

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap kualitas udara partikulat PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 , dan PM_{10} pada ruang kelas ber-AC Split, ber-AC sentral dan non-AC di Universitas Andalas menggunakan *low-cost sensor* RS-WFEVS2, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 , dan PM_{10} pada enam ruang kelas yang diteliti menunjukkan variasi yang cukup berbeda, mulai dari kondisi paling bersih di RSTA 2 hingga kondisi paling tercemar di RSTA 5. Dibandingkan dengan baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023, konsentrasi $PM_{2,5}$ tertinggi harian melampaui baku mutu pada 21 dari 30 kali pengamatan, sedangkan PM_{10} hanya melampaui baku mutu pada 10 dari 30 kali pengamatan, yang berarti pelanggaran lebih sering terjadi pada partikel berukuran halus. Tidak ada satu pun dari enam ruangan yang secara konsisten memenuhi baku mutu $PM_{2,5}$ selama lima hari pengukuran. Adapun PM_{10} konsisten memenuhi baku mutu pada RSTA 2, RSTA 3, RSTA 4 dan G1.5.
2. Hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan konsentrasi seluruh fraksi PM berbeda signifikan antara ruang ber-AC Split, ber-AC Sentral, dan non-AC ($p < 0,001$). Ruang ber-AC Sentral memiliki konsentrasi rata-rata tertinggi, diikuti ruang non-AC, sedangkan ruang ber-AC Split memiliki konsentrasi terendah. Uji lanjutan Mann-Whitney dengan koreksi Bonferroni membuktikan bahwa konsentrasi pada ruang AC Sentral berbeda signifikan dan lebih tinggi dibandingkan AC Split maupun non-AC ($p < 0,001$), sementara perbedaan antara AC Split dan non-AC tidak signifikan ($p = 0,361-0,422$). Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan AC saja tanpa perawatan filter yang memadai tidak menjamin kualitas udara yang lebih baik dibandingkan ruang tanpa AC, karena tingginya konsentrasi pada kelompok AC Sentral lebih dipengaruhi oleh gangguan pencemar eksternal dibandingkan oleh jenis sistem penghawaannya sendiri.

3. Sumber pencemar partikulat pada ruang kelas ber-AC didominasi oleh sumber internal, yaitu resuspensi debu lantai akibat pergerakan penghuni, gesekan sepatu, dan debu furnitur. Pada ruang kelas non-AC, sumber pencemar lebih banyak dipengaruhi oleh infiltrasi udara dari luar ruangan, seperti terlihat pada G1.11 yang konsentrasinya tetap tinggi meski ruangan kosong akibat paparan debu dari area parkir dan koridor di sekitarnya. Selain itu, teridentifikasi sumber pencemar eksternal tak terduga berupa kerusakan plafon di luar RSTA 5 yang menghasilkan debu konstruksi dan turut mencemari sistem *ducting* AC, menjadikan ruangan tersebut sebagai titik dengan konsentrasi partikulat tertinggi di seluruh lokasi penelitian.
4. Suhu udara berkorelasi positif kuat dan signifikan dengan seluruh fraksi PM pada semua tipe ruangan, dengan korelasi terkuat pada ruang non-AC ($\rho = 0,707-0,721$) dibandingkan ruang ber-AC Split dan Sentral ($\rho \approx 0,40-0,44$). Kelembaban relatif berkorelasi negatif dengan PM pada ruang non-AC ($\rho = -0,401$ hingga $-0,417$), namun justru berkorelasi positif pada ruang ber-AC ($\rho = 0,153-0,297$) akibat siklus operasional AC yang menurunkan suhu dan kelembaban secara bersamaan. Jumlah pengguna ruangan menunjukkan hubungan yang lemah secara keseluruhan, dengan arah yang berbeda antar tipe ruangan: berkorelasi positif signifikan pada ruang non-AC ($\rho = 0,210-0,219$) dan AC Split ($\rho = 0,139-0,159$), tetapi berkorelasi negatif pada AC Sentral ($\rho = -0,153$ hingga $-0,200$) karena sistem filtrasi yang bekerja lebih intensif saat ruangan terisi.
5. Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, disusun enam rekomendasi teknis untuk peningkatan manajemen kualitas udara ruang kelas, yaitu penggantian dan pembersihan filter AC secara berkala, pembersihan menyeluruh *ducting* AC pasca aktivitas konstruksi, penggunaan *vacuum cleaner* berfilter HEPA untuk membersihkan lantai, perbaikan manajemen ventilasi alami pada ruang non-AC, pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan menggunakan LCS terintegrasi IoT, serta penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) pengendalian kualitas udara ruang kelas berbasis data empiris hasil penelitian ini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan, berikut disampaikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya maupun bagi pengelola fasilitas Universitas Andalas:

1. Melakukan pengukuran laju ventilasi (*Air Exchange Rate/ACH*) serta pengukuran kualitas udara ambien di sekitar ruang kelas yang berpotensi mengalami infiltrasi dari luar, khususnya pada ruangan non-AC seperti G1.11, agar kontribusi sumber pencemar eksternal dapat diukur secara kuantitatif dan tidak hanya diinterpretasikan dari pola temporal konsentrasi partikulat.
2. Memperpanjang durasi pengukuran hingga mencakup musim kemarau dan musim hujan secara berimbang, sehingga variasi musiman terhadap konsentrasi partikulat dapat dianalisis lebih menyeluruh dan tidak hanya merepresentasikan kondisi pada satu periode tertentu.
3. Melakukan validasi hasil pengukuran *low-cost sensor* RS-WFEVS2 dengan alat referensi standar (misalnya metode gravimetri atau *beta attenuation monitor*) untuk memastikan akurasi data, mengingat keterbatasan spesifikasi teknis sensor sebagaimana disebutkan pada batasan masalah penelitian ini.
4. Menambah jumlah dan variasi titik sampling pada tipe gedung dan sistem penghawaan lain di lingkungan kampus, agar hasil penelitian dapat digeneralisasi secara lebih luas dan tidak hanya merepresentasikan enam ruang kelas yang menjadi objek penelitian ini.
5. Bagi pengelola fasilitas Universitas Andalas, disarankan untuk segera menindaklanjuti perbaikan plafon dan pembersihan *ducting* AC di RSTA 5, serta menerapkan rekomendasi teknis lain sebagai langkah awal perbaikan kualitas udara ruang kelas.