BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Meningkatnya berbagai aktivitas manusia untuk memenuhi kebutuhan hidup, baik di sektor produksi maupun transportasi, secara tidak langsung memicu timbulnya polusi udara. Aktivitas seperti pembakaran bahan bakar fosil di sektor industri, penggunaan kendaraan bermotor, hingga pemakaian produk yang mengandung senyawa kimia berbahaya menjadi kontributor utama. Semakin bertambahnya populasi penduduk yang diiringi tingginya permintaan terhadap barang dan jasa turut mendorong peningkatan volume limbah dan emisi polutan ke udara. Beberapa polutan utama yang dihasilkan antara lain karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO), partikel halus, serta senyawa organik volatil.

Pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam menjadi penyumbang gas rumah kaca terbesar, terutama karbon dioksida (CO_2), yang diperkirakan menyumbang sekitar 75% dari total emisi gas rumah kaca global. Selain CO_2, proses pembakaran ini juga menghasilkan metana (CH_4) dan nitrogen oksida, yang justru memiliki potensi pemanasan global jauh lebih besar dibanding CO_2. Emisi tersebut tidak hanya berdampak pada perubahan iklim secara global, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap penurunan kualitas udara serta menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia (Warrilow, 2021).

Isu dampak kesehatan akibat polusi udara pun semakin menjadi perhatian dunia. Menurut perkiraan *World Health Organization* (2021), sekitar 4,2 juta kematian dini terjadi akibat paparan polusi udara luar ruangan, sementara 3,8 juta kematian lainnya disebabkan oleh polusi udara dalam ruangan setiap tahunnya. Tidak hanya berdampak pada kesehatan fisik, polusi udara juga dikaitkan dengan peningkatan gangguan kesehatan mental seperti depresi, kecemasan, hingga gangguan neuropsikiatri (Manisalidis et al., 2020).

Di samping berkontribusi terhadap perubahan iklim, emisi dari pembakaran bahan bakar fosil juga mengandung senyawa beracun dan partikulat halus yang berisiko terhirup manusia. Polutan seperti SO_2, NO_2, dan partikulat halus ($PM_{2,5}$) terbukti dapat memicu berbagai gangguan pernapasan, mulai dari asma, bronkitis, hingga penyakit paru obstruktif kronis (PPOK). Paparan jangka panjang terhadap polusi udara juga berpotensi meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, stroke, bahkan kematian dini. Karena itu, pengendalian emisi dari bahan bakar fosil menjadi hal yang penting untuk melindungi kesehatan masyarakat sekaligus menjaga kualitas lingkungan (Al-kindi et al., 2021).

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan aktivitas industri turut mendorong tingginya konsentrasi $PM_{2,5}$ di kota-kota besar Indonesia. WHO (2021) menetapkan ambang batas aman konsentrasi $PM_{2,5}$ harian sebesar 5 µg/m³, jauh lebih ketat dibanding standar nasional Indonesia melalui PP No. 22 Tahun 2021 yang menetapkan nilai ambang batas harian sebesar 55 µg/m³. Data pemantauan kualitas udara Kota Medan menunjukkan rata-rata konsentrasi $PM_{2,5}$ berkisar 25–60 µg/m³, dengan peningkatan signifikan pada jam sibuk pagi dan sore hari (BMKG, 2025). Laporan IQAir (2025) turut mencatat bahwa Indeks Kualitas Udara (AQI) Kota Medan kerap berada pada kategori "Sedang hingga Tidak Sehat bagi Kelompok Sensitif" dengan konsentrasi harian $PM_{2,5}$ sekitar 35–70 µg/m³. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas udara Kota Medan secara konsisten melampaui ambang batas aman WHO, sehingga menjadi ancaman serius bagi kesehatan masyarakat (Yang et al., 2022).

Permasalahan $PM_{2,5}$ di Indonesia semakin nyata seiring meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di wilayah perkotaan. Sebagai salah satu kota metropolitan, Medan mengalami pertumbuhan lalu lintas yang pesat akibat perkembangan sektor ekonomi, perdagangan, dan jasa. Tingginya kepadatan kendaraan di pusat kota turut berkontribusi terhadap potensi pencemaran udara, khususnya di kawasan-kawasan yang menjadi pusat aktivitas masyarakat. Meski demikian, penelitian yang secara spesifik mengkaji variasi temporal $PM_{2,5}$ berdasarkan pola aktivitas harian masyarakat di Kota Medan masih tergolong terbatas.

Salah satu strategi pengelolaan kualitas udara perkotaan yang mulai diterapkan adalah program *Car Free Day (CFD)*, yaitu pembatasan aktivitas kendaraan bermotor pada waktu dan lokasi tertentu, dengan tujuan menekan emisi kendaraan, memperbaiki kualitas udara, sekaligus menyediakan ruang publik yang lebih sehat. Secara teori, pembatasan kendaraan bermotor saat *CFD* seharusnya menurunkan konsentrasi $PM_{2,5}$ dibandingkan hari biasa. Namun, efektivitas program ini sangat bergantung pada karakteristik lokasi, tingkat kepatuhan masyarakat, dan intensitas aktivitas di sekitar kawasan tersebut.

Lapangan Merdeka Kota Medan merupakan salah satu ruang terbuka publik utama yang berada di pusat kota dan dikelilingi ruas jalan dengan arus lalu lintas padat. Kawasan ini menjadi titik berkumpulnya masyarakat, baik pada hari kerja *(weekday)*, akhir pekan *(weekend)*, maupun saat pelaksanaan *CFD*. Pada hari kerja, aktivitas di Lapangan Merdeka didominasi oleh kegiatan perkantoran dan transportasi komuter, sedangkan pada akhir pekan dan *CFD*, kawasan ini lebih banyak dimanfaatkan untuk rekreasi, olahraga, dan kegiatan sosial. Variasi aktivitas semacam ini berpotensi menimbulkan perbedaan konsentrasi $PM_{2,5}$ yang cukup signifikan antarwaktu pengamatan.

Meski memiliki peran strategis sebagai ruang terbuka hijau sekaligus pusat aktivitas perkotaan, penelitian yang secara khusus mengkaji konsentrasi $PM_{2,5}$ di Lapangan Merdeka dengan membandingkan kondisi *weekday, weekend, dan CFD* masih sangat terbatas. Sebagian besar kajian kualitas udara di Medan bersifat umum dan tidak berfokus pada satu lokasi representatif yang memiliki dinamika transportasi dan aktivitas masyarakat tinggi. Selain itu, pendekatan pengukuran langsung di lapangan untuk menangkap fluktuasi $PM_{2,5}$ pada berbagai kondisi aktivitas transportasi juga belum banyak dimanfaatkan.

Penelitian terdahulu yang menggunakan metode gravimetri selama satu minggu (Senin–Minggu) menunjukkan bahwa konsentrasi $PM_{2,5}$ harian di Bundaran HI berkisar antara 46,67–77,12 µm/m³, dengan rata-rata 63,30 µm/m³. Konsentrasi tertinggi tercatat pada hari Senin (77,12 µm/m³) dan terendah pada hari Minggu (46,67 µm/m³). Penelitian lain di Surabaya juga menunjukkan bahwa lalu

lintas dapat meningkatkan konsentrasi $PM_{2,5}$ hingga 70 µg/m³ pada jam sibuk (Muliane et al., 2011).

Penelitian ini memiliki kebaruan dibanding penelitian-penelitian sebelumnya karena secara spesifik berfokus pada evaluasi efektivitas program *Car Free Day (CFD)* di Lapangan Merdeka Kota Medan menggunakan *low-cost sensor* untuk pemantauan secara real-time, serta membandingkan konsentrasi $PM_{2,5}$ antara *weekday, weekend, dan CFD* sesuatu yang belum banyak dieksplorasi dalam konteks Kota Medan. Penelitian ini penting mengingat tingginya tingkat polusi udara di Kota Medan yang belum banyak dikaji dari sisi efektivitas intervensi seperti *CFD*. Hasilnya diharapkan dapat memberikan bukti empiris terkait potensi penurunan emisi sektor transportasi, mendukung kebijakan pengendalian polusi, serta berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal. Manfaat lain dari penelitian ini adalah tersedianya data ilmiah yang dapat dimanfaatkan pemerintah daerah untuk menyempurnakan program *CFD*, meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap risiko kesehatan akibat polusi udara, serta mendorong pengembangan teknologi pemantauan udara yang terjangkau bagi wilayah perkotaan lainnya.

Untuk mendukung penelitian ini, digunakan low-cost sensor sebagai alat pemantauan partikulat udara, yang memiliki kemampuan mengukur konsentrasi $PM_{2,5}$ secara real-time dan mudah dioperasikan. Penelitian Lubis dkk. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan *low-cost sensor* cukup efektif untuk mendeteksi variasi konsentrasi partikulat udara di wilayah perkotaan dengan tingkat akurasi yang baik setelah melalui proses kalibrasi (Kurniawati, n.d.).

Dengan demikian, penelitian mengenai analisis kualitas udara partikulat $PM_{2,5}$ menggunakan low-cost sensor pada kawasan kegiatan *Car Free Day* di Lapangan Merdeka Kota Medan menjadi penting untuk mengetahui efektivitas kegiatan tersebut dalam menurunkan tingkat polusi udara, sekaligus memberikan data dasar bagi upaya pengendalian emisi di wilayah perkotaan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah: apakah terdapat perbedaan konsentrasi $PM_{2,5}$ pada kondisi *Weekday, Weekend, dan Car Free Day* di Lapangan Merdeka?

C. Tujuan

C.1 Tujuan Umum

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk menganalisis kualitas udara partikulat $PM_{2,5}$ di Lapangan Merdeka Kota Medan pada tahun 2026 dengan menggunakan *Low-Cost Sensor*.

C.2 Tujuan Khusus

1. Menganalisis konsentrasi $PM_{2,5}$ menggunakan *Low-Cost Sensor* di Lapangan Merdeka.
2. Menganalisis perbedaan konsentrasi $PM_{2,5}$ di dalam dan di luar Lapangan Merdeka pada kondisi *weekday, weekend, dan car free day.*

D. Manfaat

D.1 Manfaat Bagi Peneliti

Menambah wawasan peneliti dalam hal pengukuran kualitas udara menggunakan *low-cost sensor* di wilayah perkotaan Medan, khususnya terkait program *Weekday, Weekend, dan Car Free Day*.

D.2 Manfaat Bagi Masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan memberi informasi akurat mengenai kualitas udara di Lapangan Merdeka sehingga masyarakat dapat lebih waspada terhadap paparan partikulat $PM_{2,5}$.

D.3 Manfaat Bagi Institusi

Menjadi tambahan referensi bacaan bagi perpustakaan Jurusan Kesehatan Lingkungan di Poltekkes Kemenkes Medan.

D.4 Manfaat Bagi Dinas Lingkungan Hidup

Penelitian ini dapat menjadi sumber informasi dan bahan evaluasi bagi Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan dalam memantau kondisi kualitas udara, khususnya konsentrasi $PM_{2,5}$ di kawasan Lapangan Merdeka.