

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data, dan analisis pembahasan mengenai perbandingan konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) dan *Total Volatile Organic Compounds* (TVOC) pada ruang kelas ber-AC dan non-AC di Universitas Andalas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata harian konsentrasi Karbon Dioksida pada seluruh ruang kelas berada pada rentang 447,00 - 873,08 ppm, sedangkan rerata *Total Volatile Organic Compounds* (TVOC) berkisar 228,3 – 944,68 ppb. Rerata harian kedua parameter ini masih memenuhi Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan berdasarkan Permenkes RI No. 2 Tahun 2023. Namun, pada analisis temporal jam aktif perkuliahan di ruang kelas ber-AC, terjadi akumulasi CO₂ dan TVOC yang melampaui baku mutu pada waktu tertentu.
2. Hasil uji komparatif Kruskal-wallis membuktikan adanya Terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$) pada konsentrasi CO₂ dan TVOC antara tipe ruangan ber-AC dan non-AC. Penggunaan pendingin ruangan (AC) memicu akumulasi polutan yang parah karena sirkulasi udara yang bersifat tertutup. Sementara itu, ruang kelas non-AC terbukti lebih efektif dalam menjaga kualitas udara berkat pengenceran polutan secara alami melalui sirkulasi silang.
3. Sumber utama emisi CO₂ di dalam kelas bersifat biogenik yang berasal dari metabolisme pernapasan mahasiswa dan dosen, yang dampaknya diperparah oleh ketiadaan pertukaran udara segar pada ruang ber-AC. Sementara itu, emisi TVOC bersumber dari aktivitas antropogenik dan material fisik, dengan lonjakan utama dipicu oleh penguapan produk perawatan pribadi mahasiswa (parfum, kosmetik, *hand sanitizer*) serta penggunaan perlengkapan perkuliahan (spidol *whiteboard*, tinta, cairan penghapus). Pada ruang non-AC, infiltrasi

emisi kendaraan dari area luar gedung juga teridentifikasi memberikan kontribusi minor terhadap fluktuasi TVOC.

4. Analisis korelasi Spearman Rank menunjukkan bahwa peningkatan suhu ruangan berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi TVOC akibat laju penguapan material kimia yang semakin cepat pada temperatur lebih tinggi. Sebaliknya, kelembapan relatif menunjukkan korelasi negatif yang signifikan terhadap CO₂, khususnya di ruang ber-AC akibat efek pengeringan udara oleh unit pendingin. Selain itu, kepadatan penghuni terbukti menjadi variabel pemicu utama kenaikan CO₂ pada ruangan ber-AC.
5. Tingginya akumulasi polutan CO₂ dan TVOC akibat minimnya sirkulasi udara di ruang kelas ber-AC Universitas Andalas harus diatasi melalui pendekatan hirarki pengendalian risiko yang komprehensif sesuai standar Permenkes RI No. 2 Tahun 2023. Strategi ini mencakup pengendalian substitusi (penggunaan produk harian berlabel low-VOC), rekayasa teknik (instalasi exhaust fan dan sistem sensor peringatan dini), serta pengendalian administratif (pembatasan kapasitas hunian, prosedur purging atau pembukaan jendela pada jeda kuliah, dan perawatan AC yang ketat) untuk menjamin kualitas udara dan lingkungan belajar yang sehat.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan dari kesimpulan penelitian di atas, terdapat beberapa rekomendasi teknis yang dapat disarankan untuk meningkatkan manajemen kualitas udara pada fasilitas ruang kelas:

1. Pihak pengelola gedung dan sivitas akademika sangat dianjurkan untuk mendisiplinkan penerapan metode penggelontoran udara (*purging*) secara berkala. Penerapan ini dapat dilakukan dengan membuka pintu serta jendela selebar-lebarnya selama kurang lebih 10 hingga 15 menit pada setiap jeda pergantian mata kuliah di ruang ber-AC untuk segera membilas dan membuang tumpukan gas polutan dari dalam ruangan.
2. Diperlukan investasi teknis berupa instalasi sistem ventilasi mekanis bantuan, seperti *exhaust fan* berkapasitas memadai, khusus pada ruang-ruang ber-AC.

Instalasi ini bertujuan untuk secara aktif menyedot dan membuang polutan udara kotor dari dalam kelas ke luar gedung secara terus-menerus guna mencegah penumpukan gas beracun.

3. Pihak manajemen fasilitas universitas perlu melakukan evaluasi ulang terhadap batas kapasitas maksimal mahasiswa (*occupant density*) pada ruangan ber-AC. Evaluasi ini difokuskan khususnya pada ruangan yang berdimensi kecil dan berbentuk memanjang seperti ruang RSTA 4, guna memastikan beban emisi respirasi tidak melebihi rasio kemampuan sirkulasi udara di dalamnya.
4. Perangkat *Low-Cost* Sensor berbasis Wi-Fi/IoT yang digunakan pada penelitian ini sangat direkomendasikan untuk dipasang secara permanen sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) pada ruang kelas ber-AC. Sensor tersebut dapat diintegrasikan dengan indikator visual agar penghuni kelas dapat mengambil tindakan ventilasi mandiri manakala kadar CO₂ di ruangan mulai melampaui batas kritis.

