yang menyebabkan tingginya konsentrasi *toluene*. Rokok ini selain menyumbang paparan *benzene* juga sebagai salah satu sumber paparan *toluene*. Menurut penelitian (Sharon dkk, 2001), terdapat kandungan *toluene* pada rokok yang mana kadar *benzene* pada asap rokok sampingan (ujung rokok yang dibaka) 6-8 kali lipat lebih tinggi daripada asap yang dihisap oleh si perokok. Maka dari itu kebiasaan merokok sangat mempengaruhi jumlah konsentrasi *toluene* dalam tubuh.

3. Xylene

Hasil pengukuran pada konsentrasi *xylene* udara di lingkungan kerja unit 1 pada bulan februari 2020 didapatkan bahwa semua konsentrasi *xylene* berada dibawah NAB yaitu 10 ppm. Hal ini dapat dibandingkan dengan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan Kerja di Lingkungan Kerja menyatakan bahwa masuk dalam klasifikasi A4 yang mana senyawa *xylene* tidak diklasifikasikan karsinogenik terhadap manusia. Hal ini disebabkan karena tidak cukupnya data untuk mengklasifikasikan bahan ini bersifat karsinogenik terhadap manusia atau hewan uji. Namun, tetap timbul gejala efek non-karsinogenik pada manusia jika terjadi pemaparan secara berlebihan. Seperti yang dijelaskan pada penelitian Sharada dan Malathi (2014), dijelaskan pula terkait gejala neurologis seperti kecemasan, pusing, ketidakmampuan untuk berkonsentrasi dan pelupa telah diamati di antara subyek yang terpapar uap *xylene*. Pada penelitian penelitian IPCS (2004) pun dijelaskan gejala awal dari paparan senyawa *xylene* berupa iritasi mata, tenggorokan, hidung, pusing, kepala terasa sakit serta mual. Selain itu, dapat terjadi *paresthesia* (terasa kebas pada tubuh), merasa lemah dan vertigo. Paparan *xylene* pun dapat menimbulkan efek pada ginjal, khususnya proliferasi glomerulonefritis.

Meskipun paparan senyawa *xylene* kecil dan ruang kerja terbuka yang terdapat pada area kerja ini sudah cukup untuk menghindari uap senyawa toksik yang tertahan disuatu titik tetapi perlu diketahui bahwa salah satu sifat *xylene* yaitu reaktif. Senyawa ini dapat bereaksi dengan senyawa lain sehingga menciptakan zat/senyawa baru yang tentunya berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Seperti contoh *xylene* bereaksi dengan OH radikal dan bertemu NO₂ maka menghasilkan senyawa *nitroxylene* yang dapat menyebabkan gejala pusing, sakit kepala, sesak nafas, sianosis (perubahan warna kebiruan pada kulit karena kekurangan oksigenasi darah), detak jantung cepat,

serta menyebabkan iritasi tenggorokan (MSDS) . Selain itu, *xylene* bereaksi dengan OH radikal dan bertemu O₂ menghasilkan *dimethylphenol (xylenol)* yang mana dapat menyebabkan iritasi hidung, tenggorokan, dan paru-paru sehingga membuat sulit bernapas. *Xylenol* ini pun dapat menyebabkan penyakit berbahaya hingga sakit jantung dan kanker paru-paru jika seseorang yang terpapar *xylenol* memiliki kebiasaan merokok (NJHealth, 2009). Mungkin memang benar seperti yang telah tertera bahwa *xylene* tidak menyebabkan efek karsinogenik, namun senyawa *xylene* dapat berpotensi akan menjadi karsinogenik jika bereaksi dengan senyawa lain. Dengan demikian, perlunya perlindungan diri dengan menggunakan APD lengkap terutama masker untuk mencegah terkena paparan sewaktu-waktu serta menjalankan pola hidup sehat.

Selain karakteristik diatas terdapat keluhan subjektif terhadap kesehatan pun dirasakan oleh para pekerja seperti data sebagai berikut;

Tabel 4. 11 Hasil Keluhan Kesehatan Pekerja di Unit 1

Keluhan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Pusing	6	14,63
Sesak napas	2	4,88
Cepat marah	3	7,32
Mual	5	12,20
Muntah	2	4,88
Gangguan Tidur	8	19,51
Mudah Lelah	9	21,95
Gangguan pendengaran	2	4,88
Iritasi mata	2	4,88
Iritasi hidung	0	0,00
Iritasi tenggorokan	6	14,63
Daya ingat menurun	6	14,63

Hasil kuisisioner meliputi keluhan kesehatan para pekerja akibat pajanan *benzene* yaitu merasa pusing yaitu sebanyak 6 orang (14,63%), sesak napas sebanyak 2 orang (4,88%), mudah marah sebanyak 3 orang (7,32%), mual sebanyak 5 orang (12,20%), muntah sebanyak 2 orang (4,88%), gangguan tidur sebanyak 8 orang (19,51%), mudah lelah sebanyak 9 orang (21,95%), gangguan pendengaran sebanyak 2 orang (4,88%), iritasi mata sebanyak 2 orang (4,88%), iritasi tenggorokan sebanyak 6 orang (14,63%) dan daya ingat menurun sebanyak 6 orang (14,63%). Hasil ini merupakan ciri-ciri gejala terkena paparan BTX. Tidak bisa dikatakan valid 100% karena masih banyak faktor yang dapat menyebabkan ciri-ciri tersebut muncul seperti sedang mengidap penyakit tertentu atau terkena senyawa lain, karena di udara terdapat banyak senyawa yang bereaksi secara kompleks.

4.5 Analisis Dosis Respon

4.5.1 Analisis Dosis Respon Non-Karsinogenik

Dosis referensi merupakan nilai *RfC* (*Reference Concentration*) dari pajanan BTX terhadap pekerja di Unit 1. Namun, pada penelitian ini digunakan nilai *RfC* untuk pajanan inhalasi yang ditetapkan oleh IRIS dari US-EPA yaitu 0,03 mg/m³ untuk benzene, 5 mg/m³ untuk *toluene*, dan 0,1 mg/m³ untuk *xylene*. Nilai *RfC* ini perlu dikonversi dahulu sebelum dimasukkan kedalam perhitungan yaitu mengubah satuan mg/m³ menjadi mg/kg/hari. Nilai *RfC* ini didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Rothman et al. (US-EPA, 2002) yang menggunakan nilai-nilai *default* dari US-EPA dalam eksperimennya. Sehingga untuk konversi satuan *RfC* ini menggunakan data berikut:

Berat Badan rata-rata pekerja (W_b) = 75.43 kg

Laju Inhalasi (R) = 20 m³/hari dan 0.83 m³/jam

Contoh perhitungan *RfC* yang dapat digunakan pada perhitungan yaitu;

Benzene

$$\begin{aligned} RfC &= 0,03 \text{ mg/m}^3 \times 20 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{1}{75.43 \text{ kg}} \\ &= 0,00795 \text{ mg/kg/hari} \end{aligned}$$

Tabel 4. 12 Hasil Konversi Nilai *RfC* BTX

No	Senyawa	<i>RfC</i> (mg/kg/hari)
1	<i>Benzene</i>	0,00795 mg/kg/hari
2	<i>Toluene</i>	1,326 mg/kg/hari
3	<i>Xylene</i>	0,0265 mg/kg/hari

Pada penelitian ini yang digunakan yaitu rute inhalasi sehingga nilai dosis respon untuk efek non karsinogenik yang digunakan adalah nilai *RfC* (*Reference Concentration*). Nilai *RfC* ini bukan merupakan dosis yang dapat diterima melainkan hanya referensi saja, jika dosis yang diterima melebihi nilai *RfC*, maka potensi mendapatkan risiko juga lebih besar (Rahman, 2007). Nilai *RfC* yang telah dikonversi ini akan digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan non-karsinogenik. Perhitungan nilai karakteristik risiko non-karsinogenik ini caranya dengan membagi nilai *intake* dengan nilai *RfC*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$RQ \text{ (Risk Quotient)} = \frac{I}{RfC}$$

4.5.2 Analisis Dosis Respon Karsinogenik

Perhitungan dosis respon karsinogenik ini hanya digunakan untuk senyawa *benzene* saja karena senyawa *benzene* sudah terbukti karsinogenik untuk pajanan inhalasi seperti pada Permenaker No. 5 2018 menyatakan bahwa *benzene* diklasifikasikan dalam kelompok A1 (zat kimia yang terbukti karsinogen untuk manusia). Sedangkan untuk

toluene dan *xylene* masuk ke dalam klasifikasi A4 yang mana senyawa tidak diklasifikasikan karsinogenik terhadap manusia. Perhitungan risiko karsinogenik ini dibutuhkan nilai *CSF* (*Cancer Slope Factor*). Nilai *CSF* yang digunakan adalah nilai *inhalation slope factor* sebesar 0,0273 mg/kg/hari yang berasal dari default nilai yang ditetapkan oleh *United States Environment Protection Agency* (USE-EPA).

4.6 Analisis Pemajanan

Pada analisis pemajanan ini akan dilakukan pengukuran jumlah pajanan BTX yang masuk ke dalam tubuh pekerja Unit 1. Pada perhitungan *intake* ini menggunakan nilai *default* pajanan inhalasi untuk nilai laju asupannya (*R*) yaitu 0,83 m³/jam (Pedoman ARKL, 2012). Perhitungan ini, menggunakan nilai rata-rata untuk variabel lama pajanan (*t_E*) yaitu 3,78 jam/hari. Sedangkan untuk nilai frekuensi pajanan (*f_E*) yang digunakan yaitu sebesar 274 hari/tahun. Untuk nilai berat badan yaitu nilai rata-rata sebesar 75,43 kg. Nilai durasi pajanan pun menggunakan nilai rata-rata dominan yaitu 4,43 tahun untuk nilai *realtime* sedangkan untuk nilai *lifetime* yang dipakai 36 tahun karena estimasi waktu jika dihitung dari pekerja yang masuk sejak lulus SMA hingga pensiun yakni selama 36 tahun. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam perhitungan dengan menggunakan rumus *intake* seperti di bawah ini:

$$I = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Analisis pemajanan ini dilakukan perhitungan *intake* BTX dengan memasukkan nilai data yang dibutuhkan pada perhitungan. Nilai yang akan digunakan pada perhitungan *intake* yaitu konsentrasi *benzene*, laju asupan (nilai *default*), berat badan, frekuensi pajanan, lama pajanan, dan durasi pajanan yang didapat dari hasil sampling area. *Intake* yang dihitung adalah berdasarkan kondisi pajanan *realtime* dan *lifetime*. Nilai konsentrasi yang digunakan pada perhitungan yaitu nilai konsentrasi *benzene*, *toluene*, dan *xylene* yang merupakan hasil pemantauan di lapangan secara aktif dan pasif di unit 1. Nilai yang digunakan yakni nilai pasifnya, karena pemantauan secara aktif tidak terdeteksi oleh alat pengukuran atau bisa dikatakan 0 ppm. Sebelum dimasukkan ke dalam perhitungan, nilai pasif perlu dikonversi dari ppm menjadi mg/m³ yaitu sebesar 1,594 mg/m³ (*passive*) untuk *benzene*, 75,22 mg/m³ (*passive*) untuk *toluene*, dan 43,33 mg/m³ (*passive*) untuk *xylene*.

Perhitungan *intake* rata-rata pekerja adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan *Intake* pajanan non-Karsinogenik

Contoh perhitungan non-karsinogenik *benzene* dengan menggunakan rumus;

$$I = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Diketahui: C = 1,594 mg/m³ Wb = 75,43 kg

$$R = 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \quad t_{avg} = 30 \times 365 \text{ hari/tahun}$$

$$t_e = 3,78 \text{ jam/hari} \quad D_t = a. 4,43 \text{ tahun (lama kerja realtime rata2 dominan)}$$

$$f_e = 274 \text{ hari/tahun} \quad b. 36 \text{ tahun (lama kerja Lifetime)}$$

1) Realtime *Benzene* 1

$$I_{realtime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{realtime(nk)} = \frac{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 4,43 \text{ tahun}}{75,43 \text{ kg} \times 30 \text{ tahun} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$I_{realtime(nk)} = 0,0073 \text{ mg/kg/hari}$$

2) Lifetime

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}}{75,43 \text{ kg} \times 30 \text{ tahun} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = 0,059 \text{ mg/kg/hari}$$

Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran Intake Non-Karsinogenik

Intake Rata-Rata 40 pekerja	<i>Benzene</i>	<i>Toluene</i>	<i>Xylene</i>
Realtime (mg/kg/hari)	0,0073	0,346	1,99
Lifetime (mg/kg/hari)	0,059	2,818	1,623

b. Perhitungan *Intake* Paparan Karsinogenik

Perhitungan non-karsinogenik dengan menggunakan rumus

$$I = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Diketahui: $C = 1,594 \text{ mg/m}^3$ $W_b = 75,43 \text{ kg}$

$R = 0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$ $t_{avg} = 70 \times 365 \text{ hari/tahun}$

$t_e = 3,78 \text{ jam/hari}$ $D_t = \text{a. } 4,43 \text{ tahun (lama kerja realtime rata2)}$

$f_e = 274 \text{ hari/tahun}$ $\text{b. } 36 \text{ tahun (lama kerja Lifetime)}$

1) Realtime Benzene

$$I_{realtime(k)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{realtime(k)} = \frac{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 4,43}{75,43 \text{ kg} \times 70 \text{ tahun} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$I_{realtime(k)} = 0,00083 \text{ mg/kg/hari}$$

2) Lifetime Benzene

$$I_{lifetime(k)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{lifetime(k)} = \frac{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}}{75,43 \text{ kg} \times 70 \text{ tahun} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$I_{lifetime(k)} = 0,0067 \text{ mg/kg/hari}$$

Tabel 4. 14 Hasil Pengukuran Intake Karsinogenik

Intake Rata-Rata 40 pekerja	Benzene	Toluene	Xylene
Realtime (mg/kg/hari)	0,00083	0,149	0,086
Lifetime (mg/kg/hari)	0,0067	1,211	0,696

Selain itu, terdapat perhitungan intake untuk nilai durasi pajanan rentang 10,5- 20,5 tahun (3 orang dengan rata-rata 17,67 tahun), 20,5-30,5 tahun (7 orang dengan rata-rata

27 tahun.), dan 30,5-45,5 tahun (1 orang dengan durasi 34,5 tahun). Perhitungan ini hanya sebagai perbandingan untuk melihat apakah benar semakin lama bekerja maka nilai *intake* pun tinggi. Nilai ini dapat dilihat sebagai mana berikut;

Tabel 4. 15 Intake Rata-Rata Berdasarkan Rentang Durasi Paparan

Intake Rata-Rata				
Benzene				
Durasi (Tahun)	0,5-10,5	10,5-20,5	20,5-30,5	30,5-40,5
Realtime (<i>nk</i>) (mg/kg/hari)	0,0073	0,029	0,044	0,057
Realtime (<i>k</i>) (mg/kg/hari)	0,00083	0,013	0,0192	0,025
Toluene				
Durasi (Tahun)	0,5-10,5	10,5-20,5	20,5-30,5	30,5-40,5
Realtime (<i>nk</i>) (mg/kg/hari)	0,346	1,38	2,11	2,7
Realtime (<i>k</i>) (mg/kg/hari)	0,149	0,592	0,906	1,158
Xylene				
Durasi (Tahun)	0,5-10,5	10,5-20,5	20,5-30,5	30,5-40,5
Realtime (<i>nk</i>) (mg/kg/hari)	1,99	0,797	1,22	1,56
Realtime (<i>k</i>) (mg/kg/hari)	0,086	0,341	0,521	0,667

Hasil perhitungan pada penelitian ini menunjukkan bahwa durasi paparan sangat berpengaruh terhadap nilai *intakenya*. Hal ini dapat disimpulkan dimana semakin lama pekerja bekerja, maka nilai *intake* semakin tinggi. Nilai asupan untuk paparan *realtime* non-karsinogenik lebih besar sebesar 0,0073 dibandingkan asupan karsinogenik sebesar 0,00083. Hasil perhitungan ini termasuk kecil, namun apabila nilai *intake* yang masuk ke dalam tubuh secara terus-menerus dan dalam kadar yang lebih tinggi dari hasil perhitungan maka akan menimbulkan risiko kesehatan (merugikan) semakin tinggi. Jika dilihat dari hasil *intake* sebelumnya didapatkan hasil bahwa dosis *toluene* dan *xylene* yang diterima oleh para pekerja, mayoritas telah melebihi nilai RfC yang berarti akan mempengaruhi tingkat risiko kesehatan para pekerja. Sebagaimana hasil kuisioner menyatakan bahwa terdapat beberapa pekerja sebesar 14,63% merasa pusing, 4,88% merasa sesak napas, 7,32% merasa mudah marah, 12,20% merasa mual, 4,88% muntah, 19,51% merasa gangguan tidur, 21,59% mudah lelah, 4,88% gangguan pendengaran, 4,88% iritasi mata, 14,63% iritasi tenggorokan dan 14,63% daya ingat menurun. Hasil ini merupakan ciri-ciri gejala terkena paparan BTX yang mana berkaitan dengan hasil perhitungan *intake* dimana semakin lama pekerja bekerja maka semakin tinggi akan

menimbulkan risiko kesehatan (merugikan), contohnya seperti gejala yang dirasakan oleh pekerja tersebut.

4.7 Karakteristik Risiko

4.7.1 Nilai Karakteristik Risiko Non-Karsinogenik

Perhitungan nilai karakteristik risiko non-karsinogenik ini caranya dengan membagi nilai *intake* dengan nilai *RfC*. Hubungan antara nilai *intake* dengan risiko kesehatan yakni berbanding lurus, sehingga semakin besar nilai *intake* maka semakin besar risiko yang diterima manusia. Hasil perhitungan ini didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RQ \text{ (Risk Quotient)} = \frac{I}{RfC}$$

Nilai *RfC* yang telah dikonversikan sebelumnya dapat dimasukkan ke dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai *RQ*. Jika nilai $RQ > 1$ artinya pekerja mempunyai tingkat risiko terhadap paparan BTX. Akibat dari adanya tingkat risiko pada para pekerja, maka perlu dilakukan pengendalian risiko kesehatan pada setiap pekerjaannya. Sedangkan, jika nilai $RQ \leq 1$ artinya pekerja tidak mempunyai risiko kesehatan terhadap paparan BTX. Pada pengolahan data penelitian ini, nilai *RQ* dihitung pada masing-masing responden. Namun, jika dihitung menggunakan *intake* rata-rata maka hasil perhitungan *RQ* untuk 41 pekerja sebagai berikut;

Contoh Perhitungan *RQ Benzene*:

$$RQ = \frac{I}{RfC} = \frac{0.012}{0.0033} = 3,636 \text{ (pada realtime/jam)}$$

$$RQ = \frac{I}{RfC} = \frac{0.0073}{0.00795} = 0,918 \text{ (pada realtime/hari)}$$

Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan *RQ*

Intake Rata-Rata 41 Pekerja	<i>Benzene</i>	<i>RQ</i>	<i>Toluene</i>	<i>RQ</i>	<i>Xylene</i>	<i>RQ</i>
Realtime (mg/kg/hari)	0,012	3,636				
Realtime (mg/kg/hari)	0,0073	0,918	0,346	0,261	1,99	75,094
Lifetime (mg/kg/hari)	0,059	7,421	2,818	2,175	1,623	61,245

Hasil perhitungan nilai RQ yang tidak melebihi 1 hanya pada *realtime benzene* dan *toluene* sebesar 0.918 dan 0.261. Sedangkan, sisanya nilai RQ yang didapat melebihi 1. Dapat diartikan bahwa dapat menyebabkan efek samping secara langsung (akut) ataupun di kemudian hari yang mana pajanan toksik terakumulasi di dalam tubuh (kronis). Efek akut akibat terpapar *benzene* dengan paparan tinggi dapat menyebabkan efek tremor, sesak napas, radang paru-paru, gangguan SSP dan efek kronisnya yakni menyebabkan kerusakan pada darah, kelainan neurologis, gangguan SSP dengan melibatkan sumsum tulang belakang, mutasi gen hingga kematian (ATSDR, 2007). Sedangkan, menurut penelitian Christiani (2007), menyatakan bahwa jika terpapar *toluene* dengan paparan yang tinggi dapat menyebabkan efek akut seperti pusing berat, mati rasa, gangguan koordinasi, dan gangguan penglihatan dan efek kronisnya yakni efek berupa aksitasi, gangguan psikomotor, penurunan memori jangka pendek, halusinasi, tremor, ataksia hingga koma, penurunan neurologi permanen, gangguan ginjal, penglihatan dan pendengaran (Prihartini, 2010). Dan menurut penelitian Sharada dan Malathi (2014), menyatakan bahwa jika terkena paparan *xylene* yang tinggi maka dapat menyebabkan efek akut seperti gangguan pernapasan, histologi hati yang abnormal, naiknya serum transaminase dan efek kronisnya yakni paresthesia (terasa kebas), rasa lemah berlebih, gangguan ginjal (proliferatif glomerulonephritis), menyebabkan kerugian atau rusak pada hati dan *photophobia*.

Selain itu terdapat hasil rincian perhitungan *Risk Quotient (RQ)* karakteristik risiko non-karsinogenik pada ke-41 pekerja sebagai berikut;

Tabel 4. 17 Persentasi Nilai RQ pajanan BTX pada Para Pekerja di unit KP

<i>Benzene</i>	RQ	Jumlah		Total
		Orang	Prosentase (%)	
RQ Realtime	$RQ \leq 1$	16	39	41
	$RQ > 1$	25	61	
RQ Lifetime	$RQ \leq 1$	1	2	41
	$RQ > 1$	40	98	
<i>Toluene</i>	RQ	Jumlah		Total
		Orang	Prosentase (%)	
RQ Realtime	$RQ \leq 1$	36	88	41
	$RQ > 1$	5	12	
RQ Lifetime	$RQ \leq 1$	8	20	41
	$RQ > 1$	33	80	
<i>Xylene</i>	RQ	Jumlah		Total
		Orang	Prosentase (%)	
RQ Realtime	$RQ \leq 1$	1	2	41
	$RQ > 1$	40	98	
RQ Lifetime	$RQ \leq 1$	1	2	41
	$RQ > 1$	40	98	

Pada perhitungan RQ ke-41 pekerja di unit 1 didapatkan prosentasi nilai RQ untuk pajanan *benzene, toluene dan xylene*. Rata-rata dari masing-masing pajanan, masih tinggi persentase nilai $RQ > 1$ (lebih dari 50% responden) yang berarti memiliki risiko pajanan non-karsinogenik terhadap senyawa BTX. Kecuali, pada nilai RQ *realtime toluene* dimana nilai $RQ > 1$ hanya sebesar 12% (5 pekerja) dan $RQ \leq 1$ sebesar 88% (36 pekerja) yang berarti 34 pekerja tersebut tidak memiliki risiko pajanan non-karsinogenik terhadap pajanan *toluene*.

4.7.2 Nilai Karakteristik Risiko Efek Karsinogenik

Perhitungan karakteristik risiko efek karsinogenik dapat diketahui dengan mengalikan nilai *intake* atau asupan dengan nilai *CSF*. Nilai *CSF* untuk pajanan inhalasi hanya diketahui untuk senyawa *benzene*. Untuk nilai *CSF toluene dan xylene* tidak diketahui karena menurut penelitian Penilaian Risiko Karsinogen (US EPA) data tidak memadai untuk penilaian potensi karsinogenik untuk inhalasi. Nilai *CSF* untuk *benzene* sebesar 0,0273 (mg/kg)/hari. Nilai *CSF* tersebut digunakan dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai ECR dengan menggunakan rumus berikut;

$$ECR = I \times CSF$$

Analisa yang digunakan setelah mendapatkan hasil ECR dari perhitungan maka dapat diasumsikan dengan dua syarat. Pertama, jika $ECR \leq 10^{-4}$ maka konsentrasi hazard tidak berisiko menimbulkan efek kesehatan karsinogenik. Kedua, jika $ECR > 10^{-4}$ maka nilai konsentrasi hazard sudah dapat berisiko efek kesehatan karsinogenik. (ARKL, 2012) Hasil perhitungan risiko efek karsinogenik rata-rata pada 41 pekerja seperti berikut;

- a. *ECR Realtime* untuk senyawa *benzene* ;

$$ECR = I_k \times CSF$$

$$ECR = \frac{0,00083 \frac{mg}{kg}}{hari} \times \frac{0,0273 \frac{mg}{kg}}{hari}$$

$$ECR = 2,266 \times 10^{-5}$$

- b. *ECR Lifetime* untuk senyawa *benzene* ;

$$ECR = I_k \times CSF$$

$$ECR = \frac{0,0067 \frac{mg}{kg}}{hari} \times \frac{0,0273 \frac{mg}{kg}}{hari}$$

$$ECR = 1,829 \times 10^{-4}$$

Hasil yang didapat yakni nilai *ECR lifetime* $> 10^{-4}$ dimana dapat diartikan bahwa berisiko menimbulkan efek kesehatan karsinogenik. Selain itu terdapat hasil rincian

perhitungan nilai ECR karakteristik risiko karsinogenik pada ke-41 pekerja sebagai berikut;

Tabel 4. 18 Persentase Nilai ECR Paparan BTX pada Pekerja di Unit 1

	ECR	Jumlah		Total
		Orang	Prosentase (%)	
ECR Realtime	$ECR \leq 10^{-4}$	17	41	41
	$ECR > 10^{-4}$	24	59	
ECR Lifetime	$ECR \leq 10^{-4}$	1	2	41
	$ECR > 10^{-4}$	40	98	

Perhitungan nilai ECR yang didapat pada rincian 41 pekerja terdapat 17 pekerja (*realtime*) dan 1 pekerja (*lifetime*) yang nilai $ECR \leq 10^{-4}$ (tidak berisiko menimbulkan efek karsinogenik), sedangkan sisanya 24 pekerja (*realtime*) dan 40 pekerja (*lifetime*) berisiko terkena efek karsinogenik. Tidak ada batas terendah yang aman terhadap pajanan senyawa *benzene* untuk mendapatkan risiko leukemia pada semua tingkat pajanan. Terdapat peringatan dari WHO yang menyatakan bahwa setiap pajanan *benzene* sebesar $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ akan terdapat 4 - 8 tambahan kasus leukemia per sejuta populasi selama masa hidup (Zuliyawan, 2010). US-EPA, IARC, dan Departemen Kesehatan dan Layanan Kemanusiaan Amerika Serikat telah menyimpulkan bahwa *benzene* merupakan senyawa karsinogenik terhadap manusia. Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018 menyatakan bahwa benzena diklasifikasikan dalam kelompok A1 (zat kimia yang terbukti memiliki sifat karsinogenik pada manusia). Selain itu, IARC pun mengklasifikasikan *benzene* masuk dalam Grup 1 (karsinogenik terhadap manusia), sedangkan EPA mengklasifikasikan *benzene* pada kategori A (karsinogenik terhadap manusia). *Benzene* ditetapkan sebagai senyawa karsinogenik pada manusia untuk semua rute pajanan. Hematologi neoplasma seperti leukemia akut *myelogenous* telah didokumentasikan terjadi pada pajanan kronis dengan konsentrasi rendah (10 ppm) (ATSDR, 2007).

Pada senyawa *toluene* dan *xylene* dalam metode ini dapat diketahui nilai efek non-karsinogenik dengan diketahuinya nilai *RfC* pada variabel perhitungan, namun untuk nilai efek karsinogenik tidak dapat dihitung dikarenakan nilai *CSF* untuk pajanan inhalasi belum ditemukan oleh peneliti. Nilai *CSF toluene* tidak diketahui nilainya karena menurut Pedoman Penilaian Risiko Karsinogen (US-EPA, 2003), terdapat informasi yang tidak memadai untuk menilai potensi karsinogenik *toluene* karena studi tentang manusia yang terpapar *toluene* secara kronis tidak dapat disimpulkan, *toluena* tidak bersifat karsinogenik pada kanker inhalasi yang memadai bioassay tikus dan tikus yang terpapar seumur hidup. Untuk nilai *CSF xylene* pun tidak diketahui nilainya karena menurut Penilaian Risiko Karsinogen (AS-EPA, 1999), data tidak memadai untuk penilaian potensi karsinogenik *xylene*. Data manusia yang memadai tentang karsinogenisitas *xylene* tidak tersedia, dan data hewan yang tersedia tidak dapat meyakinkan kemampuan *xylene* untuk menyebabkan respons karsinogenik. Evaluasi efek genotoksik *xylene* secara konsisten memberikan hasil negatif

4.8 Teknik Pengendalian Risiko

Terdapat beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk melindungi populasi yang terpajan yaitu dengan menghindari kontak dengan pajanan, mengurangi kontak dengan pajanan, dan menggunakan APD. Upaya sebagai berikut merupakan tindakan manajemen risiko. Hal ini dapat dilakukan dengan sistem hierarki pengendalian risiko bahaya. Prinsip *hierarki control* yakni dengan menghapus sumber bahaya jika memungkinkan, kemudian diikuti dengan pengurangan risiko. Pengurangan risiko yang dimaksud ini baik mengurangi kemungkinan terjadinya ataupun potensi kecelekaan kerja yang disebabkan oleh pajanan atau kegiatan yang merugikan. Langkah terakhir ini merupakan pelengkap untuk mengendalikan ini yakni dengan penerapan alat pelindung diri (APD).

Teknik Pengendalian risiko yang dapat dilakukan untuk pekerja yaitu dengan pendekatan pengendalian risiko. ISO 45001:2018 memberikan pedoman pengendalian risiko yang lebih spesifik untuk bahaya K3 dengan pendekatan eliminasi, substitusi, *engineering control* (pendekatan teknis), *administrative control* (pengendalian administrasi), dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Untuk pendekatan eliminasi dan substitusi sepertinya tidak bisa diterapkan, dikarenakan sumber pajanan BTX di 1 ini berasal dari sumber tetap yang tidak bisa dihilangkan atau diganti karena digunakan untuk kepentingan unit pengolahan.

Hal yang dapat dilakukan melalui pendekatan pengendalian risiko yaitu dengan *engineering control* (pendekatan teknis), *administrative control* (pengendalian administrasi), dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Pertama *engineering control* (pendekatan teknis) adalah dengan melakukan monitoring lebih rutin untuk melihat konsentrasi paparan pada setikar pump. Selain itu, untuk mengontrol pada 87 pump 201 A (merupakan *inter tower pump* untuk mengalirkan *heavy platformate* C9+ dari kolom 202 A ke kolom 202 B) dan 87 pump 202 A/B (untuk mengalirkan *heavy platformate* C9+ dari kolom 202 B ke dapur dan kolom 203) yang masih terdapat rembesan minyak disekitarnya. Jika ternyata terjadi secara berulang dan terutama dilalui untuk lalulalang banyak pekerja maka perlu segera ditindak lanjuti untuk dilakukan perbaikan. Namun, sementara perlu dipasang *chemical signal* untuk mengantisipasi jika terjadi kebocoran yang mengeluarkan senyawa kimia dalam konsentrasi tinggi karena terdapat rembesan minyak disekitar dua *pump*. Kemudian, *administrative control* (pengendalian administrasi) adalah dengan menambah jumlah pekerja supaya pekerjaan dilapangan dapat terbagi rata sehingga kegiatan patrol dilapangan tidak terlalu lama untuk masing-masing pekerja. Lalu, pengendalian terakhir dengan menggunakan APD. Karena dari hasil kuisisioner juga terbukti bahwa beberapa pekerja masih jarang menggunakan APD lengkap seperti masker (*Halfmask/Dustmask*) untuk bekerja padahal itu sangat penting untuk kesehatan mereka.

Manajemen risiko pada perhitungan ARKL yaitu memperhitungkan setiap variabel maka ditemukan batas aman yang dapat melindungi populasi. Hal-hal yang dapat dilakukan yaitu menurunkan konsentrasi pajanan, mengurangi waktu lamanya terpajan, durasi pajanan dan frekuensi pajanan. Dalam menurunkan nilai-nilai tersebut dapat

dilakukan perhitungan untuk meminimalisir nilai RQ dan ECR dengan memanipulasi nilai faktor pajanan sehingga *intake* lebih kecil atau sama dengan dosis referensi toksisitasnya. Terdapat dua cara supaya dapat menurunkan nilai risiko ini. Cara yang dapat dilakukan yaitu menyamakan nilai *intake* non-karsinogenik dengan nilai *RfC* dan mengubah *intake* karsinogenik supaya *ECR* tidak $>10^{-4}$ dengan menurunkan konsentrasi agen risiko atau mengurangi waktu kontak.

Perhitungan *Intake* pada kegiatan manajemen risiko efek karsinogenik pada karyawan *Control Room A* dan *B* adalah sebagai berikut:

$$\text{Intake} = 10^{-4} / 0.0273 = 0.0037 \text{ mg/kg/hari}$$

4.3.1 Manajemen Risiko Non-Karsinogenik

Pada perhitungan manajemen risiko non-karsinogenik menggunakan nilai RQ sebagai konsentrasi pajanan (nilai *intake*). Dalam menurunkan nilai konsentrasi pajanan diasumsikan nilai RQ sama dengan 1, maka dapat disimpulkan nilai *intake* sama dengan *RfC*. Data yang digunakan dalam perhitungan ini yaitu dosis respon BTX yang telah dikonversikan. Nilai dosis respon *benzene* yang telah dikonversikan sebesar 0,00857 mg/kg/hari, *toluene* sebesar 1,428 mg/kg/hari, dan *xylene* sebesar 0,0285 mg/kg/hari. Lama pajanan yang dipakai dalam perhitungan yaitu sebesar 3,78 jam/hari. Nilai laju asupan yang digunakan merupakan nilai *default* yaitu 0,83 m³/jam. Sedangkan untuk nilai frekuensi pajanan yaitu 274 hari/tahun. Dan nilai durasi pajanan yang digunakan dalam perhitungan yaitu waktu *lifetime* (36 tahun). Lalu nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam rumus sebagai berikut;

Contoh Perhitungan pada senyawa *benzene*;

- a. Penurunan Konsentrasi Pajanan *Benzene*

$$\begin{aligned} \text{Caman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \\ &= \frac{0,00795 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \text{ jam} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}} \\ &= 0,21 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman konsentrasi *benzene* sebesar 0,21 mg/m³.

- b. Mengurangi lama pajanan *benzene* (t_E)

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

$$= \frac{0,00795 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}}$$

$$= 0,5 \text{ jam/hari}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman lama pajanan *benzene* yaitu 0,5 jam/hari.

c. Mengurangi frekuensi pajanan *benzene* (f_E)

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

$$= \frac{0,00795 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 36 \text{ tahun}}$$

$$= 36,5 \text{ hari/tahun} \approx 37 \text{ hari/tahun}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk frekuensi pajanan *benzene* yaitu 37 hari/tahun.

d. Mengurangi durasi pajanan *passive benzene* (D_t)

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

$$= \frac{0,00795 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$= 4,8 \text{ tahun} \approx 5 \text{ tahun}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk durasi pajanan *benzene* yaitu 5 tahun.

Tabel 4. 19 Manajemen Risiko Pajanan Non-Karsinogenik

Non-Karsinogenik	Benzene	Toluene	Xylene
<i>Konsentrasi aman</i> (mg/m^3)	0,21	35,39	0,71
<i>Lama Pajanan aman</i> (jam/hari)	0,5	1,78	0,062

<i>Frekuensi Paparan aman(hari/tahun)</i>	37	129	5
<i>Durasi Paparan aman(tahun)</i>	5	17	0,6

4.3.2 Manajemen Risiko Karsinogenik

Pada manajemen risiko karsinogenik digunakan adalah nilai $ECR=10^{-4}$. Dalam perhitungan manajemen risiko karsinogenik dilakukan dengan menghitung *intake* yang aman, dikarenakan nilai *CSF* merupakan nilai *default*. Manajemen risiko karsinogenik hanya dapat di Analisa untuk senyawa *benzene* saja, karena nilai *CSF* pada inhalasi untuk senyawa *toluene* dan *xylene* tidak diketahui berdasarkan penelitian Penilaian Risiko Karsinogen (US EPA). Untuk mendapatkan nilai *intake* pada senyawa *benzene* yang aman digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Intake\ aman = \frac{ECR}{CSF} = \frac{10^{-4}}{0,0273 \frac{\left(\frac{mg}{kg}\right)}{hari}} = 0,0037\ mg/kg/hari$$

Manajemen risiko efek karsinogenik dapat diperhitungkan dengan rumus seperti:

a. Mengurangi konsentrasi paparan *benzene*

Diketahui: $CSF: 0.001/0.0273 = 0.0037\ mg/kg/hari$

R: $0.83\ m^3/jam$

Dt: 36 tahun

$t_E: 12\ jam/hari$

Wb: 75,43 kg

$f_E: 274\ hari/Tahun$

Tavg: 70 tahun x 365 hari/tahun

$$C_{aman} = \frac{\frac{0,0001}{CSF} \times W_b \times T_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

$$= \frac{0,0037 \frac{\frac{mg}{kg}}{hari} \times 75,43\ kg \times 365 \frac{hari}{tahun} \times 70\ tahun}{0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78\ jam \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 36\ tahun}$$

$$= 0,23\ mg/m^3.$$

a. Mengurangi lama paparan *benzene* (t_E)

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,0037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 70 \text{ tahun}}{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}} \\
 &= 0,55 \text{ jam/hari}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk lama pajanan *benzene* yaitu 0,55 jam/hari.

- b. Mengurangi frekuensi pajanan *benzene* (f_E)

$$\begin{aligned}
 f_E \text{ aman} &= \frac{I_k \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t} \\
 &= \frac{0,0037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 70 \text{ tahun}}{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 36 \text{ tahun}} \\
 &= 40 \text{ hari/tahun}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk frekuensi pajanan *benzene* yaitu 40 hari/tahun.

- c. Mengurangi durasi pajanan *passive benzene* (D_t)

$$\begin{aligned}
 D_t \text{ aman} &= \frac{I_k \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times f_E} \\
 &= \frac{0,0037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 70 \text{ tahun}}{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}} \\
 &= 5,2 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk durasi pajanan *benzene* yaitu 5,2 tahun

Tabel 4. 20 Manajemen Risiko Pajanan Karsinogenik *Benzene*

Non Karsinogenik	<i>Benzene</i>
Konsentrasi aman	0,23 mg/m ³
Lama Pajanan aman	0,55 jam/hari
Frekuensi Pajanan aman	40 hari/tahun
Durasi Pajanan aman	5,2 tahun

4.9 Komunikasi Risiko

Komunikasi risiko tentunya penting dilakukan guna kepentingan bersama, baik bagi perusahaan ataupun untuk para pekerjanya. Komunikasi risiko ini bertujuan untuk memberikan informasi yang bermakna, relevan dan akurat dengan penjelasan yang jelas dan mudah dipahami kepada para pekerja dengan mengkomunikasikan hasil manajemen risiko. Selain itu, pekerja diberikan informasi mengenai semua potensi bahaya yang ada di tempat kerjanya sehingga mereka bisa melakukan pekerjaan atau kegiatannya dengan aman dan sehat.

Penerapan komunikasi risiko pada perusahaan dapat disalurkan melalui program kerja yang berada pada bagian *Occupational Health*. Hal ini perlu dilakukan dengan melihat data tidak 100% pekerja mengerti bahaya dari senyawa BTX itu sendiri, sehingga perlunya edukasi terhadap para pekerja. Upaya untuk memberikan edukasi terhadap para pekerja melalui beberapa program terkait seperti sebagai berikut;

1. **Pengenalan *flow process*** : Kegiatan ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan informasi tentang urutan proses kerja sehingga diperoleh gambaran umum dimana saja atau aktivitas apa saja yang berpotensi menimbulkan bahaya kesehatan sehingga para pekerja mengerti proses pengolahan dan bekerja sesuai prosedur.
2. **Merekomendasikan jenis pengendalian bahaya yang dibutuhkan** : Kegiatan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi potensi terjadinya insiden dan mengurangi dampak yang mungkin timbul jika insiden terjadi. Hal ini dapat dilakukan dengan penerapan APD lengkap sesuai dengan pekerjaan yang dilakukan. Jika terdapat perbaikan paka vessel atau colom dapat pula menggunakan APD *chemical cloths, safety gloves* dan alat bantu respirator. Selain itu juga melakukan evaluasi dari pengendalian yang telah dilakukan.
3. **Mengusulkan pemeriksaan kesehatan *hazard related*** : Kegiatan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui adanya indikasi atau gejala munculnya gangguan kesehatan dari para pekerja yang berpotensi terpapar bahaya kesehatan sebagai tindakan pencegahan terjadinya penyakit akibat kerja (PAK). Sehingga dilakukan MCU untuk mengetahui kesehatan jasmani pekerja. Selain itu, penggunaan TLD yang akan di cek di laboratorium untuk mengetahui konsentrasi BTX pada para pekerja.
4. **Memberikan saran untuk proses perbaikan** : Kegiatan ini dilakukan dengan tujuan memastikan tindakan perbaikan yang dipilih sudah sesuai dengan kebutuhan. Hal ini dapat dilakukan jika terjadi kerusakan alat yang mana dapat menimbulkan bahaya seperti kebocoran sehingga perlu segera dilakukan perbaikan alat.
5. **Sosialisasi dan promosi aspek kesehatan kerja** : Kegiatan ini dilakukan dengan tujuan memperkaya pengetahuan dan meningkatkan *Safety & Healty Awareness* dari setiap pekerja sehingga upaya untuk mempertahankan serta meningkatkan derajat kesehatan pekerja dapat tercapai. Sosialisasi ini selalu dilakukan setiap tahunnya, untuk mengingatkan pekerja mengenai prosedur yang baik saat bekerja supaya terhindar dari bahaya saat bekerja. Selain itu, untuk meminimalisir akibat

yang dapat disebabkan dari dampak paparan senyawa toksik seperti bahaya paparan toksik, meningkatkan *personal hygiene* pada para pekerja, bahaya merokok, dan bahaya pencahayaan.





BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Setelah dilakukan penelitian dan melihat data kualitas lingkungan di lingkungan unit 1 didapat paparan senyawa *BTX* pada Area C dari 87 pump 201 A yang merupakan *inter tower pump* untuk mengalirkan *heavy platformate C9+* dari kolom 202 A ke kolom 202 B dan 87 pump 202 A/B untuk mengalirkan *heavy platformate C9+* dari kolom 202 B ke dapur dan kolom 203.
2. Hasil analisa yang didapat menyatakan bahwa pajanan *BTX* masih berisiko menyebabkan efek non-karsinogenik dan efek karsinogenik. Risiko efek non-karsinogenik tertera dari nilai $RQ > 1$ pada pajanan *BTX* dimana 7 pekerja pada *RQ realtime benzene*, 35 pekerja *RQ lifetime benzene*, 4 pekerja *RQ realtime toluene*, 36 pekerja *RQ lifetime toluene*, 40 pekerja *RQ realtime dan lifetime xylene*. Dan efek karsinogenik tertera dengan adanya nilai $ECR > 10^{-4}$ pada 24 pekerja *ECR realtime* dan 40 pekerja *ECR lifetime*. Dari hasil tersebut bisa dinyatakan bahwa dengan konsentrasi *benzene*, *toluene*, dan *xylene* sebesar 0,5 ppm, 20 ppm, dan 10 ppm dapat menimbulkan efek non-karsinogenik dan karsinogenik baik akut atau kronis jika terpapar senyawa *BTX* secara terus menerus pada pajanan *realtime* dan *lifetime* pada para pekerja unit 1 ataupun di lokasi lainnya, sehingga dibutuhkan pencegahan dengan menerapkan manajemen risiko seperti penambahan jumlah shift, memasang *chemical signal* untuk mendeteksi jika terjadi kebocoran disekitar pompa dan melakukan monitoring lebih rutin.

5.2 Saran

1. Bagi PT. X
 - a. Melakukan *engineering control* (pendekatan teknis) penulis menyarankan untuk mengontrol Area C pada *pump* (87 p 201 A dan 87 p 202 A/B) yang terdapat rembesan disekitarnya. Jika ternyata terjadi secara berulang dan terutama dilalui untuk lalulalang orang banyak maka perlu segera ditindak lanjuti untuk dilakukan perbaikan. Namun, sementara perlu dipasang *chemical signal* untuk mengantisipasi jika terjadi kebocoran yang mengeluarkan senyawa kimia dalam konsentrasi tinggi karena terdapat rembesan minyak disekitar dua *pump*.
 - b. Melakukan penyuluhan kepada pekerja supaya 100% pekerja mengerti bahaya dari paparan *BTX*, efek samping secara akut maupun kronisnya, serta mengenai pola hidup sehat.
 - c. Selain itu, perlu dilakukan yakni dengan menggalakan penggunaan APD yang mana kemudian memberikan penghargaan atau *rewards* kepada para pekerja supaya tetap menggunakan APD dengan lengkap. Pekerja malas menggunakan

- APD terutama masker selain merasa repot, dilain sisi mereka tidak mendapatkan *reward* dari apa yang mereka kenakan untuk keamanan dan kesehatan pekerja.
- d. Perlunya dilakukan pemeriksaan secara berkala terhadap kadar biomarker pajanan BTX. Hal ini dilakukan untuk memantau konsentrasi senyawa BTX di udara ambien ataupun di area pernapasan para pekerja.

2. Bagi Mahasiswa dan Peneliti lainnya

Perlu dilakukan adanya penelitian lanjutan dengan menganalisa sumber di unit lain seperti contoh di unit Laboratorium dan LOC III guna mempertimbangkan kemungkinan asupan BTX di lingkungan kerja. Selain itu, penelitian juga dapat dilakukan dengan pemeriksaan biomarker pada pekerja. Serta, melakukan penelitian dengan menggunakan alat bantu *personal kit exposure* yang ditempelkan pada masing-masing pekerja untuk mengetahui paparan BTX yang sebenarnya diterima pekerja ataupun menggunakan GCMS untuk mengetahui kadar paparan BTX dengan lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Andersson D, Betzenhauser M, Reiken S, Meli A, Umanskaya A, Xie W, et al. *Ryanodine receptor oxidation causes intracellular calcium leak and muscle weakness in aging*. 2011. *Cell Metabolism*. 2 (14). 196-207.
- Arnold, Juergen Angerer, Peter J. Boogaard, Michael F. Hughes, Raegan B. O'Lone, Steven H. Robison, and Robert Schnatter. 2013. *The Use of Biomonitoring Data in Exposure and Human Health Risk Assessment: Benzene Case Study*. *Critical Review in Toxicology*. 2 (43). 119-153.
- Astrianda. 2012. *Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Dermatitis Kontak Pada Pekerja Bengkel Motor di Wilayah Kecamatan Ciputat Timur*. Skripsi Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- Atkinson, D., William P. L., Karen R. Darnall, Arthur M. Winer, and James N. Pitts. 1980. *Smog Chamber and Modeling Study of the Gas Phase NO_x-Air Photooxidation of Toluene and the Cresols*. Vol. 12. 779-836.
- Atkinson, R. (2008). *Our present understanding of the gas-phase atmospheric degradation of VOCs*. In I. Barnes and M. M. Kharytonov (Eds.), *Simulation and assessment of chemical processes in a multiphase environment*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environment Security. pp. 1–19
- Agency for Toxic Substances and Disease Register (ATSDR). 2001. *Toluene Toxicity*. Georgia [Online]. <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/toluene/index.html> [Diakses: 30 November 2019]
- Agency for Toxic Substances and Disease Register (ATSDR). 2006. *Case Study in Environment Medicine*. Atlanta. [Online]. <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/lead/docs/lead.pdf> [Diakses: 5 Desember 2019, pada pukul 20.42 WIB.
- Agency for Toxic Substances and Disease Register (ATSDR). 2007. *Toxicological Profile for Benzene*. Atlanta. [Online]. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3-c8.pdf>. [Diakses: 29 November 2019,]
- Agency for Toxic Substances and Disease Register (ATSDR). 2017. *Toxicological Profile for Toluene*. Atlanta. [Online]. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp56.pdf> [Diakses: 29 November 2019]
- Agency for Toxic Substances and Disease Register (ATSDR). 2007. *Toxicological Profile for Xylene*. Atlanta. [Online]. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp71.pdf> [Diakses : 29 November 2019]
- Budiono, M. Sugeng. 2003. *Bunga Rampai Hiperkes dan Kesehatan Kerja*. Semarang: UNDIP

- Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS). 2008. *Chemical Profiles Toluene*.
- Choi, Sugyeong Kwak¹, Donguk Park², and Jee Yeon JeongChoi. 2018. *Potential Risk of Benzene in Petroleum-derived Products Used from 1974 to 2012 in Korea. Aerosol and Air Quality Research*. 19. 548-558.
- Christianti. 2007. *Hubungan Paparan Uap Pelarut Organik dengan Terjadinya Konjungtivitis dan Keluhan Iritasi Mata: Penelitian pada Pekerja Laku-Laku Sektor Informal di Industri Alas Kaki Kecamatan Bogor. Tesis Program Pascasarjana, Program Studi Kedokteran Kerja, Universitas Indonesia*
- Corsmeier, U., Imhof, D., Kohler, M., K'uhlwein, J., Kurtenbach, R., Petrea, M., Rosenbohm, E., Vogel, B., and Vogt, U. 2005. *Comparison Of Measured And Modelcalculated Real-World Traffic Emissions. Atmosphere Environment*. 39. 5760–5775.
- Dahlan, S. 2014. *Statistik untuk Kedokteran dan Kesehatan*. Jakarta: Epidemiologi Indonesia
- Daniel G. 1991. *Atmospheric Fate Of Toxic Aromatic Compounds. The Science of the Total Environment*. Vol. 100. 367-414.
- Dimitriou, K. 2019. *Allocation of Excessive Cancer Risk Induced by Benzene Inhalation in 11 Cities Of Europe in Atmospheric Circulation Regimes. Atmospheric Environment*. Vol. 201. 158-165.
- Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012. *Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)*. Jakarta: Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012
- Dimas Triyadi, Nurjazuli, dan Hanan Lanang Dangiran. 2016. *Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Benzene Melalui Inhalasi Pada Petugas Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) Di Sekitar Kawasan Universitas Diponegoro Semarang. Jurnal Kesehatan Masyarakat*. Vol. 4 No. 4, Oktober 2016, ISSN: 2356-3346
- Environmental Protection Agency (EPA). 2004. *User's Guide Biomarkers Data Base*. USA
- Environmental Protection Agency - Integrated Risk Information System (EPA-IRIS). 2002. *Toxicological Review of Benzene (Noncancer Effect)*. Washington. [Online] <http://www.epa.gov/iris/toxreviews/0276tr.pdf>. [Diakses: 29 Desember 2019]
- Environmental Protection Agency (EPA). 2005. *Integrated Risk Information System:Toluene*, [Online] <http://www.epa.gov/NCEA/iris/> [Diakses: 12 Desember 2019]
- Environmental Protection Agency (EPA). 2007. *Slope Factors (SF) for Carcinogens from US EPA*. [Online] <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm> [Diakses: 16 Desember 2019]

- Egeghy, Rogelio Tornero-Velez, and Stephen M. Rappaport. 2000. *Environmental and Biological Monitoring of Benzene during Self-Service Automobile Refueling. Environmental Health Perspectives*. 108 (12). 1195-1202
- The European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). 2007. *Badan Eropa untuk Keselamatan dan Kesehatan di Tempat Kerja K3 dalam angka: Pekerja muda -Fakta dan angka. Laporan Observatorium Risiko Eropa*. Luksemburg: Kantor untuk Publikasi Resmi Masyarakat Eropa
- Fally, S., Carleer, M., and Vandaele, A. C. 2009. *UV Fourier Transform Absorption Cross Section Of Benzene, Toluene, Meta-, Ortho-, and Para- Xylene. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. Vol. 110. 766–782.
- George D. Patty's *Industrial Hygiene and Toxicology, 4th ed.* (Clayton & Clayton (ed.)). Wiley-Interscience. Vol 2
- Haen, MT dan Oginawati, K. 2012. *Hubungan Paparan Senyawa Benzene, Toluene Dan Xylen Dengan Sistem Hematologi Pekerja Di Kawasan Industri Sepatu. Tesis. Program Studi Magister Teknik Lingkungan*
- Hamilton, R.J., Phillips, S.D., McCluskey, G.J. 2003. *Occupational, Industrial, And Environmental Toxicology*, 2ndEd. Pennsylvania: Mosby Inc
- Hamalainen, Takala, and Boon Kiat. 2017. *Perkiraan Global Kecelakaan Kerja dan Penyakit yang Berhubungan dengan Kerja 2017. Kongres Dunia XXI tentang Keselamatan dan Kesehatan di Tempat Kerja*. Singapura: Lembaga Keselamatan dan Kesehatan Kerja
- Handoyo, E dan Bambang. 2016. *Risiko Kesehatan Paparan Benzene, Toluene, Dan Xylene Petugas Pintu Tol. Jurnal Kesehatan Masyarakat*. Vol. 2 No.11, Januari 2016, ISSN: 1858-1196.
- Honeywell. 2015. *Gas Detection Tubes and Sampling Handbook*. USA
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 2012. *Diesel engine exhaust carcinogenic. In IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. International Agency for Research on Cancer: Lyon, France*. Vol 105
- International Labour Organization (ILO). (2013). *The prevention of occupational diseases*. Switzerland: ILO
- Indrawan, Dwito. 2014. *BTX Exposure Analysis Against Workers in PT. Pertamina RU IV Cilacap. Jurnal Teknik Lingkungan*. 2 (20). 132-141.
- IPCS. 2004. *Risk Assessment Terminology*. Geneva. [Online] dari <http://www.inchem.org/documents/harmproj/harmproj/harmproj1.pdf>. [Diakses: 30 Desember 2011]

- IPCS. 2000. *Air Quality Guidelines Toluene*. Geneva [Online] http://www.euro.who.int/documentaiq5_14toluene.pdf [Diakses: 27 November 2019]
- Integrated Risk Information System (IRIS)*. 2003. *Benzene*. Washington. [Online] <http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm> [Diakses: 22 November 2019]
- Jacobson, G dan McLean, S. 2003. *Biological monitoring of low level occupational xylene exposure and the role of recent exposure. Annual Report Occup Hygiene*. 47(4). 331-336.
- Kirk Othmer. 1998. *Encyclopedia of Chemical Technolog*. Interscience Willey
- Kurniawidjaja, M. 2010. *Teori dan Aplikasi Kesehatan Kerja*. Jakarta: UI-Press
- Kopmann, R. 2007. *Volatile organic compound in the atmosphere*. Oxford, England:Blackwell.
- Lei Li, Hong Li1, Xinmin Zhang, Li Wang, Linghong Xu, Xuezhong Wang, Yanting Yu1. *Pollution characteristics and health risk assessment of benzene homologues in ambient air in the northeastern urban area of Beijing, China. Journal of Environmental Sciences*. 26. 214–223.
- Louvar FL and Louvar BD. 1998. *Health and Environment Risk Analysis*. New Jersey: Prentice Hall PTR. Vol.2
- Mahawati. 2006. *Hubungan Antara Fenol dalam Urin dengan Kadar Hb, Eritrosit, Trombosit dan Leukosit (Studi pada Tenaga Kerja di Industru Karoseri CV Laksana Semarang)*. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 5 (1). 1-6.
- Mangkunegara. 2004. *Manajemen Sumber Daya Manusia Perusahaan*. Bandung : Remaja Rosda Karya.
- Masih. A, Anurag. S., Ajay. T., Raj. S. 2018. *Exposure levels and health risk assessment of ambient BTX at urban and rural environments of a terai region of northern India. Environmental Pollution*. Vol. 242. 1678-1683.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*. 2003. *Manual of Analytical Methods, Hydrocarbon Aromatic*. CDC. [Online] <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1501.pdf>. [Diakses: 5 Desember 2019]
- New Jersey Department of Health (NJHealth)*. 2009. Hazardous Substance Fact Sheet 2,4-Dimethylphenol.
- Noor, Rendy. 2012. *Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Pada Karyawan Di Spbu 'X' Pancoranmas Depok. Tesis Program Pascasarjana, Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia*

- Occupational Health and Safety Assessment Series (OHSAS) 18001:2007. Occupational Health and Safety Management System :Requirements*
- Pedoman ARKL. 2012. *Pedoman Analisis Risiko Lingkungan (ARKL) Direktorat Jenderal PP Dan PL Kementerian Kesehatan.*
- Pudyoko S. 2010. *Hubungan Paparan Benzene dengan Kadar Fenol dalam Urine dan Gangguan Sistem Hematopoietic pada Pekerja Instalasi BBM. Tesis. Program Pascasarjana, Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, Universitas Diponegoro*
- Prihartini, Nanik. 2010. *Analisis Risiko Kesehatan Paparan Toluena Pada Pekerja Bengkel Sepatu 'X' Di Kawasan Perkampungan Industri Kecil (PIK) Pulogadung Jakarta Timur. Tesis Program Pascasarjana, Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia*
- Qu, X., Zhang, Q., and Wang, W. (2006). *Degradation mechanism of benzene by NO₃ radicals in the atmosphere: A DFT study. Chemistry Physics Lett.* 426. 13–19.
- Ramon, A. 2007. *Analisis Paparan Benzene Terhadap Profil Darah Pada Pekerja Industri Pengolahan Minyak Bumi. Tesis. Program Pascasarjana, Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, Universitas Diponegoro*
- Rahman, Abdur. 2007. *Public Health Assessment: Model Kajian Prediktif Dampak Lingkungan dan Aplikasinya Untuk Manajemen Risiko Kesehatan.*
- Ramli, S. 2010. *Manajemen Risiko: Dalam perspektif K3 OHS Risk Management.* Jakarta: Dian Rakyat
- Republik Indonesia. 2012. Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Lembaran Negara RI Tahun 2012. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia. 2018. Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 05 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja. Lembaran Negara RI Tahun 2018. Sekretariat Negara. Jakarta
- Roukos, J., Riffault, V., Locoge, N., and Plaisance, H. .2009. *VOC In An Urban And Industrial Harbour On The French North Sea Coast During Two Contrasted Meteorological Situations. Environment Pollution.* 157. 3001–3009
- Safety Sign.* 2018. ISO 45001: 2018.
- Simanjuntak, J.P. 1994. *Manajemen Keselamatan Kerja.* Jakarta: HIPSMI
- Sharada dan Malathi. 2014. *Health Hazard of Xylene. A Literature Review.* 8 (2). 271 - 274.
- Sharon, R.G., Natalie, M.M., Jian, C., Andrew, M.R., Marina, R.P., Jean-Pierre, C., McIntosh, J.M., Michael, J.M., & Allan, C.C. 2001. *Nicotinic Agonists Stimulate*

Acetylcholine Release From Mouse Interpeduncular Nucleus: A Function Mediated By A Different nACHR Than Dopamine Release From Striatum. J of Neurochemistry. 77. 258-268.

Sophianita. 2003. *Hubungan antara Kadar Asam Hipurat Urin Akibat Paparan Toluena dengan Efek Kesehatan Akut pada Tenaga Kerja Percetakan "X"*. Tesis FK UI, Jakarta.

Smith, M.T. 2010. *Advances in Understanding Benzene Health Effects and Susceptibility. Annual Review of Public Health.* Vol 31. 133-148.

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

Suma'mur. 1992. *Higine Perusahaan dan Keselamatan Kerja.* Jakarta: Haji Mas Agung

Susilowati, Betty. 2011. *Resiko Kesehatan Terhadap Paparan Benzene Pada Pekerja Industri Sepatu Kulit Di Pik Pulogadung. Tesis Program Pascasarjana, Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia*

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2003) *Toxicological review of xylene: In support of summary information on Integrated risk information system (IRIS)*

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2005. *Toxicological review of toluene in support of summary information on the Integrated Risk Information System (IRIS).*

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2005. *Guidelines for carcinogen risk assessment. Risk Assessment Forum*

Tata Kerja Organisasi (TKO). 2018. *Pengoperasian Tube Gas Detector.* Tata Kerja Organisasi PT. X

Warsito, Agus. 2007. *Analisis Pemajanan Toluena Terhadap Profil Darah Pada Pekerja Sektor Industri Penyulingan Minyak Bumi. Tesis Program Pascasarjana, Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, Universitas Diponegoro*

Widodo, Suparmo. 2015. *Manajemen Pengembangan Sumber Daya Manusia.* Jakarta: Pustaka pelajar

World Health Organization (WHO). 2000. *Air Quality Guidelines for Europe Second Edition.* Copenhagen. [Online] http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf. [Diakses: 23 November 2019]

Xiaoyong Duan, Yanxia Lia. 2017. *Sources And Fates Of BTEX In The General Environment And Its Distribution In Coastal Cities Of China. Journal of Environmental Science and Public Health.* 1 (2). 86-106

Young & Kaufman. 2008. *The epidemiology of acquired aplastic anemia. A Literatur Riview*. 93(4). 489-92.

Zefon. 2019. *The Professionals Choice For Air Sampling Equipment*. USA

Zuliyawan. 2010. *Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Melalui Penentuan Level Trans-trans-muconic-acid dalam Urin pada Karyawan di SPBU 'X' Jakarta. Skripsi. Universitas Indonesia, Jakarta*



LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Kuisisioner

A. Karakteristik Responden

1. Nama :

2. Jenis kelamin : Laki-laki / Perempuan (coret yang tidak perlu)

3. Pendidikan Terakhir (lingkari) :

- a. Tidak/belum sekolah
- b. Belum/tidak tamat SD
- c. Sekolah Dasar (SD)
- d. SMP
- e. SMA
- f. Diploma/Sarjana ke atas
- c. Tidak

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

Kriteria	Ya	Tidak
Pusing		
Sesak Napas		
Mudah/Cepat Marah		
Mual		
Muntah		
Gangguan Tidur		
Mudah Lelah		
Gangguan pendengaran		
Iritasi mata		
Iritasi hidung		
Iritasi tenggorokan		
Daya ingat menurun		

B. Karakteristik Antropometri

5. Umur : tahun

6. Berat Badan : kg

7. Pola aktivitas

- a. Sudah berapa lama bekerja di unit 1? : ____ tahun
- b. Riwayat pekerjaan anda saat bekerja di unit 1 sebagai;
 - 1) Operator (.....tahun)
 - 2) Bagian administrasi (.....tahun)
 - 3) Lainnya :.....
- c. Lama kerja dalam seminggu : ____ jam
 _____ hari
- d. Lama bekerja waktu bekerja dilapangan dalam sehari : ____ jam

C. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD)

8. Apakah anda selalu memakai *Half Mask Respirator* pelindung dari bahan kimia dalam bekerja?

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

.....

9. Apakah anda selalu memakai *Dust Mask Respirator* pelindung dari bahan kimia dalam bekerja?

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

.....

10. Apakah anda selalu memakai sarung tangan dalam bekerja?

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

.....

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

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

.....

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

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

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

- a. Ya
- b. Tidak

14. Apakah anda mengetahui didalam BBM terdapat senyawa BTX (*Benzene, Toluene, dan Xylene*) ?

- a. Ya
- b. Tidak

15. Apakah anda mengetahui bahaya BTX (*Benzene, Toluene, dan Xylene*) bagi kesehatan anda?

- a. Ya
- b. Tidak

D. Kondisi Lingkungan Kerja Dan Higiene Pribadi

16. Penerangan/pencahayaan : (Lingkari)

- a. Cukup terang
- b. Redup
- c. Gelap

17. Suhu (Lingkari)

- a. Sejuk/dingin
- b. Biasa
- c. Panas

18. Ventilasi (Lingkari)

- a. Pintu/jendela terbuka
- b. *Exhaust fan*

19. Pendingin (Lingkari)

- a. AC
- b. Kipas angin

- c. Ventilasi tanpa kipas (*Exhaust fan*)

20. Posisi kerja dominan (Lingkari)

- a. Duduk di kursi/di bangku rendah/ di lantai
- b. Berdiri
- c. Lainnya : _____

21. Kebiasaan mencuci tangan setelah kontak langsung/terpapar bahan kimia saat bekerja dan sebelum makan (Lingkari)

- a. Ya, pakai sabun
- b. Ya, tidak pakai sabun
- c. Tidak
- d. Kadang-kadang



Lampiran 2 Hasil Pengukuran Senyawa BTX di unit 1

FORMULIR PEMANTAUAN KANDUNGAN BAHAN KIMIA DI UDARA (GAS-GAS) OCCUPATIONAL HEALTH									
Tanggal		: 5 Februari 2020			Ast. Inspector		: Rudhy Wuryono		
Fungsi / Bagian		: KPC			Alat ukur yang digunakan		: Multi Gas Detector Gastube Gastec: 122 DL,121 Sp,123,122		
No	Pengambilan Sample (diisi sesuai jenis pengukuran yang dilakukan)			Jenis Gas	NAB (ppm)	Hasil Pengukuran (ppm)			Keterangan
	Lingkungan	Individu				Grab Sampling		TWA Sampling	
	Lokasi / Tag. No. Equipment	Nama Pekerja	Kelompok Kerja			Active Tube Detector	Multi Gas Detector	Passive Tube Detector	
1	84 P-208 AB	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	85 P-207 B	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	85 P-210 AB	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	85 P-214 AB	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	85 P-205	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	86 P-202 AB	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	86 P-206 A/B	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	87 P 204 A/B	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	88 P 206 A/B	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	89 P-202 A/B	-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
	87 P 201 B	-	-	Benzene	0.5	0	-	0.5	Terlihat ada rembesan minyak di sekitar pompa
		-	-	Toluene	100	0	-	20	
	87 P 202 A/B	-	-	Xylene	100	0	-	10	Terlihat ada rembesan minyak di sekitar pompa
		-	-	Benzene	0.5	0	-	0.5	
		-	-	Toluene	100	0	-	20	
	87 P 202 C	-	-	Xylene	100	0	-	10	
		-	-	Benzene	0.5	0	-	0	
		-	-	Toluene	100	0	-	0	
	-	-	-	Xylene	100	0	-	0	
Note :									
<ul style="list-style-type: none"> - Passive Tube digunakan untuk memonitor paparan gas toxic secara TWA pada lingkungan kerja dan atau personel (perkiraan yang dihirup) selama satu shift kerja (6 - 12 jam kerja) - Active Tube & multi gas detector digunakan untuk mengidentifikasi adanya potensi paparan gas kimia toxic secara grab atau sesaat - Pengukuran menggunakan Active atau Passive tube detector dilakukan pada ketinggian respiratory zone (120 - 150 cm dari lantai pijakan pekerja) - NAB adalah standar faktor bahaya di tempat kerja sebagai kadar/intensitas rata-rata tertimbang waktu (Time Weighted Average) yang dapat diterima tenaga kerja tanpa mengakibatkan penyakit atau gangguan kesehatan, dalam pekerjaan sehari-hari untuk waktu tidak melebihi 8 jam sehari atau 40 jam seminggu. - Referensi NAB bahan kimia ditentukan berdasarkan Permenaker No. 5 Tahun 2018 tentang K3 Lingkungan Kerja dan Permenkes RI No. 70 Tahun 2016 tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Kerja di Lingkungan Kerja Industri 									
Kesimpulan :									
- Saat dilaksanakan kegiatan monitoring, sementara									
Saran :									
- Sebagai antisipasi terjadinya gangguan kesehatan atau terjadinya penyakit akibat kerja akibat terpapar gas/uap kimia berbahaya, maka para pekerja yang beraktifitas di lokasi-lokasi tersebut tetap disarankan tetap menggunakan repirator (Half mask).									

Lampiran 3 Hasil Analisis Paparan BTX

Benzene

NO	PENDIDIKAN	USIA	BAGIAN	C	R	Wb	Dt	tE	fE	tavgnon	tavgkar	Wb*tavg		I_Lifetime		I_Realttime		RQ				ECR			
				mg/m3	m3/jam	kg	tahun	Jam/hari	hari/tahun	kg.hari	nk	k	nk	k	nk	k	Lifetime	Tingkat Risiko	Realttime	Tingkat Risiko	Lifetime	Tingkat Risiko	Realttime	Tingkat Risiko	
		Tahun														mg/kg/hari									
1	D/S	36	OPERATOR	1.594	0.83	85	13	4	274	10950	25550	930750	2171750	0.067	0.029	0.0203	0.0087	7.82	BERISIKO	2.36	BERISIKO	0.000775	BERISIKO	0.000234	BERISIKO
2	SMA	51	OPERATOR	1.594	0.83	79	30	5	274	10950	25550	865050	2018450	0.126	0.054	0.0629	0.0269	14.67	BERISIKO	7.33	BERISIKO	0.001455	BERISIKO	0.000727	BERISIKO
3	SMA	22	OPERATOR	1.594	0.83	65	4.5	3	274	10950	25550	711750	1660750	0.053	0.023	0.0069	0.0029	6.15	BERISIKO	0.80	AMAN	0.000610	BERISIKO	0.000080	AMAN
4	SMA	23	OPERATOR	1.594	0.83	66	4	5	274	10950	25550	722700	1686300	0.085	0.037	0.0100	0.0043	9.95	BERISIKO	1.17	BERISIKO	0.000987	BERISIKO	0.000116	BERISIKO
5	D/S	50	OPERATOR	1.594	0.83	88	20	2	274	10950	25550	963600	2248400	0.038	0.016	0.0150	0.0064	4.39	BERISIKO	1.76	BERISIKO	0.000435	BERISIKO	0.000174	BERISIKO
6	SMA	21	OPERATOR	1.594	0.83	62	0.8	6	274	10950	25550	678900	1584100	0.099	0.042	0.0026	0.0011	11.51	BERISIKO	0.30	AMAN	0.001142	BERISIKO	0.000030	AMAN
7	SMA	21	OPERATOR	1.594	0.83	60	0.5	6	274	10950	25550	657000	1533000	0.101	0.043	0.0017	0.0007	11.78	BERISIKO	0.19	AMAN	0.001168	BERISIKO	0.000019	AMAN
8	D/S	24	OPERATOR	1.594	0.83	86	4	6	274	10950	25550	941700	2197300	0.079	0.034	0.0092	0.0040	9.16	BERISIKO	1.08	BERISIKO	0.000909	BERISIKO	0.000107	BERISIKO
9	SMA	20	OPERATOR	1.594	0.83	70	1.5	5	274	10950	25550	766500	1788500	0.074	0.032	0.0035	0.0015	8.69	BERISIKO	0.41	AMAN	0.000862	BERISIKO	0.000041	AMAN
10	SMA	22	OPERATOR	1.594	0.83	55	0.5	5	274	10950	25550	602250	1405250	0.092	0.039	0.0015	0.0006	10.71	BERISIKO	0.18	AMAN	0.001062	BERISIKO	0.000017	AMAN
11	SMA	24	OPERATOR	1.594	0.83	83	4.8	2	274	10950	25550	908850	2120650	0.028	0.012	0.0038	0.0016	3.24	BERISIKO	0.45	AMAN	0.000321	BERISIKO	0.000044	AMAN
12	SMA	24	OPERATOR	1.594	0.83	82	6	4	274	10950	25550	897900	2095100	0.058	0.025	0.0097	0.0042	6.78	BERISIKO	1.13	BERISIKO	0.000673	BERISIKO	0.000112	BERISIKO
13	D/S	34	OPERATOR	1.594	0.83	80	8	3	274	10950	25550	876000	2044000	0.047	0.020	0.0099	0.0043	5.50	BERISIKO	1.16	BERISIKO	0.000546	BERISIKO	0.000115	BERISIKO
14	D/S	31	OPERATOR	1.594	0.83	77	5.5	5	274	10950	25550	843150	1967350	0.076	0.033	0.0118	0.0051	8.90	BERISIKO	1.38	BERISIKO	0.000883	BERISIKO	0.000137	BERISIKO
15	D/S	37	OPERATOR	1.594	0.83	80	10	4	274	10950	25550	876000	2044000	0.066	0.028	0.0166	0.0071	7.73	BERISIKO	1.93	BERISIKO	0.000766	BERISIKO	0.000192	BERISIKO
16	D/S	31	OPERATOR	1.594	0.83	70	7	2	274	10950	25550	766500	1788500	0.035	0.015	0.0066	0.0028	4.08	BERISIKO	0.77	AMAN	0.000405	BERISIKO	0.000077	AMAN
17	D/S	34	OPERATOR	1.594	0.83	78	10	4	274	10950	25550	854100	1992900	0.068	0.029	0.0170	0.0073	7.92	BERISIKO	1.98	BERISIKO	0.000786	BERISIKO	0.000196	BERISIKO
18	SMA	24	OPERATOR	1.594	0.83	80	6	5	274	10950	25550	876000	2044000	0.074	0.032	0.0124	0.0053	8.69	BERISIKO	1.45	BERISIKO	0.000862	BERISIKO	0.000144	BERISIKO
19	D/S	55	OPERATOR	1.594	0.83	75	20	1	274	10950	25550	821250	1916250	0.022	0.009	0.0088	0.0038	2.58	BERISIKO	1.03	BERISIKO	0.000255	BERISIKO	0.000102	BERISIKO
20	SMA	53	OPERATOR	1.594	0.83	70	30	2	274	10950	25550	766500	1788500	0.057	0.024	0.0284	0.0122	6.62	BERISIKO	3.31	BERISIKO	0.000657	BERISIKO	0.000328	BERISIKO
21	D/S	35	PANNELMAN	1.594	0.83	91	10	0	274	10950	25550	996450	2325050	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.00	AMAN	0.00	AMAN	0.000000	AMAN	0.000000	AMAN
22	SMA	23	OPERATOR	1.594	0.83	80	1	5	274	10950	25550	876000	2044000	0.064	0.027	0.0021	0.0009	7.48	BERISIKO	0.24	AMAN	0.000742	BERISIKO	0.000024	AMAN
23	SMA	50	OPERATOR	1.594	0.83	82	24	2	274	10950	25550	897900	2095100	0.044	0.019	0.0194	0.0083	5.09	BERISIKO	2.26	BERISIKO	0.000505	BERISIKO	0.000224	BERISIKO
24	SMA	47	OPERATOR	1.594	0.83	63.5	22	1	274	10950	25550	695325	1622425	0.027	0.012	0.0115	0.0049	3.16	BERISIKO	1.34	BERISIKO	0.000314	BERISIKO	0.000133	BERISIKO
25	D/S	34	OPERATOR	1.594	0.83	83	8	5	274	10950	25550	908850	2120650	0.076	0.032	0.0160	0.0068	8.84	BERISIKO	1.86	BERISIKO	0.000877	BERISIKO	0.000185	BERISIKO
26	SMA	20	OPERATOR	1.594	0.83	54	1	4	274	10950	25550	591300	1379700	0.076	0.033	0.0025	0.0011	8.87	BERISIKO	0.29	AMAN	0.000880	BERISIKO	0.000028	AMAN
27	SMA	19	OPERATOR	1.594	0.83	74	0.7	6	274	10950	25550	810300	1890700	0.082	0.035	0.0019	0.0008	9.62	BERISIKO	0.22	AMAN	0.000954	BERISIKO	0.000022	AMAN
28	D/S	25	OPERATOR	1.594	0.83	70	4	5	274	10950	25550	766500	1788500	0.080	0.034	0.0095	0.0041	9.38	BERISIKO	1.10	BERISIKO	0.000930	BERISIKO	0.000109	BERISIKO
29	SMA	21	OPERATOR	1.594	0.83	63	0.8	6	274	10950	25550	689850	1609650	0.097	0.042	0.0025	0.0011	11.33	BERISIKO	0.29	AMAN	0.001124	BERISIKO	0.000029	AMAN
30	SMA	50	OPERATOR	1.594	0.83	82	26	3	274	10950	25550	897900	2095100	0.068	0.029	0.0315	0.0135	7.91	BERISIKO	3.67	BERISIKO	0.000785	BERISIKO	0.000364	BERISIKO
31	SMA	24	OPERATOR	1.594	0.83	95	6	4	274	10950	25550	1040250	2427250	0.050	0.022	0.0084	0.0036	5.86	BERISIKO	0.98	AMAN	0.000581	BERISIKO	0.000097	AMAN
32	D/S	34	OPERATOR	1.594	0.83	82	8	4	274	10950	25550	897900	2095100	0.061	0.026	0.0129	0.0055	7.16	BERISIKO	1.51	BERISIKO	0.000710	BERISIKO	0.000149	BERISIKO
33	SMA	24	OPERATOR	1.594	0.83	65	4.5	4	274	10950	25550	711750	1660750	0.070	0.030	0.0092	0.0039	8.20	BERISIKO	1.07	BERISIKO	0.000813	BERISIKO	0.000106	BERISIKO
34	D/S	39	ADM	1.594	0.83	95	10	1	261	10950	25550	1040250	2427250	0.013	0.006	0.0033	0.0014	1.55	BERISIKO	0.39	AMAN	0.000154	BERISIKO	0.000038	AMAN
35	D/S	25	OPERATOR	1.594	0.83	85	4.5	4	274	10950	25550	930750	2171750	0.054	0.023	0.0070	0.0030	6.27	BERISIKO	0.82	AMAN	0.000622	BERISIKO	0.000081	AMAN
36	D/S	50	OPERATOR	1.594	0.83	95	30	2	274	10950	25550	1040250	2427250	0.042	0.018	0.0209	0.0090	4.88	BERISIKO	2.44	BERISIKO	0.000484	BERISIKO	0.000242	BERISIKO
37	SMA	19	OPERATOR	1.594	0.83	61	0.7	4	274	10950	25550	667950	1558550	0.067	0.029	0.0015	0.0007	7.78	BERISIKO	0.18	AMAN	0.000771	BERISIKO	0.000018	AMAN
38	SMA	55	OPERATOR	1.594	0.83	85	27	5	274	10950	25550	930750	2171750	0.111	0.048	0.0526	0.0225	12.95	BERISIKO	6.14	BERISIKO	0.001284	BERISIKO	0.000608	BERISIKO
39	SMA	22	OPERATOR	1.594	0.83	54	0.7	4	274	10950	25550	591300	1379700	0.075	0.032	0.0017	0.0007	8.78	BERISIKO	0.20	AMAN	0.000871	BERISIKO	0.000020	AMAN
40	SMA	24	OPERATOR	1.594	0.83	70	6	5	274	10950	25550	766500	1788500	0.085	0.036	0.0142	0.0061	9.93	BERISIKO	1.66	BERISIKO	0.000985	BERISIKO	0.000164	BERISIKO
41	D/S	54	OPERATOR	1.594	0.83	72	34.5	2	274	10950	25550	788400	1839600	0.059	0.025	0.0317	0.0136	6.92	BERISIKO	3.70	BERISIKO	0.000686	BERISIKO	0.000367	BERISIKO

Toluene

NO	PENDIDIKAN	USIA	BAGIAN	C	R	Wb	Dt	tE	fE	tavgnon	tavgkar	Wb*tavg		I_Lifetime		I_Realttime		RQ			
				mg/m3	m3/jam	kg	tahun	Jam/hari	hari/tahun	kg.hari	nk	k	nk	k	nk	k	Lifetime	Tingkat Risiko	Realtime	Tingkat Risiko	
		Tahun														mg/kg/hari					
1	D/S	36	OPERATOR	75.22	0.83	85	13	4	274	10950	25550	930750	2171750	3.16	1.35	0.96	0.41	2.21	BERISIKO	0.67	AMAN
2	SMA	51	OPERATOR	75.22	0.83	79	30	5	274	10950	25550	865050	2018450	5.93	2.54	2.97	1.27	4.15	BERISIKO	2.08	BERISIKO
3	SMA	22	OPERATOR	75.22	0.83	65	4.5	3	274	10950	25550	711750	1660750	2.49	1.07	0.32	0.14	1.74	BERISIKO	0.23	AMAN
4	SMA	23	OPERATOR	75.22	0.83	66	4	5	274	10950	25550	722700	1686300	4.02	1.72	0.47	0.20	2.82	BERISIKO	0.33	AMAN
5	D/S	50	OPERATOR	75.22	0.83	88	20	2	274	10950	25550	963600	2248400	1.78	0.76	0.71	0.30	1.24	BERISIKO	0.50	AMAN
6	SMA	21	OPERATOR	75.22	0.83	62	0.8	6	274	10950	25550	678900	1584100	4.66	2.00	0.12	0.05	3.26	BERISIKO	0.08	AMAN
7	SMA	21	OPERATOR	75.22	0.83	60	0.5	6	274	10950	25550	657000	1533000	4.76	2.04	0.08	0.03	3.34	BERISIKO	0.05	AMAN
8	D/S	24	OPERATOR	75.22	0.83	86	4	6	274	10950	25550	941700	2197300	3.71	1.59	0.44	0.19	2.60	BERISIKO	0.31	AMAN
9	SMA	20	OPERATOR	75.22	0.83	70	1.5	5	274	10950	25550	766500	1788500	3.52	1.51	0.17	0.07	2.46	BERISIKO	0.12	AMAN
10	SMA	22	OPERATOR	75.22	0.83	55	0.5	5	274	10950	25550	602250	1405250	4.33	1.86	0.07	0.03	3.03	BERISIKO	0.05	AMAN
11	SMA	24	OPERATOR	75.22	0.83	83	4.8	2	274	10950	25550	908850	2120650	1.31	0.56	0.18	0.08	0.92	AMAN	0.13	AMAN
12	SMA	24	OPERATOR	75.22	0.83	82	6	4	274	10950	25550	897900	2095100	2.74	1.18	0.46	0.20	1.92	BERISIKO	0.32	AMAN
13	D/S	34	OPERATOR	75.22	0.83	80	8	3	274	10950	25550	876000	2044000	2.23	0.95	0.47	0.20	1.56	BERISIKO	0.33	AMAN
14	D/S	31	OPERATOR	75.22	0.83	77	5.5	5	274	10950	25550	843150	1967350	3.60	1.54	0.56	0.24	2.52	BERISIKO	0.39	AMAN
15	D/S	37	OPERATOR	75.22	0.83	80	10	4	274	10950	25550	876000	2044000	3.12	1.34	0.78	0.33	2.19	BERISIKO	0.55	AMAN
16	D/S	31	OPERATOR	75.22	0.83	70	7	2	274	10950	25550	766500	1788500	1.65	0.71	0.31	0.13	1.16	BERISIKO	0.22	AMAN
17	D/S	34	OPERATOR	75.22	0.83	78	10	4	274	10950	25550	854100	1992900	3.20	1.37	0.80	0.34	2.24	BERISIKO	0.56	AMAN
18	SMA	24	OPERATOR	75.22	0.83	80	6	5	274	10950	25550	876000	2044000	3.52	1.51	0.59	0.25	2.46	BERISIKO	0.41	AMAN
19	D/S	55	OPERATOR	75.22	0.83	75	20	1	274	10950	25550	821250	1916250	1.04	0.45	0.42	0.18	0.73	AMAN	0.29	AMAN
20	SMA	53	OPERATOR	75.22	0.83	70	30	2	274	10950	25550	766500	1788500	2.68	1.15	1.34	0.57	1.88	BERISIKO	0.94	AMAN
21	D/S	35	PANNELMAN	75.22	0.83	91	10	0	274	10950	25550	996450	2325050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	AMAN	0.00	AMAN
22	SMA	23	OPERATOR	75.22	0.83	80	1	5	274	10950	25550	876000	2044000	3.03	1.30	0.10	0.04	2.12	BERISIKO	0.07	AMAN
23	SMA	50	OPERATOR	75.22	0.83	82	24	2	274	10950	25550	897900	2095100	2.06	0.88	0.91	0.39	1.44	BERISIKO	0.64	AMAN
24	SMA	47	OPERATOR	75.22	0.83	63.5	22	1	274	10950	25550	695325	1622425	1.28	0.55	0.54	0.23	0.90	AMAN	0.38	AMAN
25	D/S	34	OPERATOR	75.22	0.83	83	8	5	274	10950	25550	908850	2120650	3.58	1.53	0.75	0.32	2.50	BERISIKO	0.53	AMAN
26	SMA	20	OPERATOR	75.22	0.83	54	1	4	274	10950	25550	591300	1379700	3.59	1.54	0.12	0.05	2.51	BERISIKO	0.08	AMAN
27	SMA	19	OPERATOR	75.22	0.83	74	0.7	6	274	10950	25550	810300	1890700	3.89	1.67	0.09	0.04	2.72	BERISIKO	0.06	AMAN
28	D/S	25	OPERATOR	75.22	0.83	70	4	5	274	10950	25550	766500	1788500	3.79	1.63	0.45	0.19	2.66	BERISIKO	0.31	AMAN
29	SMA	21	OPERATOR	75.22	0.83	63	0.8	6	274	10950	25550	689850	1609650	4.58	1.96	0.12	0.05	3.21	BERISIKO	0.08	AMAN
30	SMA	50	OPERATOR	75.22	0.83	82	26	3	274	10950	25550	897900	2095100	3.20	1.37	1.49	0.64	2.24	BERISIKO	1.04	BERISIKO
31	SMA	24	OPERATOR	75.22	0.83	95	6	4	274	10950	25550	1040250	2427250	2.37	1.01	0.39	0.17	1.66	BERISIKO	0.28	AMAN
32	D/S	34	OPERATOR	75.22	0.83	82	8	4	274	10950	25550	897900	2095100	2.90	1.24	0.61	0.26	2.03	BERISIKO	0.43	AMAN
33	SMA	24	OPERATOR	75.22	0.83	65	4.5	4	274	10950	25550	711750	1660750	3.32	1.42	0.43	0.19	2.32	BERISIKO	0.30	AMAN
34	D/S	39	ADM	75.22	0.83	95	10	1	261	10950	25550	1040250	2427250	0.63	0.27	0.16	0.07	0.44	AMAN	0.11	AMAN
35	D/S	25	OPERATOR	75.22	0.83	85	4.5	4	274	10950	25550	930750	2171750	2.54	1.09	0.33	0.14	1.78	BERISIKO	0.23	AMAN
36	D/S	50	OPERATOR	75.22	0.83	95	30	2	274	10950	25550	1040250	2427250	1.97	0.85	0.99	0.42	1.38	BERISIKO	0.69	AMAN
37	SMA	19	OPERATOR	75.22	0.83	61	0.7	4	274	10950	25550	667950	1558550	3.14	1.35	0.07	0.03	2.20	BERISIKO	0.05	AMAN
38	SMA	55	OPERATOR	75.22	0.83	85	27	5	274	10950	25550	930750	2171750	5.24	2.24	2.48	1.06	3.67	BERISIKO	1.74	BERISIKO
39	SMA	22	OPERATOR	75.22	0.83	54	0.7	4	274	10950	25550	591300	1379700	3.55	1.52	0.08	0.03	2.49	BERISIKO	0.06	AMAN
40	SMA	24	OPERATOR	75.22	0.83	70	6	5	274	10950	25550	766500	1788500	4.02	1.72	0.67	0.29	2.81	BERISIKO	0.47	AMAN
41	D/S	54	OPERATOR	75.22	0.83	72	34.5	2	274	10950	25550	788400	1839600	2.80	1.20	1.50	0.64	1.96	BERISIKO	1.05	BERISIKO

Xylene

NO	PENDIDIKAN	USIA	BAGIAN	C	R	Wb	Dt	tE	fE	tavgnon	tavgkar	Wb*tavg		I_Lifetime		I_Realttime		RQ			
				mg/m3	m3/jam	kg	tahun	Jam/hari	hari/tahun	kg.hari	nk	k	nk	k	nk	k	Lifetime	Tingkat Risiko	Realttime	Tingkat Risiko	
		Tahun																			
1	D/S	36	OPERATOR	43.33	0.83	85	13	4	274	10950	25550	930750	2171750	1.82	0.78	0.551	0.236	63.90	BERISIKO	19.32	BERISIKO
2	SMA	51	OPERATOR	43.33	0.83	79	30	5	274	10950	25550	865050	2018450	3.42	1.46	1.709	0.732	119.91	BERISIKO	59.95	BERISIKO
3	SMA	22	OPERATOR	43.33	0.83	65	4.5	3	274	10950	25550	711750	1660750	1.43	0.61	0.187	0.080	50.28	BERISIKO	6.56	BERISIKO
4	SMA	23	OPERATOR	43.33	0.83	66	4	5	274	10950	25550	722700	1686300	2.32	0.99	0.273	0.117	81.33	BERISIKO	9.57	BERISIKO
5	D/S	50	OPERATOR	43.33	0.83	88	20	2	274	10950	25550	963600	2248400	1.02	0.44	0.409	0.175	35.88	BERISIKO	14.35	BERISIKO
6	SMA	21	OPERATOR	43.33	0.83	62	0.8	6	274	10950	25550	678900	1584100	2.68	1.15	0.070	0.030	94.12	BERISIKO	2.44	BERISIKO
7	SMA	21	OPERATOR	43.33	0.83	60	0.5	6	274	10950	25550	657000	1533000	2.74	1.18	0.045	0.019	96.31	BERISIKO	1.58	BERISIKO
8	D/S	24	OPERATOR	43.33	0.83	86	4	6	274	10950	25550	941700	2197300	2.13	0.91	0.251	0.108	74.90	BERISIKO	8.81	BERISIKO
9	SMA	20	OPERATOR	43.33	0.83	70	1.5	5	274	10950	25550	766500	1788500	2.02	0.87	0.096	0.041	71.05	BERISIKO	3.38	BERISIKO
10	SMA	22	OPERATOR	43.33	0.83	55	0.5	5	274	10950	25550	602250	1405250	2.50	1.07	0.041	0.018	87.55	BERISIKO	1.44	BERISIKO
11	SMA	24	OPERATOR	43.33	0.83	83	4.8	2	274	10950	25550	908850	2120650	0.75	0.32	0.104	0.045	26.48	BERISIKO	3.65	BERISIKO
12	SMA	24	OPERATOR	43.33	0.83	82	6	4	274	10950	25550	897900	2095100	1.58	0.68	0.263	0.113	55.45	BERISIKO	9.24	BERISIKO
13	D/S	34	OPERATOR	43.33	0.83	80	8	3	274	10950	25550	876000	2044000	1.28	0.55	0.270	0.116	45.00	BERISIKO	9.47	BERISIKO
14	D/S	31	OPERATOR	43.33	0.83	77	5.5	5	274	10950	25550	843150	1967350	2.07	0.89	0.321	0.138	72.79	BERISIKO	11.28	BERISIKO
15	D/S	37	OPERATOR	43.33	0.83	80	10	4	274	10950	25550	876000	2044000	1.80	0.77	0.450	0.193	63.15	BERISIKO	15.79	BERISIKO
16	D/S	31	OPERATOR	43.33	0.83	70	7	2	274	10950	25550	766500	1788500	0.95	0.41	0.180	0.077	33.38	BERISIKO	8.81	BERISIKO
17	D/S	34	OPERATOR	43.33	0.83	78	10	4	274	10950	25550	854100	1992900	1.85	0.79	0.461	0.198	64.77	BERISIKO	16.19	BERISIKO
18	SMA	24	OPERATOR	43.33	0.83	80	6	5	274	10950	25550	876000	2044000	2.02	0.87	0.337	0.145	71.05	BERISIKO	11.84	BERISIKO
19	D/S	55	OPERATOR	43.33	0.83	75	20	1	274	10950	25550	821250	1916250	0.60	0.26	0.240	0.103	21.05	BERISIKO	8.42	BERISIKO
20	SMA	53	OPERATOR	43.33	0.83	70	30	2	274	10950	25550	766500	1788500	1.54	0.66	0.771	0.331	54.13	BERISIKO	27.07	BERISIKO
21	D/S	35	PANNELMAN	43.33	0.83	91	10	0	274	10950	25550	996450	2325050	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	AMAN	0.00	AMAN
22	SMA	23	OPERATOR	43.33	0.83	80	1	5	274	10950	25550	876000	2044000	1.74	0.75	0.056	0.024	61.18	BERISIKO	1.97	BERISIKO
23	SMA	50	OPERATOR	43.33	0.83	82	24	2	274	10950	25550	897900	2095100	1.19	0.51	0.527	0.226	41.59	BERISIKO	18.48	BERISIKO
24	SMA	47	OPERATOR	43.33	0.83	63.5	22	1	274	10950	25550	695325	1622425	0.74	0.32	0.312	0.134	25.86	BERISIKO	10.94	BERISIKO
25	D/S	34	OPERATOR	43.33	0.83	83	8	5	274	10950	25550	908850	2120650	2.06	0.88	0.434	0.186	72.28	BERISIKO	15.22	BERISIKO
26	SMA	20	OPERATOR	43.33	0.83	54	1	4	274	10950	25550	591300	1379700	2.07	0.89	0.067	0.029	72.51	BERISIKO	2.34	BERISIKO
27	SMA	19	OPERATOR	43.33	0.83	74	0.7	6	274	10950	25550	810300	1890700	2.24	0.96	0.051	0.022	78.60	BERISIKO	1.79	BERISIKO
28	D/S	25	OPERATOR	43.33	0.83	70	4	5	274	10950	25550	766500	1788500	2.19	0.94	0.257	0.110	76.68	BERISIKO	9.02	BERISIKO
29	SMA	21	OPERATOR	43.33	0.83	63	0.8	6	274	10950	25550	689850	1609650	2.64	1.13	0.069	0.029	92.62	BERISIKO	2.41	BERISIKO
30	SMA	50	OPERATOR	43.33	0.83	82	26	3	274	10950	25550	897900	2095100	1.84	0.79	0.856	0.367	64.69	BERISIKO	30.04	BERISIKO
31	SMA	24	OPERATOR	43.33	0.83	95	6	4	274	10950	25550	1040250	2427250	1.36	0.58	0.227	0.097	47.86	BERISIKO	7.98	BERISIKO
32	D/S	34	OPERATOR	43.33	0.83	82	8	4	274	10950	25550	897900	2095100	1.67	0.71	0.351	0.151	58.53	BERISIKO	12.32	BERISIKO
33	SMA	24	OPERATOR	43.33	0.83	65	4.5	4	274	10950	25550	711750	1660750	1.91	0.82	0.249	0.107	67.04	BERISIKO	8.74	BERISIKO
34	D/S	39	ADM	43.33	0.83	95	10	1	261	10950	25550	1040250	2427250	0.36	0.15	0.090	0.039	12.66	BERISIKO	3.17	BERISIKO
35	D/S	25	OPERATOR	43.33	0.83	85	4.5	4	274	10950	25550	930750	2171750	1.46	0.63	0.191	0.082	51.26	BERISIKO	6.69	BERISIKO
36	D/S	50	OPERATOR	43.33	0.83	95	30	2	274	10950	25550	1040250	2427250	1.14	0.49	0.568	0.244	39.89	BERISIKO	19.94	BERISIKO
37	SMA	19	OPERATOR	43.33	0.83	61	0.7	4	274	10950	25550	667950	1558550	1.81	0.78	0.041	0.018	63.57	BERISIKO	1.45	BERISIKO
38	SMA	55	OPERATOR	43.33	0.83	85	27	5	274	10950	25550	930750	2171750	3.02	1.29	1.429	0.613	105.87	BERISIKO	50.15	BERISIKO
39	SMA	22	OPERATOR	43.33	0.83	54	0.7	4	274	10950	25550	591300	1379700	2.05	0.88	0.047	0.020	71.81	BERISIKO	1.64	BERISIKO
40	SMA	24	OPERATOR	43.33	0.83	70	6	5	274	10950	25550	766500	1788500	2.31	0.99	0.386	0.165	81.20	BERISIKO	13.53	BERISIKO
41	D/S	54	OPERATOR	43.33	0.83	72	34.5	2	274	10950	25550	788400	1839600	1.61	0.69	0.862	0.370	56.57	BERISIKO	30.26	BERISIKO

Lampiran 4 Perhitungan

1. Perhitungan Intake Non-Karsinogenik

a. Benzene

1) Realtime benzene

$$I_{realtime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$
$$I_{realtime(nk)} = \frac{1,594 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 4,43 tahun}{75,43 kg \times 30 tahun \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{realtime(nk)} = 0,0073 \text{ mg/kg/hari}$$

2) Lifetime

$$I_{lifetimt(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$
$$I_{lifetime(nk)} = \frac{1,594 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 36 tahun}{75,43 kg \times 30 tahun \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = 0,059 \text{ mg/kg/hari}$$

Nilai D_t untk lifetime yang dipakai 36 tahun karena estimasi waktu jika dihitung dari pekerja yang masuk sejak lulus SMA hingga pensiun yakni selama 36 tahun

b. Toluene

1) Realtime toluene

$$I_{realtime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$
$$I_{realtime(nk)} = \frac{75,22 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 4,43 tahun}{75,43 kg \times 30 tahun \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{realtime(nk)} = 0,346 \text{ mg/kg/hari}$$

2) Lifetime Toluene

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{75,22 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 36 \text{ tahun}}{75,43 \text{ kg} \times 30 \text{ tahun} \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = 2,818 \text{ mg/kg/hari}$$

c. Xylene

1) Realtime Xylene

$$I_{realtime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{realtime(nk)} = \frac{43,33 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 4,43 \text{ tahun}}{75,43 \text{ kg} \times 30 \text{ tahun} \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{realtime(nk)} = 0,199 \text{ mg/kg/hari}$$

2) Lifetime Xylene

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{43,33 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 30 \text{ tahun}}{75,43 \text{ kg} \times 30 \text{ tahun} \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = 1,623 \text{ mg/kg/hari}$$

2. Perhitungan Intake Karsinogenik

a. Benzene

3) Realtime benzene

$$I_{realtime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{realtime(nk)} = \frac{1,594 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 4,43}{75,43 \text{ kg} \times 70 \text{ tahun} \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{realtime(nk)} = 0,00083 \text{ mg/kg/hari}$$

4) Lifetime

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{1,594 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 36 tahun}{75,43 kg \times 70 tahun \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = 0,0067 \text{ mg/kg/hari}$$

Nilai D_t untk lifetime yang dipakai 36 tahun karena estimasi waktu jika dihitung dari pekerja yang masuk sejak lulus SMA hingga pensiun yakni selama 36 tahun

b. Toluene

1) Realtime toluene

$$I_{realtime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{realtime(nk)} = \frac{75,22 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 4,43}{75,43 kg \times 70 tahun \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{realtime(nk)} = 0,149 \text{ mg/kg/hari}$$

2) Lifetime Toluene

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{75,22 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 273,7 \frac{hari}{tahun} \times 36 tahun}{75,43 kg \times 70 tahun \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = 1,211 \text{ mg/kg/hari}$$

c. Xylene

1) Realtime Xylene

$$I_{realtime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{realtime(nk)} = \frac{43,33 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 4,43 tahun}{75,43 kg \times 70 tahun \times 365 \frac{hari}{tahun}}$$

$$I_{realtime(nk)} = 0,086 \text{ mg/kg/hari}$$

2) Lifetime Xylene

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = \frac{43,33 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}}{75,43 \text{ kg} \times 70 \text{ tahun} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$I_{lifetime(nk)} = 0,696 \text{ mg/kg/hari}$$

3. Perhitungan Manajemen Risiko Non-Karsinogenik

a. Benzene

1) Penurunan Konsentrasi Paparan Benzene

$$\begin{aligned} \text{Caman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \\ &= \frac{0,00795 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \text{ jam} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}} \\ &= 0,21 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman konsentrasi *benzene* sebesar 0,21 mg/m³.

2) Mengurangi lama paparan benzene (t_E)

$$\begin{aligned} t_E \text{ aman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t} \\ &= \frac{0,00795 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{1,594 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}} \\ &= 0,5 \text{ jam/hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman lama paparan *benzene* yaitu 0,5 jam/hari.

3) Mengurangi frekuensi paparan benzene (f_E)

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

$$= \frac{0,00795 \frac{mg}{hari} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{hari}{tahun} \times 30 \text{ tahun}}{1,594 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 36 \text{ tahun}}$$

$$= 36,5 \text{ hari/tahun} \approx 37 \text{ hari/tahun}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk frekuensi pajanan *benzene* yaitu 37 hari/tahun.

4) Mengurangi durasi pajanan *benzene* (D_t)

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

$$= \frac{0,00795 \frac{mg}{hari} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{hari}{tahun} \times 30 \text{ tahun}}{1,594 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \frac{jam}{hari} \times 274 \frac{hari}{tahun}}$$

$$= 4,8 \text{ tahun} \approx 5 \text{ tahun}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk durasi pajanan *benzene* yaitu 5,17 tahun.

b. *Toluene*

1) Penurunan Konsentrasi Pajanan *Toluene*

$$C_{aman} = \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

$$= \frac{1,326 \frac{mg}{hari} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{hari}{tahun} \times 30 \text{ tahun}}{0,83 \frac{m^3}{jam} \times 3,78 \text{ jam} \times 274 \frac{hari}{tahun} \times 36 \text{ tahun}}$$

$$= 35,39 \text{ mg/m}^3.$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk konsentrasi *toluene* yaitu 35,39 mg/m^3 .

2) Mengurangi lama pajanan *Toluene* (t_E)

$$\begin{aligned}
 t_E \text{ aman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t} \\
 &= \frac{1,326 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{75,22 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}} \\
 &= 1,78 \text{ jam/hari}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk lama pajanan *toluene* yaitu 1,78 jam/hari.

- 3) Mengurangi frekuensi pajanan *passive benzene* (f_E)

$$\begin{aligned}
 f_E \text{ aman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t} \\
 &= \frac{1,326 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{75,22 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 36 \text{ tahun}} \\
 &= 128,9 \text{ hari/tahun} \approx 129 \text{ hari/tahun}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk frekuensi pajanan *toluene* yaitu 129 hari/tahun.

- 4) Mengurangi durasi pajanan *toluene* (D_t)

$$\begin{aligned}
 D_t \text{ aman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times f_E} \\
 &= \frac{1,326 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{75,22 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}} \\
 &= 17 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk durasi pajanan *toluene* yaitu 17 tahun

c. *Xylene*

- 1) Penurunan Konsentrasi Pajanan *Xylene*

$$\begin{aligned}
\text{Caman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \\
&= \frac{0,0265 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \text{ jam} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}} \\
&= 0,71 \text{ mg/m}^3.
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk konsentrasi *xylene* yaitu 0,71 mg/m³

- 2) Mengurangi lama pajanan *xylene* (t_E)

$$\begin{aligned}
t_E \text{ aman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t} \\
&= \frac{0,0265 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{43,33 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 36 \text{ tahun}} \\
&= 0,062 \text{ jam/hari}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk lama pajanan *xylene* yaitu 0,062 jam/hari.

- 3) Mengurangi frekuensi pajanan *xylene* (f_E)

$$\begin{aligned}
f_E \text{ aman} &= \frac{I_{nk} \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t} \\
&= \frac{0,0265 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{43,33 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 36 \text{ tahun}} \\
&= 4,5 \text{ hari/tahun} \approx 5 \text{ hari/tahun}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk frekuensi pajanan *xylene* yaitu 5 hari/tahun.

- 4) Mengurangi durasi pajanan *xylene* (D_t)

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

$$= \frac{0,0265 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 75,43 \text{ kg} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}}{43,33 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3,78 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 274 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$= 0,6 \text{ tahun}$$

Hasil perhitungan merupakan nilai batas aman untuk durasi pajanan *xylene* yaitu 0,6 tahun



