

ANALISIS RISIKO PAJANAN DEBU (*TOTAL SUSPENDED PARTICULATE*) DI UNIT PACKER PT. X

Dust (Total Suspended Particulate) Exposure Risk Assessment in Unit Packer PT. X

Siswati dan Khuliyah Candraning Diyanah

Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Airlangga
k.c.diyannah@fkm.unair.ac.id

Abstrak: Debu (*Total Suspended Particulate*) merupakan salah satu jenis pencemar udara yang sering ditemukan. Paparan debu pada waktu lama dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis risiko paparan debu di Unit Packer PT X. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Variabel yang diteliti yaitu identifikasi bahaya debu, analisis dosis-respons, analisis paparan, dan karakteristik risiko. Konsentrasi debu rata-rata di Unit Packer sebesar $7,01 \text{ mg/m}^3$ sehingga masih di bawah NAB (Nilai Ambang Batas) yang telah ditetapkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri. *Intake* terbesar yang diterima individu yaitu pada Unit Packer 1 yaitu $0,621 \text{ mg/kg/hari}$ dan $RQ > 1$ yang artinya populasi berisiko terhadap efek non karsinogenik dalam 30 tahun mendatang. Selain itu, adanya debu di tempat kerja dapat menimbulkan efek ketidaknyamanan dalam bekerja dan apabila terhirup dalam waktu yang lama juga dapat memberikan pengaruh negatif terhadap kesehatan tenaga kerja. Sehingga tetap perlu dikendalikan sebagai upaya preventif yaitu dengan pengendalian sumber seperti perawatan pada alat penyaring debu, mengurangi jumlah paparan yaitu dengan memakai alat pelindung diri (APD) berupa respirator (masker anti debu), dan mengurangi durasi paparan debu seperti rotasi karyawan ke unit kerja lain.

Kata kunci: analisis risiko, debu, unit packer

Abstract: *Dust (Total Suspended Particulate) is one type of air pollutant that often found. Dust exposure in long time can cause health problems. The purpose of this study is to analyze the risk of dust exposure in the Unit Packer PT X. This research is descriptive using Environmental Health Risk Assessment (EHRA). The variables were dust hazard identification, dose-response analysis, exposure analysis, and risk characteristics. The average dust concentration in Packer Unit 7.01 mg/m^3 so it was below the TLV (Threshold Limit Value) of the Health Minister Decree of The Republic of Indonesia No. 1405/Menkes/SK/XI/2002 concerning Requirements and Environmental Health Office Work Industry. Intake received the largest individual that is on Packer Unit 1 is 0.621 mg/kg/day and $RQ > 1$, which means the population is has a risk for non-carcinogenic effects in the next 30 years. In addition, the presence of dust in the workplace can cause effects inconvenience in work and when inhaled for a long time can also be a negative impact on the health of the workforce. So that, it needed to control as a preventive measure such as maintain the filters dust, reduce the number exposure by wearing personal protective equipment (PPE) such as respirators (anti-dust masker), and reducing the duration of dust exposure such as employee work rotation to other unit.*

Keywords: risk assessment, dust, unit packer

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan tempat tujuan investasi industri semen yang banyak menarik perhatian pihak domestik maupun asing. Hal tersebut disebabkan karena Indonesia mempunyai kekayaan batu kapur dan tanah liat yang sangat melimpah sebagai bahan baku utama pembuatan semen serta didukung oleh adanya batu bara sebagai pasokan sumber energi yang mudah didapatkan. Industri semen merupakan salah satu industri yang menjadi penunjang utama

untuk memenuhi kebutuhan pembangunan infrastruktur di Indonesia yang berperan untuk memasok kebutuhan konstruksi dan akselerasi pembangunan industri lainnya. Permintaan semen yang semakin meningkat didukung oleh perkembangan bisnis properti, seperti hotel, apartemen dan perumahan. Selain itu, pembangunan infrastruktur yang sejalan dengan program Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi (MP3EI), Unit Percepatan Pembangunan Papua dan Papua Barat (UP4B),

serta pembangunan rumah rakyat dan seribu tower (Kemenperin, 2017).

Namun, perlu diketahui bahwa perkembangan dan kemajuan industri ini juga membawa dampak negatif baik terhadap lingkungan maupun tenaga kerja. Salah satu bahan atau zat sisa yang dihasilkan dari industri semen antara lain yaitu debu. Debu merupakan salah satu bahan pencemar udara sehingga dapat mengakibatkan pencemaran di lingkungan tempat kerja. Selain itu, debu juga dapat mengakibatkan dampak negatif bagi tenaga kerja yaitu gangguan pernapasan. Gangguan pernapasan timbul sebagai akibat dari paparan bahan pencemar udara atau emisi yang dihasilkan selama proses produksi seperti debu. Debu merupakan partikel padat yang ditimbulkan akibat dari proses alam maupun hasil dari proses mekanis seperti pemotongan (*cutting*), pukulan, pemecahan (*breaking*), penghancuran (*crushing*), peledakan, penghalusan (*grindling*), penggilingan (*drilling*), pengayakan (*shaking*), pengepakan, pengemasan, pengantongan dan lainnya yang timbul dari benda atau bahan baik organik maupun anorganik (Suma'mur, 2009).

Sedangkan menurut Sarudji (2010), debu atau yang biasanya disebut dengan partikulat merupakan sebagian besar dari komposisi emisi polutan yang berasal dari berbagai macam sumber seperti mobil, truk, pabrik baja, pabrik semen, dan pembuangan sampah terbuka. Sumber debu (partikulat) dapat berasal dari udara, tanah, aktivitas mesin maupun akibat aktivitas manusia yang tertiuap angin.

Debu total merupakan debu yang terdiri dari campuran berbagai elemen dan senyawa lain dengan berbagai ukuran partikel, mulai dari ukuran yang terkecil sampai dengan ukuran 100 mikron. Debu yang terdapat di lingkungan kerja berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan pada hidung dan tenggorokan yang dapat mengakibatkan seselasma dan infeksi lain. Faktor yang dapat memengaruhi timbulnya penyakit dan gangguan pernapasan yang diakibatkan oleh paparan debu adalah faktor debu dan faktor individu. Faktor debu yang meliputi ukuran partikel, bentuk, konsentrasi, daya larut dan sifat kimiawi, serta lama paparan. Faktor individu seperti mekanisme pertahanan paru, anatomi dan fisiologi saluran pernapasan serta faktor imunologi. Adapun hal yang harus dipertimbangkan dalam melakukan penilaian paparan agen risiko terhadap manusia antara lain sumber paparan, lamanya paparan, paparan dari sumber lain, pola aktivitas sehari-

hari dan faktor penyerta yang potensial seperti usia, gender dan kebiasaan merokok (Anes dkk, 2015).

Suma'mur (2009) mengelompokkan partikel debu menjadi debu organik (alamiah seperti fosil, bakteri, jamur, virus, sayuran, binatang dan sintetis seperti plastik dan reagen) dan debu anorganik (silika bebas, silika, dan metal). Pada jenis debu tersebut juga dipengaruhi oleh daya larut dan sifat kimianya. Adanya perbedaan daya larut dan sifat kimiawi yang dimiliki debu tersebut menimbulkan kemampuan mengendapnya di paru juga akan berbeda pula. Demikian juga tingkat kerusakan yang ditimbulkannya juga akan berbeda pula.

Adapun jenis debu industri yang berasal dari pembakaran arang, batu, semen, keramik, besi, penghancuran logam, batu, asbes dan silika. Jenis debu tersebut merupakan debu yang berukuran 3-10 mikron akan masuk melalui saluran pernapasan dan mengendap di paru. Efek lama paparan debu ini dapat menyebabkan *paralysis cilia*, hipersekresi dan hipertrofi kelenjar mukus. Keadaan ini dapat mengakibatkan saluran pernapasan rentan terhadap infeksi dan timbulnya gejala batuk menahun yang produktif (Yunus, 1991).

Fardiaz (1992) menyebutkan bahwa polutan yang paling berbahaya bagi kesehatan adalah partikel, diikuti dengan NO₂, SO₂, hidrokarbon, dan CO (yang paling rendah toksisitasnya). Partikulat bersama polutan lain seperti ozon dan sulfur dioksida akan menimbulkan gangguan kesehatan yang berupa penurunan faal paru, sedangkan partikulat saja tidak menimbulkan gangguan faal paru pada orang normal. Debu (*Total Suspended Particulate*) yang terdapat di udara akan masuk pada tubuh manusia melalui inhalasi dan sebagian akan masuk ke dalam paru, mengendap di alveoli dan dapat menurunkan fungsi kerja paru. Sirait (2010) menyatakan bahwa timbulnya gangguan faal paru tidak hanya disebabkan oleh kadar debu yang tinggi, tapi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain seperti karakteristik dari individu itu sendiri.

Adapun efek lain dari udara pada lingkungan kerja sering tercemar oleh adanya faktor kimia yaitu partikel dalam bentuk gas, uap, debu dan lainnya dapat mengurangi produktivitas kerja serta dapat mengakibatkan gangguan saluran pernapasan ataupun fungsi paru (Suma'mur, 2009).

Data *International Labour Organization* (2013) menyebutkan bahwa penyakit saluran pernapasan

merupakan penyakit urutan ketiga setelah penyakit kanker dan kecelakaan yang dapat menyebabkan kematian yang diakibatkan oleh pekerjaan yaitu sebesar 21%. Untuk penyakit kanker menempati urutan pertama dengan persentase sebesar 34%, kecelakaan sebesar 25%, penyakit kardiovaskular sebesar 15% dan faktor lain sebesar 5%.

Menurut Wiguna (2006), menyatakan bahwa partikulat yang berasal dari tungku industri pengolahan menjadi penyumbang terbesar yaitu 51,27%. Sedangkan kegiatan industri semen berkontribusi terhadap total emisi partikulat dan menyumbang 5% pada emisi CO₂ global. Selain itu, pada industri semen dalam proses produksinya banyak menghasilkan partikulat yang mengandung silika, ferro, dan timbal. Keadaan yang berbeda ini juga dapat memberikan risiko kesehatan yang berbeda juga pada tubuh manusia (Zelege dkk, 2010).

PT X merupakan salah satu industri terbesar di Indonesia yang bergerak dalam bidang produksi berbagai jenis semen. Dalam proses produksinya, industri semen melibatkan tenaga manusia dan lingkungan tempat kerja.

Industri semen berpotensi menimbulkan kontaminasi atau pencemaran di udara berupa debu. Debu yang dihasilkan oleh kegiatan industri semen terdiri dari debu yang dihasilkan pada saat pengadaan bahan baku, selama proses pembakaran dan pengangkutan produk jadi ke luar pabrik termasuk pengantongannya. Adapun salah satu unit yang mempunyai kadar konsentrasi debu tinggi jika dibandingkan dengan unit lain yaitu Unit Packer.

Unit Packer PT X merupakan tempat untuk melakukan proses produksi pada tahap pengantongan semen. Dimana proses pengantongan dimulai dari pengeluaran produk semen yang tersimpan di dalam silo semen sampai dengan masuknya semen ke *bin* yang kemudian langsung ditransportasikan ke Unit Packer untuk dilakukan pengantongan menggunakan mesin *rotary packer*.

Proses pengisian semen ke sak semen dilakukan menggunakan bantuan tekanan udara. Sehingga sak semen yang masuk pada bagian injeksi semen, akan secara otomatis terisi oleh semen melalui lubang yang terdapat pada sudut kantong. Apabila terisi penuh, lubang kantong tersebut akan menutup dengan sendirinya, setelah itu sak semen dilempar ke *belt conveyor* menuju ke *belt weight* untuk ditimbang. Setelah itu, sak semen melewati *belt conveyor* menuju mesin

detector untuk diperiksa dan menuju ke truk untuk didistribusikan.

Hasil dari pengantongan semen, baik dalam bentuk kantong semen ukuran standar atau 40 kg, jumbo *pack*, maupun bentuk curah didistribusikan melalui angkutan laut dan angkutan darat. Dari kegiatan yang ada di Unit Packer tersebut dapat diketahui bahwa di Unit Packer mempunyai faktor bahaya yang dapat mengganggu kesehatan karyawannya karena konsentrasi debu total yang dihasilkan di Unit Packer PT X rata-rata lebih tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi debu yang ada di unit lainnya.

Berdasarkan uraian masalah di atas maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana risiko pajanan debu di Unit Packer PT X. Sedangkan tujuan penelitian ini untuk menganalisis risiko pajanan debu di Unit Packer PT X.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Unit Packer PT X pada bulan September 2016. Penelitian ini termasuk jenis penelitian observasional. Data yang digunakan yaitu data sekunder yang meliputi data laporan hasil pengukuran lingkungan kerja seksi pemantauan lingkungan Triwulan III Tahun 2016 di Unit Packer PT X.

Pengukuran konsentrasi debu yang ada di Unit Packer PT X dilakukan pada saat produksi sedang berlangsung sehingga diasumsikan hasil pengukuran dapat mewakili pajanan terdapat karyawan saat bekerja. Pengukuran dilakukan menggunakan alat *High Volume Dust Sampler* (HVDS) dengan *Filter Silica Glass*.

Teknik analisis data menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yaitu metode yang biasa digunakan untuk memperkirakan besarnya risiko yang akan diterima oleh pekerja di Unit Packer PT X akibat pajanan debu yang dihasilkan saat produksi. Adapun jenis ARKL yang digunakan adalah ARKL meja karena sumber data yang digunakan merupakan data sekunder hasil pengukuran konsentrasi debu di Unit Packer Triwulan III PT X.

Metode ARKL ini bukan merupakan kajian epidemiologi untuk mencari hubungan tingkat pencemaran udara dengan gangguan kesehatan. Namun, hanya untuk memperkirakan secara kualitatif besarnya risiko kesehatan pada populasi terpajan debu. Adapun rumus untuk menghitung jumlah asupan agen risiko yang masuk melalui

jalur inhalasi (*intake*) dan RQ (*Risk Quotient*) sesuai dengan rumus Kemenkes (2012) yaitu sebagai berikut:

$$I_{nk} = \frac{C * R * t_e * f_e * D_t}{(W_b * t_{avg})}$$

Keterangan:

- I_{nk} : Intake (asupan), jumlah risk agent yang masuk (mg/kg/hr)
- C : Konsentrasi risk agent, (mg/m³) untuk medium udara, (mg/L) untuk air minum, (mg/kg) untuk makanan/ pangan
- R : Laju (rate) asupan untuk udara (dewasa: 20 m³/hari atau 0,83 m³/jam, anak-anak: 12 m³/hari atau 0,5 m³/jam)
- t_e : waktu paparan harian (24 jam/hari untuk paparan pada pemukiman, 8 jam/hari untuk paparan pada tempat kerja)
- f_e : Frekuensi paparan tahunan (Paparan pada pemukiman: 350 hari/tahun) dan (Paparan pada lingkungan kerja: 250 hari/ tahun)
- D_t : Durasi paparan, real time atau proyeksi untuk residensial (pemukiman/paparan seusia hidup), dewasa: 30 tahun, anak-anak: 6 tahun
- W_b : Berat badan, dewasa 70 kg/55 kg (70 kg untuk Eropa dari US-EPA 1990, 55 kg untuk Asia dari Nukman, et al. 2005)
- t_{avg} : Periode waktu rata-rata, 30 tahun x 365 hari/tahun (non karsinogen) atau 70 tahun x 365 hari/tahun (karsinogen)

Sedangkan untuk menghitung karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ atau Tingkat Risiko) untuk efek non karsinogenik dihitung dengan rumus:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfC}$$

Keterangan:

- RQ : *Risk Quotient*
- I_{nk} : Intake (asupan) non karsinogenik
- RfC : *Reference Concentration* (untuk paparan melalui inhalasi).

Risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika $RQ > 1$. Jika $RQ < 1$, risiko tidak perlu dikendalikan tetapi perlu dipertahankan agar

nilai numerik RQ tidak melebihi 1 (Rahman dkk, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi debu (*Total Suspended Partikulat*) Trimester III Tahun 2016 di Unit Packer PT X

Berdasarkan data dokumen seksi pemantauan lingkungan trimester III Tahun 2016 dapat diketahui bahwa konsentrasi debu (*Total Suspended Particulate*) di lingkungan kerja Unit Packer PT X seperti pada Tabel 1.

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri, dapat dilihat bahwa hasil pengukuran pada empat lokasi pengukuran tidak ada yang melebihi NAB yaitu dengan nilai rata-rata konsentrasi debu pada Unit Packer sebesar 7,01 mg/m³. Walaupun konsentrasi debu (*Total Suspended Particulate*) ini masih berada di bawah NAB yang telah ditetapkan, tetapi estimasi risiko akibat paparan debu (*Total Suspended Particulate*) dapat terjadi karena adanya perbedaan karakteristik responden dan pola paparan.

Analisis Risiko Paparan Debu

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan suatu model kajian untuk mendeskripsikan, memahami, dan memprediksi kondisi dan karakteristik lingkungan yang mempunyai potensi atau dapat menimbulkan risiko kesehatan manusia. ARKL bertujuan untuk memberikan dan menyediakan informasi secara

Tabel 1.
Hasil Pengukuran Kadar Debu di Unit Packer PT X
Triwulan III Tahun 2016

Lokasi Pengukuran	Konsentrasi Debu (mgr/m ³)	Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1405/MENKES/SK/XI/2002
Packer 1	7,51	10 mg/m ³
Packer 2	7,40	10 mg/m ³
Packer 3	6,25	10 mg/m ³
Packer 4	6,88	10 mg/m ³
Rata-rata	7,01	10 mg/m ³

Sumber: Dokumen seksi pemantauan lingkungan Triwulan III 2016 di PT X.

lengkap dan pemegang kebijakan khususnya kepada pemerintah sebagai bahan pertimbangan untuk proses dalam mengambil kebijakan (Kemenkes, 2012).

Berdasarkan Kepmenkes No.876/MENKES/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan mendeskripsikan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan merupakan salah satu metode atau cara untuk melakukan pendekatan dalam mencermati besarnya potensi bahaya risiko. Pelaksanaan ARKL dimulai dengan melakukan identifikasi permasalahan lingkungan yang telah dikenal dan melibatkan pihak yang berkewajiban dalam penetapan risiko pada kesehatan manusia yang berhubungan dengan permasalahan lingkungan yang bersangkutan. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) biasanya berhubungan dengan masalah lingkungan yang terjadi pada saat ini atau di masa yang telah lalu.

International Program on Chemical Safety (IPCS) Risk Assessment Terminology dalam panduan atau petunjuk teknis Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Dirjen PP dan PL Kementerian Kesehatan Republik Indonesia tahun 2011 mendefinisikan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) sebagai suatu proses yang bertujuan untuk menghitung atau memperkirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk juga identifikasi pada keberadaan faktor ketidakpastian, penelusuran pada pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada *agent* yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik.

Perlu diketahui bahwa dalam melakukan penilaian risiko banyak hal yang bersifat tidak pasti, namun penilaian risiko perlu dilakukan untuk menyediakan informasi mengenai identifikasi bahaya dan membedakan antara faktor yang berpengaruh terhadap lingkungan dan bahayanya terhadap kesehatan manusia serta kelestarian lingkungan, menganalisis risiko saat ini dan memperkirakan perubahan yang mungkin terjadi akibat paparan faktor risiko tersebut. Sehingga dengan adanya analisis risiko tersebut dapat digunakan sebagai informasi untuk melakukan tindakan pencegahan (Kepmenkes, 2001).

Menurut Rahman dkk (2008) risiko berada di antara pasti tidak terjadi dan pasti terjadi ($0 < \text{risiko} < 1$). Analisis risiko terbagi menjadi empat langkah yaitu (a) identifikasi bahaya (*hazard identification*), (b) analisis dosis-respons (*dose-*

response assessment), (c) analisis pajanan (*exposure assessment*) dan (d) karakterisasi risiko (*risk characterization*).

Identifikasi Bahaya

Debu (*Total Suspended Particulate*) memiliki risiko kesehatan non karsinogenik yaitu dapat menyebabkan gangguan pernapasan khususnya pneumokoniosis. Pneumokoniosis merupakan penyakit yang disebabkan oleh adanya partikel debu yang masuk dan mengendap di paru. Penyakit pneumokoniosis banyak jenisnya, tergantung dari jenis partikel (debu) yang masuk atau terhisap ke dalam paru. Beberapa jenis penyakit pneumokoniosis yang banyak dijumpai di daerah yang memiliki banyak kegiatan industri dan teknologi, yaitu silikosis, asbestosis, bisinosis, antrakosis, dan beriliosis (Wardhana, 2004).

PT X dalam proses produksinya menggunakan bahan baku utama berupa batu kapur 81%, tanah liat 9%, pasir silika 9% dan pasir besi 1%. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi debu (*Total Suspended Particulate*) di Unit Packer PT X pada empat lokasi pengukuran masih di bawah NAB namun apabila debu tersebut terhirup setiap hari dapat menimbulkan gangguan pernapasan. Karena sumber pajanan debu pada Unit Packer selain dari proses pengantongan juga berasal dari lingkungan luar seperti emisi gas kendaraan bermotor yang keluar masuk Unit Packer untuk mengangkut semen yang siap didistribusikan.

Sebagian besar debu yang ada di lingkungan kerja tempat pengukuran ditimbulkan oleh aktivitas proses pengantongan yang berupa debu semen. Menurut Suma'mur (2009) debu semen te jenis termasuk dalam jenis debu anorganik golongan silika. Pajanan debu silika dalam waktu yang lama dapat berisiko menderita penyakit silikosis.

Analisis Dosis Respon

Analisis dosis respons merupakan tahap yang digunakan untuk menentukan hubungan antara besarnya dosis atau level pajanan bahan kimia dengan terjadinya efek yang merugikan bagi kesehatan manusia. Dimana tahap ini merupakan tahapan untuk menetapkan kualitas toksisitas agen risiko mempunyai potensi menimbulkan efek yang dapat merugikan kesehatan pada populasi yang berisiko.

Adapun toksisitas agen risiko dinyatakan dalam dosis referensi. Untuk pajanan inhalasi

yang bersifat non karsinogenik dinyatakan dengan *Reference Concentration* (RfC). Dosis referensi tersebut digunakan untuk memperkirakan jumlah paparan setiap harinya pada populasi manusia yang dapat diterima tanpa menimbulkan efek berbahaya selama masa hidupnya.

Untuk toksisitas dari debu (*Total Suspended Particulate*) yang merupakan salah satu agen risiko dengan efek non karsinogenik inhalasi maka dosis respons dinyatakan dengan *Reference Concentration* (RfC). Nilai RfC bukan merupakan dosis mutlak dari suatu agen risiko, namun hanya dosis referensi. Jika dosis yang diterima oleh populasi manusia melebihi RfC maka peluang untuk terjadinya risiko kesehatan menjadi lebih besar.

Nilai RfC debu (TSP) pada penelitian ini menggunakan nilai dosis referensi dari studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan yang dilakukan oleh Rahman dkk, (2008) yaitu sebesar 0,020 mg/kg/hari karena nilai RfC debu (TSP) dalam daftar IRIS belum tersedia.

Analisis Paparan

Analisis paparan (*exposure assessment*) merupakan penilaian kontak yang bertujuan untuk mengenali jalur paparan agen risiko agar dapat menghitung jumlah asupan atau *intake yang diterima* pada populasi berisiko (Rahman, 2007)

Penentuan analisis paparan dilakukan dengan menghitung jumlah asupan agen risiko yang masuk tubuh melalui inhalasi. *Intake* dinyatakan sebagai jumlah paparan yang diterima oleh individu per kilogram berat badan per hari. *Intake paparan* dihitung secara *lifetime*. *Paparan lifetime* yaitu durasi paparan yang dihitung seumur hidup. *Paparan lifetime* yang digunakan adalah durasi paparan standart (*Dt*) 30 tahun yaitu nilai standart waktu yang diperkirakan efek non karsinogenik termanifestasi pada manusia.

Konsentrasi debu yang digunakan adalah konsentrasi debu yang terukur pada setiap titik pengukuran di Unit Packer yaitu mulai dari Unit Packer 1, 2, 3, dan 4 seperti yang terlihat pada Tabel 1. Laju inhalasi (*R*) yang digunakan adalah laju inhalasi standart orang dewasa pada usia 21–61 tahun yaitu 0,83 m³/jam. Berat badan yang digunakan adalah berat badan dewasa 70 kg atau 55 kg (70 kg untuk Eropa dari US-EPA 1990, 55 kg untuk Asia) dari Nukman (2005).

Lama paparan didapatkan berdasarkan perhitungan sistem *shift* yang berlaku atau yang telah ditetapkan perusahaan yaitu 8 jam/hari

dan 40 jam/minggu untuk 5 hari kerja/minggu. Penetapan jam kerja yang ada di PT X juga telah sesuai dengan Undang-Undang No.13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan. Sehingga hasil perhitungan analisis paparan untuk pada pekerja yaitu sebagai berikut:

$$I_{nk} \text{ TSP Packer 1} = \frac{C * R * t_e * f_e * D_t}{(W_b * t_{avg})}$$

$$= \frac{7,51 \frac{mg}{m^3} * 0,83 \frac{mg}{m^3} * 8 \text{ jam} * 250 \text{ hr} * 30 \text{ th}}{55 \text{ kg} * 365 \text{ hr} * 30 \text{ th}}$$

$$= \frac{373.998}{602.250} = 0,621 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{nk} \text{ TSP Packer 2} = \frac{C * R * t_e * f_e * D_t}{(W_b * t_{avg})}$$

$$= \frac{7,40 \frac{mg}{m^3} * 0,83 \frac{mg}{m^3} * 8 \text{ jam} * 250 \text{ hr} * 30 \text{ th}}{55 \text{ kg} * 365 \text{ hr} * 30 \text{ th}}$$

$$= \frac{368.520}{602.250} = 0,612 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{nk} \text{ TSP Packer 3} = \frac{C * R * t_e * f_e * D_t}{(W_b * t_{avg})}$$

$$= \frac{6,25 \frac{mg}{m^3} * 0,83 \frac{mg}{m^3} * 8 \text{ jam} * 250 \text{ hr} * 30 \text{ th}}{55 \text{ kg} * 365 \text{ hr} * 30 \text{ th}}$$

$$= \frac{311.250}{602.250} = 0,517 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{nk} \text{ TSP Packer 4} = \frac{C * R * t_e * f_e * D_t}{(W_b * t_{avg})}$$

$$= \frac{6,88 \frac{mg}{m^3} * 0,83 \frac{mg}{m^3} * 8 \text{ jam} * 250 \text{ hr} * 30 \text{ th}}{55 \text{ kg} * 365 \text{ hr} * 30 \text{ th}}$$

$$= \frac{342.624}{602.250} = 0,569 \text{ mg/kg/hari}$$

Berdasarkan data hasil perhitungan pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa *Intake lifetime* terbesar yang diterima individu yaitu pada Unit Packer 1 yaitu dengan besar intake 0,621 mg/kg/hari sedangkan *Intake lifetime* terkecil yaitu pada Unit Packer 3 sebesar 0,517 mg/kg/hari. Sedangkan *intake* rata-rata yang diterima di Unit Packer sebesar 0,579 mg/kg/hari.

Intake ini belum tentu sama dengan intake yang diterima oleh individu sebenarnya. Intake yang diterima bisa saja lebih kecil atau lebih besar karena pengukuran konsentrasi debu yang masuk ke dalam tubuh tidak menggunakan *Personal Dust Sampler* (PDS). Pengukuran dengan PDS lebih

Tabel 2.

Hasil Perhitungan *Intake Risk* Debu yang Masuk ke dalam Tubuh di Unit Packer PT X tahun 2016

Lokasi	Konsentrasi Debu (mg/m ³)	Intake
Packer 1	7,51	0,621
Packer 2	7,40	0,612
Packer 3	6,25	0,517
Packer 4	6,88	0,569
Rata-rata	7,01	0,579

dapat menggambarkan kadar konsentrasi debu yang dihirup oleh manusia atau responden setiap waktunya berdasarkan pola aktivitas individu masing-masing.

Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengetahui apakah populasi yang terpajan berisiko terhadap agen risiko yang masuk ke dalam tubuh yang dinyatakan dengan RQ (*Risk Quotient*). Perhitungan RQ dilakukan dengan cara menggabungkan nilai yang didapatkan pada analisis pajanan atau *intake* dan dosis respons. Tingkat risiko non karsinogenik didapat melalui hasil pembagian asupan harian melalui *inhalasi* dengan nilai dosis respons yang dikenal dengan istilah *Reference Concentration (RfC)*. Adapun perhitungan RQ (*Risk Quotient*) adalah berikut:

$$\begin{aligned} RQ \text{ TSP Unit Packer 1} &= \frac{I_{nk}}{RfC} \\ &= \frac{0,621 \text{ mg/kg/hari}}{0,020 \text{ mg/kg/hari}} = 31,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RQ \text{ TSP Unit Packer 2} &= \frac{I_{nk}}{RfC} \\ &= \frac{0,612 \text{ mg/kg/hari}}{0,020 \text{ mg/kg/hari}} = 30,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RQ \text{ TSP Unit Packer 3} &= \frac{I_{nk}}{RfC} \\ &= \frac{0,517 \text{ mg/kg/hari}}{0,020 \text{ mg/kg/hari}} = 25,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RQ \text{ TSP Unit Packer 4} &= \frac{I_{nk}}{RfC} \\ &= \frac{0,569 \text{ mg/kg/hari}}{0,020 \text{ mg/kg/hari}} = 28,45 \end{aligned}$$

Tabel 3.

Hasil Perhitungan RQ (*Risk Quotient*) di Unit Packer PT X Triwulan III Tahun 2016

Lokasi	RQ (<i>Risk Quotient</i>)	Kriteria RQ (<i>Risk Quotient</i>)
Packer 1	31,05	Tidak Aman
Packer 2	30,60	Tidak Aman
Packer 3	25,85	Tidak Aman
Packer 4	28,45	Tidak Aman

Tabel 3, menunjukkan bahwa agen risiko debu (*Total Suspended Particulate*) yang terdapat di udara pada semua lokasi pengukuran di Unit Packer PT X mempunyai nilai RQ > 1 yang berarti bahwa pajanan debu (TSP) yang terhirup oleh pekerja di Unit Packer PT X dengan berat badan 55 kg, waktu pajanan 8 jam/hari selama 250 hari/tahun tidak aman atau berisiko terhadap efek non karsinogenik dalam 30 tahun mendatang selama masih bekerja di Unit Packer PT X.

Menurut Rahman (2005), faktor individu merupakan variabel penting yang sangat memengaruhi besarnya suatu agen risiko yang diterima individu adalah karakteristik responden dan pola pajanan. Karakteristik responden seperti berat badan, semakin besar berat badan individu maka semakin kecil dosis internal yang diterima. Begitu pula dengan usia, usia memengaruhi daya tahan tubuh terhadap pajanan zat toksik atau bahan kimia. Sehingga semakin tinggi usia maka daya tahan tubuh akan semakin berkurang (Meo dkk, 2013).

Pada penelitian Salim (2012) yang menyatakan bahwa besarnya *intake* atau asupan dipengaruhi oleh nilai konsentrasi bahan kimia, laju asupan, frekuensi pajanan, durasi pajanan sehingga jika semakin besar nilai tersebut maka jumlah agen risiko yang masuk ke dalam tubuh juga semakin besar. Hal ini sejalan dengan penelitian Saputro (2015) yaitu besarnya asupan mempunyai nilai berbanding lurus dengan besarnya nilai konsentrasi agen risiko, waktu pajanan, durasi pajanan dan frekuensi pajanan. Sedangkan asupan mempunyai nilai berbanding terbalik dengan berat badan dan durasi pajanan. Hal serupa juga diungkapkan oleh Rahman dkk (2008) bahwa semakin sering dan lamanya individu berada pada lingkungan yang tercemar atau berpolusi maka akan semakin besar pula

jumlah agen risiko yang masuk ke dalam tubuh dan risiko untuk terjadi efek gangguan kesehatan semakin besar pula. Pada penelitian Deviandhoko, dkk (2012) menyatakan bahwa ada hubungan yang bermakna antara konsentrasi debu di udara dengan kejadian fungsi paru meskipun konsentrasi debu masih di bawah NAB, yaitu sebanyak 24,4% responden mempunyai gangguan fungsi paru meskipun kadar debu masih di bawah Nilai Ambang Batas.

Berdasarkan penelitian Yulaekah (2007), menyebutkan bahwa paparan debu berhubungan dengan kejadian gangguan fungsi kesehatan terutama pada paru. Hasil penelitian membuktikan nilai $\alpha = 0,02$ yang berarti terdapat hubungan yang signifikan antara paparan debu yang terhirup atau yang masuk ke tubuh terhadap terjadinya gangguan fungsi paru. Sedangkan nilai OR = 5,833 yang berarti paparan debu yang masuk ke dalam tubuh atau terhirup oleh pekerja mempunyai risiko 6 kali lebih besar mengalami gangguan fungsi paru. Pada penelitian Khairiah (2012), membuktikan bahwa ada hubungan antara konsentrasi debu di pemukiman warga sekitar pabrik semen di desa kuala indah dengan timbulnya penyakit atau keluhan kesehatan. Sebanyak 19 responden dari 56 responden mengalami keluhan kesehatan. Dengan keluhan kesehatan terbanyak yang dialami oleh responden berupa iritasi kulit sebesar 73,7%. Sedangkan menurut penelitian Anes, dkk (2015) menunjukkan bahwa adanya hubungan yang signifikan antara paparan debu dan kejadian gangguan fungsi paru dengan nilai $p = 0,023$. Sedangkan Nilai OR = 8,444 yang artinya debu semen memiliki risiko 8,444 kali mengalami gangguan fungsi paru jika dibandingkan dengan responden yang tidak atau jarang terpajan oleh debu semen.

Pada penelitian Simanjuntak, dkk (2015) menunjukkan bahwa ada hubungan signifikan antara paparan kadar debu dengan kejadian pneumokoniosis pada pekerja pengumpul semen di unit pengantongan semen PT. Tonasa Line Kota Bitung dengan nilai *odds ratio* (OR) sebesar 7,2 yang artinya pekerja yang terpajan dengan kadar debu tinggi ($> 3 \text{ mg/m}^3$) mempunyai risiko terjadi pneumokoniosis sebesar 7,2 kali lebih besar dibandingkan dengan pekerja yang terpajan dengan kadar debu rendah ($\leq 3 \text{ mg/m}^3$). Namun, selain paparan debu ada beberapa faktor lain

yang bisa menjadi faktor penyerta sehingga dapat memengaruhi timbulnya gangguan kesehatan atau penyakit yang diakibatkan oleh paparan debu antara lain seperti usia, jenis kelamin, perilaku, gaya hidup, faktor imunologi individu dan sebagainya.

Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah pilihan yang dilakukan untuk memperkecil dampak paparan suatu agen risiko terhadap kesehatan pekerja dengan cara mengubah nilai faktor paparan sehingga jumlah asupan yang masuk ke dalam tubuh lebih kecil atau minimal sama dengan dosis referensi toksisitasnya (Rahman, 2007). Berdasarkan hasil perhitungan risiko non karsinogenik paparan debu (*Total Suspended Particulate*) pada pekerja di Unit Packer PT X dengan RQ yang tercantum dalam Tabel 3, dengan tingkat pencemaran seperti saat diukur (Pengukuran Triwulan III Tahun 2016) risiko kesehatan disemua lokasi Unit Packer tidak aman atau berisiko non karsinogenik untuk 30 tahun mendatang. Sehingga pengendalian risiko untuk melindungi pekerja dari risiko kesehatan tersebut sangat perlu dilakukan sebagai upaya preventif.

Beberapa pengendalian risiko yang mungkin dilakukan untuk mengurangi risiko non karsinogenik paparan debu (TSP) pada pekerja di Unit Packer PT X yaitu mengurangi konsentrasi debu, mengurangi waktu paparan dan mengurangi frekuensi paparan. Adapun perhitungannya seperti berikut:

Konsentrasi Aman Debu

$$\begin{aligned} C_{\text{TSP aman}} &= \frac{RfC * W_b * t_{\text{avg}}}{R * t_e * f_e * D_t} \\ &= \frac{0,020 \text{ mg/kg/hari} * 55 \text{ kg} * 30 \text{ th} * 365 \text{ hr}}{0,83 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 8 \text{ hr} * 250 * 30 \text{ th}} \\ &= \frac{12045}{49800} \\ &= 0,242 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan angka diatas dapat diketahui bahwa konsentrasi debu (TSP) di seluruh Unit Packer dengan nilai seperti pada Tabel 1. Walaupun masih di bawah standar NAB yang telah ditentukan. Namun, konsentrasi tersebut harus dilakukan pengurangan konsentrasi debu TSP

yang aman maksimal sebesar 0,242 mg/m³ untuk durasi pajanan 30 tahun ke depan selama pekerja masih bekerja di Unit Packer PT X. Dengan asumsi bahwa frekuensi pajanan hari kerja tetap 250 hari pertahun dan waktu pajanan juga tetap 8 jam per hari.

Waktu Pajanan Aman

$$\begin{aligned}
 t_e \text{ aman} &= \frac{RfC * W_b * t_{avg}}{C * R * f_e * Dt} \\
 &= \frac{0,020 \text{ mg/kg/hari} * 55 \text{ kg} * 30 \text{ th} * 365 \text{ hr}}{7,01 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 0,83 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 250 \text{ hr} * 30 \text{ th}} \\
 &= \frac{12045}{43637,25} \\
 &= 0,276 \text{ jam/hari}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan dengan menggunakan konsentrasi debu rata-rata di Unit Packer sebesar 7,01 mg/m³ didapatkan hasil 0,276 jam yang artinya bahwa seorang pekerja di Unit Packer PT X dengan berat badan 55 kg yang terpajan debu akan aman untuk 30 tahun mendatang jika waktu pajanan setiap harinya sebesar 0,276 jam/hari atau sekitar 16 menit.

Durasi Pajanan Aman

$$\begin{aligned}
 Dt \text{ aman} &= \frac{RfC * W_b * t_{avg}}{C * R * t_e * f_e} \\
 &= \frac{0,020 \text{ mg/kg/hari} * 55 \text{ kg} * 30 \text{ th} * 365 \text{ hr}}{7,01 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 0,83 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 8 \text{ jam} * 250 \text{ hr}} \\
 &= \frac{12045}{49800} \\
 &= 1,035 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa seorang dengan berat badan 55 kg yang terpajan debu setiap hari selama 8 jam dengan konsentrasi debu 7,01 mg/m³ maka durasi pajanan aman adalah 1 tahun.

Frekuensi Pajanan Aman

$$\begin{aligned}
 f_e \text{ aman} &= \frac{RfC * W_b * t_{avg}}{C * R * t_e * D_t} \\
 &= \frac{0,020 \text{ mg/kg/hari} * 55 \text{ kg} * 30 \text{ th} * 365 \text{ hr}}{7,01 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 0,83 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 8 \text{ jam} * 30 \text{ th}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{12045}{1396,392} \\
 &= 8,625 \text{ hari/tahun}
 \end{aligned}$$

Dari hasil diatas dapat diketahui bahwa seorang pekerja dengan berat badan 55 kg terpajan debu setiap hari selama 8 jam dengan konsentrasi 7,01 mg/m³ maka frekuensi pajanan aman untuk 30 tahun mendatang adalah 9 hari/tahun.

Adapun pengendalian risiko yang bisa dilakukan dari hasil analisis diatas adalah dengan mengurangi kadar konsentrasi debu yaitu sebesar 0,242 mg/kg/hari yang diasumsikan pada pengukuran dengan PDS (*Personal Dust Sampler*) dan durasi pajanan aman yaitu 1 tahun sehingga bisa diterapkan dengan rotasi pekerja jika sudah bekerja di Unit Packer PT X selama 1 tahun. Mengingat untuk hasil perhitungan waktu pajanan aman yaitu sekitar 16 menit/hari dan frekuensi pajanan aman yaitu 9 hari/tahun maka hal tersebut tidak memungkinkan dapat dilakukan oleh pihak perusahaan.

Dalam hal ini PT X telah melakukan beberapa pengendalian yaitu dengan memasang alat penangkap partikulat sebelum partikulat keluar ke udara bebas agar sesuai dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang telah ditentukan yaitu berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri, NAB untuk debu semen yaitu sebesar 10 (mg/m³). Alat penangkap partikulat yang digunakan adalah *Bag House Filter* (BHF), dan *Electrostatic Presipitator* (EP). Karena setiap proses produksi yang dilakukan di PT X akan mengeluarkan hasil sampingan utama berupa partikulat atau debu. Partikulat ini dapat menjadi pencemar yang berbahaya apabila tidak dikendalikan dengan baik.

Adapun upaya lain terkait pengelolaan yang telah dilakukan PT X di Unit Packer yaitu dengan meminimalisasi ceceran semen pada alat *transport product* (*conveyor* dan *bucket elevator*). Penerapan Standart Operational Prosedur (SOP) pada setiap unit operasi dan mengoptimalkan kinerja peralatan dalam mengendalikan emisi seperti *cyclone*, *bag house filter*.

Alat penangkap debu tersebut dipasang pada setiap titik transport proses produksi sehingga peralatan tersebut dapat mengumpulkan debu yang kemudian debu hasil tangkapan tersebut

akan diproses kembali sebagai material produksi. Melakukan pelatihan kepada operator tentang K3, in house keeping, SOP unit operasi maupun kondisi *emergency*. Melakukan rotasi pekerja ke unit lain. Penerapan peralatan K3 di lokasi pabrik khususnya di lokasi packer.

Komunikasi risiko dilakukan sebagai tindak lanjut dari pelaksanaan ARKL yang berperan untuk menginformasikan kepada pekerja secara transparan dan bertanggung jawab tentang proses dan hasil karakteristik risiko serta pilihan manajemen risiko kepada pihak yang relevan. Adapun pilihan manajemen risiko sebagai upaya preventif sebagian besar PT sudah melakukan pengendalian tersebut. Sehingga upaya pengendalian tersebut lebih ditingkatkan lagi. Cara lain untuk meminimalkan tingkat paparan tersebut dengan segera meninggalkan lokasi kerja jika pekerjaan sudah selesai.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis risiko dari paparan debu di semua lokasi pengukuran menunjukkan bahwa besaran risiko kesehatan $RQ > 1$. Selain itu, adanya partikel debu di tempat kerja dapat memberikan efek ketidaknyamanan dalam bekerja. Adapun paparan debu dalam waktu yang lama dapat memberikan pengaruh negatif terhadap kesehatan tenaga kerja dan lebih meningkatkan program yang sudah ada sehingga upaya pengendalian sebagai upaya preventif lebih maksimal.

Upaya preventif yang dapat dilakukan yaitu dengan pengendalian sumber seperti pemeliharaan dan perawatan pada alat penyaring debu, Melakukan monitoring dan alat pengendalian emisi secara rutin agar sistem penyaringan yang dilakukan dapat berjalan dengan baik dan mengontrol emisi partikulat pada standar yang telah ditetapkan. Mengurangi jumlah paparan yaitu dengan memakai Alat Pelindung diri (APD) yang berupa respirator (masker anti debu), serta melakukan pengendalian secara administratif dengan cara mengurangi waktu dan frekuensi paparan debu seperti rotasi karyawan ke unit kerja lain.

Sebaiknya PT X melakukan sosialisasi mengenai bahaya dan dampak paparan debu (*Total Suspended Particulate*) kepada pekerja. Selain itu, meningkatkan kesadaran karyawan akan pentingnya memakai APD (Alat Pelindung

Diri) yang sesuai dengan jenis pekerjaannya, serta melakukan perpindahan atau rotasi karyawan jika sudah bekerja di Unit Packer selama 1 tahun sehingga dapat mengurangi waktu paparan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anes, N.I., Umboh, J.L., dan Kawatu, P.T. (2015). Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja di PT. Tonasa Line Kota Bitung. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Sam Ratulangi Manado*, Vol. 5, No. 3 Juli 2015.
- Deviandhoko, Endah, N., dan Nurjazuli. (2012). Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Pengelasan di Kota Pontianak. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, Universitas Diponegoro Vol. 11 No. 2 Oktober 2012.
- Fardiaz, S. (1992). *Polusi air dan udara*. Jakarta: Kasinus.
- International Labour Organization. (2013). *Press release international labour Organization* diakses dari http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/media-centre/press-release/WCMS_211627/lang-en/index.htm.
- Kemkes RI. (2001). *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 876/Menkes/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan*. Jakarta.
- Kemkes RI. (2002). *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri*. Jakarta.
- Kemkes RI. (2012). *Kementerian Kesehatan Direktorat Jenderal PP dan PL. 2012. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*. Jakarta.
- Kemperin RI. (2017). *Industri semen fokus pasar domestik*. <http://www.kemperin.go.id/artikel/10042/industri-semen-fokus-pasardomestik>.
- Khairiah. (2012). Analisis konsentrasi debu dan keluhan pada masyarakat di sekitar pabrik semen di desa kuala indah kecamatan sei suka kabupaten batu bara. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatra Utara yang diakses dari <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/35251/7/Cover.pdf>.
- Meo, S.A., Al-Dress, A.M., Masri, A.A., Al Rouq, F., and Azeem, M.A. (2013). Effect of duration of exposure to cement dust on respiratory function of non-smoking cement mill workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Volume 10, pp. 390–398. Diakses dari <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3564149/>.
- Nukman, A., Rahman, A., Warouw, S., Setiadi, M. I., Akib, C.R. (2005). Analisis dan manajemen risiko kesehatan pencemaran udara: studi kasus di sembilan kota besar padat transportasi. *Jurnal Ekologi Kesehatan*. Vol. 2: 270–289.
- Rahman, A. (2005). *Prinsip-prinsip dasar, metode, teknik dan prosedur analisis risiko kesehatan lingkungan*. Depok: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Rahman, A. (2007). *Analisis risiko secara kuantitatif, makalah seminar* Depok: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.

- Rahman, A., Nukman, A., Setyadi., Akib, C.R., Sofwan, Jarot. (2008). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pertambangan Batu Kapur di Sukabumi, Cirebon, Tegal, Jepara dan Tulungagung. *Jurnal Ekologi Kesehatan* Vol. 7 No. 1.
- Republik Indonesia. (2003). *Undang-undang No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan*. Jakarta: Setkab RI.
- Salim, R.N. (2012). Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Benzena pada Karyawan di SPBU "X" Pancoramas Depok Tahun 2011. *Skripsi*. Depok: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Saputro, N.I.R. (2015). Analisis Risiko Kesehatan dengan Parameter Udara Lingkungan Kerja dan Gangguan Faal Paru pada Pekerja (Studi Kasus di Bagian Plant N₂O PT Aneka Gas Industri Region V Jawa Timur. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Sarudji, D. (2010). *Kesehatan Lingkungan*, Cetakan Pertama, Bandung: CV Karya Putra.
- Simanjuntak, M.L., Pinontoan, O.R., Pangemanan, J.M., (2015). Hubungan antara kadar debu, masa kerja, penggunaan masker dan merokok dengan kejadian pneumokoniosis pada pekerja pengumpul semen di unit pengantongan semen PT Tonasa Line Kota Bitung. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Sam Ratulangi Manado*. Vol. 5, No. 2b April 2015.
- Sirait, M. (2010). Hubungan Karakteristik Karyawan dengan Faal Paru di Kilang Padi Kecamatan Porsea. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Suma'mur, P.K. (2009). *Hygiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: Gunung Agung.
- Wardhana, W.A., (2004). *Dampak pencemaran lingkungan* (Edisi Revisi), Yogyakarta: Andi Offset.
- Wiguna, O. (2006). *Jakarta Kota Polusi Menggugat Hak Atas Udara Bersih*. Jakarta: LP3ES Indonesia.
- Yulaekah, S. (2007). Paparan Debu Terhirup dan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Industri Batu Kapur. *Thesis*. Magister Kesehatan Lingkungan Program Pascasarjana. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Yunus, F. (1991). Diagnosa penyakit paru kerja. *Cermin Dunia Kedokteran* No. 70: 18–23.
- Zeleeke K.Z. (2010). *Cement Dust Exposure and Acute Lung Function: A Cross Shift Study*. *bmc pulmonary medicine*, diakses dari <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20398255>.