

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Lingkungan

Manusia yang hidup di bumi ini membutuhkan kondisi lingkungan yang bersih dan sehat sehingga mampu menopang kehidupan secara berkelanjutan. Pada tahun 2024, banyak isu lingkungan yang menurunkan daya dukung lingkungan itu sendiri, seperti di region Jawa terdapat beberapa isu lingkungan hidup yang menjadi prioritas untuk ditangani yaitu keberadaan sampah, alih fungsi lahan, pencemaran air dan udara, kesehatan masyarakat serta bencana (Fardiaz, 1992). Isu lingkungan yang timbul saat ini sangat erat kaitannya dengan pembangunan itu sendiri. Pembangunan yang memiliki tujuan untuk kesejahteraan rakyat, mempermudah memenuhi segala kebutuhan dan dapat menaikkan tingkat ekonomi, namun di lain pihak pembangunan tidak hanya menguntungkan manusia tetapi juga merugikan lingkungan. Seyogyanya untuk meraih tujuan pembangunan harus dibarengi dengan pengelolaan lingkungan hidup yang terencana dan terukur, agar pembangunan dapat berjalan dan pencemaran lingkungan yang terjadi dapat ditekan.

Konferensi Stockholm 1972, sebagai konferensi dunia pertama yang membahas tentang isu lingkungan sebagai isu utama, dan negara-negara di seluruh dunia termasuk Indonesia, mengadopsi dan memberikan resolusi melalui serangkaian prinsip pengelolaan lingkungan hidup yang baik. Indonesia memiliki perangkat peraturan pertama yang mengatur lingkungan hidup pada tahun 1982 yaitu Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup yang sudah direvisi dengan Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sampai saat ini pengaturan perundang-undangan terus berkembang sesuai dengan isu lingkungan terkini dan saat ini telah terbit Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Pada Undang-undang tersebut, pencemaran lingkungan hidup didefinisikan sebagai "masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu." Polusi,

juga dikenal sebagai pencemaran, adalah suatu kondisi yang telah berkembang dari kondisi sebelumnya ke kondisi yang lebih buruk.

Pencemaran timbul karena adanya bahan pencemar atau polutan yang masuk. Polutan atau zat pencemar sebagai penyebab pencemaran lingkungan memiliki sifat zat atau bahan yang melebihi ambang batas/nilai normal, berada pada lokasi yang tidak semestinya dan berada pada waktu yang tidak tepat. Polutan memiliki 3 (tiga) wujud yaitu a) polutan padat seperti kertas, besi, logam, plastik, dan lain-lain, b) polutan cair seperti detergen, tumpahan minyak, dan lain-lain, dan c) polutan gas seperti metana, karbon monoksida dan lain-lain (Lumeno & Lily, 2016). Bahan-bahan seperti bahan kimia, debu, panas, dan suara adalah contoh bahan pencemar lingkungan yang dapat menyebabkan lingkungan menjadi tidak berfungsi dengan baik dan pada akhirnya dapat merugikan manusia, tumbuhan, hewan dan rusaknya benda-benda/ material.

2.2 Pencemaran Udara

Udara adalah kumpulan atau pencampuran berbagai gas yang ada di permukaan bumi yang terdiri sekitar 78% nitrogen, 21 oksigen dan 1% adalah gas lainnya. Gas lainnya dapat berupa 0,93% argon, 0,032% karbondioksida, dan gas mulia lainnya terdapat di atmosfer termasuk dalam komposisi Udara (H. Wardhana & Haryanti, 2017). Udara dianggap tercemar atau kualitas udara menurun jika komposisinya berubah akibat penurunan atau peningkatan konsentrasi gas tertentu, penambahan unsur lain dengan konsentrasi tertentu sehingga mengganggu keseimbangan komposisi, seperti partikel asap atau debu.

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 19 Tahun 2017, “Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan”. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran udara adalah masuknya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan. Sumber pencemar

udara adalah setiap kegiatan manusia yang mengeluarkan pencemar udara, termasuk zat, energi, dan/atau komponen lainnya.

Di Indonesia, pencemaran udara menjadi salah satu masalah lingkungan, utamanya di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Semarang, Bandung, dan Medan. Kualitas udara di beberapa wilayah Indonesia telah menurun sebagai akibat dari berbagai aktivitas manusia, seperti aktivitas pabrik, pembangkit listrik batu bara, dan emisi gas dari kendaraan bermotor. Kehadiran bahan atau zat asing di dalam udara dalam jumlah tertentu dan waktu yang cukup lama dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan binatang (Wardhana, 2004).

Simanjuntak (2007) dalam Yusrianti (2015), mendefinisikan pencemaran udara terbagi menjadi dua jenis sumber, yaitu:

1. Pencemaran yang bersumber dari alami (natural sources), seperti letusan gunung berapi;
2. Pencemaran yang bersumber dari kegiatan manusia (anthropogenic sources), seperti emisi pabrik, transportasi, dan lainnya.

Pencemaran udara dapat terjadi di mana saja, seperti di dalam rumah, sekolah, dan kantor. Pencemaran dalam ruangan biasanya disebut sebagai pencemaran dalam ruangan. Pencemaran di luar ruangan berasal dari industri, perkapalan, emisi kendaraan bermotor, dan proses alami oleh makhluk hidup. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, sumber pencemar udara adalah setiap kegiatan manusia yang mengeluarkan pencemar udara ke dalam udara ambien, sedangkan emisi adalah pencemar udara yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang masuk dan/atau memasukkannya ke dalam udara, yang memiliki atau tidak potensi untuk mencemari udara. Sumber emisi dikelompokkan berdasarkan standar mutu yang telah ditetapkan, menjadi:

1. Sumber emisi bergerak: meliputi produk dari usaha dan/atau kegiatan dalam industri kendaraan; penggunaan transportasi darat; dan penggunaan alat berat.
2. Sumber emisi yang tetap di lokasi disebut sebagai sumber emisi tidak bergerak. Mukono (2011) juga mengatakan bahwa sumber pencemaran udara tidak bergerak. Industri yang memiliki cerobong asap adalah salah satu contohnya.

Salah satu penyebab pencemaran udara adalah penggunaan kendaraan sebagai sarana pengangkutan untuk memindahkan barang atau manusia dari satu tempat ke tempat lainnya. Kendaraan tersebut mengeluarkan emisi dalam bentuk partikulat. Partikulat yang dikeluarkan kendaraan dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu emisi gas buang dan emisi bukan gas buang.

Saat ini banyak teknologi yang dikembangkan untuk pengendalian emisi gas buang kendaraan,. Bahkan saat ini terdapat kebijakan penggunaan bahan bakar non fosil (listrik) yang sedang marak dikembangkan sebagai salah satu upaya dalam menurunkan emisi dan polusi udara. Oleh karena itu, dapat diperkirakan bahwa proporsi emisi gas buang kendaraan bermotor akan terus menurun di masa depan. Namun emisi bukan gas buang juga perlu diperhatikan, seperti emisi non-knalpot (keausan kampas rem dan keausan ban, dll.) yang secara bertahap akan meningkat. (Zhang et al., 2023).

2.3 Industri Semen

Industri semen merupakan salah satu industri yang strategis dalam mendukung infrastruktur pembangunan yang mengubah bahan baku gamping, tanah liat, dan bahan penolong lainnya menjadi barang jadi berupa padatan semen.

Bahan baku utama produksi semen adalah batu kapur dan tanah liat. Ada 5 (lima) tahap pada industri semen yaitu penambangan, penghancuran-penggilingan-pencampuran, klinker, pendinginan dan penggilingan akhir, dan pengepakan-pengiriman. Semen diproduksi melalui batu kapur (CaCO_3) yang dipanaskan dengan alumina (Al_2O_3), silika (SiO_2), dan oksida besi (Fe_2O_3) dalam tanur dan membentuk klinker. Untuk memproduksi semen, klinker digiling menjadi bubuk halus dan dicampur dengan gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Beberapa versi campuran semen disiapkan dengan menambah kekuatan, daya tahan, waktu pengerasan, dan sifat khusus lainnya yang bervariasi dengan menambahkan campuran, bahan pozolan, dan aditif lainnya (Venkata Sudhakar & Reddy, 2023).

Merujuk pada Semen portland SNI 15-2049-2004, bahwa terdapat 5 jenis semen Portland, yaitu:

1. Jenis I, semen Portland yang digunakan secara umum dan tidak memerlukan persyaratan khusus. Jenis semen ini biasa dikenal dengan *Ordinary Portland*

Cement (OPC), jenis semen yang sering digunakan untuk berbagai jenis konstruksi bangunan. Sebagian besar pengiriman dengan truk bulk dengan kapasitas mulai dari 30 Ton.

2. Jenis II, semen Portland yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang. Semen ini digunakan sebagai material bangunan di daerah-daerah pinggir laut, tanah rawa, dermaga, saluran irigasi dan bendungan untuk konstruksi umum, pasangan batu bata, paving blok, plesteran & acian (memiliki keunggulan dalam hal *workability* yang lebih baik). Semen PCC tersedia dalam bentuk kemasan 40 kg dan 50 kg.
3. Jenis III, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan. Jenis semen ini biasa digunakan untuk pembangunan jalan raya bebas hambatan, bangunan tingkat tinggi, jalan raya beton, bandar udara dan bangunan lain yang kurang memerlukan ketahanan asam sulfat.
4. Jenis IV, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah. Jenis semen ini biasa digunakan untuk pembangunan lapangan udara.
5. Jenis V, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Jenis semen ini biasa digunakan untuk bangunan yang berada di pesisir pantai dekat dengan air pantai, rawa-rawa, kawasan tambang, seperti bendungan, pelabuhan dan konstruksi dalam air

Di pasaran, sering dikenal dengan 3 jenis semen yaitu *Ordinary Portland Cement* (OPC), *Portland Composite Cement* (PCC) yang memiliki karakteristik secara luas sebagai bahan pengikat tersedia dalam bentuk kemasan 40 kg dan 50 kg dan *Portland Pozzoland Cement* (PPC) yang menggabungkan semen portland dengan bahan pozzoland.

Dampak negatif yang timbul akibat industri semen adalah emisi dan partikulat yang menjadi salah satu kontributor dalam perubahan iklim dan pemanasan global (Samdariya et al., 2021). Zat pencemar sebagai dampak negatif pabrik semen adalah limbah padat, air limbah, emisi udara, kebisingan dan limbah bahan bakar. Industri semen yang mengeluarkan emisi udara dan partikulat lainnya dapat menyebabkan hujan asam, pemanasan global, gangguan kesehatan, penurunan hasil

panen, maupun penurunan keanekaragaman hayati. Selain itu debu dihasilkan dari beberapa proses industri semen diantaranya proses pengemasan dan penyimpanan, kendaraan pengangkut, dan peralatan penggilingan (Zhu et al., 2022).

2.4 TSP (Total Suspended Particulate)

Polusi udara partikulat didefinisikan oleh *Environmental Protection Agency (EPA)* Amerika Serikat sebagai kombinasi partikel padat dan cair yang terkonsentrasi di udara. TSP mencakup partikel di udara dengan diameter $> 10\mu\text{m}$ (mikrometer). Pekerjaan tanah, konstruksi, dan jalan dapat melepaskan TSP, begitu pula pembakaran bahan bakar seperti kayu dan batu bara (untuk pemanas rumah dan industri) serta bensin solar (untuk mobil) (Mukono, 2011). Garam laut, debu, serbuk sari, asap (dari kebakaran hutan), dan abu vulkanik merupakan sumber alami TSP. Materi partikulat di udara merupakan campuran kompleks zat organik dan anorganik, dengan rentang diameter yang luas, dari $<0,1\mu\text{m}$ hingga sekitar $100\mu\text{m}$.

European environment agency mendefinisikan total suspension particulate matter (TSP) terdiri dari partikel padat dan cair di udara dengan diameter kurang dari $100\mu\text{m}$. Berdasarkan ukurannya, partikulat sering dibagi menjadi dua kelompok utama:

1. Fraksi kasar merupakan partikulat dengan ukuran berkisar $2,5$ sampai $10\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$). Bahan kristal tanah dan debu yang beterbangan dari jalan raya dan industri biasanya merupakan sumber partikel yang lebih besar.
2. Fraksi halus merupakan partikulat dengan ukuran hingga $2,5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), disebut partikel ultrafine, dan mengandung aerosol yang terbentuk sekunder (gas yang berubah menjadi partikel), partikel pembakaran, dan uap yang terkondensasi ulang dari logam dan organik. Sebagian besar massa partikel fraksi halus terdiri dari partikel dengan diameter antara $0,1$ dan $0,5\mu\text{m}$.

Sumber utama partikel primer adalah proses industri, lalu lintas jalan raya, pembangkit listrik, pembakaran rumah tangga (batu bara, kayu, dan lain-lain), pembakaran, dan resuspensi debu jalan dan konstruksi. Partikel-partikel tersebut dihilangkan dari atmosfer melalui pengendapan basah dan kering. Debu merupakan salah satu parameter untuk menentukan seberapa baik kualitas udara pada suatu

wilayah. Beberapa jenis pencemar partikulat udara adalah TSP (*Total Suspended Particulate*), yang memiliki diameter di bawah 100 μm ; PM10 (*particulate matter*) memiliki diameter di bawah 10 μm ; dan PM2,5 memiliki diameter di bawah 2,5 μm (Purnamasari, 2013).

European environment agency (2020) menyatakan bahwa efek kesehatan jangka pendek dari paparan gabungan SO_2 , asap hitam, dan partikulat meliputi peningkatan mortalitas, morbiditas, dan defisit fungsi paru-paru. Beberapa tingkat "efek terendah yang teramati" untuk paparan jangka pendek terhadap materi partikulat adalah: mortalitas berlebih $\sim 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (asap); peningkatan morbiditas pernapasan akut (dewasa) $\sim 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (asap); penurunan fungsi paru-paru (anak-anak) $\sim 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (total partikulat tersuspensi)/110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (partikel toraks). Tingkat asap hingga 1.500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ terjadi pada kabut asap London tahun 1952. Dampak lingkungan lainnya termasuk pengotoran permukaan yang terbuka, penurunan visibilitas, potensi perubahan iklim dan kontribusi terhadap pengendapan asam. TSP dapat berasal dari berbagai sumber, seperti kendaraan, aktivitas konstruksi, dan pembangkit tenaga listrik (Rochimawati, 2014).

Komponen utama polusi udara menurut IARC (*International Agency for Research on Cancer*) (2013) terdiri atas partikulat yang dapat menyebabkan risiko kanker paru-paru dan berakhir pada kematian. Pada tahun 2010, polusi udara partikulat di seluruh dunia menyebabkan 139.000 kematian (9% dari seluruh kematian akibat kanker paru-paru) dan di Cina diperkirakan 223.000 kematian, yang merupakan hampir 15% dari seluruh kematian akibat kanker paru-paru (Loomis et al., 2013).

TSP dalam udara ambien mengalami peningkatan seiring dengan banyaknya aktivitas kendaraan di suatu wilayah. Seperti halnya penelitian yang dilakukan Setiani & Fikri (2020) bahwa kadar TSP di Jalan Siliwangi meningkat sebagai akibat dari jumlah mobil yang melewati. Konsentrasi TSP rata-rata lebih tinggi pada daripada pada akhir minggu dibandingkan pengukuran tengah minggu yang disebabkan jumlah kendaraan yang melintasi pada pengukuran akhir minggu lebih sedikit daripada pada pengukuran tengah minggu (Prilila et al., 2016). Suhu, kelembaban, dan kecepatan angin adalah faktor lain yang mempengaruhi perubahan konsentrasi TSP selain banyaknya kendaraan bermotor (Rahmadini et al., 2015)

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, partikulat debu di bawah $100\ \mu\text{m}$ (TSP) harus diukur sebagai parameter kualitas udara dengan waktu pengukuran 24 jam, sistem pengukuran aktif manual, dan baku mutu $240\ \text{g/m}^3$. Dalam jumlah rendah, TSP tidak berbahaya; namun, jika berada dalam udara ambien melebihi baku mutu, akan menyebabkan dampak yang serius, beragam, dan berbahaya. TSP di udara akan mempengaruhi kualitas tanah, hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Rochimawati (2014), bahwa kadar udara tanah memengaruhi konsentrasi TSP Ultisol 63,1%, Inceptisol 94,9%, Entisol 56,1%, dan Vertisol 97,0% pada tanah.

Partikel udara yang sangat kecil seperti debu, fume, dan asap adalah total partikel tersuspensi (TSP), juga dikenal sebagai total partikel tersuspensi, yang dihasilkan oleh pembakaran dan aktivitas manusia lainnya. Jika konsentrasi TSP lebih tinggi dari persyaratan baku mutu, lingkungan dan kesehatan makhluk hidup akan terkena dampak negatif (Oktaviani, 2018). Paparan TSP meningkatkan risiko penyakit pernafasan seperti ISPA, asma, efisema, penyakit jantung, dan penyakit paru-paru obstruktif kronis (PPOK) (Sundari, 2020).

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait konsentrasi TSP pada daerah industri dan jalur lalu lintas. Penelitian dilakukan Anwar et al (2019) bahwa TSP berada pada tingkat tertinggi sebesar $163,89\ \text{g/m}^3$ pada malam hari dan terendah sebesar $122,6\ \text{g/m}^3$ pada siang hari di permukiman sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkep. Namun, tingkat TSP ini masih di bawah batas yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan No.69 Tahun 2010, yaitu kurang dari $230\ \text{g/m}^3$. Paparan TSP menyebabkan batuk, dyspnea, bersin, dan dahak, serta efek jangka pendek seperti penurunan fungsi paru-paru dan batuk, dahak, dan sesak napas. Gejala pernapasan yang paling umum dilaporkan sebagai akibat paparan TSP adalah batuk, dyspnea, bersin, dan dahak (Nkhama et al., 2017).

Proses pemindahan dan pengangkutan material merupakan hal yang umum dalam proses industri, dan polusi debu merupakan emisi bergerak yang dipengaruhi kecepatan sumber debu itu sendiri dan kecepatan angin. Bahan baku atau bahan material yang sering digunakan pada proses industri seperti bubuk batu bara, bubuk aluminium, dan semen yang selama pengangkutan material tersebut menghasilkan

polusi debu. Difusi debu pada dasarnya gerakan partikel yang diinduksi aliran udara (angin).

2.5 Emisi Partikulat Dari Lalu Lintas Kendaraan

Emisi debu dari jalan beraspal dipengaruhi oleh *silt loading* yang ada di permukaan jalan serta berat rata-rata kendaraan yang melintasi jalan tersebut. *Silt Loading* (sL) mengacu pada massa material berukuran lanau (sama dengan atau kurang dari 75 μm secara fisik per satuan luas diameter) per satuan luas permukaan jalan.

Kuantitas emisi partikulat dari lalu lintas kendaraan di jalan beraspal kering dapat diperkirakan dengan menggunakan ungkapan empiris persamaan (1) :

$$E = K^b \cdot \left(\frac{sL}{2}\right)^{0,65} \times \left(\frac{W}{3}\right)^{1,05} \dots\dots\dots(1)$$

(Sumber referensi: US EPA 1998)

Dimana:

E = Jumlah emisi partikulat dari roda ban (g/km)

K^b = Kelipatan ukuran partikel

sL = Kadar debu di permukaan jalan (g/m²)

W = Berat rata rata kendaraan (ton)

Persamaan tersebut untuk perhitungan jumlah emisi yang mewakili berat rata-rata dari semua kendaraan yang melintas di jalan raya. Ukuran partikel untuk persamaan jalan beraspal dapat dilihat pada tabel (2.1).

Tabel 2. 1 Kelipatan Ukuran Partikel Untuk Jalan Beraspal

Partikel	K^b		
	g/VKT	g/VMT	lb/VMT
PM-2.5c	1.1	1.8	0.0040
PM-10	4.6	7.3	0.016
PM-15	5.5	9.0	0.020
PM-30d	24	38	0.082

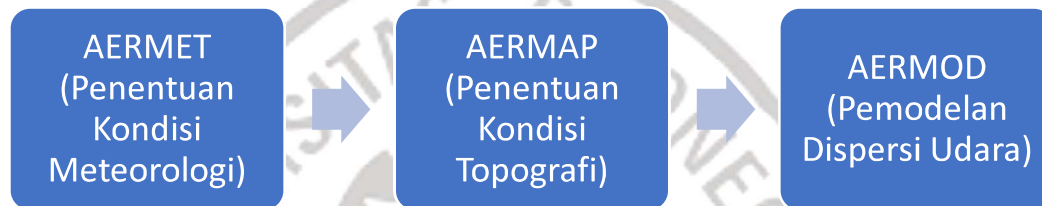
2.6 Simulasi Persebaran Emisi Partikulat Menggunakan AERMOD

Beberapa paket dispersi atmosfer Gaussian yang tersedia dan paling umum digunakan yaitu UK-ADMS, AERMOD, ISCST3, POLYPHEMUS, dan OML. Model AERMOD digunakan secara luas untuk penilaian kualitas udara karena kemampuannya secara akurat memprediksi dispersi polutan dari berbagai jenis sumber emisi (Snoun et al., 2023). *American Meteorology Society Environmental Protection Agency Regulatory Model* (AERMOD) merupakan perangkat lunak yang direkomendasikan oleh US EPA untuk simulasi kualitas udara adalah. Perangkat lunak ini berbasis model Gaussian plume (EPA, 2005). Software AERMOD menggunakan dispersi emisi gaussian, yang berarti sumber polutan akan menyebar ke arah samping dan vertikal saat plume bergerak mengikuti arah angin. Di garis tengah plume, konsentrasi polutan lebih tinggi dan di tepi plume lebih rendah. Semakin dekat ke ujung, semakin rendah.

Dengan menggunakan software AERMOD, pemodelan sebaran emisi partikulat dapat melihat penyebaran polusi di daerah perkotaan dan pedesaan, area datar dan medan yang kompleks, permukaan datar dan berelevasi, dan berbagai sumber, seperti titik, wilayah, dan sumber volume. Sistem pemodelan AERMOD, yang dikembangkan oleh US Environmental Protection Agency, adalah plume model baru yang menggabungkan dispersi udara berbasis struktur turbulensi lapisan batas udara atmosfer dan profil elevasi muka tanah.

AERMOD menghitung ketidakhomogenan vertical *Planetary Boundary Layer* (PBL) pada penyebarannya dengan mengubah parameter rata-rata kondisi udara sebenarnya ke parameter efektif yang setara dengan kondisi udara homogen. AERMOD, atau pre-prosesor meteorologinya, dapat menghitung parameter seperti kecepatan gesekan, skala kecepatan konvektif, skala suhu, tinggi pencampuran, dan aliran panas permukaan dengan menggunakan karakter permukaan dalam bentuk kekasaran permukaan dan rasio kecoklatan dalam kombinasi dengan pengamatan meteorologi standar (kecepatan angin, arah angin, suhu, dan awan). Pada simulasi model menggunakan software Lakes Environmental AERMOD View 8.9.0 secara garis besar dibagi menjadi beberapa langkah seperti pada Gambar 2.1. Sistem pemodelan AERMOD membutuhkan data masukan utama yaitu AERMET dan AERMAP serta data kondisi kegiatan lain di sekitar sumber emisi. AERMET (EPA,

2004b) merupakan pengolah data meteorologi, dan AERMAP (EPA, 2004c) merupakan pengolah data medan, sedangkan AERSURFACE (EPA, 2008) adalah data kondisi permukaan, dan BPIP-PRIME (EPA, 2004d) untuk memproses data dari bangunan dan penghalang di dekat titik emisi untuk menentukan gangguan terhadap peningkatan plume dan untuk mengevaluasi efek bangunan adalah komponen non-regulasi pada sistem AERMOD (Carbonell et al., 2010).



Gambar 2. 1 Alur Proses Simulasi AERMOD

Data meteorologi yang diperlukan oleh AERMOD disebut juga AERMET yang terdiri dari profil kondisi udara *surface profile* dan *upper air* data. Data-data parameter meteorologi ini dapat diperoleh dari <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form> dan <https://larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

Data meteorologi dari data satelit Badan Penerbangan dan Antariksa Nasional (NASA) mencakup data meteorologi per jam, sedangkan pada data meteorologi dari BMKG hanya mencakup data meteorologi per hari. Dalam pengolahan data meteorologi menggunakan AERMET dibutuhkan data meteorologi per jam, sehingga data meteorologi dari satelit NASA yang digunakan dalam pemodelan ini. *Windrose* pada wilayah studi perlu juga diperhatikan.

AERMAP menggunakan data wilayah yang memberikan kemampuan AERMOD untuk memproses data elevasi tanah atau ketinggian pengaruh wilayah dan menyimpannya dalam format Digital Elevation Model (DEM) (Cimorelli et al., 2005). Dengan pendekatan ini, AERMOD melakukan pemodelan perhitungan dispersi efek polutan pada permukaan yang datar dan permukaan yang memiliki ketinggian tertentu dengan kerangka kerja pemodelan yang sama. AERMAP dapat menggunakan data GTOPO30 DEM dengan jarak sampel 900 m menggunakan proyeksi Latitude/Longitude WGS atau SRTM (Shuttle Radar Topography

Mission) DEM dengan jarak sampel 90 m menggunakan proyeksi Lintang/Bujur (Carbonell et al., 2010). SRTM merupakan proyek internasional yang dipelopori oleh Badan Geospasial-Intelijen Nasional (NGA) dan Badan Penerbangan dan Antariksa Nasional (NASA) yang mengeluarkan basis data topografi digital beresolusi tinggi terlengkap di bumi.

Pemanfaatan lahan juga diperlukan pada pemodelan AERMOD yaitu dengan cara menginput data tutupan lahan. Data tersebut dapat diperoleh dari Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk memproses lapisan penggunaan lahan dan Aplikasi MSEXcel digunakan untuk menghitung rata-rata rasio Albedo - Bowen sebagai masukan untuk AERMET (Carbonell et al., 2010). AERMOD memperkirakan profil meteorologi dengan menggunakan pengukuran dan kesamaan parameter. Formulasi konsentrasi AERMOD mempertimbangkan efek dari variasi vertical yaitu angin, suhu, dan turbulensi. Profil-profil ini diwakili oleh nilai yang setara (efektif) secara rata-rata sesuai dengan lapisan yang dilalui yang bergerak dari sumber emisi ke reseptor.

Berikut ini adalah proses untuk fase permodelan yang dapat disimulasikan adalah:

- a. Data sekunder dari karakteristik sumber, reseptor, dan meteorologi
- b. Prapemrosesan data menurut ISCT3
- c. Input ke modul kontrol (CO), sumber (SO), reseptor (RE), meteorologi (ME), elevasi tanah (TG), dan keluaran (OU)
- d. Running model (kondisi normal)
- e. Memplot distribusi spasial model dispersi udara
- f. Evaluasi pada reseptor
- g. Evaluasi di emitor

2.7 Dispersi Polutan dan Faktor-Faktor Yang Berpengaruh pada Persebaran Debu.

Dispersi polutan di udara adalah penyebaran zat pencemar dari sumber emisinya ke atmosfer akibat faktor meteorologi dan karakteristik polutan itu sendiri. Proses dispersi polutan udara meliputi proses pengangkutan (transpor) dan pengenceran (difusi). Dispersi polutan menentukan seberapa jauh dan luas

pencemaran udara terjadi serta dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Polusi udara di atmosfer yang mengalami penyebaran dari sumber polutan adalah adanya perpindahan dari sumber polutan menyebar ke lingkungan, angin sebagai media perpindahan polutan tersebut disebut adveksi. Dalam perpindahannya, polutan mengalami penyebaran (dispersi) ke arah vertikal dan horizontal. Di atmosfer, terjadi pencampuran polutan dengan udara menyebabkan reaksi pengenceran terhadap senyawa lain. Reaksi kimia di atmosfer terjadi karena adanya beragam senyawa dan sumber energi utama, yaitu radiasi sinar matahari (Febriyanti, 2022).

Penyebaran polutan juga dipengaruhi oleh adveksi dan difusi yang mempengaruhi gerakan penyebaran polutan (Vallero, 2019). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi dispersi polutan, secara garis besar adalah karakteristik sumber emisi dan karakteristik atmosfer lokal. Karakteristik sumber emisi yang dimaksud merupakan karakteristik dari tempat polutan terdispersi ke udara. Kondisi atmosfer lokal seperti arah dan kecepatan angin juga berpengaruh dalam memindahkan massa udara ke arah horizontal, baik arah maupun jangkauan dari polusi tersebut.

Persebaran debu dari satu sumber menuju ke wilayah lain dipengaruhi beberapa faktor, yaitu faktor meteorologi dan kondisi topografi lahan. Meteorologi yang berperan penting dalam persebaran debu antara lain, suhu, kelembaban, curah hujan, arah dan kecepatan angin, sedangkan kondisi topografi lahan terkait dengan kondisi tata guna lahan, dan pemanfaatan lahan di sekitar sumber pencemar.

Faktor meteorologi yang mempengaruhi sebaran pencemaran udara adalah ;..

a. Curah Hujan.

Salah satu unsur iklim yang sangat penting untuk kehidupan di bumi ini adalah curah hujan. Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, banyaknya curah hujan dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Curah hujan satu milimeter (1 mm) berarti dalam luasan satu meter persegi tertampung air sebanyak satu liter (1 liter) atau tertampung air setinggi satu milimeter (1 mm), jika air tersebut tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer. Menurut Bayong,

2004, curah hujan berperan sebagai pencuci atmosfer dan mengurangi penyebaran pencemar di atmosfer.

Air hujan adalah pelarut dan bisa melarutkan pencemar di udara. Menurut Czarnecka, 2007 bahwa peningkatan presipitasi cenderung menurunkan konsentrasi materi partikulat di udara karena Presipitasi memiliki efek *washing out* atau *scavenging*, di mana partikel tersuspensi seperti TSP dicuci dari atmosfer saat hujan turun. Konsentrasi TSP cenderung lebih rendah pada hari-hari dengan curah hujan yang lebih tinggi, namun presipitasi tidak terlalu berpengaruh terhadap Total Suspended Particulates (TSP) dibandingkan dengan PM₁₀. Hujan lebih efektif dalam membersihkan PM₁₀ karena partikel yang lebih kecil dapat larut dalam tetesan air atau terbawa ke tanah dengan lebih mudah. Partikel TSP yang lebih besar sering kali tidak bertahan lama di atmosfer, sehingga pengaruh presipitasi dalam menghilangkannya relatif lebih kecil.

b. Suhu.

Suhu adalah ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda atau lingkungan yang disebabkan oleh energi kinetik partikel-partikel di dalamnya. Konsentrasi partikel padat (PM) di udara meningkat ketika suhu udara menurun. Pada udara dingin, atau suhu udara yang menurun pada suatu wilayah bisa memerangkap pencemaran akibatnya kandungan pencemaran menjadi meningkat. Sebaliknya peningkatan suhu dapat menjadi katalisator atau membantu mempercepat reaksi kimia perubahan suatu polutan udara.

Pada musim kemarau dimana keadaan udara lebih kering dengan suhu udara yang cenderung tinggi dan kecepatan angin rendah maka polutan udara di musim ini cenderung tinggi disbanding pada saat musim hujan, karena musim kemarau tidak terjadi pengenceran polutan di udara. Hal ini karena penurunan suhu mengurangi dispersi polutan di udara, yang meningkatkan konsentrasi partikulat di udara (Sukmawati, 2023).

c. Kelembaban.

Kelembaban udara adalah jumlah uap air yang terkandung di dalam udara. Sedangkan Kelembapan relatif adalah jumlah uap air sebenarnya dalam udara dibandingkan dengan jumlah uap air ketika udara jenuh di suhu yang sama, dalam satuan persen.

Hubungan kelembaban dengan partikulat (PM) adalah searah, bahwa semakin tinggi kelembaban udara maka konsentrasi Particulate Matter (PM) di udara juga semakin besar. Jika kelembaban tinggi, partikel debu akan menyerap uap air sehingga menjadi lebih berat dan lebih mudah jatuh ke tanah, namun sebaliknya, jika kelembaban rendah (udara kering), debu lebih mudah terangkat dan bertahan lebih lama di udara.

Kelembaban udara tinggi dapat menyebabkan terjadinya dispersi udara menjadi lebih lambat karena banyaknya uap air di udara akan menyebabkan aliran udara melambat secara horizontal maupun vertikal sehingga kadar PM₁₀ akan mengalami peningkatan. Hubungan kelembaban udara dengan TSP juga ditunjukkan pada penelitian Nuryanto (2021) di Sorong pada periode Januari – Juli 2019, ketika kelembaban naik maka suspended particulate juga ikut naik dan sebaliknya. Hal ini dikarenakan ketika adanya kenaikan kelembapan memicu pembentukan radikal hidroksil. Pada kondisi tersebut oksigen di udara bereaksi dengan air kemudian akan memproduksi produk akhir berupa partikel sekunder, sehingga partikel tersebut memicu terjadinya peningkatan konsentrasi suspended particulate.

d. Arah dan kecepatan angin

Kecepatan angin adalah ukuran seberapa cepat udara bergerak di suatu lokasi dalam satuan waktu. Biasanya diukur dalam meter per detik (m/s) atau kilometer per jam (km/h). Kecepatan angin dapat membawa polutan ke segala arah sehingga bisa terjadi pencemaran udara bagian daerah lain. Semakin tinggi kecepatan angin, semakin cepat polutan menyebar dan terdilusi ke area yang lebih luas. Di wilayah perkotaan, kecepatan angin cenderung melambat karena banyaknya bangunan-

baangunan dan gesekan yang lebih besar pada aliran udara. Ketika kecepatan angin meningkat maka konsentrasi partikulat juga ikut meningkat, hal ini dikarenakan sumber pencemar atau partikulat tidak hanya terbawa dari perkotaan tetapi kemungkinan bisa terbawa dari daerah yang lebih jauh lagi.

Arah angin menunjukkan dari mana angin berat yang dinyatakan dalam derajat atau berdasarkan arah mata angin (utara, selatan, timur, barat). Arah angin menentukan ke mana polutan bergerak dari sumber emisinya. Polutan dapat berpindah ke daerah yang jauh dari sumbernya jika angin berhembus dengan konstan ke satu arah.

Arah dan kecepatan angin merupakan dua parameter meteorologi yang sangat penting dalam penyebaran polutan. Partikel polutan akan bergerak sesuai pergerakan arah angin, pergerakan angin yang kuat dapat menciptakan turbulensi yang kuat pula sehingga akan terjadi pencampuran polutan dengan udara di sekitarnya yang menyebabkan konsentrasi polutan menjadi kecil. Kecepatan angin lebih dari 5 m/s dianggap sebagai kondisi maksimum yang mengganggu terhadap *suspended particulate*, dimana konsentrasi *suspended particulate* akan mencapai 4 kali lebih banyak dari sebelumnya (Nuryanto, 2021)

2.8 Dampak Partikulat Debu, Total Suspended Particulate

Konsentrasi TSP yang melebihi ambang batas standar kualitas udara yang ditetapkan, dapat mengakibatkan berbagai dampak negatif yang serius, baik terhadap kesehatan manusia, perekonomian, maupun lingkungan hidup.

a. Dampak terhadap tanaman

Debu yang berasal dari aktivitas kendaraan maupun industri dapat memberikan dampak negatif pada tanaman. Debu yang menempel pada daun membentuk lapisan yang menghalangi cahaya matahari, sehingga mengurangi laju fotosintesis. Efisiensi fotosintesis menurun karena stomata tertutup oleh partikel debu, menghambat pertukaran gas dan penyerapan CO₂.

Kerusakan tanaman akibat polusi udara dapat terlihat melalui dalam beberapa cara, seperti jaringan mati, perkembangannya perlahan yang

ditunjukkan daun yang menguning, penurunan pertumbuhan. Lapisan debu pada tanaman tidak memiliki efek merusak pada dedaunan tetapi menghambat fotosintesis maupun penyemprotan tanaman sebelum panen. Kerusakan yang cukup besar yang disebabkan oleh pengendapan debu pada produksi pertanian, penurunan berat tanaman, dan penurunan biomassa. Efek debu yang inert secara kimia pada fisiologi tanaman mengakibatkan penutupan stomata tanaman dan tanaman mengalami kekeringan (Zia-Khan et al., 2014).

b. Dampak terhadap kesehatan

Paparan debu dapat menimbulkan berbagai dampak negatif bagi kesehatan manusia. Polutan udara seperti debu yang terdapat di udara dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernapasan. Konsentrasi TSP yang melebihi ambang batas standar kualitas udara yang ditetapkan, dapat mengakibatkan berbagai dampak negatif yang serius, baik terhadap kesehatan manusia, perekonomian, maupun lingkungan hidup. TSP (*Total Suspended Solid*) dapat mengakibatkan masyarakat beresiko mengalami gangguan kesehatan berupa penurunan fungsi paru. Partikel yang berukuran sangat kecil ini mudah terinhalasi dan menyebabkan penumpukan pada saluran pernafasan sehingga terjadi penurunan fatal paru berupa obstruktif.

2.9 Persepsi Masyarakat

Salah satu komponen psikologis manusia yang paling penting adalah persepsi, yang membantu kita merespon berbagai aspek dan gejala di sekitar kita. Persepsi memainkan peran penting dalam proses penilaian peristiwa, persepsi sangat mempengaruhi bagaimana seseorang berperilaku. Tidak mengherankan bahwa pendapat atau persepsi yang berbeda-beda timbul karena fakta bahwa manusia adalah makhluk sosial yang memiliki pendapat dan perspektif mereka sendiri tentang suatu masalah. Arti persepsi sangat luas yang pada dasarnya memiliki arti sama, beberapa ahli-pun telah memberi definisi yang berbeda-beda. Sarwono (2010) berpendapat bahwa persepsi merupakan proses memperoleh, menafsirkan, memilih, dan mengatur informasi yang bersumber dari alat penginderaan. Jika objek persepsi seseorang terhadap lingkungannya memiliki nilai

yang positif, itu dapat mempengaruhi nilai perseptor secara fisik dan psikologis, dan pada gilirannya dapat memberikan motivasi untuk berperilaku dengan cara yang positif terhadap lingkungannya juga (Sofira, 2015). Individu dapat memiliki persepsi yang sangat berbeda terhadap risiko yang sama.

Peran persepsi sangat penting karena dapat mempengaruhi penilaian secara negatif atau positif sehingga membentuk perilaku manusia sesuai dengan penilaiannya dan pada akhirnya mereka dapat membuat suatu keputusan dari persepsi tersebut (Manengkey & Sadhana, 2014). Persepsi masyarakat terhadap pencemaran lingkungan memainkan peran penting dalam menentukan kepuasan publik terhadap tata kelola lingkungan pemerintah. Semakin tinggi persepsi masyarakat terhadap pencemaran lingkungan maka semakin rendah kepuasan masyarakat terkait kebijakan pengelolaan lingkungan (Ruan et al., 2022).

Persepsi masyarakat berasal dari proses interaksi yang tidak dapat dilepaskan dari perspektif satu orang terhadap orang lain. Persepsi masyarakat akan memengaruhi sikap, perilaku, dan tindakan seseorang dalam kehidupan bermasyarakat. Persepsi sangat penting untuk melakukan sesuatu karena mempengaruhi pemikiran dan perilaku manusia sehingga mereka dapat membuat keputusan. Persepsi seseorang terhadap sesuatu sangat memengaruhi penilaiannya, yang dapat dinilai secara negatif pada persepsi tersebut (Manengkey & Sadhana, 2014). Persepsi positif dan negatif akan mempengaruhi tindakan manusia yang terlihat atau terjadi (Nugrahaa et al., 2018). Segala sesuatu yang ada dalam diri seseorang, seperti pikiran, emosi, dan pengalaman pribadi, berdampak positif pada proses persepsi (Irmadhani, 2012). Faktor internal termasuk perasaan, pengalaman, kemampuan berpikir, motivasi, dan kerangka acuan, dan faktor eksternal termasuk stimulus itu sendiri dan kondisi lingkungan di mana persepsi terjadi.

Soelaeman mengatakan bahwa proses persepsi terdiri dari tiga komponen utama:

1. Penyaringan indera terhadap rangsangan luar adalah proses seleksi. Intensitas dan jenis rangsangan dapat banyak atau sedikit.
2. Interpretasi adalah proses membuat informasi bermakna bagi seseorang. Beberapa faktor memengaruhi interpretasi; ini termasuk kecerdasan, kepribadian, motivasi, sistem nilai yang dianut, dan pengalaman sebelumnya.

Selain itu, interpretasi bergantung pada kemampuan seseorang untuk mengkategorikan informasi yang mereka terima; ini adalah proses mereduksi informasi yang kompleks menjadi lebih sederhana.

3. Selanjutnya, persepsi dan interpretasi diterjemahkan ke dalam tingkah laku sebagai tanggapan. Oleh karena itu, persepsi mencakup pemilihan, interpretasi, dan pembulatan data yang diterima.

Menurut Sarwono (2010), Perbedaan persepsi terjadi karena beberapa alasan, antara lain:

1. Perhatian: seringkali kita memfokuskan perhatian kita pada satu atau dua objek daripada seluruh rangsangan di sekitar kita. Persepsi individu berbeda karena perbedaan fokus.
2. Set: Harapan seseorang untuk rangsangan yang timbul.
3. Kebutuhan. Persepsi seseorang dipengaruhi oleh kebutuhan yang menetap atau sesaat.
4. Sistem Nilai. Persepsi dipengaruhi oleh sistem nilai yang berlaku di suatu masyarakat.
5. Persepsi seseorang juga dipengaruhi oleh jenis kepribadiannya.
6. Gangguan kejiwaan dapat menyebabkan halusinasi.

Persepsi masyarakat juga banyak diungkapkan karena adanya gangguan debu. Persepsi masyarakat terkait dengan keberadaan debu yaitu mengganggu rutinitas sehari-hari, mempengaruhi kesejahteraan psikologis dan fisiologis manusia dan akibatnya menyebabkan gangguan dan penurunan kualitas hidup. Machado et al (2022) menyatakan adanya gangguan yang dirasakan masyarakat terkait tingkat konsentrasi TSP dan PM10, bukti paparan polusi udara di daerah perkotaan dan industri terkait dengan gangguan debu, parameter yang dirasakan yaitu jarak pandang, kerusakan vegetasi dan pernafasan.

2.10 Pengelolaan Partikulat Debu

Pengelolaan partikulat debu, terutama yang berasal dari aktivitas industri semen, memerlukan pendekatan yang holistik dan terintegrasi agar dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat dapat diminimalkan. Dalam konteks pengangkutan industri semen, strategi untuk meningkatkan pengelolaan partikulat debu dapat dilakukan melalui pendekatan berikut:

1. Penggunaan Teknologi Pengendalian Polusi

Penyemprotan air secara periodik pada jalur pengangkutan telah terbukti efektif mengurangi resuspensi debu (Nurhadianty et al., 2018). Selain itu, teknologi seperti *wheel washer* di gerbang pabrik dapat menurunkan jumlah debu yang terbawa kendaraan.

2. Perbaikan Infrastruktur Jalan

Permukaan jalan yang dilapisi dengan beton atau aspal berkualitas tinggi dapat mengurangi pelepasan debu akibat gesekan ban kendaraan (Akhbar, 2017). Infrastruktur yang baik juga membantu memperpanjang usia kendaraan, sehingga mengurangi emisi partikulat dari kerusakan mekanis (Zubaydah et al., 2024).

3. Pengelolaan Lalu Lintas

Pembatasan waktu operasional kendaraan berat, terutama pada jam sibuk, dapat menurunkan tingkat pencemaran udara (Bulan et al., 2024). Hal ini mengurangi paparan debu bagi masyarakat sekitar.

4. Pemantauan Kualitas Udara Secara Real-Time

Alat pemantauan kualitas udara berbasis teknologi *real-time* memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dan berbasis data untuk pengendalian pencemaran (Riswandha et al., 2024).

Efektivitas strategi ini memerlukan kolaborasi antara pemerintah, industri, dan masyarakat. Monitoring berkala dan evaluasi program pengelolaan sangat diperlukan untuk memastikan keberlanjutan dampak positifnya.

2.11 Perbandingan Peraturan Pemerintah Terkait

Pengelolaan partikulat debu dalam konteks industri semen dan transportasi diatur oleh berbagai regulasi pemerintah. Berikut ini adalah perbandingan peraturan terkait di Indonesia dan beberapa standar internasional:

1. Peraturan Perundang-undangan di Indonesia

- a. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menetapkan baku mutu udara ambien untuk parameter TSP, PM₁₀, dan PM_{2,5}. Baku mutu TSP adalah 240 µg/m³ untuk waktu pengukuran 24 jam.

- b. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 13 Tahun 1995 mengatur tentang ambang batas emisi dari sumber bergerak dan tidak bergerak.
- c. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menegaskan tanggung jawab industri dalam menjaga kualitas udara di sekitar lokasi operasional.

2. Standar Internasional

- a. *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) menetapkan standar kualitas udara untuk PM₁₀ sebesar 150 µg/m³ selama 24 jam, yang lebih ketat dibandingkan baku mutu di Indonesia.
- b. *World Health Organization* (WHO) merekomendasikan batas aman PM_{2,5} sebesar 25 µg/m³ selama 24 jam, yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan standar di banyak negara berkembang.

3. Implementasi di Negara Lain

Di Uni Eropa, Directive 2008/50/EC menetapkan batas PM₁₀ sebesar 50 µg/m³ selama 24 jam dengan ketentuan bahwa nilai tersebut tidak boleh dilampaui lebih dari 35 kali dalam setahun. Sementara itu di Jepang menerapkan standar udara ambien yang ketat dengan batas TSP 100 µg/m³ untuk waktu pengukuran 24 jam. Analisis Perbandingan Indonesia memiliki standar baku mutu udara yang cukup longgar dibandingkan standar internasional seperti WHO atau Uni Eropa. Hal ini mencerminkan kebutuhan akan peningkatan pengawasan dan implementasi teknologi pengendalian polusi yang lebih canggih. Penyesuaian standar nasional terhadap standar internasional juga penting untuk meningkatkan kualitas lingkungan hidup dan kesehatan masyarakat.

2.12. Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang prediksi sebaran polutan TSP banyak dilaksanakan. Berikut menjelaskan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya

1. Cimorelli et al (2005) dengan judul “AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part II: Model Performance against 17 Field Study Databases”, telah melakukan penelitian dengan membandingkan Estimasi menggunakan model AERMOD dengan model-model terapan lainnya seperti ISCST3, Hybrid Plume Dispersion Model (HPDM), Model

Difusi Medan Kasar (Rough Terrain Diffusion Model, RTDM), dan Model Dispersi Medan yang Kompleks Ditambah Algoritma untuk Situasi yang Tidak Stabil (CTDMPLUS), pada pengamatan konsentrasi di 17 studi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan Kinerja AERMOD lebih unggul daripada model terapan lainnya. AERMOD sukses dalam mensimulasikan keseluruhan distribusi konsentrasi pada berbagai macam kondisi pemodelan.

Berdasarkan hasil penelitian (Cimorelli et al., 2005). yang telah membuktikan keunggulan AERMOD, maka pada penelitian ini menggunakan AERMOD untuk pola persebaran partikulat debu TSP karena sudah teruji AERMOD lebih unggul daripada model terapan lainnya.

2. Grassi & Díaz, (2024) dengan judul “Urban air pollution evaluation in downtown streets of a medium-sized Latin American city using AERMOD dispersion model”, telah melakukan penelitian analisis variasi konsentrasi polutan yang berasal dari sumber bergerak di wilayah pusat kota Bahía Blanca (tempat arus kendaraan pada jam sibuk) untuk parameter karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO_x) selama periode Juli-2020 hingga Juni-2022 menggunakan AERMOD, menggunakan segmentasi jenis kendaraan, pemodelan dilakukan pada rata-rata 1 jam dan 3 jam analisis. Hasil penelitian menunjukkan nilai konsentrasi maksimum tidak terkait dengan waktu yang sama ketika tingkat arus lalu lintas dan tingkat emisi tertinggi terdeteksi, nilai CO yang dimodelkan, pada rata-rata 1 jam, tidak melebihi rentang minimum batas yang ditetapkan dan empat waktu pada jam pagi pengukuran NO_x melampaui batas legal akan menghasilkan situasi alarm oranye.

Berdasarkan penelitian tersebut belum menganalisis paramter TSP, maka penelitian ini akan menggunakan jam sibuk pada rata-rata 1 jam untuk analisis dispersi TSP.

3. Iqbah et al (2024) dengan judul “Permodelan Sebaran TSP (Total Suspendedparticulate) Dari Kendaraan Bermotor Di Lingkar jalan M.T. Haryono, Jalan Brigjen M. Yusuf, Jalan Kh.Ahmad dahlan,&Jalansorumba Kotakendari”, yang melakukan pemodelan sebaran TSP menggunakan AERMOD di 4 jalan utama yaitu alan MT. Hariyono, jalan Brigjen M. Yusuf, jalan KH. Ahmad Dahlan dan jalan Sorumba, perhitungan emisi

memperhitungkan *silt content* pada permukaan jalan, berat rata-rata kendaraan dan jumlah roda kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AERMOD dapat digunakan untuk memprediksi polutan udara dari aktivitas transportasi. Semakin meningkat jumlah kendaraan bermotor, semakin meningkat pula konsentrasi TSP (Total Suspended Solid) di udara ambien.

Berdasarkan penelitian tersebut, maka penelitian ini juga akan melakukan perhitungan laju emisi yang memperhitungkan *silt content*/kadar debu di permukaan jalan pada permukaan jalan, berat rata-rata kendaraan dengan dengan persamaan faktor emisi prediktif yang berbeda namun telah disediakan dalam USEPA AP-42; 13.2.1 yaitu :

$$E = K^b \cdot \left(\frac{sL}{2}\right)^{0,65} \times \left(\frac{W}{3}\right)^{1,05} \dots\dots\dots(1)$$

(Sumber: US EPA 1998)

Dimana :

E= Jumlah emisi partikulat dari roda ban (g/Km)

Kb = Kelipatan ukuran partikel

sL = Kadar debu di permukaan jalan (g/m²)

W = Berat rata-rata kendaraan (ton)

Penelitian ini selain ingin mengetahui hubungan laju emisi partikulat debu TSP di jalan dengan jumlah kendaraan, juga hubungan laju emisi partikulat debu TSP di jalan dengan jenis kendaraan.

4. Jose & Srimuruganandam, (2021), dengan judul "Effect of silt loading on particle concentration in the atmosphere from resuspended road dust through particulate matter dispersion modelling", melakukan penelitian dengan mengestimasi emisi *Particulate Matter*, PM di jalan-jalan kota Vellore dilakukan dengan menggunakan AERMOD dengan persamaan faktor emisi prediktif yang disediakan dalam USEPA AP-42; 13.2.1 pada hari aktif dan akhir pekan, pada pukul 7:30 pagi hingga 7:30 malam. Hasil penelitian menunjukkan studi yang terkait dengan PM yang dihasilkan dari debu jalan yang tersuspensi kembali, jalan dengan trotoar beraspal menunjukkan tingkat emisi PM yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan yang tidak beraspal dan konsentrasi PM tertinggi di lokasi yang sering dikunjungi oleh penumpang.

Berdasarkan penelitian tersebut, maka kesamaan dengan penelitian ini yaitu penggunaan faktor emisi prediktif yang disediakan dalam USEPA AP-42; 13.2.1, perbedaannya adalah penelitian ini menggunakan parameter partikulat debu TSP dan lokasi berada di jalan industri yaitu jalur pengangkutan industri Semen Grobogan pada hari aktif.

5. Khairiah et al (2012) ,dengan judul “Analisis Konsentrasi Debu Dan Keluhan Kesehatan Pada Masyarakat Di Sekitar Pabrik Semen Di Desa Kuala Indah Kecamatan Sei Suka Kabupaten Batu Bara Tahun 2012”, untuk mengetahui konsentrasi debu dan keluhan kesehatan yang dialami masyarakat di sekitar pabrik semen secara bersamaan untuk mendapatkan gambaran tingkat pencemaran udara oleh debu yang dihasilkan oleh pabrik semen di Desa Kuala Indah pada tahun 2012. Hasil menunjukkan sebanyak 19 responden mengalami keluhan kesehatan dan keluhan kesehatan yang paling banyak dialami oleh responden yaitu iritasi kulit sebanyak 73,7% responden

Berdasarkan penelitian tersebut, maka penelitian ini ingin mengetahui gambaran persepsi masyarakat terkait persebaran debu yang dihasilkan dari kendaraan yang melintas di Jalan Semen Grobogan.

6. Beketie et al (2022), dengan judul “Impact of cement factory emission on air quality and human health around Mugher and the surrounding villages, central Ethiopia”, melakukan penelitian menggunakan Model Dispersi READY HYSPLIT berbasis web dengan sampel udara ambien diambil sampelnya secara real time tiga kali pada pagi dan sore setiap hari. Lokasi salah satu kota di Ethiopia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi partikulat di semua unit pabrik berada di atas pedoman kualitas udara ambien Ethiopia. Khususnya, desa-desa terdekat menunjukkan emisi partikulat tertinggi. Penelitian menghasilkan rekomendasi: penerapan sistem produksi bersih akan mengurangi emisi partikulat, menjauhkan area pemukiman dari jalur produksi pabrik, menerapkan pemantauan rutin, meningkatkan kesadaran masyarakat dan pekerja, mengenakan penutup pelindung oleh pekerja, dan penegakan peraturan dapat meringankan dampak emisi partikulat pada penyakit pernapasan dan infeksi.

Berdasarkan penelitian tersebut, maka salah satu rekomendasi penelitian ini adalah merujuk penelitian yang dilakukan Beketiee et al (2022).



SEKOLAH PASCA SARJANA