



Jurnal Kesehatan Lingkungan

Vol. 11 No. 2 April 2019 (123-131)
DOI: 10.20473/jkl.v11i2.2019.123-131

ISSN: 1829 - 7285
E-ISSN: 2040 - 881X

ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN DIESEL PARTICULATE MATTER (DPM) DITAMBAH BAWAH TANAH

Environmental Health Risk Assessment of Diesel Particulate Matter (DPM) in Underground Mining

Muhammad Adam Ardiansyah
PT. Freeport Indonesia
Jl. Enggang No. 21 RT 05, Kuala
Kencana, Bhintuka, Kuala
Kencana, Kabupaten Mimika,
Papua 99910

Correspondencing Author:
adamardiansyah5@yahoo.com

Article Info

Submitted : 02 Mei 2017
In reviewed : 27 Desember 2018
Accepted : 15 Maret 2019
Available Online : 08 April 2019

Kata kunci: Tambang bawah tanah, DPM, ARKL

Keywords: *Underground mines, DPM, EHRA*

Published by Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga

Index By :



Abstrak

Pekerja pada tambang bawah tanah berisiko terpapar oleh *Diesel Particulate Matter* (DPM). Paparan dari *Diesel Particulate Matter* (DPM) merupakan salah satu masalah yang dapat ditemukan di tambang bawah tanah. DPM memiliki dampak karsinogen maupun dampak non-karsinogenik pada manusia. Karena adanya efek yang ditimbulkan oleh paparan DPM terutama dampak non-karsinogenik, maka diperlukan penilaian risiko paparan DPM di tambang bawah tanah. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan merupakan penilaian atau penaksiran risiko kesehatan yang bisa terjadi di suatu waktu pada populasi berisiko. ARKL akan menghasilkan karakteristik risiko secara kuantitatif, pilihan manajemen risiko dan strategi komunikasi yang nantinya akan diterapkan untuk meminimalkan risiko dari paparan DPM. Studi ini dilakukan dengan melihat data pengukuran DPM di 4 lokasi Tambang Bawah Tanah, kemudian dihitung secara kuantitatif dengan menggunakan *default* untuk penghitungannya. Hasil dari pengukuran DPM di 4 tambang bawah tanah menunjukkan bahwa kadar DPM di semua tambang bawah tanah melebihi nilai ambang batas yang ada yaitu $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan rata-rata dari seluruh pengukuran kadar DPM di tambang bawah tanah adalah $0.374 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk mengetahui apakah ada efek non-karsinogen dalam paparan DPM, dapat dilihat dengan menghitung RQ (*Risk Quotient*). Kesimpulan dari studi ini menunjukkan di semua tambang bawah tanah memiliki $\text{RQ} > 1$ maka diperlukan adanya manajemen risiko. Dalam penerapan manajemen risiko terdapat beberapa cara antara lain mengurangi konsentrasi paparan (C_{aman}) dan mengurangi waktu pajanan. Setelah adanya manajemen risiko, diperlukan komunikasi risiko untuk menanggulangi paparan DPM dengan menjalankan peran dari tiap pihak yang terkait mulai dari pemegang kepentingan hingga para pekerja yang terpajan DPM.

Abstract

Workers underground mines are at risk of *Diesel Particulate Matter* (DPM) exposure. Exposure from DPM is one of the problems that can be found in underground mines. DPM has both carcinogenic effects and non-carcinogenic effects on humans. Due to the effects of DPM exposure, especially non-carcinogenic impacts, it is necessary to assess the risk of DPM exposure in underground mines. The Environmental Health Risk Analysis is an assessment of the health risks that can occur at any time in a population at risk. EHRA will generate quantitative risk characteristics, risk management options and communication strategies that will be applied to minimize the risk from DPM exposure. This study was conducted by looking at DPM measurement data in 4 underground mine, then calculated quantitatively by using *default*. Results from DPM measurements in 4 underground mines showed that DPM levels in all underground mines exceeded the threshold value of $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, while the mean of all DPM measurements in the underground mine is $0.374 \mu\text{g}/\text{m}^3$. To determine whether there are non-carcinogenic effects in DPM exposure, it can be seen by calculating RQ (*Risk Quotient*). The conclusion of this study indicate that in all underground mines having $\text{RQ} > 1$ then there is a need for risk management. In the implementation of risk management there are several ways, reduce the concentration of exposure (C_{safe}) and reduce exposure time. Risk communication by performing the role of each relevant part from stakeholders to workers exposed to DPM.

PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan salah satu kegiatan dasar yang dilakukan manusia dan berkembang pertama kali bersamaan dengan sektor pertanian yang oleh karena itu keberadaan pertambangan tidak dapat dipisahkan dari satu kehidupan atau peradaban manusia. Pertambangan juga dapat disebut sebagai suatu kegiatan yang unik karena endapan bahan galian pada umumnya tersebar tidak merata di dalam kulit bumi baik jenis, jumlah, kualitas maupun karakteristiknya dari bahan galian tersebut (Salim HS, 2014).

Kegiatan penambangan akan selalu memberikan dampak terhadap lingkungan sekitar pertambangan. Mulai dari pencemaran air, tanah, maupun udara. Pencemaran udara merupakan masalah kesehatan lingkungan utama yang terjadi di negara berkembang. Secara regional negara Asia Tenggara dan Pasifik memiliki angka kematian yang cukup tinggi yaitu 5.5 juta orang mati dikarenakan polusi udara di tiap tahun. Selain itu juga terdapat 970.000 korban disebabkan karena penurunan faal paru. Sebanyak 2.9 juta kematian ditemukan pada dalam ruangan yang diantara adalah lingkungan tambang bawah tanah (Lutz EA *et al*, 2015).

Pencemaran udara adalah masuknya bahan atau substrat fisik atau kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai sejumlah tertentu sehingga dapat dideteksi oleh manusia (atau dapat dihitung dan diukur) serta dapat memberikan efek pada manusia, binatang, vegetasi, dan material. Selain itu pencemaran udara dapat dikatakan sebagai perubahan atmosfer karena masuknya bahan kontaminan alami atau buatan ke dalam alami atau buatan ke dalam atmosfer itu sendiri. (Mukono, 2010). Salah satu sumber penyebab pencemaran udara adalah emisi dari kendaraan bertenaga diesel.

Penggunaan kendaraan bertenaga diesel jauh lebih sering digunakan dibandingkan kendaraan elektrik dalam perjalanan jarak jauh maupun dalam operasi tambang. Penggunaan kendaraan bertenaga diesel lebih efisien, dengan melihat dari perawatan dan kekuatannya. Banyak negara menggunakan jenis kendaraan jenis diesel karena melihat cara perawatannya yang jauh lebih mudah dan kekuatannya yang lebih besar (Morla dan Karekal S, 2017).

Masalah yang muncul akibat peralatan bertenaga diesel adalah *Diesel Particulate Matter* (DPM) yang merupakan campuran dari zat-zat padat, cair, maupun gas yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar diesel. Jenis mesin, bahan bakar, pelumas dan operator adalah beberapa faktor yang dapat

mempengaruhi komposisi dari DPM. Karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), uap air senyawa sulfur, hidro karbon berat molekul rendah (misalnya benzene, 1,3-butadiena), dan senyawa oksigen (misalnya aldehid) dapat ditemukan dalam campuran.

Pekerja di tambang bawah tanah lebih terpajan DPM dibandingkan sektor industri lain. Contohnya, rata-rata paparan DPM di industri di Amerika diperkirakan sebesar 1.4 µg/m³. Sedangkan, penelitian menunjukkan bahwa pajanan pada pekerja di tambang batubara maupun tambang mineral lainnya rata-rata sebesar 10-1280 µg/m³, dengan pengukuran pada lingkungan sebesar 2-269 µg/m³ (US EPA, 2016).

Tambang bawah tanah sendiri menimbulkan efek kesehatan yang besar bagi pekerja dengan lingkungan kerja yang sering berubah-ubah. Adanya banyak alat berat di tambang bawah tanah merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kadar DPM di area tambang bawah tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi dampak kesehatan pekerja yang ada di tambang bawah tanah. Oleh karena itu, dilakukan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) yang merupakan penilaian atau penaksiran dari pajanan suatu risiko kesehatan pada kelompok terpajan (Bose-O'Reilly, 2008).

Kadar DPM pada tambang bawah tanah dilihat untuk dapat memprediksi risiko kesehatan yang dapat timbul agar dapat digunakan untuk merumuskan beberapa pilihan dalam manajemen risiko untuk pengendalian risiko agar kegiatan dapat tetap dilakukan secara aman.

METODE PENELITIAN

Studi ARKL yang dilakukan merupakan perhitungan kuantitatif untuk perkiraan risiko kesehatan pada populasi yang terpajan oleh *diesel particulate matter* (DPM) di tambang bawah tanah. Tingkat risiko kesehatan yang ada dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ), dihitung untuk waktu pajanannya seumur hidup atau semasa ia bekerja. Selanjutnya RQ akan digunakan untuk merumuskan manajemen risiko pada pekerja di tambang bawah tanah agar tidak menimbulkan gangguan kesehatan bagi pekerja tersebut. Perusahaan akan melakukan komunikasi risiko, dari pekerja yang bekerja di lapangan hingga pihak *top management* agar perusahaan menyadari potensi bahaya dan akan berupaya untuk melakukan pengendalian risiko.

Studi ARKL terdiri dari 4 langkah yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis-respon,

analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko. Tingkat risiko untuk *Diesel Particulate Matter* (DPM) dihitung dengan membagi *intake* (I) yang diterima kelompok terpajan (subyek studi) dengan dosis rujukannya (RfC) (Rumus 1), lalu untuk I dihitung dengan menggunakan Rumus (2). Dosis rujukan (RfC) adalah konsentrasi rujukan yang merupakan nilai toksisitas nonkarsinogenik yang merupakan estimasi dosis pajanan harian yang tidak menimbulkan efek kesehatan dengan durasi pajanan seumur hidup (*lifetime*). Risiko kesehatan dinyatakan ada dan harus dikendalikan bila $RQ \geq 1$

$$RQ = \frac{I}{RfC} (1)$$

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

Dengan I = asupan atau *intake* (mg/kg/hari), C = konsentrasi agen risiko (mg/m³), R = laju inhalasi (m³/jam), t_E = waktu pajanan (jam/hari), f_E = frekuensi pajanan (tahun), t_{avg} = periode waktu rata-rata (30×365 hari/tahun untuk zat non karsinogenik). Studi ini dilakukan dengan melihat hasil pengukuran yang telah dilakukan di 4 lokasi tambang yaitu (1) BG, (2) GBC, (3) DMLZ, dan (4) DOZ. Di masing-masing lokasi, DPM diukur pada 10 area yang terdapat pekerja secara acak di masing-masing lokasi tambang bawah tanah. Pembagian area tersebut disesuaikan dengan kondisi keberadaan pekerja pada tiap area di lokasi tambang bawah tanah.

Kadar *Diesel Particulate Matter* (DPM), diukur selama 1×8 jam dimulai dari awal kerja hingga sekitar akhir jam kerja. Sampel DPM diukur dengan menggunakan Escort ELF Pump dengan *flow rate* 2.0 L/menit, dengan *Filter Cassette* (5µ PVC). Selanjutnya sampel DPM akan di analisis di laboratorium MDL Australia dan Divisi IH OH PT X yang telah tersertifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efek Kesehatan Pajanan DPM

Jalur utama dari paparan DPM adalah melalui sistem respiratori pada pernapasan manusia. Partikulat dapat masuk ke dalam jalur respirasi (US EPA, 2016). Banyak studi menunjukkan filter pada pernapasan manusia kurang bisa menyaring partikulat dengan ukuran kurang dari 0.5 µm. Selain itu studi lain juga menunjukkan bahwa PM di udara ambien dimana komponen utamanya adalah DPM, berkontribusi pada tingkat mortalitas dan morbiditas yang disebabkan oleh gangguan pernapasan (Anderson *et al*, 2012).

Pada tahun 1986, NIOSH melaporkan tentang "*Evaluation of the potential health effects of occupational exposure to diesel*

exhaust in underground coal mines" dalamnya berisi tentang studi pada hewan dan studi epidemiologi mengenai efek kesehatan jangka panjang dari paparan DPM (Chang, 2017). Terdapat dua studi epidemiologi tentang hubungan kematian akibat kanker paru pada pekerja di jalur kerta bawah tanah dengan pajanan jangka panjang dari DPM. Namun salah satu diantara tidak menunjukkan adanya hubungan. Terdapat dua studi kohort dan studi *case-control*, yang menunjukkan hubungan antara kanker paru dan efek jangka panjang dari DPM (Silverman, *et al*, 2012).

Paparan DPM sering dikaitkan dengan efek jangka panjang (contoh: kanker paru), efek jangka pendek maupun non karsinogenik dari paparan DPM juga ditemukan di berbagai studi pada manusia. Penelitian yang ada mengenai efek akut berupa efek non karsinogenik adalah iritasi pernapasan, asma, batuk, dan sakit kepala. Kelompok orang yang memiliki riwayat asma maupun kelompok sensitif lebih mudah terpengaruh pajanan DPM. Penelitian terhadap kelompok bukan perokok yang terpajan DPM adalah dapat menimbulkan inflamasi bronkus, iritasi mata dan pusing (Salvi. *et al*, 2012).

DPM juga sering dikaitkan dengan penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Terutama pada kelompok rentan, mereka lebih mudah terkena efek akut dari pajanan DPM (Morla dan Karekal S, 2017).

Konsentrasi Risk Agent (DPM)

Hasil pengukuran konsentrasi DPM, suhu, dan kelembapan di 4 lokasi tambang bawah tanah tertuang dalam Tabel 1. Sebaran konsentrasi DPM di tiap titik di tiap area tambang tidak sama sehingga digunakan nilai median dari pengukuran DPM di tiap area tambang. Kadar DPM di lokasi studi lebih tinggi dari pada kadar DPM di tambang tambang tanah pada penelitian sebelumnya di Kanada yaitu 150 µg/m³ (Debia *et al*, 2017). Sama dengan yang dilihat pada Tabel 1 secara umum konsentrasi DPM pada tiap area tambang bawah tanah lebih tinggi dari nilai ambang batas yang telah ada yang telah ditetapkan yaitu 160 µg/m³ (ACGIH, 2017). Untuk meminimalisir risiko kesehatan dari paparan DPM, Konsentrasi DPM harus diatur dalam suatu nilai ambang batas. Jerman, Kanada, Amerika telah menentukan NAB untuk DPM untuk industri tambang. Jerman menetapkan NAB pajanan DPM pada tambang bawah tanah dan tempat kerja di permukaan sebesar 300 µg/m³ dan 100 µg/m³ (Chang, 2017).

The Canada Centre for Mineral and Energy Technology menetapkan standard pajanan DPM pada 750 µg/m³. Namun di Quebec, Kanada NAB untuk DPM diubah menjadi 600

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan tempat lain NAB dari DPM adalah $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Chang, 2017). DI Australia untuk standar dan regulasi pajanan DPM di

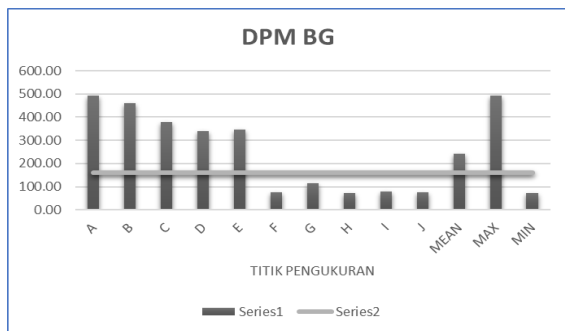
tambang bawah sedang dikembangkan (MSHA, 2013)

Tabel 1.

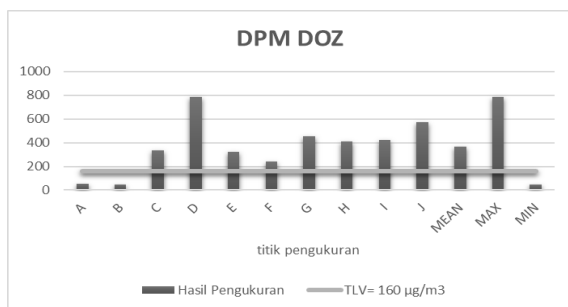
Hasil pengukuran *risk agent* (TC) di udara ambien di 10 lokasi dalam 4 area studi tambang bawah tanah

TAMBANG BAWAH TANAH	AREA	EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) TLV= 160 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
BG	A	164.30	328.70	493.00	
	B	164.30	295.80	460.20	
	C	123.30	246.50	378.00	
	D	115.70	231.40	338.90	
	E	132.20	206.60	347.20	
	F	30.30	41.30	74.30	
	G	24.80	90.80	115.60	
	H	19.30	52.30	71.50	
	I	27.50	55.10	79.90	
	J	19.30	55.10	74.30	
	MEAN		82.10	160.40	243.29
	MAX		164.30	328.70	493.00
MIN		19.30	41.30	71.50	
DOZ	A	21.48	29.07	50.55	
	B	24.64	22.04	45.38	
	C	91.27	242.14	335.26	
	D	440.67	345.39	786.06	
	E	217.28	108.64	320.20	
	F	92.63	148.66	240.15	
	G	244.18	209.29	453.47	
	H	210.63	198.92	409.55	
	I	427.12	133.76	424.10	
	J	225.53	151.13	574.97	
	MEAN		199.54	158.90	363.97
	MAX		440.67	345.39	786.06
MIN		21.48	22.04	45.38	
DMLZ	A	194.34	96.03	285.79	
	B	252.92	82.77	344.89	
	C	277.34	138.67	404.45	
	D	380.13	250.08	630.21	
	E	374.99	328.12	712.48	
	F	172.00	67.73	236.52	
	G	324.37	137.24	474.09	
	H	302.26	119.46	417.40	
	I	302.26	119.46	417.40	
	J	258.23	110.47	373.00	
	MEAN		283.884	145.00	429.62
	MAX		380.13	328.12	712.48
MIN		172.00	67.73	236.52	
GBC	A	243.60	81.61	328.86	
	B	272.48	95.37	371.57	
	C	482.52	160.84	643.36	
	D	480.84	160.28	641.12	
	E	250.40	73.87	325.52	
	F	158.71	72.74	224.84	
	G	204.78	92.83	286.69	
	H	142.44	82.55	226.60	
	I	488.12	309.547	797.67	
	J	540.79	204.30	745.09	
	MEAN		326.468	133.39	459.13
	MAX		540.79	309.55	797.67
MIN		142.44	72.74	224.84	

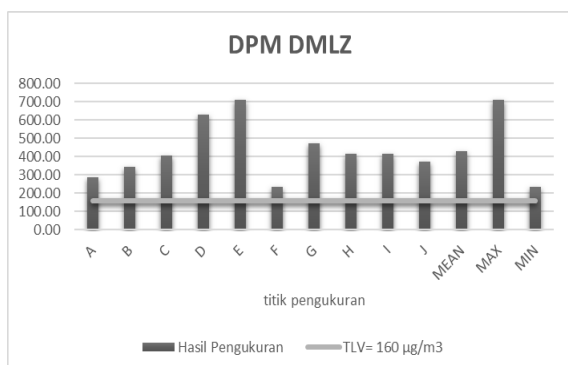
Di Indonesia sendiri belum ada ketentuan NAB untuk *Diesel Particulate Matter* (DPM). Sumber emisi DPM yang ada di lokasi studi adalah emisi dari alat berat yang ada di sekitar area tambang, semakin banyak alat berat yang beroperasi di area tambang maka akan semakin tinggi kadar DPM di suatu area. Secara lebih rinci hasil identifikasi dari setiap pengukuran DPM di beberapa lokasi tambang bawah tanah disajikan sebagai berikut:



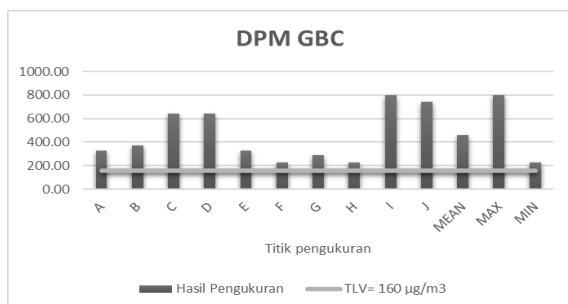
Gambar 1. Diagram distribusi kadar DPM di BG



Gambar 2. Diagram distribusi kadar DPM di DOZ



Gambar 3. Diagram distribusi kadar DPM di DMLZ



Gambar 4. Diagram distribusi kadar DPM di GBC.

Kadar DPM tertinggi dari seluruh pengukuran yang ada mencapai 797.67 µg/m³. Kadar terendah DPM dari seluruh pengukuran di semua area sebesar 45.38 µg/m³. Kadar DPM di udara pada seluruh area tambang ada yang melebihi nilai ambang batas sebanyak 33 titik pengukuran. Nilai Threshold Limit Value dari *Diesel Particulate Matter* adalah sebesar 160 µg/m³ (ACGIH, 2017). Nilai ambang batas untuk DPM berbeda tiap negara. Di provinsi Quebec, Canada, nilai ambang batas dari DPM awalnya 600 µg/m³ dan diterapkan pada industri tambang hingga tahun 2016. Mulai tahun 2016, nilai ambang batas diubah menjadi 400 µg/m³ untuk TC (*Total Carbon*) (Debia et al, 2017).

Diketahui pada tambang bawah tanah BG merupakan tambang bawah tanah yang melakukan kegiatan produksi utama perusahaan sehingga banyak aktivitas yang dilakukan walaupun keadaan ventilasi yang ada sudah baik. Pada beberapa titik di tambang BG yang sudah memiliki kadar DPM dibawah ambang batas merupakan area fasilitas tetap untuk berkumpulnya pekerja di tambang bawah tanah. Pada tambang bawah DOZ kegiatan produksi sedang berkurang dan sempat berhenti sehingga jumlah alat yang beroperasi pada tambang bawah tanah juga ikut berkurang.

Tambang bawah DMLZ dan GBC memiliki tingkat DPM tinggi karena kedua tambang bawah tersebut masih dalam tahap *development* sehingga ventilasi yang ada masih belum maksimal utamanya pada tambang bawah tanah GBC yang cakupan wilayahnya lebih luas dibandingkan DMLZ sehingga dibutuhkan ventilasi yang baik. Tambang bawah tanah GBC memiliki kadar DPM yang paling tinggi karena merupakan tambang bawah tanah paling baru dan nantinya akan dibangun rel kereta api di dalam tambang bawah tanah GBC.

Karakteristik Antropometri dan Aktivitas

Ringkasan statistik nilai variabel-variabel antropometri dan pola aktivitas responden sebagai faktor yang mempengaruhi pemajanan di lokasi tambang bawah tanah dicantumkan di tabel 2. Dalam tabel tersebut terdapat beberapa variabel antara lain adalah berat badan pekerja, lama pajanan yang dihitung dari lama kerja per hari, frekuensi pajanan yang dilihat dari jumlah hari kerja dalam setahun, durasi pajanan, dan laju inhalasi.

Nilai t_E dan D_t diperoleh langsung dari survey sedangkan f_E , W_b , dan R diperoleh dari default Kementerian Kesehatan (2012) dipakai untuk menghitung asupan harian nonkarsinogen. Untuk berat badan (W_b) digunakan default yang digunakan oleh

KEMENKES berbeda dengan default berat badan yang digunakan US EPA yaitu 75 kg. Lama pajanan diperoleh dari pengamatan shift kerja yang ada di PT X. untuk frekuensi digunakan 250 hari/tahun sesuai dengan KEMENKES dan US EPA karena merupakan lokasi pada tempat kerja jadi tidak dihitung 365 hari/tahun.

Tabel 2.

Faktor pemajanan antropometri tenaga kerja tambang bawah tanah bulan Februari-Maret 2018.

Faktor Pemajanan	Nilai Numerik
Berat badan rata-rata (W_b)	55 kg (rata-rata berat badan orang Indonesia) KEMENKES, 2012
Lama pajanan (t_e)	8 jam/hari (observasi dengan pekerja di tambang bawah tanah)
Frekuensi pajanan (f_e)	250 hari/tahun (default untuk tenaga kerja di area kerja) KEMENKES, 2012
Durasi pajanan (D_t)	5 tahun (observasi masa kerja pekerja tambang bawah tanah)
Laju inhalasi (R)	0,83 m ³ /jam (default laju inhalasi) KEMENKES, 2012

Identifikasi Bahaya

Diesel Particulate Matter (DPM) disebabkan oleh buangan tenaga diesel yang dihasilkan oleh kendaraan atau alat berat dengan bahan bakar yang masuk dalam kategori *high emission fuel*. Hasil pengujian DPM di seluruh tambang bawah tanah menunjukkan bahwa konsentrasi terukur dari DPM pada udara ambien yaitu konsentrasi minimal 45.38 µg/m³, konsentrasi rata-rata 347.00 µg/m³, dan konsentrasi maksimal sebesar 797.67 µg/m³. Kelompok populasi yang potensial terkena dampak adalah pekerja yang bekerja dibagian tambang bawah tanah karena sering terpajan oleh DPM di area tersebut. Dampak pajanan DPM adalah gangguan pernapasan dan iritasi pernapasan. Pajanan

kronis DPM memberikan kontribusi terhadap risiko penyakit kardiovaskuler dan pernapasan.

Analisis Dosis-Respon

Dosis refrensi (RfC) untuk *Diesel Particulate Matter* (DPM) sudah ada dalam IRIS (US EPA, 1999) maupun Peraturan Pemerintah yang ada dalam Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan oleh Kemenkes tahun 2012. Sehingga diketahui RfC= 0.005 mg/kg/hari. Pengukuran antropometri dan survei pola aktivitas menghasilkan nilai faktor-faktor pemajanan (Tabel 2) yang sama dengan studi ARKL sebelumnya (Rahman et al. 2008), yaitu berat badan 55 kg. waktu pajanan yang digunakan adalah 8 jam/hari sesuai dengan wawancara kepada tenaga kerja yang ada. Penelitian ini juga menggunakan nilai default yang ditetapkan oleh EPA (1990) an yang ada pada Pedoman Analisis Risiko Lingkungan oleh Kementerian Kesehatan (2012).

Tabel 3.

Dosis Respon (RfC) DPM

Agen Risiko	Nilai RfC	Efek Krisis dan Refrensi
Diesel Exhaust (DE)/Diesel Particulate Matter (DPM)	5E-3 mg/ m ³ (0,005)	Gangguan saluran pernapasan (EPA/IRIS/1999)

Analisis Pajanan

Intake yang dihitung disini merupakan untuk pajanan *real time*, yaitu untuk lama responden bekerja di area studi (D_t) sampai saat survey dilakukan. Perhitungan yang diterapkan digunakan guna merumuskan pilihan-pilihan manajemen risiko dengan mengurangi pajanan dan waktu pajanan (C, t_e , f_e , dan D_t).

Tabel 4.

Hasil pengukuran Risk Quotient (RQ) DPM di udara di 10 lokasi dalam 4 area studi tambang bawah tanah

TAMBANG BAWAH TANAH	AREA	RQ	TAMBANG BAWAH TANAH	AREA	RQ
BS	A	1.36	DOZ	A	0.21
	B	1.27		B	0.19
	C	1.04		C	1.39
	D	0.93		D	3.25
	E	0.96		E	1.32
	F	0.20		F	0.99
	G	0.32		G	1.87
	H	0.20		H	1.69
	I	0.22		I	1.75
	J	0.20		J	2.38
	MEAN	0.67		MEAN	1.50
	MAX	1.36		MAX	3.25
	MIN	0.20		MIN	0.19

TAMBANG BAWAH TANAH	AREA	RQ	TAMBANG BAWAH TANAH	AREA	RQ
DMLZ	A	0.79	GBC	A	0.91
	B	0.95		B	1.02
	C	1.11		C	1.77
	D	1.74		D	1.77
	E	1.96		E	0.90
	F	0.65		F	0.62
	G	1.31		G	0.79
	H	1.15		H	0.62
	I	1.15		I	2.20
	J	1.03		J	2.05
	MEAN	1.18		MEAN	1.27
	MAX	1.96		MAX	2.20
MIN	0.65	MIN	0.62		

Pada pajanan suatu bahaya yang ada di tempat kerja akan lebih mudah diterapkan pengaturan waktu aman pajanan (Rahman et al, 2008). Perhitungan ini juga dapat digunakan untuk menentukan opsi-opsi manajemen risiko. Intake dan RQ dari DPM terdapat pada Tabel 4.

Intake yang dihitung disini merupakan untuk pajanan *real time*, yaitu untuk lama responden bekerja di area studi (D_t) sampai saat survey dilakukan. Perhitungan yang diterapkan digunakan guna merumuskan pilihan-pilihan manajemen risiko dengan mengurangi pajanan dan waktu pajanan (C, tE, fE, dan Dt). Pada pajanan suatu bahaya yang ada di tempat kerja akan lebih mudah diterapkan pengaturan waktu aman pajanan (Rahman et al, 2008). Perhitungan ini juga dapat digunakan untuk menentukan opsi-opsi manajemen risiko. Intake dan RQ dari DPM terdapat pada Tabel 4.

Karakterisasi Risiko

Berdasarkan analisis dosis-respon, RQ dihitung melalui paparan inhalasi. Karakterisasi risiko kesehatan *Diesel Particulate Matter* (DPM) ini merupakan kajian risiko pertama di tambang bawah tanah Indonesia. ARKL ini mampu merumuskan pengelolaan berdasarkan kuantitas RQ DPM. Pada perkiraan risiko kesehatan non karsinogenik dengan jangka waktu 5 tahun didapatkan hasil bahwa pada 3 tambang bawah tanah paparan DPM memiliki $RQ > 1$ di tambang bawah tanah DOZ, DMLZ, dan GBC.

Manajemen Risiko

Dengan melihat hasil dari RQ yang diperoleh, risiko dari pajanan DPM di tambang bawah tanah harus dikendalikan. Berdasarkan karakteristik tingkat risiko yang telah diperoleh, terdapat 2 cara dalam pengelolaan risiko yang

mungkin dapat diterapkan, yaitu (1) menurunkan konsentrasi DPM, (2) mengurangi waktu kontak (tE, fE dan Dt) kedua cara ini digunakan untuk mempertimbangkan beberapa metode yang dapat diterapkan nantinya. Kedua cara tersebut pada dasarnya pengelolaan risiko dilakukan dengan mengatur intake DPM dengan RfC-nya sehingga diperoleh konsentrasi aman untuk DPM di tambang bawah tanah tersebut dengan melihat rata-rata dari seluruh tambang bawah tanah yang ada adalah $362.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Selain dengan menurunkan konsentrasi terdapat cara dengan menurunkan waktu pajanan, namun akan sangat berdampak pada tingkat produktivitas tambang bawah tanah. Dengan melihat kedua cara di atas dapat dilakukan berapa metode untuk menurunkan konsentrasi DPM pada tambang bawah tanah ini. Yang pertama Penggantian bahan bakar dengan emisi yang lebih sedikit. Bahan bakar alternatif yang dapat digunakan adalah bahan bakar dengan *low-sulfur diesel*, yang merupakan campuran dari 75% biodiesel dan 25% campuran diesel (B75), campuran ini dapat mengurangi *Diesel Particulate Matter* yang keluar dari emisi mesin (Lutz et al, 2015). Kedua Pemasangan filter untuk mengurangi emisi dari mesin. Penyaring partikulat dengan efisiensi yang tinggi dapat mengurangi *particulate matter* dan partikel buangan lain dari mesin (Guan et al, 2015).

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil studi ARKL di tambang bawah tanah ini adalah kadar DPM yang telah diukur di tambang bawah tanah melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian risiko kadar DPM pada tambang bawah tanah. Manajemen risiko yang dapat diterapkan untuk menanggulangi masalah yang dapat ditimbulkan akibat kadar DPM yang melebihi nilai ambang batas adalah

dengan mengurangi konsentrasi dari DPM dan waktu pajanannya, serta dapat dilakukan beberapa metode misalnya dengan pemasangan ventilasi yang baik, pemasangan Diesel Particulate Filter pada alat berat, dan pemantauan penggunaan APD yang baik.

Hasil dari studi ini dapat dikembangkan lagi untuk lebih mengetahui dampak yang dapat ditimbulkan dari paparan *Diesel Particulate Matte*, terutama dampak yang dapat terjadi pada kesehatan manusia. Perlu adanya tindak lanjut seperti mencari hubungan kuantitas alat berat yang beroperasi pada area dengan tingkat DPM di tambang bawah tanah, penurunan DPM yang paling efektif, dan perbedaan tingkat risiko DPM di perkotaan dengan di tambang bawah tanah. Studi ini dapat dijadikan sebagai dasar untuk studi berikutnya, disarankan studi lebih lanjut yang lebih mendalam mengenai DPM misalnya dengan melihat hubungan kadar DPM dengan status faal paru pekerja di tambang bawah tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Kesehatan Masyarakat yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian pada tambang bawah tanah dan pihak pihak terkait sehingga saya dapat membuat artikel ini yang harapannya dapat berguna untuk kemajuan segala kalangan utamanya dalam ranah kesehatan lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. O., Thunijil, J.G., & Stolbach, A. (2012). Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *J med Toxicol*; 8(2):166-75. Tersedia di: [http://refhub.elsevier.com/S2095-2686\(17\)30583-9/h0180](http://refhub.elsevier.com/S2095-2686(17)30583-9/h0180) [diakses pada: 4 April 2018].
- ACGIH, (2017). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. *Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienis*
- Bose-O'Reilly, S., Lettmeier, B., Roider, G., Siebert, U., & Drasch, G. (2008). Mercury in breast milk a health hazard for infants in gold mining areas. *Int. J. Hyg. Environ Health*, 211(5-6): 615-623. Tersedia di: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18262466> 8 <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.09.015>
- Chang, P., & Xu, G. (2017). A review of the health effects and exposure-responsible relationship of diesel particulate matter for underground mines. *International Journal of Engineering and Technology*, 27[831-838]. Tersedia di: <http://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.020> <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.020>
- Debia, M. et al. (2017). Diesel engine exhaust exposures in two underground mines. *International Journal of Mining Science and Technology* 27 [641-645]. Tersedia di: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209526861730349X> [15 Maret 2018]
- Guan, B., Zhan, R., Lin, J., & Huang, Z. (2015). Review of the state of the art of exhaust particulate filter technology in internal combustion engines. *J Environ Manage*:154:22 5-58. Tersedia di: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25743879> <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.027>
- Kementrian Kesehatan. (2012). Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Tersedia di : http://www.academia.edu/22127843/PEDOMAN_ANALISIS_RISIKO_KESEHATAN_LINGKUNGAN [18 Maret 2018].
- Lutz, E. A., Reed, R. J., Lee, V. S., & Burgess, J. L. (2015). Occupational exposures to emissions from combustion of diesel and alternative fuels in underground mining a simulated pilot study. *J Occup Environ Hyg* 12(3):18-25. Tersedi di: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25412337> 8 <https://doi.org/10.1080/15459624.2014.987384>
- Morla, R., & Karekal, S. (2017). Diesel Particulate Matter Investigations in Underground Coal Mines. *International Journal of Engineering and Technology*, 9[4]. Tersedia di: <http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1648&context=eispapers1> [15 Maret 2018]
- Mukono, H. J. (2010). Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Saluran Pernapasan. Surabaya: Airlangga University Press.
- MSHA. (2013). Hazard Alerts Diesel Exhaust/ Diesel Particulate Matter. Tersedia di: www.msha.gov [diakses 10 Maret 2018]
- Rahman, A., Nukman, A., Setyadi, Akib, C. R., Sofwan, Jarot. (2008). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pertambangan Kapur di

- Sukabumi, Cirebon, Tegal, Jepara, dan Tulung Agung. [e-jurnal] Volume 7 Nomor 1. Tersedia di:
<http://ejournal.litbang.depkes.go.id/index.php/jek/article/view/1643> [3 Maret 2018].
- Salim, H. S. (2014). *Hukum Pertambangan Mineral dan Batubara*. Sinar Grafika.
- Salvi, S., Blomberg, A., Rudell, B., Kelly, F., Sandstrom, T., Holgate, S. T., et al. (2012). Acute Inflammatory Responses In The Airways And Peripheral Blood After Short-Term Exposure To Diesel Exhaust In Healthy Human Volunteers. *Am J Respir Crit Care Med*;159(3):702-9. Tersedia di:
<https://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/ajrccm.159.3.9709083#readcube-epdf>
- Silverman, D. T., Samanic, C. M., Lubin, J. H., Blair, A., Stewart, P. A., & Vemeulen, R. (2012). The diesel exhaust in miners study: a nerted case-control of lung cancer and diesel exhaust. *J Natl Cancer Inst* 104(11): 855-68. Tersedia di:
[http://refhub.elsevier.com/S2095-2686\(17\)30583-9/h0100](http://refhub.elsevier.com/S2095-2686(17)30583-9/h0100)
<https://doi.org/10.1093/jnci/djs034>
- US EPA. (2016). *Integrated Risk Information System (IRIS)*. [online] Tersedia di:
<https://www.epa.gov/iris> [5 Maret 2018]