

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan dengan *Total Suspended Particulate* Sebagai *Risk Agent* di Area Produksi Industri Manufaktur (Studi Kasus PT X Sukoharjo Jawa Tengah)

Daniel Surya Wijaya¹, Sunarto¹, dan Siti Rachmawati^{1*}

¹Program Ilmu Lingkungan, Universitas Sebelas Maret; *e-mail: siti.rachmawati@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Proses produksi *waterglass* yang berlangsung di PT X, Sukoharjo menghasilkan sejumlah polutan atau emisi yang salah satunya berupa partikulat debu tersuspensi total atau *Total Suspended Particulate* (TSP). Kontaminasi debu TSP dalam udara ambien ini dikhawatirkan dapat mempengaruhi kondisi kesehatan lingkungan dan juga karyawan pabrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi dan tingkat risiko dari pajanan debu TSP di area produksi PT X. Penelitian dilakukan di area produksi PT X dengan metode pengambilan sampel TSP berdasarkan SNI 7119-3-2017 tentang cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dan analisis risiko berdasarkan model Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang dilakukan terhadap 35 orang pekerja berdasarkan metode *total sampling*. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi debu TSP di area produksi PT X sebesar 287.02 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan kategori tingkat risiko aman bagi 12 pekerja dengan kriteria berat badan 65.4 kg hingga 72.35 kg dan tidak aman bagi 23 pekerja dengan kriteria berat badan 52.8 kg hingga 63.8 kg.

Kata kunci: Agen Risiko, Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), *High Volume Air Sampler* (HVAS), *Total Suspended Particulate* (TSP)

ABSTRACT

The *waterglass* production process that takes place at PT X, Sukoharjo produces a number of pollutants or emissions, one of which is Total Suspended Particulate (TSP). Contamination of TSP dust in ambient air is feared to affect the health condition of the environment and also factory employees. This study aims to analysis the concentration and risk level of TSP dust exposure in the production area of PT X. The research was conducted in the production area of PT X with the TSP sampling method based on SNI 7119-3-2017 on how to test for totally suspended particles using High Volume Air Sampler (HVAS) equipment and risk analysis based on the Environmental Health Risk Analysis (ARKL) model which was carried out to 35 workers based on the total sampling method. The results showed that the concentration of TSP dust in the PT X production area was 287.02 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ with a safe risk level category for 12 workers with criteria for body weight 65.4 kg to 72.35 kg and unsafe for 23 workers with criteria for body weight 52.8 kg to 63.8 kg.

Keywords: Environmental Health Risk Assessment (EHRA), High Volume Air Sampler (HVAS), Risk Agent, Total Suspended Particulate (TSP)

Citation: Wijaya, D.S., Sunarto, dan Rachmawati, S. (2024). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan dengan *Total Suspended Particulate* Sebagai *Risk Agent* di Area Produksi PT X Sukoharjo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 678-686, doi:10.14710/jil.22.3.678-686

1. PENDAHULUAN

Lingkungan yang ideal terdiri dari kombinasi dan interaksi antara komponen lingkungan yang mencakup komponen abiotik, biotik dan kultural dalam proporsi yang seimbang. Namun belakangan ini, pengaruh dari aktivitas antropogenik mulai menggeser keseimbangan dari kombinasi dan interaksi antara komponen-komponen lingkungan tersebut hingga kemudian memicu timbulnya permasalahan lingkungan. Sebagian besar permasalahan lingkungan muncul akibat luaran emisi dan limbah yang berasal dari aktivitas antropogenik manusia, selaras dengan asas 2 dari 14 asas

lingkungan yang menyatakan bahwa tidak ada sistem pengubah energi yang benar-benar efisien. Luaran emisi dan limbah tersebut antara lain dapat berupa emisi gas rumah kaca/ GRK (seperti CO_2 , CO , CH_4 , NO_x), limbah cair, limbah padat, limbah B3, limbah domestik dan lain sebagainya. Dampak dari emisi dan limbah yang dihasilkan oleh sebuah aktivitas antropogenik seperti aktivitas industri dan aktivitas komersial (Ofrialdkk., 2020).

Salah satu dampak negatif yang muncul akibat adanya aktivitas antropogenik adalah pencemaran udara. Pencemaran udara merupakan peristiwa masuk atau dimasukkannya zat, energi atau

komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia (antropogenik) (Rahmasari dan Noeryanti, 2021). Pencemaran udara oleh aktivitas manusia yang melebihi batas, menyebabkan udara tidak mampu memenuhi fungsi untuk mendukung kehidupan manusia dan lingkungan (Suryadi dkk, 2022). Penurunan kualitas udara ini sendiri dapat terjadi melalui perubahan sifat fisis maupun kimiawi pada udara. Perubahan sifat fisis pada udara antara lain dapat meliputi perubahan suhu, warna, bau, rasa, kelembaban, kecepatan dan arah aliran, serta tekanan pada udara. Perubahan sifat kimiawi pada udara antara lain dapat berupa pengurangan atau penambahan salah satu komponen kimia dalam udara oleh zat pencemar. Zat pencemar yang ada pada udara ambien seperti CO, CO₂, NO₂, SO₂, hingga berbagai macam partikulat seperti PM 10, PM 2.5 dan TSP (*Total Suspended Particulate*) akan menimbulkan dampak berupa pencemaran yang mengganggu kualitas udara ambien, terutama di daerah industrial (Thomas et al., 2020).

PT X berlokasi di Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah merupakan sebuah perusahaan manufaktur yang memproduksi Natrium Silikat (Na₂SiO₃) atau *waterglass*. PT X dalam memproduksi Natrium Silikat atau *waterglass* menggunakan dua bahan baku utama yang terdiri dari Natrium Karbonat (Na₂CO₃) atau soda ash dan pasir silika (SiO₂). Proses produksi *waterglass* akan menghasilkan sejumlah polutan atau emisi yang salah satunya berupa partikulat debu tersuspensi total atau *Total Suspended Particulate* (TSP) yang berpotensi mencemari udara ambien di kawasan PT X, utamanya di area produksi pabrik. Keberadaan partikulat debu TSP dalam udara ambien di kawasan PT X tersebut tentunya dapat mempengaruhi kondisi kesehatan lingkungan dan juga karyawan pabrik.

Total Suspended Particulate (TSP) merupakan sekumpulan partikel-partikel halus yang ada di udara dengan diameter kurang dari 100 µm (Basuki dan Saptutyningasih, 2012). TSP dapat muncul sebagai dampak dari adanya aktivitas antropogenik yang melibatkan proses pengolahan material seperti penghancuran, pelembutan, pemindahan, pengepakan dan lain sebagainya, baik yang berasal dari material organik maupun anorganik seperti kayu, batu, pasir, plastik, bijih logam, butir-butir zat padat dan lain sebagainya (Panggabean dkk., 2020)

Silika umumnya banyak dijumpai dalam bentuk pasir atau kuarsa sehingga berpotensi memiliki jangkauan paparan yang luas, baik di lingkungan kerja maupun di lingkungan sekitar. Keberadaan debu silika dalam udara ambien umumnya dijumpai dalam bentuk kristal silika yang apabila terhirup oleh manusia, maka dapat menyebabkan gangguan autoimun, penurunan fungsi paru-paru, radang paru-paru hingga kanker (Regia dan Oginawati, 2017), menyebabkan fibrosis pada sistem pernapasan manusia (Indrasukma, 2013), silikosis (Putri dkk., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi dan tingkat risiko dari pajanan debu TSP di area produksi PT X.

2. METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Penelitian dilaksanakan pada Februari – April 2023. Variabel yang dianalisis meliputi konsentrasi TSP, nilai intake TSP dan karakterisasi risiko yang dialami oleh pekerja di area produksi PT X. Pengukuran terhadap konsentrasi TSP dilakukan berdasarkan metode SNI nomor 7119-3:2017 mengenai cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan metode gravimetri. Konsentrasi TSP diukur pada satu titik yang dianggap paling dapat mewakili kondisi kontaminasi TSP di area pabrik PT X, yaitu di area produksi yang memiliki kepadatan aktivitas pekerja paling tinggi. Penelitian ini juga menggunakan metode pengambilan data melalui kuesioner untuk menghimpun data antropometri dan identifikasi gejala atau keluhan penyakit yang dirasakan oleh total 35 orang pekerja yang bekerja di area produksi yang didapat melalui teknik pengambilan sampel secara total sampling. Nilai intake dianalisis berdasarkan pada efek non-karsinogenik dari agen risiko TSP yang dihitung berdasarkan pada rumus berikut:

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

Keterangan:

- I_{nk} : Nilai intake atau asupan (mg/kg/hari).
- C : Konsentrasi agen risiko pada media udara ambien (mg/m³).
- R : Laju inhalasi dewasa (0.83 m³/jam).
- t_E : Jumlah jam pajanan setiap harinya (jam/hari).
- f_E : Jumlah tahun terjadinya pajanan (tahun).
- Dt : Jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya (hari/tahun).
- Wb : Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi (kg). Memiliki nilai *default* untuk dewasa sebesar 55 kg dan untuk anak-anak sebesar 15 kg.
- t_{avg} : Periode waktu rata-rata untuk efek non-karsinogenik (hari).

Prakiraan nilai karakterisasi risiko dilakukan dengan menghitung nilai tingkat risiko untuk efek non karsinogenik yang dinyatakan dalam notasi *Risk Quotien* (RQ) dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

- RQ : *Risk Quotien* atau tingkat risiko
- I : Intake yang telah dihitung
- RfC : Nilai referensi agen risiko pada jalur pajanan inhalasi

Tingkat risiko dikatakan AMAN apabila nilai intake \leq RfC atau dinyatakan dengan $RQ \leq 1$ dan dikatakan TIDAK AMAN apabila nilai intake $>$ RfC atau dinyatakan dengan $RQ > 1$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsentrasi TSP pada Area Produksi PT X

Hasil analisis uji kadar *Total Suspended Particulate* (TSP) dalam udara ambien di area produksi PT X dengan metode gravimetri menunjukkan kadar TSP sebesar $287.02 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan suhu rata-rata mencapai 31.9°C , kelembaban rata-rata 65.85% RH dan tekanan udara rata-rata mencapai 747.1 mmHg . Hasil pengukuran konsentrasi TSP menunjukkan nilai yang telah melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) dari parameter TSP seperti yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yaitu sebesar $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Dikutip dari Dewi dkk (2018), pertumbuhan laju produksi dalam suatu sektor industri dapat mengakibatkan penambahan beban emisi pencemar ke udara, sehingga berpotensi mempengaruhi konsentrasi polutan pada udara ambien. Berdasarkan hal tersebut, tingginya nilai konsentrasi TSP yang ada di area produksi PT X ini dapat dipengaruhi oleh tingginya laju produksi dan peningkatan rasio bahan baku untuk memenuhi permintaan konsumen saat pengukuran dilakukan, serta juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas pekerja bagian umum yang menyapu ceceran bahan baku yang terjatuh di tanah sehingga debu yang semula berada di bawah menjadi beterbangan di area produksi. Tingginya konsentrasi TSP di lokasi pengukuran juga dapat dipengaruhi oleh faktor kondisi cuaca, kecepatan angin dan suhu di lokasi pengukuran seperti yang dikutip dari Hananto (2018), bahwa konsentrasi pencemar akan berkurang apabila angin bergerak kencang dan membagikan pencemar secara datar atau tegak lurus dan suhu yang tinggi dapat menyebabkan penggunaan bahan bakar naik, sehingga pemanasan akan menaikkan jumlah pencemar. Kondisi suhu udara yang tinggi dapat meningkatkan kelembaban udara yang dapat mempengaruhi konsentrasi partikel debu di udara (Oktaviani dan Prasasti, 2015) dan semakin tinggi kelembaban maka kemungkinan pencemar udara untuk bereaksi dengan air akan semakin tinggi sehingga berat jenis pencemar semakin meningkat (Gultom dan Melinda, 2021). Berdasarkan hal tersebut, maka dapat diasumsikan bahwa suhu serta kelembaban rata-rata yang relatif tinggi dan juga fluktuasi tekanan udara yang rendah sehingga menyebabkan tidak ada atau rendahnya kecepatan angin dapat menyebabkan tingginya konsentrasi TSP di lokasi pengukuran tersebut.

3.2. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Identifikasi Bahaya

Salah satu bahaya yang diidentifikasi sebagai agen risiko di area PT X adalah keberadaan debu partikulat

tersuspensi total atau *Total Suspended Particulate* (TSP). Keberadaan agen risiko TSP di area pabrik PT X tidak terlepas dari penggunaan pasir silika dan *soda ash* sebagai bahan baku produksi di lokasi tersebut. Hasil analisis uji kadar TSP dalam udara ambien di area produksi PT X dengan metode gravimetri menunjukkan kadar TSP sebesar $287.02 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ yang mana nilai ini telah melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) dari parameter TSP seperti yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yaitu sebesar $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Aktivitas produksi yang dijalankan oleh PT X merupakan sumber utama dari adanya kontaminasi TSP dalam udara ambien di area pabrik PT X, utamanya di area produksi.

Rangkaian proses produksi di PT X, proses persiapan bahan baku, proses mixing serta proses transportasi dan *packing cullet* merupakan proses yang paling banyak menghasilkan emisi TSP. Partikulat TSP dapat digolongkan sebagai agen risiko karena efeknya yang berbahaya bagi kesehatan manusia apabila terpajan dalam waktu tertentu. Adanya kontaminasi TSP dalam udara ambien di area pabrik PT X tentu akan berpotensi untuk menimbulkan risiko dan bahaya yang dapat mengancam kesehatan, keamanan dan kenyamanan para pekerja pabrik. Berdasarkan hasil analisis kuesioner dan wawancara singkat yang ditujukan untuk para pekerja bagian produksi dan umum PT X, dapat diketahui beberapa keluhan penyakit yang terkait dengan pajanan partikulat TSP di tempat kerja seperti yang dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Identifikasi Keluhan Penyakit Pada Pekerja Bagian Produksi dan Umum PT X

No	Keluhan Penyakit	Ya	Tidak	Persentase (Ya)
1	Kulit gatal, kemerahan, bengkak dan muncul ruam	29	4	83%
2	Mata gatal, merah dan berair	30	5	86%
3	Batuk berdahak	27	8	77%
4	Tenggorokan gatal, perih dan kering	35	0	100%
5	Sesak napas	30	5	86%
6	Nyeri otot	25	10	71%
7	Nyeri kepala	34	1	97%
8	Nyeri di bagian dada dan demam	35	0	100%
9	Bersin-bersin, pilek, rasa gatal pada hidung dan hidung tersumbat	35	0	100%
10	Penurunan kebugaran jasmani	35	0	100%

Berdasarkan Tabel 1, terdapat beberapa keluhan penyakit yang berhasil diidentifikasi dari total 35 pekerja bagian produksi dan umum di area produksi PT X, diantaranya seperti tenggorokan gatal, perih dan kering, iritasi mata, iritasi kulit, sesak nafas, gejala penurunan kebugaran jasmani seperti mudah mengeluhkan capek atau lelah (Ekawati dkk., 2016),

serta beberapa gejala infeksi saluran pernapasan seperti nyeri otot, nyeri kepala, dan nyeri dada. Keluhan-keluhan yang berhasil diidentifikasi tersebut sesuai dengan pernyataan Kurniawidjadja dkk (2019), yang menyatakan bahwa dampak dari pajanan partikel debu dapat berupa keluhan batuk, nyeri dada dan iritasi hidung yang muncul sebagai mekanisme pertahanan tubuh dalam menanggapi adanya suatu zat atau partikel berbahaya di dalam tubuh, yang ditandai dengan adanya keluhan seperti batuk, dahak, bunyi mengi dan sesak nafas.

Analisis Dosis Respon

Berdasarkan apa yang terjadi di area produksi PT X, konsentrasi TSP di udara ambiennya telah melebihi batas NAB yang berlaku sehingga tentu kemudian akan muncul beberapa dampak langsung terhadap kesehatan para pekerja di area tersebut. Beberapa dampak terhadap kesehatan pekerja yang berhasil diidentifikasi antara lain meliputi gejala-gejala iritasi saluran pernafasan, iritasi mata dan iritasi kulit seperti tenggorokan gatal, perih dan kering, nyeri otot, nyeri kepala, dan nyeri dada, mata merah dan terasa perih, serta kulit terasa panas dan gatal-gatal. Temuan tersebut sejalan dengan pernyataan Indriyani dkk (2017), yang juga menyatakan bahwa pajanan debu yang masuk ke dalam saluran pernapasan dapat menimbulkan reaksi mekanisme pertahanan tubuh non spesifik berupa batuk, bersin, bunyi mengi, sesak nafas dan gangguan transport mukosilier, serta juga dapat mengakibatkan iritasi kulit dan mata. Sebagai agen risiko yang berwujud partikulat dengan diameter kurang dari 100 µm, TSP merupakan salah satu agen risiko yang memiliki jalur pemajanan (*pathways*) ke dalam tubuh manusia melalui jalur inhalasi atau pernapasan sehingga efeknya lebih berdampak pada organ pernapasan seperti hidung, tenggorokan dan paru-paru. Selanjutnya untuk mengetahui nilai toksisitas dari agen risiko TSP, digunakan data dari IRIS US-EPA yang menetapkan nilai konsentrasi referensi (RfC) dari agen risiko TSP untuk efek non-karsinogenik yaitu sebesar 0,02 mg/kg.hari (Sunarsih dkk., 2019).

Analisis Pajanan

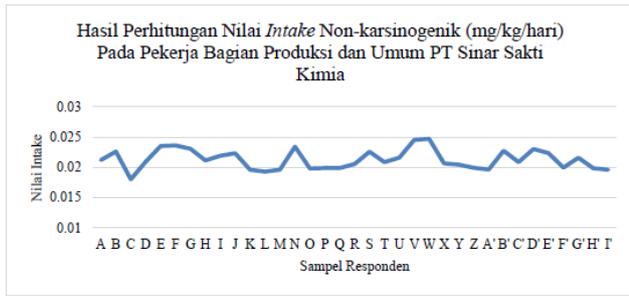
Analisis pajanan dilakukan dengan menghitung nilai intake atau asupan dari agen risiko yang dialami para oleh pekerja yang banyak berinteraksi secara langsung dengan agen risiko TSP. Dalam penelitian ini, nilai intake dianalisis berdasarkan pada efek non-karsinogenik dari agen risiko TSP. Untuk efek non-karsinogenik, nilai intake dianalisis menggunakan nilai konsentrasi referensi (RfC) dari agen risiko TSP yang sudah diketahui pada tahapan sebelumnya. Dalam melakukan analisis pajanan, diperlukan

beberapa data yang mencakup parameter-parameter antropometri dan parameter lain yang terkait dengan kondisi eksisting para pekerja di area produksi PT X. Nilai dari beberapa parameter tersebut dapat diperoleh melalui studi literatur maupun melalui hasil pengukuran atau penelitian di lapangan. Beberapa parameter yang digunakan dalam analisis pajanan di penelitian ini antara lain yaitu berat badan responden (Wb) yang diperoleh melalui hasil wawancara responden dan diukur dalam satuan kilogram (kg), laju inhalasi rata-rata (R) yang diperoleh berdasarkan referensi nilai default dalam Rauf et al (2021) sebesar 0.83 m³/jam, lama waktu pajanan (tE) yang diperoleh melalui hasil wawancara responden dan diukur dalam satuan jam/hari, frekuensi atau jumlah hari pajanan (fE) yang diperoleh melalui hasil wawancara responden dan diukur dalam satuan hari/tahun, jumlah tahun pajanan (Dt) yang diperoleh melalui hasil wawancara responden dan diukur dalam satuan tahun, periode waktu pajanan (tavg) yang diperoleh melalui hasil wawancara responden dan diukur dalam satuan hari, dan konsentrasi agen pencemar selama 24 jam (C) yang diperoleh melalui hasil pengukuran lapangan dan diukur dalam satuan µg/Nm³. Berikut merupakan salah satu contoh dari penyajian data antropometri berupa berat badan pekerja (Wb) yang berhasil diidentifikasi oleh peneliti.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Berat Badan (Wb) Pada Pekerja Bagian Produksi dan Umum PT X

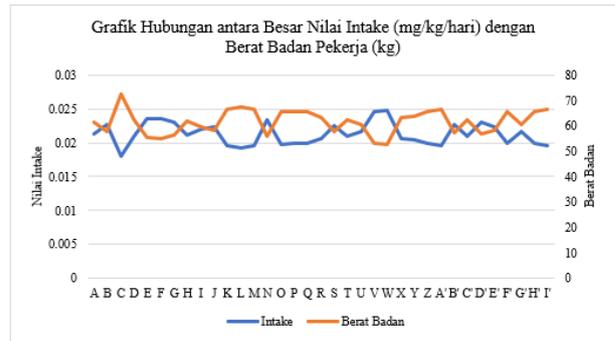
Sampel	Wb (kg)	Sampel	Wb (kg)
A	61.45	S	57.8
B	57.7	T	62.46
C	72.35	U	60.4
D	62.3	V	53.2
E	55.45	W	52.8
F	55.2	X	63.1
G	56.51	Y	63.8
H	61.73	Z	65.45
I	59.53	A'	66.4
J	58.42	B'	57.3
K	66.5	C'	62.5
L	67.58	D'	56.62
M	66.5	E'	58.3
N	55.7	F'	65.4
O	65.8	G'	60.38
P	65.57	H'	65.72
Q	65.6	I'	66.54
R	63.45		
Rata-rata (kg)		61.59	

Setelah nilai dari parameter kondisi eksisting diketahui, maka berikutnya dapat dihitung nilai intake non-karsinogenik (Ink) dari agen risiko TSP yang diukur berdasarkan perhitungan risiko yang diterima saat ini (*realtime*) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hasil Perhitungan Intake Non-karsinogenik.

Berdasarkan Gambar 1, dapat diketahui nilai intake non-karsinogenik dari keseluruhan 35 sampel responden yang diberi kode A hingga T. Hasil perhitungan menunjukkan nilai intake non-karsinogenik terkecil ada pada sampel pekerja berkode C dengan nilai intake sebesar 0.018042173 mg/kg/hari. Adapun pekerja C memiliki berat badan sebesar 72.35 kg dengan durasi kerja di PT X selama 5 tahun, sedangkan nilai intake terbesar ada pada sampel pekerja berkode W dengan nilai sebesar 0.024722561 mg/kg/hari. Pekerja W memiliki berat badan sebesar 52.8 kg dengan durasi kerja di PT X selama 7 tahun. Kemudian untuk hasil perhitungan rata-rata dengan berat badan rata-rata ($W_{rata-rata}$) sebesar 61.59 kg dan durasi kerja rata-rata ($D_{rata-rata}$) selama 5 tahun, didapatkan hasil intake sebesar 0.021195584 mg/kg/hari. Berdasarkan hasil tersebut, pekerja W yang memiliki durasi kerja lebih lama daripada pekerja C, namun dengan berat badan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan pekerja C ternyata memiliki nilai intake yang lebih besar apabila dibandingkan dengan nilai intake pekerja C. Kemudian apabila dibandingkan lagi antara durasi kerja rata-rata ($D_{rata-rata}$) dengan durasi kerja pekerja C yang sama-sama 5 tahun, namun dengan berat badan rata-rata ($W_{rata-rata}$) yang lebih kecil daripada berat badan pekerja C, ternyata nilai intake rata-rata memiliki nilai intake yang lebih besar bila dibandingkan dengan nilai intake pekerja C. Temuan ini menunjukkan bahwa faktor berat badan pekerja (W_b) memiliki pengaruh yang lebih signifikan terhadap nilai intake daripada faktor durasi kerja pekerja (D_t) sesuai dengan temuan (Nur dkk., 2021) yang menyatakan bahwa nilai asupan atau intake berbanding terbalik dengan berat badan, sehingga semakin besar berat badan maka akan semakin kecil nilai asupan (intake) yang diterima oleh responden. Adapun hubungan antara nilai berat badan pekerja dengan nilai intake pekerja dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.

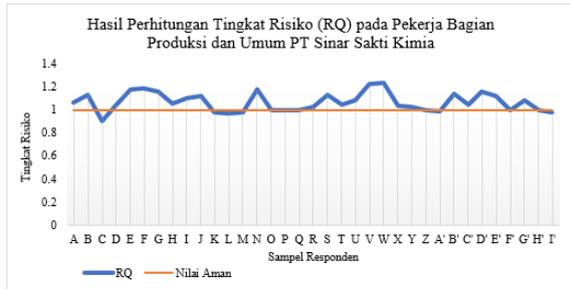


Gambar 2. Grafik Hubungan antara Besar Nilai Intake (mg/kg/hari) dengan Berat Badan Pekerja (kg).

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bentuk hubungan antara grafik nilai intake pekerja dengan grafik nilai berat badan pekerja di PT X yang berbanding terbalik. Gambar tersebut dapat menjelaskan hubungan keterbalikan antara nilai berat badan dengan nilai intake dimana semakin besar nilai berat badan pekerja, maka akan semakin kecil nilai intake yang diterima oleh pekerja. Adapun hubungan keterbalikan antara nilai berat badan pekerja dengan nilai intake pekerja ini sesuai dengan temuan Wahyuni dkk (2018) dan Darmawan (2018) yang menyatakan bahwa nilai asupan (intake) berbanding terbalik dengan besar berat badan sehingga semakin besar berat badan seseorang maka akan semakin kecil risiko kesehatannya. Fenomena ini dapat dipengaruhi oleh penurunan kapasitas volume paru-paru yang terjadi akibat peningkatan berat badan yang juga dapat menyebabkan penurunan nilai intake pada responden yang memiliki berat badan yang besar, sesuai dengan temuan Saminan (2019) yang menyatakan bahwa seseorang dengan berat badan berlebih akan memiliki kapasitas paru-paru yang lebih rendah karena penimbunan massa lemak yang meningkatkan elastisitas dan kemampuan sistem pernapasan, sehingga meningkatkan kerja otot-otot pernapasan. Temuan Mallongi et al (2018), juga mengemukakan bahwa dalam konsep analisis risiko, semakin besar bobot atau berat badan seseorang maka risiko yang diterima responden akibat sumber pencemar akan semakin kecil dikarenakan orang dengan berat badan lebih besar memiliki lebih banyak nutrisi daripada orang yang lebih kecil dan karenanya memiliki risiko yang lebih kecil. Penelitian Lan et al (2023), juga mengungkapkan bahwa asupan harian atau *daily intake* untuk anak-anak dapat menjadi lima kali lebih besar daripada orang dewasa, terutama dikarenakan frekuensi aktivitas tangan ke mulut (*hand-to-mouth*) yang lebih tinggi dan berat badan yang lebih kecil sehingga mengakibatkan risiko yang lebih tinggi. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Liu et al (2016), juga menemukan bahwa responden yang lebih banyak menghabiskan waktu di dalam ruangan dengan berat badan yang lebih ringan memiliki tingkat risiko pajanan debu yang lebih tinggi.

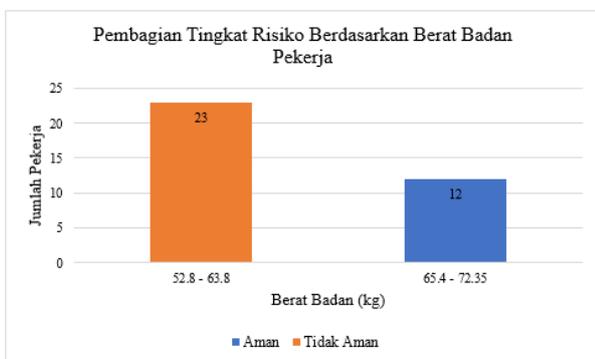
Karakterisasi Risiko

Tahap karakterisasi risiko dilakukan dengan menentukan tingkat risiko *Risk Quotien* (RQ) untuk efek non-karsinogenik (Ardhaneswari dan Wispriyono, 2022). Tingkat risiko dihitung berdasarkan perhitungan matematis antara nilai intake dengan nilai konsentrasi referensi (RfC) untuk efek non-karsinogenik. Hasil dari perhitungan tingkat risiko RQ dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Perhitungan Tingkat Risiko pada Pekerja Bagian Produksi dan Umum PT X.

Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui persebaran tingkat risiko (RQ) dari total 35 pekerja bagian produksi dan umum PT X, Sukoharjo. Tingkat risiko untuk efek kesehatan non-karsinogenik (RQ) dikatakan aman apabila nilai $RQ \leq 1$ dan dikatakan tidak aman apabila nilai $RQ > 1$ (Pangestika dan Wilti, 2021). Dapat dilihat dalam Gambar 3, nilai aman ditetapkan senilai angka 1 dan dilambangkan dengan garis berwarna merah. Terlihat dari Gambar 3, terdapat sejumlah pekerja yang memiliki nilai tingkat risiko di bawah 1 yang menandakan bahwa mereka memiliki tingkat risiko yang tergolong aman dan sejumlah pekerja lainnya yang memiliki nilai tingkat risiko di atas 1 yang menandakan bahwa mereka memiliki tingkat risiko yang tergolong tidak aman (*unacceptable*). Sama seperti nilai intake, nilai tingkat risiko juga memiliki hubungan yang signifikan dengan nilai berat badan pekerja. Untuk menunjukkan hal tersebut, nilai tingkat risiko dapat digolongkan berdasarkan nilai berat badan pekerja seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembagian Tingkat Risiko Berdasarkan Berat Badan Pekerja.

Berdasarkan Gambar 4, terdapat 12 pekerja dengan kategori tingkat risiko aman dan 23 pekerja dengan kategori tingkat risiko tidak aman. Untuk kategori tingkat risiko aman, pekerja yang berada dalam kategori ini memiliki rentang berat badan dari 65.4 kg hingga 72.35 kg dengan rentang nilai RQ dari 0.902108661 hingga 0.997974949, rentang nilai RQ tersebut masih memiliki nilai di bawah satu sehingga tingkat risikonya masih dapat dikatakan aman. Sedangkan untuk kategori tingkat risiko tidak aman, pekerja yang berada dalam kategori ini memiliki rentang berat badan dari 52.8 kg hingga 63.8 kg dengan rentang nilai RQ dari 1.023002534 hingga 1.236128061, rentang RQ ini memiliki nilai di atas satu sehingga tingkat risikonya dapat dikatakan tidak aman. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa nilai tingkat risiko RQ akan semakin kecil apabila nilai berat badan semakin besar yang mana hal ini sesuai dengan temuan Erdinur dkk (2021), yang menyatakan bahwa semakin besar nilai berat badan seseorang maka nilai tingkat risikonya akan semakin kecil. Hasil tersebut kemudian dapat diinterpretasikan sebagai berikut, bahwa untuk tingkat risiko dengan efek kesehatan non-karsinogenik dari paparan agen risiko TSP di udara ambien pada area produksi PT X melalui jalur pemajanan inhalasi dengan konsentrasi sebesar $287.02 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dinyatakan AMAN bagi pekerja dengan kriteria usia dewasa (< 18 tahun), berat badan 65.4 kg hingga 72.35 kg, bekerja selama 8 jam/hari dengan frekuensi paparan 250 hari/tahun selama kurang lebih 5 tahun dan dinyatakan TIDAK AMAN bagi pekerja dengan kriteria usia dewasa (< 18 tahun), berat badan 52.8 kg hingga 63.8 kg, bekerja selama 8 jam/hari dengan frekuensi paparan 250 hari/tahun selama kurang lebih 5 tahun. Untuk hasil perhitungan rata-rata dengan kriteria usia dewasa (< 18 tahun), berat badan rata-rata 61.59 kg, bekerja selama 8 jam/hari dengan frekuensi paparan 250 hari/tahun selama kurang lebih 5 tahun juga dinyatakan TIDAK AMAN dengan nilai RQ sebesar 1.059779 ($RQ > 1$).

Pengelolaan Risiko

Pengelolaan risiko dalam penelitian ini diperhitungkan berdasarkan nilai intake non-karsinogenik (I_{nk}) rata-rata yang didapat dari proses ARKL yaitu sebesar $0.021195584 \text{ mg}/\text{kg}/\text{hari}$ dengan kategori tingkat risiko tidak aman sehingga memerlukan upaya pengelolaan risiko untuk menghilangkan bahaya dan mengurangi atau mengendalikan risiko efek non-karsinogenik yang ditimbulkan oleh agen risiko TSP di area tersebut. Pengelolaan risiko dilakukan dengan menetapkan strategi pengelolaan risiko dan cara pengelolaan risiko yang sesuai dengan kondisi kontaminasi agen risiko di lingkungan kerja (Erdinur dkk., 2021). Adapun langkah penetapan strategi pengelolaan risiko meliputi penentuan batas aman dari beberapa parameter yang mempengaruhi besarnya nilai risiko seperti konsentrasi agen risiko (C), waktu paparan (t_E), frekuensi paparan (f_E), durasi paparan (Dt) dan

berat badan aman (Wb) (Faisya dkk., 2019). Dari kelima parameter tersebut kemudian akan ditentukan cara pengelolaan risiko dengan memperhatikan kemungkinan yang paling masuk akal dalam mencapai batas aman untuk diterapkan dalam kebijakan pabrik.

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui nilai batas aman dari beberapa parameter yang berpengaruh terhadap besarnya tingkat risiko. Nilai batas aman tersebut merupakan nilai batas atas atau nilai tertinggi yang menyebabkan tingkat risiko menjadi tidak aman (Tarigan, 2015). Maka dari itu, nilai yang benar-benar aman merupakan nilai yang berada di bawah batas amannya, terkecuali untuk nilai berat badan aman (Wb aman) yang merupakan nilai batas bawah sehingga nilai yang lebih kecil akan menyebabkan tingkat risiko menjadi tidak aman.

Setelah diketahui strategi pengelolaan risiko yang dapat diterapkan, maka selanjutnya dapat ditentukan

cara pengelolaan risiko yang sesuai dengan kondisi pabrik. Menurut Kemenkes Republik Indonesia (2012), cara pengelolaan risiko dapat disusun dalam tabel untuk memudahkan interpretasi, terutama untuk orang awam yang kurang memahami aspek analisis risiko. Adapun beberapa cara pengelolaan tersebut dapat disimak dalam Tabel 4

Tabel 3. Nilai Batas Aman

Parameter	Nilai Aman	Nilai Aman Ekuivalen
C_{nk} aman	0.27084759 mg/m ³	≈ 270.8 µg/m ³
t_{Enk} aman	7.549232537 jam/hari	≈ 7.5 jam/hari
f_{Enk} aman	235.9135168 hari/tahun	≈ 235 hari/tahun
D_{mk} aman	4.718270336 tahun	≈ 1715 hari atau 245 minggu
Wb aman	65.26756164 kg	≈ 65.3 kg

Tabel 4. Cara Pengelolaan Risiko

Pengelolaan	Alternatif Pendekatan		
	Teknologi	Sosio-Ekonomi	Institusional
Penurunan konsentrasi agen risiko hingga di bawah batas aman	Merancang sistem dan memasang peralatan <i>dust collector</i> berjenis <i>fabrics filter</i> atau <i>filter baghouse</i> yang memiliki efektivitas tinggi dan dapat menyaring 99% debu halus (Karunia dkk., 2017). Menggunakan peralatan <i>vacum cleaner</i> untuk membersihkan debu-debu yang berceceran di area produksi.	Menegaskan kembali peraturan mengenai penggunaan APD di lingkungan kerja yang terdiri dari masker debu yang berupa respirator dan dilengkapi dengan filter HEPA atau filter N95, helm <i>safety</i> , kacamata <i>safety</i> , earplug, sarung tangan dan pakaian berlengan panjang. Mengadakan program Medical <i>Check Up</i> (MCU) bagi semua pekerja secara rutin minimal setahun sekali. Meningkatkan kesadaran pekerja mengenai pentingnya penggunaan APD yang baik dan benar di lingkungan kerja.	Rutin melakukan pemantauan terhadap kualitas udara di area pabrik agar sesuai NAB serta menyampaikan pelaporan terkait hasil pemantauan kualitas udara secara rutin sesuai dengan peraturan pemerintah yang berlaku. Menyusun SOP terkait penyediaan dan penggunaan APD dan standar kualitas lingkungan kerja pabrik.
Pengurangan waktu terpajan hingga di bawah batas aman	Tidak ada	Mengatur ulang waktu atau jam kerja karyawan sesuai batas waktu pajanan aman (tE aman). Menerapkan aturan untuk mensterilkan area produksi selama jam istirahat.	Menaati aturan jam kerja karyawan sesuai UU No. 21 Tahun 2020 dan Peraturan Pemerintah No. 35 Tahun 2021 pasal 21 ayat (2).
Pengurangan frekuensi terpajan hingga di bawah batas aman	Tidak ada	Mengatur ulang frekuensi kerja karyawan sesuai batas frekuensi pajanan aman (fE aman). Menerapkan sistem rotasi kerja pada karyawan bagian produksi dan umum.	Tidak ada
Penyesuaian berat badan pekerja hingga sesuai batas aman	Tidak ada	Mengadakan program Medical Check Up (MCU) bagi semua pekerja secara rutin minimal setahun sekali.	Tidak ada

Sumber: Data Primer, 2023

4. KESIMPULAN

Area produksi PT X memiliki konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) yang telah melebihi NAB yang artinya pajanan debu TSP di area tersebut tergolong ke dalam kategori tidak sehat dan telah mencemari udara ambien di PT X. Tingkat risiko dengan efek kesehatan non-karsinogenik dari pajanan agen risiko *Total Suspended Particulate* (TSP) dalam udara ambien melalui jalur pemajanan inhalasi dengan konsentrasi sebesar 287.02 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dinyatakan AMAN bagi pekerja dengan kriteria usia dewasa (< 18 tahun), berat badan 65.4 kg hingga 72.35 kg, bekerja selama 8 jam/hari dengan frekuensi pajanan 250 hari/tahun selama kurang lebih 5 tahun. Kategori TIDAK AMAN bagi pekerja dengan kriteria usia dewasa (< 18 tahun), berat badan 52.8 kg hingga 63.8 kg, bekerja selama 8 jam/hari dengan frekuensi pajanan 250 hari/tahun selama kurang lebih 5 tahun dan bagi pekerja usia dewasa (< 18 tahun), berat badan rata-rata 61.59 kg, bekerja selama 8 jam/hari dengan frekuensi pajanan 250 hari/tahun selama kurang lebih 5 tahun.

Upaya pengelolaan risiko pajanan Total Suspended Particulate (TSP) dengan penerapan kebijakan administrasi yaitu 7.5 jam/hari untuk jam kerja dan 235 hari/tahun untuk frekuensi kerja agar sesuai dengan batas aman, serta memperbaiki kebijakan terkait penyediaan dan penggunaan APD yang sesuai standar dan pengadaan program Medical Check Up (MCU) secara rutin paling tidak setahun sekali.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhaneswari, M. dan Wispriyono, B. 2022. Analisis Risiko Kesehatan Akibat Pajanan Senyawa Nitrat dan Nitrit pada Air Tanah di Desa Cihambulu Subang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 21(1): 65-72.
- Basuki, A.T. dan Saptutyingsih, E. 2012. Pemetaan Polusi Udara Perkotaan di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Unisia*. (76): 3-27.
- Darmawan, R. 2018. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kadar NO₂ Serta keluhan kesehatan petugas Pemungut Karcis Tol. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 10(1):116-126.
- Dewi, N.W.S.P., June, T., Yani, M. dan Mujito, M., 2018. Estimasi Pola Dispersi Debu, So₂ dan Nox dari Industri Semen Menggunakan Model Gauss yang Diintegrasikan dengan Screen3. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*. 8(1): 109-119.
- Ekawati, H., Rachmawati, A.Y. and Wijaningsih, W., 2016. Faktor Determinan Kelelahan Kerja pada Tenaga Penjamah Makanan di Instalasi Gizi RS Dr R Soetijono Blora. *Jurnal Riset Gizi*. 4(2): 31-38.
- Erdinur, E., Muslim, B. dan Zicof, E. 2021. Risiko Pajanan Bahan Pencemar Terhadap Pekerja Pengecatan Mobil di Pt. Steelindo Motor Kota Padang. *Jurnal Sehat Mandiri*. 16(1): 105-114.
- Faisya, A.F., Putri, D.A. dan Ardillah, Y. 2019. Analisis risiko kesehatan lingkungan paparan hidrogen sulfida (H₂S) dan ammonia (NH₃) pada masyarakat wilayah

TPA Sukawinatan Kota Palembang Tahun 2018. *J Kesehatan Lingkungan Indones*. 18(2): 126-34.

- Gultom, H.M. dan Melinda, S., 2021. Pengaruh Angin Permukaan dan Kelembapan Udara Terhadap Suspended Particulate Matter (SPM) di Sorong Periode Januari-Juli 2019. *Buletin GAW Bariri*. 2(2): 71-78.
- Hananto, Yazid Muhammad. 2018. *Studi Deskriptif Tentang Faktor -Faktor Yang Mempengaruhi Kadar Debu Partikulat (TSP) Di Terminal Induk Kota Bekasi, Jawa Barat Tahun 2018*. (Electronic Thesis or Dissertation).
- Indrasukma, B. 2013. *Perbedaan Kapasitas Fungsi Paru FVC Dan FEV1 Berdasarkan Kadar Debu Silika pada Pekerja Pemecah Batu Di Wilayah Leyangan Kabupaten Semarang* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- Indriyani, D., Darundiati, Y.H. dan Dewanti, N.A.Y., 2017. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Debu Kayu pada Pekerja Di Industri Mebel Cv. Citra Jepara Kabupaten Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*. 5(5): 571-580.
- Kemenkes, R.I., 2012. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. *Ditjen P2P. Ditjen P2P*.
- Kurniawidjadja, L.M., Ok, S., Ramdhan, D.H., KM, S. and KKK, M. 2019. *Buku Ajar Penyakit Akibat Kerja dan Surveilans*. Jakarta: Universitas Indonesia Publishing.
- Lan, T., Chen, S., Zhang, Y., Gan, Z., Su, S., Ding, S. and Sun, W. 2023. Occurrence, ecology risk assessment and exposure evaluation of 19 anthelmintics in dust and soil from China. *Chemosphere*. 334(2023): 138971.
- Liu, Y., Ma, J., Yan, H., Ren, Y., Wang, B., Lin, C. and Liu, X. 2016. Bioaccessibility and health risk assessment of arsenic in soil and indoor dust in rural and urban areas of Hubei province, China. *Ecotoxicology and environmental safety*. 126 (2016): 14-22.
- Mallongi, A., Bustan, M.N. and Juliana, N. 2018, June. Risks Assessment due to the Exposure of Copper and Nitrogen Dioxide in the Goldsmith in Malimongan Makassar. In *Journal of Physics: Conference Series*. 1028(1): 12036. IOP Publishing.
- Nur, E., Seno, B.A. dan Hidayanti, R. 2021. Risiko Gangguan Kesehatan Masyarakat Akibat Pajanan PM₁₀ di Kota Padang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 20(2): 97-103.
- Ofrial, S. A. M., Zakaria, A., dan Herianto, D. 2020. Pemodelan dispersi udara ambien oleh polutan karbon monoksida sektor transportasi di kota Bandar Lampung. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri*. 1(1): 16-21
- Oktaviani, D.A. and Prasasti, C.I., 2015. Kualitas fisik dan kimia udara, karakteristik pekerja, serta keluhan pernapasan pada pekerja percetakan di surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 8(2): 195-205.
- Pangestika, R. dan Wilti, I.R. 2021. Karakteristik Risiko Kesehatan Non-Karsinogenik Akibat Pajanan PM_{2.5} di Tempat-Tempat Umum Kota Jakarta. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 20(1): 7-14.
- Panggabean, D., Hasairin, A. dan Hasruddin, H. 2020. *Mengenal Lichens Sebagai Bioindikator Pencemaran Udara: KIM 1 Mabar, Taman Beringin dan T- Garden*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Putri, A.N., Marlia, A., Mar'ah, E.C.F., Suswoyo, F.I.H., Hanief, M.A. dan Firdaus, V.A. 2021. Review Sistematis: Identifikasi Bahaya Paparan Debu Silika pada

- Pekerja Tambang. *CoMPHI Journal: Community Medicine and Public Health of Indonesia Journal*. 1(3): 162-169
- Rahmasari, A. dan Noeryanti, N. 2021. Prediksi Data Spasial Yang Tidak Tersampel dan Mengandung Pencilan Menggunakan Metode Robust Kriging. *Jurnal Statistika Industri dan Komputasi*. 6(2):132-140.
- Rauf, A.U., Mallongi, A., Daud, A., Hatta, M., Al-Madhoun, W., Amiruddin, R., Rahman, S.A., Wahyu, A. and Astuti, R.D.P., 2021. Community health risk assessment of total suspended particulates near a cement plant in Maros Regency, Indonesia. *Journal of Health Pollution*. 11(30): 210616.
- Regia, R.A. dan Oginawati, K. 2017. Potensi Bahaya Debu Silika Terhadap Kesehatan Pandai Besi Desa Mekarmaju Kabupaten Bandung. *Jurnal Dampak*. 14(2): 73-80.
- Saminan, S. 2019. Efek Kelebihan Berat Badan Terhadap Pernafasan. *Jurnal Kedokteran Nanggroe Medika*. 2(4): 27-33.
- Sunarsih, E., Suheryanto, S., Mutahar, R. and Garmini, R. 2019. Risk assesment of air pollution exposure (NO₂, SO₂, total suspended particulate, and particulate matter 10 micron) and smoking habits on the lung function of bus drivers in Palembang City. *Kesmas: Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional (National Public Health Journal)*. 13(4): 202-206.
- Suryadi, I., Rachmawati, S dan Lutfiyanti, L. 2022. Pencemaran Debu dan Risiko Kesehatan Berdasarkan Sistem Informasi Geografis. Penerbit : CV Oase Pustaka : ISBN: 978-623-378-498-6.
- Tarigan, L.B. 2015 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Mangan pada Air Bersih Di Masyarakat Desa Supul Kecamatan Kuantana Kabupaten Timor Tengah Selatan Tahun 2015. *Perpustakaan Poltekkes Kemenkes Kupang*, pp.1-42.
- Thomas, J., P.J. Jainet, and K.P. Sudheer. 2020. Ambient Air Quality of a Less Industrialized Region of India (Kerala) During the Covid-19 Lockdown. *Anthropocene*. 32: 1-13.
- Wahyuni, E., Darundiati, Y.H. and Setiani, O. 2018. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Gas Karbon Monoksida pada Pedagang Kaki Lima (Studi Kasus Jalan Setiabudi Semarang). *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*. 6(6): 87-93.