

TA/TL/2020/1219

LAPORAN TUGAS AKHIR
ANALISIS PAPARAN *BENZENE* dan *PARTICULATE*
MATTER* (PM₁₀) DI LINGKUNGAN KERJA *CONTROL
***ROOM* A dan B PT X**

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



MUHAMMAD LAZUARDI FAIZ
16513053

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA
2020

TA/TL/2020/1219

LAPORAN TUGAS AKHIR
ANALISIS PAPARAN *BENZENE* dan *PARTICULATE*
MATTER* (PM₁₀) DI LINGKUNGAN KERJA *CONTROL
***ROOM* A dan B PT X**

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



MUHAMMAD LAZUARDI FAIZ
16513053

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA YOGYAKARTA
2020

LAPORAN TUGAS AKHIR
ANALISIS PAPARAN *BENZENE* dan *PARTICULATE*
MATTER* (PM₁₀) DI LINGKUNGAN KERJA *CONTROL
***ROOM* A dan B PT X**

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

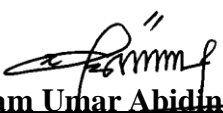



MUHAMMAD LAZUARDI FAIZ
16513053

Disetujui,

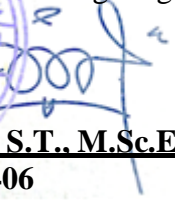
Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2


Azham Umar Abidin, S.KM.MPH
NIK. 165131303
Tanggal: 24/08/2020


Eina Binazir Maziva, S.T., M.T.
NIK. 165131305
Tanggal: 25/08/2020

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

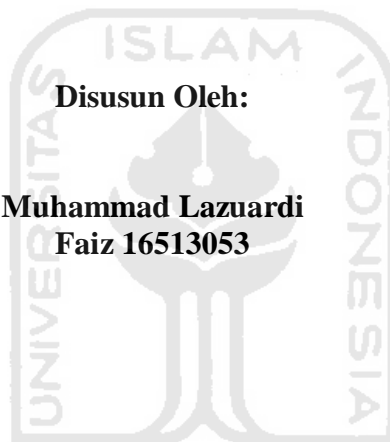

Eko Siswovo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406
Tanggal : 26/08/2020



HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS PAPARAN *BENZENE* dan *PARTICULATE*
MATTER* (PM₁₀) DI LINGKUNGAN KERJA *CONTROL
***ROOM* A dan B PT X**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim

Penguji Hari : Selasa
Tanggal : 25 Agustus 2020

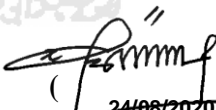


Disusun Oleh:

Muhammad Lazuardi
Faiz 16513053

Tim Penguji :

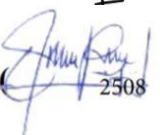
Azham Umar Abidin, S.KM.MPH.


(24/08/2020)

Eina Binazir Maziya, S.T.,M.T.


()

Elita Nurfitriyani Sulisty, S.T., M.Sc.


(25/08)

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 tanggung jawab 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, 25 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

M.Lazuardi Faiz

NIM: 16513053



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Februari 2020 ini dengan judul: **ANALISIS PAPARAN *BENZENE* dan *PARTICULATE MATTER* (PM₁₀) DI LINGKUNGAN KERJA *CONTROL ROOM A* dan *B* 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 Fina Binazir Maziya S.T.,M.T. selaku pembimbing 2 yang telah banyak memberi saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian berlangsung dan penulisan tugas akhir ini,
3. Bapak Untung Suratno selaku pembimbing lapangan selama di PT X yang telah banyak memberikan arahan dan saran kepada penulis dari awal masuk hingga selesai melaksanakan penelitian.
4. Ayah, Bunda dan mbak serta seluruh keluarga yang senantiasa tak pernah lelah memberikan segala doa, motivasi dan kasih sayangnya,
5. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016 di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII yang telah bersama melewati kehidupan perkuliahan baik akademis maupun non akademis,
6. Pihak-pihak terkait yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak terdapat berbagai kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Yogyakarta, 25 Agustus 2020

Muhammad Lazuardi Faiz



ABSTRAK

MUHAMMAD LAZUARDI FAIZ. Analisis paparan *Benzene* dan *Particulate Matter* (PM₁₀) di Lingkungan Kerja *Control Room* A dan B PT X. Dibimbing oleh AZHAM UMAR ABIDIN, S.KM., M.PH.dan FINA BINZIR MAZIYA, S.T.,M.T.

Karyawan *Control Room* A dan B adalah salah satu populasi pekerja yang memiliki tingkat risiko paparan benzena yang tinggi, terutama melalui jalur inhalasi dalam waktu paparan yang kontinyu, ini dikarenakan para karyawan *control room* bekerja di lingkungan yang sangat dekat dengan *waste pit* yang merupakan sumber benzena tersebut sehingga mereka sangat mudah/rentan terpapar benzena ditambah dengan jam kerja dan frekuensi kerja yang lama. Penelitian ini adalah untuk menganalisis besaran risiko kesehatan paparan benzena pada seluruh karyawan. Data penelitian ini diperoleh dari hasil wawancara, pengisian kuesioner, observasi dan melihat hasil data kualitas lingkungan yang dimiliki pihak PT X. Data dianalisis dengan menggunakan metode analisis kuantitatif dimana membandingkan nilai intake yang didapat dari pekerja dengan nilai konsentrasi referensi (*RfC*) yang aman bagi paparan benzena untuk efek-efek nonkarsinogenik dan *Cancer Slope Factor* (*CSF*) untuk efek-efek karsinogenik. Hasil penelitian menunjukkan hasil konsentrasi agen berisiko dapat menimbulkan efek merugikan kesehatan non-karsinogenik A yaitu pada paparan *realtime* terdapat 6 orang (50%) dan paparan *lifetime* terdapat 12 orang (100%). Sedangkan hasil perhitungan efek karsinogenik A adalah pada paparan *realtime* 6 orang (50%) dan pada paparan *lifetime* terdapat 12 orang (100%). Sementara untuk efek kesehatan non-karsinogenik B yaitu pada paparan *realtime* terdapat 6 orang (60%) dan paparan *lifetime* terdapat 10 orang (100%) dan untuk efek karsinogenik B adalah pada paparan *realtime* 6 orang (60%) dan pada paparan *lifetime* terdapat 10 orang (100%). Dari hasil tersebut bisa dinyatakan bahwa dengan konsentrasi benzena sebesar 0.06 ppm dan 0.05 ppm dapat menimbulkan efek nonkarsinogenik dan karsinogenik baik pada paparan *realtime* maupun *lifetime* pada para pekerja *control room*, sehingga dibutuhkan pencegahan dengan menerapkan manajemen risiko seperti penambahan jumlah shift, mengisolasi *waste pit* dan memindahkan lokasi *control room*.

Kata Kunci : Analisis Besaran Risiko Kesehatan, Benzena, *Control room*



ABSTRACT

MUHAMMAD LAZUARDI FAIZ. Analysis of *Benzene* and *Particulate Matter* (PM₁₀) Exposure In A and B *Control Room* PT X. Supervised by AZHAM UMAR ABIDIN, S.KM., M.PH.dan FINA BINZIR MAZIYA, S.T.,M.T.

The A and B Control Room employees are among the population of workers who have a high risk of benzene exposure, especially through inhalation in a continuous exposure time, this is because the control room employees work in environments that are very close to the waste pit which is a source of benzene so they are very easy / vulnerable to exposure to benzene coupled with long hours of work and frequency of work. This study is to analyze the magnitude of the health risk of benzene exposure to all employees. The data of this study were obtained from the results of interviews, questionnaires, observations and see the results of environmental quality data owned by PT X. Data were analyzed using quantitative analysis methods which compared intake values obtained from workers with reference concentration values (RfC) that were safe for benzene exposure for non-carcinogenic effects and Cancer Slope Factor (CSF) for carcinogenic effects. The results showed the results of the concentration of risky agents can cause adverse health effects of non-carcinogenic A that is in the realtime exposure there are 6 people (50%) and lifetime exposure there are 12 people (100%). While the results of the calculation of the carcinogenic effect of A are on the realtime exposure of 6 people (50%) and on lifetime exposure there are 12 people (100%). While for the non-carcinogenic health effects of B namely in realtime exposure there are 6 people (60%) and lifetime exposure there are 10 people (100%) and for carcinogenic effects B is in realtime exposure for 6 people (60%) and in lifetime exposure there are 10 people (100%). In the calculation of cancer and non-cancer risk exposure in real time half the population is at risk of being affected and at the lifetime time the entire population is at risk of being exposed to the effects of cancer and non-cancer. From these results it can be stated that with a benzene concentration of 0.06 ppm and 0.05 ppm it can cause non-carcinogenic and carcinogenic effects both on real-time and lifetime exposures to control room workers, so prevention is needed by implementing risk management such as increasing the number of shifts, isolating waste pits and moving site control rooms.

Keywords: Analysis of the Amount of Health Risk, Benzene, Control room

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sumber Pajanan Benzena	7
2.2 Efek Benzena Terhadap Kesehatan	8
2.3 Ambang Batas Pajanan Benzena	10
2.4 Cara Pengukuran dan Monitoring Benzena di Lingkungan.....	10
2.5 Pengertian <i>Particulate Matter</i> (PM ₁₀)	11
2.6 Sumber <i>Particulate Matter</i> (PM ₁₀).....	12
2.7 Efek Paparan PM ₁₀	12
2.8 Cara Pengukuran PM ₁₀	13
2.9 Analisis Risiko dan Penilaian Risiko.....	13
2.10 Analisis Pemajanan.....	15
2.11 Analisis Dosis-Respon (<i>Dose-Response Assessment</i>)	16
2.12 Karakterisasi Risiko (<i>Risk Characterization</i>)	17
2.13 Manajemen Risiko (<i>Risk Management</i>).....	18
2.14 Komunikasi Risiko (<i>Risk Communication</i>).....	19
2.15 Jalur Pajanan	19
BAB III	21
METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Jenis dan Desain Penelitian	21
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.3 Populasi dan Sampel Penelitian	22

3.3.1	Populasi Penelitian.....	22
3.3.2	Sampel Penelitian	22
3.4.	Jenis Data Penelitian	22
3.5	Prosedur Analisis Data.....	23
3.6	Bahan dan Cara Kerja	23
3.6.1	Prosedur Pengambilan Sampel Benzene Menggunakan Karbon Aktif.....	23
3.6.2	Prosedur Pengambilan Sampel PM ₁₀ dengan Menggunakan EPAM 5000.....	24
3.6.3	Metode Analisis Benzena di Udara	24
3.6.4	Bahan dan Metode Analisis PM ₁₀ Dalam Sampel Udara.....	25
3.7	Pengolahan Data	25
3.8	Perhitungan Risiko Non-Karsinogenik	25
3.9	Perhitungan Risiko Karsinogenik	26
BAB IV	27
HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian	27
4.2	Pola Paparan	28
4.2.1	Konsentrasi Benzene.....	28
4.3	Hasil Kuisisioner	30
4.3.1	Waktu Paparan (t_E).....	30
4.3.2	Frekuensi Paparan (f_E).....	30
4.3.3	Durasi Paparan (D_t).....	30
4.3.4	Status Merokok Pekerja	32
4.4	Keluhan Kesehatan	33
4.5	Analisis Dosis Respon	35
4.5.1	Analisis Dosis-Respon Risiko Nonkanker Paparan Benzena.....	35
4.5.2	Analisis Dosis-Respon Risiko Kanker Paparan Benzena	36
4.5.3	<i>Inhalation Rate</i>	36
4.6	Analisis Pemajanan Benzene (<i>Exposure Assessment</i>)	37
4.6.1	Analisis Pemajanan Benzene.....	37
4.6.2	Karakteristik Risiko (<i>Risk Characterization</i>).....	41
4.7	Analisis Pemajanan PM ₁₀	46
4.7.1	Karakteristik Risiko (<i>Risk Characterization</i>).....	47
4.8	Estimasi Risiko Kesehatan Karyawan <i>control room</i> A dan B Dengan Menggunakan Data Rata-Rata Pekerja	50
4.8.1	Estimasi Risiko Kesehatan Paparan Benzene Pada Populasi Karyawan <i>Control Room A</i>	51
4.8.2	Estimasi Risiko Kesehatan Paparan Benzene Pada Populasi Karyawan <i>Control Room B</i>	52

4.8.3 Estimasi Risiko Kesehatan Paparan PM ₁₀ Pada Populasi Karyawan <i>Control Room B</i>	54
4.9 Manajemen Risiko	54
4.9.1 Manajemen Risiko kesehatan akibat benzene di <i>control room A</i>	55
4.9.2 Manajemen Risiko kesehatan akibat benzene di <i>control room B</i>	57
4.10 Pembahasan	60
4.11 Komunikasi Risiko	65
BAB 5	67
KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	77
RIWAYAT HIDUP	89





DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data sekunder Hasil benzena di udara <i>Control Room</i> A dan B Laporan <i>Industrial Hygiene</i> (IH) tahun 2018	29
Tabel 4.2 Data sekunder Hasil Konsentrasi PM ₁₀ di <i>Control Room</i> B Laporan <i>Industrial Hygiene</i> (IH) tahun 2018	29
Tabel 4.3 Distribusi Pola Paparan Benzena di udara <i>Control Room</i> A.....	31
Tabel 4.4 Distribusi Pola Paparan Benzena di udara <i>Control Room</i> B.....	31
Tabel 4.5 Distribusi Pola Paparan PM ₁₀ di udara <i>Control Room</i> B.....	32
Tabel 4.6 Distribusi status merokok pada karyawan <i>control room</i> A	32
Tabel 4.7 Distribusi status merokok pada karyawan <i>control room</i> B.....	33
Tabel 4.8 Data keluhan kesehatan terhadap paparan benzena pada karyawan <i>control room</i> A... 34	
Tabel 4.9 Data keluhan kesehatan terhadap paparan benzena pada karyawan <i>control room</i> B... 34	
Tabel 4.10 Distribusi <i>Inhalation Rate</i> (R) terhadap paparan benzena di <i>Control Room</i> A.....	37
Tabel 4.11 Distribusi <i>Inhalation Rate</i> (R) terhadap paparan benzena di <i>Control Room</i> B.....	37
Tabel 4.12 Nilai intake (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan paparan benzena <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> pada karyawan <i>control room</i> A dan B	39
Tabel 4.13 Distribusi nilai intake (asupan) efek karsinogenik berdasarkan paparan benzena <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> pada karyawan <i>control room</i> A dan B	41
Tabel 4.14 Distribusi nilai <i>Risk Quotient</i> (RQ) berdasarkan paparan benzena selama <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> di <i>control room</i> A dan B.....	43
Tabel 4.15 Persentase Nilai <i>Risk Quotient</i> paparan benzena selama <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> Karyawan <i>control room</i> A dan B	43
Tabel 4.16 Distribusi nilai <i>Excess Cancer Risk</i> (ECR) paparan benzena selama <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> berdasarkan perhitungan individu pada karyawan <i>control room</i> A dan B... 45	
Tabel 4.17 Persentase nilai <i>Excess Cancer Risk</i> (ECR) paparan benzena selama <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> berdasarkan perhitungan individu pada karyawan <i>control room</i> A dan B... 45	
Tabel 4.18 Nilai intake (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan paparan PM ₁₀ <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> pada karyawan <i>control room</i> B.....	47
Tabel 4.19 Distribusi nilai <i>Risk Quotient</i> (RQ) berdasarkan paparan PM ₁₀ selama <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> di <i>control room</i> B.....	49
Tabel 4.20 Persentase Nilai <i>Risk Quotient</i> paparan PM ₁₀ selama <i>realtime</i> dan <i>lifetime</i> Karyawan <i>control room</i> B	49
Tabel 4.21 Nilai Rata-rata Populasi	50
Tabel 4.22 Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek kanker terhadap paparan benzena yang aman pada populasi karyawan <i>Control Room</i> A.....	57
Tabel 4.23 Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek kanker terhadap paparan benzena yang aman pada populasi karyawan <i>Control Room</i> B.....	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Langkah-Langkah analisis resiko, manajemen resiko dan komunikasi resiko	14
Gambar 2.2 Skema Paparan dan Dosis (Pedoman ARKL, 2012).....	19
Gambar 3.1 Skema Penelitian	23
Gambar 4.1 Lokasi A.....	27
Gambar 5.2 Lokasi B	28
Gambar 6.3 Desain Penutup <i>Waste Pit</i>	65
Gambar 7.4 Half Mask.....	66



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Konsentrasi benzena di udara Control Room A dan B.....	77
Lampiran 2 Konsentrasi PM10 di Control Room B	77
Lampiran 3 Distribusi Pola Paparan Benzena di udara Control Room A	78
Lampiran 4 Distribusi Pola Paparan Benzena di udara Control Room B.....	78
Lampiran 5 Distribusi Pola Paparan PM10 di udara Control Room B	79
Lampiran 6 Distribusi status merokok pada karyawan control room A.....	79
Lampiran 7 Distribusi status merokok pada karyawan control room B.....	79
Lampiran 8 Data keluhan kesehatan terhadap paparan benzena pada karyawan control room A	80
Lampiran 9 Data keluhan kesehatan terhadap paparan benzena pada karyawan control room B.	80
Lampiran 10 Distribusi Inhalation Rate (R) terhadap paparan benzena di Control Room A	81
Lampiran 11 Distribusi Inhalation Rate (R) terhadap paparan benzena di Control Room B	81
Lampiran 12 Nilai intake (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan paparan benzena realtime dan lifetime pada karyawan control room A dan B	82
Lampiran 13 Distribusi nilai intake (asupan) efek karsinogenik berdasarkan paparan benzena realtime dan lifetime pada karyawan control room A dan B	82
Lampiran 14 Distribusi nilai Risk Quotient (RQ) berdasarkan paparan benzena selama realtime dan lifetime di control room A dan B.....	83
Lampiran 15 Persentase Nilai Risk Quotient paparan benzene selama realtime dan lifetime Karyawan control room A dan B	83
Lampiran 16 Distribusi nilai Excess Cancer Risk (ECR) paparan benzena selama realtime dan lifetime berdasarkan perhitungan individu pada karyawan control room A	84
Lampiran 17 Persentase nilai Excess Cancer Risk (ECR) paparan benzena selama realtime dan lifetime berdasarkan perhitungan individu pada karyawan control room A dan B ..	84
Lampiran 18 Nilai intake (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan paparan PM10 realtime dan lifetime pada karyawan control room B	85
Lampiran 19 Distribusi nilai Risk Quotient (RQ) berdasarkan paparan PM10 selama realtime dan lifetime di control room B	85
Lampiran 20 Persentase Nilai Risk Quotient paparan PM10 selama realtime dan lifetime Karyawan control room B	85
Lampiran 21 Nilai Rata-rata Populasi.....	86
Lampiran 22 Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek kanker terhadap paparan benzena yang aman pada populasi karyawan Control Room A.....	86
Lampiran 23 Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek kanker terhadap paparan benzena yang aman pada populasi karyawan Control Room B.....	86
Lampiran 24 Kondisi Control Room A.....	87
Lampiran 25 Kondisi Control Room B.....	88



DAFTAR SINGKATAN

t_E/t_E = Time Exposure/Waktu pajanan

f_E/f_E = Frequency Exposure/Frekuensi pajanan

D_t = Duration Time/Durasi Pajanan

W_b = Body Weight/Berat Badan

t_{avg} = Average Time/Waktu rata-rata

C = Concentration/konsentrasi

R_{fc} = Reference Concentration/Konsentrasi Referensi

R_{fd} = Reference Dose/Dosis Referensi

R = Inhalation Rate/Laju Inhalasi

RQ = Risk Quotient

ECR = Excess Cancer Risk

CSF = Cancer Slope Factor

NAB = Nilai Ambang Batas

I = Intake

I_{nk} = Intake Non Karsinogenik

I_k = Intake Karsinogenik

APD = Alat Pelindung Diri





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan Pertambangan Minyak dan Gas Bumi merupakan suatu perusahaan milik negara yang bergerak dalam bidang perminyakan. Produk yang dihasilkan oleh kilang ini antara lain paraxylene, LPG, rafinat, *heavy aromatic*. Beberapa senyawa kimia yang sering terdeteksi di kilang ini antara lain H₂S, NH₃, Metil Etil Keton (MEK), klorin, merkuri, dan Benzene, Toluene, dan Xylene (Indrawan, 2014).

BTX atau Benzene (C₆H₆), Toluene (C₇H₈), dan Xylene (C₈H₁₀) adalah senyawa aromatik hidrokarbon. Lebih dari 60% Non Metan VOC di wilayah perkotaan adalah BTX yaitu berasal dari gas buang kendaraan bermotor (Lee.S.C, 2002). BTX oleh US EPA, digolongkan sebagai *Hazardous Air Pollutants* (HAPs) karena bersifat toksik dapat menimbulkan dampak negatif pada kesehatan dan lingkungan. Benzene diklasifikasikan dalam group I oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC) karena telah terbukti bersifat karsinogenik. Benzene menyebabkan meningkatnya insidensi leukemia (Society, 2013).

Benzene, Toluene, dan Xylene (BTX) merupakan pelarut yang biasanya digunakan pada beberapa sistem dan mudah menguap (Haen dan Oginawati, 2012). Efek kesehatan akut yang umum terjadi akibat paparan BTX adalah terganggunya Sistem Syaraf Pusat (SSP). Gejala-gejala terganggunya sistem syaraf ini antara lain mual, muntah, pusing, dan sakit kepala. Paparan dengan konsentrasi yang cukup tinggi maka dapat timbul gejala seperti gemetar, lemas, gangguan pada tekanan darah, sakit kepala, pusing tiba-tiba, vertigo, muntah, dehidrasi hingga kematian. Paparan akut *benzene* juga dapat menyebabkan kanker pada sistem hematologi manusia. Efek kronis paparan BTX dapat merusak organ tertentu, misalnya sistem pernafasan, sistem syaraf, sistem reproduksi dan endokrin, organ ginjal, hati dan kulit (Smith, 2010).

Sejak penggunaan *benzene*, ditemukan juga dampak kesehatan akibat pemajanan dengan bahan kimia ini. *Benzene* apabila terinhalasi, dapat menyebabkan anemia aplastik dan leukemia. Hasil penelitian yang dilakukan di Eropa, Amerika, dan Meksiko telah menunjukkan adanya hubungan yang nyata antara peningkatan kadar *benzene* di udara dengan peningkatan kasus kanker dan leukemia penduduk setempat (Haryanto, 2006).

Sifat *benzene* yang mudah menguap dapat berbahaya bagi makhluk hidup di sekitarnya karena dapat terpajan dengan mudah. Hanya butuh waktu 2 hari setelah terpajan bagi *benzene* untuk keluar dari tubuh manusia melalui urin. Zat metabolit *benzene* yang ada di tubuh manusia dapat merusak DNA dan apabila waktu pajanan semakin lama maka akan berdampak besar bagi kesehatan manusia (Rajkokila, 2010).

Penelitian yang dilakukan dalam pengukuran kadar *benzene* di udara lingkungan kerja pada Unit Paraxylene. Penelitian tersebut menunjukkan dosis inhalasi yang ditemukan pada penelitian ini berkisar antara 0,006–0,986 ppm (rata-rata 0,460 ppm dengan standar deviasi sebesar 2,807 ppm). Berdasarkan REL (*Recommended Exposure Limit*) yang dikeluarkan oleh *National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH)*, untuk 8 jam kerja, yaitu sebesar 0,1 ppm, maka pekerja kilang paraxylene tersebut merupakan populasi yang beresiko akibat paparan *benzene* (Ramon, 2007).

Pada peraturan Menteri Ketenagakerjaan No.05 tahun 2018 disebutkan bahwa pelaksanaan syarat-syarat K3 lingkungan kerja dilakukan melalui kegiatan pengukuran dan pengendalian lingkungan kerja dan penerapan higiene dan sanitasi. NAB untuk *Benzene* sebagaimana peraturan adalah sebesar 0.5 ppm, *Toluene* 20 ppm dan *Xylene* sebesar 100 ppm.

Kondisi kadar *Benzene*, *Toluene* dan *Xylene* (BTX) di *control room A* pada tahun 2016 diuji pada tangki penampungan minyak A1 dengan kadar *Benzene* 29.444 ppm, *Toluene* 40 ppm dan *Xylene* 37 ppm. Pada tahun 2017 pengujian dilakukan pada tangki penampungan minyak dengan kadar *Benzene* 0.15 ppm, *Toluene* < 0.004 ppm dan *Xylene* 0.056 ppm. Pada tahun 2018 pengujian kadar *Benzene* dilakukan di *control room A* dan B dengan hasil *Benzene* 0.06 ppm dan 0.05 ppm.

Salah satu bahan pencemar yang termasuk dalam pencemar primer (*primary pollutant*) atau bahan pencemar yang berasal dari sumber pencemarnya langsung seperti emisi kendaraan bermotor adalah PM₁₀ (Wijayanti, 2010). Di samping mengganggu estetika, partikel berukuran kecil di udara dapat terhisap ke dalam sistem pernapasan dan menyebabkan penyakit gangguan pernapasan serta kerusakan paru-paru (Alves, *et al*, 2017). Ada tiga cara masuknya bahan polutan seperti PM₁₀ masuk ke dalam tubuh, pertama adalah melalui inhalasi yang dapat merusak gangguan pada paru-paru, dan saluran pernafasan, kedua adalah oral atau tertelan dari proses batuk akibat paru-paru yang tercemar PM₁₀, terakhir adalah dermal pori-pori kulit dapat menjadi jalur masuk PM₁₀ ke dalam tubuh. Efek kesehatan akibat *Particulate Matter* (PM₁₀) bisa berbeda-beda tergantung dari konsentrasi partikulat, jenis partikulat dan lama pajanannya (Agusnar, 2008).

Mengingat bahaya dari pajanan bahan kimia berbahaya perlunya mengkaji pajanan dengan menggunakan kerangka Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. Pada aplikasinya, ARKL dapat digunakan untuk memprediksi besarnya risiko dengan titik tolak dari kegiatan yang sudah berjalan, risiko saat ini dan memprakirakan besarnya risiko pajanan pada para pekerja di *control room* A dan B PT X. Penelitian ini menggunakan metode ARKL yang deskriptif dengan menggunakan data sekunder hasil monitoring pada perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Menganalisa efek pajanan senyawa Benzene dan PM₁₀ yang ada di *control room* A dan B PT X ?
2. Bagaimana Rekayasa Pengelolaan Lingkungan Kerja yang diterapkan pada *control room* A dan B PT X?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah;

1. Menganalisis paparan dari benzena dan PM_{10} di *control room* A dan B PT X
2. Melakukan rekayasa pengelolaan lingkungan Kerja di *control room* A dan B PT X

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mahasiswa
Meningkatkan keterampilan mahasiswa di lapangan, memperluas wawasan, dan menambah pengetahuan terutama tentang kualitas udara dan kesehatan pekerja di *control room* A dan B.
- b. Pihak Pengelola
Memberikan informasi kepada pihak terkait tentang kualitas udara dan kesehatan para pekerja sehingga mempermudah pengelolaan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Jenis Penelitian bertujuan untuk mengurangi resiko kesehatan para pekerja akibat paparan benzena dan PM_{10} di *Control Room* A dan B PT X
- Subjek yang dituju untuk penelitian ini adalah pekerja yang bekerja di *control room* A dan B PT X. Penelitian akan berlangsung dari bulan Februari-Maret 2020.
- Tempat berlangsungnya penelitian ini adalah *Control Room* A dan B PT X yang jaraknya berdekatan dengan *waste pit* sebagai sumber paparan benzena.
- Dalam penelitian ini data primer yang akan digunakan adalah data mengenai profil pekerja seperti umur, lama kerja dalam sehari, berapa hari kerja dalam 1 tahun dan sudah berapa lama mereka bekerja melalui kuisioner yang disebarkan ke setiap pekerja pada tahun 2020.

- Data sekundernya berupa hasil konsentrasi *benzene* dan PM_{10} yang ada di *control room* A dan B didapat dari laporan Higiene Industri tahun 2018 yang dimana PT X bekerja sama dengan pihak ke 3 yang sudah ahli dalam melakukan sampling untuk melakukan sampling konsentrasi *Benzene* dan PM_{10} .



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumber Paparan Benzene

Secara alamiah, BTX berasal dari minyak mentah. Misalnya *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 (IPCS, 1993). Selain itu sumber-sumber alami senyawa BTX antara lain adalah gas dari gunung berapi dan gas dari kebakaran hutan. Sumber utama BTX hasil aktifitas manusia adalah melalui emisi kendaraan bermotor, emisi knalpot pesawat, kegiatan pemasaran bensin, tumpahan minyak, asap rokok dan pelarut benzene. Pengukuran paparan benzene untuk suatu populasi cukup sulit untuk dikuantifikasikan karena gaya hidup tiap individu sangat bervariasi, kondisi cuaca lingkungan dapat juga mempengaruhi, dan lingkungan tempat tinggal yang beragam (Arnold, 2013). Menurut penelitian Chen & Chan (1999), terhadap beberapa sepatu di Cina mengungkapkan bahwa dari segi harga, pelarut dikenal paling bersaing dibandingkan pelarut non karena harganya 30 % lebih murah. Namun karena efek toksiknya yang tinggi, maka pelarut jenis ini sudah dilarang penggunaannya sejak lama. BTX dibuat dan digunakan dalam industri perminyakan selama pengolahan produk minyak olahan. Senyawa ini merupakan senyawa kimia yang paling banyak diproduksi, dengan produksi tahunan di seluruh dunia sekitar 8-10 juta ton *Benzene* (NTP, 2007).

Salah satu senyawa kimia yang dapat ditemukan dimana saja adalah benzene, ini dikarenakan benzene dapat berasal dari letusan gunung api, kebakaran hutan dan BBM. Untuk manusia paparan benzene ke dalam tubuh dapat ditemukan dimana-mana karena salah satu sumber paparan benzene adalah rokok, emisi kendaraan bermotor dan emisi industri. Di Amerika Serikat asap rokok menjadi penyumbang paparan benzene yang cukup besar yaitu sekitar setengah dari total dari paparan disebabkan oleh asap rokok. Rata-rata asupan benzene masuk dalam tubuh yang diserap oleh perokok (32

batang/hari) adalah sekitar 1.8 mg/hari. Jumlah ini lebih besar 10 kali lipat dibandingkan orang yang tidak merokok.

Pekerja pada industri yang membuat atau menggunakan benzene seperti petrokimia, penyulingan minyak bumi, tambang batubara, pabrik ban, penyimpanan dan distribusi benzene, penyimpanan dan distribusi BBM dapat terpajan dengan level tinggi. Pekerjaan lain yang memiliki potensi terpajan benzene adalah pekerja yang bekerja di tungku batubara pada industri baja, percetakan, pabrik sepatu, teknisi laboratorium, pemadam kebakaran, dan operator SPBU (ATSDR, 2007).

2.2 Efek Benzene Terhadap Kesehatan

Efek kesehatan *Benzene* didapat dari data kesehatan para pekerja yang terpapar benzene di lingkungan kerja. Paparan yang utama adalah melalui inhalasi (pernapasan), walaupun paparan secara dermal (kulit) juga dimungkinkan terjadi. Efek kesehatan disini terbagi menjadi beberapa paparan, tergantung pada durasi paparan. Paparan akut yaitu 14 hari atau kurang, paparan intermediet sekitar 15 - 364 hari, dan paparan kronis itu lebih dari 365 hari (ASTDR, 2007).

1. Efek dan Gejala Akut

Efek paparan akut terhadap benzene dengan kadar tinggi (terhadap syaraf, kulit, pernafasan, dan pencernaan) dapat terjadi langsung setelah paparan. Efek neurologikal karena sifat anestetis benzene yang langsung menyerang sistem syaraf pusat, didahului dengan perasaan melayang, depresi, dan apabila paparan benzene kadar tinggi terus terjadi, dapat menyebabkan kematian. Efek dermal, respirasi, dan gastrointestinal disebabkan oleh sifat iritatif benzene. Toksisitas benzene terhadap sistem syaraf pusat muncul setelah paparan benzene melalui inhalasi/ pernafasan dengan konsentrasi tinggi (3.000 ppm selama 5 menit) atau 30 hingga 60 menit melalui pencernaan. Efek paparan benzene konsentrasi sedang dapat menimbulkan sakit kepala, pusing, mual, semboyongan, dan mata perih/ terasa terbakar. Efek paparan yang terus berlanjut dapat menyebabkan tremor, sesak nafas, kebingungan, hilang kesadaran, koma, hingga kematian. Paparan akut uap benzene dapat mengiritasi membran mukosa pada saluran pernafasan. Dengan paparan sebesar 20.000 ppm selama 5 menit, terdapat akumulasi cairan di paru-paru sehingga susah dan sesak untuk bernafas, efek yang

terjadi ketika menghirup uap benzena yang terus menerus atau tertelan cairan benzena akan menyebabkan radang paru-paru. Efek pajanan akut benzena (lebih dari 1.000 ppm) juga berbahaya terhadap sistem *cardiovascular* tubuh (jantung). Selain itu, apabila terjadi pajanan berulang terhadap kulit benzene dapat menyebabkan iritasi kulit karena benzene merupakan pelarut lemak yang dapat merusak kulit. Bila terhirup efek yang terjadi adalah terjadinya iritasi di lambung yang akan mengakibatkan mual, muntah dan diare. Sedangkan bila tertelan efek yang diakibatkan adalah batuk, suara serak, dan rasa terbakar pada mulut, faring, dan kerongkongan dan efek selanjutnya adalah terjadinya sakit perut, mual dan muntah (ATSDR, 2007).

2. Efek dan Gejala Kronis

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

a. Haematoksisitas dan depresi sumsum tulang

Terdapat beberapa jenis kerusakan darah akibat pajanan benzena, yaitu *pancytopenia*, anemia aplastik, *thrombocytopenia*, *granulocytopenia* dan *lymphositopenia*. Hal ini karena organ target benzena adalah sumsum tulang tempat pembentukan sel darah. Kerusakan pada sel darah ini dilaporkan beberapa tahun yang lalu ketika benzena dipakai sebagai pelarut pada berbagai tempat kerja. Meningkatnya frekuensi kejadian anemia pada pekerja industri sepatu, percetakan, dan pekerja di pengolahan karet yang terpajan benzena kadar tinggi (ratusan mg/m^3 udara) dalam waktu lama. Dari penelitian yang lain didapatkan bahwa pajanan benzena dengan kadar sedang (kurang lebih $120 \text{ mg}/\text{m}^3$) mempunyai jumlah sel darah putih dan merah yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pekerja yang terpajan benzena lebih rendah. Pada studi terhadap sekelompok pekerja yang terpajan benzena dengan kadar $0.03 - 4.5 \text{ mg}/\text{m}^3$, didapatkan tidak terdapat perbedaan haematologikal dengan pekerja yang tidak terpajan, hal ini sesuai dengan literatur dari *World Health Organization* (WHO, 2002), menyatakan bahwa benzena tidak memiliki efek pada sumsum tulang atau terjadinya anemia pada pekerja yang terpajan benzene selama $3.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ (1 ppm) atau kurang

dari itu selama 10 tahun.

b. Efek Karsinogenik

Terdapat beberapa studi epidemiologi dan klinis yang membuktikan bahwa pajanan benzena dalam jangka panjang menyebabkan leukimia, sehingga diklasifikasikan sebagai zat yang karsinogenik pada manusia oleh *International Agency for Research on Cancer* (WHO, 2000).

Studi yang dilakukan oleh Aksoy dan Erdem (1978) dalam Choi (2018), telah melakukan penelitian dengan menggunakan 44 pasien dengan pansitopenia akibat pajanan benzena *adhesive* (bahan perekat) dengan tingkat pajanan sebesar 480-2100 mg/m³ (150-650 ppm), penelitian yang berlangsung selama 15 tahun membuktikan bahwa ada 6 dari 44 pasien tersebut terdiagnosis leukemia *myeloid metaplasia*. Namun, salah satu studi yang dilakukan oleh Tsai (1983) dalam Dimitriou (2019), mereka menunjukkan pada penelitiannya di tahun 1952 dan 1981 bahwa pajanan benzene pada pekerja di kilang minyak di Amerika Serikat tidak menunjukkan adanya kematian akibat leukemia dari jumlah pekerja sebanyak 452 orang.

2.3 Ambang Batas Pajanan Benzena

Indonesia memiliki Nilai Ambang Batas (NAB) terhadap faktor fisika dan kimia di tempat kerja. Pada Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan Kerja di Lingkungan Kerja menetapkan benzene dimasukkan dalam kelompok A1 atau zat kimia yang terbukti memiliki efek kesehatan karsinogen bagi manusia dengan nilai ambang batas (NAB) 0.5 ppm untuk paparan 8 jam. Sedangkan untuk paparan singkat selama 15 menit sebesar 2.5 ppm.

2.4 Cara Pengukuran dan Monitoring Benzena di Lingkungan

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) merekomendasikan metode pengukuran benzene yang terdapat di lingkungan maupun benzene yang masuk ke dalam tubuh dengan pengukuran pajanan benzena di udara tempat kerja dengan menggunakan tabung sorbent arang aktif (*Charcoal Tube*), dilakukan desorpsi dengan karbon disulfide (CS₂), kemudian dianalisa dengan gas kromatografi menggunakan detektor ionisasi sinar, *Flame Ionization Detector* (FID). Sedangkan NIOSH 1501 merekomendasikan

pengumpulan melalui kantung udara, kemudian analisis dengan kromatografi gas portable menggunakan detektor fotoionisasi.

Perbedaan antara teknik GC/FID dan GC/MS adalah berada pada batas deteksi, untuk GC/FID batas deteksinya tergolong rendah dimulai dari konsentrasi rendah PPB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sampai konsentrasi rendah PPT ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), lalu untuk GC/MS batas deteksi konsentrasinya rendah dalam satuan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). GC/FID dan GC/PID memiliki sensitivitas lebih besar dari GC/MS, akan tetapi teknik GC/MS sudah dianggap lebih handal dalam melakukan pengukuran benzena pada sampel yang mengandung komponen yang memiliki karakteristik yang serupa. Telah dikembangkan sebuah mesin bernama *Atomic Line Molecular Spectrometry* (ALMS) yang dapat memantau benzena dan senyawa organik lainnya di udara ambien dengan batas deteksi $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (250 ppb).

Pada tempat kerja kadar benzene dapat diukur dengan sebuah instrument portable yang dapat langsung dibaca. Alat tersebut dinamakan *Real-time Continuous Monitoring Systems dan Passive Dosimeters* yang memiliki kepekaan jangkauan dalam ppm (mg/m^3). Di Amerika Serikat, prosedur penggunaan *Charcoal* yang diikuti dengan analisis GC/MS adalah prosedur yang sensitif yang menjadi pilihan untuk pengukuran benzena di udara (IPCS EHC 150, 1993).

2.5 Pengertian *Particulate Matter* (PM_{10})

Particulate Matter $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) merupakan partikulat padat dan cair yang berada di udara dengan ukuran berdiameter aerodinamik 10 mikron. *Particulate Matter* (PM_{10}) memiliki beberapa nama lain yaitu *Particulate Matter* $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) sebagai *inhalable particles*, *respirable particulate*, *respirable dust* dan *inhalable dust*. *Particulate Matter* (PM_{10}) merupakan kelompok yang dapat dihirup (*inhalation*), karena ukuran PM_{10} lebih spesifik adalah partikulat yang respirable serta dapat menjadi prediktor kesehatan yang baik (Koren, 2003). Pada tahun 1987 Sistem Pemantauan Lingkungan Global yang disponsori oleh PBB memperkirakan 70 % penduduk kota di dunia hidup dengan partikulat di udara yang melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh WHO. Partikulat sebagian berasal dari cerobong pabrik sebagai asap hitam tebal, akan tetapi yang paling berbahaya adalah partikel halus yang dapat menebus bagian paling dalam dari paru-paru. Sebagian besar partikulat

halus terbentuk dari polutan lain yang diantaranya sulfur dioksida dan oksida nitrogen serta secara kimiawi dapat berubah menjadi zat nitrat dan sulfat.

2.6 Sumber *Particulate Matter* (PM₁₀)

Secara alami *Particulate Matter* (PM₁₀) dapat berasal dari berbagai hal seperti ragi, jamur, tanah, bakteri, virus, partikulat garam, serbuk sari dan evaporasi air laut. Sementara dari kegiatan manusia PM₁₀ dapat berasal dari penggunaan kendaraan bermotor, proses industri dan tenaga listrik. *Particulate Matter* (PM₁₀) dapat dihasilkan dari emisi mesin diesel, industri pertanian, aktifitas di jalan, serta reaksi fotokimia yang melibatkan polutan. Sumber partikulat yang sesuai dengan ukuran diameter adalah sebagai berikut (US-EPA, 2004):

- a) Partikulat yang sangat halus berdiameter $\leq 0.1 \mu\text{m}$ berasal dari pembakaran hasil transformasi SO₂ dan campuran organik di atmosfer serta hasil proses kimia pada temperatur tinggi.
- b) Partikulat mode akumulasi yang berdiameter 0.1 μm sampai 3 μm berasal dari hasil pembakaran minyak, bensin, solar dan kayu bakar, batubara, hasil transformasi NO_x, SO₂ dan campuran organik, serta hasil proses peleburan logam dan juga pabrik baja dengan temperatur tinggi.
- c) Partikulat kasar dengan diameter $> 3 \mu\text{m}$ berasal dari resuspensi partikulat industri, tanah di atas jalan raya, suspensi dari kegiatan yang mempengaruhi tanah seperti pertanian, pertambangan dan jalan tak beraspal, lalu kegiatan konstruksi dan yang terakhir pembakaran minyak dan batubara yang tidak terkontrol.

2.7 Efek Paparan PM₁₀

Efek kesehatan akibat *Particulate Matter* (PM₁₀) bisa berbeda-beda tergantung dari konsentrasi partikulat, jenis partikulat dan lama pajanannya (Agusnar, 2008). *Particulate Matter* 10 (PM₁₀) adalah partikel kecil yang umumnya berdiameter $\leq 10 \mu\text{m}$. Partikel-partikel ini dapat dihirup dan menyebabkan gangguan sistem pernapasan, seperti sesak napas, kanker paru-paru dan bahkan kematian (Lestari, 2019).

2.8 Cara Pengukuran PM₁₀

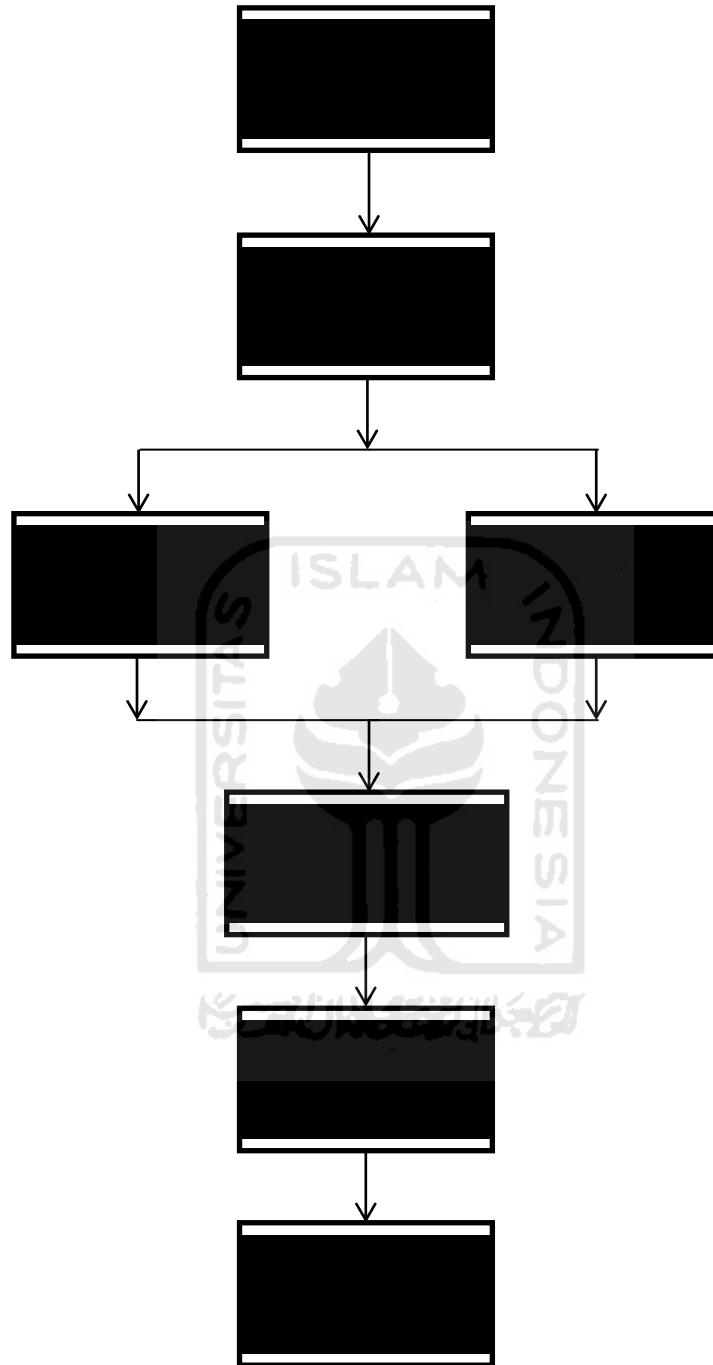
Haz Dust EPAM 5000 adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel debu di udara ambien secara *direct/langsung*. Alat ini menampilkan secara langsung hasil pengukuran secara *realtime* ukuran partikel yang dapat diukur mulai dari <10 mm (PM₁₀), <2,5 mm (PM_{2,5}), 1 mm (PM₁) dan *Total Suspended Particle* (TSP). Partikel debu dengan ukuran <10 mm akan tertahan di saluran pernapasan atas, partikel debu dengan ukuran <2,5 akan tertahan di saluran pernapasan tengah, dan partikel debu <1 mm akan tertahan pada saluran bawah/alveoli. Alat ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi partikulat debu, PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ dan TSP di udara.

2.9 Analisis Risiko dan Penilaian Risiko

Dikutip dari IPCS (2004), Menyatakan bahwa suatu dampak merugikan kesehatan pada suatu organisme, sistem, atau (sub)populasi yang disebabkan oleh pajanan suatu agen dalam jumlah dan dengan jalur pajanan tertentu disebut sebagai risiko. Terdapat sebuah argument lain yang menyebutkan bahwa risiko K3 adalah kombinasi dan kemungkinan terjadinya kejadian berbahaya atau paparan dengan keparahan dari cedera atau gangguan kesehatan yang disebabkan oleh kejadian atau paparan tersebut. Sedangkan manajemen risiko adalah suatu proses usaha untuk mengelola/mengendalikan risiko yang ada dalam setiap kegiatan kerja (OHSAS 18001, 2007 dalam Ramli, 2010).

Dalam membuat manajemen resiko hal yang harus dilakukan adalah membuat sebuah analisis resiko. Analisis resiko adalah proses untuk mengendalikan situasi dimana objek penelitian dapat terkena bahaya. Terdapat 3 komponen dalam analisis resiko, yaitu pertama adalah penilaian risiko, kedua adalah manajemen risiko, dan terakhir adalah komunikasi risiko (IPCS, 2004). Suatu proses memperkirakan masalah kesehatan yang akan terjadi dan besarnya akibat yang diakibatkannya kelak disebut sebagai Analisis risiko kesehatan (*health risk assessment*). pada Gambar 2.1 merupakan gambaran proses analisis risiko yang terdiri atas empat tahap, pertama identifikasi bahaya (*hazard potential identification*), kedua analisis dosis-respon (*dose-response assessment*), ketiga analisis pemajanan (*exposure assessment*), dan terakhir karakterisasi risiko (*risk characterization*), yang kemudian dilanjutkan dengan

manajemen risiko dan komunikasi risiko (US-EPA/NRC, 1983 dalam Louvar dan Louvar, 1998).



Gambar 2.1 Langkah-Langkah analisis risiko, manajemen risiko dan komunikasi risiko

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

1. Evaluasi di atas meja (*Desktop Evaluation*), selanjutnya disebut ARKL Meja
2. Kajian lingkungan, selanjutnya Disebut ARKL lengkap

ARKL Meja dilakukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan masyarakat yang dapat menyebabkan kepanikan meluas tanpa perlu melakukan pengumpulan data dan informasi baru di lapangan. Berbanding terbalik dengan ARKL Meja, pada ARKL Lengkap dapat dilakukan tanpa adanya tuntutan mendesak namun perlu dilakukan sebagai tindakan proaktif untuk melindungi dan meningkatkan kesehatan masyarakat (Rahman, 2007).

2.10 Analisis Pemajanan

Analisis pemajanan (*Exposure assessment*) merupakan evaluasi pemajanan dari sebuah organisme, sistem, atau sub(populasi) terhadap agent (IPCS, 2004). Dalam analisis ini dilakukan identifikasi tentang dosis atau jumlah *risk agent* yang diterima seseorang (*intake/asupan*) yang masuk melalui inhalasi (saluran pernafasan). *Intake* (asupan) adalah jumlah asupan yang diterima individu per berat badan per hari (Louvar dan Louvar, 1998). Menurut Rahman (2007) Data intake ini didapatkan dengan menggunakan persamaan Louvar dan Louvar sebagai berikut:

$$I = \frac{Gv V r r Iv d vI H r}{[\ ` vr _ t e]} \quad (\text{persamaan 1})$$

Dengan:

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

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

R : laju (rate) asupan (m³/jam)

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

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

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

W_b : berat badan (kg)

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

Nilai t_E , f_E , dan D_t didapat dari penelitian langsung yang dilakukan menggunakan kuisioner untuk D_t saat waktu pajanan *realtime* menggunakan data asli berapa lama pekerja tersebut sudah bekerja dilokasi tersebut, sedangkan saat waktu pajanaan *Lifetime* digunakanlah angka 40 tahun yaitu rata-rata pekerja mulai bekerja sampai pekerja tersebut pensiun. Nilai R adalah nilai laju inhalasi (*Inhalation Rate*), berdasarkan US-EPA (1990) dalam Abrianto (2004), nilai R default untuk laju inhalasi orang dengan berat badan 70 kg adalah sebesar $20 \text{ m}^3/\text{hari}$. Akan tetapi karena antropometri masyarakat Indonesia berbeda, maka laju inhalasi dihitung dengan rumus yang telah dihimpun dari berbagai nilai default sehingga didapatkan kurva logaritmik berat badan terhadap laju inhalasi normal yang menghasilkan persamaan $y = 5.3 \ln(x) - 6.9$ dimana $y = R$ (m^3/hari) dan $x = W_b$ (kg), maka dengan hasil ini laju inhalasi dapat sesuai dengan karakteristik antropometri masyarakat Indonesia.

2.11 Analisis Dosis-Respon (*Dose-Response Assessment*)

Dosis dapat dinyatakan sebagai sebuah pajanan yang dapat menyerang/mengarah pada organ sarasannya yang berupa bahan fisika, kimia dan biologis. Dosis dapat dinyatakan sebagai unit berat atau volume per unit luas permukaan tubuh. Sebagai contoh: mg/kgBB , ml/kgBB , atau mg/m^2 , ppm atau ppb (Kurniawidjaja, 2010). Nilai kuantitatif toksisitas *risk agent* untuk setiap bentuk spesi kimia sudah ditentukan untuk melakukan analisis dosis-respon (*dose-response assessment*). Toksisitas dinyatakan sebagai dosis referensi (*Reference dose*, Rfd) dan konsentrasi referensi (*Reference concentration*, Rfc) untuk menyatakan efek-efek nonkarsinogenik dan untuk menentukan efek-efek karsinogenik digunakan *Cancer Slope Factor (CSF)* atau *Cancer Unit Risk* (Rahman, 2007). RfD atau RfC adalah toksisitas kuantitatif

nonkarsinogenik, digunakan untuk mengestimasi dosis pajanan harian yang diperkirakan tidak akan menimbulkan efek kesehatan meskipun objek terpapar secara terus menerus dalam waktu yang lama (IPCS, 2004). Dosis referensi dibedakan menjadi 2 yaitu pertama secara oral (tertelan) untuk makanan dan minuman disebut *reference dose (Rfd)* dan yang kedua secara inhalasi (terhirup) yang dinyatakan sebagai *reference concentration (Rfc)*. Dalam analisis dosis-respon, dosis dinyatakan sebagai *risk agent* yang terhirup (*inhaled*), tertelan (*ingested*) atau terserap melalui kulit (*absorbed*) per kg berat badan per hari (mg/kg/hari) untuk nilai Rfd dan Rfc dari bahan kimia berbahaya bisa didapatkan dari *Integrated Risk Information System United States Environment Protection Agency* (Rahman, 2007).

2.12 Karakterisasi Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko kesehatan digunakan untuk membedakan efek dari paparan karsinogenik dan non karsinogenik. Efek kesehatan Non karsinogenik dinyatakan sebagai *Risk Quotient (RQ)* dan *Excess Cancer Risk (ECR)* untuk efek kesehatan karsinogenik (EPA, 2005). *RQ* dihitung dengan membagi asupan nonkarsinogenik (I_{nk}) *risk agent* dengan RfD atau RfC-nya menurut persamaan:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC} \quad (\text{Persamaan 2})$$

Dengan:

RQ : *Risk Quotient*(Tingkat resiko)

I_{nk} : Intake nonkarsinogenik(m³/kg/hari)

RfD/RfC: *reference dose / reference Concentration*(m³/kg/hari)

Jika nilai $RQ \leq 1$ ini mengindikasikan tidak terjadi risiko efek kesehatan non karsinogenik. Sedangkan jika $RQ > 1$ mengindikasikan adanya kemungkinan terjadinya risiko efek kesehatan non karsinogenik, maka perlu dilakukan pengendalian risiko (Rahman, 2007).

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

Dengan:

ECR : *Excess Cancer Risk* (Risiko Kanker)

I_{kanker} : Intake karsinogenik

CSF : *Cancer Slope Factor*

Jika nilai $ECR \leq 10^{-4}$ ini mengindikasikan tidak adanya kemungkinan terjadinya risiko efek kesehatan karsinogenik yang merugikan, namun perlu dipertahankan agar nilai numerik ECR tidak melebihi 10^{-4} . Sedangkan jika nilai $ECR > 10^{-4}$ menunjukkan indikasi adanya kemungkinan terjadinya risiko efek kesehatan karsinogenik yang merugikan dan perlu adanya upaya pengendalian. CSF didapat dari IRIS US-EPA yaitu sebesar 0.00273 mg/kg/hari

2.13 Manajemen Risiko (*Risk Management*)

Manajemen risiko adalah upaya untuk membuat suatu solusi untuk mengurangi dampak resiko dari suatu paparan yang berbahaya bagi kesehatan pekerja dengan mengurangi nilai faktor pemajanan sehingga nilainya lebih kecil atau setidaknya sama dengan dosis referensi toksisitas bahan tersebut, terdapat 2 cara untuk menyamakan jumlah asupan (*intake*) dengan R_{fc} , pertama dengan menurunkan konsentrasi *risk agent* dan yang kedua yaitu dengan mengurangi waktu paparan (Rahman, 2007). Hasil karakterisasi risiko perlu ditindak lanjuti dengan kegiatan sebagai berikut:

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

Pernyataan kuantitatif dari risiko juga perlu dirumuskan secara kualitatif, antara lain penjelasan mengenai bukti bahwa *Risk Agent* yang dikaji aman

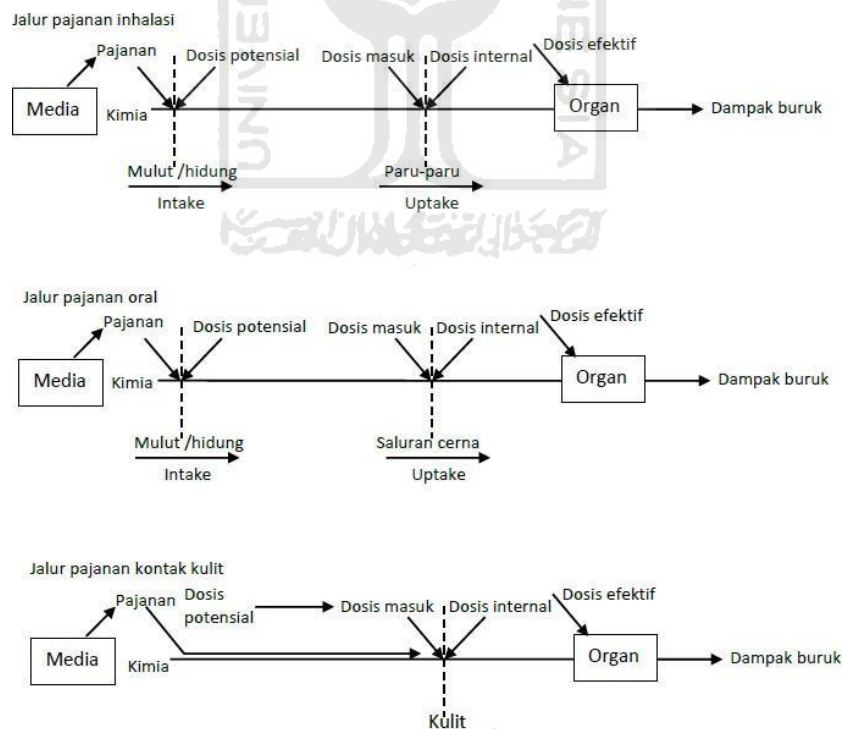
digunakan dalam kondisi-kondisi tertentu, saran-saran untuk menghindari, meminimalisasi atau mengurangi dan menghindari pemaparan.

2.14 Komunikasi Risiko (*Risk Communication*)

Hasil manajemen risiko harus dikomunikasikan kepada manajemen dan seluruh pekerja demi membuat area kerja yang aman dan sehat. Salah satu jenis komunikasi yang dapat digunakan adalah dengan menunjukkan praktek secara langsung, pembuatan buku panduan, pedoman dan edaran, terakhir dapat melakukan forum komunikasi dengan pekerja (Ramli, 2010).

2.15 Jalur Paparan

Dampak buruk terhadap kesehatan yang ditimbulkan oleh agen risiko terjadi karena adanya paparan dengan dosis dan waktu yang cukup. Suatu organisme, sistem, sub/populasi terpapar agen risiko di lingkungan melalui beberapa jalur paparan. Dampak buruk yang timbul akibat paparan *risk agent* kimia di lingkungan diilustrasikan melalui gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Skema Paparan dan Dosis (Pedoman ARKL, 2012)

Diketahui ada tiga pintu masuk (*portal of entry*) bahan kimia berbahaya terutama Benzena 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. Bahan toksik akan masuk ke dalam lambung lalu menuju hati untuk dimetabolisme kemudian dieksresikan lewat urin. Paparan inhalasi sering terjadi karena mudah menguap dan uapnya diadsorpsi di paru-paru. Paparan ini menimbulkan iritasi pada saluran pernapasan. Adsorpsi pada dermal atau kulit juga bisa terjadi, dan dapat melarutkan lemak di kulit tetapi kuantitasnya tidak sebanyak inhalasi (Jacobson dan McLean, 2003).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Desain Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan merupakan penelitian deskriptif dengan menggunakan metode analisis kuantitatif. Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengumpulan data sekunder terkait dengan proses kerja yang meliputi bahan kimia yang terdapat di area kerja, *Material safety data sheet* (MSDS) bahan tersebut, dan jumlah pekerja yang terlibat dalam pekerjaan ini. Kemudian penulis melakukan pengumpulan data primer terkait dengan lama waktu kerja dalam 1 hari, 1 minggu, dan 1 tahun serta berat badan lalu gejala apa yang pernah dirasakan selama bekerja dan APD apa yang digunakan selama bekerja, frekuensi pajanan, waktu pajanan, durasi pajanan karyawan terhadap benzena dan PM₁₀ dengan bantuan kuisioner.

Desain studi akan menggunakan metode analisis risiko yang diambil dari 3 langkah sebagai berikut: pertama adalah analisis risiko yang terdiri dari identifikasi bahaya, analisi pemajanan, analisis dosis-respon dan karakteristik resiko, kedua adalah manajemen risiko, dan terakhir adalah komunikasi risiko yang dilakukan untuk menilai dan memprediksi apa yang akan terjadi akibat adanya pajanan zat berbahaya yang dapat membahayakan pekerja, dalam hal ini adalah benzene dan PM₁₀ (US- EPA/NRC, 1983 dalam Louvar dan Louvar, 1998).

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Lingkungan kerja tepatnya *control room* A dan B PT X . Waktu penelitian untuk mendapat data primer dilakukan pada bulan Februari sampai dengan Maret 2020.

3.3 Populasi dan Sampel Penelitian

3.3.1 Populasi Penelitian

Populasi yang dituju adalah pekerja yang bekerja hingga saat penelitian dilaksanakan. Jumlah populasi pekerja yang bekerja di *Control Room* A dan B yaitu berjumlah sekitar 22 orang yang dimana mereka memiliki waktu kontak paling lama berkisar selama ± 12 jam.

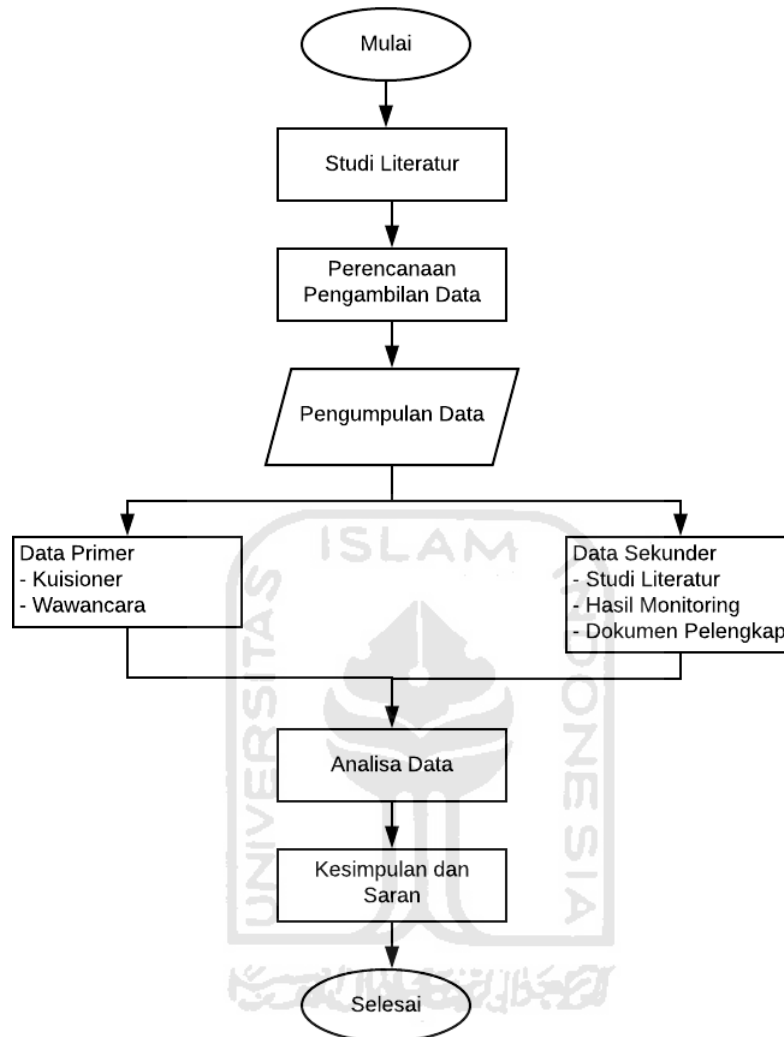
3.3.2 Sampel Penelitian

Sampel pada penelitian kali ini adalah para pekerja yang memiliki populasi diketahui sebanyak 22 orang. Sampel adalah seluruh karyawan yang bekerja di *Control Room* A dan B. Cara pengambilan sampel yaitu total populasi pekerja disana diberi sebuah kuisisioner sebagai data primer untuk diisi dan data sekunder berupa hasil konsentrasi Benzena dan PM_{10} di *control room* A dan B.

3.4. Jenis Data Penelitian

Dalam penelitian ini penulis akan menggunakan 2 data yaitu data primer yang berupa kuisisioner dan data sekunder berupa hasil konsentarsi Benzene dan PM_{10} . Data primer berupa kuisisioner difungsikan untuk mendapatkan data profil pekerja seperti waktu pajanan, frekuensi pajanan, berat badan, umur dan kebiasaan merokok. Selanjutnya, Data sekunder pada penelitian ini berupa hasil konsentrasi *benzene* dan PM_{10} yang berasal dari laporan higine industri PT X tahun 2018 dengan bantuan / kerja sama dari pihak ke 3 sebagai badan yang melaksanakan uji / sampling konsentarsi *benzene* dan PM_{10} .

3.5 Prosedur Analisis Data



Gambar 3.1 Skema Penelitian

3.6 Bahan dan Cara Kerja

3.6.1 Prosedur Pengambilan Sampel Benzene Menggunakan Karbon Aktif

Menggunakan karbon aktif yang berada dalam tabung kaca. Karbon aktif ini dipasang pada alat *air sampler* dan diletakkan di area *control room* A dan B dan diletakkan sejajar dengan zona pernapasan karyawan. Kecepatan alir pompa vakum diatur menjadi 0.2 ml/menit, sampling dilakukan selama 30 menit, lalu *Charcoal tube* yang telah terisi kemudian ditutup dengan penutupnya dan diawetkan dalam *cool box* sehingga

diperoleh volume sampling yang sesuai dengan metode *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH 1501). Karbon aktif (*charcoal*) yang telah mengandung senyawa *Benzene* ini kemudian dipecahkan dan dilarutkan dengan larutan *Carbon Disulfide* (CS_2) untuk mengekstrak benzena yang terkandung di dalamnya. Setelah itu, dilakukan analisis konsentrasi *Benzene* dengan menggunakan alat GC/FID di laboratorium.

3.6.2 Prosedur Pengambilan Sampel PM_{10} dengan Menggunakan EPAM 5000

Persiapkan alat pengukuran (EPAM 5000) dan impactor sesuai dengan ukuran yang dikehendaki (PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} dan TSP) lalu tentukan titik sampel dalam penentuan titik lokasi pengambilan contoh uji, yang perlu diperhatikan adalah bahwa data yang diperoleh harus dapat mewakili daerah yang sedang dipantau sebagai contoh adalah *control room* yang telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. perhatikan: Faktor Omestic gy (arah kecepatan angin, temperature, kelembaban dan juga Faktor Geografi seperti topografi Tata guna lahan. Setting Alat lalu Pilih *Special Function* \pm system options $e\pm$ xtended options- size select – 2,5 mm (untuk indoor) Pilih *Special Function* $s\pm$ ystem options- Sample Rate – 1 menit. Lalu tekan *Run* setelah itu Alat akan melakukan *Scannning memory*, dan setelah tertera tag yang dituju, cari minimum, maksimum dan *Time Weighted Average* (TWA). Catat hasil yang tertera di display monitor.

3.6.3 Metode Analisis Benzene di Udara

Pada Tahun 2018 PT X melakukan uji kadar benzene di udara pada *control room* A dan B. Digunakan metode dari NIOSH 1501 untuk melakukan pengukuran benzene di udara. Pengambilan sampel di udara dilakukan dengan bahan pengabsorb karbon aktif (*coconut shell charcoal*). Sampel yang didapat lalu disimpan pada tempat yang memiliki suhu 4^0C dan dapat tahan selama 3 hari. Kondisi kromatografi gas untuk pengukuran Benzene adalah sebagai berikut:

Alat	: Gas Chromatography Flame Ionization Detector (GC/FID)
Analit	: <i>Benzene</i>

Desorpsi	: 2 mL
Volume Injeksi	: 1 μ L
Suhu Injeksi	: 250 $^{\circ}$ C
Suhu Detektor	: 300 $^{\circ}$ C
Suhu Kolom	: 40 $^{\circ}$ C (10 menit) – 230 $^{\circ}$ C (kenaikan 10 $^{\circ}$ C/menit)
Gas Pembawa	: Helium UHP dengan kecepatan 1 mL/min
Kolom Kromatografi	: DB Petro (100 m x 0,25 mm x 0,5 μ m)

3.6.4 Bahan dan Metode Analisis PM₁₀ Dalam Sampel Udara

Haz Dust EPAM 5000 adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel debu di udara ambien secara *direct/langsung*. Alat ini menampilkan secara langsung hasil pengukuran secara *realtime* ukuran partikel yang dapat diukur mulai dari <10 μ m (PM₁₀), <2,5 μ m (PM_{2,5}), 1 μ m (PM₁) dan *Total Suspended Particle* (TSP). Partikel debu dengan ukuran <10 μ m akan tertahan di saluran pernapasan atas, partikel debu dengan ukuran <2,5 μ m akan tertahan di saluran pernapasan tengah, dan partikel debu <1 μ m akan tertahan pada saluran bawah/alveoli. Alat ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi partikulat debu, PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ dan TSP di udara.

3.7 Pengolahan Data

Pengolahan data yang akan dilakukan yakni dengan membandingkan hasil penelitian (nilai *intake*) yang telah didapat dari pekerja dengan nilai konsentrasi referensi (*RfC*) yang aman bagi pajanan untuk efek nonkarsinogenik serta *Cancer Slope Factor* (*CSF*) untuk efek karsinogenik. Namun, pengolahan data ini berasal dari dua sumber yakni data primer dan data sekunder. Sehingga, pengolahan data dapat memberikan hasil yang signifikan. Lalu melakukan rekayasa untuk mengurangi pajanan dan konsentrasi Benzena dan PM₁₀ di lokasi.

3.8 Perhitungan Risiko Non-Karsinogenik

Resiko nonkanker dapat dihitung dengan mengetahui jumlah asupan (*intake*) dari *risk agent* tersebut dengan menggunakan rumus yang ada pada persamaan 1, sehingga diketahui seberapa besar resiko yang dapat terjadi bagi para pekerja (ATSDR, 2005; Louvar dan Louvar, 1998).

Setelah intake diketahui selanjutnya adalah mengetahui nilai tingkat risiko kesehatan (*Risk Quotient/RQ*) pada para pekerja, maka dilakukan perhitungan *RQ* dengan menggunakan rumus persamaan 2. Nilai $RQ > 1$ menunjukkan bahwa *risk agent* telah di atas angka normal, sehingga dapat menimbulkan risiko kesehatan Nonkarsinogenik pada para pekerja. Nilai $RQ \leq 1$ menunjukkan bahwa pajanan *risk agent* berada di bawah batas yang diperbolehkan sehingga karyawan yang terpajan masih terhitung aman dari risiko kesehatan Nonkarsinogenik terlepas dari pekerja memiliki penyakit keturunan atau tidak.

3.9 Perhitungan Risiko Karsinogenik

Risiko karsinogenik dihitung berdasarkan jumlah asupan *risk agent* sepanjang hayat sehingga dapat diketahui berapa besar risiko dampak yang ditimbulkannya terhadap karyawan. Data dan informasi yang dibutuhkan untuk menghitung asupan benzena dalam tubuh karyawan adalah semua variabel dalam formula persamaan 1 (Louvar dan Louvar, 1998).

Untuk menentukan risiko karsinogenik, maka dibutuhkan nilai intake karsinogenik dan nilai *Cancer Slope Factor (CSF)*. Pada IRIS US-EPA menyatakan nilai *inhalation CSF* dari benzene adalah sebesar 0.0273 mg/kg/hari untuk. Setelah nilai intake didapat maka digunakan persamaan 3 untuk menghitung nilai risiko karsinogenik tersebut.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Sumber *benzene* di *control room* berasal dari *Waste Pit* yang merupakan kolam minyak terbuka, sehingga dengan bantuan sinar matahari akan terjadi penguapan dan menghasilkan bau *benzene* yang menyengat yang dapat terbawa oleh angin. Untuk PM_{10} berasal dari kendaraan bermotor, hasil pembakaran dan tenaga listrik. *Particulate Matter* (PM_{10}) secara langsung dihasilkan dari emisi mesin diesel yang digunakan pihak PT X, Sehingga dengan tiupan angin PM_{10} akan terbawa masuk ke dalam ruangan melalui ventilasi yang terbuka atau menempel pada baju pekerja karena pekerja memakainya selama 12 jam.

Untuk jam kerja dari para pekerja *Control room* terdiri dari 3 shift dimana 1 shift pagi, 1 shift malam, dan 1 shift libur yang berganti setiap 3 hari secara terus menerus. 1 shift memiliki jam kerja selama 12 jam, hari libur tidak berpengaruh bagi mereka karena mesin dan alat yang ada di lokasi harus selalu dijaga selama 24 jam karena bila ada kerusakan dapat langsung diatasi dan tidak mengganggu produksi minyak tersebut.



Gambar 4.1 Lokasi A



Gambar 5.2 Lokasi B

4.2 Pola Paparan

4.2.1 Konsentrasi Benzene

Hasil pengukuran apabila dikonversikan ke dalam satuan mg/m^3 sebagai berikut:

$$\text{mg}/\text{m}^3: (\text{PPM} \times \text{BM}_{\text{Benzene}}) / 24.5$$

$$\text{mg}/\text{m}^3 = (0.06 \times 78.11) / 24.5$$

$$\text{mg}/\text{m}^3 = 0.1913$$

Hasil Pengukuran NAB dengan lama waktu paparan 12 jam menurut *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*:

$$\text{NAB penyesuain} = \text{NAB} \times \frac{h}{8}$$

Dengan: NAB = nilai ambang batas dari bahan kimia

h = lama shift (lama kerja) dalam sehari

$$\text{NAB penyesuain} = \text{NAB} \times \frac{h}{8}$$

Dengan: NAB= 0.5 ppm

h= 12 jam

$$\text{NAB penyesuain} = 0.5 \text{ ppm} \times \frac{< \dot{Y} \hat{o} \grave{a}}{5 \delta \dot{Y} \hat{o}}$$

$$\text{NAB penyesuain} = 0.3 \text{ ppm}$$

Berikut ini adalah tabel distribusi konsentrasi benzena di udara lingkungan kerja *Control Room A* dan *B*:

Tabel 4.1 Data sekunder Hasil benzena di udara *Control Room A* dan *B* Laporan *Industrial Hygiene (IH)* tahun 2018

Lokasi/titik Pengukuran	Nama Zat	Bentuk Fisik	Hasil Pengukuran (ppm)	Hasil Pengukuran (mg/m ³)	NAB 8 jam (ppm)*	NAB 12 jam (ppm)
Control Room A	Benzena (C ₆ H ₆)	Gas	0.06	0.1913	0.5	0.3
Control Room B	Benzena (C ₆ H ₆)	Gas	0.05	0.1594	0.5	0.3

Sumber: Data Sekunder, 2018

*Referensi NAB: PERMENAKER No.05 Tahun 2018

Tabel 4.2 Data sekunder Hasil Konsentrasi PM₁₀ di *Control Room B* Laporan *Industrial Hygiene (IH)* tahun 2018

Lokasi/titik Pengukuran	Nama Zat	Bentuk Fisik	Hasil Pengukuran (mg/m ³)	NAB (ppm)*
Control Room B	PM ₁₀	Partikel	0.0400	<0.15

Sumber: Data Sekunder, 2018

*: PERMENAKER No.05 Tahun 2018

Hasil pengukuran kadar benzena di udara di 2 titik yang berbeda yaitu, 0.06 ppm (*Control Room A*) dan 0.05 ppm (*Control Room B*). nilai tersebut lalu dikonversi menjadi satuan mg/m³ seperti pada contoh perhitungan diatas yaitu 0.19 mg/m³ untuk konsentrasi area *control room A* dan 0.16 mg/m³ untuk konsentrasi area *control room B*. Hasil dari konsentrasi benzene dan PM₁₀ yang dipakai merupakan data sekunder yang didapat melalui laporan tahunan PT X tahun 2018.

4.3 Hasil Kuisisioner

4.3.1 Waktu Paparan (t_E)

Waktu paparan didapat dari perhitungan sistem shift yang digunakan setiap *control room* yaitu dengan sebutan Shift 2-1, dimana 2 shift bekerja dan 1 shift beristirahat sehingga dalam 9 hari setiap shift akan bekerja selama 6 hari 3 hari pagi 3 hari malam dan 3 hari sisanya untuk libur. Dalam 1 hari setiap karyawan bekerja selama 12 jam dimana setiap shift terdapat 4 pekerja. Jadi dapat disimpulkan pekerja *control room* A dan B terpapar oleh benzene selama 12 jam/hari.

4.3.2 Frekuensi Paparan (f_E)

Frekuensi paparan (f_E) digunakan untuk menentukan berapa hari dalam setahun paparan benzene yang diterima oleh karyawan di *Control Room* A dan B. Dengan waktu kerja setiap pekerja adalah 6 hari dan libur 3 hari dalam jangka waktu 9 hari dan setahun adalah 365 hari maka dapat dihitung sebagai berikut:

Jumlah hari kerja dalam setahun: $365 \times \frac{6}{9} = 243,3$ hari

Sehingga dapat disimpulkan setiap pekerja bekerja selama 243 hari dalam 1 tahun. Menurut wawancara dengan kepala pengawas *Control room* bahwa pekerja memang tidak mendapat jatah libur sekalipun tanggal merah karena proses pengolahan minyak mentah harus selalu diawasi dan mesin juga harus selalu di cek kesehatannya agar tidak terjadi kerusakan.

4.3.3 Durasi Paparan (D_t)

Durasi paparan karyawan di *control room* A dan B jika digunakan untuk menghitung paparan *realtime* maka digunakan data yang ada dalam table, yaitu lama kerja mereka selama di lokasi sampai saat data ini diambil yaitu maret 2020. Sedangkan untuk waktu paparan *lifetime* maka akan digunakan angka 40 tahun yaitu rata-rata mereka mulai bekerja sampai mereka pensiun.

Tabel 4.3 Distribusi Pola Paparan Benzena di udara *Control Room A*

Nomor Responden	Waktu Paparan / t_E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f_E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W_b (kg)
A1	12	243	26	50	90
A2	12	243	23	43	75
A3	12	243	13	45	61
A4	12	243	24	43	68
A5	12	243	24	46	53
A6	12	243	18	41	87
A7	12	243	25	49	75
A8	12	243	0.42	44	70
A9	12	243	12	36	84
A10	12	243	11	36	75
A11	12	243	28	52	73
A12	12	243	6	42	71

Sumber: Data Primer, 2020

Tabel 4.4 Distribusi Pola Paparan Benzena di udara *Control Room B*

Nomor Responden	Waktu Paparan / t_E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f_E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W_b (kg)
B1	12	243	30	52	60
B2	12	243	3	44	72
B3	12	243	29	53	67
B4	12	243	26	52	61
B5	12	243	26	52	62
B6	12	243	9	47	74
B7	12	243	23	48	68
B8	12	243	3	41	66
B9	12	243	7	28	63
B10	12	243	24	50	74

Sumber: Data Primer, 2020

Tabel 4.5 Distribusi Pola Paparan PM₁₀ di udara *Control Room B*

Nomor Responden	Waktu Paparan / t_E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f_E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W_b (kg)
B1	12	243	30	52	60
B2	12	243	3	44	72
B3	12	243	29	53	67
B4	12	243	26	52	61
B5	12	243	26	52	62
B6	12	243	9	47	74
B7	12	243	23	48	68
B8	12	243	3	41	66
B9	12	243	7	28	63
B10	12	243	24	50	74

Sumber: Data Primer, 2020

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa paparan benzene di *control room A* adalah sebesar 0.1913 mg/m³ dan untuk di *control room B* sebesar 0.1594 mg/m³. Untuk *Particulate Matter* (PM₁₀) adalah sebesar 0.04 mg/m³ untuk di *control room B* sementara di *control room A* pihak PT X tidak melakukan pemantauan PM₁₀. Waktu paparan para pekerja adalah sebesar 12 jam/hari karena karyawan di lokasi tersebut bekerja selama 12 jam dan frekuensi paparan dimana lama mereka bekerja dalam 1 tahun adalah 243 hari/tahun untuk durasi paparan bermacam-macam dari mulai ada yang sudah bekerja selama 30 tahun dan ada juga yang baru mulai bekerja selama 4 bulan.

4.3.4 Status Merokok Pekerja

Berikut disajikan table distribusi status merokok pada karyawan di *control room A* dan B:

Tabel 4.6 Distribusi status merokok pada karyawan *control room A*

Status Merokok Pekerja	Jumlah	Presentase (%)
Merokok	5	41.67
Tidak Merokok	7	58.33

Sumber: Data Primer, 2020

Tabel 4.7 Distribusi status merokok pada karyawan *control room B*

Status Merokok pekerja	Jumlah	Presentase (%)
Merokok	3	30
Tidak Merokok	7	70

Sumber: Data Primer, 2020

Kebiasaan merokok pekerja dapat menambah jumlah asupan benzena ke dalam tubuh karyawan dimana hal itu dapat memperburuk risiko kesehatan yang dihadapinya. Untuk pekerja *control room A* didapatkan hasil sebanyak 7 orang tidak merokok (58,3 %) dan sebanyak 5 orang merokok (41.67%), lalu untuk pekerja *control room B* didapatkan hasil sebanyak 7 orang tidak merokok (70 %) dan 5 orang merokok (30 %),

Kebiasaan merokok di tempat kerja menambah risiko pajanan benzena dalam asap rokok. Lokasi kerja yang dipenuhi bau dan uap benzena akan diperparah dengan kebiasaan merokok pekerja di lokasi kerja. Hal ini perlu mendapat perhatian khusus dengan merokok di lokasi kerja serta timbulnya asap rokok membuat kondisi udara lingkungan kerja menjadi semakin minim oksigen dan memperparah asupan pajanan benzena. Kebiasaan merokok ini dapat dikurangi untuk menjaga kondisi tubuh agar dalam keadaan fit dan meminimalisasi keparahan akibat yang ditimbulkan dari efek pajanan benzena (Fahrudi, 2016).

4.4 Keluhan Kesehatan

Berdasarkan hasil dari kuesioner kepada seluruh karyawan dengan total 12 responden di *control room A* dan 10 responden di *control room B*, didapatkan data keluhan penyakit yang dialami pekerja sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data keluhan kesehatan terhadap pajanan benzena pada karyawan *control room A*

Keluhan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Pusing	4	33.3
Sesak Nafas	3	25
Mual	2	16.67
Muntah	0	0
Tremor	0	0
Sakit Kepala	4	33.33
Detak Jantung Tidak Teratur	3	25
Iritasi Saluran Pernafasan	2	16.67
Radang Paru-Paru	1	8.3
Dermatitis	0	0
Kerusakan Sistem saraf Tulang Belakang	0	0
Tumor	0	0
Pembengkakan Otak	0	0
Anemia Aplastik	0	0

Sumber: Data Primer, 2020

Tabel 4.9 Data keluhan kesehatan terhadap pajanan benzena pada karyawan *control room B*

Keluhan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Pusing	2	20
Sesak Nafas	0	0
Mual	1	10
Muntah	0	0
Tremor	0	0
Sakit Kepala	2	20
Detak Jantung Tidak Teratur	0	0
Iritasi Saluran Pernafasan	0	0
Radang Paru-Paru	0	0
Dermatitis	0	0
Kerusakan Sistem saraf Tulang Belakang	0	0
Tumor	0	0
Pembengkakan Otak	0	0
Anemia Aplastik	0	0

Sumber: Data Primer, 2020

Berdasarkan hasil kuesioner yang disajikan pada tabel 4.9 dan 4.10 yang diberikan kepada karyawan dengan total 22 responden dengan 12 responden di *control room* A dan 10 responden di *control room* B keluhan paling subjektif akibat pajanan benzena adalah merasa pusing yaitu sebanyak 4 pekerja : 2 pekerja, sakit kepala sebanyak 4 pekerja : 2 pekerja, sesak napas 3 pekerja *control room* A, mual 2 pekerja : 1 pekerja, detak jantung tidak teratur sebanyak 3 pekerja *control room* A, iritasi saluran pernafasan sebanyak 2 pekerja *control room* A dan radang paru-paru 1 pekerja A dan sisa karyawan tidak merasakan efek paparan benzena maupun PM₁₀. Gejala penyakit tersebut terjadi akibat durasi kerja yang sangat lama yaitu 12 jam/hari.

Hasil ini sudah sejalan dengan penelitian Tanasorn (2012) yang menunjukkan bahwa pajanan kronis benzena di tempat kerja menyebabkan gangguan sistem saraf dan hematologis pada pekerja stasiun pengisian bahan bakar di Bangkok, Thailand dengan gejala pusing, cepat mengantuk dan kelelahan. *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)* menyatakan bahwa pada penelitian yang telah dilakukan pada manusia mengindikasikan bahwa terdapat hubungan sebab akibat antara efek akut pajanan benzena pada konsentrasi tinggi melalui pernafasan dan gejala yang mengindikasikan adanya gangguan pada sistem saraf dan gangguan hematologis.

4.5 Analisis Dosis Respon

4.5.1 Analisis Dosis-Respon Risiko Nonkanker Pajanan Benzena

Analisis resiko berfungsi untuk mengetahui konsentrasi paparan benzene yang masuk dalam tubuh pekerja. Nilai *Rfc* dalam penelitian ini menggunakan dosis referensi untuk inhalasi (*reference dose, Rfc*) yang ditetapkan oleh IRIS dari US-EPA yaitu sebesar $3 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$. Satuan dari nilai *Rfc* ini perlu dikonversi kedalam satuan mg/kg/hari. maka untuk konversi satuan *Rfc* ini digunakan data-data sebagai berikut:

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

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

$$\text{Maka Rfc} = 0.03 \text{ mg/m}^3 \times 20 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{5}{40} \text{ U}$$

$$= 0.0086 \text{ mg/kg/hari}$$

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

$$4 \text{ 3L} \frac{\text{4 B} = @ \text{ P 4} = \text{ BQ} ?$$

4.5.2 Analisis Dosis-Respon Risiko Kanker Pajanan Benzena

Nilai *Cancel Slope Factor* (CSF) yang digunakan adalah nilai *Inhalation Slope Factor* sebesar 0.0273 mg/kg/day yang berasal dari default nilai yang ditetapkan oleh *United States Environment Protection Agency* (US-EPA).

4.5.3 Inhalation Rate

Inhalation rate atau laju inhalasi memperhitungkan kemampuan pernafasan dari manusia sehingga nantinya diketahui jumlah intake dari benzene dan PM_{10} yang masuk kedalam tubuh pekerja.

Untuk Nilai *Inhalation Rate* (R) atau laju inhalasi digunakan pendekatan yang dilakukan oleh Abrianto (2004). Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y = 5.3 \ln(x) - 6.9$$

Dengan : Y = Laju Inhalasi (R) (m^3/hari)

X = Berat Badan (W_b) (Kg)

Berikut Contoh perhitungan pada responden A1:

$$Y = 5.3 \ln(x) - 6.9$$

$$\text{m}^3/\text{hari} = 5.3 \ln(90) - 6.9$$

$$\text{m}^3/\text{hari} = 16.9 \approx 0.7 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Diketahui tingkat *inhalation rate* (R) pada responden pertama (tabel 4.11) adalah sebesar $0.7 \text{ m}^3/\text{jam}$. berikut disajikan tabel distribusi *Inhalation Rate* (R) terhadap pajanan benzena di udara lingkungan kerja pada karyawan *control room* A dan B:

Tabel 4.10 Distribusi *Inhalation Rate* (R) terhadap pajanan benzena di *Control Room A*

Nomor Responden	<i>Inhalation Rate</i> /R (m^3/jam)
A1	0.706
A2	0.665
A3	0.620
A4	0.644
A5	0.589
A6	0.698
A7	0.665
A8	0.650
A9	0.690
A10	0.665
A11	0.659
A12	0.653
Rata-Rata	0.659

Tabel 4.11 Distribusi *Inhalation Rate* (R) terhadap pajanan benzena di *Control Room B*

Nomor Responden	<i>Inhalation Rate</i> /R (m^3/jam)
B1	0.616
B2	0.656
B3	0.641
B4	0.620
B5	0.623
B6	0.662
B7	0.644
B8	0.637
B9	0.627
B10	0.662
Rata-Rata	0.639

4.6 Analisis Pemajanan Benzene (*Exposure Assessment*)

4.6.1 Analisis Pemajanan Benzene

Analisis pajanan digunakan untuk mengukur jumlah pajanan benzena ke dalam tubuh karyawan di *Control Room A* dan B dengan menggunakan persamaan:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

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

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

R : laju (rate) asupan (m³/jam)

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

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

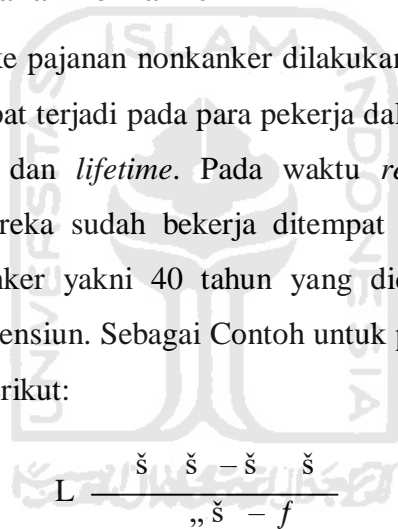
D_t : durasi pajanan, tahun (*real time* atau proteksi, 30 tahun untuk nilai *default* residensial)

W_b : berat badan (kg)

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

a. Perhitungan Intake pajanan nonkanker

Perhitungan intake pajanan nonkanker dilakukan untuk memperhitungkan efek nonkanker yang dapat terjadi pada para pekerja dalam 2 waktu pajanan yang berbeda yaitu *realtime* dan *lifetime*. Pada waktu *realtime* digunakan angka *realtime* yaitu lama mereka sudah bekerja ditempat tersebut, sementara pada pajanan *lifetime* nonkanker yakni 40 tahun yang didapat dari pekerja mulai bekerja sampai mereka pensiun. Sebagai Contoh untuk perhitungan responden A1 dengan rumus sebagai berikut:



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

Diketahui: $C = 0.19$ mg/m³

$W_b = 90$ kg

$R = 0.7$ m³/jam

$t_{avg} = 30 \times 365$ hari/tahun

$t_E = 12$ jam

$D_t = a. 26$ tahun (lama kerja realtime A1)

$f_E = 243$ hari/tahun

b. 40 tahun (lama kerja Lifetime)

$$I_{\text{realtime (nk)}} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} = \frac{0.19 \times 0.7 \times 12 \times 243 \times 26}{90 \times (30 \times 365)} = 0.0104 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{lifetime (nk)}} = \frac{f \cdot \text{Realtime} \cdot \text{Lifetimeduration} \cdot \text{Concentration}}{\text{BodyWeight}} = \frac{0.0104 \cdot 365 \cdot 70}{70} = 0.016 \text{ mg/kg/hari}$$

Tabel 4.12 Nilai intake (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan pajanan benzena *realtime* dan *lifetime* pada karyawan *control room* A dan B

A			B		
Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	Lifetime (mg/kg/hari)	Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	Lifetime (mg/kg/hari)
A1	0.0104	0.0160	B1	0.0131	0.0175
A2	0.0104	0.0181	B2	0.0012	0.0155
A3	0.0067	0.0207	B3	0.0118	0.0163
A4	0.0116	0.0193	B4	0.0112	0.0173
A5	0.0136	0.0227	B5	0.0111	0.0171
A6	0.0074	0.0164	B6	0.0034	0.0152
A7	0.0113	0.0181	B7	0.0093	0.0161
A8	0.0002	0.0190	B8	0.0012	0.0164
A9	0.0050	0.0168	B9	0.0030	0.0169
A10	0.0050	0.0181	B10	0.0091	0.0152
A11	0.0129	0.0184	Rata-Rata	0.0074	0.0164
A12	0.0028	0.0188			
Rata-Rata	0.0081	0.0185			

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai intake (nonkarsinogenik) *realtime* dan *lifetime* secara berurutan pada populasi karyawan *control room* A nomer A1 adalah sebesar 1×10^{-2} mg/kg/hari : 1.6×10^{-2} mg/kg/hari, Kemudian dapat diketahui nilai intake (nonkarsinogenik) *realtime* dan *lifetime* secara berurutan pada populasi karyawan *control room* B nomer B1 adalah sebesar 1.3×10^{-2} mg/kg/hari ; 1.7×10^{-2} mg/kg/hari. Dari hasil ini faktor mengenai waktu pajanan, frekuensi pajanan dan durasi pajanan berpengaruh besar terhadap nilai *intake* pada para pekerja, dan hal ini dapat memberikan efek buruk bagi kesehatan pekerja.

b. Perhitungan Intake Paparan kanker

Untuk menghitung intake paparan benzena yang dapat berakibat kanker, perhitungan yang dilakukan hampir sama pada perhitungan intake nonkanker, perbedaannya terletak pada periode rata-rata paparan (t_{avg}) untuk kanker yaitu 70 x 365 hari/tahun.

Sebagai Contoh Perhitungan Pada Responden B1 dengan rumus sebagai berikut:

$$L = \frac{\dot{C} \cdot \dot{V} \cdot t_e \cdot W_b}{f \cdot Dt}$$

Diketahui: $C = 0.19 \text{ mg/m}^3$

$W_b = 90 \text{ kg}$

$R = 0.7 \text{ m}^3/\text{jam}$

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

$t_e = 12 \text{ jam}$

$Dt = a. 26 \text{ tahun (lama kerja realtime A1)}$

$f_e = 243 \text{ hari/tahun}$

b. 40 tahun (lama kerja Lifetime)

$$\begin{aligned} I_{\text{realtime}} (k) &= \frac{0.19 \text{ mg/m}^3 \cdot 0.7 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 12 \text{ jam} \cdot 90 \text{ kg}}{243 \text{ hari/tahun} \cdot 26 \text{ tahun}} \\ &= 0.0045 \text{ mg/kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Lifetime}} (k) &= \frac{0.19 \text{ mg/m}^3 \cdot 0.7 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 12 \text{ jam} \cdot 90 \text{ kg}}{243 \text{ hari/tahun} \cdot 40 \text{ tahun}} \\ &= 0.0069 \text{ mg/kg/hari} \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Distribusi nilai intake (asupan) efek karsinogenik berdasarkan pajanan benzena *realtime* dan *lifetime* pada karyawan *control room* A dan B

A			B		
Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	Lifetime (mg/kg/hari)	Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	Lifetime (mg/kg/hari)
A1	0.0045	0.0069	B1	0.0056	0.0075
A2	0.0045	0.0078	B2	0.0005	0.0066
A3	0.0029	0.0089	B3	0.0051	0.0070
A4	0.0050	0.0083	B4	0.0048	0.0074
A5	0.0058	0.0097	B5	0.0048	0.0073
A6	0.0032	0.0070	B6	0.0015	0.0065
A7	0.0049	0.0078	B7	0.0040	0.0069
A8	0.0001	0.0081	B8	0.0005	0.0070
A9	0.0022	0.0072	B9	0.0013	0.0073
A10	0.0021	0.0078	B10	0.0039	0.0065
A11	0.0055	0.0079	Rata-Rata	0.0032	0.0070
A12	0.0012	0.0081			
Rata-Rata	0.0035	0.0079			

Berdasarkan hasil diatas, diketahui nilai intake (karsinogenik) *realtime* dan *lifetime* secara berurutan adalah sebesar 4.5×10^{-3} mg/kg/hari ; 6.9×10^{-3} mg/kg/hari. Kemudian dapat diketahui nilai intake (karsinogenik) *realtime* dan *lifetime* secara berurutan adalah sebesar 5.6×10^{-3} mg/kg/hari ; 7.5×10^{-3} mg/kg/hari. Hasil ini menunjukkan kesamaan dengan intake nonkanker dimana waktu, frekuensi dan durasi menjadi pengaruh paling tinggi terhadap besarnya angka intake para pekerja.

4.6.2 Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko digunakan untuk membedakan efek kesehatan nonkanker dan kanker dari parameter yang diujikan yaitu benzene dan PM₁₀. Karakteristik risiko untuk efek nonkanker dapat diketahui dengan menggunakan

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

rumus seperti dibawah ini:

Dengan: Ink = Intake Non karsinogenik (mg/kg/hari)

Rfc = *Reference Concentration* (mg/kg/hari)

a. **Perhitungan *Risk Quotient (RQ)* pada individu untuk pajanan nonkanker**

Sebagai Contoh perhitungan pada responden A1, diketahui sebagai berikut:

Diketahui: $Ink_{realtime} = 0.0104 \text{ mg/kg/hari}$

$Ink_{Lifetime} = 0.016 \text{ mg/kg/hari}$

$Rfc = 0.0086 \text{ mg/kg/hari}$ (Mengacu pada Standar US-EPA)

$$RQ_{realtime (nk)} = \frac{Ink_{realtime}}{Rfc} = \frac{0.0104}{0.0086} = 1.2$$

$$RQ_{Lifetime (nk)} = \frac{Ink_{Lifetime}}{Rfc} = \frac{0.016}{0.0086} = 1.86$$

Setelah mendapat nilai *RQ*, maka dapat diasumsikan sebagai berikut

- Bila $RQ \leq 1$, maka konsentrasi *hazard* belum berisiko menimbulkan efek kesehatan nonkarsinogenik.
- Bila $RQ > 1$, maka konsentrasi *hazard* sudah berisiko menimbulkan efek kesehatan nonkarsinogenik.

Berdasarkan hasil responden A1 memiliki nilai *RQ* selama pajananan realtime dan lifetime berturut-turut adalah 1.2 ; 1.86. Ini menunjukkan bahwa pada pajanan *realtime* dan *lifetime* sudah berisiko menimbulkan efek kesehatan nonkanker pada responden A1.

Tabel 4.14 Distribusi nilai *Risk Quotient* (RQ) berdasarkan pajanan benzena selama *realtime* dan *lifetime* di *control room* A dan B

A					B				
Nomor Responden	<i>Real time</i>	Tingkat Resiko	<i>Lifet ime</i>	Tingkat Resiko	Nomor Responden	<i>Real time</i>	Tingkat Resiko	<i>Lifet ime</i>	Tingkat Resiko
A1	1.21	B	1.86	B	B1	1.52	B	2.03	B
A2	1.21	B	2.11	B	B2	0.14	TB	1.80	B
A3	0.78	TB	2.41	B	B3	1.37	B	1.89	B
A4	1.35	B	2.25	B	B4	1.31	B	2.01	B
A5	1.58	B	2.64	B	B5	1.29	B	1.99	B
A6	0.86	TB	1.91	B	B6	0.40	TB	1.77	B
A7	1.32	B	2.11	B	B7	1.08	B	1.87	B
A8	0.02	TB	2.21	B	B8	0.14	TB	1.91	B
A9	0.59	TB	1.95	B	B9	0.34	TB	1.97	B
A10	0.58	TB	2.11	B	B10	1.06	B	1.77	B
A11	1.50	B	2.14	B	Rata-Rata	0.87	TB	1.90	B
A12	0.33	TB	2.18	B					
Rata-Rata	0.94	TB	2.16	B					

B= Beresiko terkena efek kesehatan non kanker

TB= Tidak beresiko terkena efek non kanker

Tabel 4.15 Persentase Nilai *Risk Quotient* pajanan benzene selama *realtime* dan *lifetime* Karyawan *control room* A dan B

A				
	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	6	50	12
	$RQ > 1$	6	50	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	0	0	12
	$RQ > 1$	12	100	
B				
	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	4	40	10
	$RQ > 1$	6	60	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	0	0	10
	$RQ > 1$	10	100	

Dari hasil RQ yang didapat untuk karyawan *control room* A pada pajanan *realtime* terdapat 6 orang dengan nilai $RQ \leq 1$ dan 6 orang dengan nilai $RQ > 1$, sementara pada waktu pajanan *Lifetime* seluruh pekerja (12 orang) memiliki nilai $RQ > 1$. Sementara hasil dari karyawan *control room* B pada waktu pajanan *realtime* terdapat 4 orang dengan nilai $RQ \leq 1$ dan 6 orang dengan nilai $RQ > 1$, sementara pada waktu pajanan *lifetime* seluruh pekerja (10 orang) memiliki nilai $RQ > 1$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kondisi pajanan *realtime* sekalipun beberapa pekerja sudah mengalami efek nonkarsinogenik yang disebabkan oleh benzene dan pada pajanan *lifetime* seluruh pekerja dapat mengalami efek kesehatan nonkarsinogenik.

b. Perhitungan *Excess Cancer Risk (ECR)* individu pada pajanan:

Karakteristik untuk efek kanker dapat diketahui dengan mengalikan nilai *Intake* karsinogenik dengan nilai *CSF*.

$$ECR = I_k \times CSF$$

Dengan: I_k = Intake Karsinogenik (mg/kg/hari)

CSF = Cancer Slope Factor (Mengacu pada Standar US-EPA)

Sebagai Contoh perhitungan pada responden A1, diketahui sebagai berikut:

Diketahui: $I_k = 0.0104$ mg/kg/hari

$CSF = 0.0273$ (Mengacu pada Standar US-EPA)

$$ECR \text{ realtime} = 0.0273 \times 0.0045 = 0.00012$$

$$ECR \text{ lifetime} = 0.0273 \times 0.0069 = 0.00018$$

Setelah mendapat nilai ECR, maka asumsi yang digunakan sebagai berikut:

- Jika $ECR \leq 10^{-4}$, maka konsentrasi hazard belum menimbulkan efek kesehatan karsinogenik.
- Jika $ECR > 10^{-4}$, maka nilai konsentrasi hazard sudah menimbulkan efek kesehatan karsinogenik.

Tabel 4.16 Distribusi nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) pajanan benzena selama *realtime* dan *lifetime* berdasarkan perhitungan individu pada karyawan *control room* A dan B

A					B				
Nomor Responden	Realtime	Tingkat Resiko	Lifetime	Tingkat Resiko	Nomor Responden	Realtime	Tingkat Resiko	Lifetime	Tingkat Resiko
A1	0.00012	B	0.00019	B	B1	0.00015	B	0.00020	B
A2	0.00012	B	0.00021	B	B2	0.00001	TB	0.00018	B
A3	0.00008	TB	0.00024	B	B3	0.00014	B	0.00019	B
A4	0.00014	B	0.00023	B	B4	0.00013	B	0.00020	B
A5	0.00016	B	0.00027	B	B5	0.00013	B	0.00020	B
A6	0.00009	TB	0.00019	B	B6	0.00004	TB	0.00018	B
A7	0.00013	B	0.00021	B	B7	0.00011	B	0.00019	B
A8	0.00000	TB	0.00022	B	B8	0.00001	TB	0.00019	B
A9	0.00006	TB	0.00020	B	B9	0.00003	TB	0.00020	B
A10	0.00006	TB	0.00021	B	B10	0.00011	B	0.00018	B
A11	0.00015	B	0.00022	B	Rata-Rata	0.00009	TB	0.00019	B
A12	0.00003	TB	0.00022	B					
Rata-Rata	0.00009	TB	0.00022	B					

B= Beresiko terkena efek kesehatan kanker

TB= Tidak beresiko terkena efek kanker

Tabel 4.17 Persentase nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) pajanan benzena selama *realtime* dan *lifetime* berdasarkan perhitungan individu pada karyawan *control room* A dan B

A				
	ECR	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
ECR REALTIME	$\leq 10^{-4}$	6	50	12
	$> 10^{-4}$	6	50	
ECR LIFETIME	$\leq 10^{-4}$	0	0	12
	$> 10^{-4}$	12	100	
B				
	ECR	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
ECR REALTIME	$\leq 10^{-4}$	4	40	10
	$> 10^{-4}$	6	60	
ECR LIFETIME	$\leq 10^{-4}$	0	0	10
	$> 10^{-4}$	10	100	

Diketahui hasil akhir *ECR* pada pekerja di *control room* A dan B hampir sama dikarenakan pola perilaku pekerja di kedua lokasi tersebut sama, seperti

halnya waktu pajanan, frekuensi pajanan dan durasi pajanan. Hasil yang didapat untuk pekerja *control room* A pada pajanan *realtime* terdapat 6 orang memiliki nilai $ECR \leq 10^{-4}$ dan 6 orang memiliki nilai $ECR > 10^{-4}$, pada pajanan *lifetime* tidak terdapat orang yang memiliki nilai $ECR \leq 10^{-4}$ akan tetapi terdapat 12 orang yang memiliki nilai $ECR > 10^{-4}$. Pada pekerja *control room* B pada pajanan *realtime* terdapat 4 orang memiliki nilai $ECR \leq 10^{-4}$ dan 6 orang memiliki nilai $ECR > 10^{-4}$, pada pajanan *lifetime* tidak terdapat orang yang memiliki nilai $ECR \leq 10^{-4}$ akan tetapi terdapat 10 orang yang memiliki nilai $ECR > 10^{-4}$. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa kondisi kesehatan pekerja pada pajanan *realtime* sudah dapat menimbulkan efek kesehatan karsinogenik walaupun hanya setengah dari populasi pekerja, lalu pada pajanan *lifetime* lah efek karsinogenik paparan benzene dapat terjadi dan dapat menimbulkan bahaya.

4.7 Analisis Pemajanan PM_{10}

Analisis pajanan adalah mengukur jumlah pajanan PM_{10} ke dalam tubuh karyawan di Control Room A dan B dengan menggunakan persamaan:

$$L = \frac{\dot{V}_i - \dot{V}_e}{V_i - V_e}$$

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

C : konsentrasi risk agent, mg/m^3 untuk medium udara, mg/l untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan

R : laju (rate) asupan (m^3/jam)

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

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

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

W_b : berat badan (kg)

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

a. Perhitungan Intake pajanan nonkanker

Perhitungan intake (asupan) *risk agent* dihitung sebanyak 2 kali dengan menggunakan 2 waktu yang berbeda yaitu *realtime* dan *lifetime*, hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan efek kesehatan yang dialami pada para pekerja pada saat

ini dan apa yang akan terjadi nanti saat mereka sudah pensiun. Paparan *realtime* menggunakan nilai duarsi paparan asli yaitu sudah berapa lama pekerja tersebut sudah bekerja di lokasi tersebut, sedangkan pada paparan *lifetime* yakni 40 tahun yang didapat dari pekerja mulai bekerja sampai mereka pensiun. Sebagai Contoh untuk perhitungan responden B1 dengan rumus sebagai berikut:

$$L = \frac{\dot{C} \dot{V} - \dot{C} \dot{V}}{\dot{C} - f}$$

Diketahui: $C = 0.04 \text{ mg/m}^3$ $W_b = 60 \text{ kg}$
 $R = 0.6 \text{ m}^3/\text{jam}$ $t_{avg} = 30 \times 365 \text{ hari/tahun}$
 $t_e = 12 \text{ jam}$ $D_t = a. 30 \text{ tahun (lama kerja realtime B1)}$
 $f_e = 243 \text{ hari/tahun}$ $b. 40 \text{ tahun (lama kerja Lifetime)}$

$$I_{\text{realtime}} (k) = \frac{4 \dot{C} \dot{V} e^{k'v} 4 \dot{C} k' h k 5 \dot{C} - k f - p v 8 f 7 - p r g - f v 4 - f s l}{: 4 i e v 7 4 r - f s v 7 l - \frac{9}{j} W^{h-k} d}$$

$$= 0.0044 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{Lifetime}} (k) = \frac{4 \dot{C} \dot{V} e^{k'v} 4 \dot{C} k' h k 5 \dot{C} - k f - p v 8 f 7 - p r g - f v 4 - f s l}{: 4 i e v 7 4 - f s v 7 l - \frac{9}{j} W^{h-k} d}$$

$$= 0.0059 \text{ mg/kg/hari}$$

Tabel 4.18 Nilai *intake* (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan paparan PM₁₀ *realtime* dan *lifetime* pada karyawan *control room* B

Nomor Responden	<i>Realtime</i> (mg/kg/hari)	<i>lifetime</i> (mg/kg/hari)
B1	0.0044	0.0059
B2	0.0004	0.0049
B3	0.0038	0.0053
B4	0.0038	0.0058
B5	0.0037	0.0057
B6	0.0011	0.0048
B7	0.0030	0.0052
B8	0.0004	0.0054
B9	0.0010	0.0056
B10	0.0029	0.0048
Rata-Rata	0.0024	0.0053

4.7.1 Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko untuk efek nonkanker dapat diketahui dengan menggunakan rumus



seperti dibawah ini:

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

Dengan: Ink = Intake Non karsinogenik (mg/kg/hari)

Rfc = Reference Concentration (mg/kg/hari)

Menurut Sukadi (2014), untuk menentukan tingkat paparan PM₁₀ dapat digunakan rumus untuk menghitung nilai intake yang sama seperti persamaan 1 dan untuk menghitung nilai RQ juga dapat dihitung dengan rumus persamaan 3 dan untuk nilai karsinogenik belum dapat ditentukan dikarenakan PM₁₀ tidak memiliki nilai *Cancer Slope Factor* (CSF). Maka selanjutnya adalah untuk mendapat nilai Rfc dari PM₁₀ dapat menggunakan rumus berikut:

$$Rfc = \frac{1}{4} \frac{E \cdot I \cdot \emptyset \cdot \emptyset}{D \cdot \emptyset \cdot \emptyset \cdot \emptyset}$$

Diketahui: C = 0.04 mg/m³ Wb = 66.7 kg (Rata-Rata)

R = 0.83 m³/jam tavg = 365 hari/tahun

te = 12 jam fe = 243 hari/tahun

a. Perhitungan Risk Quotient (RQ) pada individu untuk pajanan nonkanker

Sebagai Contoh perhitungan pada responden B1, diketahui sebagai berikut:

Diketahui: Ink realtime = 0.0044 mg/kg/hari

Ink Lifetime = 0.0059 mg/kg/hari

Rfc = 0.004 mg/kg/hari

$$RQ_{\text{realtime (nk)}} = \frac{0.0044 \cdot \frac{8}{4} \cdot 8 \cdot \emptyset \cdot \emptyset}{0.004 \cdot \frac{8}{4} \cdot 8 \cdot \emptyset \cdot \emptyset} = 1.11$$

$$RQ_{\text{Lifetime (nk)}} = \frac{0.0059 \cdot \frac{8}{4} \cdot 8 \cdot \emptyset \cdot \emptyset}{0.004 \cdot \frac{8}{4} \cdot 8 \cdot \emptyset \cdot \emptyset} = 1.48$$

Setelah mendapat nilai RQ, maka dapat diasumsikan sebagai berikut

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

- Bila $RQ > 1$, maka konsentrasi hazard sudah berisiko menimbulkan efek



kesehatan nonkarsinogenik.

Diketahui pada responden B1 nilai *RQ* pada pajanan *realtime* dan *lifetime* berturut-turut adalah 1.11 ; 1.48. Hasil Ini menunjukkan bahwa pada pajanan *realtime* dan *lifetime* tidak berisiko terhadap efek kesehatan nonkanker pada responden B1.

Tabel 4. 19 Distribusi nilai *Risk Quotient* (RQ) berdasarkan pajanan PM₁₀ selama *realtime* dan *lifetime* di *control room* B

Nomor Responden	<i>Realtime</i>	Tingkat Resiko	<i>Lifetime</i>	Tingkat Resiko
B1	1.11	B	1.48	B
B2	0.09	TB	1.24	B
B3	0.96	TB	1.33	B
B4	0.95	TB	1.46	B
B5	0.93	TB	1.43	B
B6	0.27	TB	1.20	B
B7	0.75	TB	1.31	B
B8	0.10	TB	1.35	B
B9	0.25	TB	1.41	B
B10	0.72	TB	1.20	B
Rata-Rata	0.61	TB	1.34	B

B= Beresiko terkena efek kesehatan non kanker

TB= Tidak beresiko terkena efek non kanker

Tabel 4.20 Persentase Nilai *Risk Quotient* pajanan PM₁₀ selama *realtime* dan *lifetime* Karyawan *control room* B

	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	9	90	10
	$RQ > 1$	1	10	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	0	0	10
	$RQ > 1$	10	100	

Untuk PM₁₀ hasil *Risk Quotient* (RQ) menunjukkan bahwa konsentrasidan intake PM₁₀ di *Control room* sudah menimbulkan bahaya kesehatan pada pajanan *Realtime* maupun *Lifetime* sehingga perlu adanya tindakan lebih lanjut. Penggunaan Masker dan APD yang lain harus dipatuhi sebagai langkah pencegahan dan memperbaiki kualitas kesehatan yang ada. Namun untuk responden B1 sepertinya harus lebih menjaga kesehatan, menggunakan APD yang layak dan menjauh dari sumber PM₁₀ karena nilainya sajalah yang melebihi batas

RQ>1 saat pajanan *realtime*.

4.8 Estimasi Risiko Kesehatan Karyawan *control room* A dan B Dengan Menggunakan Data Rata-Rata Pekerja

Estimasi risiko kesehatan pekerja adalah perhitungan untuk melihat apakah resiko yang diberikan oleh benzene pada suatu populasi tersebut berbahaya atau tidak dengan menggunakan nilai-nilai yang mewakili tiap-tiap variabel pada populasi atau bisa dibidang nilai rata-rata seperti yang tersaji pada table berikut:

Tabel 4.21 Nilai Rata-rata Populasi

Lokasi	Nama Zat	Hasil Pengukuran (mg/m ³)	Waktu Pajanan / t _E (jam/hari)	Frekuensi Pajanan / f _E (hari/tahun)	Durasi Pajanan / Dt (tahun)	Berat Badan / W _b (kg)	Inhalation Rate /R (m ³ /jam)
A	Benzene	0.191	12	243	20.5	73.5	0.659
B	Benzene	0.159	12	243	23.5	66.5	0.639
	PM ₁₀	0.04					

Sumber: Data Primer, 2020

: Data Sekunder, 2018

Nilai konsentrasi (C) adalah nilai konsentrasi pajanan benzene di lingkungan kerja yang didapat dari data sekunder laporan *industrial hygiene* tahun 2018 dibagi menjadi 2 dikarenakan ada 2 titik pengujian yaitu *control room* A dan B, yaitu untuk *benzene* 0.191 mg/m³ dan 0.159 mg/m³, untuk PM₁₀ sebesar 0.04 mg/m³. Nilai laju inhalasi (R) yang digunakan sama seperti pada perhitungan individu, yaitu nilai data mean pekerja 0.659 m³/jam (*control room* A) dan 0.639 m³/jam (*control room* B). Waktu pajanan (t_E) merupakan nilai pekerja terpajan selama 1 hari, yaitu 12 jam/hari.

Nilai Frekuensi Pajanan (f_E) yang digunakan adalah 243 hari/tahun, nilai tersebut berasal dari hasil kuisioner para pekerja. Pada Durasi pajanan (Dt) *realtime* nilai yang digunakan pada karyawan *control room* A menggunakan nilai median yaitu 20.5 tahun dan pada karyawan *control room* B menggunakan nilai median yaitu 23.5 tahun dan untuk *Lifetime* digunakan 40 tahun yang berasal dari pekerja mulai bekerja, karena kebanyakan adalah lulusan SMA berarti 18 tahun dan akan pensiun pada umur 58 tahun.

Waktu rata-rata (t_{avg}) digunakan nilai default (30 tahun untuk non-kanker dan 70 tahun untuk kanker). Nilai berat badan (W_b) yang dimasukkan pada perhitungan analisis risiko populasi adalah nilai berat badan yang mewakili populasi untuk *control room* A digunakan nilai mean yaitu 73.5 kg dan untuk *control room* B digunakan nilai median yaitu 66.5 kg.

4.8.1 Estimasi Risiko Kesehatan Paparan Benzena Pada Populasi Karyawan *Control Room* A

Perhitungan estimasi risiko kesehatan pada paparan benzena nonkanker sebagai berikut:

$$I_{\text{realtime}} (\text{nk}) = \frac{45 = k5ek' v 4ä 9 k' h \quad k5 \text{ _ } k' \text{ _ } pv \text{ _ } 8f7_ \text{ _ } pr \text{ _ } g_ \text{ _ } f \text{ _ } s \text{ _ } d \text{ _ } r \text{ _ } \text{ _ } f \text{ _ } s \text{ _ } l}{; 7ä9 i ev 7 4r_ f sv 71 \frac{\wedge 9 W h -}{j W \wedge k d}}$$

$$= 0.00934 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{lifetime}} (\text{nk}) = \frac{45 = k5ek' v 4ä 9 k' h \quad k5 \text{ _ } k' \text{ _ } pv \text{ _ } 8f7_ \text{ _ } pr \text{ _ } g_ \text{ _ } f \text{ _ } s \text{ _ } l}{; 7ä9 i ev 7 4r_ f sv 71 \frac{\wedge 9 W h -}{j W \wedge k d}}$$

$$= 0.018 \text{ mg/kg/hari}$$

Pada perhitungan *Intake* nonkanker, didapatkan nilai paparan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 9.34×10^{-3} mg/kg/hari dan 1.8×10^{-2} mg/kg/hari.

Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *Risk Quotient (RQ)* sebagai berikut:

$$RQ_{\text{realtime}} (\text{nk}) = \frac{45 = k5ek' v 4ä 9 k' h \quad k5 \text{ _ } k' \text{ _ } pv \text{ _ } 8f7_ \text{ _ } pr \text{ _ } g_ \text{ _ } f \text{ _ } s \text{ _ } l}{4ä4 \quad 4 \frac{0}{0} \text{ _ } 7 \text{ _ } 8 \text{ _ } 0 \text{ _ } ä \text{ _ } Ü} = 1.08$$

$$RQ_{\text{lifetime}} (\text{nk}) = \frac{45 = k5ek' v 4ä 9 k' h \quad k5 \text{ _ } k' \text{ _ } pv \text{ _ } 8f7_ \text{ _ } pr \text{ _ } g_ \text{ _ } f \text{ _ } s \text{ _ } l}{4ä4 \quad 4 \frac{0}{0} \text{ _ } 7 \text{ _ } 8 \text{ _ } 0 \text{ _ } ä \text{ _ } Ü} = 2.1$$

Nilai estimasi risiko nonkanker (*RQ*) pada populasi karyawan *control room* A pada paparan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 1.08 dan 2.1. berdsarkan nilai-nilai tersebut diketahui bahwa pada semua paparan di populasi ini sudah berisiko terkena efek nonkanker ($RQ \geq 1$). Selanjutnya adalah perhitungan intake karsinogenik sebagai berikut:

$$I_{\text{realtime}} (\text{k}) = \frac{45 = k5ek' v 4ä 9 k' h \quad k5 \text{ _ } k' \text{ _ } pv \text{ _ } 8f7_ \text{ _ } pr \text{ _ } g_ \text{ _ } f \text{ _ } s \text{ _ } l}{; 7ä9 i ev ; 4r_ f sv 71 \frac{\wedge 9 W h -}{j W \wedge k d}}$$

$$= 0.004 \text{ mg/kg/hari}$$

$$\text{Lifetime (k)} = \frac{4 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari} \times 0.1}{1} = 0.0004 \text{ mg/kg/hari}$$

Pada hasil *Intake* berisiko kanker, didapatkan nilai pajanan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 4×10^{-3} mg/kg/hari dan 7.8×10^{-3} mg/kg/hari. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *ECR* sebagai berikut:

ECR realtime	= 0.004 x 0.1 = 0.0004	Æ Risiko Minimum
ECR realtime	= 0.004 x 0.34 = 0.0014	Æ Risiko Maksimum
ECR lifetime	= 0.0078 x 0.1 = 0.00078	Æ Risiko Minimum
ECR lifetime	= 0.0078 x 0.34 = 0.0026	Æ Risiko Maksimum

Nilai *Excess Cancer Risk (ECR)* pada populasi karyawan *control room A* yang terpajan benzena untuk pajanan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 4×10^{-4} (risiko minimum) dan 1.4×10^{-3} (risiko maksimum), dan 7.8×10^{-4} (risiko minimum) dan 2.6×10^{-3} (risiko maksimum). Dari nilai-nilai tersebut populasi ini sudah berisiko kanker pada pajanan *Realtime* dan *lifetime* karena $ECR > 10^{-4}$, sehingga diperlukan upaya manajemen risiko seperti eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, manajemen dan APD.

4.8.2 Estimasi Risiko Kesehatan Pajanan Benzena Pada Populasi Karyawan *Control Room B*

Perhitungan estimasi risiko kesehatan pada pajanan benzena nonkanker sebagai berikut:

$$\text{I realtime (nk)} = \frac{4 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari} \times 0.1}{1} = 0.0004 \text{ mg/kg/hari}$$

$$\text{Lifetime (nk)} = \frac{7.8 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari} \times 0.1}{1} = 0.00078 \text{ mg/kg/hari}$$

Dari hasil *intake* nonkanker diatas didapatkan hasil pajanan pada waktu *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 9.56×10^{-3} mg/kg/hari : 1.62×10^{-2} mg/kg/hari. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung *Risk Quotient (RQ)* sebagai berikut:

$$RQ_{\text{ realtime (nk)}} = \frac{4.4 \times 10^{-9} \text{ U} \cdot \hat{O} \cdot \hat{a} \cdot \ddot{U}}{4.4 \times 10^{-9} \text{ U} \cdot \hat{O} \cdot \hat{a} \cdot \ddot{U}} = 1.11$$

$$RQ_{\text{ Lifetime (nk)}} = \frac{4.4 \times 10^{-6} \text{ U} \cdot \hat{O} \cdot \hat{a} \cdot \ddot{U}}{4.4 \times 10^{-9} \text{ U} \cdot \hat{O} \cdot \hat{a} \cdot \ddot{U}} = 1.88$$

Hasil *Risk Quotient (RQ)* pada populasi karyawan *control room* B yang terpajan benzena untuk pajanan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 1.11 dan 1.88. Dari nilai-nilai tersebut diketahui bahwa pada semua pajanan di populasi ini sudah berisiko terkena efek kesehatan nonkanker ($RQ > 1$). Selanjutnya adalah perhitungan intake karsinogenik sebagai berikut:

$$I_{\text{ realtime (k)}} = \frac{4.5 \times 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{e} \cdot \text{k} / \text{v} \cdot 4.4 \times 10^{-7} \text{ k} \cdot \text{h} \cdot \text{k} \cdot 5 \cdot \text{h} \cdot \text{k} \cdot \text{p} \cdot \text{g} \cdot 8 \cdot \text{f} \cdot 7 \cdot \text{p} \cdot \text{r} \cdot \text{g} \cdot \text{f} \cdot \text{s} \cdot \text{d} \cdot \text{r} \cdot \text{f} \cdot \text{s} \cdot \text{l}}{4.4 \times 10^{-9} \text{ U} \cdot \hat{O} \cdot \hat{a} \cdot \ddot{U}} = 0.0041 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{ Lifetime (k)}} = \frac{4.5 \times 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{e} \cdot \text{k} / \text{v} \cdot 4.4 \times 10^{-7} \text{ k} \cdot \text{h} \cdot \text{k} \cdot 5 \cdot \text{h} \cdot \text{k} \cdot \text{p} \cdot \text{g} \cdot 8 \cdot \text{f} \cdot 7 \cdot \text{p} \cdot \text{r} \cdot \text{g} \cdot \text{f} \cdot \text{s} \cdot \text{d} \cdot \text{r} \cdot \text{f} \cdot \text{s} \cdot \text{l}}{4.4 \times 10^{-9} \text{ U} \cdot \hat{O} \cdot \hat{a} \cdot \ddot{U}} = 0.007 \text{ mg/kg/hari}$$

Pada perhitungan *Intake* berisiko kanker, didapatkan nilai pajanan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah $4.1 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}$ dan $7 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}$. Kemudian dilakukan perhitungan *ECR* sebagai berikut:

ECR realtime	=	$0.0041 \times 0.1 = 0.00041$	Æ Risiko Minimum
ECR realtime	=	$0.0041 \times 0.34 = 0.0014$	Æ Risiko Maksimum
ECR lifetime	=	$0.007 \times 0.1 = 0.0007$	Æ Risiko Minimum
ECR lifetime	=	$0.007 \times 0.34 = 0.0024$	Æ Risiko Maksimum

Nilai estimasi risiko kanker (*ECR*) pada populasi karyawan *control room* B yang terpajan benzena untuk pajanan *realtime* adalah 0.00041 (risiko minimum) : 0.0014 (risiko maksimum) dan pada pajanan *lifetime* 0.0007 (risiko minimum) : 0.0024 (risiko maksimum). Dari hasil tersebut populasi sudah dinyatakan berisiko efek karsinogenik karena nilai $ECR > 10^{-4}$, sehingga diperlukan upaya manajemen risiko yang meliputi eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, manajemen, dan APD.

4.8.3 Estimasi Risiko Kesehatan Paparan PM₁₀ Pada Populasi Karyawan *Control Room B*

Perhitungan estimasi risiko kesehatan pada paparan benzena nonkanker sebagai berikut:

$$I_{\text{realtime}} (\text{nk}) = \frac{4.4 \times 10^{-4} \text{ mg/m}^3 \times 7 \text{ h} \times 5 \text{ h} \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \times 10^6 \text{ s/d} \times 365 \text{ d/y}}{10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \times 10^6 \text{ s/d} \times 365 \text{ d/y}} = 0.0024 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{\text{lifetime}} (\text{nk}) = \frac{4.4 \times 10^{-4} \text{ mg/m}^3 \times 7 \text{ h} \times 5 \text{ h} \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \times 10^6 \text{ s/d} \times 365 \text{ d/y}}{10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \times 10^6 \text{ s/d} \times 365 \text{ d/y}} = 0.0041 \text{ mg/kg/hari}$$

Pada perhitungan *Intake* nonkanker, didapatkan nilai paparan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 2.4×10^{-3} mg/kg/hari dan 4.1×10^{-3} mg/kg/hari.

Kemudian dilakukan perhitungan *Risk Quotient (RQ)* sebagai berikut:

$$RQ_{\text{realtime}} (\text{nk}) = \frac{2.4 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}}{10^{-3} \text{ mg/kg/hari}} = 0.28$$

$$RQ_{\text{lifetime}} (\text{nk}) = \frac{4.1 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}}{10^{-3} \text{ mg/kg/hari}} = 0.48$$

Nilai *Risk Quotient (RQ)* pada populasi karyawan *control room B* yang terpapar benzena untuk paparan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 0.28 dan 0.48. Dari nilai-nilai tersebut diketahui bahwa pada semua paparan di populasi ini belum berisiko terkena efek kesehatan nonkanker ($RQ \leq 1$).

4.9 Manajemen Risiko

Manajemen Risiko adalah suatu upaya untuk melindungi objek penelitian dalam hal ini adalah pekerja dari pengaruh benzena, yang dapat menimbulkan efek kesehatan non karsinogenik dan karsinogenik. Cara pertama yang perlu dilakukan setelah dilakukannya analisis risiko adalah mengurangi konsentrasi dari paparan benzena dan mengurangi waktu kontak pekerja dengan benzena.

Berdasarkan hasil dari karakteristik risiko, dapat disimpulkan bahwa upaya yang dapat dilakukan adalah dengan meminimalkan nilai RQ dan ECR, sehingga intake dapat sama atau lebih kecil dari dosis referensi (Rfc). Terdapat 2 cara untuk melakukan itu yaitu dengan mengurangi konsentrasi *risk agent* dan waktu kontak

pekerja dengan *risk agent* tersebut.



Berdasarkan hasil estimasi risiko baik itu efek nonkanker dan kanker keduanya sudah berbahaya bagi kesehatan para pekerja di *control room* A dan B, sehingga perlu adanya sebuah manajemen risiko.

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

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

4.9.1 Manajemen Risiko kesehatan akibat benzene di *control room* A

a. Mengurangi konsentrasi selama pajanan *lifetime*

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

C : konsentrasi risk agent, mg/m^3 untuk medium udara, mg/l untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan

R : laju (rate) asupan (m^3/jam)

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

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

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

W_b : berat badan (kg)

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

CSF: *Cancer Slope Factor*

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

R: $0.659 \text{ m}^3/\text{jam}$

Dt: 40 tahun

tE: 12 jam/hari

Wb: 73.5 kg

fE: 243 hari/Tahun

Tavg: 70 tahun $\times 365$ hari/tahun

$$0.0037 \text{ mg/kg/hari} = \frac{0.0037 \cdot 0.659 \cdot 12 \cdot 243 \cdot 40 \cdot 73.5 \cdot 70 \cdot 365}{0.0037 \cdot 0.659 \cdot 12 \cdot 243 \cdot 40 \cdot 73.5 \cdot 70 \cdot 365}$$

$$\begin{aligned} \%I C I^7 &= \frac{0.0037 \cdot 0.659 \cdot 12 \cdot 243 \cdot 40 \cdot 73.5 \cdot 70 \cdot 365}{0.0037 \cdot 0.659 \cdot 12 \cdot 243 \cdot 40 \cdot 73.5 \cdot 70 \cdot 365} \\ &= 0.1 \text{ mg}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

b. Mengurangi lama Paparan (tE) selama Paparan *Lifetime*

$$tE = \frac{C \cdot R \cdot t_E \cdot f_E \cdot D_t}{W_b \cdot t_{avg}}$$

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

R : laju (rate) asupan (m³/jam)

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

f_E : frekuensi paparan tahunan (hari/tahun)

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

W_b : berat badan (kg)

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

CSF: *Cancer Slope Factor*

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

R: 0.659 m³/jam Dt: 40 tahun

C: 0.191 mg/m³ Wb: 73.5 kg

f_E: 243 hari/Tahun Tavg: 70 tahun x 365 hari/tahun

$$tE = \frac{C \cdot R \cdot t_E \cdot f_E \cdot D_t}{W_b \cdot t_{avg}}$$

$$0.0037 \text{ mg/kg/hari} = \frac{0.191 \text{ mg/m}^3 \cdot 0.659 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot t_E \cdot 243 \text{ hari/tahun} \cdot 40 \text{ tahun}}{73.5 \text{ kg} \cdot 70 \text{ tahun} \cdot 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$P'F = D I = N E = \frac{0.0037 \text{ mg/kg/hari} \cdot 73.5 \text{ kg} \cdot 70 \text{ tahun} \cdot 365 \text{ hari/tahun}}{0.191 \text{ mg/m}^3 \cdot 0.659 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 243 \text{ hari/tahun} \cdot 40 \text{ tahun}}$$

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

c. Mengurangi Frekuensi paparan (Fe) selama paparan *Lifetime*

$$fE = \frac{C \cdot R \cdot t_E \cdot f_E}{W_b \cdot t_{avg}}$$

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

R : laju (rate) asupan (m³/jam)

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

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

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

W_b : berat badan (kg)

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

CSF: *Cancer Slope Factor*

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

R: 0.659 m³/jam

Dt: 40 tahun

C: 0.191 mg/m³

Wb: 73.5 kg

tE: 12 jam/hari

Tavg: 70 tahun \times 365 hari/tahun

$$fE = \frac{C \cdot R \cdot t_E \cdot f_E}{W_b \cdot t_{avg}}$$

$$0.0037 \text{ mg/kg/hari} = \frac{0.191 \text{ mg/m}^3 \cdot 0.659 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 12 \text{ jam/hari} \cdot 243 \text{ hari/tahun}}{73.5 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari/tahun}}$$

$$B F = D I = N E = \frac{0.0037 \text{ mg/kg/hari} \cdot 25550 \text{ hari/tahun}}{0.001 \text{ mg/kg/hari}}$$

$$= 115 \text{ hari/tahun}$$

Tabel 4.22 Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek kanker terhadap pajanan benzena yang aman pada populasi karyawan *Control Room A*

Komponen	Data Awal	Variabel Aman
		Nilai Maks
Konsentrasi (C)	0.191 mg/m ³	0.1 mg/m ³
Waktu Pajanan (t_E)	12 jam/hari	6 jam/hari
Frekuensi Pajanan (f_E)	243 hari/tahun	115 hari/tahun

4.9.2 Manajemen Risiko kesehatan akibat benzene di *control room B*

a. Mengurangi konsentrasi selama pajanan *lifetime*

$$C = \frac{CSF \cdot R \cdot t_E \cdot f_E \cdot D_t}{W_b \cdot T_{avg}}$$

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

R : laju (rate) asupan (m³/jam)

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

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

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

W_b : berat badan (kg)

T_{avg} : periode waktu rata-rata, (D_t x 365 hari/tahun untuk zat nonkarsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

CSF: *Cancer Slope Factor*

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

R: 0.639 m³/jam

Dt: 40 tahun

tE: 12 jam/hari

Wb: 66.5 kg

fE: 243 hari/Tahun

Tavg: 70 tahun x 365 hari/tahun

$$C = \frac{CSF \cdot R \cdot t_E \cdot f_E \cdot D_t}{W_b \cdot T_{avg}}$$

$$0.0037 \text{ mg/kg/hari} = \frac{0.0037 \text{ mg/kg/hari} \cdot 0.639 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 12 \text{ jam/hari} \cdot 243 \text{ hari/tahun} \cdot 40 \text{ tahun}}{66.5 \text{ kg} \cdot 70 \text{ tahun} \cdot 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$C = \frac{0.0037 \cdot 0.639 \cdot 12 \cdot 243 \cdot 40}{66.5 \cdot 70 \cdot 365}$$

$$= 0.1 \text{ mg/m}^3$$

b. Mengurangi lama Pajanan (Te) selama Pajanan *Lifetime*

$$t_E = \frac{C \cdot W_b \cdot T_{avg}}{CSF \cdot R \cdot f_E \cdot D_t}$$

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

R : laju (rate) asupan (m³/jam)

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

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

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

W_b : berat badan (kg)

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

CSF: *Cancer Slope Factor*

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

R: 0.639 m³/jam

Dt: 40 tahun

C: 0.159 mg/m³

Wb: 66.5 kg

fE: 243 hari/Tahun

Tavg: 70 tahun \times 365 hari/tahun

$$t_E = \frac{CSF \cdot W_b \cdot t_{avg}}{C \cdot R \cdot D_t}$$

$$0.0037 \text{ mg/kg/hari} = \frac{0.159 \text{ mg/m}^3 \cdot 66.5 \text{ kg} \cdot 70 \text{ tahun} \cdot 365 \text{ hari/tahun}}{0.639 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 40 \text{ tahun}}$$

$$6 \text{ F} = D I = N E = \frac{0.159 \text{ mg/m}^3 \cdot 66.5 \text{ kg} \cdot 70 \text{ tahun} \cdot 365 \text{ hari/tahun}}{0.639 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 40 \text{ tahun}}$$

= 6 jam/hari

c. Mengurangi Frekuensi pajanan (f_E) selama pajanan *Lifetime*

$$f_E = \frac{CSF \cdot W_b \cdot t_{avg}}{C \cdot R \cdot D_t}$$

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

R : laju (rate) asupan (m³/jam)

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

f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)

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

W_b : berat badan (kg)

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

CSF: *Cancer Slope Factor*

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

R: 0.639 m³/jam

Dt: 40 tahun

C: 0.159 mg/m³

Wb: 66.5 kg

tE: 12 jam/hari

Tavg: 70 tahun x 365 hari/tahun

$$fE = \frac{CSF \cdot R \cdot C \cdot tE}{Wb \cdot Dt}$$

$$0.0037 \text{ mg/kg/hari} = \frac{0.001/0.0273 \cdot 0.639 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 0.159 \text{ mg/m}^3 \cdot 12 \text{ jam/hari}}{66.5 \text{ kg} \cdot 40 \text{ tahun}}$$

$$\left(\frac{AD}{N} = E \cdot D = Q \right) \quad J = \frac{AD}{Q}$$

$$= 128 \text{ hari/tahun}$$

Tabel 4.23 Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek kanker terhadap pajanan benzena yang aman pada populasi karyawan *Control Room B*

Komponen	Data Awal	Variabel Aman
		Nilai Maks
Konsentrasi (C)	0.159 mg/m ³	0.1 mg/m ³
Waktu Pajanan (t _E)	12 jam/hari	6 jam/hari
Frekuensi Pajanan (f _E)	243 hari/tahun	128 hari/tahun

4.10 Pembahasan

Analisis risiko lingkungan kerja *control room A* dan *B* harus dilaksanakan pasalnya nilai RQ dan ECR kedua lokasi tersebut sudah melebihi batas aman. Selanjutnya adalah dengan melakukan manajemen risiko dengan cara mengurangi konsentrasi *risk agent* dan waktu kontak yang terdiri dari mengurangi waktu pajanan dan frekuensi pajanan.

Setelah dilakukan pengambilan data di *control room A* dan *B* didapatkan konsentrasi benzene sebesar 0.06 ppm dan 0.05 ppm, dengan lama pajanan 12 jam/hari dan frekuensi pajanan 243 hari/tahun. Dilihat dari konsentrasi memang hasil tersebut masih dibawah NAB waktu kerja selama 12 jam yang sebesar 0.3 ppm. Akan tetapi hasil tersebut tidak dapat diabaikan karena efek kesehatan dapat timbul setelah belasan hingga puluhan tahun terpapar akibat sifatnya yang akumulatif.

Hasil perhitungan per individu untuk efek non karsinogenik benzene, hasil yang didapat untuk *control room* A pada pajanan *realtime* terdapat 6 orang memiliki nilai $RQ \leq 1$ dan 6 orang memiliki nilai $RQ > 1$, pada pajanan *lifetime* tidak terdapat orang yang memiliki nilai $RQ \leq 1$ akan tetapi terdapat 12 orang yang memiliki nilai $RQ > 1$. Pada *control room* B pada pajanan *realtime* terdapat 4 orang memiliki nilai $RQ \leq 1$ dan 6 orang memiliki nilai $RQ > 1$, pada pajanan *lifetime* tidak terdapat orang yang memiliki nilai $RQ \leq 1$ akan tetapi terdapat 10 orang yang memiliki nilai $RQ > 1$.

Hasil perhitungan per individu untuk efek karsinogenik benzene, hasil yang didapat untuk *control room* A pada pajanan *realtime* terdapat 6 orang memiliki nilai $ECR \leq 10^{-4}$ dan 6 orang memiliki nilai $ECR > 10^{-4}$, pada pajanan *lifetime* tidak terdapat orang yang memiliki nilai $ECR \leq 10^{-4}$ akan tetapi terdapat 12 orang yang memiliki nilai $ECR > 10^{-4}$. Pada *control room* B pada pajanan *realtime* terdapat 4 orang memiliki nilai $ECR \leq 10^{-4}$ dan 6 orang memiliki nilai $ECR > 10^{-4}$, pada pajanan *lifetime* tidak terdapat orang yang memiliki nilai $ECR \leq 10^{-4}$ akan tetapi terdapat 10 orang yang memiliki nilai $ECR > 10^{-4}$.

Hasil perhitungan per individu untuk efek non karsinogenik PM_{10} , hasil yang didapat untuk B pada pajanan *realtime* terdapat 9 orang memiliki nilai $RQ \leq 1$ dan 1 orang memiliki nilai $RQ > 1$, pada pajanan *lifetime* di *control room* B tidak terdapat orang yang memiliki nilai $RQ \leq 1$ akan tetapi terdapat 10 orang yang memiliki nilai $RQ > 1$.

Dalam kasus ini hal yang perlu diperhatikan adalah waktu pajanan selama 12 jam/hari, frekuensi pajanan 243 hari/tahun dan durasi pajanan yang cukup tinggi. Karena semakin lama pekerja terkena paparan maka konsentrasi senyawa tersebut dalam tubuh akan semakin besar (Susilowati, 2011). Lama kerja yang tertera pada Undang-Undang No.13 tahun 2003 tentang ketenagakerjaan adalah 8 jam lebih dari itu akan berdampak buruk bagi pekerja, walaupun konsentrasi pajanan tergolong kecil bahkan dibawah NAB akan tetapi dalam kurun waktu tertentu dapat menimbulkan efek karsinogenik. Sementara untuk durasi pajanan bila melihat UU RI No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan, dengan memberikan kontrak kerja maksimal 3 tahun (Satmoko, 2004).

Dengan melakukan percobaan *trial and error* pada durasi pajanan pada pekerja yang memiliki nilai $RQ > 1$ yang berarti dapat mengalami efek non

karsinogenik dapat diketahui bahwa durasi pajanan yang dapat menimbulkan efek kesehatan non karsinogenik adalah selama 19 tahun. Bagi para pekerja yang sudah bekerja selama 19 tahun di *control room* maka sudah terpapar benzene dengan nilai $RQ > 1$ atau telah mengalami efek gejala non karsinogenik. Sementara untuk efek karsinogenik $ECR > 10^{-4}$ setelah dilakukan percobaan *trial and error* didapat pekerja yang sudah bekerja selama 23 tahun dapat mengalami efek karsinogenik. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Mahawati (2005), dimana semakin lama pekerja terpapar akan berpengaruh pada derajat toksisitas yang dialami pekerja karena adanya akumulasi zat toksik dalam tubuh. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR) menyebutkan durasi pajanan zat kimia berbahaya yang diperbolehkan pada seorang pekerja adalah 3 tahun dan jika telah melebihi angka yang telah ditetapkan maka harus dilakukan *rolling* pekerja atau pemberhentian pekerja (ATSDR, 2015).

Dari hasil keluhan pekerja *Control Room* terdapat beberapa gejala yang mengindikasikan bahwa beberapa pekerja sudah ada yang mengalami efek gejala non karsinogenik seperti pusing, sakit kepala, sesak nafas dan mual. Setelah dilakukan perhitungan beberapa pekerja memang ada yang memiliki nilai $RQ > 1$ dan ini membuktikan bahwa gejala Pusing, sakit kepala, sesak nafas dan mual ini dapat berasal dari paparan benzene dan PM_{10} ataupun penyakit turunan seperti asma yang timbul akibat paparan PM_{10} yang sudah lama mereka rasakan.

Gejala penyakit yang mengindikasikan terpaparnya pekerja terhadap benzene diperparah dengan beberapa pekerja yang menjadi perokok aktif, karena pada asap rokok mengandung senyawa hidrokarbon dan pada rokok terjadi proses pembakaran tidak sempurna yang menghasilkan Benzena (Yuniati, 2016). Hal ini tentu menjadi pertimbangan bahwasannya paparan benzene bukan hanya berasal dari *waste pit* saja tetapi berasal dari rokok yang mereka hisap setiap harinya sehingga akumulasi benzene yang ada di tubuh pekerja semakin besar dan ini bukan hal yang baik bagi para pekerja.

Menurut Diana (2014), Efek toksik pajanan benzene dapat dirasakan tubuh dalam jangka pendek dan jangka panjang. Pada jangka pendek pajanan benzene akan berefek pada permasalahan tenggorokan dan iritasi mata. Namun jika pajanan jangka pendek tapi konsentrasi cukup tinggi pajanan benzene akan mengakibatkan narcosis: pusing, sakit kepala, timbulnya rasa mengantuk, bingung, tremor, tidak sadarkan

diri. Pada pajanan jangka panjang efek kesehatan akibat toksisitas benzena adalah pada sumsum tulang yang bertugas dalam pembuatan sel-sel darah sehingga dapat menyebabkan leucopenia, anemia, dan thrombositopenia serta pajanan benzene dalam waktu lama dapat menimbulkan leukemia.

Menurut Ramon (20017), Anemia aplastik adalah adalah efek benzena yang lebih parah dan terjadi bila sumsum tulang terganggu fungsinya. Gangguan terhadap sumsum tulang terjadi dalam 2 tahap: pertama hiperplasia yaitu bertambahnya sintesis elemen sel darah, kedua yaitu hipoplasia atau berkurangnya sintesis elemen sel darah. Selama penyakit berkembang, fungsi sumsum tulang terus berkurang dan sumsum tulang menjadi bersifat nekrotik dan dipenuhi oleh jaringan lemak. Keadaan ini disebut displasia myeloblastik, dan pernah diderita tenaga kerja yang terpajan benzena.

Menurut Abidin (2008), Tenaga kerja yang terpapar kadar rendah secara kronis, menunjukkan tanda-tanda gangguan susunan saraf pusat, dan gangguan pandangan. Pengaruh utama keracunan benzene kronis adalah terhadap susunan saraf pusat yang mungkin tidak dapat segera dikenali karena gejalanya tidak spesifik seperti sakit kepala, anoreksia, vertigo, dan sebagainya. Sedangkan konsentrasi yang sangat tinggi menyebabkan sensitisasi jantung terhadap katekolamin dengan gejala denyut nadi cepat, sakit kepala, muntah, kehilangan kesadaran. Pada penelitian terakhir ternyata benzen menurunkan tekanan darah arteri dan perifer. Gejala ini akan hilang bila pemaparan dihentikan.

OHSAS 18001 (2007), memberikan pedoman pengendalian risiko yang lebih spesifik untuk bahaya K3 dengan menggunakan pendekatan seperti eliminasi, substitusi, *engineering control* (pendekatan teknis), *administrative control* (pengendalian administrasi), dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Karena pajanan benzena di *control room* A dan B ini berasal dari sumber tetap yang tidak bisa dihilangkan karena digunakan untuk kepentingan setiap perusahaan, maka pendekatan eliminasi dan substitusi tidak bisa diterapkan.

Salah satu cara menurunkan konsentrasi risk agent adalah dengan mengganti nilai intake dengan nilai CSF, karena nilai CSF dapat dianggap sebagai nilai asupan aman, nilai yang menggantikan nilai *intake* adalah nilai $CSF = 0.0273$ mg/kg/hari atau 0.0037 mg/kg/hari.

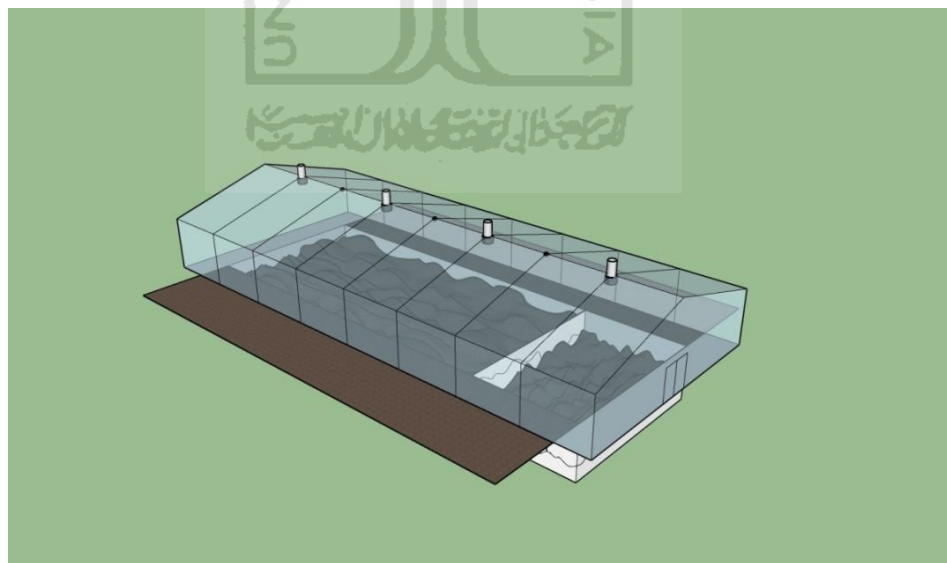
Pilihan yang dapat diambil sebagai upaya pengendalian efek karsinogenik bagi populasi karyawan *control room* A dan B, dengan konsentrasi pajanan benzena sebesar 0.191 mg/m^3 dan 0.159 mg/m^3 , lama pajanan 12 jam/hari, frekuensi pajanan 243 hari/tahun dengan berat badan 73.5 kg dan 66.5 kg.

Konsentrasi pajanan benzena terhadap karyawan *Control Room* A dan B tergantung pada kandungan benzena dalam minyak mentah (*Crude Oil*). Sedangkan variable waktu berhubungan dengan ketentuan/peraturan kerja yang telah disepakati antara karyawan dan manajemen *control room* A dan B, yang mengaju kepada peraturan ketenagakerjaan. Hasil perhitungan langkah manajemen risiko terhadap konsentrasi, lama, dan frekuensi berturut-turut adalah untuk *control room* A dan B 0.1 mg/m^3 ; 0.1 mg/m^3 , 6 jam/hari; 6 jam/hari, 115 hari/tahun; 128 hari/tahun. maka pilihan manajemen risiko yang penulis berikan dengan menambah jumlah shift dengan penerapan jam kerja selama 6 jam/hari dapat mengurangi intensitas karyawan terpajan benzene dan yang terakhir adalah memindahkan *control room* ketempat yang sedikit lebih jauh dari *waste pit*.

Maka dari itu pengendalian risiko yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan *engineering control* (pendekatan teknis), *administrative control* (pengendalian administrasi), dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Pertama *engineering control* (pendekatan teknis) adalah dengan mengisolasi *waste pit* dengan menambah penutup layaknya rumah kaca yang diberi saluran gas dan penghisap udara agar kandungan benzene dapat disedot dan dibuang di daerah yang tidak banyak penduduk/ menggunakan *stack* (cerobong asap) yang tinggi (gambar 4.3) atau bila tidak bisa maka perlu dipertimbangkan untuk memindahkan lokasi *control room*, *administrative control* (pengendalian administrasi) adalah dengan menambah jumlah shift menjadi 4 shift sehingga pekerja dapat bekerja bergantian setiap harinya dengan mempertahankan 2 shift di setiap harinya atau menambah jumlah shift menjadi 8 sehingga 1 hari menggunakan 4 shift bergantian selama 6 jam dan 4 shift sisanya untuk keesokan harinya sehingga mengurangi paparan benzene dari segi waktu dan frekuensi pajanan, dan yang terakhir adalah dengan menggunakan APD karena dari hasil kuesioner juga terbukti bahwa beberapa pekerja masih jarang menggunakan APD seperti masker untuk bekerja padahal itu sangat penting untuk kesehatan mereka.

4.11 Komunikasi Risiko

Dari hasil yang didapat maka disarankan pada pihak PT X melakukan pencegahan dengan melakukan pelatihan, pembuatan slogan untuk mengingatkan pekerja, pengawasan dan melakukan rekayasa pengelolaan di setiap dengan pengendalian sebagai berikut: *engineering control* dengan membangun sebuah penutup pada waste pit yang ada di *control room* A dan B dengan menambah penutup layaknya rumah kaca yang diberi saluran gas dan penghisap udara agar kandungan benzene dapat disedot dan dibuang di daerah yang tidak banyak penduduk/ menggunakan *stack* (cerobong asap) yang tinggi (gambar 4.3) agar para pekerja tidak terpapar benzene yang terbawa angin dan masuk kedalam *control room*. Lalu melakukan *administrative control* dengan menambah jumlah shift yang ada, dari sebelumnya terdapat 3 shift menjadi 4 shift dengan 1 hari terdapat 2 shift sehingga pekerja bekerja dengan sistem *ON-OFF-ON* berturut-turut atau menggunakan sistem yang sama dengan 1 harinya terdapat 4 shift yang berganti selama 6 jam sehingga jumlah shift menjadi 8 shift karena dengan menambah shift ini dapat mengurangi waktu pajanan dan frekuensi pajanan yang ada. Terakhir adalah penggunaan APD karena setelah diteliti para pekerja masih jarang memakai APD dalam hal ini adalah masker saat bekerja jadi harus lebih di edukasi dan diawasi lagi oleh pihak PT X.



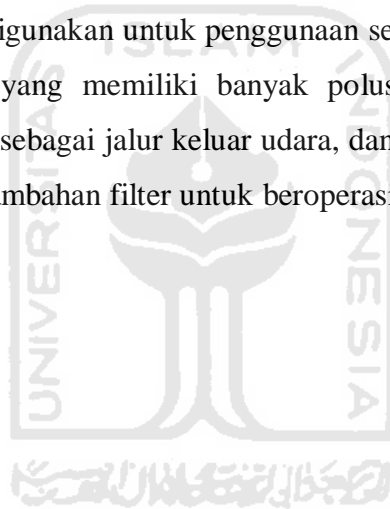
Gambar 6.3 Desain Penutup *Waste Pit*



Sumber: TopChinaSupplier, diakses tahun 2020

Gambar 7.4 Half Mask

Penggunaan *half mask* dapat menjadi cara pencegahan terpaparnya pekerja dari benzene di udara yang paling mudah untuk dilakukan. Masker Respirator *Half Mask Double* merupakan alat tambahan yang dapat difungsikan untuk menyaring kotoran, debu atau racun hingga 90%. Dapat digunakan untuk penggunaan secara umum, di lingkungan pabrik, dan lingkungan kerja yang memiliki banyak polusi. *Half mask double* ini memiliki 2 lubang katup *exhale* sebagai jalur keluar udara, dan 2 katup *inhale* untuk jalur masuknya udara. Memerlukan tambahan filter untuk beroperasi.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Konsentrasi benzene *control room* A sebesar 0.06 ppm dan *control room* B sebesar 0.05 ppm, hasil tersebut masih dibawah nilai NAB untuk waktu kerja 12 jam yaitu sebesar 0.3 ppm. Akan tetapi dengan konsentrasi tersebut terbukti melalui analisis yang dilakukan dapat mengakibatkan efek nonkarsinogenik dan karsinogenik pada para pekerja dalam waktu pajanan *realtime* maupun *lifetime*. Sementara itu pada pajanan PM₁₀ di *control room* B dengan konsentrasi 0.04 mg/m³ pada waktu pajanan *realtime* menimbulkan efek nonkarsinogenik pada 1 orang tetapi pada waktu pajanan *lifetime* dapat mengakibatkan efek kesehatan nonkarsinogenik pada seluruh pekerja *control room* B. Hal ini diakibatkan oleh waktu pajanan dan frekuensi pajanan yang lama yakni 12 jam/hari dan 243 hari/tahun pada kasus 1 orang di *control room* B terpapar PM₁₀ diakibatkan sudah bekerja selama 30 tahun dan terakhir diakibatkan para pekerja yang tidak menggunakan *half mask* pada saat bekerja dan kebiasaan pintu dan jendela *control room* yang terbuka.
2. Pengendalian risiko dapat dimulai dari Eliminasi dan substitusi akan tetapi 2 hal tersebut tidak bisa dilakukan karena kita tidak bias menghilangkan dan mengganti *waste pit* tersebut. Maka pengendalian risiko yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan *administrative control* dengan menambah shift yang ada yang sebelumnya terdapat 3 shift menjadi 4 shift dengan 1 hari terdapat 2 shift berganti setiap 12 jam sehingga pekerja dapat bekerja dengan sistem *ON-OFF-ON* berturut-turut atau menggunakan sistem yang sama dengan 1 harinya terdapat 4 shift yang berganti selama 6 jam sehingga jumlah shift menjadi 8 shift karena dengan menambah shift ini dapat mengurangi waktu pajanan menjadi 6 jam/hari dan frekuensi pajanan menjadi 122 hari/tahun. Kedua adalah *engineering control* (pendekatan teknis) disarankan pihak PT X membangun sebuah penutup disetiap *waste pit* layaknya sebuah rumah kaca agar kandungan benzena di udara tidak mencemari lingkungan yang dilengkapi dengan sebuah saluran penghisap udara yang disalurkan ke daerah yang tidak terdapat pemukiman dan jauh dari daerah pekerja atau dibangun sebuah cerobong yang tinggi untuk membuang kadar benzena agar kandungan benzena tidak mencemari daerah perkantoran ataupun pemukiman dan dilengkapi *sprinkler* untuk mengantisipasi terjadinya kebakaran

seperti pada gambar 4.3. Terakhir penggunaan dan pengawasan APD harus dijalankan untuk menertibkan para pekerja untuk selalu menggunakan APD lengkap saat bekerja demi melindungi kesehatan para pekerja.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi Manajemen Perusahaan

- a. Membangun sebuah penutup di *Waste pit* dan menyalurkan udara yang mengandung benzena ke daerah yang tidak ada pekerja maupun pemukiman atau membangun sebuah cerobong untuk melepaskan udara yang mengandung benzena tersebut. Memindahkan *control room* dilokasi yang berjauhan dengan *waste pit* sebagai sumber benzena
- b. menambah shift yang ada yang sebelumnya terdapat 3 shift menjadi 4 shift dengan 1 hari terdapat 2 shift berganti setiap 12 jam sehingga pekerja dapat bekerja dengan sistem *ON-OFF-ON* berturut-turut atau menggunakan sistem yang sama dengan 1 harinya terdapat 4 shift yang berganti selama 6 jam sehingga jumlah shift menjadi 8 shift karena dengan menambah shift ini dapat mengurangi waktu pajanan dan frekuensi pajanan yang diterima oleh pekerja.
- c. Pemeriksaan berkala terhadap kadar Biomarker pajanan benzena untuk memantau kondisi konsentrasi benzena di udara ambien atau area pernapasan karyawan di ini dan lainnya.

2. Bagi Mahasiswa atau Peneliti Lainnya

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pajanan benzena di lokasi lainnya. Selain itu dapat dilakukan dengan menganalisis kadar Biomarker di setiap pekerja dimanapun yang kontak dengan benzena, tidak hanya di *Control Room* saja tetapi masih banyak bidang-bidang lain yang dapat terpapar oleh benzena ini dan tentu saja berisiko terhadap kesehatannya.

3. Bagi Pekerja

Perlu diperhatikan lagi bahwasannya pemakaian APD harus selalu dipatuhi terutama dalam hal ini adalah pemakaian *Half Mask* seperti gambar (4.4), karena ternyata dari hal yang sepele seperti masker saja dapat berakibat fatal karena dapat menyebabkan efek kanker. Mungkin efeknya tidak akan terasa sekarang tapi bisa terjadi di masa tua nanti. Lalu pekerja dapat memberi saran kepada pihak manajemen untuk memindahkan lokasi *control room* agar berjauhan dengan *waste pit*, dan yang terakhir adalah kebiasaan merokok yang perlu dikurangi.





DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Zainal, K. 2018. **Analisis Pengaruh Konsentrasi Benzena(C₆H₆) di Tempat Kerja Terhadap Kadar Fenol dalam Urine pada Tenaga Kerja Bagian Pengecatan PT. Maruki Internasional Indonesia.** Makassar
- Abrianto, H. 2004. **Analisis Risiko pencemaran Debu Terhirup Terhadap Siswa Selama Berada Di SDN 1 Pondok Cina, Kota Depok.** Skripsi. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Indonesia.
- American Conference of Governmental Hygienists (ACGIH). (2001). **Benzene.** America
- Arnold, S.M., Angerer, J., Boogaard, P.J., Hughes, M.F., O'Lone, R.B., Robinson, S.H., Schanatter, A.R. 2013. **The Use of biomonitoring data in exposure and human health risk assessment: benzene case study.** Critical Review in Toxicology, 43 (2): 119-153.
- Alves, C. A., et.all. 2017. **Polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives (nitro-PAHs, oxygenated PAHs and azaarenes) in PM from Southern European cities, Science of the Total Environment.** 595:494-504
- Agency for Toxic Substances and Disease Register (ATSDR). 2005. **Toxicological Profile for Nickel.** Atlanta.
- Agency for Toxic Substances and Disease Register (ATSDR). 2007. **Toxicological Profile for Xylene.** Atlanta
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2015. **Addendum To The Toxicological Profile For Benzene.** Atlanta
- Agusnar. 2008. **Analisa Pencemaran dan Pengendalian Pencemaran.** Medan: USU Press

- Chen, M and Chan, A. 1999. **China's "Market Economics in Command": Footwear Workers' Health in Jeopardy**. International Journal of Health Services. Volume 29, Number 4, Pages 793-811, Baywood Publishing Co., In
- Dimitriou, K. (2019). **Allocation of Excessive Cancer Risk Induced by Benzene Inhalation in 11 Cities Of Europe in Atmospheric Circulation Regimes**. Atmospheric Environment
- Environmental Health Risk Assessment (enHealth). 2002. **Guidelines for assessing human health risks from environmental hazards**. Commonwealth of Australia.
- Environmental Protection Agency - Integrated Risk Information System (EPA-IRIS). 2002. **Toxicological Review of Benzene (Noncancer Effect)**. Washington.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2005. **2005 National Air Toxics Assessment**. Washington.
- Fahrudhi, Heru. 2016. **Risiko Menderita Kanker dan non kanker pada pekerja terpapar benzena di home industry sepatu kelurahan tambak oso wilangan Surabaya**. Tangerang: PT.Roda Konstruksi Utama
- Haryanto, Budi. 2006. **Budi Haryanto on Media**. Depok : Department of Environmental Health Faculty of Public Health University of Indonesia.
- Haen, M.T., 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
- Hämäläinen. 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

- Indrawan, Dwito. 2014. **BTX Exposure Analysis Against Workers in PT. Pertamina RU IV Cilacap**. Jurnal Teknik Lingkungan. Vol 2. No:20
- Institute of Peace and Conflict Studies (IPCS). 1993. **Environmental Health Criteria 150: Benzene. International Programme on Chemical Safety**. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Institute of Peace and Conflict Studies (IPCS). 1996. **Environmental Health Criteria 186: Ethylbenzene. International Programme on Chemical Safety**. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Institute of Peace and Conflict Studies (IPCS). 2004. **Risk Assessment Terminology**. Geneva.
- Internasional Labour Organization (ILO). (2013). **The prevention of occupational diseases**. Switzerland:ILO
- Jacobson, G dan McLean, S. 2003. **Biological monitoring of low level occupational xylene exposure and therole of recent exposure**. Annual Report Occupt Hygiene. Vol 4. No:47
- Koren. 2003. **Handbook of Environmental Health Volume 2: Pollutant Interactions in Air, Soil and Water**. Dalam: Huboyo, H. S., dan Budihardjo, M. A. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Kurniawidjaja, M. 2010. **Teori dan Aplikasi Kesehatan Kerja**. Jakarta: UI-Press
- Lee, S. C., Chiu, M. Y., Ho, K. F., Zou, S. C., & Wang, X. (2002). **Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong**. Chemosphere, 48, 375 - 382.
- Lestari, Ayu, R. 2019. **Analisis Risiko Karsinogenik Paparan PM₁₀ Terhadap Pedagang di Kelurahan Pasar Jambi**. Jambi: Universitas Jambi.
- Louvar FL and Louvar BD. 1998. **Health and Environment Risk Analysis**. New Jersey: Prentice Hall PTR. Vol.2

- Mahawati E. 2005. **Hubungan antara kadar fenol dalam urin dengan kadar hb, eritrosit, trombosit dan leukosit studi pada tenaga kerja di industri karoseri CV Laksana Semarang.** Semarang
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2003. **Manual of Analytical Methods, Hydrocarbon Aromatic.** CDC.
- National Toxicology Program (NTP). 2007. **Toxicology and Carcinogenesis Study of Benzene.** U.S. Department of Health and Human Services
- Occupational Health and Safety Assessment Series (OHSAS) 18001:2007. **Occupational Health and Safety Management System :Requirements**
- Pedoman Analisa Resiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). 2012. **Petunjuk Teknis Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan.**
- PT X. 2018. **Laporan Hasil Pemantauan Higiene Industri PT X.** PT. Z, Jakarta.
- Rahman. 2007. **Public Health Assessment: Model Kajian Prediktif Dampak Lingkungan dan Aplikasinya Untuk Manajemen Risiko Kesehatan.** Depok.
- Ramon, A. 2007. **Analisis Paparan Benzena Terhadap Profil Darah Pada Pekerja Industri Pengolahan Minyak Bumi.** Tesis. Program Pascasarjana, Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- Ramli, S (2010). **Manajemen Risiko: Dalam perspektif K3 OHS Risk Management.** Jakarta: Dian Rakyat.
- Rajkokila., Shajithanoop., and Usharani. (2010). **Nuclear Anomalies in Exfoliated Buccal Epithelial Cell of Petrol Station Attendants in Taminadu, Sould India.** Journal of Medical Genetics and Genomics : p. 18-22.
- Smith, M.T. 2010. **Advances in Understanding Benzene Health Effects and Susceptibility.** Annual Review of Public Health Vol. 31: 133-148.
- Society, A. C. (2013). **Benzene.**

- Susilowati B. 2011. **Resiko Kesehatan Terhadap Paparan Benzene Pada Pekerja Industri Sepatu Kulit Di PIK Pulogadung**. Jakarta
- Sukadi, Abdur Rahman. 2014. **Analisis Risiko Kesehatan Paparan PM₁₀ dan SO₂ di Kelapa Gading Jakarta Utara**. Jakarta: UI
- Satmoko W. 2004. **Risiko Paparan Benzene Terhadap Pekerja dan Cara Pemantauan Biologis**. Cermin Dunia Kedokteran.
- Tanasorn T., Kalaya Z., and Anusorn R. (2012). **Relative Study on Blood BTEX, Testosterone Hormone, Kidney and Liver Functions in Gasoline Station Workers, Thailand**. International Research Journal of Environment Sciences. December 2012. Vol. 1(5). p. 48-53.
- 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
- The National Toxicology Program (NTP). 2005. **National Toxicology Program Board of Scientific Counselors**. Research Triangle Park, North California
- Yuniati, Ita. 2106. **Hubungan Praktik Kerja, Paparan Benzene dan Kebiasaan Merokok dengan Konsentrasi Benzene dalam Tubuh**. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang
- Wijayanti, R. N. 2010. **Analisis Pengaruh Kepadatan Lalu Lintas Terhadap Konsentrasi PM₁₀**. Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang
- World Health Organization. 2000. **Redifining Obesity and Its Treatment**.
- World Health Organization. 2002. **Reducing Risk, Promoting Healthy Life**.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Konsentrasi benzena di udara Control Room A dan B

Lokasi/titik Pengukuran	Nama Zat	Bentuk Fisik	Hasil Pengukuran (ppm)	Hasil Pengukuran (mg/m³)	NAB (ppm)*
Control Room A	Benzena (C ₆ H ₆)	Gas	0.06	0.1913	0,5
Control Room B	Benzena (C ₆ H ₆)	Gas	0.05	0.1594	0,5

Lampiran 2 Konsentrasi PM10 di Control Room B

Lokasi/titik Pengukuran	Nama Zat	Bentuk Fisik	Hasil Pengukuran (mg/m³)	NAB (ppm)*
Control Room B	PM10	Partikel	0.0400	<0,15

Lampiran 3 Distribusi Pola Paparan Benzena di udara Control Room A

Nomor Responden	Waktu Paparan / t_E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f_E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W_b (kg)
A1	12	243	26	50	90
A2	12	243	23	43	75
A3	12	243	13	45	61
A4	12	243	24	43	68
A5	12	243	24	46	53
A6	12	243	18	41	87
A7	12	243	25	49	75
A8	12	243	0.42	44	70
A9	12	243	12	36	84
A10	12	243	11	36	75
A11	12	243	28	52	73
A12	12	243	6	42	71

Lampiran 4 Distribusi Pola Paparan Benzena di udara Control Room B

Nomor Responden	Waktu Paparan / t_E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f_E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W_b (kg)
Narsam	12	243	30	52	60
Antoni Rifai	12	243	3	44	72
Sugiyanto	12	243	29	53	67
Suharto	12	243	26	52	61
Bajarudin	12	243	26	52	62
Rahmat Digdayanto	12	243	9	47	74
Nurhidayat	12	243	23	48	68
Sugiarto	12	243	3	41	66
M. Arie Prasetya	12	243	7	28	63
Budi Setiawan	12	243	24	50	74

Lampiran 5 Distribusi Pola Paparan PM10 di udara Control Room B

Nomor Responden	Waktu Paparan / t_E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f_E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W_b (kg)
B1	12	243	30	52	60
B2	12	243	3	44	72
B3	12	243	29	53	67
B4	12	243	26	52	61
B5	12	243	26	52	62
B6	12	243	9	47	74
B7	12	243	23	48	68
B8	12	243	3	41	66
B9	12	243	7	28	63
B10	12	243	24	50	74

Lampiran 6 Distribusi status merokok pada karyawan control room A

Karakteristik Responden (Status Merokok)	Jumlah	Presentase (%)
Merokok	5	41.67
Tidak Merokok	7	58.33

Lampiran 7 Distribusi status merokok pada karyawan control room B

Karakteristik Responden (Status Merokok)	Jumlah	Presentase (%)
Merokok	3	30
Tidak Merokok	7	70

Lampiran 8 Data keluhan kesehatan terhadap pajanan benzena pada karyawan control room A

Keluhan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Pusing	4	33.3
Sesak Nafas	3	25
Mual	2	16.67
Muntah	0	0
Tremor	0	0
Sakit Kepala	4	33.33
Detak Jantung Tidak Teratur	3	25
Iritasi Saluran Pernafasan	2	16.67
Radang Paru-Paru	1	8.3
Dermatitis	0	0
Kerusakan Sistem saraf Tulang Belakang	0	0
Tumor	0	0
Pembengkakan Otak	0	0
Anemia Aplastik	0	0

Lampiran 9 Data keluhan kesehatan terhadap pajanan benzena pada karyawan control room B

Keluhan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Pusing	2	20
Sesak Nafas	0	0
Mual	1	10
Muntah	0	0
Tremor	0	0
Sakit Kepala	2	20
Detak Jantung Tidak Teratur	0	0
Iritasi Saluran Pernafasan	0	0
Radang Paru-Paru	0	0
Dermatitis	0	0
Kerusakan Sistem saraf Tulang Belakang	0	0
Tumor	0	0
Pembengkakan Otak	0	0
Anemia Aplastik	0	0

Lampiran 10 Distribusi Inhalation Rate (R) terhadap pajanan benzena di Control Room A

Nomor Responden	<i>Inhalation Rate /R</i> (<i>m³/jam</i>)
A1	0.706
A2	0.665
A3	0.620
A4	0.644
A5	0.589
A6	0.698
A7	0.665
A8	0.650
A9	0.690
A10	0.665
A11	0.659
A12	0.653
Rata-Rata	0.659

Lampiran 11 Distribusi Inhalation Rate (R) terhadap pajanan benzena di Control Room B

Nomor Responden	<i>Inhalation Rate</i> <i>/R (m³/jam)</i>
B1	0.616
B2	0.656
B3	0.641
B4	0.620
B5	0.623
B6	0.662
B7	0.644
B8	0.637
B9	0.627
B10	0.662
Rata-Rata	0.639

Lampiran 12 Nilai intake (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan pajanan benzena realtime dan lifetime pada karyawan control room A dan B

A			B		
Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	Lifetime (mg/kg/hari)	Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	Lifetime (mg/kg/hari)
A1	0.0104	0.0160	B1	0.0131	0.0175
A2	0.0104	0.0181	B2	0.0012	0.0155
A3	0.0067	0.0207	B3	0.0118	0.0163
A4	0.0116	0.0193	B4	0.0112	0.0173
A5	0.0136	0.0227	B5	0.0111	0.0171
A6	0.0074	0.0164	B6	0.0034	0.0152
A7	0.0113	0.0181	B7	0.0093	0.0161
A8	0.0002	0.0190	B8	0.0012	0.0164
A9	0.0050	0.0168	B9	0.0030	0.0169
A10	0.0050	0.0181	B10	0.0091	0.0152
A11	0.0129	0.0184	Rata-Rata	0.0074	0.0164
A12	0.0028	0.0188			
Rata-Rata	0.0081	0.0185			

Lampiran 13 Distribusi nilai intake (asupan) efek karsinogenik berdasarkan pajanan benzena realtime dan lifetime pada karyawan control room A dan B

A			B		
Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	Lifetime (mg/kg/hari)	Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	Lifetime (mg/kg/hari)
A1	0.0045	0.0069	B1	0.0056	0.0075
A2	0.0045	0.0078	B2	0.0005	0.0066
A3	0.0029	0.0089	B3	0.0051	0.0070
A4	0.0050	0.0083	B4	0.0048	0.0074
A5	0.0058	0.0097	B5	0.0048	0.0073
A6	0.0032	0.0070	B6	0.0015	0.0065
A7	0.0049	0.0078	B7	0.0040	0.0069
A8	0.0001	0.0081	B8	0.0005	0.0070
A9	0.0022	0.0072	B9	0.0013	0.0073
A10	0.0021	0.0078	B10	0.0039	0.0065
A11	0.0055	0.0079	Rata-Rata	0.0032	0.0070
A12	0.0012	0.0081			
Rata-Rata	0.0035	0.0079			

Lampiran 14 Distribusi nilai Risk Quotient (RQ) berdasarkan pajanan benzena selama realtime dan lifetime di control room A dan B

A					B				
Nomor Responden	Real time	Tingkat Resiko	Lifet ime	Tingkat Resiko	Nomor Responden	Real time	Tingkat Resiko	Lifet ime	Tingkat Resiko
A1	1.21	B	1.86	B	B1	1.52	B	2.03	B
A2	1.21	B	2.11	B	B2	0.14	TB	1.80	B
A3	0.78	TB	2.41	B	B3	1.37	B	1.89	B
A4	1.35	B	2.25	B	B4	1.31	B	2.01	B
A5	1.58	B	2.64	B	B5	1.29	B	1.99	B
A6	0.86	TB	1.91	B	B6	0.40	TB	1.77	B
A7	1.32	B	2.11	B	B7	1.08	B	1.87	B
A8	0.02	TB	2.21	B	B8	0.14	TB	1.91	B
A9	0.59	TB	1.95	B	B9	0.34	TB	1.97	B
A10	0.58	TB	2.11	B	B10	1.06	B	1.77	B
A11	1.50	B	2.14	B	Rata-Rata	0.87	TB	1.90	B
A12	0.33	TB	2.18	B					
Rata-Rata	0.94	TB	2.16	B					

Lampiran 15 Persentase Nilai Risk Quotient pajanan benzene selama realtime dan lifetime Karyawan control room A dan B

A				
	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	6	50	12
	$RQ \geq 1$	6	50	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	0	0	12
	$RQ \geq 1$	12	100	
B				
	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	4	40	10
	$RQ \geq 1$	6	60	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	0	0	10
	$RQ \geq 1$	10	100	

Lampiran 16 Distribusi nilai Excess Cancer Risk (ECR) pajanan benzena selama realtime dan lifetime berdasarkan perhitungan individu pada karyawan control room A

A					B				
Nomor Responden	Realtime	Tingkat Risiko	Lifetime	Tingkat Risiko	Nomor Responden	Realtime	Tingkat Risiko	Lifetime	Tingkat Risiko
A1	0.00012	B	0.00019	B	B1	0.00015	B	0.00020	B
A2	0.00012	B	0.00021	B	B2	0.00001	TB	0.00018	B
A3	0.00008	TB	0.00024	B	B3	0.00014	B	0.00019	B
A4	0.00014	B	0.00023	B	B4	0.00013	B	0.00020	B
A5	0.00016	B	0.00027	B	B5	0.00013	B	0.00020	B
A6	0.00009	TB	0.00019	B	B6	0.00004	TB	0.00018	B
A7	0.00013	B	0.00021	B	B7	0.00011	B	0.00019	B
A8	0.00000	TB	0.00022	B	B8	0.00001	TB	0.00019	B
A9	0.00006	TB	0.00020	B	B9	0.00003	TB	0.00020	B
A10	0.00006	TB	0.00021	B	B10	0.00011	B	0.00018	B
A11	0.00015	B	0.00022	B	Rata-Rata	0.00009	TB	0.00019	B
A12	0.00003	TB	0.00022	B					
Rata-Rata	0.00009	TB	0.00022	B					

Lampiran 17 Persentase nilai Excess Cancer Risk (ECR) pajanan benzena selama realtime dan lifetime berdasarkan perhitungan individu pada karyawan control room A dan B

A				
	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
ECR REALTIME	$< 10^{-4}$	6	50	12
	$\geq 10^{-4}$	6	50	
ECR LIFETIME	$< 10^{-4}$	0	0	12
	$\geq 10^{-4}$	12	100	
B				
	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
ECR REALTIME	$< 10^{-4}$	4	40	10
	$\geq 10^{-4}$	6	60	
ECR LIFETIME	$< 10^{-4}$	0	0	10
	$\geq 10^{-4}$	10	100	

Lampiran 18 Nilai intake (asupan) efek nonkarsinogenik berdasarkan pajanan PM10 realtime dan lifetime pada karyawan control room B

Nomor Responden	Realtime (mg/kg/hari)	lifetime (mg/kg/hari)
B1	0.0044	0.0059
B2	0.0004	0.0049
B3	0.0038	0.0053
B4	0.0038	0.0058
B5	0.0037	0.0057
B6	0.0011	0.0048
B7	0.0030	0.0052
B8	0.0004	0.0054
B9	0.0010	0.0056
B10	0.0029	0.0048
Rata-Rata	0.0024	0.0053

Lampiran 19 Distribusi nilai Risk Quotient (RQ) berdasarkan pajanan PM10 selama realtime dan lifetime di control room B

Nomor Responden	Realtime	Tingkat Resiko	Lifetime	Tingkat Resiko
B1	1.11	B	1.48	B
B2	0.09	TB	1.24	B
B3	0.96	TB	1.33	B
B4	0.95	TB	1.46	B
B5	0.93	TB	1.43	B
B6	0.27	TB	1.20	B
B7	0.75	TB	1.31	B
B8	0.10	TB	1.35	B
B9	0.25	TB	1.41	B
B10	0.72	TB	1.20	B
Rata-Rata	0.61	TB	1.34	B

Lampiran 20 Persentase Nilai Risk Quotient pajanan PM10 selama realtime dan lifetime Karyawan control room B

	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	9	90	10
	$RQ \geq 1$	1	10	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	0	0	10
	$RQ \geq 1$	10	100	

Lampiran 21 Nilai Rata-rata Populasi

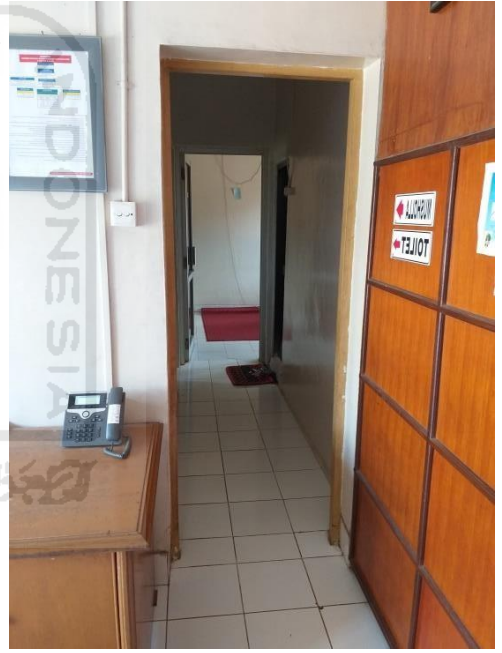
Lokasi	Nama Zat	Hasil Pengukuran (mg/m ³)	Waktu Paparan / t _E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f _E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Berat Badan / W _b (kg)	Inhalation Rate /R (m ³ /jam)
A	Benzene	0.191	12	243	20.5	73.5	0.659
B	Benzene	0.159	12	243	23.5	66.5	0.639
	PM10	0.04					

Lampiran 22 Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek kanker terhadap paparan benzena yang aman pada populasi karyawan Control Room A

Komponen	Data Awal	Variabel Aman
		Nilai Maks
Konsentrasi (C)	0,191 mg/m ³	0,1 mg/m ³
Lama Paparan (t _E)	12 jam/hari	6 jam/hari
Frekuensi Paparan (f _E)	243 hari/tahun	115 hari/tahun

Lampiran 23 Data hasil perhitungan pilihan pengendalian risiko efek kanker terhadap paparan benzena yang aman pada populasi karyawan Control Room B

Komponen	Data Awal	Variabel Aman
		Nilai Maks
Konsentrasi (C)	0,159 mg/m ³	0,1 mg/m ³
Lama Paparan (t _E)	12 jam/hari	6 jam/hari
Frekuensi Paparan (f _E)	243 hari/tahun	128 hari/tahun



RIWAYAT HIDUP

Perkenalkan nama saya Muhammad Lazuardi Faiz, lahir di Cirebon, 2 Februari 1998. Putra ke 2 dari ayah yang bernama Suharto dan ibu bernama Widiyaningsih. Saya telah menempuh sekolah menengah pertama (SMP) di SMP Negeri 5 kota Cirebon lalu melanjutkan di sekolah menengah atas (SMA) di SMA negeri 1 Kota Cirebon, setelah itu memilih melanjutkan kuliah di Universitas Islam Indonesia (UII) dengan memilih jurusan Teknik Lingkungan sesuai yang saya inginkan.

