



ARTIKEL RISET

URL Artikel : <http://ejournal.helvetia.ac.id/index.php/jkg>

ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT PAPARAN PLUMBUM (Pb), SULFUR (SO₂) DAN PARTICULATE MATTER (PM_{2.5}) PADA KARYAWAN SPBU

Environmental Health Risk Analysis Due to Exposure to Lead (Pb), Sulfur (SO₂), and Particulate Matter (PM_{2.5}) in Gas Station Employees

Sri Ayu Lestari^(k), Jamaluddin M. Sakung, Miswan, Lusya Salmawati, Irwan Said

Departemen Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Tadulako, Palu

Email Penulis Korespondensi^(K): sriayulestari412@gmail.com

Abstrak

Pencemaran udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dan aktivitas di Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) berpotensi meningkatkan risiko kesehatan bagi karyawan yang terpapar secara terus-menerus. Paparan ini terutama berasal dari polutan seperti Sulfur Dioksida (SO₂), *Particulate Matter* (PM_{2.5}), dan Plumbum (Pb) yang terkandung dalam uap atau gas bahan bakar minyak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan Pb, SO₂, dan PM_{2.5} pada karyawan SPBU di Kota Palu. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Data diperoleh melalui pengukuran langsung konsentrasi polutan di SPBU 74.941.16 dan survei kesehatan terhadap seluruh karyawan sebanyak 25 orang. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi SO₂ sebesar 54,12 µg/m³, PM_{2.5} sebesar 39,64 µg/m³, dan Pb sebesar 0,08 µg/m³ selama 24 jam. Perhitungan tingkat risiko (*Risk Quotient*/RQ) menunjukkan bahwa paparan Pb (RQ = 0,018), SO₂ (RQ = 0,440), dan PM_{2.5} (RQ = 0,466) saat ini tidak berisiko (RQ < 1). Namun, proyeksi SO₂ dan PM_{2.5} untuk 10 hingga 30 tahun ke depan menunjukkan nilai RQ > 1, yang mengindikasikan potensi risiko kesehatan. Karyawan SPBU di kota Palu berisiko terhadap gangguan kesehatan dalam pajanan realtime maupun lifespan dalam proyeksi 10 hingga 30 tahun mendatang, sehingga konsentrasi Plumbum (Pb), Sulfur Dioksida (SO₂), dan *Particulate Matter* (PM_{2.5}), perlu lebih diperhatikan. Paparan jangka panjang dapat meningkatkan risiko penyakit kronis dan efek toksik lainnya. Diperlukan upaya mitigasi seperti penerapan standar keselamatan kerja, penggunaan alat pelindung diri (APD), dan peningkatan kesadaran tentang bahaya polusi udara untuk mengurangi risiko kesehatan bagi karyawan SPBU dan masyarakat.

Kata kunci: Analisis Risiko, Kesehatan Lingkungan

Abstract

Air pollution generated by motor vehicles and activities at Public Fuel Filling Stations (SPBU) has the potential to increase health risks for employees who are continuously exposed to it. This exposure mainly comes from pollutants such as Sulfur Dioxide (SO₂), Particulate Matter (PM_{2.5}), and Plumbum (Pb) contained in fuel oil vapor or gas. This study aims to analyze environmental health risks due to exposure to Pb, SO₂, and PM_{2.5} in gas station employees in Palu City. This study used a quantitative method with an Environmental Health Risk Analysis (EHRA) approach. Data were obtained through direct measurement of pollutant concentrations at gas stations and health surveys of 25 employees. The measurement results showed SO₂ concentrations of 54.12 µg/m³, PM_{2.5} of 39.64 µg/m³, and Pb of 0.08 µg/m³ for 24 hours. Risk quotient (RQ) calculations show that exposure to Pb (RQ = 0.018), SO₂ (RQ = 0.440), and PM_{2.5} (RQ = 0.466) is currently not risky (RQ < 1). However, projections of SO₂ and PM_{2.5} for the next 10 to 30 years show RQ values > 1, indicating potential health risks. Gas station employees in Palu city are at risk of health problems in both realtime and

lifespan exposure in the next 10 to 30 years, so concentrations of Plumbum (Pb), Sulfur Dioxide (SO₂), and Particulate Matter (PM_{2.5}), need more attention. Long-term exposure can increase the risk of chronic diseases and other toxic effects. Mitigation efforts such as the implementation of work safety standards, the use of personal protective equipment (PPE), and increased awareness about the dangers of air pollution are needed to reduce health risks for gas station employees and the community.

Keywords: *Environmental Health, Risk Analysis*

PENDAHULUAN

Stasiun Bahan Bakar Umum (SPBU) merupakan fasilitas vital yang menyediakan kebutuhan bahan bakar bagi kendaraan bermotor, baik untuk aktivitas bisnis maupun individu. Secara global, emisi transportasi menjadi salah satu kontributor utama pencemaran udara, terutama di wilayah perkotaan. Emisi dari kendaraan bermotor menyumbang sekitar 85% dari total pencemaran udara di Indonesia (1). Sebagian besar emisi ini berasal dari penggunaan bahan bakar berkualitas rendah dan perawatan kendaraan yang kurang optimal. Pada tingkat nasional, urbanisasi dan peningkatan jumlah kendaraan bermotor semakin memperburuk kondisi pencemaran udara. Pertumbuhan jumlah SPBU seiring dengan peningkatan kebutuhan bahan bakar, juga menambah intensitas emisi gas buang. Dampak dari emisi ini tidak hanya terbatas pada lingkungan tetapi juga kesehatan manusia, seperti yang dilaporkan oleh Almunjiat dkk (2016), dimana paparan gas buang kendaraan dapat menyebabkan gangguan kesehatan, terutama pada fungsi paru-paru (1).

Bahan bakar, terutama yang berbasis hidrokarbon seperti bensin dan solar, memiliki peran penting dalam penyediaan energi. Namun, proses pembakaran bahan bakar ini menghasilkan emisi yang berkontribusi terhadap pencemaran udara. Hidrokarbon dalam bahan bakar melepaskan energi melalui reaksi eksotermal yang juga menghasilkan polutan berbahaya (2). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 menegaskan bahwa pencemaran udara akibat emisi transportasi merupakan tantangan besar yang memerlukan perhatian serius (3). Polusi udara, terutama yang disebabkan oleh logam berat seperti timbal (Pb), menjadi perhatian utama di berbagai negara, termasuk Indonesia. Studi yang dilakukan oleh Tasya (2018) menunjukkan bahwa paparan timbal dapat menyebabkan perubahan histologis pada paru-paru, memperburuk kesehatan masyarakat yang berisiko tinggi seperti pekerja SPBU (4). Kondisi kerja yang panjang dan paparan langsung terhadap emisi bahan bakar meningkatkan risiko kesehatan mereka secara signifikan.

Komponen pencemaran udara, seperti karbon monoksida, sulfur dioksida (SO₂), dan partikel halus (PM_{2.5}), memiliki dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia. Berdasarkan data WHO, polusi udara berkontribusi pada jutaan kematian di negara berkembang setiap tahunnya. Partikulat PM_{2.5}, misalnya, dapat menembus bagian terdalam paru-paru dan berdampak serius pada kesehatan manusia (5). Penelitian di Indonesia menunjukkan hubungan antara konsentrasi polutan udara dengan gangguan fungsi pernapasan (6,7). Sembiring (2020) mencatat bahwa paparan PM_{2.5} dan SO₂ di lingkungan kerja industri dapat meningkatkan risiko gangguan pernapasan (5). Dampak ini semakin diperparah dengan kondisi kerja yang tidak ideal, seperti kurangnya penggunaan alat pelindung diri dan durasi paparan yang panjang.

SO₂ adalah polutan yang memiliki sifat iritan terhadap saluran pernapasan manusia dan dapat menimbulkan dampak kesehatan yang serius bahkan pada paparan jangka pendek dengan konsentrasi rendah. Gas ini dapat menyebabkan iritasi tenggorokan pada konsentrasi 8-12 ppm, iritasi mata pada konsentrasi 20 ppm, serta memicu pembengkakan membran mukosa dan produksi lendir berlebih. Selain itu, SO₂ dapat memperburuk kondisi individu yang menderita asma dan bronkitis. Penelitian ini mengungkap bahwa keluhan terkait gangguan pernapasan akibat paparan SO₂ dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis kelamin, usia, berat badan, laju inhalasi, serta durasi dan frekuensi paparan (8,9).

Dampak polusi udara juga dirasakan di tingkat lokal, seperti di Kota Palu. Berdasarkan data BMKG, kualitas udara di kota ini menunjukkan fluktuasi yang signifikan dalam tiga tahun terakhir. Indikator kualitas udara seperti $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan SO_2 menjadi perhatian utama, mengingat aktivitas manusia dan kondisi cuaca yang mempengaruhi kualitas udara. Untuk menilai dampak kesehatan akibat paparan polutan, Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dapat diterapkan. ARKL mengevaluasi potensi risiko kesehatan secara kuantitatif dan membantu merumuskan strategi pengelolaan risiko yang efektif. Pentingnya data lingkungan yang spesifik dan karakteristik populasi untuk mendukung kajian ini.

Kota Palu memiliki tantangan unik terkait pencemaran udara, terutama dengan keberadaan SPBU yang cukup banyak. Pasca bencana alam pada 2018, kualitas udara di Kota Palu tetap menjadi perhatian, dengan berbagai indikator menunjukkan tingkat polusi yang memerlukan penanganan serius. Berdasarkan data BMKG, kualitas udara di Kota Palu pada tahun 2022-2024 dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi cuaca, polusi udara, dan aktivitas manusia. Beberapa indikator kualitas udara di Kota Palu mencakup partikel halus ($PM_{2.5}$) sebesar $0,72 \mu g/ft^3$, partikel kasar (PM_{10}) sebesar $0,18 \mu g/ft^3$, nitrogen dioksida (NO_2) sebesar 2,42 ppb, sulfur dioksida (SO_2) sebesar 1,06 ppb, karbon monoksida (CO) sebesar 0,2 ppb, dan ozon (O_3) sebesar 17,7 ppb. Data BMKG juga menunjukkan bahwa meskipun ada fluktuasi, tren polusi udara tetap memprihatinkan, sehingga memerlukan langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif untuk melindungi kesehatan masyarakat. Seiring dengan adanya potensi risiko kesehatan akibat paparan polutan di SPBU Kota Palu, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisis risiko kesehatan akibat paparan Plumbum (Pb), Sulfur (SO_2), dan Particulate Matter ($PM_{2.5}$) pada karyawan SPBU di kota Palu.

METODE

Jenis penelitian deskriptif dengan metode kuantitatif menggunakan pendekatan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL), yaitu mengevaluasi risiko kesehatan lingkungan akibat paparan polutan Pb, SO_2 , dan $PM_{2.5}$ pada karyawan SPBU 74.941.16 yang berada di Kota Palu pada bulan Desember tahun 2024. Populasi penelitian berjumlah 25 karyawan yang bertugas sebagai operator SPBU dan jumlah sampel yang sama populasi karena menggunakan metode *purposive sampling*. Adapun kriteria inklusi yang ditetapkan adalah semua karyawan bagian pengisian BBM SPBU 74.941.16.

Alat untuk pengumpulan data adalah kuesioner tentang data lama paparan meliputi 3 item pertanyaan Yaitu (1) berapa lama (jam) dalam satu hari bapak/ibu bekerja?; (2) berapa hari dalam satu minggu bapak/ibu masuk bekerja (shift)?; (3) berapa lama (tahun) bapak/ibu bekerja di SPBU? Pada data kesehatan meliputi 5 item pertanyaan yaitu (1) apakah responden pernah didiagnosis (oleh dokter) menderita gangguan pernapasan?; (2) jika ya, gangguan pernapasan apa yang didiagnosis?; (3) apakah responden pernah mengalami gejala?; (4) apakah responden biasa menggunakan masker selama bekerja di SPBU?; (5) masker jenis apa yang sering digunakan?. Data pengukuran konsentrasi Pb, SO_2 , dan $PM_{2.5}$ menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS) dan alat vakum Impinger. HVAS digunakan untuk pengambilan sampel $PM_{2.5}$, sedangkan vakum impinger digunakan untuk menangkap gas SO_2 dan uap logam berat seperti Pb. Kalibrasi alat dilakukan sebelum pengukuran untuk menjamin akurasi dan reliabilitas data, dengan menggunakan ketentuan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai pengujian kualitas udara, yakni: SNI 7119.14:2016 untuk pengukuran $PM_{2.5}$, SNI 7119.7:2017 untuk pengukuran SO_2 , dan SNI 7119.4:2017 untuk pengukuran kadar Pb. Seluruh sampel yang telah dikumpulkan dianalisis di laboratorium PT. RND Teknologi Indonesia.

Analisis dosis respon, dengan menghitung risiko paparan (RfC) pada setiap polutan dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$RfC = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{W_b \times t_{avg}}$$

Pada polutan Pb nilai risiko paparannya adalah

$$RfC_{Pb} = \frac{0,002 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 24 \frac{jam}{hari} \times 350 \frac{hari}{tahun} \times 30 \text{ tahun}}{70 \text{ kg} \times 30 \text{ tahun} \times 365 \frac{hari}{tahun}} = 1 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}$$

Selanjutnya menghitung intake/ asupan dari agen risiko dengan formula sebagai berikut:

$$Intake = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{W_b \times t_{avg}}$$

Pada polutan Pb nilai intakenya adalah

$$I_{nk Pb} = \frac{0,00008 \frac{mg}{m^3} \times 14,56 \frac{m^3}{jam} \times 8 \frac{jam}{hari} \times 313 \frac{hari}{tahun} \times 3 \text{ tahun}}{57,96 \text{ Kg} \times 30 \text{ Tahun} \times 365 \frac{hari}{tahun}} = 1 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/hari}$$

Analisis risiko dilakukan dengan menghitung nilai *Risk Quotient* (RQ), yang merupakan perbandingan antara tingkat paparan (intake) dengan nilai referensi dosis (RfC). Rumus perhitungan RQ adalah sebagai berikut:

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

Pada polutan Pb nilai intakenya adalah

$$RQ Pb = \frac{0,00001}{0,001} = 0,018$$

Kriteria interpretasi nilai RQ adalah sebagai berikut:

- Jika $RQ > 1$, maka paparan dianggap berisiko terhadap kesehatan manusia.
- Jika $RQ \leq 1$, maka paparan dianggap tidak berisiko atau masih dalam batas aman.

Data yang telah dikumpulkan diolah dengan analisis univariat menggunakan bantuan *software* SPSS ver.26.

HASIL

Analisis Univariat

Tabel 1. menunjukkan bahwa total responden sebanyak 25 orang dengan sebagian besar responden berjenis kelamin laki-laki sebanyak 21 orang (84%) dan pada kelompok berat badan sebanyak 8 orang (32%) responden dengan rentang 52-58 kg serta seluruh responden berpendidikan SMA. Pada kelompok umur dengan rentang 25-29 tahun mendominasi penelitian ini, yaitu sebanyak 14 responden (56%). Penggunaan APD berupa masker oleh karyawan SPBU dilakukan oleh 10 responden (40%) sedangkan 15 responden (60%) tidak menggunakannya.

Tabel 1.
Distribusi Karakteristik Responden (n=25)

Variabel	n	Persentase
Jenis Kelamin		
Laki-Laki	21	84
Perempuan	4	16
Kelompok Umur		
20-24	3	12
25-29	14	56
30-34	6	24
35-39	1	4
40-44	1	4

Variabel	n	Persentase
Kelompok Berat Badan (kg)		
45-51	7	28
52-58	8	32
59-65	4	16
66-72	5	20
73-79	1	4
Penggunaan APD (Masker)		
Menggunakan Masker	10	40
Tidak Menggunakan Masker	15	60
Pendidikan		
SMA	25	100

Tabel 2 menunjukkan konsentrasi Pb, SO₂, dan PM_{2,5}. Pengukuran sampel kualitas udara ambien pada SPBU 74.941.16 didapatkan melalui uji laboratorium bahwa konsentrasi SO₂ sebesar 0,0541 mg/m³, konsentrasi PM_{2,5} sebesar 0,0396mg/m³, sedangkan konsentrasi Pb sebesar 0,00008 mg/m³ selama waktu pengukuran 24 jam. Berdasarkan hasil perhitungan langkah manajemen risiko terhadap konsentrasi, diperoleh nilai konsentrasi aman untuk pajanan Pb sebesar 0,00032 mg/ m³, SO₂ sebesar 0,012 mg/ m³, dan PM_{2,5} sebesar 0,009 mg/ m³. Nilai ambang batas adalah nilai yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Pajanan.

Tabel 2.
Konsentrasi Pb, SO₂ PM_{2,5}

Parameter Analisa	Konsentrasi (mg/m ³)			Kesimpulan Analisa
	Uji Laboratorium	Nilai Ambang Batas	Rekomendasi Aman	
Plumbum (Pb)	0,00008	0,002	0,00032	Aman
Sulfur Dioksida (SO ₂)	0,0541	0,075	0,012	Tidak Aman
Partikulat (PM _{2,5})	0,0396	0,055	0,009	Tidak Aman

Tabel 3 menunjukkan hasil kalkulasi intake pajanan Pb, SO₂, dan PM_{2,5} serta nilai estimasi tingkat resiko (RQ) pada karyawan di SPBU diperoleh pajanan realtime belum memperlihatkan resiko kesehatan non karsinogenik untuk ketiga polutan tersebut. Analisis pajanan Pb dari proyeksi 10, 20, dan 30 tahun yang akan datang juga belum menunjukkan risiko kesehatan non karsinogenik karena nilai RQ < 1. Namun hal sebaliknya yang terjadi pada analisis pajanan SO₂ dan PM_{2,5} untuk proyeksi 10, 20, dan 30 tahun ke depan, menunjukkan nilai RQ > 1 yang mengindikasikan adanya potensi risiko kesehatan non karsinogenik.

Tabel 3.
Analisis Pajanan dan Nilai Risk Quotient pada Karyawan SPBU

Parameter Analisa	Lama Pajanan			
	Realtime	10 Tahun	20 Tahun	30 Tahun
Plumbum (Pb)				
Intake (mg/kg/hari)	1×10^{-5}	5×10^{-5}	9×10^{-5}	$1,4 \times 10^{-4}$
RQ	0,018	0,084	0,168	0,253
Ket	Belum Berisiko	Belum Berisiko	Belum Berisiko	Belum Berisiko

Parameter Analisa	Lama Paparan			
	Realtime	10 Tahun	20 Tahun	30 Tahun
Sulfur (SO₂)				
Intake (mg/kg/hari)	9×10^{-3}	$3,1 \times 10^{-2}$	$6,2 \times 10^{-2}$	$9,3 \times 10^{-2}$
RQ	0,44	1,519	3,038	4,557
Ket	Belum Berisiko	Berisiko	Berisiko	Berisiko
Particulate (PM_{2,5})				
Intake (mg/kg/hari)	7×10^{-3}	$2,3 \times 10^{-2}$	$4,6 \times 10^{-2}$	$6,8 \times 10^{-2}$
RQ	0,466	1,517	3,035	4,552
Ket	Belum Berisiko	Berisiko	Berisiko	Berisiko

Berdasarkan estimasi risiko SO₂ dan PM_{2,5} yang menunjukkan potensi risiko kesehatan non karsinogenik, maka dilakukan perhitungan durasi paparan yang hasilnya ditunjukkan pada tabel 4. Tabel 4 menunjukkan yang telah terpapar SO₂ manajemen risiko ditargetkan pada karyawan SPBU yang telah bekerja atau beraktivitas di SPBU selama 6,6 tahun atau lebih. Sedangkan yang telah terpapar Particulate Matter (PM_{2,5}) manajemen risiko ditargetkan pada karyawan SPBU yang telah bekerja atau beraktivitas di SPBU 74.941.16 selama 6,4 tahun atau lebih. Efek toksik SO₂ dan PM_{2,5} diperkirakan akan ditemukan pada Karyawan di SPBU 74.941.16 dengan rata-rata berat badan 57,96 kg yang telah terpapar SO₂ dengan konsentrasi 0,0541 mg/m³ selama 8 jam/hari dalam 313 hari/tahun dengan laju inhalasi 14,56 mg/ m³.

Tabel 4.
Durasi Paparan SO₂, dan PM_{2,5}

Paparan	Durasi Paparan (tahun)
Sulfur (SO ₂)	6,6
Particulate (PM _{2,5})	6,4

PEMBAHASAN

Karakteristik Responden (Jenis Kelamin, Umur, dan Berat Badan)

Hasil survei menunjukkan bahwa sebagian besar responden berjenis kelamin laki-laki dengan waktu kerja harian yang cukup panjang yang mana lebih dari 8 jam per hari dengan paparan langsung terhadap emisi bahan bakar.. Temuan ini mengindikasikan adanya perbedaan distribusi responden berdasarkan jenis kelamin dalam lingkungan kerja SPBU. Perbedaan gender atau jenis kelamin diketahui dapat memengaruhi pola paparan terhadap faktor lingkungan, baik di masyarakat industri maupun agraris. Laki-laki dan perempuan menghabiskan jumlah waktu yang berbeda di rumah, komunitas, dan lingkungan kerja. Secara historis, laki-laki dan perempuan mengalami paparan yang berbeda di tempat kerja, dimana laki-laki biasanya lebih banyak terpapar bahan kimia. Perilaku terkait gender terlihat jelas pada masa bayi. Paparan tanah dan debu akan lebih besar pada anak-anak yang menghabiskan lebih banyak waktu bermain dengan tanah dan di tanah atau di lantai, perilaku ini lebih sering terjadi pada anak laki-laki dibandingkan anak perempuan (10).

Pada kelompok umur didapatkan rata-rata umur keseluruhan karyawan SPBU 74.941.16, yaitu 28,32 tahun. Usia tertua responden adalah 40 tahun dan usia termuda adalah 20 tahun. Usia yang semakin bertambah menjadi satu diantara faktor risiko gangguan kesehatan, karena dengan usia yang semakin tua maka daya tahan tubuh semakin berkurang. Menurut Takuloe (2023) umur dapat berpengaruh terhadap toksisitas polutan udara karena pada usia lanjut (>45 tahun) terjadi penurunan fungsi organ tubuh sehingga mempengaruhi metabolisme dan penurunan kerja (9).

Pengukuran berat badan dilakukan pada 25 responden dengan hasil rata-rata berat badan yang terukur adalah 57,96 Kg dengan kisaran 42 kg hingga 75 kg. Rata-rata berat badan ini lebih kecil dengan berat badan yang ditetapkan yaitu 70 – 80 kg sesuai yang ditetapkan oleh US EPA (11). Pengaruh gender pada toksikokinetik mungkin melibatkan perbedaan dalam kondisi fisik (ukuran, lemak), fisiologi, dan metabolisme enzim. Kemungkinan besar massa otot dan berat badan lebih besar pada pria dibandingkan wanita untuk mempengaruhi distribusi bahan kimia, terutama yang lipofilik, serta tingkat dan laju akumulasi dan pelepasan dari jaringan (10). Menurut penelitian Darmawan (2018) menunjukkan bahwa kelebihan berat badan dapat mengurangi harapan hidup seseorang (12). Bahkan, individu dengan kelebihan berat badan yang tidak merokok, meskipun dianggap lebih sehat, memiliki risiko kematian dini yang lebih besar dibandingkan dengan individu yang lebih kurus. Namun, dalam konteks paparan polutan udara, terdapat hubungan terbalik antara berat badan dan jumlah polutan yang dihirup; semakin tinggi berat badan seseorang, semakin rendah paparan terhadap polutan udara. Informasi ini mengindikasikan bahwa berat badan berperan penting dalam menentukan tingkat paparan individu terhadap polutan udara.

Penggunaan alat pelindung pernapasan di Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) sangat penting untuk melindungi pekerja dari paparan debu dan partikel berbahaya. Masker, yang dapat terbuat dari kain dengan ukuran pori-pori tertentu, berfungsi sebagai penyaring partikel besar yang dapat masuk ke saluran pernapasan. Namun, data menunjukkan bahwa 60% karyawan SPBU (15 orang) tidak menggunakan masker. Dari 10 karyawan yang menggunakan masker, enam orang memilih masker medis, sementara empat orang lainnya menggunakan masker kain.

Berdasarkan hasil penelitian, sebagian besar responden telah bekerja di SPBU selama lebih dari 3 tahun, dengan lama kerja berkisar antara 1 hingga 15 tahun. Lama bekerja ini berpotensi meningkatkan risiko kumulatif terhadap paparan polutan udara, terutama jika tidak didukung oleh penggunaan alat pelindung pernapasan yang memadai. Alat pelindung pernapasan yang digunakan di SPBU umumnya terbagi menjadi dua jenis: masker dan respirator. Masker yang tersedia meliputi masker penyaring debu, masker berhidung, dan masker bertabung (13). Menurut standar keselamatan, operator SPBU seharusnya menggunakan respirator untuk perlindungan optimal, namun banyak responden hanya menggunakan masker biasa, yang dapat menyebabkan paparan timbal ke dalam tubuh (14). Masker N95 merupakan alat pelindung pernapasan yang dirancang agar sesuai dengan bentuk wajah, sehingga mampu menyaring partikel udara dengan sangat efisien (15). Penggunaan masker seperti masker bedah dan N95 telah terbukti dapat mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan akibat polusi udara. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan masker N95 cukup efektif terhadap partikel halus dan secara signifikan menurunkan insiden penyakit paru-paru selama kejadian kebakaran hutan yang udaranya banyak mengandung SO_2 dan partikel halus (16–18).

Karakteristik Risiko

Karakteristik risiko yang diwakili oleh nilai RQ (Risk Quotient) merupakan metode untuk menilai tingkat risiko dari agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia, guna menentukan apakah paparan tersebut berpotensi membahayakan kesehatan atau masih dalam batas aman. Penilaian risiko dilakukan dengan membandingkan nilai intake dari setiap paparan dengan dosis referensi (RfC). Jika nilai RQ lebih besar dari 1 ($\text{RQ} > 1$), berarti paparan atau pajanan Pb, SO_2 , dan $\text{PM}_{2,5}$ menimbulkan risiko terhadap kesehatan, sedangkan jika nilai $\text{RQ} \leq 1$, paparan tersebut masih dianggap aman bagi manusia.

Hasil perhitungan risiko menunjukkan bahwa dalam kondisi waktu nyata (*realtime*), ketiga jenis paparan memiliki nilai $\text{RQ} < 1$, yang mengindikasikan bahwa paparan tersebut tidak menimbulkan risiko. Sementara itu, pada kondisi *lifespan*, untuk pajanan plumbum (Pb) dari tahun ke-10 sampai dengan tahun ke-30 nilai $\text{RQ} < 1$, yang artinya dianggap aman bagi manusia. Namun untuk pajanan sulfur (SO_2) pada tahun ke-10 hingga tahun ke-30 diperoleh nilai $\text{RQ} > 1$ yaitu dengan

rentang nilai sebesar 1,519 – 4,557 yang berarti kelompok populasi dinyatakan aman pada tahun saat *realtime*, tetapi dinyatakan tidak aman bagi manusia pada tahun ke-10 hingga tahun ke-30. Particulate Matter ($PM_{2.5}$) sama halnya dengan pajanan sulfur (SO_2) saat *realtime* diperoleh nilai $RQ < 1$ dengan nilai 0,759 sedangkan tahun ke-10 hingga tahun ke-30 diperoleh nilai $RQ > 1$ yaitu dengan rentang nilai sebesar 1,517 – 4,552 yang berarti tidak aman pada tahun ke-10 hingga tahun ke-30. Selanjutnya, lokasi dengan nilai $RQ > 1$ dilakukan manajemen risiko untuk meminimalisir dampak atau besar risiko. Nilai RQ untuk pajanan plumbum (Pb) pada penelitian ini lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian Almunjiat et al (2016) bahwa SPBU Lepo-lepo di kota Kendari memiliki konsentrasi Pb sebesar $0,003 \text{ mg/m}^3$ (1).

Manajemen Risiko

Manajemen risiko bertujuan untuk memastikan individu atau populasi yang berisiko tetap terlindungi dari gangguan kesehatan akibat pajanan risk agent. Strategi yang dapat diterapkan meliputi penurunan konsentrasi pajanan (C), pengurangan lama pajanan (tE), dan pengurangan frekuensi pajanan (fE). Penentuan batas aman berdasarkan hasil perhitungan, karyawan di SPBU 74.941.16 berada dalam risiko efek non-karsinogenik ($RQ > 1$) terhadap paparan SO_2 dan $PM_{2.5}$, baik dalam pajanan *realtime* maupun proyeksi 30 tahun.

Dalam melakukan proyeksi 30 tahun ke depan, penting untuk mempertimbangkan beberapa faktor dinamis yang dapat mempengaruhi tingkat pajanan, termasuk perubahan kebijakan energi dan bahan bakar. Misalnya, kebijakan nasional mengenai peralihan dari bahan bakar fosil ke energi bersih, peningkatan standar emisi kendaraan bermotor, serta adopsi teknologi bahan bakar rendah emisi (seperti Euro 4 atau Euro 5) berpotensi menurunkan kadar polutan seperti SO_2 dan $PM_{2.5}$ di lingkungan SPBU. Kebijakan ini diperkuat dengan diberlakukannya Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017, yang mengatur bahwa standar emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru harus setara dengan standar Euro IV, serta mewajibkan publikasi tingkat emisi kendaraan kepada publik (19). Oleh karena itu, proyeksi risiko selama 30 tahun ke depan harus disertai dengan skenario yang mempertimbangkan perubahan kebijakan dan inovasi teknologi tersebut. Jika kebijakan tersebut diterapkan secara efektif, maka tingkat pajanan aktual dapat lebih rendah dibandingkan hasil proyeksi berbasis kondisi saat ini.

Oleh karena itu, diperlukan langkah pengendalian risiko yang efektif. Nilai konsentrasi aman yang diperoleh adalah $0,012 \text{ mg/m}^3$ untuk SO_2 dan $0,009 \text{ mg/m}^3$ untuk $PM_{2.5}$. Berbeda dengan skenario penurunan konsentrasi, pengurangan waktu pajanan (lama dan frekuensi) tidak selalu diperlukan. Hal ini disebabkan fleksibilitas dalam perbedaan jam kerja dan penyesuaian frekuensi pajanan. Selain itu, survei epidemiologi kesehatan lingkungan (EKL) dapat digunakan untuk mendeteksi gejala atau penyakit akibat toksisitas SO_2 dan $PM_{2.5}$ dengan lebih tepat. Survei ini sebaiknya ditargetkan kepada karyawan dengan durasi pajanan SO_2 selama 6,6 tahun dan $PM_{2.5}$ selama 6,4 tahun. Tujuan dari langkah ini adalah untuk memungkinkan survei epidemiologi mendeteksi gejala atau penyakit yang berkaitan dengan toksisitas, sehingga dapat menentukan waktu yang tepat untuk mulai mengendalikan risiko tersebut (20).

Pendekatan Teknologi untuk mengurangi konsentrasi Pb, SO_2 , dan $PM_{2.5}$, diperlukan pengawasan, pemantauan, dan evaluasi berkala terhadap konsentrasi polutan di sekitar SPBU. Peningkatan vegetasi melalui penanaman pohon efektif dalam menurunkan polusi udara. Vegetasi berfungsi sebagai penyaring dan penetral polutan, serta sebagai penghasil oksigen (O_2). Proses penyerapan (absorpsi) dan penyerapan (adsorpsi) oleh tanaman membantu mengurangi konsentrasi polutan udara. Tanaman seperti Cedar Himalaya, Cemara Kipas, Pagoda, Pinus China Putih, dan Katun Kayu memiliki daun berbentuk jarum yang efektif dalam menyerap polutan udara (21). Surveilans kesehatan dapat dilakukan pada karyawan yang telah terpapar SO_2 selama 6,6 tahun dan $PM_{2.5}$ selama 6,4 tahun untuk mencegah dampak kesehatan negatif. Penggunaan APD, seperti masker,

merupakan manajemen risiko penting untuk meminimalisir inhalasi Pb, SO₂, dan PM_{2,5}, sehingga risiko kesehatan karyawan dapat dikurangi. Penelitian ini mengevaluasi estimasi risiko kesehatan akibat paparan polutan udara berupa Pb, SO₂, dan PM_{2,5} terhadap karyawan yang bekerja di lingkungan SPBU 74.941.16 selama tahun 2024. Data yang digunakan dikumpulkan dan dianalisis dalam rentang waktu Agustus hingga Desember 2024. Meskipun demikian, terdapat beberapa keterbatasan yang dapat memengaruhi keakuratan hasil, yaitu: Pengambilan sampel udara ambien untuk pengukuran konsentrasi Pb, SO₂, dan PM_{2,5} hanya dilakukan pada satu titik Lokasi dan Kondisi cuaca saat pengambilan sampel tidak selalu optimal, di mana hujan ringan (gerimis) sesekali terjadi dan berpotensi memengaruhi kelembapan lingkungan sekitar alat ukur.

KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan gambaran bahwa karakteristik demografi responden, seperti jenis kelamin, usia, dan berat badan, yang berpotensi memengaruhi tingkat paparan dan risiko kesehatan akibat polutan udara di lingkungan kerja SPBU. Sebagian besar responden berjenis kelamin laki-laki dengan waktu kerja harian yang cukup panjang, yang dapat meningkatkan kemungkinan paparan bahan kimia berbahaya. Dari hasil deskriptif, responden juga didominasi oleh kelompok usia muda hingga paruh baya, dengan rata-rata usia 28,32 tahun. Usia yang bertambah secara teori dapat menjadi faktor risiko menurunnya daya tahan tubuh terhadap paparan polutan. Sementara itu, rata-rata berat badan responden berada di bawah standar referensi US EPA, namun dalam penelitian ini belum dilakukan analisis lebih lanjut mengenai hubungan antara berat badan dan tingkat intake polutan udara

Analisis risiko menunjukkan bahwa pada kondisi realtime, paparan Pb, SO₂, dan PM_{2,5} masih berada dalam batas aman ($RQ < 1$). Namun, proyeksi jangka panjang mengungkapkan bahwa paparan SO₂ dan PM_{2,5} mulai menunjukkan nilai $RQ > 1$ setelah tahun ke-10, menandakan potensi risiko kesehatan yang signifikan bagi karyawan. Oleh sebab itu, implementasi strategi manajemen risiko yang menyeluruh menjadi sangat penting untuk memitigasi dampak kesehatan jangka panjang. Rekomendasi meliputi penurunan konsentrasi polutan melalui pemantauan berkala dan peningkatan jumlah vegetasi, serta pemanfaatan alat pelindung diri yang sesuai dan memadai. Selain itu, surveilans kesehatan yang berkesinambungan dianjurkan guna memantau dan mencegah efek kesehatan yang disebabkan oleh paparan polutan udara. Melalui penerapan langkah-langkah mitigasi yang efektif, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan strategi pengendalian risiko di lingkungan kerja berisiko tinggi, khususnya di sektor SPBU.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada PT. Arba Sons Company atas izin yang diberikan untuk menggunakan SPBU 74.941.16 sebagai lokasi penelitian. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada Bioarfi Global dan PT. RND Teknologi Indonesia atas dukungan dan kerja sama yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Peneliti sangat menghargai hasil uji laboratorium yang telah dilakukan serta izin penggunaan alat pengukuran yang disediakan. Tak lupa, peneliti juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh karyawan yang telah bersedia menjadi responden dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Almunjiat E. Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Timbal (Pb) Melalui Jalur Inhalasi Pada Operator di Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di Kota Kendari Tahun 2016 (Studi di SPBU Tipulu, Wua-wua, Anduonohu dan SPBU Lepo-lepo). JIMKESMAS J Ilm Mhs Kesehat Masy Unsyiah. Haluoleo University; 2016;1(3):1–9.
2. Wiratama S, Sitorus S, Kartika R. Studi Bioakumulasi Ion Logam Pb Dalam Rambut dan Darah Operator Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum, Jalan Sentosa, Samarinda. J At. 2018;3(1):1–8.
3. Pemerintah Pusat. Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan

- Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Indonesia; 2021.
4. Tasya Z. Analisis Paparan Timbal (Pb) Pada Petugas Stasiun Pengisian Bensin Umum (SPBU) CV. Arba di Kota Palu. *Media Publ Promosi Kesehat Indones*. 2018;1(3):118–24.
 5. Sembiring ETJ. Risiko Kesehatan Paparan PM_{2,5} di Udara Ambien Pada Pedagang Kaki Lima di Bawah Flyover Pasar Pagi Asemka Jakarta. *J Tek Lingkung*. 2020;26(1):10–20.
 6. Arsyad KA, Priyana Y. Studi Kausalitas antara Polusi Udara dan Kejadian Penyakit Saluran Pernapasan pada Penduduk Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia. *J Multidisiplin West Sci*. 2023;2(6):462–72.
 7. Situmeang BS, Napitupulu R, Ambu RS, Yohanes A, Yoshua S, Siahaan C. Pengaruh Tingkat Polusi Udara Terhadap Tingkat Pengidap Penyakit ISPA di Lingkup Masyarakat Kramat Jati. *J Compr Sci*. 2023;2(12).
 8. Rahman AA, Usman U, Rusman ADP. Gambaran Kualitas Udara Ambien dan Keluhan Gangguan Pernapasan Pada Masyarakat Kota Pare Pare. *J Ilm Mns Dan Kesehat*. 2021;4(3):351–8.
 9. Takuloe SRR, Jusuf H, Nakoe MR, Arsyad N. Risiko Paparan Sulfur Dioksida (SO₂) Pada Petugas Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU). *Jambura J Epidemiol*. 2023;2(2):50–8.
 10. Vahter M, Gochfeld M, Casati B, Thiruchelvam M, Falk-Filippson A, Kavlock R, et al. Implications of Gender Differences for Human Health Risk Assessment and Toxicology. *Environ Res. Elsevier*; 2007;104(1):70–84.
 11. EPA US. Integrated Review Plan for the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. Triangle Park, NC: Office of Air Quality Planning and Standards, US Environmental Protection Agency; 2016.
 12. Darmawan R. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kadar NO₂ Serta Keluhan Kesehatan Petugas Pemungut Karcis Tol. *J Kesehat Lingkung*. 2018;10(1):116–26.
 13. Putri LN, Agata A. Hubungan Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Dengan Keterpaparan Logam Timbal (Pb) Pada Petugas Tanda Pembayaran Retribusi (TPR) Dinas Perhubungan di Terminal Rajabasa Bandar Lampung. *Bali Med J*. 2019;6(1):24–31.
 14. Yenni M. Analisis Kadar Logam Timbal Darah Petugas Stasiun Pengisian Bensin Umum (SPBU) Kota Jambi. *J Innov Res Knowl*. 2021;1(5):773–6.
 15. Hussaen S, Sumarwan J. Analisis Kualitas Masker N95 Produksi Dalam Negeri di PT. IDS Medical Systems Indonesia Jakarta. *J AKRAB JUARA*. 2022;7(4):73–83.
 16. Faisal HD, Susanto AD. Peran Masker/Respirator dalam Pencegahan Dampak Kesehatan Paru Akibat Polusi Udara. *J Respirasi*. 2017;3(1):18–25.
 17. Ren J, Li B, Yu D, Liu J, Ma Z. Approaches to Prevent The Patients With Chronic Airway Diseases From Exacerbation In The Haze Weather. *J Thorac Dis*. 2016;8(1):E1.
 18. Garg P, Wang S, Oakes JM, Bellini C, Gollner MJ. The Effectiveness Of Filter Material For Respiratory Protection Worn By Wildland Firefighters. *Fire Saf J. Elsevier*; 2023;139(8):103811.
 19. Mahalana A, Yang Z. Overview of vehicle fuel efficiency and electrification policies in Indonesia. Washington, DC: The International Council on Clean Transportation; 2021.
 20. Rahman A. Public Health Assessment: Model Kajian Prediktif Dampak Lingkungan dan Aplikasinya untuk Manajemen Risiko Kesehatan. Jakarta: Pusat Kajian Kesehatan Lingkungan dan Industri Universitas Indonesia; 2007.
 21. Serlina Y, Bachtar VS, Putra I. Analisis Konsentrasi Particulate Matter 2, 5 di Udara Ambien dan Rekomendasi Tanaman Pereduksi PM_{2,5} di Perumahan Unand Blok B, Ulu Gadut, Kota Padang. *J Serambi Eng*. 2023;8(4):7516–24.