

ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN DAN POLA SPASIAL PAJANAN PM_{2.5} DAN PM₁₀ DI KAWASAN INDUSTRI PT. SEMEN TONASA

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL HEALTH RISK AND SPATIAL PATTERNS OF PM_{2.5} AND PM₁₀ EXPOSURE IN THE REGION INDUSTRI PT. SEMEN TONASA



**MUSDALIFAH
K062222002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER KESEHATAN LINGKUNGAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2024

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN DAN POLA
SPASIAL PAJANAN PM_{2.5} DAN PM₁₀ DI KAWASAN
INDUSTRI PT. SEMEN TONASA**

MUSDALIFAH

K062222002



PROGRAM STUDI S2 KESEHATAN LINGKUNGAN

FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

**ENVIRONMENTAL AND HEALTH RISK ANALYSIS SPATIAL PATTERNS
OF PM_{2.5} AND PM₁₀ EXPOSURE IN THE INDUSTRIAL AREA OF
PT. SEMEN TONASA**

MUSDALIFAH

K062222002



**STUDY PROGRAM MAGISTER OF ENVIRONMENTAL HEALTH
FACULTY OF PUBLIC HEALTH
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR, INDONESIA
2024**

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN DAN POLA SPASIAL
PAJANAN PM_{2.5} DAN PM₁₀ DI KAWASAN INDUSTRI
PT. SEMEN TONASA**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi S2 Kesehatan Lingkungan

Disusun dan diajukan oleh

MUSDALIFAH

K062222002

kepada

**PROGRAM STUDI S2 KESEHATAN LINGKUNGAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Dan Pola Spasial Paparan PM2.5
dan PM10 Di Kawasan Industri PT.Semen Tonasa

MUSDALIFAH
K062222002

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Magister pada tanggal 18 Maret 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi S2 Kesehatan Lingkungan
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Anwar Daud, SKM., M.kes
NIP 19661012 199303 1 002



Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes
NIP 19820803 200812 1 003

Ketuga Program Studi
Kesehatan Lingkungan,

Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Anwar Daud, SKM., M.kes
NIP 19661012 199303 1 002



Prof. Sukri Palutturi, SKM., M.Kes., M.Sc.PH., Ph.D
NIP 19720529 200112 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Dan Pola Spasial Paparan PM2.5 Dan PM10 Di Kawasan Industri PT. Semen Tonasa" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr. Anwar Daud, SKM., M.Kes sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes. sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka Tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di jurnal apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 2024



NIM K062222002

Ucapan Terima Kasih

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat rampung atas bimbingan, diskusi dan arahan bapak Prof. Dr. Anwar Daud, SKM., M.Kes sebagai pembimbing 1 dan Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes. sebagai Pembimbing 2. Terima kasih juga saya sampaikan kepada ibu Dr. Hasnawati Amqam, SKM.,M.Sc, Prof. Dr. Atjo Wahyu, SKM.,M.Kes dan Prof. Dr. Stang, M.Kes sebagai dewan penguji yang telah memberikan arahan dan masukan selama proses penyusunan tesis ini.

Akhirnya, kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Manna' dan Ibu Muliati M, dan saudara saya Rahmat.M, saya mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada teman yang selalu mensupport saya (Andi Nurfauziah Amar dan Resky Nurfadhilah Ramadhani), teman seperjuangan penelitian saya (Evi Apriyanti Radjiman) dan teman-teman Prodi S2 Kesehatan Lingkungan atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis,

Musdalifah

ABSTRAK

Musdalifah. **ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN DAN POLA SPASIAL PAJANAN $PM_{2.5}$ DAN PM_{10} DI KAWASAN INDUSTRI PT. SEMEN TONASA** (dibimbing oleh Anwar Daud dan Agus Bintara Birawida)

Latar Belakang. Zat pencemar udara seperti *Partikulat Matter* ($PM_{2.5}$ dan PM_{10}) dapat bersumber dari kegiatan industri, dan dapat berdampak pada Kesehatan manusia melalui jalur inhalasi. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan masyarakat akibat pajanan $PM_{2.5}$ dan PM_{10} yang tinggal di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa. **Metode.** Metode penelitian studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Lokasi penelitian dan tempat pengambilan sampel berada di 8 wilayah yaitu Desa Mangilu, Desa Biring Ere, Kelurahan Sapanang, Kelurahan Samalewa, Desa Bulu Cindea, Desa Bowong Cindea, Kelurahan Bontoa, Desa Taraweang Kabupaten Pangkajene Kepulauan (Pangkep). Sebanyak 160 responden (yang terdiri dari 80 anak-anak dan 80 dewasa) dan 8 sampel udara ambien yang diperiksa di PT Global Quality Analytical. Analisis data yang dilakukan dengan menghitung nilai intake, dan RQ. Jika RQ >1 maka dilakukan manajemen risiko. **Hasil.** penelitian menunjukkan bahwa terdapat 2 lokasi yang melebihi standar baku mutu konsentrasi $PM_{2.5}$ ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yaitu Desa Bontoa dan Desa Samalewa. Sedangkan Konsentrasi PM_{10} di lokasi penelitian berada di bawah standar baku mutu ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Laju inhalasi untuk anak-anak $0.5 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan dewasa $0.83 \text{ m}^3/\text{jam}$, rata-rata frekuensi pajanan yaitu 358 hari/tahun, rata-rata durasi pajanan sebesar 30 tahun. Rata-rata laju asupan $PM_{2.5}$ realtime untuk anak-anak yaitu $0.0016 \text{ mg}/\text{kg}/\text{hari}$, dan dewasa $0.0047 \text{ mg}/\text{kg}/\text{hari}$. Rata-rata asupan PM_{10} untuk anak-anak yaitu $0.0038 \text{ mg}/\text{kg}/\text{hari}$ dan dewasa $0.0110 \text{ mg}/\text{kg}/\text{hari}$. Asupan ADD *lifetime* non karsinogenik $PM_{2.5}$ proyeksi tahun ke 5 – 30 nilai mean untuk anak-anak yaitu 0.0009 - 4.6679 dan orang dewasa yaitu 0.0006 – 4.1989. Sedangkan asupan ADD *lifetime* non karsinogenik PM_{10} proyeksi tahun ke 5 – 30 nilai mean untuk orang dewasa yaitu 0.0015 – 5.5933 dan anak-anak yaitu 0.0021 – 5.4227, rata-rata tingkat risiko yaitu RQ >1. **Kesimpulan.** Rata-rata tingkat risiko (*Risk Quotient*) pajanan $PM_{2.5}$ dan PM_{10} di Kawasan industri PT. Semen Tonasa adalah RQ >1 sehingga dikatakan berisiko terhadap Kesehatan Masyarakat yang tinggal disekitarnya.

Kata Kunci : Partikulat Matter; Industri Semen; ARKL



ABSTRACT

Musdalifah. ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL HEALTH RISKS AND SPATIAL PATTERNS OF EXPOSURE TO $PM_{2.5}$ AND PM_{10} IN THE INDUSTRIAL AREA PT. SEMEN TONASA (supervised by Anwar Daud and Agus Bintara Birawida)

Background Air pollutants that can affect human health by inhalation include Particulate Matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), which are produced by industrial activity. **Aim.** The aim of this study is to evaluate the hazards in public health that residents of the industrial area from exposure to $PM_{2.5}$ and PM_{10} at PT Cement Tonasa. **Method.** This research is descriptive quantitative research that uses the environmental health risk analysis (EHRA) study method. The research sampling locations were in 8 areas, including Mangilu Village, Biring Ere Village, Sapanang Village, Samalewa Village, Bulu Cindea Village, Bowong Cindea Village, Bontoa Village, Taraweang Village, Pangkajene Islands Regency (Pangkep). Eight ambient air samples and 160 respondents consisting both that 80 of whom were adults and 80 children were analyzed at PT Global Quality Analytical. RQ and intake values were computed in order to analyze the data in which that risk management is implemented if $RQ > 1$. **Results.** The results show that two places, Bontoa Village and Samalewa Village, have $PM_{2.5}$ concentrations that are higher than the quality limit ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Then, the research location's PM_{10} concentration is less than the quality standard of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The average frequency of exposure is 358 days per year, and the average duration of exposure is 30 years. For children, the inhalation rate is $0.5 \text{ m}^3/\text{hour}$ and for adults, $0.83 \text{ m}^3/\text{hour}$. In real time, children's average $PM_{2.5}$ intake rate is $0.0016 \text{ mg}/\text{kg}/\text{day}$, whereas adults' average is $0.0047 \text{ mg}/\text{kg}/\text{day}$. Children's average daily intake of PM_{10} is $0.0038 \text{ mg}/\text{kg}$, whereas adults' average daily intake is $0.0110 \text{ mg}/\text{kg}$. The lifetime intake of non-carcinogenic $PM_{2.5}$ in children (ADD) is estimated to be between 0.0009 and 4.6679 for years 5 to 30, while for adults it is between 0.0006 and 4.1989. On the other hand, the lifetime ADD intake of non-carcinogenic PM_{10} is estimated for the years 5 through 30; the average risk threshold is $RQ > 1$, and the mean value for adults is 0.0015 - 5.5933 and for children, it is 0.0021 - 5.4227. **Conclusion.** The industrial area of PT. Semen Tonasa has an average risk level (Risk Quotient) of exposure to $PM_{2.5}$ and PM_{10} of $RQ > 1$, which indicates that the health of the local population is danger.

Keywords: Particulate Matter; Cement Industry; EHRA



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	
UCAPAN TERIMA KASIH	i
ABSTRAK BAHASA INDONESIA	ii
ABSTRAK BAHASA INGGRIS	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Teori Tentang PM2.5 dan PM10 serta Efeknya Terhadap Kesehatan Manusia	3
1.3. Rumusan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tempat dan Waktu.....	6
2.2 Metode Penelitian.....	6
2.3 Populasi dan Sampel Penelitian.....	6
2.4 Prosedur Penelitian.....	7
2.5 Pelaksanaan Penelitian.....	8
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	9
3.1. Hasil Penelitian.....	9
3.2. Pembahasan.....	25
3.3. Keterbatasan Penelitian.....	36
BAB IV PENUTUP	37
4.1. Kesimpulan.....	37
4.2. Saran Penelitian.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Distribusi Karakteristik Responden di Kabupaten	9
Tabel 3. 3 Karakteristik Responden Berdasarkan Berat Badan Dan Pola Aktivitas Masyarakat di Kabupaten Pangkep 2023.....	12
Tabel 3. 4 Nilai Min, Max dan Mean ADD Non Karsinogenik Responden untuk Durasi Paparan PM _{2.5} di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa	13
Tabel 3. 5 Nilai Min, Max dan Mean ADD Non Karsinogenik Responden untuk Durasi Paparan PM ₁₀ di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa.....	13
Tabel 3. 6 Nilai Min, Max, dan Average Risk Quotient (RQ) PM _{2.5} di Sekitar Kawasan Industri PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkajene Kepulauan 2023	14
Tabel 3. 7 Nilai Min, Max, dan Average Risk Quotient (RQ) PM ₁₀ di Sekitar Kawasan Industri PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkajene Kepulauan 2023	15

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Ilustrasi Ukuran Partikulat Matter	3
Gambar 2. 1 Alur Penelitian.....	7
Gambar 3. 1 Kualitas udara ambien parameter PM _{2.5} dan.....	10
Gambar 3. 2 Kualitas udara ambien parameter PM ₁₀ dan	11
Gambar 3. 3 RQ Lifetime PM _{2.5} Masyarakat di Sekitar Kawasan Industri PT Semen Tonasa.....	16
Gambar 3. 4 RQ Lifetime PM ₁₀ Masyarakat di Sekitar Kawasan Industri PT Semen Tonasa.....	16
Gambar 3. 5 Keluhan Masyarakat Akibat Debu	23
Gambar 3. 6 Sebaran Tingkatan Risiko Realtime PM _{2.5} Responden	24
Gambar 3. 7 Sebaran Tingkatan Risiko Realtime PM ₁₀ Responden	24
Gambar 3. 8 Deposisi Kompartemen Partikulat	31

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri semen termasuk salah satu industri yang digunakan dalam pembangunan fisik sarana dan prasarana infrastruktur. Kebutuhan semen semakin meningkat seiring dengan peningkatan pembangunan secara global (Regia et al., 2021). Jenis pengolahan dan bahan baku yang digunakan oleh industri dapat menentukan jenis pencemaran udara yang dihasilkan (Silvia et al., 2020).

Umumnya suatu industri melakukan aktivitas pembakaran dalam mengolah bahan baku. Proses pengolahan tersebut menghasilkan bahan pencemar seperti gas dan partikulat (Silvia et al., 2020; Ferial et al., 2021; Novirsa & Achmadi, 2012). Zat pencemar udara yang bersumber dari kegiatan industri terbagi menjadi 5 kelompok pencemar, yaitu Nitrogen oksida (NO₂), Sulfur oksida (SO₂), Karbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), dan partikulat (Ridayanti et al., 2022; Firmanto et al., 2019).

Partikulat terdiri dari ukuran, dan dekomposisi kimia yang berbeda (Regia et al., 2021). Dalam ilmu kualitas udara, PM diklasifikasikan berdasarkan ukurannya dengan perbedaan paling umum adalah diameter aerodinamis (in 't Veld et al., 2023). *Particulate Matter* (PM) merupakan partikel debu yang melayang di udara dalam jangka waktu yang lama (Ridayanti et al., 2022).

Particulate Matter 2,5 (PM_{2.5}) adalah jenis polutan udara dengan diameter < 2.5 µm (in 't Veld et al., 2023). Sedangkan *Particulate Matter* 10 (PM₁₀) merupakan jenis partikel yang berbentuk padat maupun cair yang melayang di udara dengan nilai, media, dan memiliki ukuran diameter aerodinamik ≤ 10 µm (Hadi, 2021). *Particulate Matter* berasal dari berbagai sumber, termasuk pembakaran biomassa, pembakaran batu bara, emisi kendaraan, dan emisi industri (Sun et al, 2023).

Diperkirakan paparan PM_{2.5} menyebabkan 5 juta kematian dini per tahun secara global. Selain itu, 0,5 juta kematian dini tahunan lainnya dikaitkan dengan perubahan iklim yang terkait dengan polusi PM_{2.5} (Lin et al, 2018). Studi *Global Burden of Disease* (GBD) memperkirakan bahwa pada tahun 2019 sekitar 4,5 juta orang meninggal sebelum waktunya akibat polusi udara di luar ruangan (dari PM_{2.5} dan ozon permukaan tanah) (Roser, 2021).

Berdasarkan laporan *World Air Quality Report Region & City* PM_{2.5} tahun 2020 menunjukkan bahwa Indonesia menduduki peringkat 1 negara dengan konsentrasi PM_{2.5} (µg/m³) paling tinggi di Asia Tenggara dengan rata-rata PM_{2.5} (µg/m³) sebesar 40,8 (µg/m³) (Dwi Safira et al., 2022). Sekitar 50% dari total emisi debu yang di atmosfer merupakan PM₁₀. Emisi ini berkontribusi secara signifikan bagi pemanasan atmosfer dan tidak hanya menyebar tetapi juga menyerap radiasi surya (Sepriani et al., 2014). Sumber pajanan PM_{2.5} dan PM₁₀ pada pabrik semen berasal unit produksi seperti, *raw mill, kiln, coat mill, cement mill, dan packing house* (Caronge, 2018).

Analisis risiko kesehatan lingkungan pajanan PM_{2.5} dan PM₁₀ penting untuk dilakukan karena banyaknya masyarakat yang tinggal dekat dari kawasan

industri semen. $PM_{2.5}$ dan PM_{10} dapat menembus dan disimpan di dalam paru-paru. Oleh karena itu, masyarakat memiliki risiko besar terhadap pajanan $PM_{2.5}$ dan PM_{10} gangguan pernapasan dan kardiovaskular, serta kanker paru-paru (Novirsa & Achmadi, 2012; Khaniabadi et al., 2017; Mahmood Ajaj et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh Novirsa dan Achmadi (2012) mengenai analisis risiko $PM_{2.5}$ di kawasan PT Semen Padang. 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 dengan konsentrasi paling aman $0,028 \text{ mg/m}^3$ (Novirsa & Achmadi, 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Nur et al., 2021 mengenai risiko gangguan kesehatan masyarakat akibat pajanan PM_{10} di Kota Padang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi PM_{10} adalah $0,152 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ melebihi baku mutu sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 2009. Nilai *intake* pajanan PM_{10} secara inhalasi di titik empat memiliki nilai $RQ > 1$, menunjukkan bahwa pemajanan tidak aman bagi masyarakat di sepanjang jalan Gunung Sarik sehingga perlu dilakukan pengendalian (Nur et al., 2021).

Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menghitung atau mengestimasi risiko pada kesehatan manusia dimasa sekarang atau di masa depan (Miladii Fitra et al, 2022; Basri et al., 2007; Kasim et al., 2023). Analisis risiko kesehatan lingkungan bagi masyarakat yang tinggal di kawasan industri semen penting dilakukan untuk memahami risiko kesehatan lingkungan masyarakat saat ini dan masa yang akan datang. Selain itu, pihak terkait (pemerintah) dapat membuat kebijakan dan upaya mitigasi risiko guna menurunkan penyakit akibat pajanan $PM_{2.5}$ dan PM_{10} . Selain melakukan analisis risiko, penting juga dilakukan pola spasial orang yang memiliki risiko pajanan $PM_{2.5}$ dan PM_{10} dari kawasan industri semen. SIG adalah teknologi yang dapat digunakan dalam proses menyimpan, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan kembali kondisi alam dengan bantuan data atribut dan spasial (Devi MLS, 2020).

Industri PT. Semen Tonasa yang merupakan produsen semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia yang menempati lahan seluas 715 hektar di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, sekitar 68 kilometer dari kota Makassar. Perseroan memiliki 4 unit pabrik yang masing-masing terdiri dari *Limestone Crusher*, *Clay Crusher*, *Raw Mill*, *Kiln*, *Coal Mill*, *Silo* dan *Packer*. Keempat unit tersebut menggunakan proses kering dengan kapasitas masing-masing 590.000 ton semen per tahun untuk unit II dan III, 2.300.000 ton semen per tahun untuk unit IV, serta 2.500.000 ton semen per tahun untuk unit V. (PT. Semen Tonasa, 2016).

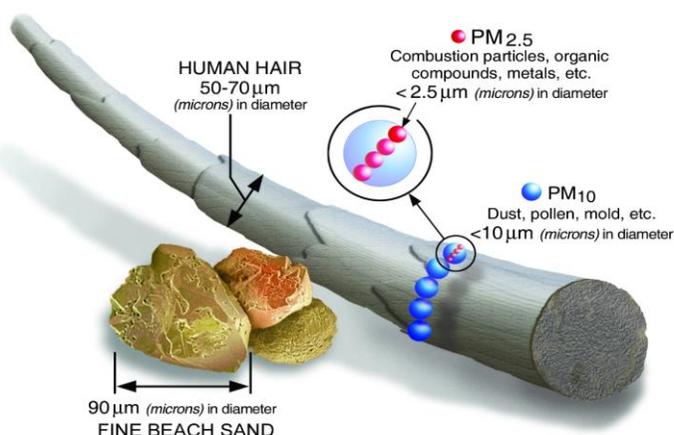
Unit pabrik semen dalam proses produksinya menghasilkan *Particulate Matter* (PM) ($PM_{2.5}$ dan PM_{10}). Pabrik tersebut berada dekat dengan pemukiman sehingga Masyarakat sangat berpotensi terjadi pencemaran udara dan gangguan kesehatan yang berasal dari aktivitas industri semen. Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai analisis risiko

kesehatan lingkungan dan pola spasial pajanan PM_{2.5} dan PM₁₀ di kawasan industri PT. Semen Tonasa.

1.2. Teori Tentang PM_{2.5} dan PM₁₀ serta Efeknya Terhadap Kesehatan Manusia

Particulate Matter (PM) adalah indikator polusi udara umum, dimana ada bukti kuat bahwa paparan polutan ini memiliki efek kesehatan yang negatif. Komponen utama PM adalah sulfat, nitrat, amonia, natrium klorida, karbon hitam, debu mineral, dan air (WHO, 2022). Partikulat adalah salah satu dampak lingkungan yang paling penting dari industri semen. Debu dapat terjadi di hampir semua tahapan produksi, mulai dari proses produksi dan pengolahan bahan baku hingga pengangkutan semen produk akhir (Fitriyanti & Fatimura, 2019).

Ilustrasi ukuran *Particulate Matter* dijelaskan sesuai yang diterbitkan oleh US EPA dibawah ini (US EPA, 2023):



Gambar 1. 1 Ilustrasi Ukuran Partikulat Matter

Particulate Matter (PM_{2.5}) adalah debu partikulat dengan diameter aerodinamik 2.5 μm . Polutan tersebut diakumulasi dengan 50% kemampuan oleh pengumpulan sampling PM_{2.5}. Komposisi pembentuk PM_{2.5} terdiri dari sulfat, nitrat, organic compounds, ammonium compounds, metal, acidic material, dan bahan kontaminan lain yang dipercaya dapat memberikan efek buruk bagi Kesehatan (As'ari, 2022). Pada industri semen PM_{2.5} dihasilkan dari adanya proses pengolahan bahan mentah (*raw material*), pembakaran, pengolahan, pengepakan, dan penyimpanan (Regia et al., 2021). Selain itu, PM_{2.5} berasal dari berbagai sumber, termasuk pembakaran biomassa, pembakaran batu bara, emisi kendaraan, emisi industri, debu, dll (Sun et al, 2023). Di antara sumber-sumber tersebut, pembakaran bahan bakar padat memberikan kontribusi yang besar karena rendahnya efisiensi pembakaran dan tingginya faktor emisi polutan (Xu et al., 2019 ; Yun et al., 2020).

Particulate Matter(PM_{2.5}) adalah jenis polutan yang berbahaya karena dapat masuk ke dalam sistem kardiovaskular hingga paru-paru. Hal ini tentu dapat meningkatkan risiko kematian dalam jangka panjang (Novirsa & Achmadi, 2012). Paparan partikel semacam itu dapat memengaruhi paru-paru dan jantung

Anda. Particulate Matter (PM_{2.5}) dapat mencapai bagian bawah saluran pernapasan dan mengendap di daerah paru atau alveolar (Kastury, F., Smith, E., Juhasz, 2017).

Konsekuensinya, polutan yang terikat PM akan berinteraksi dengan cairan paru ekstraseluler, karena banyak di antaranya dapat larut (fraksi yang dapat diakses secara hayati) dan kemudian diserap ke aliran darah (fraksi bioavailabilitas). Interaksi ini dapat diinduksi oleh mekanisme yang berbeda seperti transpor paraselular (difusi melalui persimpangan ketat antara sel alveolar) dan transelular transcytosis (transcytosis melalui ligan membran alveolar dan interaksi non-spesifik lainnya) (Novo-Quiza et al., 2023).

Standar kualitas udara diterapkan melalui pengendalian polusi udara dari sumber emisi. Setiap negara diharuskan untuk mengembangkan rencana bagaimana mereka akan mengendalikan polusi udara dalam yurisdiksi mereka. Rencana ini disebut *State Implementation Plan* (SIP). Secara umum, SIP terdiri dari program (pemantauan dan pemodelan kualitas udara, serta inventarisasi emisi dan strategi pengendalian) dan dokumen (kebijakan dan aturan) yang digunakan negara untuk mencapai dan mempertahankan NAAQS (US EPA, 2022a). Saat ini, EPA memiliki standar primer dan sekunder untuk PM_{2.5} (standar rata-rata tahunan dengan kadar masing-masing 12,0 µg/m³ dan 15,0 µg/m³; standar 24 jam dengan bentuk persentil ke-98 dan kadar 35 µg/m³) (US EPA, 2022b).

PM₁₀ adalah debu partikulat dengan diameter 10µm, partikulat dapat masuk pada sistem pernapasan yang lebih dalam. Fraksi utama partikel ukuran ini banyak bersumber dari industri (As'ari, 2022). Partikulat dapat berasal dari luar ruangan seperti dari emisi atau gas buang kendaraan bermotor. Partikel tersebut umumnya memiliki ukuran 0.01 - 5 mikron. Partikel dengan ukuran lebih dari 50 mikron terdeposit pada jalanan. Selain itu, faktor dalam ruangan yaitu aktivitas seperti memasak, merokok, membakar sampah, dan aktivitas lainnya yang dapat mempengaruhi konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2.5} di dalam ruangan (As'ari, 2022).

Particulate Matter (PM₁₀) yang dihasilkan dari aktivitas industri biasanya melepaskan berbagai material logam berat dan sulfur dioksida. *Environmental Protection Agency* dalam *World Bank*, menduga 90% dari PM₁₀ yang dikeluarkan ke udara mengandung sulfur dioksida (SO₂). Hal ini tentu dapat berdampak buruk bagi lingkungan sekitar (Firmanto et al., 2019). PM₁₀ masuk melalui hidung dan mengakibatkan inflamasi pada saluran nafas sehingga dapat merusak paru-paru dan jantung (Dewi et al., 2022; Firmanto et al., 2019). *Particulate Matter* 10 µm (PM₁₀) dapat mengendap di saluran pernapasan bagian bawah dan area pertukaran gas pada system pernapasan menyebabkan iritasi terus-menerus pada saluran pernapasan dengan berbagai reaksi jaringan (Afrilla & , Suharwanto, 2022). PM₁₀ menimbulkan risiko Kesehatan yang lebih tinggi dibandingkan polutan lainnya (Firmanto et al., 2019). Saat ini, EPA telah menetapkan standar primer dan sekunder untuk PM₁₀ (standar 24 jam dengan perkiraan bentuk dan nilai pelampauan 150 µg/m³).

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, peneliti merumuskan masalah yaitu bagaimana risiko kesehatan masyarakat serta pola spasial pajanan PM_{2.5} dan PM₁₀ yang tinggal di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa dan seberapa besar risiko kesehatan yang ditimbulkan.

1.4. Tujuan Penelitian

1.4.1. Tujuan

Tujuan khusus yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Untuk menganalisis konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ pada udara ambien di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa.
- b. Untuk menganalisis risiko kesehatan masyarakat akibat pajanan PM_{2.5} dan PM₁₀ yang tinggal di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa.
- c. Untuk mengetahui pola spasial risiko kesehatan masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa.

1.4.2. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan peneliti dari penelitian ini, yaitu:

- a. Manfaat Ilmiah

Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan bagi akademisi, khususnya bidang toksikologi lingkungan, serta dapat menjadi rujukan dalam pengembangan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan konsentrasi *Partikulat Metter* (PM) pada industri semen dan mengetahui dampaknya terhadap kesehatan manusia.

- b. Manfaat Institusi

Menjadi sumber informasi, bahan evaluasi, dan bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan terkait dengan manajemen risiko kualitas lingkungan dan risiko kesehatan masyarakat khususnya yang tinggal di wilayah kawasan Industri PT. Semen Tonasa.

- c. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai dampak kesehatan akibat dari PM_{2.5} dan PM₁₀ bagi masyarakat, serta dapat menjadi sarana pengembangan ilmu pengetahuan yang di peroleh selama proses perkuliahan.