

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini pertumbuhan penduduk berbanding lurus dengan pemenuhan kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Salah satu kegiatan yang dapat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat dengan cara melakukan peningkatan terhadap transportasi sehingga dapat menunjang segala aspek kehidupan khususnya kehidupan masyarakat perkotaan. Dimana transportasi dijadikan sebagai mobilitas untuk menunjang berbagai kegiatan perekonomian (Octadiva & Hayat, 2018).

Udara merupakan salah satu faktor yang paling penting dan sangat dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup baik untuk manusia, hewan, dan tumbuhan. Udara terdiri dari berbagai macam campuran gas. Kandungan yang ada di dalam udara normal terdiri dari gas nitrogen (N_2) 78,1%, oksigen (O_2) 20,93% dan karbon dioksida (CO_2), yaitu sebesar 0,3%. Selain kandungan yang sudah disebutkan tersebut udara juga memiliki uap air, debu, bakteri, spora, dan sisa-sisa tumbuhan (Anggraini, 2022).

Total Suspended Particulate (TSP) merupakan partikel debu kasar yang menjadi polutan udara yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan. *Total Suspended Particulate* merupakan komponen penting dari parameter kualitas udara ambien. Hal ini dikarenakan partikel debu melayang ini mengandung berbagai senyawa dengan komposisi dan ukuran yang berbeda-beda seperti sulfat, nitrat, ammonia, sodium klorida, karbon, debu mineral, dan air. Tidak semua ukuran partikel dapat masuk ke tenggorokan dan paru-paru. Namun, pada *Total Suspended Particulate* sebagian dari partikelnya dapat masuk sampai ke paru-paru melalui jalur inhalasi. Sehingga, *Total Suspended Particulate* yang berhasil masuk ke sistem pernapasan dapat menyebabkan gangguan pada saluran pernapasan dan organ paru-paru (Setiawan, 2002).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa TSP dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk emisi kendaraan, industri, dan pembakaran bahan bakar antara lain penelitian oleh (Kasih, 2018) bahwa konsentrasi TSP yang dihasilkan pada kawasan kereta api di tiga titik sebanyak 7,196 $\mu g/m^3$ pada titik pertama, 0,204 $\mu g/m^3$ pada titik kedua, dan 0,119 $\mu g/m^3$ pada titik ketiga. Adapun faktor yang mempengaruhi TSP seperti meteorologi pada penelitian (Af'idah, 2019) dimana peningkatan kelembaban cenderung menurunkan konsentrasi TSP di udara, kecepatan angin juga mempengaruhi TSP, di mana angin dapat membantu menyebarkan partikulat sehingga mengurangi konsentrasinya di satu titik tertentu. Namun, kontribusi dari aktivitas perkeretaapian sendiri perlu diteliti lebih lanjut untuk memahami dampaknya secara spesifik terhadap kualitas udara di lingkungan pemukiman sekitar Stasiun Maros-Barru. Analisis perbandingan konsentrasi TSP di kawasan ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang tingkat paparan partikel-partikel tersebut terhadap penduduk lokal. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk perumusan kebijakan perlindungan lingkungan dan kesehatan masyarakat yang lebih efektif di wilayah yang terkena dampak.

Kondisi ini memperlihatkan bahwa penduduk yang tinggal di sekitar jalur kereta api berisiko lebih tinggi terhadap paparan TSP. Dampak kesehatan dari TSP dapat berupa

gangguan pernapasan, iritasi mata dan tenggorokan, serta efek jangka panjang seperti gangguan kesehatan paru-paru dan kardiovaskular. Menurut penelitian dari (Wijaya, Sunarto, & Rachmawati, 2024), paparan jangka panjang terhadap TSP secara terus-menerus berisiko mengalami penurunan fungsi paru karena partikel halus ini dapat terinhalasi dan mengendap di alveoli, merusak jaringan pernapasan. Efek lainnya mencakup gangguan faal paru dan peningkatan risiko penyakit pernapasan kronis seperti bronkitis.

Saat ini Sulawesi Selatan telah melakukan pengoperasian kereta api Trans Sulawesi sejak tahun 2022 untuk segmen Stasiun Mandai-Stasiun Garongkong namun belum beroperasi untuk umum dan pada tanggal 29 maret 2023 dilakukan peresmian jalur kereta api Makassar Parepare antara Maros-Barru oleh Presiden RI sehingga dapat beroperasi untuk umum. Jalur kereta api Trans Sulawesi yang telah beroperasi merupakan jalur kereta api yang dibangun untuk menjangkau daerah-daerah penting di Pulau Sulawesi. Jalur kereta api Trans Sulawesi pastinya melintasi kawasan yang memiliki potensi tinggi untuk terpapar konsentrasi TSP. Kawasan tersebut adalah kawasan pemukiman yang berada pada Kelurahan Tuwung, Kabupaten Barru. Kelurahan Tuwung memiliki jumlah penduduk sebanyak 834 jiwa dan setiap harinya Kelurahan Tuwung akan dilintasi kereta api yang berasal dari Stasiun Mandai menuju Stasiun Garongkong ataupun sebaliknya sehingga masyarakat yang bermukim sekitar jalur kereta api akan terdampak dari konsentrasi TSP yang dihasilkan dari kereta api tersebut.

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) Pada Kawasan Pemukiman Sekitar Jalur Kereta Api Stasiun Mandai dan Stasiun Barru”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka didapatkan pokok permasalahan pada penelitian ini yang akan dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa besar konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) akibat aktivitas kereta api terhadap pemukiman di sekitar Stasiun Mandai dan Stasiun Barru?
2. Bagaimana hubungan data volume kendaraan, meteorologi, dan kecepatan kereta api terhadap konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) antara Stasiun Mandai dan Stasiun Barru?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka dapat dicapai dengan tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Menganalisis tingkat konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) akibat aktivitas kereta api terhadap pemukiman di sekitar Stasiun Mandai dan Stasiun Barru
2. Menganalisis hubungan volume kendaraan, data meteorologi, dan data kecepatan kereta api terhadap konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) antara Stasiun Mandai dan Stasiun Barru

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut.

1. Bagi penulis
Untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapat gelar ST (Sarjana Teknik) di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bagi Universitas
Penelitian yang dilakukan dapat dijadikan sebagai referensi untuk lebih mengembangkan penelitian selanjutnya di Departemen Teknik Lingkungan terkait tingkat konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) pada jalur kereta api.
3. Bagi Masyarakat
Penelitian yang dilakukan dapat memberikan informasi kepada masyarakat terkait tingkat konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) yang dihasilkan kereta api di sekitar permukiman pada Stasiun Mandai dan Stasiun Barru.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas, maka diperlukan ruang lingkup dari batasan masalah penelitian yang dilakukan sebagai berikut.

1. Parameter pencemar yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Total Suspended Particulate* (TSP).
2. Lokasi penelitian ini dilakukan di jalur kereta api Stasiun Mandai dengan titik penelitian berjumlah 1 titik dan Stasiun Barru dengan titik penelitian berjumlah 1 titik.
3. Penelitian ini dilaksanakan selama 2 hari dimulai pada 13 Juli 2024 di Maros dan 15 Juli 2024 di Barru.

1.6 Teori

1.6.1 Kereta api

Kereta api merupakan jenis transportasi yang terdiri dari kendaraan dengan tenaga gerak, baik yang berjalan sendiri atau yang digabungkan dengan kendaraan lain, dan beroperasi di atas rel. Umumnya, kereta api terdiri dari lokomotif (kendaraan yang bergerak sendiri) dan rangkaian kereta atau gerbong (yang terhubung dengan kendaraan lainnya). Rangkaian kereta atau gerbong ini memiliki kapasitas yang cukup luas, memungkinkan untuk mengangkut penumpang dan barang dalam jumlah yang besar (Karso, 2022).

Sedangkan menurut UU No. 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian, kereta api merupakan sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api. Sarana perkeretaapian terdiri dari:

1. Lokomotif, kendaraan rel yang dapat bergerak sendiri dengan motor diesel sebagai sumber tenaga, dan bertugas untuk menarik atau mendorong rangkaian kereta atau gerbong.

2. Kereta adalah kendaraan rel yang dirancang untuk mengangkut penumpang, dilengkapi dengan berbagai fasilitas yang diperlukan.
3. Gerbong adalah kendaraan rel yang digunakan untuk mengangkut barang.
4. Peralatan khusus adalah alat-alat yang dirancang untuk tujuan tertentu dalam operasional kereta api.

1.6.2 Jenis kereta api

Siregar et al. (2020) menyatakan bahwa karena pentingnya peran kereta api di suatu wilayah, maka diperlukan pembangunan serta peningkatan sarana dan prasarana yang menjadi faktor utama dalam keberhasilan sistem transportasi kereta api. Achmad (2020) menjelaskan bahwa berdasarkan jenis tenaga penggerakannya, kereta api terbagi menjadi beberapa tipe:

1. Kereta api diesel

Kereta ini digerakkan oleh mesin diesel yang umumnya menggunakan bahan bakar solar. Ada dua jenis utama, yaitu kereta api diesel hidrolik dan kereta api diesel elektrik. Selain itu, ada juga kereta rel diesel, di mana mesinnya dipasang di bawah kabin, dan penggerakannya bisa melalui kopling hidrolik atau sistem elektrik seperti pada lokomotif diesel.

2. Kereta api listrik

Kereta api ini, atau dikenal dengan Kereta Rel Listrik (KRL), digerakkan oleh motor listrik. Di Indonesia, KRL banyak ditemukan di kawasan Jabodetabek dan digunakan untuk melayani rute komuter.

3. Kereta api magnet

Kereta api magnet atau *maglev* bekerja dengan mengangkat dan mendorong kereta menggunakan medan magnet, sehingga kereta ini dapat melaju dengan sangat cepat tanpa gesekan dengan rel.

Achmad (2020) juga mengelompokkan kereta api berdasarkan jenis rel yang digunakan:

1. Kereta api konvensional

Kereta ini menggunakan rel yang terdiri dari dua batang baja, dan di beberapa daerah dengan kemiringan curam, rel bergerigi digunakan di antara rel konvensional bersama dengan lokomotif khusus.

2. Kereta api monorel

Monorel hanya menggunakan satu rel baja, dan keretanya bisa dirancang menggantung atau berada di atas rel. Monorel umumnya digunakan di kota metropolitan karena lebih efisien.

Utami (2020) mengklasifikasikan kereta api berdasarkan penempatan relnya:

1. Kereta api bawah tanah

Kereta ini berjalan di terowongan bawah tanah dan banyak ditemukan di kota besar dunia seperti London, Paris, dan Tokyo, serta sedang direncanakan di Jakarta.

2. Kereta api layang

Kereta layang beroperasi di jalur yang dibangun di atas permukaan tanah, mengurangi hambatan lalu lintas. Contohnya terdapat di jalur Manggarai-Kota di Jakarta.

3. Kereta api permukaan

Kereta ini beroperasi di permukaan tanah dan merupakan pilihan yang paling murah. Namun, persilangan sebidang dengan jalan raya meningkatkan risiko kecelakaan dan hambatan lalu lintas.

Menurut Fitriana & Yuninata (2023), kereta api juga dibagi berdasarkan jenis angkutannya:

1. Kereta api penumpang

Kereta ini digunakan untuk mengangkut penumpang dan harus memenuhi standar pelayanan minimum (SPM) serta menyediakan fasilitas gratis untuk kelompok tertentu seperti penyandang disabilitas dan lansia.

2. Kereta api barang

Kereta jenis ini digunakan untuk mengangkut barang, termasuk barang umum, barang berbahaya, dan limbah beracun.

1.6.3 Jenis lokomotif kereta api

Menurut Febrianto (2023), lokomotif adalah bagian dari rangkaian kereta api yang dilengkapi dengan mesin untuk menggerakkan kereta. Biasanya, lokomotif terletak di bagian depan rangkaian dan dioperasikan oleh masinis berdasarkan instruksi dari pusat kendali kereta api yang diteruskan melalui sinyal di sepanjang jalur rel. Berdasarkan jenis mesinnya, lokomotif dibagi menjadi empat jenis, yaitu:

1. Lokomotif uap

Lokomotif ini menggunakan uap yang dihasilkan dari pemanasan air di dalam ketel uap untuk menggerakkan torak atau turbin yang kemudian diteruskan ke roda. Bahan bakarnya biasanya kayu bakar atau batu bara.

2. Lokomotif diesel mekanis

Lokomotif diesel mekanis menggunakan mesin diesel sebagai sumber tenaga yang disalurkan ke roda melalui transmisi mekanis. Lokomotif jenis ini jarang digunakan karena keterbatasan kemampuan transmisi mekanis dalam mentransfer tenaga, sehingga biasanya hanya bertenaga kecil.

3. Lokomotif diesel elektrik

Jenis lokomotif ini adalah yang paling umum. Mesin diesel pada lokomotif ini menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan motor listrik besar yang memutar roda.

4. Lokomotif listrik

Lokomotif listrik adalah yang paling banyak digunakan setelah lokomotif diesel elektrik. Prinsip kerjanya mirip dengan lokomotif diesel elektrik, tetapi listriknya berasal dari kabel transmisi di atas jalur kereta, bukan dari generator internal. Penggunaan lokomotif listrik terbatas pada jalur yang memiliki jaringan listrik.

5. Lokomotif diesel hidrolik

Lokomotif ini menggunakan mesin diesel untuk memompa oli, yang kemudian disalurkan ke sistem hidrolik yang menggerakkan roda. Namun, jenis ini tidak sepopuler lokomotif diesel elektrik karena biaya perawatan yang lebih tinggi dan potensi masalah yang lebih besar.

1.6.4 Karakteristik kendaraan bermotor

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga dalam Mudiyo (2017), arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melewati titik tertentu dalam periode waktu tertentu, yang biasanya diukur dalam satuan kendaraan per jam. Arus lalu lintas di kawasan perkotaan terbagi menjadi empat kategori, yaitu:

1. Sepeda Motor (*Motor Cycle*), mencakup kendaraan bermotor roda dua atau tiga, seperti sepeda motor dan kendaraan roda tiga.
2. Kendaraan Ringan (*Light Vehicle*), meliputi kendaraan bermotor roda empat, seperti mobil penumpang, mikrobus, pickup, dan truk kecil.
3. Kendaraan Berat (*Heavy Vehicle*), terdiri dari kendaraan bermotor dengan roda lebih dari empat, termasuk bus dan truk.
4. Kendaraan Tidak Bermotor (*Un Motorized*), termasuk kendaraan beroda yang digerakkan oleh tenaga manusia atau hewan, seperti becak, sepeda, kereta kuda, dan gerobak.

1.6.5 Definisi pemukiman

Pemukiman merupakan elemen penting dari lingkungan yang terletak di luar kawasan hutan lindung, mencakup baik area perkotaan maupun pedesaan. Sebagai bagian dari tata guna lahan, pemukiman memiliki peran vital dalam menyediakan tempat tinggal bagi masyarakat. Definisi pemukiman mencakup berbagai jenis area, mulai dari kota besar hingga desa kecil, yang semuanya berfungsi sebagai tempat dimana individu dan keluarga dapat menetap dan menjalani kehidupan sehari-hari. Dalam konteks ini, pemukiman tidak hanya mencakup bangunan tempat tinggal, tetapi juga aspek-aspek yang mendukung kehidupan sehari-hari masyarakat.

Fungsi utama pemukiman adalah menyediakan tempat tinggal dan ruang aktivitas yang mendukung kehidupan serta penghidupan, sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia No. 4 Tahun 1992 ini berarti bahwa pemukiman harus mampu memenuhi kebutuhan dasar penghuninya, seperti tempat tinggal yang layak, serta fasilitas yang mendukung aktivitas sosial dan ekonomi. Selain itu, pemukiman juga berfungsi sebagai pusat kegiatan yang mendukung berbagai aspek kehidupan, termasuk pendidikan, kesehatan, dan rekreasi, sehingga berperan penting dalam kesejahteraan masyarakat.

Kawasan pemukiman biasanya terdiri dari area hunian yang dilengkapi dengan berbagai fasilitas dan infrastruktur lingkungan. Fasilitas ini termasuk jaringan jalan, penyediaan air bersih, sistem pembuangan limbah, serta fasilitas umum seperti sekolah dan pusat kesehatan. Selain itu, area kerja yang ada dalam kawasan pemukiman menyediakan layanan dan peluang kerja yang terbatas, tetapi cukup untuk mendukung kehidupan dan penghidupan masyarakat setempat. Dengan adanya fasilitas dan infrastruktur yang memadai, kawasan pemukiman dapat menciptakan lingkungan yang nyaman dan fungsional bagi penghuninya.

Unit lingkungan pemukiman mencakup berbagai bentuk dan ukuran kawasan perumahan, dengan penataan tanah dan ruang yang terstruktur dengan baik. Tata ruang ini dirancang untuk memastikan bahwa pemukiman dapat dikelola dan dilayani secara optimal. Fasilitas dan infrastruktur lingkungan dirancang untuk memenuhi kebutuhan

masyarakat, meningkatkan kualitas hidup, dan memastikan pengelolaan yang efisien. Oleh karena itu, pengembangan dan perencanaan kawasan pemukiman memerlukan perhatian khusus untuk memastikan bahwa semua elemen tersebut berfungsi dengan baik dan mendukung kehidupan yang berkelanjutan bagi penghuninya (Keman, 2005).

1.6.6 Udara ambien

Menurut Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, udara ambien didefinisikan sebagai udara yang terdapat di permukaan bumi, khususnya pada lapisan troposfer. Troposfer adalah lapisan atmosfer terendah yang langsung berhubungan dengan kehidupan sehari-hari, di mana berbagai proses meteorologi dan pernapasan terjadi. Dalam konteks hukum ini, udara ambien mencakup seluruh udara yang ada di wilayah yurisdiksi Republik Indonesia, yang menjadi bagian dari lingkungan hidup dan memiliki peran krusial dalam mendukung kesehatan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya.

Udara ambien tidak hanya berperan dalam kesehatan manusia, tetapi juga berpengaruh terhadap kualitas dan keseimbangan lingkungan secara keseluruhan. Kualitas udara yang baik sangat penting untuk mendukung berbagai aktivitas biologis, termasuk pertumbuhan tanaman dan keberlangsungan hidup hewan. Pencemaran udara dapat menimbulkan dampak negatif yang luas, mulai dari gangguan kesehatan hingga kerusakan ekosistem. Oleh karena itu, pengendalian pencemaran udara yang diatur dalam peraturan ini bertujuan untuk memastikan udara ambien tetap bersih dan aman, serta menjaga keseimbangan antara unsur-unsur lingkungan hidup.

1.6.7 Pencemaran udara

Pencemaran udara adalah salah satu jenis pencemaran dalam lingkungan fisik. Jenis lainnya meliputi pencemaran air dan tanah. Udara adalah kebutuhan dasar bagi semua makhluk hidup di bumi. Proses metabolisme dalam tubuh makhluk hidup memerlukan oksigen dari udara. Orang dewasa membutuhkan setidaknya 33 m³ udara setiap jamnya, namun oksigen dari udara di perkotaan sering kali tercemar oleh berbagai polutan (Sulistiani & Kanda S, 2024).

Pencemaran udara adalah proses di mana zat, energi, dan/atau komponen lain dimasukkan ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia. Proses ini dapat terjadi melalui berbagai aktivitas seperti industri, transportasi, dan pembakaran bahan bakar fosil. Akibat dari aktivitas ini, zat-zat berbahaya seperti karbon monoksida, sulfur dioksida, nitrogen oksida, dan partikel halus terlepas ke udara, menyebabkan penurunan kualitas udara. Selain itu, sumber alami seperti letusan gunung berapi dan kebakaran hutan juga dapat berkontribusi pada pencemaran udara.

Penurunan kualitas udara ini dapat mencapai tingkat tertentu di mana udara ambien tidak lagi dapat memenuhi fungsinya sebagai sumber udara bersih untuk pernapasan dan aktivitas kehidupan lainnya. Udara yang tercemar dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia, menyebabkan penyakit pernapasan, kardiovaskular, dan masalah kesehatan lainnya. Selain itu, pencemaran udara juga berdampak buruk pada lingkungan, merusak ekosistem dan mengganggu keseimbangan alam. Oleh karena itu,

upaya pengendalian dan pencegahan pencemaran udara menjadi sangat penting untuk memastikan kualitas hidup yang lebih baik dan menjaga kelestarian lingkungan.

1.6.8 Baku mutu pencemaran udara

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Baku Mutu Udara Ambien adalah standar batas atau tingkat zat, energi, dan/atau komponen yang terdapat atau seharusnya terdapat dalam udara ambien, termasuk unsur pencemar yang keberadaannya masih dapat diterima. Udara yang melebihi batas ini dapat merusak lingkungan dan berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat. Penetapan baku mutu udara ambien nasional bertujuan untuk mencegah terjadinya pencemaran udara. Baku mutu udara ambien dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Baku Mutu Udara Ambien

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
1	SO ₂ (Sulfur Dioksida)	1 jam	900 µg/m ³	<i>Pararosanilin</i>	Spektrofotometer
		24 jam	365 µg/m ³		
		1 Tahun	60 µg/m ³		
2	CO (Karbon Monoksida)	1 Jam	30.000 µg/m ³	<i>NDIR</i>	<i>NDIR Analize</i>
		24 Jam	10.00 µg/m ³		
		1 Tahun			
3	NO ₂ (Nitrogen Dioksida)	1 Jam	450 µg/m ³	<i>Saltzman</i>	Spektrofotometer
		24 Jam	150 µg/m ³		
		1 Tahun	100 µg/m ³		
4	O ₂ (Oksidan)	1 Jam	235 µg/m ³	<i>Chemiluminescent</i>	Spektrofotometer
		1 Tahun	50 µg/m ³		
5	HC(Hidro Karbon)	3 Jam	160 µg/m ³	<i>Flame Ionization</i>	<i>Gas Chromatografi</i>
6	PM ₁₀ (Partikel <10 µm)	24 Jam	150 µg/m ³	<i>Gravimetric</i>	Hi - Vol
	PM _{2,5} (Partikel <2,5 µm)	24 Jam	65 µg/m ³	<i>Gravimetric</i>	Hi - Vol
		1 Tahun	15 µg/m ³	<i>Gravimetric</i>	

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
7	TSP (Debu)	24 Jam	230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Gravimetric</i>	Hi - Vol
		1 Tahun	90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
8	Pb (Timah Hitam)	24 Jam	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Gravimetric</i>	Hi – Vol
		1 Tahun	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Ekstraktif Pengabuan</i>	AAS
9	<i>Dustfall</i> (Debu Jatuh)	30 Hari	10 Ton/km ² /Bulan (Pemukiman)	<i>Gravimetric</i>	<i>Cannister</i>
			20 Ton/km ² /Bulan (Industri)		
10	<i>Total Pluorides</i> (asF)	24 Jam	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Specific Ion Electrode</i>	<i>Impinger atau Countinuous Analyzer</i>
		90 Hari	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
11	<i>Flour Indeks</i>	30 Hari	40 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^3$ dari kertas <i>limed filter</i>	<i>Colouriment ric</i>	<i>Lined Filter Paper</i>
12	<i>Khlorine & Khlorine Dioksida</i>	24 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Specific Ion Electrode</i>	<i>Impinger atau Countinuous Analyzer</i>
13	<i>Sulphat Indeks</i>	30 Hari	1 mgSO ₃ /100 cm ³ dari <i>Lead Peroksida</i>	<i>Colouriment ric</i>	<i>Lead Peroxide Candle</i>

Sumber: PP 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

1.6.9 Total Suspended Particulate (TSP)

Karakteristik utama dari partikulat adalah ukuran dan distribusinya. Secara umum, partikulat dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan ukurannya: partikulat halus (dengan ukuran kurang dari 2,5 μm) dan partikulat kasar (dengan ukuran lebih dari 2,5 μm) (Ruslinda et al., 2008 dalam Oktaviani, 2018). Partikulat halus dan kasar berbeda dalam hal sumber, asal pembentukan, mekanisme penyisihan, sifat optik, dan komposisi kimia. Kedua jenis partikulat ini termasuk dalam kategori Total Suspended Particulates (TSP), yaitu partikulat dengan ukuran kurang dari 100 μm . TSP mencakup partikel-partikel kecil di udara seperti debu, asap, dan fume yang dihasilkan dari aktivitas konstruksi,

pembakaran, dan kendaraan bermotor. Partikulat ini dapat terdiri dari zat organik dan anorganik. Partikulat organik dapat berupa mikroorganisme seperti virus, spora, dan jamur yang melayang di udara (Santiasih et al., 2012 dalam Oktaviani, 2018).

Total Suspended Particulate (TSP) atau debu adalah istilah yang sering digunakan untuk menyebut campuran partikel padat dengan air yang ada di udara. Menurut standar nasional (ISO), debu didefinisikan sebagai partikel padat dengan diameter aerodinamis kurang dari 75 μm yang tersuspensi di atmosfer. Partikel-partikel ini bisa mengendap karena gravitasi, tetapi juga dapat tetap melayang di udara untuk beberapa waktu. Berdasarkan Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US EPA), TSP mencakup partikel dengan ukuran antara 10 mikrometer (μm) hingga 100 mikrometer (μm). Keberadaan TSP di udara menjadi perhatian serius karena partikel-partikel ini dapat mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan manusia secara signifikan. Partikel yang lebih kecil, seperti yang termasuk dalam kategori PM_{10} (partikel dengan diameter kurang dari 10 μm), dapat terhirup lebih dalam ke saluran pernapasan, menyebabkan masalah kesehatan seperti gangguan pernapasan dan penyakit kardiovaskular (Fardella, Bachtiar, & Raharjo, 2023).

1.6.10 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Dispersi Polutan

Pencemaran udara yang terjadi di permukaan bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti meteorologi, volume kendaraan dan elevasi rel kereta api. Faktor-faktor yang memengaruhi dispersi polutan dijelaskan sebagai berikut:

1. Faktor Meteorologi

Keberadaan polutan udara di lingkungan sangat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi, yang dapat berperan sebagai penghambat maupun pemicu pembentukan polutan. Menurut Af'idah (2019), beberapa faktor meteorologi yang berpengaruh terhadap polutan udara adalah:

a. Temperatur Udara

Suhu dapat memengaruhi polutan di atmosfer dengan membuatnya tetap berada di lapisan yang lebih rendah dan sulit menyebar. Peningkatan suhu dapat berperan sebagai katalisator, mempercepat reaksi kimia yang mengubah polutan udara. Selama musim kemarau, ketika udara lebih kering, suhu cenderung tinggi, dan kecepatan angin relatif rendah, konsentrasi polutan di udara biasanya lebih tinggi dibandingkan musim hujan. Hal ini disebabkan oleh minimnya proses pengenceran polutan di udara selama musim kemarau.

b. Kecepatan Angin

Kecepatan angin yang tinggi dapat membawa polutan ke berbagai tempat, bahkan hingga ke wilayah negara lain (Chandra, 2006 dalam Winata, 2020). Soedomo (2001 dalam Winata, 2020) juga menyebutkan bahwa kecepatan angin di daerah perkotaan cenderung menurun karena adanya gesekan yang semakin besar pada aliran udara.

c. Kelembapan Udara

Proses pengendapan polutan dapat dipermudah oleh kondisi udara yang lembap. Udara yang lembap memungkinkan partikel polutan, seperti debu, untuk berikatan dengan molekul air di udara. Hal ini menyebabkan partikel

tersebut menjadi lebih besar, sehingga lebih mudah jatuh ke permukaan bumi akibat pengaruh gravitasi.

d. Tekanan Udara

Tekanan udara merupakan gaya yang mendorong objek secara horizontal ke atas di bawah pengaruh atmosfer (Harisuryo & Setiyono, 2019). Beberapa faktor yang memengaruhi tekanan udara meliputi ketinggian, suhu, dan kelembapan. Pada daerah yang lebih tinggi, tekanan udara cenderung lebih rendah karena udara menjadi lebih tipis akibat berkurangnya massa udara di wilayah tersebut. Udara hangat, yang cenderung mengembang, memiliki tekanan lebih tinggi dibandingkan udara dingin, karena massa udara hangat lebih ringan. Sementara itu, kelembapan udara dipengaruhi oleh jumlah molekul air yang terdapat di udara. Kehadiran molekul air ini menambah massa udara, yang akhirnya menyebabkan tekanan udara menjadi lebih rendah (Catusari, 2024).

2. Faktor Kendaraan

Kendaraan bermotor mencakup semua jenis kendaraan beroda beserta gandengannya yang digunakan di berbagai jenis jalan darat. Kendaraan ini digerakkan oleh perangkat teknis, seperti motor atau alat lain, yang berfungsi mengubah sumber energi tertentu menjadi tenaga penggerak. Termasuk dalam kategori ini adalah alat berat dan alat besar yang beroperasi menggunakan roda dan motor, tidak terpasang secara permanen, serta kendaraan bermotor yang dioperasikan di air (Jihardiko, 2023).

Aktivitas manusia dapat menghasilkan emisi gas buangan yang dapat menyebabkan pencemaran udara, sehingga dapat berakibat terjadinya penurunan kualitas udara. Emisi kendaraan bermotor memperburuk udara ambien karena meningkatnya penggunaan mesin diesel untuk transportasi perkotaan yang membuang materi partikulat debu (Uniplaita, R. Mangangka, & Legrans, 2020).

3. Elevasi Rel Kereta Api

Di daerah dengan elevasi tinggi, konsentrasi TSP cenderung lebih rendah karena kondisi atmosfer yang berbeda, seperti tekanan udara yang lebih rendah dan suhu yang lebih dingin, yang mempengaruhi penyebaran partikel. Sebaliknya, di daerah dengan elevasi rendah, konsentrasi TSP umumnya lebih tinggi karena kepadatan udara yang lebih besar, yang dapat memperlambat proses penyebaran partikel polutan. Selain itu, aktivitas kereta api di daerah rendah sering kali lebih padat, sehingga emisi partikel dari mesin dan gesekan roda rel menjadi lebih signifikan. Polutan yang dihasilkan juga dapat terperangkap di lapisan udara yang lebih rendah karena terbatasnya sirkulasi udara, terutama jika ada faktor meteorologis seperti kelembapan tinggi atau angin yang lemah (Samad, Anas, Laquai, & Vogt, 2021).

1.6.11 Dampak pencemaran debu terhadap Kesehatan manusia

Masalah pencemaran udara dari sektor transportasi harus mendapat perhatian serius. Sektor ini menjadi penyumbang utama polusi udara di Indonesia. Polusi udara dari transportasi disebabkan oleh penggunaan bahan bakar yang tidak ramah lingkungan, yang melepaskan emisi berbahaya ke atmosfer. Partikel-partikel ini dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti gangguan pernapasan, penyakit jantung, dan penurunan kualitas udara, yang berdampak negatif pada ekosistem dan kehidupan manusia di sekitarnya (Sinolungan, 2009).

Debu adalah partikel kecil berukuran kurang dari 100 µm yang dapat menyebabkan gangguan kronis pada sistem pernapasan. Paparan berkala terhadap debu organik dan anorganik, agen kimia, dan gas merupakan faktor risiko untuk gangguan fungsi paru. Penelitian menunjukkan adanya penurunan aliran udara dan gejala respirasi pada orang yang terpajan debu di tempat kerja. Debu dan pergerakannya dapat mengiritasi saluran pernapasan, menyebabkan peradangan kronis yang berujung pada obstruksi jalan napas dan penurunan fungsi paru. Gejala gangguan fungsi paru meliputi sesak napas kronis dan progresif, yang dapat mengganggu aktivitas sehari-hari. Gangguan obstruktif mengurangi kemampuan mengeluarkan udara, sedangkan gangguan restriktif mengurangi kemampuan menghirup udara (Maradjabessy, Yuniarti, & Adji, 2021).

1.6.12 Perhitungan *Total Suspended Particulate* (TSP)

Berdasarkan SNI 7119-3:2017, *Total Suspended Particulate* (TSP) dapat dihitung konsentrasinya dalam µg/Nm³ dapat dengan persamaan berikut:

1. Koreksi laju alir pada kondisi standar

Koreksi laju alir pada kondisi standar dapat dihitung menggunakan persamaan (1):

$$Q_s = Q_0 \times \left[\frac{T_s \times P_0}{P_0 \times P_s} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Keterangan:

Q_s = laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (Nm³ /menit)

Q_0 = Laju alir volume uji (m³ /menit)

T_s = Temperatur standar, 298 K

T_0 = Temperatur rata-rata aktual (273 + Tukur) dimana Q_0 ditentukan

P_s = Tekanan barometrik standar, 101,3 kPa (760 mmHg)

P_0 = Tekanan barometrik rata-rata aktual dimana Q_0 ditentukan

2. Volume udara yang diambil

Volume udara yang diambil dapat dihitung menggunakan persamaan (2):

$$V = \frac{\sum_{s=1}^n Q_s}{n} \times T \quad (2)$$

Keterangan:

V = volume udara yang diambil (m³)

Q_s = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar ke-s (m³ /menit)

T = durasi pengambilan contoh uji (menit)

n = Jumlah pecatatan laju reaksi

3. Perhitungan Konsentrasi TSP di Udara Ambien

Perhitungan konsentrasi TSP dapat dihitung menggunakan persamaan

(3):

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{V_{std}} \quad (3)$$

Keterangan:

C = Konsentrasi massa partikel tersuspensi (µg/m³)

W_1 = Berat filter awal (g)

W_2 = Berat filter akhir (g)

V_{std} = Volume contoh uji udara dalam keadaan standar (m^3)

10^6 = Konversi gram (g) ke microgram (μg)

Untuk membandingkan konsentrasi TSP dengan Baku Mutu Udara Ambien, maka digunakan Konversi Persamaan Canter. Rumus ini merupakan model matematis yang dapat digunakan untuk mendapatkan hasil konsentrasi TSP dengan pengukuran 24 jam meski pengambilan konsentrasi di lapangan hanya sekian (t) jam. Berikut adalah rumusnya:

$$C_1 = C_2 \times \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p \quad (4)$$

Keterangan:

C_1 = Konsentrasi TSP setara dengan pengambilan sampel 24 jam ($\mu g/m^3$)

C_2 = Konsentrasi TSP setara dengan pengambilan sampel t jam ($\mu g/Nm^3$)

p = Faktor konversi (0,159)

t_1 = Waktu pengambilan sampel (t jam)

t_2 = Waktu pengambilan sampel setara 24 jam

1.6.13 Uji statistik

Uji statistik yang dilakukan adalah uji *Paired T-Test*, uji normalitas dan uji korelasi menggunakan aplikasi SPSS 27.

1. Uji *Paired Sample t-Test* adalah metode untuk membandingkan dua sampel yang berpasangan, di mana sampel ini adalah subjek yang sama yang diberi perlakuan berbeda. Uji ini digunakan untuk menganalisis model penelitian yang membandingkan kondisi sebelum dan sesudah suatu perlakuan. Asumsi dasar dari uji ini adalah bahwa observasi atau penelitian pada setiap pasangan dilakukan dalam kondisi yang sama. Perbedaan rata-rata antar pasangan harus berdistribusi normal, dan varian dari setiap variabel bisa sama atau berbeda. Uji ini memerlukan data dengan skala interval atau rasio. Sampel berpasangan berarti sampel yang sama diuji dua kali pada waktu yang berbeda atau dengan interval waktu tertentu. Pengujian dilakukan dengan tingkat signifikansi 0,05 ($\alpha=5\%$) antara variabel independen dan variabel dependen.

Dasar pengambilan putusan untuk menerima atau menolak H_0 pada uji ini adalah sebagai berikut.

- a. Jika nilai signifikan $> 0,05$ maka H_0 diterima atau H_a ditolak (perbedaan kinerja tidak signifikan).
 - b. Jika nilai signifikan $< 0,05$ maka H_0 ditolak atau H_a diterima (perbedaan kinerja signifikan).
2. Uji normalitas bertujuan untuk menentukan apakah dalam model regresi, variabel gangguan atau residual memiliki distribusi normal. Uji t dan F mengasumsikan bahwa nilai residu mengikuti distribusi normal. Apabila asumsi ini tidak terpenuhi, hasil uji statistik menjadi tidak valid, terutama

dalam kasus ukuran sampel yang kecil. Ada dua metode untuk mendeteksi apakah residual berdistribusi normal, yaitu melalui analisis grafik dan uji statistik. Analisis grafik merupakan metode yang paling sederhana, namun dapat menyesatkan, terutama pada sampel yang kecil.

Untuk menentukan apakah data sudah terdistribusi normal atau tidak:

- a. Jika nilai probabilitas > nilai signifikan 0,05 maka data berdistribusi.
 - b. Jika nilai probabilitas < nilai signifikan 0,05 maka data tidak berdistribusi normal. (Louis, 2021)
3. Menurut (Handianto, 2023), uji korelasi digunakan untuk menilai seberapa kuat hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen. Dalam pengujian hipotesis, jika koefisien korelasi signifikan, koefisien tersebut dapat digunakan untuk menghitung koefisien determinasi, yang berfungsi untuk mengukur sejauh mana variabel independen mempengaruhi variabel dependen. Terdapat beberapa tingkat hubungan korelasi antarvariabel berdasarkan interval koefisien yaitu:

Tabel 2. Tingkat Keeratan Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00-0,199	Sangat Rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40-0,599	Sedang
0,60-0,799	Kuat
0,80-1,000	Sangat Kuat

Sumber: Handianto, 2023

Pengambilan kesimpulan dalam hasil uji korelasi yaitu:

- a. Jika nilai signifikansi (Sig.) (2-taitel) < 0,05, maka data dinyatakan memiliki korelasi
- b. Jika nilai signifikansi (Sig.) (2-taitel) > 0,05, maka data dinyatakan tidak memiliki korelasi.

1.6.14 Uji Shapiro-Wilk

Metode uji Shapiro-Wilk merupakan salah satu alternatif prosedur dalam pengujian normalitas (Farrel & Stewart, 2006). Statistik uji diperoleh berdasarkan nilai expected value normal standar dan nilai rata-rata dari sampel (Shapiro & Wilk, 1965). Misalkan $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ merupakan statistik terurut dari suatu pengamatan, maka statistik uji Shapiro - Wilk (W) adalah:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Selanjutnya W dibandingkan dengan daerah kritis untuk dilakukan pengambilan keputusan. Tolak H_0 jika nilai $W < \text{nilai kritis}$ atau $p - \text{value} < \alpha$.

1.6.15 Penelitian terdahulu

Berikut adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait konsentrasi TSP kereta api pada kawasan pemukiman yang telah dirangkum oleh penulis dapat dilihat pada Tabel 3. sebagai berikut.

Tabel 3. Penelitian terdahulu

No	Nama penulis	Judul penelitian	Hasil penelitian
1	Shinta Dwi Kasih (2018)	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan <i>Total Suspended Particulate</i> (TSP) pada Pekerja di Area <i>Stockpile</i> PT Kereta Api Logistik Kertapati	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi TSP yang dihasilkan pada ketinggian 18 meter di tiga titik yaitu 7,196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada titik pertama, 0,204 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada titik kedua, dan 0,119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada titik ketiga. Hasil menunjukkan bahwa pekerja di area stockpile PT Kereta Api Logistik Kertapati berisiko mengalami gangguan pernapasan.
2	R. Lorenzo, R. Kaegi, R. Gehrig, B. Grob��ty (2006)	Particle emissions of a railway line determined by detailed single particle analysis	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi TSP tertinggi didominasi oleh partikel 'besi', yang menyumbang 2,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau 67% terhadap PM_{10} yang berhubungan dengan kereta api. Selain itu, partikel 'aluminium' dan 'kalsium' juga menyumbang pada PM_{10} terkait kereta api (1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau 23% untuk 'aluminium' dan 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau 10% untuk partikel 'kalsium'). Partikel-partikel ini diasosiasikan dengan abrasi dari lapisan kerikil dan resuspensi debu mineral. Pengukuran konsentrasi TSP kereta api dilakukan pada tiga titik pengukuran, masing-masing berjarak 10, 36, dan 120m yang diukur.
3	Ashwin Kumar, Deepchandra Srivastava, Manish Agrawal,	Snapshot of PM Loads Evaluated at Major Road and	Studi pemantauan polusi udara ini menunjukkan bahwa terdapat konsentrasi massa partikel yang tinggi (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, dan PM_1) yang berasal dari berbagai sumber di persimpangan jalan utama dan jalur kereta api di Kanpur selama musim panas dan musim dingin tahun 2011. Ditemukan bahwa aktivitas konstruksi memberikan kontribusi yang signifikan terhadap muatan PM kasar

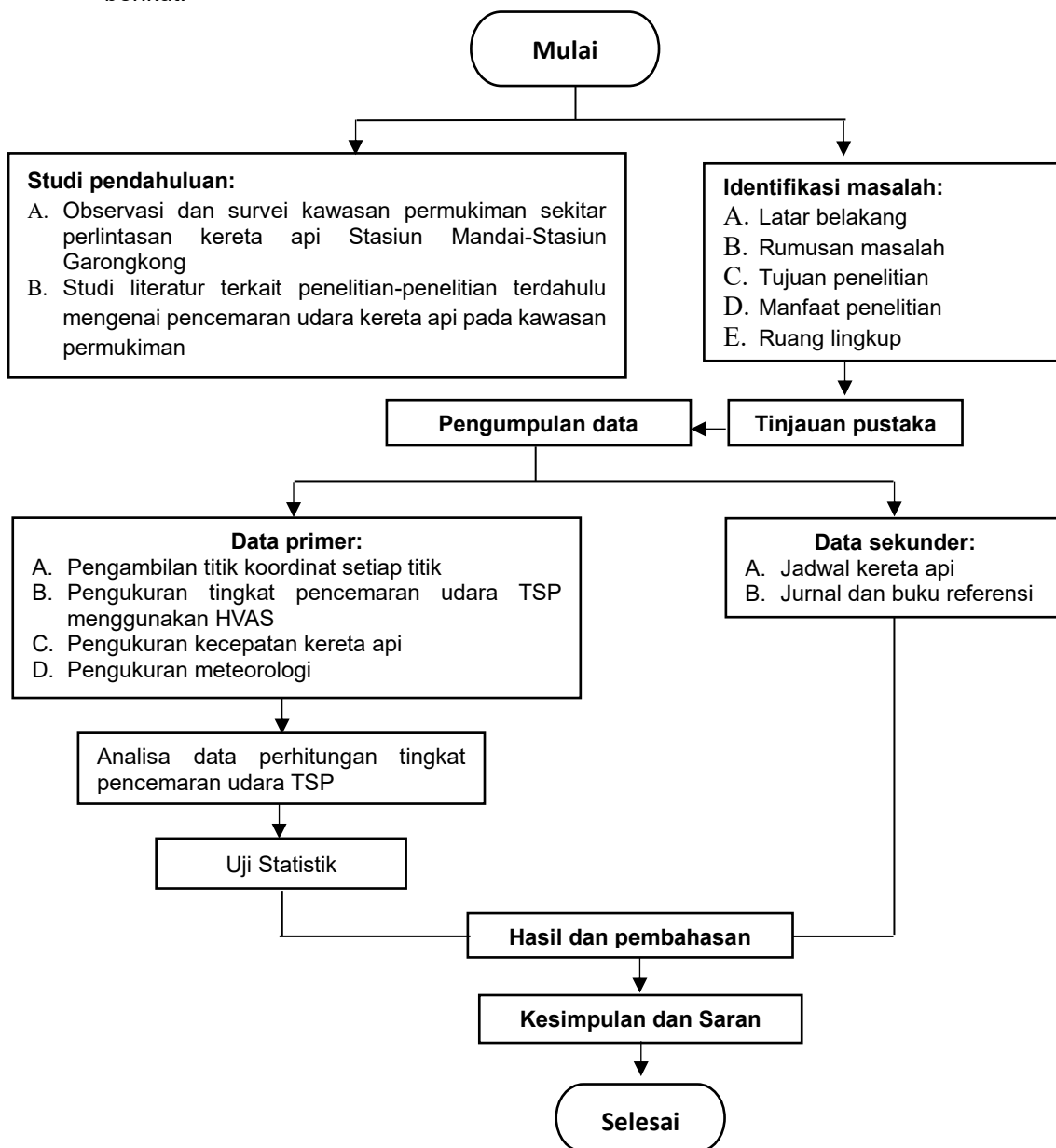
No	Nama penulis	Judul penelitian	Hasil penelitian
	dan Anubha Goel (2014)	Railway Intersections in an Urban Locality	di udara. Secara umum, kadar Total Suspended Particulate Matter (TSPM) dan PM ₁₀ lebih tinggi di area persimpangan kendaraan dan lokasi konstruksi. Dari tiga lokasi kereta api yang diteliti, Kalyanpur, yang juga dilalui oleh Kendaraan Berat, mencatatkan kadar PM ₁₀ tertinggi (1110 µg/m ³), PM _{2.5} (124 µg/m ³), dan PM ₁ (46 µg/m ³).
4	Abdul Samad, Anas Maali, Bernd Laquai and Ulrich Vogt (2021)	Particulate Matter Profiles along the Rack Railway Route Using Low-Cost Sensor	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi PM didominasi oleh partikel halus (PM _{2.5} dan PM ₁) di sepanjang rute kereta rack. Konsentrasi PM yang lebih tinggi diukur di dekat jalan raya dan area dengan lalu lintas tinggi dibandingkan dengan area perumahan. Kota Stuttgart terletak di sebuah lembah yang dikelilingi oleh perbukitan di tiga sisi dan memiliki topografi yang kompleks, yang memberikan pengaruh signifikan terhadap elemen iklim seperti radiasi, suhu, kelembapan, dan angin.

Sumber: Kajian pustaka (2024)

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Kerangka Penelitian

Berikut kerangka penelitian analisis konsentrasi TSP pada permukiman sekitar jalur kereta api Stasiun Barru yang akan digunakan dapat dilihat gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

2.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Kawasan pemukiman yang terletak pada Desa Tellumpocoe Kabupaten Maros dan Kelurahan Tuwung Kabupaten Barru. Penelitian ini dimulai dari studi literatur terkait konsentrasi TSP kereta api, persiapan peralatan pengukuran, dan persiapan lokasi titik pengukuran yang terdiri dari 2 titik. Kemudian pengumpulan data dalam hal ini pengukuran langsung di lapangan untuk mendapatkan data primer meliputi pengukuran konsentrasi TSP saat kereta api melintas pada lokasi pengukuran. Selain pengukuran konsentrasi TSP di lapangan, data primer lain berupa pengukuran volume kendaraan, kecepatan kereta api, dan data meteorologi. Pengukuran konsentrasi TSP menggunakan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan ketinggian alat 1 m dengan jarak 7 m dari rel kereta ke titik pengukuran. Pengukuran kecepatan kendaraan dan kereta api menggunakan *speed gun*, dan data meteorologi menggunakan *weather station*. Metode pengukuran konsentrasi TSP mengacu pada SNI 7119-3:2017 tentang pengukuran konsentrasi TSP dilakukan secara bersamaan dengan pengambilan data meteorologi

Data yang didapatkan untuk konsentrasi TSP adalah data setiap 1 jam per jadwal kereta. Pengukuran konsentrasi TSP dimulai 5 menit sebelum kereta melewati HVAS. Data tersebut dianalisis menggunakan perhitungan sesuai SNI, mengonversi data tersebut ke persamaan *canter*, membandingkan dengan baku mutu dan uji statistik.

2.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi dan waktu penelitian yang akan dilakukan diuraikan sebagai berikut.

2.3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini ditentukan setelah survei pendahuluan dilakukan bahwa jalur kereta api Stasiun Mandai – Stasiun Garongkong melewati beberapa kawasan permukiman di beberapa kelurahan/desa. Berdasarkan survei pendahuluan tersebut ditetapkan bahwa lokasi penelitian dilakukan pada kawasan permukiman sekitar jalur kereta api Stasiun Mandai di Desa Tellumpocoe Kabupaten Maros dan Stasiun Barru di Kelurahan Tuwung, Kabupaten Barru. Pemilihan lokasi penelitian tersebut dengan alasan bahwa kawasan pemukiman di Kabupaten Maros dan Kabupaten Barru yang dilintasi oleh jalur kereta api dengan pemukiman yang dekat dengan jalur kereta api.

Pada jalur kereta api Stasiun Mandai memiliki rel yang sebidang dengan perlintasan kereta api dan minimnya pepohonan sehingga terdapat debu yang berada disekitar lokasi pengukuran. Rumah terdekat dari jalur kereta api Stasiun Mandai yaitu sepanjang 15 m dari rel. Pada jalur kereta api Stasiun Barru memiliki rel diatas jalan lokal dengan ketinggian 5 m dan memiliki rumput sepanjang pinggir rel. jarak dari rel ke pembatas *overpass* yaitu 7 m sebelah kiri dan 2 m sebelah kanan. Rumah terdekat dari jalur kereta api Stasiun Barru sepanjang 15 m dari rel.

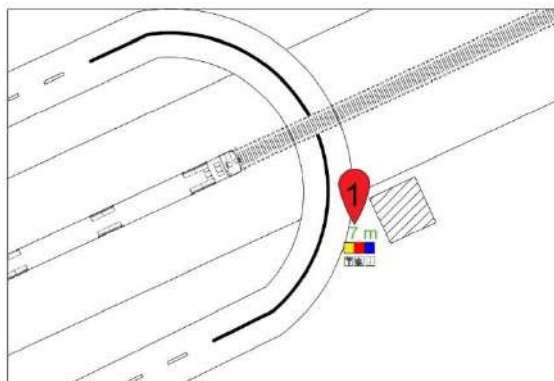
Untuk jumlah keseluruhan titik pengukuran sebanyak 2 titik pengukuran, dimana jalur kereta api Stasiun Mandai sebanyak 1 titik dan jalur kereta api Stasiun Barru sebanyak 1 titik. Pengukuran jalur kereta api berjarak 7 m. Penentuan titik

pengukuran tersebut berdasarkan pertimbangan kondisi lokasi yang sesuai dengan kriteria pengambilan data. Selain itu, titik pengukuran ini dilintasi kereta api yang berasal dari Stasiun Mandai menuju Stasiun Garungkong. Maka didasarkan dari tujuan penelitian ini untuk melihat seberapa besar tingkat konsentrasi TSP kereta api yang dihasilkan. Berikut lokasi titik pengukuran dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Lokasi 1 Pengukuran Pencemaran Udara TSP sekitar Stasiun Mandai

Sumber: Google Earth, 2024



Gambar 3. Lokasi 1 Sketsa Pengukuran Pencemaran Udara TSP jalur kereta api Stasiun Mandai

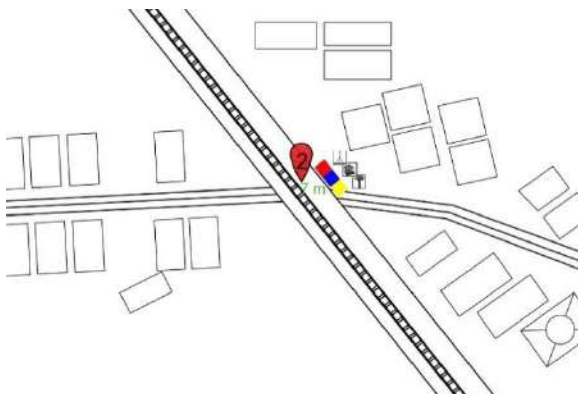
Keterangan:

- = HVAS
- = *Weather Station*
- = *Speedgun*
- = Titik pengukuran



Gambar 4. Lokasi 2 Pengukuran Pencemaran Udara TSP sekitar Stasiun Barru

Sumber: Google Earth, 2024



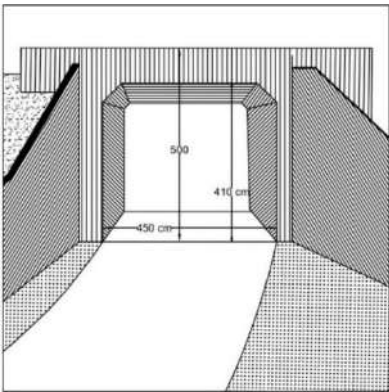
Gambar 5. Lokasi 2 Sketsa Pengukuran Pencemaran Udara TSP jalur kereta api Stasiun Barru

Keterangan:

- = HVAS
- = *Weather Station*
- = *Speedgun*
- = Titik pengukuran



Gambar 6. Lokasi *underpass* jalur kereta api Stasiun Barru



Gambar 7. Sketsa lokasi *underpass* jalur kereta api Stasiun Barru

Berikut jarak titik pengukuran tingkat konsentrasi TSP yang akan diukur menggunakan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Jarak Titik Pengukuran

Lokasi pengukuran	Jarak rel ke titik pengukuran (m)
Perlintasan OP Mandai	7
<i>Overpass</i> Jl. Pramuka	7

Sumber: Data Penulis (2024)

Adapun titik koordinat dari titik pengukuran dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2. Koordinat Titik Pengukuran

Titik Pengukuran	Koordinat Titik Pengukuran	
	Latitude	Longitude
1 (Perlintasan OP Mandai)	5° 2'54.37"S	119°31'53.85"E
2 (<i>Overpass</i> Jl. Pramuka)	4°24'20.83"S	119°37'45.01"E

Sumber: GPS Coordinate (2024)

2.3.1 Waktu penelitian

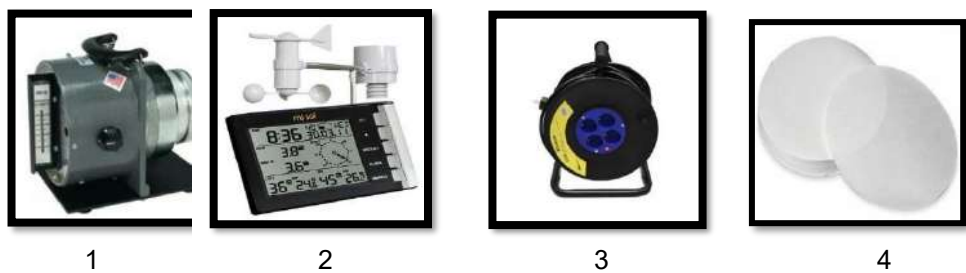
Waktu penelitian dalam hal ini pengambilan data dilakukan pada 11 Juli 2024 di Kabupaten Maros dan 15 Juli 2024 di Kabupaten Barru mulai pukul 07.00-18.00 WITA. Pengukuran konsentrasi TSP kereta api dilakukan 4 kali sesuai dengan jadwal kereta api melintasi lokasi pengukuran. Waktu lokasi pengukuran dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Waktu pengukuran

Tanggal Pengukuran	Titik pengukuran	Lokasi pengukuran	Waktu pengukuran
11 Juli 2024	Jalur kereta api Stasiun Mandai	Perlintasan OP Mandai	• Pukul 08.15-09.15
			• Pukul 12.35-13.35
			• Pukul 13.45-14.45
			• Pukul 17.15-18.15
15 Juli 2024	Jalur kereta api Stasiun Barru	Overpass Jl. Pramuka	• Pukul 09.15-10.15
			• Pukul 10.30-11.30
			• Pukul 14.35-15.35
			• Pukul 16.00-17.00

2.4 Alat Pengukuran

Alat pengukuran yang digunakan pada saat pengumpulan data terdiri dari beberapa peralatan antara lain sebagai berikut.





5



6



7



8



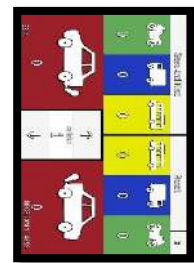
9



10



11



12



13



14

Peralatan yang digunakan pada saat pengumpulan data terdiri dari beberapa peralatan antara lain sebagai berikut:

1. *High Volume Air Sampler* (HVAS) sebagai alat untuk pengambilan sampel TSP di udara dengan pengaturan daya hisap udara (*air flow*) berkapasitas hingga $2\text{m}^3/\text{menit}$.
2. *Weather Stasion* merupakan alat untuk mengetahui kondisi meteorologi di lokasi sampel dengan parameter antara lain temperatur udara, kelembaban, curah hujan, arah angin, dan kecepatan angin. Data meteorologi dibutuhkan untuk menganalisis pola persebaran polutan di udara.
3. Kabel gulung 50 meter dan terminal kabel digunakan untuk menyambungkan sumber listrik sebagai sumber daya listrik HVAS.
4. *Quartz Fibrous Filter* (QFF) merupakan alat filterasi yang digunakan pada HVAS untuk menyaring partikulat yang dapat menyaring partikulat dengan ukuran hingga $1\text{-}2,5\ \mu\text{m}$.
5. Aluminium foil untuk melindungi sampel dari kontaminasi luar.

6. Pinset adalah alat yang digunakan untuk mengambil kertas filter agar tidak terkontaminasi.
7. Tripod adalah alat untuk menopang alat HVAS.
8. Payung berfungsi untuk melindungi alat HVAS dari hujan dan terik matahari.
9. *Speedgun* berfungsi untuk mengukur kecepatan kereta api yang melintas.
10. *Stopwatch* HP, berfungsi untuk menghitung lamanya waktu pengukuran serta waktu kereta melintasi lokasi pengukuran.
11. Rompi berfungsi sebagai atribut untuk peneliti agar dikenali oleh pengendara.
12. *Traffic counter* berfungsi untuk menghitung volume kendaraan dan bunyi klakson saat pengukuran.
13. *Walking Distance Meter* berfungsi untuk mengukur jarak antar titik pengukuran dengan sumber suara.
14. *Global Positioning System (GPS) Coordinates* berfungsi untuk mengetahui koordinat lokasi dan titik pengukuran.

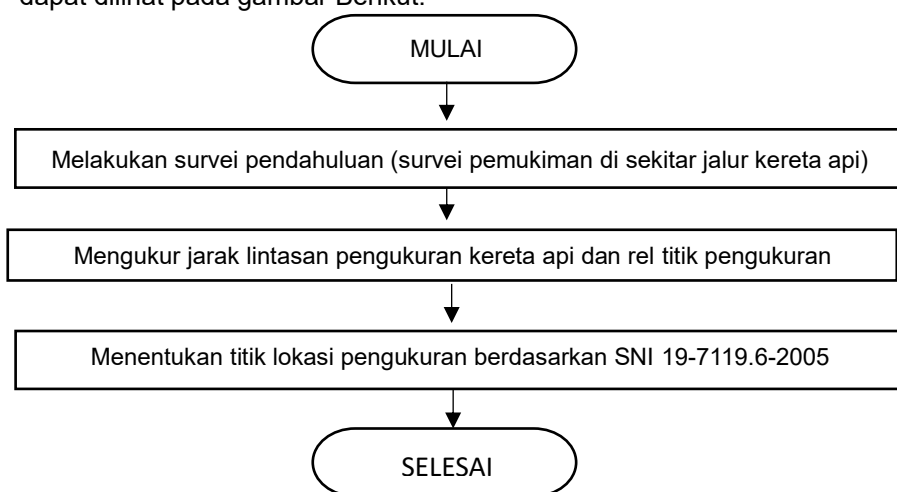
2.5 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data penelitian dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara langsung dan secara tidak langsung. Uraian terkait metode pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder antara lain sebagai berikut.

1. Persiapan

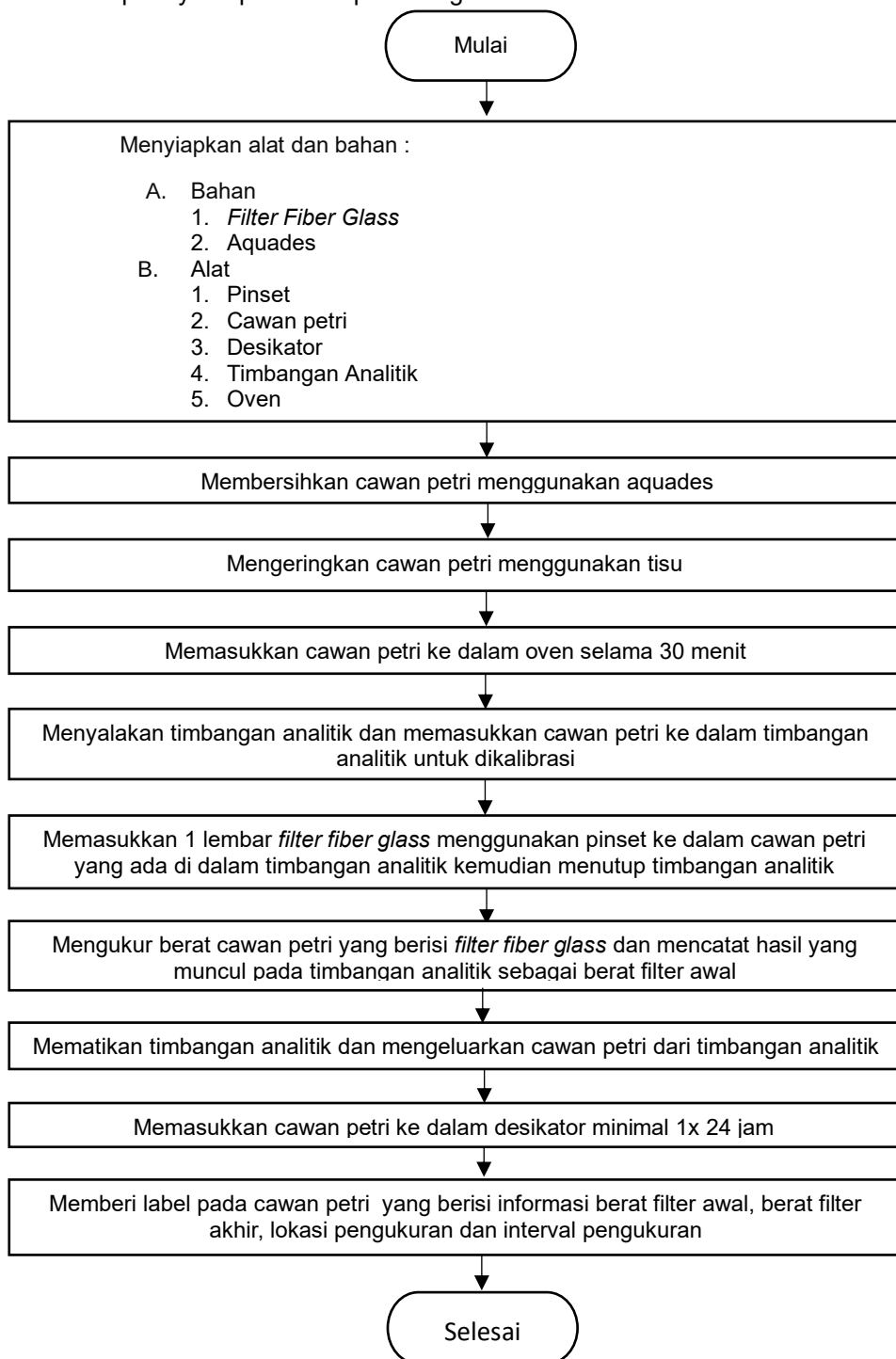
Tahap persiapan terbagi menjadi persiapan penentuan lokasi pengukuran sebelum pengambilan data, dan persiapan alat untuk pengambilan data konsentrasi TSP sebagai berikut:

- a. Pada penelitian ini dimulai penentuan titik lokasi yang akan digunakan untuk pengambilan data konsentrasi TSP. tahapan penentuan lokasi dapat dilihat pada gambar Berikut.



Gambar 8. Diagram alir tahapan penentuan titik lokasi pengukuran

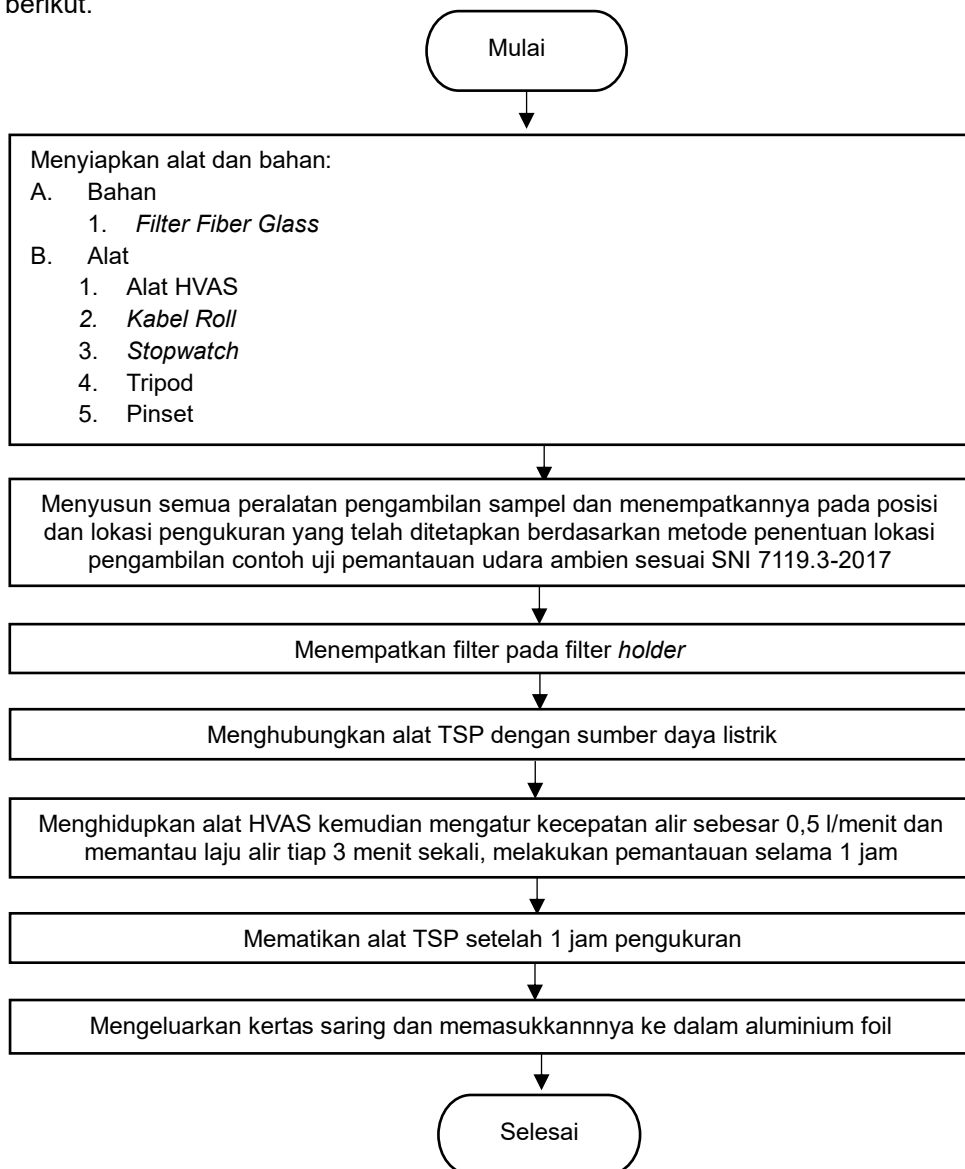
- b. Setelah melakukan penentuan titik pengukuran dilanjutkan dengan menyiapkan kertas saring sebelum melakukan pengukuran. Tahapannya dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Gambar 9. Diagram alir penimbangan kertas saring awal

2. Pengambilan data konsentrasi TSP dengan HVAS

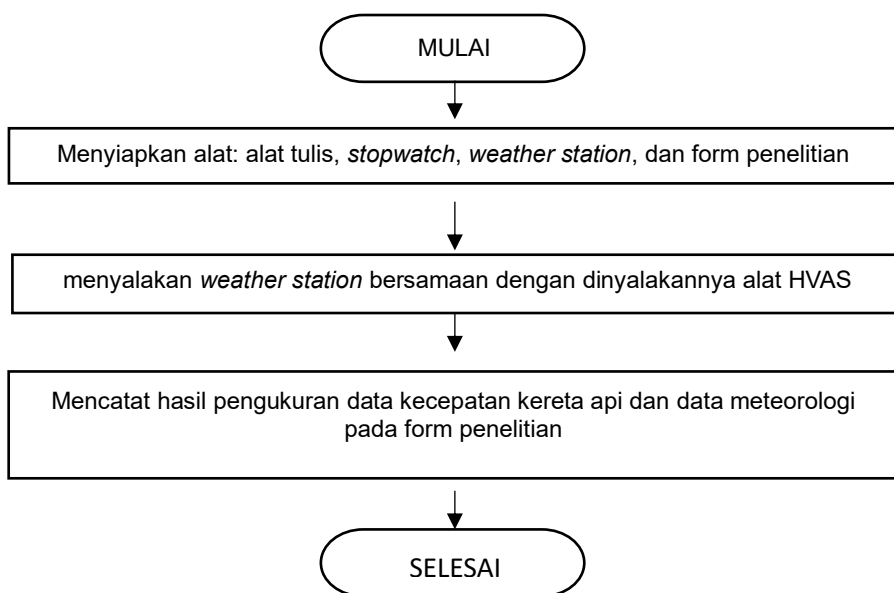
Pengukuran konsentrasi TSP menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS) pengukuran dilakukan sesuai dengan SNI 7119-3:2017 tentang Cara Uji Partikel Tersuspensi Total menggunakan Peralatan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan Metode Gravimetri. Pengukuran dilakukan selama 2 hari dan periode waktu dilakukan selama 4 interval. waktu pengukuran dilakukan 1 jam setiap 4 interval. Adapun tata cara pengukurannya sebagai berikut.



Gambar 10. Diagram alir pengambilan data konsentrasi TSP

3. Pengambilan data volume kendaraan, kecepatan kereta api dan data meteorologi

Data volume kendaraan, kecepatan kereta api dan meteorologi diambil bersamaan dengan dimulainya pengukuran konsentrasi TSP. Adapun Adapun pengukuran data kendaraan yang melalui titik pengukuran dibedakan berdasarkan jenisnya diantara lain sepeda motor, kendaraan ringan (mobil), kendaraan berat (truk/bus) dan kereta. Pengukuran data meteorologi dibedakan berdasarkan kecepatan angin, suhu, kelembaban, dan tekanan atmosfer. Metode pengambilan data kecepatan kereta api dan meteorologi disajikan dalam gambar berikut.



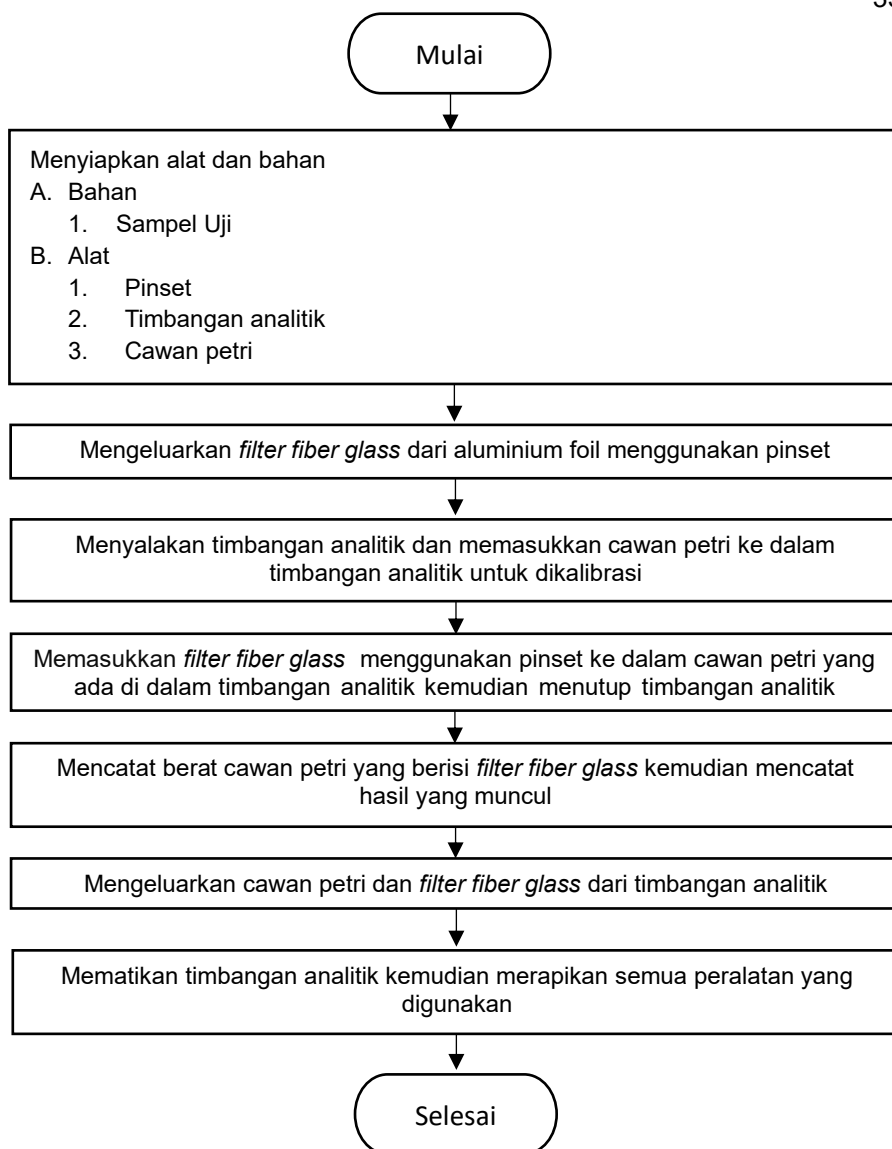
Gambar 11. Diagram alir pengambilan data TSP

2.6 Metode Analisa Data

Pada tahapan ini terdiri dari beberapa analisis data yang digunakan dan dapat diuraikan dibawah ini sebagai berikut.

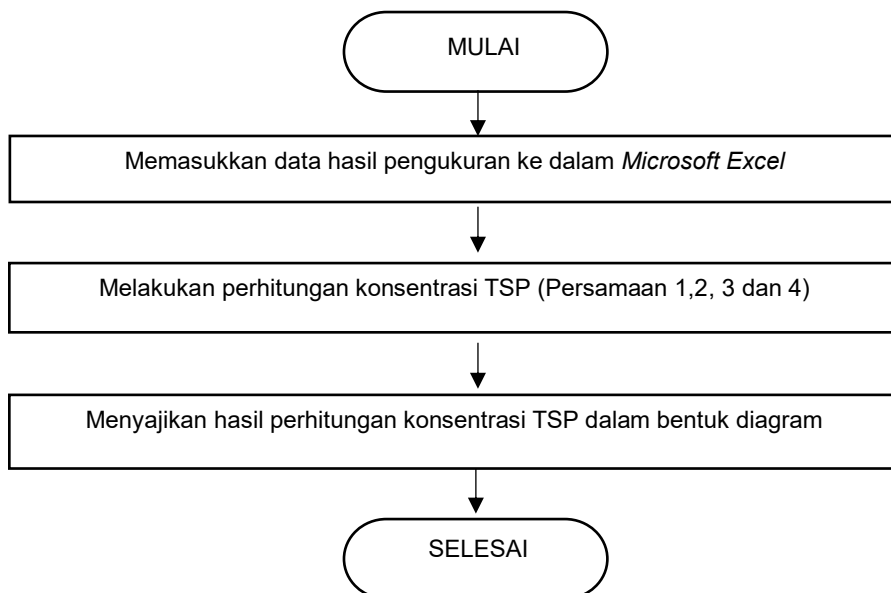
2.6.1 Analisis konsentrasi TSP

Setelah melakukan pengumpulan data konsentrasi TSP menggunakan HVAS, kertas filter yang digunakan akan ditimbang menggunakan neraca analitik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi TSP. Adapun tahapann dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 12. Diagram alir penimbangan kertas saring setelah pengukuran

Setelah melakukan penimbangan kertas saring, dilakukan pengolahan data di *Microsoft Excel*. Adapun tahapannya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 13. Diagram alir pengolahan data TSP

1.2.1 Uji statistik

Adapun langkah-langkah melakukan uji *Paired Sample T-Test* dalam program SPSS adalah sebagai berikut:

1. Menginput data yang akan dianalisis
2. Klik *Analyze>Compare Means>Paired Sample T-Test*
3. Selanjutnya akan muncul kotak dialog dengan nama *Paired Sample T-Test*, pindahkan data yang akan diuji pada masing-masing kolom variabel
4. Kemudian klik OK, maka hasil pada *output* program SPSS akan muncul

Adapun langkah-langkah melakukan uji normalitas dalam program SPSS adalah sebagai berikut:

1. Menginput data yang akan dianalisis
2. Klik *Analyze>Descriptive Statistisc>Explore*
3. Masukkan data yang akan diuji dalam *Dependent List*
4. Klik menu *Options>Exclude cases listwise>Continue*
5. Klik menu *Statistics>Descriptive>Continue*
6. Klik *Plots* kemudian centang *Normality Plots With Tests*
7. Kemudian klik OK, maka hasil pada *output* program SPSS akan muncul

Adapun langkah-langkah melakukan uji korelasi pearson dalam program SPSS adalah sebagai berikut:

8. Menginput data yang akan dianalisis
9. Klik *Correlate>Bivariate*
10. Selanjutnya akan muncul kotak dialog dengan nama *Bivariate Correlation*, pindahkan data yang akan diuji pada masing-masing kolom variabel
11. Kemudian klik OK, maka hasil pada *output* program SPSS akan muncul