

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas udara dalam ruangan atau *indoor air quality* (IAQ) telah menjadi isu penting dalam bidang kesehatan lingkungan, terutama pada bangunan tertutup dengan tingkat hunian tinggi seperti ruang kelas di institusi pendidikan (Tahsiin dkk., 2020). Urgensi penanganan IAQ di ruang kelas semakin meningkat mengingat belum adanya sistem pemantauan udara yang memadai di sebagian besar institusi pendidikan di Indonesia, padahal aktivitas perkuliahan berlangsung hampir setiap hari selama bertahun-tahun. Di Indonesia sendiri, studi IAQ berbasis data lapangan di ruang kelas perguruan tinggi masih sangat terbatas, sehingga pengelola fasilitas kampus seringkali tidak memiliki dasar empiris yang kuat untuk pengambilan kebijakan pengendalian kualitas udara. Salah satu parameter utama kualitas udara dalam ruangan adalah partikulat tersuspensi (*particulate matter*/PM). Partikulat berukuran kecil, khususnya PM₁, PM_{2.5}, PM₄, dan PM₁₀ memiliki kemampuan untuk masuk ke saluran pernapasan dengan kedalaman yang berbeda. PM berukuran sangat halus (PM₁ dan PM_{2.5}) dapat mencapai alveoli paru-paru dan berisiko menimbulkan gangguan kesehatan jangka panjang, sedangkan PM₁₀ lebih banyak tertahan di saluran pernapasan atas (Dinda, 2025). Organisasi Kesehatan Dunia telah merekomendasikan penurunan nilai ambang batas PM_{2.5} karena bukti ilmiah menunjukkan dampaknya yang signifikan terhadap kesehatan, termasuk gangguan pernapasan dan kardiovaskular (Dinda, 2025).

Sistem ventilasi dan penggunaan AC turut menentukan profil PM *indoor*. Penelitian yang dilakukan oleh Tahsiin dkk., (2020) menunjukkan konsentrasi rata-rata PM_{2.5} per 24 jam di dua ruangan lab ketika ada aktivitas manusia adalah 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini melebihi baku mutu Permenkes nomor 2 tahun 2023 yaitu 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tahsiin dkk., 2020). Perbandingan ruangan ber-AC sentral dan ventilasi alami atau non-AC menunjukkan bahwa PM₁₀ dan PM_{2.5} di ruang ventilasi alami atau non-AC bisa 4-6 kali di atas batas standar, dan konsentrasi partikel ($<1 \mu\text{m}$) di ruang alami melebihi 400.000 partikel/cm³ dibanding 160.000 partikel/cm³ di ruang ber-AC (Mustafã dkk., 2025). Temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa sistem

penghawaan memiliki peran penting terhadap dinamika partikulat di dalam ruang kelas.

Meskipun demikian, terdapat dua kesenjangan penelitian yang belum terjawab. Pertama, sebagian besar studi IAQ di ruang kelas Indonesia masih terfokus pada $PM_{2,5}$ dan PM_{10} , sedangkan data fraksi PM_1 dan PM_4 yang memiliki risiko kesehatan lebih tinggi karena kemampuan penetrasinya ke saluran napas terdalam masih sangat terbatas. Kedua, studi komparatif komprehensif yang membandingkan dinamika empat fraksi PM secara simultan antara ruang kelas ber-AC dan non-AC dalam satu lingkungan kampus yang sama, khususnya di Sumatera Barat, belum pernah dilakukan. Selain itu, penggunaan instrumen referensi konvensional yang berbiaya tinggi menjadi hambatan dalam pemantauan kualitas udara secara luas di institusi pendidikan dengan keterbatasan anggaran.

Perbedaan penelitian ini terletak pada tiga hal. Pertama, analisis komprehensif empat fraksi partikulat (PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 , dan PM_{10}) secara serentak memberikan gambaran distribusi ukuran partikel yang lebih lengkap dibandingkan studi sebelumnya yang umumnya hanya mengukur dua fraksi. Kedua, pemilihan empat fraksi PM ini didasarkan pada perbedaan kemampuan penetrasi ke saluran napas: PM_1 dan $PM_{2,5}$ yang dapat mencapai alveoli dan memasuki aliran darah, PM_4 sebagai fraksi *respirable* yang mencapai saluran napas bawah, serta PM_{10} sebagai indikator kondisi ventilasi dan resuspensi debu. Ketiga, penelitian ini berkontribusi pada validasi teknologi *Low-Cost Sensor* (LCS) di wilayah beriklim tropis lembap, di mana sebagian besar literatur evaluasi sensor masih berbasis pada kondisi temperatur. Universitas Andalas dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki kedua tipe penghawaan (ber-AC dan non-AC) dalam satu lingkungan kampus yang sama, sehingga variabel eksternal seperti kualitas udara ambien dan kondisi meteorologi dapat lebih terkontrol. Secara spesifik, ruang kelas ber-AC dipilih di Gedung Departemen Teknik Lingkungan (RSTA 2, 3, 4, dan 5) dengan luas berkisar 51–68 m² dan kapasitas 20–40 orang, sementara ruang kelas non-AC dipilih di Gedung G (G1.5 dan G1.11) dengan karakteristik ventilasi alami yang representatif. Pemilihan keenam ruangan ini mempertimbangkan ketersediaan kedua tipe sistem penghawaan, variasi kapasitas hunian, dan keterwakilan kondisi yang umum dijumpai pada gedung perkuliahan di Indonesia.

Penelitian ini menggunakan alat Wi-Fi *Environmental Sensor* (RS-WFEVS2), yaitu perangkat pemantau kualitas udara berbasis *low-cost sensor* yang mampu mengukur PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 , dan PM_{10} secara *real-time* melalui koneksi IoT. Penentuan titik pengukuran di setiap ruangan dilakukan dengan mempertimbangkan representativitas zona pernapasan pengguna, yaitu sensor ditempatkan pada ketinggian 1,0–1,5 m dari permukaan lantai, dihindarkan dari sumber gangguan langsung seperti lubang AC, jendela terbuka, atau sumber partikulat lokal lainnya. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kualitas udara partikulat PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 , dan PM_{10} pada ruang kelas ber-AC dan non-AC menggunakan *low-cost sensor*, sekaligus mengevaluasi performa LCS dalam kondisi iklim tropis lembap Indonesia sebagai dasar pengembangan sistem pemantauan IAQ yang adaptif dan terjangkau untuk institusi pendidikan.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi terhadap kualitas udara dalam ruangan kelas di lingkungan Universitas Andalas, khususnya dengan meninjau parameter konsentrasi PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 dan PM_{10} . Melalui pemantauan menggunakan alat Wi-Fi *Environmental Sensor* (RS-WFEVS2), penelitian ini dimaksudkan untuk mendeteksi adanya potensi akumulasi polutan udara mikro yang dapat memengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuni ruangan, serta mendorong penerapan sistem ventilasi dan pengendalian udara yang lebih efektif dan sesuai standar. Selain itu, hasil dari penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengelola fasilitas kampus dalam merancang kebijakan pengendalian kualitas udara yang lebih tepat sasaran dan berbasis data lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis konsentrasi PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 dan PM_{10} di ruangan kelas Universitas Andalas serta membandingkan hasil pengukuran dengan standar kualitas udara berdasarkan (Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan).

2. Menganalisis perbandingan konsentrasi PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_4 dan PM_{10} pada ruangan kelas ber-AC split, ber-AC sentral, dan non-AC.
3. Mengidentifikasi potensi sumber pencemar udara dalam ruangan kelas maupun infiltrasi dari luar yang berkontribusi terhadap beban partikulat.
4. Menganalisis korelasi konsentrasi PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_4 dan PM_{10} dengan faktor lingkungan fisik (suhu dan kelembaban) serta kepadatan hunian di dalam ruangan kelas
5. Memberikan rekomendasi teknis untuk peningkatan manajemen kualitas udara dan sistem ventilasi dalam ruangan kelas.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendorong penggunaan teknologi monitoring berbasis sensor seperti Wi-Fi *Environmental Sensor* (RS-WFEVS2) dalam penelitian lingkungan serta menambah kajian ilmiah mengenai kualitas udara dalam ruang kelas di lingkungan perguruan tinggi,. Manfaat lainnya yaitu mendukung upaya menciptakan lingkungan belajar yang aman, sehat, dan bebas dari pencemar udara mikro yang berisiko bagi kesehatan mahasiswa dan dosen.

1.4 Batasan Masalah

Batasan Masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Penelitian dilakukan dari tanggal 23 Februari 2026 sampai 17 Juni 2026.
2. Parameter yang diteliti adalah partikulat berupa PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_4 dan PM_{10} serta parameter fisik lingkungan pendukung meliputi suhu udara dan kelembaban relatif.
3. Lokasi pengambilan sampel dilakukan di Universitas Andalas pada ruangan kelas ber-AC split (RSTA 2 dan RSTA 3), ruangan kelas ber-AC sentral (RSTA 4 dan RSTA 5) di Gedung Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, serta ruang kelas non-AC di Gedung G (G1.5 dan G1.11).
4. Waktu pengamatan dilakukan selama 5 hari kerja (Senin sampai Jumat) dengan durasi pengambilan sampel kontinu selama 24 jam pada setiap titik sampling.

5. Analisis data berupa perbandingan konsentrasi partikulat antar tipe penghawaan, kepatuhan terhadap baku mutu Permenkes Nomor 2 Tahun 2023, serta analisis korelasi antara konsentrasi partikulat dengan faktor lingkungan fisik dan jumlah hunian mahasiswa di dalam kelas.
6. Penelitian tidak mengkaji dampak konsentrasi partikulat terhadap kesehatan pengguna ruangan.
7. Instrumen pengukuran yang digunakan adalah *low-cost sensor* Wi-Fi *Environmental Sensor* RS-WFEVS2, sehingga hasil pengukuran memiliki keterbatasan sesuai dengan rentang akurasi, sensitivitas, dan spesifikasi teknis dari sensor yang tertanam pada alat tersebut.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori-teori pencemaran udara, karakteristik PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 dan PM_{10} dan alat Wi-Fi *Environmental Sensor* (RS-WFEVS2).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahapan penelitian yang dilakukan, persiapan percobaan mencakup alat, metode, lokasi dan waktu penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai dengan pembahasannya

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan