

## Resiko Kesehatan Paparan PM<sub>2,5</sub> pada Operator Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di Kota Ternate

Purnama Sidebang\*, Nuke Dianita

Program Studi DIII Sanitasi, Poltekkes Kemenkes Ternate

\*Corresponding author: [purthebank88@gmail.com](mailto:purthebank88@gmail.com)

Info Artikel: Diterima ..bulan Juli 2024 ; Disetujui Bulan Desember 2024 ; Publikasi bulan Desember 2024

### ABSTRACT

The transportation sector is responsible for 50% of illness cases in Indonesia. The increase in air pollutants such as PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, and NO<sub>2</sub> due to the rising number of motorized vehicles can lead to health issues such as coughing, reduced lung function, lung cancer, asthma, breathing difficulties, and even death. Gas station operators are particularly vulnerable to health impacts due to continuous exposure to these pollutants while queuing for refueling. A study was conducted to analyze the environmental health risks resulting from exposure to PM<sub>2.5</sub> in gas station operators in Ternate City. This observational study utilized the Environmental Health Risk Analysis (ARKL) method to obtain the Risk Quotient (RQ) value. The study population consisted of gas station operators, while the environmental sample focused on PM<sub>2.5</sub> levels in the ambient air around gas stations. PM<sub>2.5</sub> measurements were taken at locations where gas station operators work using the EVM-7 environmental monitoring tool. Measurements were conducted for 1 hour with 3 repetitions at different times (morning, afternoon, and evening) over 7 days. Human samples were collected from 16 gas station operators using a total sampling technique, and data were gathered through interviews using a questionnaire previously used by other researchers. The findings revealed that the average respondent was female (56.2%), 43.6 years old, with a body weight of 66.4 kg, high school/vocational education (68.8%), a smoking lifestyle (56.2%), and no alcohol consumption (81.2%). The common health complaints among operators were fatigue (81.2%) and headaches (56.2%). The average concentration of PM<sub>2.5</sub> at the Kalumata gas station during morning measurements was 0.02mg/m<sup>3</sup>, and 0.01mg/m<sup>3</sup> during the afternoon and evening. At the Maliaro gas station, the morning measurement showed a concentration of 0.06mg/m<sup>3</sup>, while the afternoon and evening measurements were 0.02mg/m<sup>3</sup> and 0.01mg/m<sup>3</sup>, respectively. The highest PM<sub>2.5</sub> intake during morning measurements at the Maliaro gas station was 0.0146mg/kg/day. The PM<sub>2.5</sub> Risk Level calculation indicated an RQ value >1 at the Maliaro gas station during the morning measurement, highlighting the necessity to control PM<sub>2.5</sub> exposure at Maliaro gas stations, especially in the morning, to prevent health issues over the next 30 years

**Keywords :** Environmental Health Risk Analysis (EHRA); PM<sub>2.5</sub>; Gas Station Operator

### ABSTRAK

Sektor transportasi menyebabkan 50% dari prevalensi kesakitan di Indonesia, peningkatan polutan udara seperti PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub> akibat peningkatan jumlah kendaraan bermotor dapat memberikan gangguan kesehatan seperti batuk, penurunan fungsi paru, kanker paru, asma, kesulitan bernapas hingga kematian. Operator SPBU menjadi kelompok yang berisiko mengalami dampak kesehatan akibat paparan polutan tersebut secara terus menerus saat proses antrian pengisian bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis resiko kesehatan lingkungan akibat paparan PM<sub>2,5</sub> pada operator SPBU di Kota Ternate. Merupakan penelitian observasional dengan menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), sehingga diperoleh nilai *Risk Quotient (RQ)*. Populasi dalam penelitian ini adalah operator SPBU. Sampel lingkungan adalah PM<sub>2,5</sub> di udara ambien sekitar SPBU, pengukuran PM<sub>2,5</sub> dilakukan di lokasi sekitar operator SPBU bekerja, menggunakan alat EVM-7 *environmental monitoring*. Pengukuran selama 1 jam dengan 3 kali pengukuran pada waktu yang berbeda yaitu pada pagi, siang dan sore hari selama 7 hari, sementara sampel manusia adalah operator SPBU dengan teknik pengambilan sampel *total sampling* sebanyak 16 orang, data dikumpulkan dengan wawancara menggunakan kuesioner yang telah digunakan oleh peneliti terdahulu. Hasil menunjukkan rata-rata responden berjenis kelamin perempuan (56,2%), berumur 43,6 tahun dengan berat badan 66,4 kg, berpendidikan tamat SMA/SMK (68,8), gaya hidup merokok (56,2%) dan tidak mengkonsumsi alkohol (81,2%). Keluhan kesehatan yang sering dialami operator adalah kelelahan (81,2%) dan sakit kepala (56,2). Rata-rata konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di SPBU Kalumata pada pengukuran pagi 0,02mg/m<sup>3</sup>, siang dan sore berturut-turut adalah 0,01mg/m<sup>3</sup>, sementara di SPBU Maliaro pada pengukuran pagi sebesar 0,06mg/m<sup>3</sup>, siang sebesar 0,02mg/m<sup>3</sup> serta pengukuran sore sebesar 0,01mg/m<sup>3</sup>. *Intake* PM<sub>2,5</sub> tertinggi pada pengukuran pagi hari pada operator SPBU Maliaro berturut-turut sebesar 0,0146mg/kg/hari. Hasil perhitungan Tingkat Risiko PM<sub>2,5</sub> menunjukkan nilai RQ>1 di SPBU Maliaro pada pengukuran pagi hari. Hal ini menunjukkan perlunya pengendalian paparan PM<sub>2,5</sub> di SPBU Maliaro terutama dipagi hari sehingga tidak menimbulkan masalah kesehatan pada 30 tahun mendatang.

**Kata kunci :** Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan (ARKL); PM<sub>2,5</sub>; Operator SPBU

## PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan masalah dunia yang senantiasa menyita perhatian para praktisi kesehatan lingkungan. Peningkatan aktivitas manusia baik di dalam maupun diluar ruangan turut mempengaruhi tingkat pencemaran udara. *World Health Organization (WHO)* melaporkan sebanyak 3,8 juta kematian setiap tahun akibat paparan polusi udara rumah tangga yang berasal dari berbagai sumber, salah satu yang paling berbahaya adalah asap yang menghasilkan polutan dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar. Polutan yang menjadi indikator risiko kesehatan yang sangat kuat diantaranya ozon, *Particulate Matter (PM)*, sulfur dioksida ( $SO_2$ ), nitrogen dioksida ( $NO_2$ ), karbon monoksida ( $CO$ ) dan logam berat (timbal) (Hester et al., 2016; WHO, 2018).

PM merupakan campuran partikel padat dan droplet cair (aerosol) yang bervariasi dalam ukuran dan komposisi, ukuran yang semakin kecil akan menembus lebih jauh ke sistem pernapasan (alveoli) dan bahkan mentransfer ke organ luar paru, termasuk sistem syaraf pusat (Hester et al., 2016; WHO, 2018). PM primer bersumber secara langsung berasal dari alami maupun hasil kegiatan manusia (antropogenik) seperti pembakaran fosil (batu bara, kendaraan bermotor), pembakaran biomassa, emisi amoniak pertanian, industri, maupun asap rokok (Anderson et al., 2012; Haryanto, 2018; Hester et al., 2016).

Jalur pajanan terbesar partikulat ini kedalam tubuh melalui inhalasi (Jimoda, 2012),  $PM_{2,5}$  akan terdekomposisi kedalam saluran nafas yang dapat menimbulkan peradangan yang berpotensi meningkatkan risiko munculnya penyakit kronis lainnya seperti gangguan sistem kardiovaskular, asma, PPOK, kanker paru, penurunan fungsi paru dan diabetes melitus (WHO, 2018). Berdasarkan data nasional, prevalensi penyakit yang berhubungan dengan partikulat udara, seperti ispa sebanyak 9,3%, Asma 2,4%, Pneumonia sebanyak 4,0%. Sedangkan data untuk Provinsi Maluku Utara, prevalensi penyakit ispa sebanyak 5,7%, Asma 1,8%, dan Pneumonia sebanyak 4,3% (Kementerian Kesehatan, 2019) hal ini menunjukkan bahwa penyakit akibat paparan polusi udara masih tinggi.

Kendaraan bermotor merupakan penyumbang polusi udara terbesar, penelitian menunjukkan 80% sumber polusi udara di wilayah perkotaan berasal dari sektor transportasi dan menyebabkan 50% dari prevalensi kesakitan di Indonesia (Haryanto, 2018) Data dari kantor Polisi Daerah Maluku Utara menunjukkan bahwa Ternate merupakan Kota di Maluku Utara dengan jumlah kendaraan tertinggi di Maluku Utara (44,57%) (Polri, 2023). Keberadaan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di berbagai area memperlancar proses pemenuhan kebutuhan masyarakat akan bahan bakar. Hingga saat ini keberadaan operator SPBU menjadi penting sehingga layanan pengisian bahan bakar dapat berjalan dengan lancar. Operator SPBU menjadi kelompok yang berisiko terpapar bahan pencemar seperti  $PM_{2,5}$  setiap harinya. Bahan pencemar ini dapat bersumber dari emisi kendaraan bermotor saat proses antrian pengisian bahan bakar dan sewaktu berangkat setelah selesai mengisi bahan bakar. Dapat juga bersumber dari cemaran udara ambien sekitar SPBU dimana biasanya SPBU memiliki lokasi strategis dekat jalan raya. Sehingga akan berisiko meningkatkan dampak kesehatan akibat pajanan polutan pencemar udara pada pekerja. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa populasi berisiko yang mudah terpapar  $PM_{2,5}$  akibat aktivitas transportasi diantaranya adalah sukarelawan petugas lalu lintas (supeltas), tukang parkir, tukang tambal ban, satpam yang bertugas disepanjang jalan raya, termasuk didalamnya operator SPBU yang biasanya berada disekitar jalan raya (Harnia et al., 2019).

Penelitian (Pertwi et al., 2024) menunjukkan bahwa risiko kesehatan lingkungan akibat pajanan  $PM_{2,5}$  pada relawan lalu lintas memiliki  $RQ \geq 1$  untuk  $PM_{2,5}$  sehingga dapat disimpulkan bahwa termasuk dalam kategori risiko tidak aman. Selain itu penelitian (Ginting et al., 2022) menunjukkan bahwa mayoritas operator SPBU tidak menggunakan APD dalam bekerja dan hasil uji menunjukkan ada hubungan yang signifikan antara lamanya bekerja dan penggunaan APD dengan kadar oksigen darah petugas operator SPBU (p value <0,05).

Suatu metode yang dapat digunakan untuk mengestimasi risiko paparan polutan udara dan tingkat risiko kesehatan yang dialami oleh pekerja sepanjang hidupnya adalah metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). ARKL merupakan suatu pendekatan untuk menghitung atau memprakirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk identifikasi terhadap adanya faktor ketidakpastian, penelusuran pada pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik (Ma'rufi, 2017). ARKL dilakukan dengan maksud untuk mengidentifikasi bahaya apa saja yang membahayakan, memahami hubungan antara dosis agen risiko dan respon tubuh yang diketahui dari berbagai penelitian, mengukur

seberapa besar pajanan agen risiko tersebut, dan menetapkan tingkat risiko dan efeknya pada populasi (Kemenkes RI, 2012). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa karakteristik risiko  $PM_{2.5}$  pada tiga titik lokasi di Terminal Kampung Rambutan memiliki  $RQ > 1$  masing-masing sebesar 1,79; 13,56; dan 3,22 yang menunjukkan bahwa pedagang sudah berisiko terhadap penurunan fungsi paru akibat paparan  $PM_{2.5}$  dalam pajanan *realtime* maupun *lifespan* 30 tahun berikutnya (Falahdina, 2017). Penelitian yang sama juga menggunakan desain ARKL diperoleh rata-rata konsentrasi  $PM_{2.5}$  masih dibawah baku mutu. Tingkat risiko pajanan  $PM_{2.5}$  di lokasi radius 10 meter dari pintu masuk stasiun, titik awal di pintu masuk terminal dan radius 10 meter dari pintu gerbang sekolah dikategorikan dengan risiko tidak aman ( $RQ > 1$ ) (Pangestika & Wilti, 2021).

Berdasarkan uraian diatas, ARKL dapat digunakan untuk menganalisis risiko paparan polutan udara ambien dalam hal ini  $PM_{2.5}$  pada operator pengisi bahan bakar di stasiun pengisian bahan bakar minyak (SPBU) ketika bekerja. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui risiko kesehatan lingkungan akibat paparan  $PM_{2.5}$  pada operator Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di Kota Ternate tahun 2024.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasional dengan menggunakan metode analisis kuantitatif yaitu pendekatan ARKL (Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan) dimana perhitungan risiko akibat pajanan dilakukan dengan memperhatikan *hazard identification, analysis of exposure, dose-respon analysis, dan risk characterization*. Penelitian ini mendeskripsikan tingkat risiko kesehatan akibat bahan pencemar udara luar ruangan yaitu  $PM_{2.5}$  pada operator Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di Kota Ternate. Penelitian dilaksanakan di SPBU No. 84.977.02 Maliaro dan SPBU No. 84.977.01 Kalumata yang berlokasi dekat dengan perumahan masyarakat, berada dipinggir jalan utama serta melayani pengisian bahan bakar setiap hari. Populasi penelitian adalah seluruh operator SPBU No. 84.977.02 Maliaro dan SPBU No. 84.977.01 Kalumata, dengan total populasi 16 orang (12 orang operator SPBU Kalumata dan 4 orang operator SPBU Maliaro). Sampel pada penelitian ini terdiri dari sampel lingkungan yaitu  $PM_{2.5}$  di udara ambien disekitar SPBU dan sampel masyarakat adalah operator SPBU yang telah bekerja sebagai operator selama 1 tahun atau lebih. Teknik pengambilan sampel menggunakan teknik *total sampling* sehubungan dengan jumlah operator SPBU yang berjumlah sedikit sehingga seluruh populasi diambil menjadi sampel penelitian.

Dilakukan pengumpulan data untuk variabel dependen yaitu konsentrasi  $PM_{2.5}$  untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan *intake* dan tingkat risiko  $PM_{2.5}$  serta variabel independen yang meliputi faktor lingkungan (suhu, kelembaban, jumlah kendaraan yang keluar dari area SPBU), pola aktivitas (laju inhalasi, lama pajanan, frekuensi pajanan dan durasi pajanan) dan antropometri (berat badan). Data  $PM_{2.5}$  diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan alat EVM-7 *environmental monitoring*. Pengukuran dilakukan selama 1 jam dengan 3 kali pengulangan pada waktu yang berbeda yaitu pada pagi, siang dan sore hari (pukul 08.30, 12.00 dan 17.00) selama 7 hari. Hasil pengukuran  $PM_{2.5}$  secara *real time* diamati sesuai dengan angka yang tertera pada alat pengukuran PM. Selain itu dilakukan wawancara kepada operator SPBU dengan menggunakan kuesioner yang telah digunakan oleh peneliti terdahulu untuk mengumpulkan data karakteristik individu dan pola aktivitas responden seperti umur, jenis kelamin, berat badan, lama kerja, durasi kerja dan frekuensi kerja. Data dianalisis dengan menggunakan metode ARKL dengan tahapan kegiatan yakni identifikasi bahaya, analisis pajanan, analisis dosis respon, serta karakterisasi risiko. *Software* analisis data digunakan untuk analisis secara univariat, normalitas data diuji dengan menggunakan uji *Kolmogorov – Smirnov*. Hasil analisis ditampilkan dengan nilai rata-rata, nilai maksimum, minimum dan dihitung nilai *Risk Quotient (RQ)* akibat pajanan  $PM_{2.5}$  dengan menggunakan persamaan yang telah disajikan dalam tinjauan pustaka sehingga diperoleh  $RQ > 1$  (berisiko dan perlu dikendalikan) atau  $RQ \leq 1$  (risiko tidak perlu dikendalikan), selanjutnya hasil disajikan dalam bentuk tabel kemudian dinarasikan. Penelitian ini telah mendapatkan surat *etical clearance* dari komisi etik penelitian Poltekkes Kemenkes Ternate dengan nomor etik UM.02.03/6/379/2024 tertanggal 21 Maret 2024.

## HASIL

### Deskripsi karakteristik responden

Rata-rata operator SPBU mayoritas perempuan dan berpendidikan tamat SMA/SMK (68,8%), tidak merokok (56,2%) dan tidak mengonsumsi alkohol (81,2%). Keluhan kesehatan yang paling sering dialami operator adalah kelelahan (81,2%) dan sakit kepala (56,2). Hasil uji *Kolmogorov-smirnov* pada karakteristik umur responden menunjukkan p-value > 0,05 yang berarti data berdistribusi normal, sehingga menggunakan nilai rata-rata umur 43,6 tahun, hal yang sama dengan karakteristik berat badan, rata-rata 66,4 kg dan durasi pajanan rata-rata 11,5 tahun. Untuk variabel waktu pajanan dan frekuensi pajanan menunjukkan p-value < 0,05 yang berarti data berdistribusi tidak normal sehingga menggunakan nilai median dengan media waktu pajanan 5,5 jam dan frekuensi pajanan 336 hari.

### Hasil pengukuran

Gambaran rata-rata hasil pengukuran parameter udara di lingkungan SPBU ditampilkan dalam tabel 1:

Tabel 1. Hasil pengukuran parameter udara di SPBU

Lokasi/variabel	Waktu Pengukuran	Mean	Median	Min	Max	SD	p-Value
Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )							
SPBU Kalumata	Pagi	0,02	0,01	0,00	0,06	0,02	0,083
	Siang	0,02	0,01	0,00	0,06	0,02	0,011
	Sore	0,06	0,01	0,01	0,29	0,10	0,000
SPBU Maliaro	Pagi	0,06	0,04	0,01	0,18	0,06	0,200
	Siang	0,02	0,01	0,00	0,04	0,01	0,200
	Sore	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,007

Sumber : Data Primer

Hasil uji *Kolmogorov-Smirnov* pada data pengukuran PM<sub>2,5</sub> di SPBU Kalumata menunjukkan nilai P<0,05 yang berarti data tidak berdistribusi normal, sehingga menggunakan nilai median kecuali pada pengukuran PM<sub>2,5</sub> dipagi hari. Rata-rata konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di SPBU Kalumata pada pengukuran pagi 0,02mg/m<sup>3</sup>, siang dan sore secara berturut-turut adalah 0,01mg/m<sup>3</sup>. Rata-rata konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di SPBU Maliaro pada pengukuran pagi sebesar 0,06mg/m<sup>3</sup>, siang sebesar 0,02mg/m<sup>3</sup> serta pengukuran sore sebesar 0,01mg/m<sup>3</sup>.

Rata-rata suhu udara saat pengukuran di SPBU Kalumata berkisar antara 31,2°C – 31,5°C dengan kelembaban rata-rata berkisar antara 74,5% – 75,5%. Sementara rata – rata suhu di Maliaro berkisar antara 30,7°C - 32,3°C dengan kelembaban udara 68,6% - 77,5%. Selama proses pengukuran berlangsung, dilakukan perhitungan jumlah kendaraan yang keluar dari SPBU, baik roda dua dan roda empat atau lebih dengan jumlah kendaraan terbanyak pada saat pengukuran sore hari di SPBU Kalumata sebanyak 1.305 unit dan di SPBU Maliaro 1.387 unit kendaraan.

### Analisis pajanan (*intake*) PM<sub>2,5</sub> bagi Operator SPBU

Konsentrasi pajanan personal (*intake*) PM<sub>2,5</sub> adalah konsentrasi *risk agent* dalam hal ini PM<sub>2,5</sub> yang diterima dan masuk ke dalam tubuh rata-rata sampel per berat badan rata-rata sampel per hari. *Intake* yang dihitung merupakan *intake* rata-rata disesuaikan dengan hasil pengukuran konsentrasi udara ambien PM<sub>2,5</sub> di masing-masing SPBU. *Intake* PM<sub>2,5</sub> yang diterima operator SPBU dihitung menggunakan persamaan:

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

Nilai konsentrasi (C) menggunakan nilai rata-rata hasil pengukuran PM<sub>2,5</sub> di SPBU pada pengukuran waktu yang berbeda. Laju asupan atau laju inhalasi (R) menggunakan nilai default untuk orang dewasa = 0,83m<sup>3</sup>/jam. Periode waktu rata-rata (t<sub>avg</sub>) menggunakan nilai default 30 tahun x 365hari/tahun. Sehingga berdasarkan angka diatas dapat dihitung nilai asupan (*intake*) PM<sub>2,5</sub> pada operator SPBU pada tabel 2. Dapat dilihat bahwa rata-rata asupan personal PM<sub>2,5</sub> terbesar di SPBU Maliaro.:

Tabel 2. *Intake* Asupan PM<sub>2,5</sub> pada Operator SPBU Tahun 2024

Lokasi / Waktu	<i>Intake</i> pagi	Siang	Sore
SPBU Kalumata	0,0004852	0,0002426	0,0002426
SPBU Maliaro	0,014556	0,0004852	0,0002426

Sumber : Data Primer

### Analisis dosis-respon paparan PM<sub>2,5</sub>

Analisis dosis respon untuk paparan non karsinogenik dinyatakan dengan *reference concentration (RfC)*, yaitu dosis/konsentrasi pajanan harian agen risiko non karsinogenik yang diestimasi tidak menimbulkan efek yang mengganggu walaupun pajanannya terjadi seumur hidup. Analisis perhitungan *RfC* dilakukan dengan menggunakan baku mutu yang ditetapkan di Indonesia berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021 yaitu sebesar 55µg/m<sup>3</sup> untuk PM<sub>2,5</sub> yang kemudian dikonversi menjadi 0,055mg/m<sup>3</sup>. Nilai *RfC* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$RfC(PM_{2,5}) = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times Dt}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan:

- RfC* : Konsentrasi referensi/dosis referensi
- C (Concentration)* : Konsentrasi agen risiko pada media udara (mg/m<sup>3</sup>)
- R (Rate)* : Laju asupan atau laju inhalasi (0,83m<sup>3</sup>/jam)
- t<sub>E</sub> (Time of exposure)* : waktu pajanan (tempat kerja 8 jam/hari)
- f<sub>E</sub> (Frequency of exposure)*: frekuensi pajanan (250 hari/tahun)
- Dt (Duration time)* : Durasi pajanan (30 tahun pajanan seumur hidup)
- W<sub>b</sub> (Weight of body)* : Berat badan (Dewasa: 55 kg)
- t<sub>avg</sub> (time average)* : Periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun)

Sehingga nilai *RfC* untuk PM<sub>2,5</sub> adalah:

$$RfC(PM_{2,5}) = \frac{0,055 \times 0,83 \times 8 \times 250 \times 30}{55 \times 30 \times 365}$$

$$RfC(PM_{2,5}) = \frac{2739}{602.250}$$

$$RfC(PM_{2,5}) = 0,004547945 \text{ mg/kg/hari}$$

### Analisis tingkat risiko (RQ) paparan PM<sub>2,5</sub>

Karakteristik risiko dihitung berdasarkan setiap segmen populasi dengan membandingkan hasil *intake* pajanan personal terhadap nilai konsentrasi referensi (*RfC*). Sehingga diperoleh nilai tingkat risiko (RQ) seperti pada tabel berikut:

Tabel 3. Karakteristik Risiko/*Risk Quotient (RQ)* PM<sub>2,5</sub>

Lokasi/waktu	PM <sub>2,5</sub>
SPBU Kalumata	
Pagi	0,107
Siang	0,053
Sore	0,053
SPBU Maliaro	
Pagi	3,201
Siang	0,107
Sore	0,053

Sumber : Data Primer

Berdasarkan tabel 3. diketahui tingkat risiko akibat paparan  $PM_{2.5}$  pada pengukuran pagi hari menunjukkan nilai  $RQ > 1$ , hal ini berarti  $PM_{2.5}$  sangat berisiko terhadap kesehatan operator di SPBU Maliaro dan membutuhkan pengendalian. Kemungkinan efek toksisitasnya baru dirasakan 30 tahun kedepan.

## PEMBAHASAN

### Karakteristik responden

Responden penelitian ini adalah para operator SPBU di Kalumata dan SPBU Maliaro. Karakteristik rata-rata operator SPBU mayoritas perempuan, rata-rata berada pada rentang usia produktif (43,6 tahun) dengan berat badan 66,4 kg dan berpendidikan tamat SMA/SMK, memiliki gaya hidup merokok namun tidak mengonsumsi alkohol. Mayoritas responden mengeluhkan gangguan kesehatan yang paling sering dialami adalah kelelahan dan sakit kepala.

Hasil penelitian ini menunjukkan responden termasuk kedalam kelompok umur produktif sesuai dengan aktivitasnya yang produktif dalam bekerja, hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Ginting et al., 2022) yaitu mayoritas operator SPBU Kota Bandar Lampung berada dalam rentang usia produktif, dengan lama kerja rata-rata 8 jam namun mayoritas respondennya berjenis kelamin laki-laki, berbeda dengan hasil penelitian ini mayoritas respondennya berjenis kelamin perempuan. Hal ini dipengaruhi juga dengan kecenderungan yang ada di kota Ternate dimana biasanya para ibu rumah tangga juga mengambil peran untuk membantu kebutuhan rumah tangga dengan cara ikut bekerja, sehingga hal ini akan menempatkan responden berisiko untuk terpapar resiko kesehatan akibat pekerjaan, semakin bertambah umur pekerja maka akan semakin bertambah risiko gangguan kesehatan akibat pajanan bahan pencemar. Sejalan dengan penelitian (Jusuf et al., 2023) rata-rata umur masyarakat yang terpapar partikulat di Desa Buata adalah perempuan (57,8%) dan berumur 30,8 tahun.

Hasil penelitian ini menunjukkan berat badan rata-rata responden berkisar 66,4 kg dengan durasi pajanan rata-rata 11,5 tahun. Sejalan dengan penelitian (Jusuf et al., 2023) pada masyarakat yang terpajan  $PM_{10}$  dan CO di Desa Buata bahwa rata-rata berat badan responden berkisar 60kg. Berat badan pekerja diperlukan untuk memperkirakan besaran asupan agen resiko yang diperoleh dalam hal ini *intake*  $PM_{2.5}$ , berat badan responden akan berbanding terbalik dengan besar asupan faktor risiko dengan kata lain semakin besar berat badan pekerja maka akan semakin kecil asupan (*intake*) agen resiko yang diterimanya dan akan memperkecil risiko kesehatan yang diperolehnya, demikian juga sebaliknya jika berat badan individu semakin kecil maka akan semakin besar *intake* yang diterima oleh tubuh (Jusuf et al., 2023).

Durasi pajanan berhubungan dengan lama kerja responden sebagai operator SPBU, masa kerja ini dapat berpengaruh positif maupun negatif. Adapaun pengaruh positif sekaitan dengan semakin mahir dan terampil nya seseorang dalam bekerja, namun pengaruh negatif berhubungan dengan akan meningkat kan peluang untuk terpapar bahaya yang ditimbulkan oleh tempat kerja yang dapat mempengaruhi kesehatan terutama saluran pernafasan (Ginting et al., 2022).

Mayoritas responden mengeluhkan gangguan kesehatan berupa kelelahan dan sakit kepala, hal ini memungkinkan karena polutan pencemar yang paling sering ditemui disekitar SPBU antara lain  $PM_{2.5}$  dan  $PM_{10}$ , karbon monoksida, timbal, sulfur dioksida dan nitrogen dioksida yang mana salah satu efek kesehatan yang ditimbulkannya adalah kelelahan (US.EPA, 2018), sejalan dengan penelitian (Fajar et al., 2022) bahwa keluhan kesehatan yang paling sering dialami oleh pekerja SPBU adalah kelelahan (91,4%), sakit kepala (57,1%) dan dialami oleh mayoritas pekerja berusia  $>30$  tahun. Hal ini menunjukkan semakin bertambah umur pekerja maka resiko mengalami gangguan kesehatan akan semakin bertambah. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Harnia di Kota Makassar menganalisis risiko kesehatan lingkungan pajanan Debu  $PM_{10}$  pada relawan lalu lintas mayoritas responden mengeluhkan gangguan kesehatan seperti batuk, sakit kepala, sesak nafas dan iritasi mata (Harnia et al., 2019).

### Konsentrasi $PM_{2.5}$ dan Faktor Lingkungan

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi  $PM_{2.5}$  tertinggi terdapat pada pengukuran pagi hari di SPBU Maliaro ( $0,06mg/m^3$ ) dibandingkan pada SPBU Kalumata, jika dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah pada PP Nomor 22 tahun 2021 belum melebihi nilai baku mutu (Pemerintah, 2021), namun paparan yang terus menerus dikhawatirkan akan memberikan dampak

kesehatan dalam jangka Panjang jika tidak dilakukan pengendalian, oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan resiko kesehatan akibat paparan  $PM_{2.5}$  ini. Konsentrasi  $PM_{2.5}$  di udara ambien dapat dipengaruhi oleh suhu, kelembaban dan juga jumlah sumber pencemar dalam hal ini kendaraan. Ketika penelitian ini dilaksanakan, kondisi meteorologis di lingkungan SPBU juga diukur, diketahui suhu di lingkungan SPBU Maliaro lebih tinggi daripada suhu di lingkungan SPBU Kulumata, dan suhu pada kedua lingkungan SPBU ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan normal suhu rata-rata bulan Mei di Indonesia ( $27,8^{\circ}C$ ) (BMKG, 2024), tingginya suhu udara ini akan memungkinkan tingginya konsentrasi  $PM_{2.5}$  di udara ambien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah kendaraan di SPBU Maliaro secara garis besar lebih banyak dibanding SPBU Kulumata, selain itu posisi SPBU Maliaro yang berada dipertengahan pemukiman dan pinggir jalan dengan minimnya penghijauan memungkinkan tingginya konsentrasi  $PM_{2.5}$  ini.

Kadar PM yang terdapat di SPBU merupakan partikulat yang dibawa oleh kendaraan ketika kendaraan tersebut memasuki SPBU, atau dapat berasal dari ruang generator yang dapat mengeluarkan partikulat debu ketika beroperasi selain itu posisi SPBU yang berada dekat dengan jalan raya memungkinkan bahwa partikulat yang terdapat dari emisi kendaraan mempengaruhi hasil pengukuran. Penelitian yang dilakukan di Nigeria mengkonfirmasi hal yang sama (Ugochukwu C et al., 2014). Muliane dan Lestari menunjukkan bahwa ada korelasi konsentrasi harian  $PM_{2.5}$  dengan aktivitas transportasi yang padat disekitar Bundaran HI dan Kelapa Gading, dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) 0,532 untuk bundaran HI dan 0,538 untuk Kelapa Gading (Muliane & Lestari, 2011).

Tinggi rendahnya konsentrasi PM dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti dari sektor transportasi, emisi industri, kebakaran hutan dan kegiatan domestik jumlah kendaraan yang mengeluarkan emisi dan juga pengaruh kondisi meteorologi (Haryanto, 2018) dalam hal ini, sumber PM di area SPBU selain dipengaruhi dari sektor transportasi, dapat juga dipengaruhi kondisi meteorologis. Penelitian Chen dkk menyatakan bahwa pada skala nasional suhu, kelembaban dan angin memiliki pengaruh lebih besar terhadap konsentrasi  $PM_{2.5}$  dibanding dengan faktor meteorologi lainnya, suhu memberikan pengaruh paling kuat dan paling stabil terhadap konsentrasi  $PM_{2.5}$  lokal (Chen et al., 2018).

Konsentrasi  $PM_{2.5}$  sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti suhu dan kelembaban. Suhu udara berpengaruh karena disebabkan adanya reaksi kimia beberapa polutan yang akan berlangsung lebih cepat pada suhu tinggi (Rosalia et al., 2018).  $PM_{2.5}$  memiliki korelasi dengan parameter meteorologi, konsentrasi  $PM_{2.5}$  tertinggi terjadi ketika musim kering (Juni-Agustus) ketika suhu lebih tinggi dibandingkan dan konsentrasi terendah pada musim penghujan (Desember-Februari) ketika kelembaban tinggi (Gusnita & Cholianawati, 2019). Dalam hal kelembaban, penelitian di China menunjukkan bahwa saat kelembaban rendah, konsentrasi  $PM_{2.5}$  akan meningkat di udara seiring dengan bertambahnya kelembaban karena peningkatan higroskopis dan akumulasi dari  $PM_{2.5}$  (Fu et al., 2015), ketika kelembaban meningkat, partikel akan semakin besar dan semakin berat untuk bertahan di udara, lalu kemudian akan jatuh sehingga terjadi penurunan konsentrasi PM (Chen et al., 2018). Namun, penelitian Wang menunjukkan bahwa terdapat korelasi negatif antara konsentrasi  $PM_{2.5}$  dengan suhu dan berkorelasi positif dengan curah hujan (Wang & Ogawa, 2015)

### **Analisis Paparan Intake $PM_{2.5}$ dan Tingkat Risiko atau *Risk Quotient* (RQ).**

Hasil perhitungan paparan personal  $PM_{2.5}$  menunjukkan *intake* tertinggi yang diterima pada pengukuran pagi hari yaitu sebesar 0,09704mg/kg/hari terdapat pada SPBU Maliaro pada pengukuran pagi hari. Hasil perhitungan *intake* ini kemudian dibandingkan dengan nilai dosis respon untuk menghitung tingkat risiko paparan  $PM_{2.5}$ . Tingginya nilai *intake* akan mempengaruhi nilai RQ, sehingga diperoleh nilai RQ tertinggi tetap pada SPBU Maliaro yaitu pada pengukuran pagi hari sebesar 3,201, hal ini menunjukkan nilai  $RQ > 1$ . Nilai  $RQ > 1$  mengindikasikan bahwa perlu adanya pengendalian akan paparan  $PM_{2.5}$  di sumber cemaran untuk menghindari dampak kesehatan pada pekerja, karena diasumsikan dengan besaran konsentrasi yang sama selama 30 tahun akan memberikan masalah kesehatan kepada pekerja operator SPBU Maliaro.

Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu bahwa rata-rata konsentrasi  $PM_{2.5}$  masih dibawah baku mutu. Namun hasil perhitungan tingkat risiko paparan  $PM_{2.5}$  di lokasi radius 10meter dari pintu masuk stasiun, titik awal di pintu masuk terminal dan radius 10meter dari pintu gerbang sekolah dikategorikan dengan risiko tidak aman ( $RQ > 1$ ) (Pangestika & Wilti, 2021). Besar *intake*  $PM_{2.5}$

mempengaruhi besar nilai RQ, diketahui nilai  $RQ > 1$  pada pedagang di Terminal Kampung Rambutan berisiko menyebabkan gangguan kesehatan yaitu penurunan fungsi paru akibat paparan  $PM_{2.5}$  dalam pajanan *realtime* maupun *lifespan* 30 tahun kemudian (Falahdina, 2017).

Beberapa hasil penelitian terdahulu telah menunjukkan adanya efek jangka panjang paparan  $PM_{2.5}$  terhadap kesehatan. Partikel yang menjadi perhatian utama adalah partikel dengan diameter  $2,5\mu m$  hingga  $10\mu m$  (partikel kasar) dan partikel dengan ukuran lebih kecil dari  $2,5\mu m$ , paparan jangka panjang pada polutan ini tidak hanya mendekompensasi penyakit yang sudah ada namun juga menyebabkan gangguan kesehatan paru-paru dan masalah pernafasan seperti asma, penyakit paru obstruktif kronik (COPD), dan kanker paru bahkan di daerah pedesaan sekalipun (Pratiwi et al., 2023). Penelitian epidemiologis mengkonfirmasi bahwa paparan  $PM_{2.5}$  meningkatkan kejadian dan kematian akibat infeksi pernafasan. Disfungsi pertahanan tubuh host yang disebabkan oleh paparan  $PM_{2.5}$  menjadi kunci kerentanan infeksi akibat sistem pernafasan (Yang et al., 2020).

Perhitungan *intake* pajanan  $PM_{2.5}$  di udara dihitung secara *realtime* sehingga dapat tergambarkan besar pajanan yang telah diterima operator SPBU dari awal bekerja hingga waktu penelitian. Besar nilai *intake* berbanding lurus dengan nilai konsentrasi  $PM_{2.5}$ , laju asupan, frekuensi dan durasi pajanan. Artinya semakin besar nilai tersebut maka semakin besar nilai asupan individual atau populasi yang terpajan sedangkan nilai asupan berbanding terbalik dengan nilai berat badan dan periode waktu rata-rata, artinya semakin besar berat badan maka akan semakin kecil risiko kesehatan (Septian Maksum & Flora Ninta Tarigan, 2022)

Hasil perhitungan *intake*  $PM_{2.5}$  di SPBU Maliaro pada pengukuran siang dan sore hari serta di SPBU Kalumata pada seluruh waktu pengukuran dibandingkan dengan nilai dosis respon menghasilkan nilai  $RQ < 1$  hal ini mengindikasikan tingkat kualitas udara ambien di lokasi tersebut masih menunjukkan batas aman, hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yaitu hasil analisis dengan durasi pajanan *realtime*, 3 tahun dan 12 tahun pada remaja siswa menunjukkan batas aman terhadap pajanan  $PM_{2.5}$  ( $RQ < 1$ ) (Rosalia et al., 2018) dan penelitian risiko kesehatan akibat paparan partikel debu  $PM_{2.5}$  dari aktivitas transportasi dengan nilai konsentrasi rata-rata  $PM_{2.5}$  di empat lokasi yaitu area depan kampus UNG  $0.01116 \text{ mg/m}^3$ , area Toko Madina Baru  $0.02664 \text{ mg/m}^3$ , simpang lima Jalan Agus Salim  $0.03682 \text{ mg/m}^3$ , dan Pasar Sentral  $0.0144 \text{ mg/m}^3$ . Diperoleh nilai *intake realtime* non karsinogenik berturut turut sebesar  $1.43e^{-4} \text{ mg/kg/hari}$ ,  $9.49e^{-4} \text{ mg/kg/hari}$ ,  $6.44e^{-4} \text{ mg/kg/hari}$ , dan  $8.62e^{-4} \text{ mg/kg/hari}$  dan tingkat risiko pedagang kaki lima akibat paparan  $PM_{2.5}$  yaitu tidak berisiko ( $RQ \leq 1$ ) (Septian Maksum & Flora Ninta Tarigan, 2022). Namun hasil ini berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi yang melakukan analisis resiko pajanan  $PM_{2.5}$  pada relawan lalu lintas di Jalan Diponegoro Ungaran menunjukkan tingkat resiko pada 24 titik memiliki  $RQ \geq 1$   $PM_{2.5}$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa termasuk dalam kategori risiko tidak aman (Pertiwi et al., 2024).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi  $PM_{2.5}$  di udara ambien pada dua lokasi SPBU belum melewati baku mutu yang ditetapkan pemerintah, namun hasil perhitungan estimasi resiko akibat paparan  $PM_{2.5}$  pada operator SPBU di SPBU Maliaro menunjukkan paparan  $PM_{2.5}$  terus menerus selama 30 tahun kedepan akan memberikan risiko gangguan kesehatan terutama terhadap sistem pernafasan.

## SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah disajikan diatas, dapat diperoleh kesimpulan penelitian ini antara lain 1) Operator SPBU yang berisiko mengalami gangguan kesehatan mayoritas berjenis kelamin perempuan, berada pada rentang usia produktif serta memiliki rata-rata lama kerja 11,5 tahun. 2) Konsentrasi  $PM_{2.5}$  yang diperoleh pada udara ambien pada dua lokasi SPBU belum melewati baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah, namun berdasarkan hasil perhitungan estimasi resiko diperoleh nilai  $RQ > 1$  pada SPBU Maliaro, sehingga disarankan perlu adanya upaya pengendalian paparan atau *intake personal*  $PM_{2.5}$  pada operator SPBU dalam hal ini dapat berupa penegakan aturan penggunaan alat pelindung diri (APD) selama bekerja, atau adanya manajemen penghijauan di lingkungan areal SPBU sebagai bentuk upaya penurunan konsentrasi  $PM_{2.5}$  di udara ambien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. O., Thundiyil, J. G., & Stolbach, A. (2012). Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *Journal of Medical Toxicology*, 8(2), 166–175. <https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1>
- BMKG. (2024, October). Anomali Suhu Udara Bulanan. Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika. <https://www.bmkg.go.id/iklim/anomali-suhu-udara-bulanan.bmkg?p=anomali-suhu-udara-bulan-september-2024&tag=&lang=ID>
- Chen, Z., Xie, X., Cai, J., Chen, D., Gao, B., He, B., Cheng, N., & Xu, B. (2018). Understanding Meteorological Influences on PM<sub>2.5</sub> Concentrations Across China: A Temporal and Spatial Perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 5343–5358. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/acp-18-5343-2018>
- Fajar, M. F., Rosita, Y., & Pramayastri, V. (2022). Karakteristik Pekerja Spbu Dengan Keluhan Kesehatan Akibat Terpapar Timbal. *OKUPASI: Scientific Journal of Occupational Safety & Health*, 2(1), 25–33.
- Falahdina, A. (2017). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan PM<sub>2,5</sub> Pada Pedagang Tetap Di Terminal Kampung Rambutan. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Fu, X., Wang, X., Hu, Q., Li, G., Ding, X., Zhang, Y., He, Q., Liu, T., Zhang, Z., Yu, Q., Shen, R., & Bi, X. (2015). Changes in Visibility With PM<sub>2.5</sub> Composition and Relative Humidity at A Background Site in The Pearl River Delta Region. *Journal of Environmental Sciences*, 40, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.12.001>
- Ginting, D. B., Santosa, I., & Indra Trigunarto, S. (2022). Kadar Oksigen Darah Petugas Operator SPBU Kota Bandar Lampung Tahun. *Jurnal Analisis Kesehatan*, 11(2), 2022. [https://www.researchgate.net/publication/367027715\\_Kadar\\_Oksigen\\_Darah\\_Petugas\\_Operat\\_or\\_SPBU\\_Kota\\_Bandar\\_Lampung\\_Tahun\\_2022](https://www.researchgate.net/publication/367027715_Kadar_Oksigen_Darah_Petugas_Operat_or_SPBU_Kota_Bandar_Lampung_Tahun_2022)
- Gusnita, D., & Cholianawati, N. (2019). Pollutant Concentration and Trajectory Patterns of PM<sub>2.5</sub> Including Meteorological Factors in Jakarta City. *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 4(3), 152–163. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i3.35028> Accepted:
- Harnia, Ishak, H., Ikhtiar, M., Bintara, A., Habo, H., & Arman. (2019). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pakanan Debu PM<sub>10</sub> Pada Relawan Lalu Lintas Di Jalan Urip Sumoharjo Kota Makassar. *Jurnal Mirai Management*, 4(2), 2597–4084. <https://journal.stieamkop.ac.id/index.php/miraipg.347>
- Haryanto, B. (2018). Climate Change and Urban Air Pollution Health Impacts in Indonesia. In R. Akhtar & C. Palagiano (Eds.), *Climate Change and Air Pollution* (pp. 215–239). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.5124/jkma.2011.54.2.175>
- Hester, R. E., Harrison, R. M., & Querol, X. (2016). Airborne Particulate Matter: Sources, Atmospheric Processes and Health. In R. E. Hester, R. M. Harrison, & X. Querol (Eds.), *Airborne Particulate Matter: Sources, Atmospheric Processes and Health*. the Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781782626589-FP001>
- Jimoda, L. A. (2012). Effects of Particulate Matter on Human Health, the Ecosystem, Climate and Materials: a Review. *Facta Universitatis*, 9(1), 27–44.
- Jusuf, Herlina, Prasetya, E., & Igrisa, N. (2023). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Particulate Matter (PM<sub>10</sub>) dan Karbon Monoksida (CO) Pada Masyarakat Di Desa Buata Kecamatan Botupingge. *Jurnal Sulolipu : Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat*, 23(1). <https://ojs3.poltekkes-mks.ac.id/index.php/medkasi/article/view/428>
- Kemkes RI. (2012). Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Guidance on Environmental Health Risk Analysis). Dirjen P2PL.
- Kementerian Kesehatan. (2019). Laporan Nasional Riskesdas 2018. Badan penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
- Ma'rufi, I. (2017). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub> dan TSP) Akibat Transportasi Kendaraan Bermotor di Kota Surabaya. *MPI (Media Pharmaceutica Indonesiana)*, 1(4), 189–196. <https://doi.org/10.24123/mpiv1i4.770>
- Muliane, U., & Lestari, P. (2011). Pemantauan Kualitas Udara Ambien Daerah Padat Lalu Lintas dan Komersial DKI Jakarta: Analisis Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> Dan Black Carbon. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 17(2), 178–188.

- Pangestika, R., & Wilti, I. R. (2021). Karakteristik Risiko Kesehatan Non-Karsinogenik Akibat Paparan PM<sub>2,5</sub> di Tempat-Tempat Umum Kota Jakarta. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(1), 7–14. <https://doi.org/10.14710/jkli.20.1.7-14>
- Pemerintah, P. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (22 tahun 2021). Art. 22 tahun 2021.
- Pertiwi, K. D., Lestari, I. P., & Afandi, A. (2024). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Debu PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2.5</sub> pada Relawan Lalu Lintas di Jalan Diponegoro Ungaran. *Pro Health Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 6(2), 85–91. <https://jurnal.unw.ac.id/index.php/PJ/article/view/3351/2358>
- Polri. (2023). Jumlah Data Kendaraan Bermotor Provinsi Maluku Utara. <http://rc.korlantas.polri.go.id:8900/eri2017/laprekappolres.php?kdpolda=20&poldanya=MALUKU UTARA>
- Pratiwi, Y. E., Taufik, F. F., Habibi, J., & Wibowo, A. (2023). The Impact of Particulate Matter on the Respiratory System. *Jurnal Respirasi*, 9(3), 237–245. <https://doi.org/10.20473/jr.v9-i.3.2023.237-245>
- Rosalia, O., Wispriyono, B., & Kusnoputranto, H. (2018). Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogen Pada Remaja Siswa Akibat Paparan Inhalasi Debu Particulate Matter <2,5 (PM<sub>2,5</sub>). *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 14(1), 26. <https://doi.org/10.30597/mkmi.v14i1.2079>
- Septian Maksum, T., & Flora Ninta Tarigan, S. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Partikel Debu (PM 2,5) Dari Aktivitas Transportasi. *Jambura Health and Sport Journal*, 4(1), 19–28. <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jhsj/article/download/13447/3964>
- Ugochukwu C, O., Ijioma N, O., & Ikechukwu, O. (2014). Environmental Impact Assesment of Petrol and Gas Filling Stations On Air Quality In Umuahia, Nigeria. *Global Journal of Engineering Research*, 13, 11–20. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4314/gjer.v13i1.2>
- US.EPA. (2018). Criteria Air Pollutants. [www.epa.gov/criteria-air-pollutants](http://www.epa.gov/criteria-air-pollutants)
- Wang, J., & Ogawa, S. (2015). Effects of Meteorological Conditions on PM 2.5 Concentrations in Nagasaki, Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, 9089–9101. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809089>
- WHO. (2018). WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018).
- Yang, L., Li, C., & Tang, X. (2020). The Impact of PM<sub>2.5</sub> on the Host Defense of Respiratory System. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8(91), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00091>