

Potensi risiko paparan PM_{2,5} pada pekerja tambang batu kapur di PT.X Kab. 50 Kota

Resti Ayu Lestari^{1*}, Fiqi Arkan Shadiq¹, Rinda Andhita Regia¹, Fadjar Goembira¹, Fajril Akbar²

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

²Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

*Email korespondensi: restiayul@eng.unand.ac.id

Accepted: 23 November 2021; revision: 13 December 2021; published: 31 December 2021

Abstrak

Latar belakang: Penambangan batu kapur di PT.X merupakan salah satu kegiatan penyumbang emisi PM_{2,5} di Kab. 50 Kota yang berpotensi menimbulkan risiko penyakit pada saluran pernapasan yang mencakup risiko non karsinogenik maupun karsinogenik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui risiko yang dialami pekerja akibat paparan PM_{2,5}.

Metode: Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode deskriptif. Pengambilan data dilakukan dengan sampling PM_{2,5} serta pengisian kuisioner/wawancara oleh pekerja (responden) yang berjumlah 14 orang. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2021. Kegiatan ini dilakukan selama jam kerja pekerja tambang tersebut. Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan yang dialami oleh pekerja tambang.

Hasil: Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai konsentrasi PM_{2,5}, Al, Pb dan Cd di lingkungan kerja tambang batu kapur PT.X berturut-turut adalah 0,1151 mg/m³, 0,3789 mg/m³, 0,0065 mg/m³ dan 0,0863 mg/m³. Paparan PM_{2,5} dan Al tergolong risiko non karsinogenik, sedangkan paparan logam Pb dan Cd tergolong risiko karsinogenik. Nilai risiko rata-rata non karsinogenik (RQ) PM_{2,5} dan Al berturut-turut adalah 0,4116 dan 9,484 (*realtime*). Pada kondisi *lifetime*, nilai rata-rata RQ dari PM_{2,5} dan Al berturut-turut adalah 1,2318 dan 28,3811. Nilai risiko rata-rata karsinogenik (ECR) Pb dan Cd berturut-turut adalah 5,43E-04 dan 0,48E-04 (*realtime*). Pada kondisi *lifetime*, nilai rata-rata ECR dari Pb dan Cd berturut-turut adalah 1,4E-04 dan 16,30E-04.

Kesimpulan: Nilai RQ PM_{2,5} <1 dan ECR Cd <1E-04 (*realtime*) mengindikasikan bahwa paparan PM_{2,5} dan Cd belum memberikan risiko bagi pekerja. Nilai RQ Al (*realtime dan lifetime*), PM_{2,5} (*lifetime*) >1 dan ECR Pb (*realtime dan lifetime*), Cd (*lifetime*) >1E-04 mengindikasikan bahwa paparan polutan sudah berisiko terhadap kesehatan pekerja.

Kata kunci: karsinogenik, non karsinogenik, tambang batu, analisis risiko kesehatan, PM_{2,5}

Abstract

Background: Limestone mining at PT.X is one of the activities that contribute to PM_{2,5} emissions in Kabupaten 50 Kota that will risk the respiratory system which includes both non-carcinogenic and carcinogenic risks.

Method: This research is a quantitative research with descriptive method. The research did on October 2021. Data were collected by sampling PM_{2,5} and filling out questionnaires/interviews by 14 workers (respondents). This activity is carried out during the working hours of the miners. Data analysis was carried out by using the Environmental Health Risk Analysis (ARKL) method to determine the level of the workers health risk.

Result: The results showed that the concentration of PM_{2,5}, Al, Pb and Cd in the PT.X were 0.1151 mg/m³, 0.3789 mg/m³, 0.0065 mg/m³ and 0,0863 mg/m³ respectively. Exposure to PM_{2,5} and Al is classified as a non-carcinogenic risk, while exposure to Pb and Cd is classified as a carcinogenic risk. The average non-carcinogenic risk (RQ) of PM_{2,5} and Al were 0.4116 and 9.484 (*realtime*), respectively. In lifetime conditions, the average RQ value of PM_{2,5} and Al are 1.2318 and 28.3811,

respectively. The average carcinogenic risk (ECR) of Pb and Cd were 5.43E-04 and 0.48E-04 (realtime), respectively. In lifetime conditions, the average ECR values of Pb and Cd are 1.4E-04 and 16.30E-04, respectively.

Conclusion: The RQ value of PM_{2,5} <1 and ECR Cd <1E-04 (realtime) indicates that exposure to PM_{2,5} and Cd does not pose a risk to workers. The values of RQ AI (realtime and lifetime), PM_{2,5} (lifetime) >1 and ECR Pb (realtime and lifetime), Cd (lifetime) >1E-04 indicate that exposure to pollutants is already a risk to workers' health.

Keywords: carcinogenic, non carcinogenic, limestone mining, health risk analysis. PM_{2,5}

PENDAHULUAN

Penambangan batu kapur merupakan salah satu industri penting dalam proses pembangunan. Batu kapur dimanfaatkan sebagai bahan campuran untuk membuat semen, batu bata, dan bahan bangunan lain (1). Batuan ini diperoleh dengan metode penambangan konvensional seperti penambangan dengan palu dan juga dilakukan dengan teknik peledakan untuk penambangan skala besar. Setelah batu di tambang kemudian batu akan digiling agar diperoleh ukuran yang diperlukan (2).

Kegiatan penambangan batu kapur dilakukan dengan beberapa tahap dimulai pembukaan lahan, melakukan penggalian tanah permukaan, pengeboran, ataupun peledakan (3). Setelah batuan diambil, lalu diangkut ke penggilingan dan selanjutnya diolah sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan. Proses penggilingan menggunakan *crusher* serta *grinder*. *Stone crusher* merupakan alat pemecah batuan yang berukuran besar menjadi lebih halus dengan menggunakan efek tumbukan. *Grinder* merupakan alat pemecah batuan dengan menggunakan efek penggerusan antar batuan (4).

Salah satu industri yang menghasilkan olahan batu kapur adalah PT. X yang berlokasi di Kabupaten 50 Kota Sumatera Barat. PT. X berdiri pada tahun 2013 dan mulai melakukan operasi pertambangan di tahun 2015. Luas wilayah tambang sebesar 10 Ha di wilayah Nagari Halaban, Kabupaten 50 Kota. Kegiatan penambangan PT. X ini dilakukan dengan mengeruk perbukitan kapur menggunakan alat berat dan manual (5). Begitu juga

dengan proses pengolahan batu kapur yang dilakukan di dalam pabrik yang merupakan ruangan tertutup. Hal ini dapat meningkatkan risiko pajanan pencemar udara khususnya PM_{2,5}.

PM_{2,5} adalah partikulat yang memiliki ukuran diameter <2,5 µm. Hal ini mengakibatkan PM_{2,5} sangat sulit untuk disaring oleh sistem pernafasan sehingga partikel ini akan langsung masuk ke bagian terkecil paru - paru manusia (6). PM_{2,5} mengandung berbagai jenis logam di dalamnya yang dapat membahayakan kesehatan manusia baik secara karsinogenik maupun non karsinogenik (7). Beberapa jenis logam yang terkandung dalam PM_{2,5} yang bersumber dari penambangan batu kapur adalah Ca, Si, Al, Fe, dan Pb (8)

Jika pekerja penambangan dan industri secara terus-menerus terpajan PM_{2,5} maka akan timbul berbagai penyakit. Salah satu penyakit yang disebabkan oleh PM_{2,5} adalah penyakit pada saluran pernafasan seperti sesak napas, batuk-batuk, asma, iritasi di tenggorokan dan hidung. Jika terus berlanjut terpajan PM_{2,5} maka akan menyebabkan terjadinya penurunan fungsi organ paru-paru, jantung dan terjadinya kanker paru-paru (9).

Banyaknya risiko dari pajanan PM_{2,5} ini menjadi landasan untuk melakukan penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi PM_{2,5} di lokasi penambangan dan penggilingan serta memperkirakan dampak PM_{2,5} bagi kesehatan pekerja. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) yang merupakan metode penghitungan dengan

memperkirakan risiko pada kesehatan manusia dengan melihat faktor-faktor terkait. ARKL merupakan metode yang cukup baik untuk melihat dampak suatu kasus pencemaran secara umum (10).

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan metode deskriptif untuk menganalisis potensi risiko pajanan PM_{2,5} pada pekerja tambang batu kapur di PT.X. Pengumpulan data dilakukan pada bulan Oktober 2021. Data primer yang diperlukan adalah konsentrasi PM_{2,5} dan logam yang terdapat di dalamnya yang didapatkan dari sampling di lokasi penambangan. Pengambilan data PM_{2,5} dilakukan dengan menggunakan *Low Volume Air Sampler* (LVAS) (11). Ketentuan sampling lainnya mengacu kepada SNI 16-7058-2004 tentang Pengukuran Debu Total di Tempat Kerja. Selain itu, juga dilakukan kuisisioner/wawancara terhadap seluruh pekerja (12) Jumlah pekerja yang menjadi responden adalah 14 orang untuk mendapatkan karakteristik dari pekerja. Titik sampling PM_{2,5} dilakukan di lokasi penambangan batu kapur seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Nilai konsentrasi PM_{2,5} didapatkan dengan metode gravimetri dengan menggunakan Persamaan 1

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{V} \quad (1)$$

Keterangan:

C : Konsentrasi massa partikel tersuspensi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

W₁: Berat filter awal (g)

W₂: Berat filter akhir (g)

V : Volume contoh uji udara (m³)

Perhitungan konsentrasi logam karsinogenik dan non-karsinogenik yang terdapat di dalam PM_{2,5} dilakukan dengan menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*). Jenis dan konsentrasi logam yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan metode ARKL. Analisis data dengan menggunakan ARKL terdiri dari identifikasi bahaya, analisis dosis-respon, analisis pajanan dan karakteristik risiko. Analisis pajanan terkait dengan nilai asupan/*intake* dari polutan tersebut. Nilai *intake* pajanan *risk agent* pada responden dapat diketahui menggunakan persamaan 2.

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad (2)$$

Karakterisasi risiko terbagi menjadi dua, yaitu risiko non karsinogenik dan risiko karsinogenik. Risiko non-karsinogenik ditentukan oleh nilai *Risk Quotient* (RQ), sedangkan risiko karsinogenik ditentukan oleh nilai *Excessive Lifetime Cancer Risk* (ELCR). Nilai RQ dan ELCR ini bergantung pada nilai *Reference Concentration* (RfC) dan *Inhalation Unit Risk* (IUR) masing-masing logam yang sudah ada di dalam IRIS EPA. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai RQ dan ELCR dapat dilihat pada persamaan 3 dan 4.

$$RQ = \frac{I}{RfC \left(\frac{mg}{kg}/hari\right)} \quad (3)$$

$$ELCR = I \times CSF \quad (4)$$

$$CSF = \frac{IUR \times Wb \times 1000}{IR} \quad (5)$$

Keterangan:

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

R : Laju asupan (m³/jam)

t_E : Waktu pajanan (jam/hari)

f_E : Frekuensi pajanan (hari/tahun)

Dt : Durasi pajanan (tahun)

Wb: Berat badan

t_{avg}: Periode waktu rata-rata (70 tahun x 365 hari/tahun untuk efek karsinogenik)

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

RQ : Tingkat risiko non karsinogenik

RFC : Konsentrasi referensi secara inhalasi (mg/kg/hari)

HASIL

Konsentrasi PM_{2,5}

Pengambilan data PM_{2,5} bertempat di lokasi penambangan tempat para pekerja melakukan aktivitas penambangan. Pengambilan data dilakukan selama 1 jam masing-masing pada saat sebelum, sedang dan setelah bekerja, sesuai dengan panduan yang terdapat pada SNI 16-7058-2004 (Tabel 1).

Tabel 1. Konsentrasi PM_{2,5} di penambangan PT.X

No	Waktu	Konsentrasi PM _{2,5} (mg/m ³)	Baku Mutu
1.	Sebelum bekerja	0,0681	3 mg/m ³ (ACGIH)
2.	Sedang bekerja	0,1393	
3.	Setelah bekerja	0,1379	
Rata-rata pajanan 8 jam		0,1151	

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa nilai konsentrasi PM_{2,5} masih berada di bawah standar yang ditetapkan oleh *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) mengenai konsentrasi pajanan PM_{2,5} di lingkungan kerja. Konsentrasi PM_{2,5} saat sedang

bekerja merupakan konsentrasi PM_{2,5} tertinggi selama jam kerja. Hal ini berkaitan dengan banyaknya aktivitas penambangan seperti mobilitas alat berat, pengerukan batu kapur dan pengangkutan batu kapur ke unit pengolahan. Nilai konsentrasi rata-rata PM_{2,5} yang didapatkan digunakan dalam perhitungan ARKL. Jumlah PM_{2,5} yang terhirup oleh pekerja dipengaruhi oleh konsentrasi PM_{2,5} di udara. Jika konsentrasi PM_{2,5} di udara semakin tinggi, maka jumlah PM_{2,5} yang masuk ke saluran pernapasan pun akan semakin tinggi (13). Terdapat beberapa logam di dalam PM_{2,5} yang akan memengaruhi risiko Kesehatan pekerja (Tabel 2).

Tabel 2. Konsentrasi komponen logam di dalam PM_{2,5}

No	Sifat	Jenis logam	Konsentrasi (mg/m ³)
1	Non-Karsinogenik	Al	0,3788
2	Karsinogenik	Pb	0,0065
		Cd	0,0863

Tabel 2. menggambarkan bahwa konsentrasi logam Al adalah 0,3788 mg/m³, sedangkan konsentrasi logam Pb dan Cd berturut-turut adalah 0,0065 mg/m³ dan 0,0863 mg/m³. Logam Pb dan Cd tergolong kepada logam berat yang bersumber dari batu kapur sendiri, baik dari kegiatan pengupasan batu ataupun transportasi batu kapur ke tempat pengolahan(14)

Karakteristik Responden

Data karakteristik responden didapatkan melalui kuisisioner yang dibagikan. Data-data tersebut adalah data durasi pajanan (Tabel 3) dan data badan (Tabel 4). Untuk jumlah jam kerja per hari (te) sudah ditetapkan oleh perusahaan, yaitu selama 8 jam/hari. Dari ketentuan ini bisa diketahui jumlah hari kerja setahun (fe) yaitu senilai 312 hari/tahun. Nilai ini didapatkan dari perkalian jumlah hari kerja

selama 1 minggu (6 hari) dengan jumlah minggu dalam 1 tahun (52 minggu).

Tabel 3. Karakteristik responden berdasarkan durasi pajanan (Dt)

No.	Durasi Pajanan (tahun)	Jumlah (jiwa)	Persentase (%)
1.	06 – 08 th	6	42,86
2.	09 – 11 th	4	28,57
3.	12 – 14 th	4	28,57
	Jumlah	14	100

Tabel 3 menggambarkan bahwa durasi pajanan terbanyak adalah pada 6-8 tahun yaitu sejumlah 42,86%. Berdasarkan Persamaan 2, diketahui bahwa semakin tinggi durasi pajanan, maka nilai *intake* yang sampai ke responden juga akan semakin tinggi.

Tabel 4. Penyebaran Responden Berdasarkan Berat Badan

No.	Berat Badan (kg)	Jumlah (jiwa)	Persentase (%)
1.	57-59	4	28,57
2.	60-62	5	35,71
3.	64-65	5	35,71
	Jumlah	14	100

Tabel 4 menggambarkan bahwa berat badan responden hampir merata untuk semua kelas. Berdasarkan Persamaan 2, berat badan berbanding terbalik dengan nilai asupan (*intake*). Hal ini berarti semakin tinggi nilai berat badan seseorang maka semakin kecil kemungkinan mengalami risiko gangguan kesehatan akibat pajanan logam dan PM₁₀, begitulah juga sebaliknya.

Dari data karakteristik responden dan konsentrasi PM_{2,5} dan logam tadi, maka akan diketahui nilai asupan (Tabel 5) dan karakterisasi risiko yang dialami oleh pekerja. Karakterisasi risiko terbagi dua, yaitu untuk non karsinogenik yang dilambangkan dengan nilai *Risk*

Quotient/RQ (Tabel 6) dan risiko karsinogenik yang dilambangkan dengan nilai *Excessive Lifetime Cancer Risk/ELCR* (Tabel 7).

Tabel 5. Asupan Polutan Terhadap Responden pada Saat *Realtime* dan *Lifetime*

No	Jenis Polutan	Rentang Asupan (mg/kg/hari) <i>Realtime</i>	<i>Lifetime</i>
1	PM _{2,5}	0,00235 – 0,00604	0,01092 – 0,01316
2	Al	0,00774 – 0,01990	0,03594 – 0,04333
3	Cd	5,696E-5 – 14,64E-5	0,00026 – 0,00032

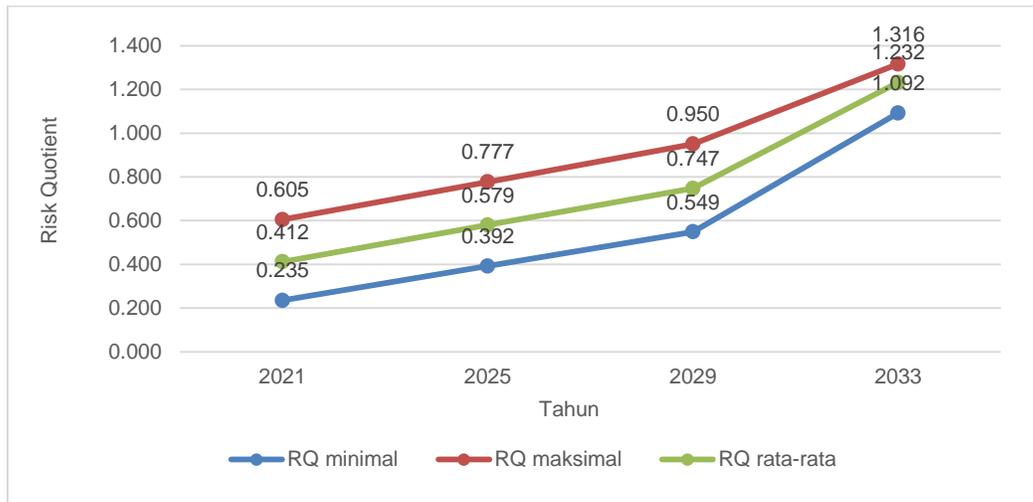
Selain itu, juga dilakukan karakterisasi risiko untuk pajanan polutan yang masih terkategori aman. Hal ini dilakukan untuk mengetahui periode waktu pajanan polutan tersebut dapat memberikan risiko bagi pekerja. Nilai risiko ini meliputi RQ pajanan PM_{2,5} (Gambar 2) dan ELCR Pb per empat tahun, (Gambar 3).

Tabel 6. Nilai Karakterisasi Risiko Non Karsinogenik

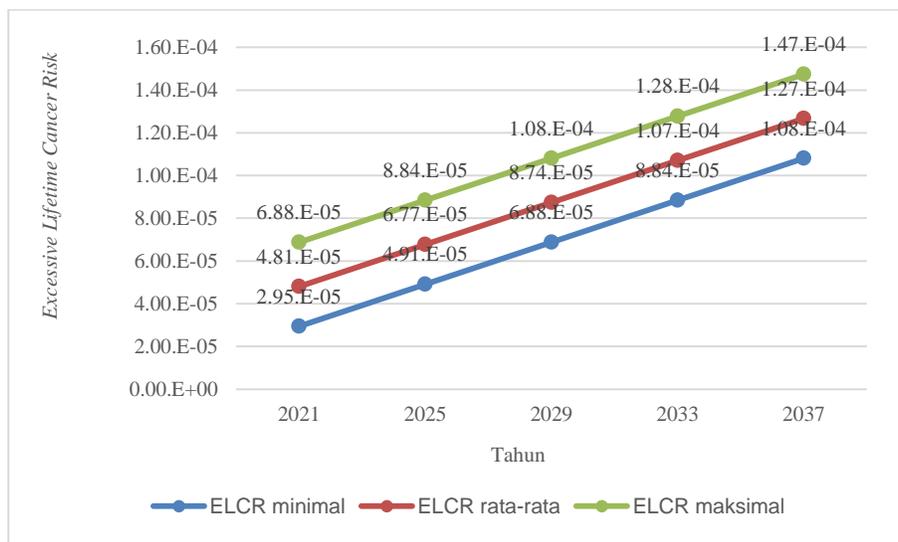
No	Jenis Polutan	Rentang RQ		Keterangan
		<i>Realtime</i>	<i>Lifetime</i>	
1	PM _{2,5}	0,2352 - 0,6045	1,0910 - 1,3163	<i>Realtime:</i> Aman <i>Lifetime:</i> Berisiko
2	Al	5,4186 - 13,9291	25,1576 - 30,3289	<i>Realtime:</i> Berisiko <i>Lifetime:</i> Berisiko

Tabel 7. Nilai Karakterisasi Risiko Karsinogenik

No	Jenis Polutan	Rentang ELCR		Keterangan
		<i>Realtime</i>	<i>Lifetime</i>	
1	Cd	3,38E-04 – 7,85 E-04	15,144E-04 – 17,95E-04	<i>Realtime:</i> Berisiko <i>Lifetime:</i> Berisiko
2	Pb	0,30E-04 – 0,69E-05	13,26E-05 – 15,72E-05	<i>Realtime:</i> Aman <i>Lifetime:</i> Berisiko



Gambar 2. Proyeksi Tingkat Risiko Non Karsinogenik Pajanan PM_{2,5}



Gambar 3. Proyeksi Tingkat Risiko Karsinogenik Pajanan Pb

PEMBAHASAN

Analisis risiko kesehatan lingkungan digunakan untuk mengetahui tingkat risiko pajanan suatu polutan terhadap suatu populasi. Hasil dari ARKL ini dapat digunakan untuk merumuskan kebijakan untuk mengurangi risiko kesehatan yang dialami oleh populasi terpajan.

Analisis ini perlu dilakukan pada lingkungan yang mulai mengalami

pencemaran akibat aktivitas manusia. Populasi manusia yang berada pada lingkungan tercemar akan menerima pajanan senyawa kimia pencemar ke dalam tubuhnya. Masuknya senyawa kimia pencemar dalam tubuh manusia dapat menyebabkan gangguan kesehatan (15). Berikut adalah tahapan dari ARKL.

1. Identifikasi Bahaya

PM_{2,5} adalah salah satu bahan pencemar yang terdiri dari campuran kompleks partikel seperti debu, kotoran, asap, dan cairan yang ditemukan di udara dengan ukuran kecil. Jenis partikulat yang saat ini banyak diteliti karena sifatnya yang dapat menembus sampai bagian paru paling dalam (16). Berbagai material yang terkandung dalam PM_{2,5} ini dapat menyebabkan berbagai gangguan saluran pernafasan seperti infeksi saluran pernafasan atas (ISPA), kanker paru-paru, kardiovaskular, kematian dini, dan penyakit paru-paru obstruktif kronis (17). PM_{2,5} dapat menembus pertahanan sistem saluran pernafasan manusia sehingga dapat terikat oleh darah manusia melalui pertukaran udara pada alveolus di paru-paru. Partikulat dapat mengendap dalam saluran pernafasan melalui beragam mekanisme fisik antara lain sedimentasi, impaksi, difusi, intersepsi, dan elektronik presipitasi (18).

Kandungan logam dalam partikulat debu di udara yang terhirup mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan dosis yang sama yang terdapat di dalam makanan ataupun minuman (19) Bahaya non karsinogenik pajanan logam didalam PM_{2,5} adalah ISPA, asma, bronkitis, penyakit obstruktif menahun, dan penyakit pernafasan lainnya (20) Pajanan Pb dapat menyebabkan anemia, kerusakan ginjal dan otak. Pajanan Pb dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kematian (21) Pajanan Cd dapat merusak organ hati dan ginjal. Hal ini dikarenakan Cd yang masuk ke dalam tubuh akan berikatan dengan protein metalotionin yang menghasilkan ikatan yang stabil dan memicu peningkatan radikal bebas dalam hati dan ginjal (22) Debu Aluminium dapat mengakibatkan ISPA, alzheimer, gangguan pencernaan, gangguan sistem saraf pusat dan fibrosis paru (23)

2. Analisis Pajanan

Analisis pajanan dilambangkan dengan nilai *Intake* yang didapatkan dengan

menggunakan Persamaan 2. Nilai asupan merupakan jumlah *risk agent* yang diterima dan masuk ke dalam tubuh manusia per berat badan per harinya (24). Nilai asupan berbanding lurus dengan konsentrasi dan lama pajanan. Artinya, semakin besar nilai konsentrasi dan lama pajanan, maka nilai asupan (*intake*) juga akan semakin besar.

Nilai asupan (*intake*) yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari asupan *realtime* dan asupan *lifetime*. Asupan *realtime* merupakan nilai asupan *risk agent* yang diterima responden selama bekerja di penambangan batu PT.X sampai penelitian ini dilakukan. Asupan *lifetime* adalah proyeksi asupan *risk agent* yang diterima responden selama periode waktu tertentu. EPA menetapkan waktu *default* untuk proyeksi asupan non karsinogenik adalah selama 30 tahun dan 70 tahun untuk asupan dari polutan yang bersifat karsinogenik.

Berdasarkan data hasil penelitian pada Tabel 5 diketahui bahwa nilai asupan (*intake*) pada saat *lifetime* lebih tinggi dibandingkan pada saat *realtime*. Hal ini berkaitan dengan proyeksi nilai asupan yang dilakukan untuk asupan *lifetime* selama 30 tahun (non karsinogenik) dan 70 tahun (karsinogenik) mendatang. Berdasarkan persamaan 2, nilai asupan (*intake*) akan meningkat jika durasi pajanan juga meningkat. Rentang nilai asupan PM_{2,5} dan logam secara *realtime* dan *lifetime* relatif bervariasi. Hal ini dikarenakan nilai asupan dipengaruhi oleh konsentrasi PM_{2,5} dan logam serta karakteristik masing-masing pekerja seperti durasi pajanan, frekuensi pajanan, lama pajanan dan berat badan.

3. Analisis Dosis Respon

Analisis dosis respon bertujuan untuk menetapkan nilai kuantitatif toksisitas suatu *risk agent*. Analisis dosis respon dapat memberikan informasi seberapa besar dampak buruk yang ditimbulkan terhadap kesehatan populasi berisiko (25). Nilai toksisitas dari suatu *risk agent* yang

memiliki efek non-karsinogenik dalam analisis risiko untuk jalur pemanajanan inhalasi dinyatakan dalam RfC (*Risk Concentration*), sedangkan untuk efek karsinogenik menggunakan nilai IUR (*Inhalation Unit Risk*) (26). Nilai RfC dan IUR untuk logam Al, Pb dan Cd sudah tersedia didalam daftar *Integrated Risk Information System* (IRIS) EPA.

Berdasarkan daftar IRIS EPA nilai RfC untuk Al adalah $5 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3$. Nilai RfC ini harus dijadikan dalam satuan mg/kg/hari dengan menggunakan nilai *default* berat badan (Wb) senilai 70 kg dan nilai laju inhalasi (R) sebesar 20 m³/hari (27) Berdasarkan nilai ini, maka didapatkanlah nilai RfC untuk Al sebesar 0,00143 mg/kg/hari.

Nilai IUR untuk logam Pb dan Cd berturut-turut adalah $1,2 \times 10^{-5} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ dan $0,0018 (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$. Dosis acuan untuk PM_{2,5} belum tersedia didalam daftar IRIS EPA maupun tabel *Minimum Risk Levels* (MRLs) ATSDR, maka konsentrasi aman PM_{2,5} diturunkan dari *National Ambient Quality Standar* (NAAQS) EPA yaitu 0,01 mg/kg/hari.

4. Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko merupakan suatu upaya untuk mengetahui seberapa besar tingkat risiko dari *risk agent* yang terpajan ke dalam tubuh suatu populasi berisiko (24). Karakterisasi risiko untuk pajanan PM_{2,5} dan logam yang bersifat non-karsinogenik ditentukan dengan nilai RQ (*Risk Quotient*). Nilai $RQ \leq 1$ menggambarkan bahwa pajanan PM_{2,5} dan logam yang bersifat non-karsinogenik berada dibawah batas normal sehingga aman dari risiko gangguan kesehatan, sedangkan nilai $RQ > 1$ menggambarkan bahwa pajanan PM_{2,5} dan logam yang bersifat non-karsinogenik sudah berisiko terhadap gangguan kesehatan. Risiko karsinogenik ditentukan oleh nilai ELCR. Pajanan polutan dikatakan berisiko karsinogenik apabila nilai $ELCR > 10^{-4}$.

Karakterisasi risiko terbagi menjadi risiko *realtime* dan *lifetime*. Risiko *realtime* merupakan risiko yang diterima responden pada saat penelitian ini dilakukan, sedangkan risiko *lifetime* adalah risiko yang mungkin diterima responden setelah 30 tahun (*default*) untuk risiko non karsinogenik dan 70 tahun ke depan untuk risiko karsinogenik.

Berdasarkan data pada Tabel 6 dan Tabel 7 diketahui bahwa pajanan PM_{2,5} dan Pb pada kondisi saat ini (*realtime*) masih aman dan belum membahayakan kesehatan pekerja di area penambangan PT.X. Untuk pajanan logam Al dan Cd sudah menimbulkan risiko gangguan kesehatan pada pekerja tambang baik pada kondisi *realtime* maupun *lifetime*. Risiko kesehatan tersebut akan muncul dan membesar jika konsentrasi polutan dan durasi pajanan meningkat. Selain itu, karakteristik masing-masing individu juga sangat mempengaruhi nilai asupan dan karakterisasi risiko pajanan polutan.

Hal ini diperkuat oleh Gambar 2 yang menjelaskan bahwa pajanan PM_{2,5} pada kondisi *realtime* (2021) belum berisiko terhadap pekerja tambang batu. Hal ini sesuai dengan nilai konsentrasi PM_{2,5} yang masih di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh ACGIH. Pajanan PM_{2,5} menimbulkan risiko terhadap pekerja pada tahun 2033 yang dibuktikan dengan nilai $RQ > 1$. Penelitian Ahmad (2014) juga menghasilkan kesimpulan yang sama. Nilai karakterisasi risiko (RQ) pajanan TSP pada kawasan industri Probolinggo juga masih aman untuk kondisi *realtime*. Hal ini juga didukung oleh nilai konsentrasi TSP yang masih berada di bawah baku mutu udara ambien yang ditetapkan (28). Selain itu, Gambar 2 juga menginformasikan bahwa nilai RQ semakin meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini diakibatkan oleh peningkatan durasi pajanan polutan kepada pekerja (29).

Hal ini juga sejalan dengan Gambar 3 yang menjelaskan bahwa risiko karsinogenik pajanan Pb baru dialami pekerja pada tahun 2037. Hal ini

ditunjukkan dengan nilai ELCR > 1E-04 pada tahun 2037. Hal ini berkaitan dengan durasi pajanan yang selalu meningkat dari tahun ke tahun sehingga mengakibatkan potensi risiko karsinogenik juga meningkat.

KESIMPULAN

Konsentrasi PM_{2,5} di lokasi penambangan batu kapur PT.X masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh ACGIH, sehingga pajanan PM_{2,5} terhadap pekerja tambang batu belum berisiko terhadap kesehatan pekerja pada saat penelitian ini dilakukan (*realtime*). Begitu juga halnya dengan pajanan Pb yang ada di dalam PM_{2,5} masih aman dan belum mendatangkan risiko karsinogenik bagi pekerja tambang batu kapur di PT.X pada saat penelitian ini dilakukan. Akan tetapi kedua jenis polutan ini dapat membahayakan kesehatan pekerja baik secara non karsinogenik maupun karsinogenik pada tahun 2033. Pajanan logam Cd dan Pb sudah berpotensi risiko karsinogenik terhadap kesehatan para pekerja baik pada saat ini (*realtime*) maupun jangka panjang (*lifetime*).

Untuk meminimalisir pajanan PM_{2,5} ke pekerja dapat dilakukan dengan penggunaan masker secara intensif atau memasang alat pengendali pencemar udara berupa *wet scrubber*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Andalas yang telah mendanai penelitian SK Rektor Nomor 1300/UN16.R/XII/KPT/2021.

DAFTAR PUSTAKA

1. T Stanek, M Bohar, A Rybova, A Zezulova. Preparation and Properties of Portland Limestone Cements. IOP Conf Ser. Mater. Sci Eng 2019:583
2. Hamimuliono M basuki. Jalan untuk perdesaan. PANDUAN

Pembangunan Jalan Dan Jembatan Perdesaan. 2016;47.

3. Gofur MA, Wesnawa IGA. Dampak Ekologi Penambangan Batu Kapur Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Semen Di Gunung Sadeng Kecamatan Puger Kabupaten Jember. Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha. 2018 Nov;6(3):163–74.
4. jumsar, Hasan H, Sakdillah. (Evaluation of Crusher Productivity in Coal Processing Plant in PT . Bara. 2020;8(1):6–8.
5. Cahyadi MI, Kopa R. Evaluasi Rancangan Geometri Peledakan Berdasarkan Hasil Fragmentasi Batuan dan Getaran Tanah Pada PT . Koto Alam Sejahtera Kabupaten Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera. Jurnal Bina Tambang. 2018;4(1):140–52.
6. Azizah ITN. Analysis The Level Of PM_{2,5} And Lung Function Of Organic Fertilizer Industry Workers In Nganjuk. Jurnal Kesehatan Lingkungan. 2019;11(2):141. doi: 10.20473/jkl.v11i2.2019.141-149
7. Pangstika R, Wilti I. Karakteristik Risiko Kesehatan Non-Karsinogenik Akibat Pajanan PM_{2,5} di Tempat-Tempat Umum Kota Jakarta. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia. 2021 Apr;20(1):7–14.
8. Harian D. Analisis Konsentrasi dan Kontribusi Logam Ca, Si, Al, Fe, dan Pb Pada Partikulat (TSP, PM₁₀, dan PM_{2,5}) di Udara Ambien Kawasan PT Semen Padang dan Sekitarnya. Padang; 2009.
9. Hidayat A, Inaku R, Novianus C. Pengaruh Pencemaran Udara PM_{2,5} dan PM₁₀ Terhadap Keluhan Pernapasan Anak di Ruang Terbuka Anak di DKI Jakarta The Effect of PM_{2,5} and PM₁₀ Air pollution on Complaints of Children' s Respiration in Children' s Open Space in DKI Jakarta. 2020;5:9–16.

10. Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). 2012.
11. Pengukuran Kadar Debu Total di udara Tempat Kerja. Jakarta; 2004. Report No.: 16-7059-2004.
12. Paiman NA, Leman AM, Hariri A, Ismail M. Respirable Dust Exposure: Symptoms and Effect on Lung Function of Industrial Workers. *Applied Mechanics and Materials*. 2013 Dec;465:1196-201.
13. Azizah ITN. Analisis Kadar Debu PM_{2,5} Dan Fungsi Paru Pada Pekerja Industri Pupuk Organik Di Nganjuk. *Jurnal kesehatan Lingkungan*. 2019 Apr;11(2):141-9.
14. Ahmed M, Matsumoto M, Kurosawa K. Heavy Metal Contamination of Irrigation Water, Soil, and Vegetables in a Multi-industry District of Bangladesh. *International Journal of Environmental Research*. 2018 Jun 19;12:531-42.
15. Alfiah T, Yuliawati E. Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan Udara Ambien Terhadap Pengguna Jalan Dan Masyarakat Sekitar Pada Ruas Jalan Ir. Sukarno Surabaya. *Infomatek*. 2018 Jun;20(1):27-34.
16. Azizah ITN. Analysis The Level Of PM_{2,5} And Lung Function Of Organic Fertilizer Industry Workers In Nganjuk. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 2019;11(2):141. doi: 10.20473/jkl.v11i2.2019.141-149
17. Novirsa R, Achmadi U, Fahmi. Analisis Risiko Pajanan PM_{2,5} di Udara Ambien Siang Hari terhadap Masyarakat di Kawasan Industri Semen Risk Analysis of PM_{2,5} Exposure in Ambien Air at Noon towards Community in Cement Industrial Estate. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*. 2012;7(4):173-9.
18. Brown JS. *Deposition of Particles. Comparative Biology of the Normal Lung: Second Edition*. Academic Press; 2015. 513-536. doi: 10.1016/B978-0-12-404577-4.00027-8
19. Wardani TK. Perbedaan Tingkat Risiko Kesehatan oleh Pajanan PM₁₀, SO₂, dan NO₂ pada Hari Kerja, Hari Libur dan Hari Besar Kendaraan Bermotor di Bundaran HI Jakarta. Jakarta; 2012.
20. Arlesia A. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Pm₁₀ Pada Pedagang Di Kawasan Pasar Siteba Tahun 2017. Padang; 2017.
21. Health Problems Caused by Lead. NIOSH. 2018.
22. Hernayanti H, Santoso S, Lestari S, Prayoga L, Kamsinah K, Rochmatino R. Efek Paparan Kadmium (Cd) Terhadap Fungsi Ginjal Pekerja Bengkel Las. *Jurnal Kesmas Indonesia*. 2019 Jan;11(1):1-8.
23. Ulfah R. Kualitas Debu Pada Udara Ambien Dan Keluhan Kesehatan Masyarakat di Kawasan Industri Peleburan Aluminium. Jember; 2017.
24. Soemirat J. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press; 2013.
25. Falahdina A. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan PM_{2,5} Pada Pedagang di Terminal Kampung Rambutan. Jakarta; 2017.
26. Direktorat Jenderal PP dan PL. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Kementerian Kesehatan; 2012.
27. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I. Washington, DC: Environmental Protection Agency ; 2009.
28. Ahmad AAKKEE. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Dengan Risk Agent Total Suspended Particulate

- di Kawasan Industri Kota
Probolinggo. Pustaka Kesehatan.
2014 May;2(2):346–52.
29. Handika RA, Purwaningrum SI,
Lestari RA. Analisis Risiko Non
Karsinogenik Pajanan PM₁₀ di
Kawasan Komersial, Kota Jambi.
Jurnal Serambi Engineering. 2019
Jul;4(2):514–21.