

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

# Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

## Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Logam dalam PM<sub>2,5</sub> pada Masyarakat di Perumahan Blok D Ulu Gadut Kota Padang

Shinta Silvia, Fadjar Goembira, Taufiq Ihsan, Resti Ayu Lestari, Mohammad Irfan

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis Padang 25163, Indonesia

Email: [shintasilvia@eng.unand.ac.id](mailto:shintasilvia@eng.unand.ac.id)

### A B S T R A C T

This study aims to analyze the concentration of metals in PM<sub>2.5</sub> and the environmental health risks due to metal exposure to residents. The PM<sub>2.5</sub> measurement using Low Volume Air Sampler (LVAS) tool with a sampling time of 3; 6; 9 hours. Meteorological conditions were measured by using the PCE-FWS-20 Weather Station tool. Analysis of metal concentrations using the Inductively Coupled Plasma-MS (ICP-MS) tool. The Environmental Health Risk Analysis (ARKL) method was used to estimate the risk of exposure. Based on the measurement results, the concentration of PM<sub>2.5</sub> in ambient air was 25.82 µg / Nm<sup>3</sup> and in the house was 25.73 µg / m<sup>3</sup>. The results of PM<sub>2.5</sub> concentration measurements did not exceed quality standards based on Republic of Indonesia Government Regulation No.41 of 1999 and Minister of Health Regulation No.1077 of 2011. Three metals (Cr, Ni and Mn) which have RfC and SF values followed by ARKL calculations. The average lifetime Excess Cancer Risk (ECR) value of carcinogenic Cr metal and Ni metal that was ECR > 10<sup>-4</sup> means that the concentration of carcinogenic Cr metal and Ni metal in the house were inhaled unsafe for occupants of adult homes and children. The average lifetime RQ value of non-carcinogenic Cr metal and Mn metal shows an RQ value > 1 meaning that the concentrations of non-carcinogenic Cr metal and Mn metal in the house were inhaled insecure for adult respondents and children.

Keywords: PM<sub>2,5</sub>, risk analysis, Cr, Mn, Ni, residential

### A B S T R A K

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi logam dalam PM<sub>2,5</sub> dan risiko kesehatan lingkungan akibat paparan logam terhadap penghuni rumah. Pengukuran PM<sub>2,5</sub> menggunakan alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS) dengan waktu sampling 3; 6; 9 jam. Kondisi meteorologi diukur menggunakan alat *Weather Station* PCE-FWS-20. Analisis konsentrasi logam menggunakan alat *Inductively Coupled Plasma-MS* (ICP-MS). Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) digunakan untuk memperkirakan besarnya risiko paparan. Berdasarkan hasil pengukuran, konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di udara ambien yaitu 25,82 µg/Nm<sup>3</sup> dan di dalam rumah sebesar 25,73 µg/m<sup>3</sup>. Hasil pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub> tidak melebihi baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No.41 Tahun 1999 dan Peraturan Menteri Kesehatan No.1077 tahun 2011. Tiga logam (Cr, Ni dan Mn) yang memiliki nilai RfC dan SF dilanjutkan penghitungan ARKL. Nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) lifetime rata-rata logam Cr karsinogenik dan logam Ni yaitu ECR > 10<sup>-4</sup> artinya konsentrasi logam Cr karsinogenik dan logam Ni di dalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi penghuni rumah dewasa dan anak-anak. Nilai RQ lifetime rata-rata logam Cr non-karsinogenik dan logam Mn menunjukkan nilai RQ > 1 artinya konsentrasi logam Cr non-karsinogenik dan logam Mn didalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi responden dewasa dan anak-anak.

Kata kunci: PM<sub>2,5</sub>, analisis risiko, Cr, Mn, Ni, permukiman

## 1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara pada umumnya dihasilkan dari aktivitas manusia. Salah satu sumber pencemaran udara yang berkontribusi besar adalah kegiatan industri. Jenis

pengolahan, proses dan bahan baku akan menentukan jenis pencemaran udara yang akan dihasilkan. Kegiatan industri pada umumnya melakukan proses pembakaran untuk mengolah bahan baku yang akan menghasilkan pencemar udara seperti partikulat dan gas. PT Semen

Padang merupakan salah satu industri semen terbesar di Indonesia yang terletak pada bagian timur Kota Padang. Debu yang dihasilkan oleh aktivitas pabrik PT Semen Padang berpotensi menimbulkan kerusakan material bangunan yang ada di sekitar lokasi pabrik. Selain menimbulkan kerusakan material, debu yang dihasilkan oleh kegiatan pabrik juga berpotensi menimbulkan gangguan pernapasan manusia yang berada di sekitarnya.

Polusi udara dalam ruangan masih dianggap sebagai salah satu penyebab utama morbiditas dan mortalitas di seluruh dunia dan terutama di negara-negara berkembang (Rumchev, 2017). Masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan pabrik PT Semen Padang berpotensi paling berisiko terkena pajanan PM<sub>2,5</sub> yang bersumber dari cerobong pabrik, seperti masyarakat di Perumahan Blok D Ulu Gadut, Kota Padang. Jarak antara PT Semen Padang dengan Perumahan Blok D ±1,8 Km. Akibat relatif dekatnya jarak antara PT Semen Padang dengan Perumahan Blok D sehingga berpotensi menyebabkan gangguan terhadap kesehatan. Partikulat yang masuk pada saluran pernapasan dapat mengendap pada bronki, alveoli dan juga dikaitkan dengan peningkatan kematian prematur (EPA, 2016). Udara yang tercemar oleh debu dapat mengandung unsur-unsur logam berat dan unsur-unsur non logam berat. Selain logam berat, unsur-unsur non logam berat juga berbahaya terhadap kesehatan manusia (Suhariyono, 2005). Menurut Mukhtar (2013), logam berat yang terdapat di udara khususnya di dalam PM<sub>2,5</sub> dapat membahayakan manusia karena ukuran PM<sub>2,5</sub> memungkinkannya untuk berpenetrasi menembus bagian terdalam dari paru-paru dan sistem jantung dan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, seperti infeksi saluran pernapasan akut, kanker paru-paru bahkan kematian.

Penelitian yang dilakukan Novirsa (2012) tentang Analisis Risiko Pajanan PM<sub>2,5</sub> di Udara Ambien Siang Hari terhadap Masyarakat di Kawasan Industri Semen, hasil perhitungan risiko yang diterima seumur hidup (lifetime) menunjukkan terdapat tiga area berisiko dengan nilai RQ>1, yaitu Ring 2 (500–1.000 m), Ring 4 (1.500–2.000 m), dan Ring 5 (2.000–2.500 m), daerah paling aman yang dapat dihuni oleh masyarakat di kawasan industri semen adalah di atas 2,5 km dari pusat industri. Penelitian mengenai pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dalam rumah yang dilakukan oleh Solihin (2017) dengan waktu sampling selama 4 jam pada malam hari menunjukkan bahwa konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di Perumahan Blok D lebih tinggi dibandingkan Perumahan Blok B yaitu pada lokasi Blok B dengan kode B1, B2, B3, B4

dan B5 adalah sebesar 14,733; 11,818; 8,87; 11,806; 8,889  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan konsentrasi di Blok D dengan kode D1, D2, D3, D4 dan D5 adalah 23,716; 20,751; 17,788; 20,766 dan 17,740  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Penelitian terkait kontribusi logam pada partikulat di udara ambien yang dilakukan oleh Harian (2009) menunjukkan bahwa terdapat kontribusi logam Ca, Si, Al, dan Fe dengan kontribusi rata-rata adalah 0,13; 0,02; 0,08 dan 0,16% dari total partikulat. Penelitian terkait analisis logam berat dalam debu udara daerah pemukiman penduduk di sekitar pabrik semen telah dilakukan oleh Suhariyono (2005) di Citeureup, Bogor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar kandungan unsur-unsur berasal dari debu bahan baku semen (Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Hg dan Pb) dan debu tanah (P, S, Ca, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Sr, Zn, Hg, dan Pb).

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengukuran PM<sub>2,5</sub> di dalam rumah dan di luar rumah pada siang dan malam secara simultan untuk mengetahui unsur-unsur logam yang terdapat dalam PM<sub>2,5</sub> serta menganalisis logam yang terkandung di dalam PM<sub>2,5</sub>. Analisis risiko juga dilakukan untuk memperkirakan dampak logam dalam PM<sub>2,5</sub> yang ada di udara sekitar perumahan terhadap kesehatan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi dan referensi kerangka ilmiah untuk mengatasi permasalahan pajanan debu di perumahan..

## 2. METODOLOGI

Lokasi sampling yang dipilih adalah Perumahan Blok D Ulu Gadut, Kota Padang. Lokasi sampling di dalam rumah yang dipilih yaitu 1 rumah yang menghadap ke arah Timur dan memiliki ventilasi terbuka dengan asumsi merupakan kondisi rumah yang paling berisiko terkena paparan PM<sub>2,5</sub>. Lokasi sampling udara ambien dipilih berdasarkan SNI 19-7119.6-2005. Sampling dilakukan di dalam rumah dan di udara ambien secara simultan pada siang dan malam hari dengan variasi waktu 3, 6, 9 jam dan dilakukan duplo untuk mendapatkan waktu konsentrasi paparan. Waktu pengambilan sampel pada siang hari pada pukul 08.00-17.00 WIB dan pengambilan sampel pada malam hari pada pukul 20.00-05.00 WIB. Sampling kualitas udara dilakukan dengan menggunakan alat Low Volume Air Sampler (LVAS). Posisi alat LVAS di dalam rumah menghadap ke arah pintu dan ventilasi rumah. Kriteria rumah yang dijadikan sampel untuk data kuesioner yaitu rumah yang terdapat ibu rumah tangga dan anak-anak, menghadap ke arah Timur, memiliki ventilasi terbuka dan tidak ada sumber pencemar dominan seperti

memasak menggunakan kayu bakar dan aktivitas merokok.

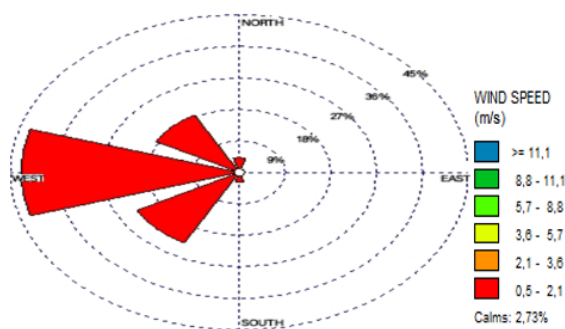
Pengukuran arah angin, kecepatan angin, suhu udara, tekanan udara pada saat pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub> menggunakan alat weather station PCE-FWS-20. Pengukuran PM<sub>2,5</sub> menggunakan alat Low Volume Air Sampler (LVAS) dengan laju aliran 3,5 L/menit. Pengukuran dilakukan di dalam rumah dan di udara ambien pada siang dan malam hari secara simultan. Pengambilan data kuesioner dilakukan kepada penghuni rumah yang memenuhi kriteria. Data ini diperlukan untuk studi ARKL yang membutuhkan data risk agent. Data kuesioner berisi tentang gambaran umum responden termasuk umur, berat badan dan waktu beraktivitas di dalam dan di luar ruangan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kondisi Meteorologi

Kondisi meteorologi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pengukuran kualitas udara. Kondisi meteorologi sangat mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi partikulat di lokasi pengukuran. Kondisi meteorologi yang diukur di lapangan terdiri atas arah angin, suhu udara, dan tekanan udara.

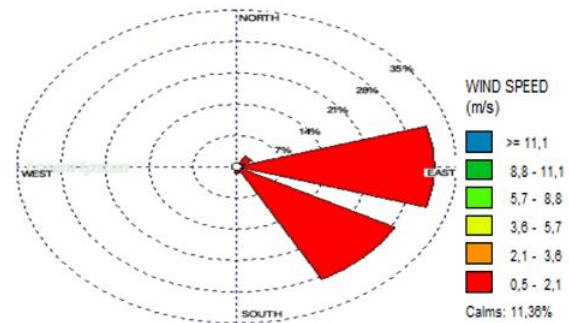
Arah angin dominan di lokasi pengambilan sampel sangat berbeda antara siang dan malam hari. Pada siang hari arah angin dominan berasal dari arah Barat dan Barat Daya, sedangkan untuk malam hari arah angin dominan berasal dari Timur dan Tenggara (Gambar 1 dan 2).



Gambar 1. Windrose Siang Hari

Berdasarkan hasil pengukuran data meteorologi di udara ambien (outdoor) suhu rata-rata di komplek Perumahan Blok D sekitarnya berkisar antara 27,7-31°C. Perbedaan suhu udara antara siang dan malam hari terjadi karena pengaruh pemanasan permukaan bumi akibat adanya absorpsi atau penyerapan sinar matahari oleh permukaan bumi. Oleh karena itu, pada malam hari udara lebih dingin karena tidak adanya absorpsi sinar

matahari yang diterima oleh bumi. Pengukuran suhu di dalam rumah berkisar antara 27,3-29,2°C. Berdasarkan Permenkes RI No. 1077 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah, syarat rumah sehat yang harus dipenuhi untuk suhu udara yaitu 18–30 °C. Jadi, suhu udara dalam rumah belum melewati batas rumah sehat yang ditetapkan oleh Permenkes RI No. 1077.



Gambar 2. Windrose Malam Hari

Tekanan udara saat sampling sangat erat kaitannya dengan suhu udara di lokasi sampling. Jika suhu semakin rendah maka tekanan semakin tinggi dan sebaliknya. Tingginya tekanan udara juga dipengaruhi oleh ketinggian suatu daerah dari permukaan laut. Semakin tinggi suatu daerah, maka semakin tinggi tekanan dan semakin rendah suhu di daerah tersebut. Penelitian ini berlokasi di daerah dengan ketinggian ± 185 m di atas permukaan laut.

#### 3.2 Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di Udara Ambien

Konsentrasi terendah pada siang hari yaitu 32,57 µg/Nm<sup>3</sup> dan konsentrasi tertinggi pada siang hari yaitu 32,74 µg/Nm<sup>3</sup>. Konsentrasi terendah pada malam hari yaitu 32,88 µg/Nm<sup>3</sup> dan konsentrasi tertinggi pada malam hari yaitu 37,19 µg/Nm<sup>3</sup>. Secara keseluruhan, konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada malam hari lebih tinggi dibandingkan dengan siang hari. Hal ini disebabkan karena aktivitas PT Semen Padang mengeluarkan debu emisi pada malam hari. Selain itu, letak geografis komplek Perumahan Blok D berada di sebelah Barat PT Semen Padang sehingga pada malam hari angin yang berhembus dari Timur ke Barat mengakibatkan PM<sub>2,5</sub> bergerak menuju lokasi sampling. Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di udara ambien setelah di konversi ke 24 jam yaitu 25,82 µg/Nm<sup>3</sup>. Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di udara ambien di komplek Perumahan Blok D belum melebihi baku mutu yang ditetapkan menurut Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara yaitu sebesar 65 µg/Nm<sup>3</sup>.

#### 3.3 Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di dalam Rumah

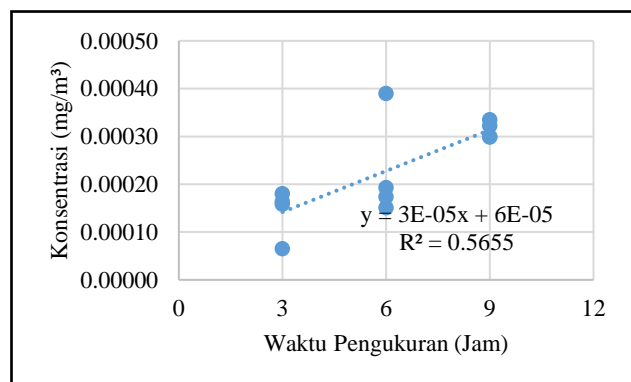
Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada malam hari lebih tinggi dibandingkan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada siang hari. Konsentrasi terendah pada siang hari yaitu 32,36 µg/m<sup>3</sup> dan konsentrasi tertinggi pada siang hari yaitu 32,65 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi terendah pada malam hari yaitu 32,81 µg/m<sup>3</sup> dan konsentrasi tertinggi pada malam hari yaitu 37,11 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada malam hari lebih tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada siang hari. Hal ini disebabkan karena PM<sub>2,5</sub> di udara ambien yang masuk ke dalam rumah melalui bukaan rumah seperti ventilasi rumah. Selain itu posisi rumah yang menghadap pabrik semen memudahkan PM<sub>2,5</sub> masuk ke dalam rumah. Hal ini sejalan dengan penelitian Tsai (2000) tentang kualitas udara indoor dan outdoor di Bangkok, Thailand. Fluktuasi harian kualitas udara di dalam ruangan berhubungan dengan fluktuasi kualitas udara di luar ruang. Konsentrasi udara ambien diperkirakan sama dengan konsentrasi udara dalam ruang.

Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dalam rumah setelah dikonversi ke 24 jam berkisar 25,73 µg/m<sup>3</sup>, disimpulkan bahwa konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dalam rumah di kompleks Perumahan Blok D belum melebihi baku mutu yang ditetapkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 1077 tahun 2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah yaitu sebesar 35 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.4 Identifikasi Kandungan Logam dalam PM<sub>2,5</sub>

#### 3.4.1 Kromium (Cr)

Konsentrasi logam Cr pada malam hari lebih tinggi dibandingkan pada siang hari. Hal ini disebabkan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada malam hari lebih tinggi dibandingkan siang hari, sehingga kandungan logam yang didapatkan juga lebih tinggi. Grafik hubungan konsentrasi rata-rata logam Cr dengan waktu pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.



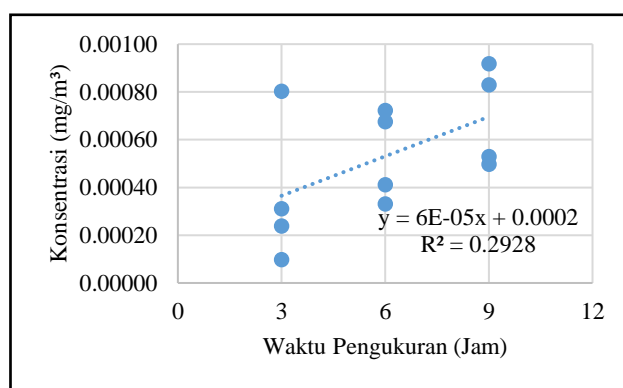
Gambar 3. Grafik hubungan konsentrasi logam Cr dengan waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>.

Dari Gambar 3 didapatkan persamaan regresi yang bernilai positif. Nilai X tersebut menunjukkan

konsentrasi logam Cr berbanding lurus dengan waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>. Nilai R<sup>2</sup> menunjukkan angka 0,5655 artinya sebesar 56,66% konsentrasi logam Cr di dalam rumah di pengaruhi waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, sedangkan 43,45% dipengaruhi faktor lain.

#### 3.4.2 Mangan (Mn)

Konsentrasi logam Mn pada malam hari lebih tinggi dibandingkan pada siang hari. Hal ini disebabkan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada malam hari lebih tinggi dibandingkan siang hari, sehingga kandungan logam yang didapatkan juga lebih tinggi. Grafik hubungan konsentrasi rata-rata logam Mn dengan waktu pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan konsentrasi logam Mn dengan waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>.

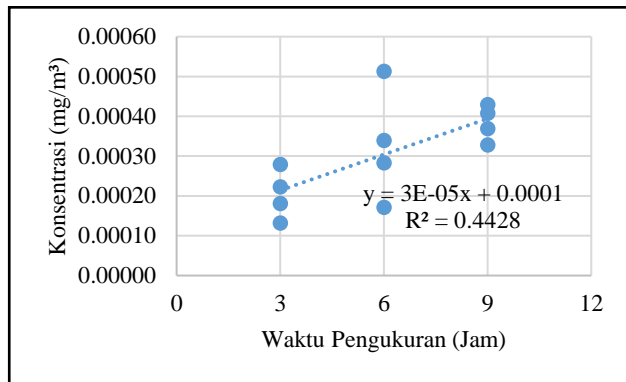
Dari Gambar 4 didapatkan persamaan regresi yang bernilai positif. Nilai X tersebut menunjukkan konsentrasi logam Mn berbanding lurus dengan waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>. Nilai R<sup>2</sup> menunjukkan angka 0,2928 artinya sebesar 29,28% konsentrasi logam Mn di dalam rumah di pengaruhi waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, sedangkan 70,72% dipengaruhi faktor lain.

#### 3.4.3 Nikel (Ni)

Konsentrasi logam Ni pada malam hari lebih tinggi dibandingkan pada siang hari. Hal ini disebabkan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada malam hari lebih tinggi dibandingkan siang hari, sehingga kandungan logam yang didapatkan juga lebih tinggi. Grafik hubungan konsentrasi rata-rata logam Ni dengan waktu pengukuran dapat dilihat pada Gambar 5.

Dari Gambar 5 didapatkan persamaan regresi yang bernilai positif. Nilai X tersebut menunjukkan konsentrasi logam Ni berbanding lurus dengan waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>. Nilai R<sup>2</sup> menunjukkan angka 0,4428 artinya sebesar 44,28% konsentrasi logam

Ni di dalam rumah di pengaruhi waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, sedangkan 55,72% dipengaruhi faktor lain.



Gambar 5. Grafik hubungan konsentrasi logam Mn dengan waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub>.

### 3.5 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Adapun hasil pengukuran PM<sub>2,5</sub> di Perumahan Blok D masih berada dibawah baku mutu udara dalam ruang rumah. Namun, melihat terdapatnya kandungan logam Cr, Mn, Ni dalam PM<sub>2,5</sub> tersebut, maka perlu untuk memperkirakan risiko paparan logam yang akan diterima penghuni rumah di Perumahan Blok D.

#### 3.5.1 Identifikasi Bahaya

##### 3.5.1.1 Sumber Bahaya

Senyawa kromium (Cr) biasanya dikaitkan dengan silika, oksida besi, dan magnesium oksida. Kromium, yang ada dalam jaringan manusia, berada pada tingkat tertinggi pada saat kelahiran. Meskipun disebagian besar organ, kadar kromium menurun selama masa hidup seseorang, namun pada saluran pernapasan dan jaringan lemak logam tersebut dapat terakumulasi. Semen mengandung kromium (0,03-7,8 g/gm) dapat menyebabkan dermatitis pada orang yang sangat sensitif dengan logam (Waldbott, 1978).

Mangan (Mn) terbentuk di atmosfer terutama sebagai oksida mangan, yang berinteraksi dengan cepat dengan polutan lain. Racun mangan telah diakui lebih dari 100 tahun, namun sedikit yang diketahui tentang efek jangka panjang dari jumlah menit yang ada di udara. Oleh karena itu, data toksisitasnya kebanyakan diperoleh dari pengalaman keracunan akibat pekerjaan (Waldbott, 1978).

Sumber senyawa nikel di udara adalah penambangan dan peleburan. Dalam abu batubara, konsentrasinya bervariasi dari 3-10 mg/gm. Dalam fly ash dari sisa bahan bakar minyak konsentrasinya 1,8-13,2 mg/gm. Rokok mengandung sedikit nikel. Nikel sulfida (NiS) adalah karsinogen penting, yang terbentuk ketika nikel

bereaksi dengan karbon nikel carbonyl honoxide dalam kondisi suhu dan tekanan tertentu.

#### 3.5.1.2 Media Penyebar

Media penyebar konsentrasi logam Cr, Mn, dan Ni yang akan diteliti adalah PM<sub>2,5</sub>. Penyebaran konsentrasi logam Cr, Mn, dan Ni yang terkandung dalam PM<sub>2,5</sub> yaitu melalui udara ambien yang masuk melalui ventilasi rumah, pintu dan jendela rumah.

#### 3.5.1.3 Gejala Kesehatan yang Potensial

Senyawa kromium (Cr) tidak dapat larut dan disimpan dalam paru-paru dalam waktu yang lama. Senyawa kromium (Cr) berperan dalam produksi kanker paru. Senyawa kromium heksavalen yang larut dalam air sangat mengiritasi, korosif dan beracun bagi jaringan tubuh manusia, logam tersebut menembus jaringan permukaan sebelum bereaksi. Sebaliknya, senyawa kromium yang tidak dapat larut, disimpan dalam paru-paru dalam waktu yang lebih lama dan berperan dalam produksi kanker paru (Waldbott, 1978).

Keracunan akut senyawa Mangan (Mn) melibatkan sistem pernapasan. Keracunan mangan kronis mempengaruhi sistem saraf pusat, terutama otak tengah antara cerebellum dan cerebral cortex, dan benjolan pada korteks otak. Penyakit ini menyebabkan gangguan mental, disorientasi, gangguan memori dan pengambilan keputusan, kecemasan akut, bahkan halusinasi dan delusi.

Nikel (Ni), elemen logam putih keabu-abuan yang dapat menyebabkan kanker paru dan hidung pada manusia. Eksposur akut nikel menyebabkan pusing, sesak napas, sakit kepala bagian depan, mual, dan muntah yang biasanya muncul ketika individu terpapar udara segar. Setelah 12-36 jam mengalami peningkatan suhu dan sel darah putih. Nyeri dada, batuk kering, napas pendek, dan kelelahan ekstrim terjadi. Kematian telah terjadi 4-11 hari setelah paparan. Senyawa nikel yang dipancarkan pabrik dapat menyebabkan dermatitis bagi individu yang alergi dengan logam. (Waldbott, 1978).

#### 3.5.1.4 Karakteristik Responden

Survei kuesioner dilakukan terhadap 139 orang penghuni rumah di Perumahan Blok D yang terdiri dari 90 orang responden dewasa dan 49 orang responden anak-anak. Karakteristik responden seperti berat badan, lama pajanan perharinya, durasi pajanan sebagai berikut.:

1. Berat badan responden dewasa berkisar antara 35-85 kg. Berat badan rata-rata responden dewasa yaitu

58,1 kg. Berat badan anak-anak berkisar antara 5-48 kg. Berat badan rata-rata responden anak-anak yaitu 16,6 kg.

2. Lama Paparan (tE)/ Lama paparan adalah jumlah lamanya terjadinya paparan setiap harinya. Waktu paparan rata-rata di dalam rumah responden dewasa yaitu 18,8 jam. Waktu paparan rata-rata responden anak-anak yaitu 22,5 jam.
3. Frekuensi Paparan (fE). Frekuensi paparan adalah jumlah lamanya di dalam rumah yang dihitung dalam hari dalam 1 tahun. Nilai durasi paparan untuk perumahan yang ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan dalam pedoman ARKL yaitu 350 hari/tahun.
4. Durasi Paparan (Dt). Durasi paparan dalam penelitian ini merupakan lamanya penghuni rumah tinggal di daerah tersebut dalam satuan tahun. Hasil kuesioner menunjukkan bahwa durasi paparan rata-rata responden dewasa adalah 13,2 tahun. durasi paparan rata-rata responden Anak-anak adalah 4,6 tahun.

Berat badan responden dewasa dan anak-anak paling banyak yaitu 59 kg dan 14 kg dengan jumlah responden sebanyak 10 orang dan 8 orang. Lama paparan responden dewasa dan anak-anak paling banyak yaitu 16 jam/hari dan 24 jam/hari dengan jumlah responden sebanyak 45 orang dan 39 orang. Durasi paparan responden dewasa dan anak-anak paling banyak yaitu 10 tahun dan 5 tahun dengan jumlah responden 21 orang dan 18 orang.

### 3.5.2 Analisis Dosis Respon

Setelah melakukan identifikasi bahaya (agen risiko, konsentrasi dan media lingkungan), maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dosis respon yaitu mencari nilai RfD, dan/atau RfC, dan/atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL. Analisis dosis respon ini tidak harus dengan melakukan penelitian percobaan sendiri namun cukup dengan merujuk pada literatur yang tersedia. Untuk memudahkan, analisis dosis respon dapat dilihat pada situs [www.epa.gov/iris](http://www.epa.gov/iris) (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes 2012).

Hasil perhitungan nilai RfC dan SF dengan berat badan, laju inhalasi, waktu paparan durasi pertahun dan periode waktu rata-rata didapatkan dari nilai referensi dapat dilihat pada Tabel 1.

### 3.5.3 Analisis Paparan

Setelah melakukan identifikasi bahaya dan analisis dosis respon, selanjutnya dilakukan Analisis pemajanan yaitu dengan mengukur atau menghitung intake/ asupan dari agen risiko. Untuk mencari asupan konsentrasi

logam Cr, Mn dan Ni masing-masing responden data yang digunakan adalah data rata-rata berat badan, lama paparan setiap harinya, frekuensi paparan tiap tahunnya, laju inhalasi, durasi paparan dan periode waktu rata-rata per hari. Nilai intake rata-rata logam Cr, Mn dan Ni yang diperoleh responden dewasa dan anak-anak dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Dosis Respon Logam Cr, Mn dan Ni

Unsur Logam	Dewasa (mg/kg.hari)	Anak-anak (mg/kg.hari)
Cr <sub>non-karsinogenik</sub>	$3,5 \times 10^{-5}$	$7,7 \times 10^{-5}$
Mn	$1,7 \times 10^{-5}$	$3,8 \times 10^{-5} \times 10^{-5}$

Unsur Logam	Dewasa (kg/mg.hari)	Anak-anak (kg/mg.hari)
Cr <sub>karsinogenik</sub>	33	15
Ni	1,3	0,6

Tabel 2. Intake Realtime dan Lifetime Rata-rata Dewasa dan Anak-anak

Unsur Logam	Dewasa	
	Realtime	Lifetime
Cr <sub>karsinogenik</sub> (kg/mg.hari)	$3,2 \times 10^{-5}$	$7,4 \times 10^{-5}$
Cr <sub>non-karsinogenik</sub> (mg/kg.hari)	$7,5 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-4}$
Mn (mg/kg.hari)	$1,6 \times 10^{-4}$	$3,7 \times 10^{-4}$
Ni(kg/mg.hari)	$3,4 \times 10^{-5}$	$7,9 \times 10^{-5}$

Unsur Logam	Anak-anak	
	Realtime	Lifetime
Cr <sub>karsinogenik</sub> (kg/mg.hari)	$2,9 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-4}$
Cr <sub>non-karsinogenik</sub> (mg/kg.hari)	$6,7 \times 10^{-5}$	$6,1 \times 10^{-4}$
Mn (mg/kg.hari)	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$
Ni(kg/mg.hari)	$3,0 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-4}$

Nilai intake masing-masing responden berbeda tergantung kepada berat badan (Wb), lama paparan setiap jam per hari (tE) dan lamanya paparan setiap tahunnya (Dt). Nilai intake lifetime lebih tinggi dibandingkan intake realtime. Hal ini berkaitan dengan proyeksi nilai intake yang dilakukan untuk nilai intake lifetime selama 30 tahun mendatang. Menurut Lestari (2019), nilai asupan akan meningkat jika durasi paparan meningkat. Hasil perhitungan intake menunjukkan bahwa nilai intake semakin besar seiring dengan semakin besarnya nilai konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di daerah tersebut (Novirsa, 2012). Intake yang diterima dapat saja lebih kecil atau lebih besar. Hal ini terjadi karena nilai intake dapat dipengaruhi oleh beberapa hal salah

satunya seperti pengukuran konsentrasi logam dalam PM<sub>2,5</sub> tidak dilakukan secara personal menggunakan personal dust sampler (PDS) karena pengukuran dengan menggunakan PDS lebih dapat merepresentasikan kadar konsentrasi logam yang dihirup setiap waktunya berdasarkan pola aktivitas individu masing-masing, sedangkan pada penelitian ini bertujuan mempresentasikan kadar logam di suatu daerah.

### 3.5.4 Karakterisasi Risiko

Karakteristik risiko dilakukan untuk mengetahui besarnya risiko pada individu berdasarkan intake yang diterima individu tersebut. Karakterisasi risiko terbagi atas 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. Nilai intake akan dibandingkan dengan nilai RfC dan SF. Unsur logam dapatkan dari literatur yang ada di situs [www.epa.gov/iris](http://www.epa.gov/iris). Karakterisasi risiko dari logam Cr karsinogenik dan Ni dapat dilihat pada Tabel 3. Karakterisasi risiko dari logam Cr non-karsinogenik dan Mn dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Karakterisasi Risiko Rata-rata Logam Cr karsinogenik dan Ni

Dewasa				
Unsur Logam	ECR Real time	ECR Life time	Interpretasi Real time	Interpretasi Life time
Cr <sub>karsinogenik</sub>	$1,1 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$	Tidak Aman	Tidak Aman
Ni	$4,5 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	Aman	Tidak Aman
Anak – anak				
Unsur Logam	ECR Real time	ECR Life time	Interpretasi Real time	Interpretasi Life time
Cr <sub>karsinogenik</sub>	$4,3 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-3}$	Tidak Aman	Tidak Aman
Ni	$1,8 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-4}$	Aman	Tidak Aman

Interpretasi tingkat risiko dari logam non-karsinogen adalah Jika nilai  $RQ < 1$  maka tingkat risiko dikatakan aman, sedangkan  $RQ > 1$  maka tingkat risiko tidak aman atau berisiko (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012). Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa tingkat risiko realtime logam Cr non-karsinogenik di dalam rumah secara inhalasi tidak aman untuk responden dewasa, sedangkan untuk anak-anak masih aman. Tingkat risiko lifetime logam Cr non-karsinogenik di dalam rumah secara inhalasi tidak aman

untuk responden dewasa dan anak-anak. Tingkat risiko realtime maupun lifetime logam Mn di dalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi penghuni rumah dewasa dan anak-anak.

Interpretasi tingkat risiko logam karsinogen dinyatakan dalam bilangan eksponen tanpa satuan. Tingkat risiko dikatakan aman jika nilai  $ECR \leq E-4$  (10<sup>-4</sup>). Tingkat risiko dikatakan tidak aman jika nilai  $ECR > E-4$  (10<sup>-4</sup>) (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012). Berdasarkan Tabel 3 Tingkat risiko realtime maupun lifetime logam Cr<sub>karsinogenik</sub> di dalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi penghuni rumah dewasa dan anak-anak. Tingkat risiko realtime logam Ni di dalam rumah pada secara inhalasi masih aman bagi penghuni rumah dewasa dan anak-anak, sedangkan tingkat risiko lifetime logam Ni di dalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi penghuni rumah dewasa dan anak-anak.

Tabel 4. Karakterisasi Risiko Rata-rata Logam Cr non-karsinogenik dan Mn

Dewasa				
Unsur Logam	RQ Real time	RQ Life time	Interpretasi Realtime	Interpretasi Lifetime
Cr <sub>non-karsinogenik</sub>	2,17	4,98	Tidak Aman	Tidak Aman
Mn	9,21	21,14	Tidak Aman	Tidak Aman
Anak – anak				
Unsur Logam	RQ Real time	RQ Life time	Interpretasi Realtime	Interpretasi Lifetime
C <sub>non-karsinogenik</sub>	0,88	7,92	Aman	Tidak Aman
Mn	3,70	33,35	Tidak Aman	Tidak Aman

### 3.5.6 Pengelolaan Risiko

Berdasarkan karakterisasi risiko yang telah dilakukan, unsur logam Cr, Mn dan Ni di dalam rumah menunjukkan tingkat risiko tidak aman pada perkiraan realtime maupun lifetime. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengelolaan risiko. Pengelolaan risiko bukan termasuk langkah ARKL melainkan tindak lanjut yang harus dilakukan bilamana hasil karakterisasi risiko menunjukkan risiko tidak aman (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes 2012). Pengelolaan risiko pada sumber dapat dilakukan dengan menurunkan nilai konsentrasi di udara ambien hingga mencapai batas konsentrasi aman dalam pajanan lifetime (Novirsa, 2012). Konsentrasi batas aman disini adalah batas atau nilai terendah yang menyebabkan tingkat risiko menjadi tidak aman atau tidak dapat diterima dengan proyeksi

durasi pajanan seumur hidup atau 30 tahun (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes 2012).

Berdasarkan Tabel 5 konsentrasi aman rata-rata logam Cr karsinogenik bagi responden dewasa di dalam rumah adalah sebesar  $2,7 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, artinya konsentrasi benar-benar aman untuk penghuni rumah dewasa adalah  $< 2,7 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi aman rata-rata logam Cr karsinogenik bagi responden anak-anak di dalam rumah adalah sebesar  $2,4 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, artinya konsentrasi benar-benar aman untuk penghuni rumah dewasa adalah  $< 2,4 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>.

Tabel 5. Konsentrasi Aman Lifetime Logam Cr, Mn dan Ni

Unsur Logam	Dewasa (mg/m <sup>3</sup> )	Anak - anak (mg/m <sup>3</sup> )
Cr <sub>karsinogenik</sub>	$2,7 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-5}$
Cr <sub>non-karsinogenik</sub>	$1,3 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-4}$
Mn	$6,7 \times 10^{-5}$	$5,9 \times 10^{-5}$
Ni	$6,8 \times 10^{-4}$	$6,0 \times 10^{-4}$

Konsentrasi aman rata-rata logam Cr non-karsinogenik bagi responden dewasa di dalam rumah adalah sebesar  $1,3 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>, artinya konsentrasi benar-benar aman untuk penghuni rumah dewasa adalah  $< 1,3 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi aman rata-rata logam Cr non-karsinogenik bagi responden anak-anak di dalam rumah adalah sebesar  $1,2 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>, artinya konsentrasi benar-benar aman untuk penghuni rumah dewasa adalah  $< 1,2 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>.

Konsentrasi aman rata-rata logam Mn bagi responden dewasa di dalam rumah adalah sebesar  $6,7 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, artinya konsentrasi benar-benar aman untuk penghuni rumah dewasa adalah  $< 6,7 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi aman rata-rata logam Mn bagi responden anak-anak di dalam rumah adalah sebesar  $5,9 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, artinya konsentrasi benar-benar aman untuk penghuni rumah dewasa adalah  $< 5,9 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>.

Konsentrasi aman rata-rata logam Ni bagi responden dewasa di dalam rumah adalah sebesar  $6,8 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>, artinya konsentrasi benar-benar aman untuk penghuni rumah dewasa adalah  $< 6,8 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi aman rata-rata logam Ni bagi responden anak-anak di dalam rumah adalah sebesar  $6,0 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>, artinya konsentrasi benar-benar aman untuk penghuni rumah dewasa adalah  $< 6,0 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>.

Adapun pengelolaan risiko dapat dilakukan melalui 3 pendekatan yaitu: Pengelolaan risiko menggunakan teknologi yang tersedia meliputi penggunaan alat, bahan, dan metode, serta teknik tertentu. Contoh

pengelolaan risiko dengan pendekatan teknologi antara lain: menggunakan air conditioner, memasang perangkat debu pada ventilasi rumah, modifikasi cerobong asap, penanaman tanaman yang dapat menyerap PM<sub>2,5</sub> di sekitar rumah. Pendekatan sosial-ekonomis meliputi pemberian kompensasi kepada masyarakat di yang terkena dampak. Pendekatan institusional dengan menempuh jalur dan mekanisme kelembagaan dengan cara melakukan kerja sama dengan pihak lain. Contoh pengelolaan risiko dengan pendekatan institusional antara lain: kerja sama dalam mendukung pengawasan yang dilakukan oleh pemerintah, menyampaikan laporan kepada instansi yang berwenang.

#### 4. KESIMPULAN

Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di udara ambien masih di bawah baku mutu menurut Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara dengan konsentrasi yang didapatkan sebesar  $25,82 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di dalam rumah masih di bawah mutu menurut Permenkes RI No. 1077 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah dengan konsentrasi yang didapatkan sebesar  $25,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nilai ECR *lifetime* rata-rata logam Cr<sub>karsinogenik</sub> dan logam Ni yaitu  $\text{ECR} > 10^{-4}$  artinya konsentrasi logam Cr karsinogenik dan logam Ni di dalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi penghuni rumah dewasa dan anak-anak. Nilai RQ *lifetime* rata-rata logam Cr non-karsinogenik dan logam Mn menunjukkan nilai  $\text{RQ} > 1$  artinya konsentrasi logam Cr non-karsinogenik dan logam Mn didalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi responden dewasa dan anak-anak.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada LPPM, Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Lingkungan di Universitas Andalas. Penelitian ini didanai melalui Kontrak Penelitian Dana BOPTN dengan nomor kontrak T/4/UN.16.17/PT.01.03/RDP-INovasi Sains/2019.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, E.F., dan Santoso, M (2016). Analisis Karakterisasi Konsentrasi Dan Komposisi Partikulat Udara (Studi kasus : Surabaya). *Jurnal Kimia Valensi*, vol. 2, no. 2, Nov. pp. 97-103.
- American Lung Association. (2019). *Health Effects of Ozone and Particle Pollution*.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2019), *Prakiraan Musim Hujan Tahun 2019/2020*.
- Brook, R.D., Brook, J.R., Urech, B., Vincent, R., Rajagopalan, S., Silverman, F. (2002). Inhalation of Fine Particulate Air Pollution and Ozone Causes



- Acute Arterial Vasoconstriction in Healthy Adults. *Circulation*. 2002 Apr 2;105(13):1534-6.
- Central Pollution Control Board. (2014). *Indoor Air Pollution (Monitoring Guideline)*. Delhi: Central Pollution Control Board Ministry of Environment & Forest. Govt. of India.
- Chandra, R. (2006). *Analisis Konsentrasi dan Komposisi Kimia PM<sub>10</sub> di Udara Ambien Kota Padang pada Siang dan Malam Hari*. Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- Delia, P. (2014). *Analisis Konsentrasi NO<sub>2</sub> di Udara Ambien Roadside Jaringan Jalan Sekunder Kota Padang*. Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- Departemen Kesehatan R.I. (2005). *Rencana Strategi Departemen Kesehatan*. DepKes RI. Jakarta.
- Direktorat Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan. (2012). *Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*.
- Fitria, L. (2009). Program Langit Biru: Kontribusi Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara Kota terhadap Penurunan Penyakit Pernapasan pada Anak. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, 4(3): 109-114.
- Harian, D. (2009). *Analisis Konsentrasi dan Kontribusi Logam Ca, Si, Al, Fe, dan Pb Pada Partikulat (TSP, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2,5</sub>) di Udara Ambien Kawasan PT Semen Padang dan Sekitarnya*.
- Harinaldi. (2005). *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*. Erlangga, Jakarta.
- Houk, R. S. (1986). *Mass Spectrometry of Inductively Coupled Plasmas*.
- Hu, J., Wang, H., Zhang, J., Zhang, M., Zhang, H., Wang, S. dan Chai, F. (2019). PM<sub>2,5</sub> Pollution in Xingtai: Chemical Characteristics, Source Apportionment, and Emission Control Measures. *Jurnal Atmosphere*, 10, 121 :1-15
- Keputusan Kepala Bapedal No. 205 tahun 1996. (1996). *Tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak*.
- Kolluru, R.V., Bartell, S.M., Pitblado, R.M., Stricoff, R.S. (1996). *Risk Assessment and Management Handbook for Environmental, Health, and Safety Professionals*. McGraw-Hill,
- Louvar, J.F., Louvar, B.D. (1998). *Health and Environmental Risk Analysis: Fundamentals with Applications*: Prentice Hall PTR.
- Lestari, R.A., Handika, R.A., Purwaningrum, S.I., (2019). Analisis Risiko Karsinogenik Paparan PM<sub>10</sub> Terhadap Pedagang di Kelurahan Pasar Jambi. *Jurnal Dampak* Volume 6, Nomor 01: 66-75.
- Mengkidi, D. (2006). *Gangguan Fungsi Paru dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya pada Karyawan PT Semen Tonasa Pangkep Sulawesi Selatan*. Disertasi. Program Pascasarjana Fakultas Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Mukhtar, R. (2013). Kandungan Logam Berat Dalam Udara Ambien Pada Beberapa Kota Di Indonesia. *Ecolab*, vol. 7, no. 2, 2013, pp. 49-59,
- Mukono, H.J. (1997). *Pencemaran Udara Dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Pernafasan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Mulia, R.M. (2005). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Murillo, J.H., Susana, R.R., Jose F.R.M., Arturo, C.R dan Salvador B.J. (2013). Chemical Characterization and Source Apportionment of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> in the Metropolitan Area of Costa Rica, Central America. *Atmospheric Pollution Research*: 181-190.
- National Institute Of Occupational (NIOSH). (1997). *Indoor Air Pollution*.
- Novirsa, R. (2012). *Analisis Risiko Pajanan PM<sub>2,5</sub> di Udara Ambien Siang Hari terhadap Masyarakat di Kawasan Industri Semen*.
- Novita, R. (2006). *Konsentrasi dan Komposisi Kimia PM<sub>2,5</sub> di Udara Ambien Kota Padang Siang dan Malam Hari*. Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999. (1999). *Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Sekretaris Kabinet Republik Indonesia. Jakarta.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Nomor 1077 tahun 2011. (2011) *tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah*
- Pitts. (1986). *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*. New York: John Wiley & Sons
- PT. Semen Padang. *Proses Pembuatan*. (2019).
- Ridzky, G.A., Zaman, B. dan Huboyo, H.S. (2017). Identifikasi Kontribusi Pencemaran PM<sub>10</sub> dengan Metode Reseptor PMF Studi Kasus : Kota Pekanbaru. *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 6, no. 2, 2017, pp. 1-13
- Rita, H. E. L. S. dan Lestiani, D.D. (2014). *Kualitas Udara PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2,5</sub> untuk Melengkapi Kajian Indeks Kualitas Lingkungan Hidup*. Kerjasama Pusat Penelitian dan Pengembangan Kualitas dan Laboratorium dengan Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan-BATAN.
- Rumchev, K. (2017). *Health Risk Assessment of Indoor Air Quality Socioeconomic and House Characteristics on Respiratory Health among Women and Children of Tirupur, South India*. Environmental Research and Public Health.

- Ruslinda, Y. dan Wiranata, D. (2009). *Karakteristik Fisik dan Kimia Partikulat di Udara Ambien Daerah Urban dan Non Urban Kota Padang*. Draf Artikel Penelitian. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas.
- Sarudji, D. (2010). *Kesehatan Lingkungan*, Cetakan Pertama, Bandung: CV Karya Putra.
- Seinfeld. (1986). *Atmospheric, Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley & Sons, New York
- Slezakova, K., Morais, S., Pereira, & Carmo, M. d. (2012). *Indoor Air Pollutants: Relevant Aspects and Health Impacts. Environmental Health - Emerging Issues and Practice*, 125-146.
- SNI 19-7119.6-2005. (2005). *Udara Ambien – Bagian 6: Penentuan Lokasi Pengambilan Contoh Uji Pemantauan Kualitas Udara Ambien*.
- Soedomo, M. (2001). *Pencemaran Udara, Kumpulan Karya Ilmiah*, ITB. Bandung
- Solihin, R. (2017). *Analisis Konsentrasi Particulate matter 2,5 (PM<sub>2,5</sub>) di Dalam Rumah Tinggal dan Risiko Terhadap Kesehatan Masyarakat di Perumahan Unand Ulu Gadut Akibat PT Semen Padang*. Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- Suhariyono, G. (2003). *Analisis Logam Berat Dalam Debu Udara Daerah Pemukiman Penduduk di Sekitar Pabrik Semen, Citeureup Bogor*.
- Suhariyono, G. (2005). *Kandungan Unsur-unsur dalam Debu PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2,5</sub> di dalam Pabrik Semen, Bogor dan di Pemukiman Menggunakan X-RAY Fluorescence (XRF)*.
- Suma'mur. (2009). *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (HIPERKES)*. Jakarta: Sagung Seto.
- Tsai, F.C, Kirk, R.S, Nuntavarn, V, Bart, D.O, Lauraine, G.C, Nipapun, K. (2000). Indoor/outdoor PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> in Bangkok, Thailand. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*.10(1):15-26.
- Usman dan Akbar. (2000). *Pengantar Statistika*. Jakarta: Bumi Aksara.
- U.S. EPA.(2013). *Particulate Matter (PM) Research*.
- U.S. EPA.(2016). *Introduction to Indoor Air Quality. Indoor Air Pollution and Health*
- Waldbott, G. L. (1978). *Health Effects of Environmental Pollutants*.
- Wardani, T.K. (2012). *Perbedaan Tingkat Risiko Kesehatan oleh Paparan PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>2</sub> pada Hari Kerja, Hari Libur dan Hari Besar Kendaraan Bermotor di Bundaran HI Jakarta*. Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Masyarakat, Universitas Indonesia.
- Wardhana, A.W. (2001). *Dampak Pencemaran Lingkungan*, CV Andi. Yogyakarta.

WHO. (2007). *Health risks of heavy metals from longrange transboundary air pollution, Joint WHO Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution*

## NOMENKLATUR

- I<sub>nk</sub> = Asupan (*Intake*) non karsinogenik (mg/kg.hari)
- I<sub>k</sub> = Asupan (*Intake*) karsinogenik (mg/kg.hari)
- C = Konsentrasi *risk agent* (mg/m<sup>3</sup>)
- R = Laju asupan atau konsumsi, (m<sup>3</sup>/jam)
- tE = waktu paparan (jam/hari)
- fE = frekuensi paparan (hari/tahun)
- Dt = durasi paparan (tahun)
- Wb = Berat badan (kg)
- t<sub>avg (nk)</sub> = Periode waktu rata-rata (10.950 hari)
- t<sub>avg (k)</sub> = Periode waktu rata-rata (25.550 hari)
- CSF = *Chronic Slope Factor* (mg/kg.hari)<sup>-1</sup>
- IUR = Inhalation Unit Risk (µg/m<sup>3</sup>)
- IR = Laju inhalasi (m<sup>3</sup>/hari)
- RQ = *Risk Characterization*
- RfC = *Reference Concentration*
- ECR = *Excess Cancer Risk*
- SF = *Slope Factor*