

PENGARUH VEGETASI KOLEKSI TERHADAP KUALITAS UDARA DI KEBUN RAYA PURWODADI

Anisa Widaya Ningrum¹, Rahmawati Rahmawati^{2*}, Nina Dwi Yulia^{3*}, Rony Irawanto^{4*}

¹Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, Indonesia

²Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, Indonesia

³Direktorat Pengelolaan Koleksi Ilmiah, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

⁴Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

*Penulis korespondensi: 23106040003@student.uin-suka.ac.id; nina005@brin.go.id;
Rony004@brin.go.id

ABSTRAK

Kebun Raya Purwodadi merupakan kawasan konservasi ex-situ yang mengelola koleksi vegetasi dari lebih dari 20 famili tumbuhan dataran rendah kering di atas lahan seluas 85 hektar. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh tipe vegetasi koleksi terhadap delapan parameter kualitas udara suhu, kelembaban relatif (RH), formaldehida (HCHO), total senyawa organik volatil (TVOC), partikulat halus (PM_{2.5}), partikulat kasar (PM₁₀), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO₂) di 27 plot/vak pengukuran secara in situ. Data yang diperoleh dari 27 plot/vak yang diamati kemudian dianalisis secara deskriptif komparatif terhadap baku mutu udara ambien nasional (PP No. 22 Tahun 2021) dan panduan WHO Air Quality Guidelines 2021. Hasil data yang di analisis menggunakan tabel perbandingan dan grafik menunjukkan plot *Gymnospermae* (vak I.B) mencatat nilai HCHO (0,118 mg/m³), TVOC (0,790 mg/m³), dan CO₂ (1.313 ppm) tertinggi melampaui batas WHO untuk HCHO konsisten dengan karakteristik emisi biogenik tumbuhan konifer.

Kata kunci: Baku mutu udara, TVOC, kebun raya, kualitas udara, PM_{2.5}, vegetasi koleksi

1 PENDAHULUAN

Kebun Raya Purwodadi merupakan salah satu Unit Pelaksana Teknis (UPT) Pusat Penelitian Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang berlokasi di Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Kawasan ini memiliki fungsi utama sebagai lembaga konservasi ex-situ, yang sekaligus berfungsi sebagai lokasi penelitian, pendidikan, dan pariwisata alam (BRIN, 2024). Kebun Raya Purwodadi yang menjadi area konservasi tanaman memiliki peran yang penting dalam mendukung kualitas udara lingkungan sekitarnya. Kualitas udara merupakan salah satu indikator penilaian kesehatan lingkungan. Pencemaran udara yang berasal dari kendaraan bermotor, industri, dan aktivitas antropogenik lainnya telah menjadi permasalahan kesehatan masyarakat yang serius secara global. Paparan jangka panjang terhadap partikulat halus (PM_{2.5}), karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), formaldehida (HCHO), serta senyawa organik volatil total (TVOC) diketahui berkontribusi pada peningkatan risiko penyakit pernapasan, kardiovaskular, dan gangguan neurologis (WHO, 2021; Manisalidis *et al.*, 2020).

Vegetasi pohon dan tanaman berkayu memiliki peran ekosistem yang krusial dalam menjaga kualitas udara. Melalui proses fotosintesis, transpirasi, dan deposisi partikel pada permukaan daun, tanaman mampu menyerap polutan, mereduksi konsentrasi PM_{2.5}, serta menstabilkan suhu dan kelembaban udara ambien (Salmond *et al.*, 2016). Efektivitas vegetasi dalam menyerap polutan maupun menjaga kualitas udara dipengaruhi oleh karakteristik morfologi daun, kerapatan tajuk,

luas area daun (Leaf Area Index/LAI), serta komposisi famili dan spesies tumbuhan yang bersangkutan (Kaveh *et al.*, 2024).

Vegetasi, khususnya pohon dan komunitas tanaman berkayu, diakui secara luas memiliki fungsi ekosistem ganda dalam pengendalian kualitas udara. Melalui mekanisme fotosintesis, transpirasi, dan deposisi kering partikel pada permukaan daun, tanaman mampu menyerap berbagai polutan, mereduksi konsentrasi partikulat halus, serta memodifikasi iklim mikro secara signifikan (Wright *et al.*, 2024). Efektivitas fungsi vegetasi sifatnya sangat spesifik dan bergantung pada karakteristik morfologi daun, arsitektur tajuk, kerapatan kanopi, dan komposisi famili tumbuhan yang menyusun suatu area vegetasi (Steinparzer *et al.*, 2023).

Manfaat vegetasi terhadap kualitas udara telah banyak dikaji di kawasan perkotaan, namun studi di kawasan konservasi seperti kebun raya purwodadi masih terbatas, terutama kajian mengenai variasi kualitas udara antar plot vegetasi dengan komposisi famili yang berbeda. Kebun Raya Purwodadi memiliki 27 blok koleksi yang masing-masing didominasi oleh famili vegetasi yang berbeda, memberikan kesempatan unik untuk mengeksplorasi pengaruh komposisi vegetasi terhadap parameter kualitas udara secara in situ dan komparatif (BRIN, 2024).

Kajian mengenai hubungan antara tipe vegetasi koleksi dan kualitas udara di dalam kawasan kebun raya memerlukan sebagai dasar ilmiah dalam pengelolaan ruang hijau dan pengembangan strategi konservasi berbasis ekosistem. Selain itu, data kualitas udara di kawasan ini relevan sebagai baseline monitoring lingkungan jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh vegetasi koleksi terhadap parameter kualitas udara di 27 plot pengukuran Kebun Raya Purwodadi, meliputi suhu, kelembaban relatif (RH), HCHO, TVOC, PM2.5, PM10, CO, dan CO2.

2 METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di Kebun Raya Purwodadi, yang secara administratif terletak di Desa Parerejo, Kecamatan Purwodadi, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Kebun Raya Purwodadi terletak di ketinggian 300 m dpl dengan 11.862 spesimen tanaman dari berbagai spesies (Siahaan, dkk., 2018). Pengukuran dilaksanakan pada tanggal 16 April 2026 dalam kondisi cuaca cerah tanpa hujan. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan observasional cross sectional.

2.2 Alat dan Bahan

Alat ukur penelitian menggunakan *Air Water Quality digital* portabel untuk pengukuran konsentrasi formaldehida/HCHO (mg/m^3), total senyawa organik volatil/TVOC (mg/m^3), partikulat halus PM2.5 ($\mu\text{g/m}^3$), partikulat kasar PM10 ($\mu\text{g/m}^3$), karbon monoksida/CO (ppm), dan karbon dioksida/CO2 (ppm). Serta Anemo meter untuk mengukur suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), (2) kelembaban relatif/RH. Plot yang diamati sejumlah 27 Jenis plot vegetasi yang berada di wilayah Kebun Raya Purwodadi.

2.3 Prosedur Penelitian

Titik pengambilan sampel dilakukan secara purposif sampling, di area terbuka di wilayah plot/vak yang memungkinkan untuk dilakukan pengamatan. Setiap plot diukur menggunakan *Air Water Quality digital* portabel dan anemo meter, angka yang muncul diamati hingga menampilkan nilai stabil. Untuk meminimalkan bias waktu dan meteorologis, seluruh pengukuran di selesaikan dalam satu hari yang sama. Data di catat pada lembar pengamatan setelah data diperoleh dan terstandarisasi. Peta Sebaran plot dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Sebaran Plot Sampel Kualitas Udara Kebun Raya Purwodadi (Sumber; Data Primer 2026)

Keterangan:

Plot 1	<i>Arecaceae</i>	Plot 10	<i>Rubiaceae</i>	Plot 19	<i>Annonaceae</i>
Plot 2	<i>Moraceae</i>	Plot 11	<i>Fabaceae</i>	Plot 20	<i>Clusiaceae</i>
Plot 3	<i>Gymnospermae</i>	Plot 12	<i>Bamboo</i>	Plot 21	Koleksi campuran 2
Plot 4	Areal jati	Plot 13	<i>Rutaceae</i>	Plot 22	<i>Apocynaceae</i>
Plot 5	<i>Dioscoreaceae</i>	Plot 14	<i>Euphorbiaceae</i>	Plot 23	<i>Ebenaceae</i>
Plot 6	Koleksi Campuran 1	Plot 15	<i>Sapindaceae</i>	Plot 24	<i>Sapotaceae</i>
Plot 7	Tanaman buah lokal	Plot 16	<i>Anacardiaceae</i>	Plot 25	<i>Myrtaceae</i>
Plot 8	<i>Arboretum</i>	Plot 17	Areal mahoni	Plot 26	<i>Musaceae</i>
Plot 9	<i>Mangifera</i>	Plot 18	<i>Lauraceae</i>	Plot 27	<i>Varbenaceae</i>

2.4 Analisis Data

Teknik Analisis data dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Perbandingan komparatif dilakukan secara naratif-deskriptif antar plot berdasarkan tipe famili vegetasi yang mendominasi masing masing plot. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan Baku Mutu Udara Ambien Nasional (BMUAN) sesuai Lampiran VII PP No. 22 Tahun 2021 untuk data PM_{2.5} (ug/m³); PM₁₀ (ug/m³) dan CO (ppm).

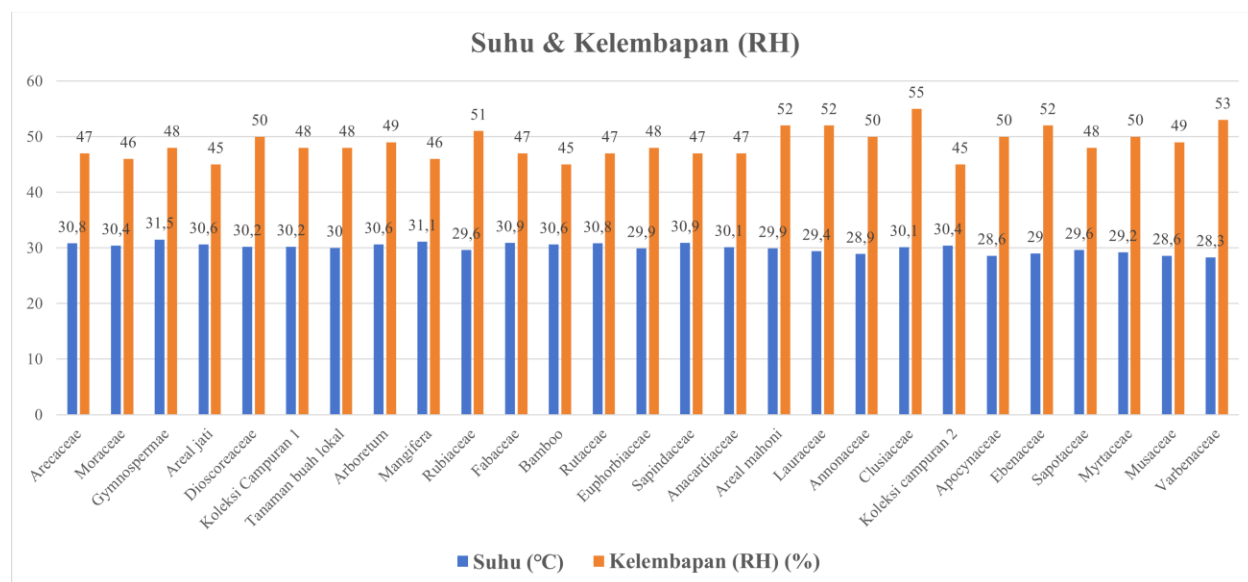
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji pengukuran kualitas udara dengan parameter yang diamati meliputi suhu, kelembaban relatif (RH), HCHO, TVOC, PM_{2.5}, PM₁₀, CO, dan CO₂ di 27 titik pengambilan sampel disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik yang pada beberapa parameter uji tersaji hasil pengukuran baku mutu lingkungan. Sesuai dengan Baku Mutu Udara Ambien Nasional (BMUAN) sesuai Lampiran VII PP No. 22 Tahun 2021.

3.1 Suhu Udara dan Kelembapan Relatif

Suhu seluruh vak/plot yang diamati berada pada rentang suhu 28 hingga 31,5 °C. Kelembapan Relatif (RH) berkisar antara 45 hingga 55 %. Variasi suhu dan kelembapan antar plot mencerminkan kapasitas modifikasi iklim mikro yang berbeda-beda antar tipe vegetasi. Plot dengan suhu lebih rendah dan kelembapan lebih tinggi cenderung merupakan famili berdaun lebar dengan kanopi yang rapat seperti Verbenaceae (28,3°C; 53%), Annonaceae (28,9°C; 50%), Apocynaceae (28,6°C; 50%), dan Musaceae (28,6°C; 49%) yang mengindikasikan laju evapotranspirasi lebih tinggi pada kelompok vegetasi tersebut.

Kondisi ini sesuai dengan kajian oleh Wright *et al.* (2024) yang secara komprehensif mendokumentasikan bahwa vegetasi memodifikasi suhu mikro di semua ekosistem terestrial melalui berbagai mekanisme termasuk pencahayaan (shading), evapotranspirasi, dan turbulensi udara. Selain itu, plot Bamboo dan Areal Jati mencatat kelembapan terendah (45%), kemungkinan berkaitan dengan karakteristik intersepsi air yang lebih rendah pada kanopi berbentuk jarum, daun sempit (Wright *et al.*, 2024).



Gambar 2. Grafik Suhu dan Kelembapan pada masing-masing vegetasi.

3.2 HCHO, TVOC dan CO2

Pengukuran kualitas udara didasari oleh berbagai faktor. Beberapa faktor tersebut adalah HCHO, TVOC dan CO₂. Berdasarkan nilai ambang batas (NAB) HCHO menurut WHO sebesar 0,1 mg/m³, sedangkan konsentrasi HCHO yang diperoleh melalui hasil pengukuran langsung pada 27 plot berkisar antara 0,004 hingga 0,118. Nilai HCHO 0,118 diperoleh dari plot vegetasi Gymnospermae. menjadikannya satu-satunya plot yang berpotensi menimbulkan risiko bagi kesehatan pengunjung apabila terpapar dalam durasi tertentu.

Tabel 1. Identifikasi HCHO, TVOC dan CO₂

Family	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)
<i>Arecaceae</i>	0,005	0,016	416
<i>Moraceae</i>	0,006	0,011	451
<i>Gymnospermae</i>	0,118	0,790	1313
Areal jati	0,004	0,014	420
<i>Dioscoreaceae</i>	0,016	0,098	420
Koleksi Campuran 1	0,048	0,290	820
Tanaman buah lokal	0,009	0,280	418
<i>Arboretum</i>	0,019	0,088	416
<i>Mangifera</i>	0,006	0,012	412
<i>Rubiaceae</i>	0,006	0,014	417
<i>Fabaceae</i>	0,015	0,089	412
<i>Bamboo</i>	0,006	0,015	685
<i>Rutaceae</i>	0,005	0,011	412
<i>Euphorbiaceae</i>	0,006	0,010	409
<i>Sapindaceae</i>	0,006	0,013	405
<i>Anacardiaceae</i>	0,005	0,014	416
Areal mahoni	0,006	0,011	406
<i>Lauraceae</i>	0,006	0,010	412
<i>Annonaceae</i>	0,006	0,015	422
<i>Clusiaceae</i>	0,005	0,016	416
Koleksi campuran 2	0,008	0,021	420
<i>Apocynaceae</i>	0,005	0,013	408
<i>Ebenaceae</i>	0,015	0,062	411
<i>Sapotaceae</i>	0,005	0,015	408
<i>Myrtaceae</i>	0,060	0,395	941
<i>Musaceae</i>	0,006	0,013	446
<i>Varbenaceae</i>	0,004	0,011	413

(Sumber: Data Primer 2026)

Tingginya konsentrasi HCHO pada plot *Gymnospermae* dijelaskan oleh Peng *et al.* (2022) dalam tinjauan komprehensifnya, bahwa formaldehida merupakan produk degradasi biogenik dari isoprena melalui reaksi oksidasi atmosferik dengan radikal OH dan NO, serta dapat ditemukan dalam dan di atas hutan konifer sebagai produk samping metabolisme terpena. Vegetasi *Gymnosperm* (konifer) dikenal menghasilkan emisi monoterpen dan isoprena 2–5 kali lebih tinggi dibandingkan tumbuhan berdaun lebar tropis pada kondisi suhu dan intensitas cahaya yang sama (Zeng *et al.*, 2022).

Data lain yang di peroleh adalah TVOC atau Total Senyawa Organik Volatil yang menunjukkan nilai tertinggi pada plot *Gymnospermae* (0,790 mg/m³) diikuti *Myrtaceae* (0,395 mg/m³). Keseluruhan data menunjukkan 20 dari 27 plot (74,1%) memiliki konsentrasi TVOC di bawah 0,1 mg/m³, mengindikasikan bahwa sebagian besar vegetasi koleksi Kebun Raya Purwodadi tidak berkontribusi signifikan terhadap beban TVOC udara ambien.

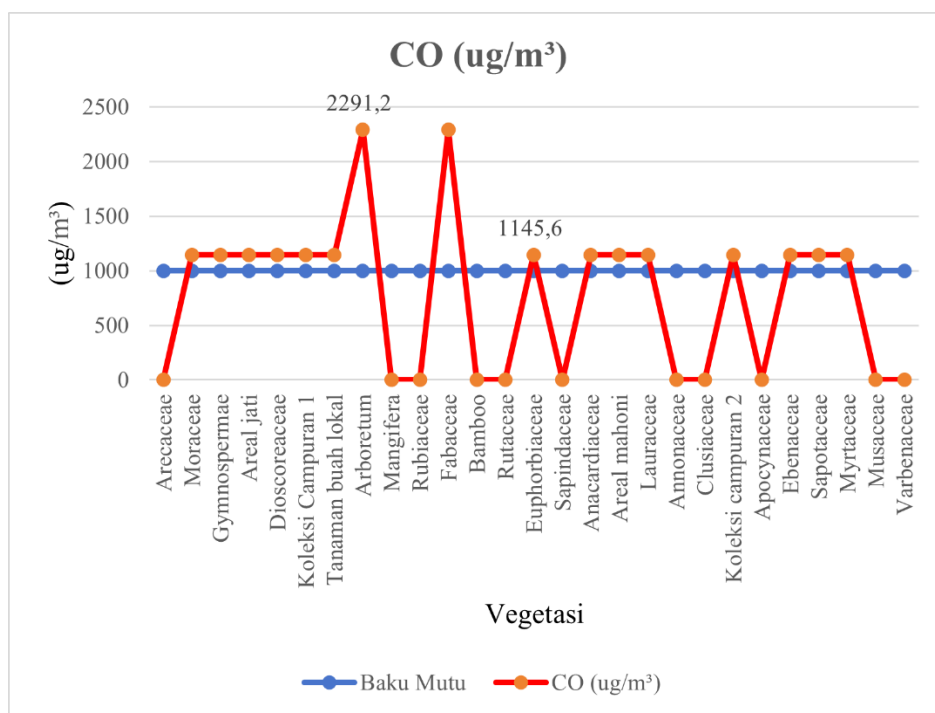
Tingginya nilai TVOC pada *Myrtaceae* berkorelasi dengan karakteristik biokimia famili ini. Jansawang *et al.* (2022) dalam studi komprehensif mengenai BVOC dari tanaman tropis melaporkan bahwa *Syzygium cumini* (famili *Myrtaceae*) merupakan salah satu penghasil BVOC tertinggi di antara spesies urban tropis, dengan emisi isoprena tertinggi pada kisaran suhu 38

hingga 40°C. Dipterocarpaceae diketahui menghasilkan terpen dan resin dalam jumlah besar sebagai mekanisme pertahanan ekologis (Zeng *et al.*, 2022).

Akumulasi CO₂ yang tinggi pada plot Gymnosperm kemungkinan besar merupakan kontribusi dari dua mekanisme utama yakni respirasi tanah yang intensif dari serasah tebal dan aktivitas dekomposer, serta kondisi kanopi tertutup yang menekan pertukaran udara vertikal sehingga CO₂ terakumulasi di lapisan udara dekat permukaan. Bond Lamberty *et al.* (2024) menyebut bahwa soil respiration berhubungan positif dengan kepadatan kanopi dan biomassa vegetasi di atasnya. Kondisi semi confinement akibat kanopi lebat dapat menciptakan lingkungan dengan dinamika pertukaran udara terbatas yang mendukung akumulasi CO₂.

3.3 Karbon Monoksida (CO)

Kadar karbon monoksida (CO) berdasarkan hasil identifikasi tergolong sangat rendah, jauh di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021 (30.000 µg/m³ atau sekitar 26,15 ppm) maupun panduan WHO sebesar 4 mg/m³ (Gambar 3). Hanya terdapat 2 plot yang tercatat memiliki nilai sebesar 2 ppm atau setara 2291,2 ug/m³ yaitu pada plot Arboretum dan Fabaceae. Rendahnya konsentrasi CO di seluruh kawasan mengkonfirmasi bahwa Kebun Raya Purwodadi tidak terpapar secara langsung dari emisi kendaraan bermotor yang signifikan, dan bahwa vegetasi kawasan berfungsi efektif sebagai buffer terhadap polutan CO dari Jalan Raya Surabaya-Malang yang berada di sisi barat kawasan. Data ini konsisten dengan temuan bahwa kawasan berhutan lebat mampu mereduksi transmisi polutan dari sumber emisi di luar kawasan secara bermakna (Yang *et al.*, 2025).

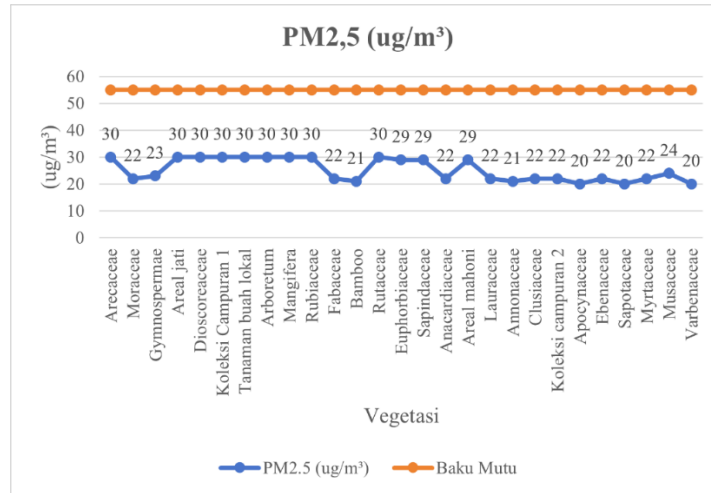


Gambar 3. Grafik Hasil Uji Karbon Monoksida (CO)

3.4 Partikulat Halus (PM2.5) dan Partikulat Kasar (PM10)

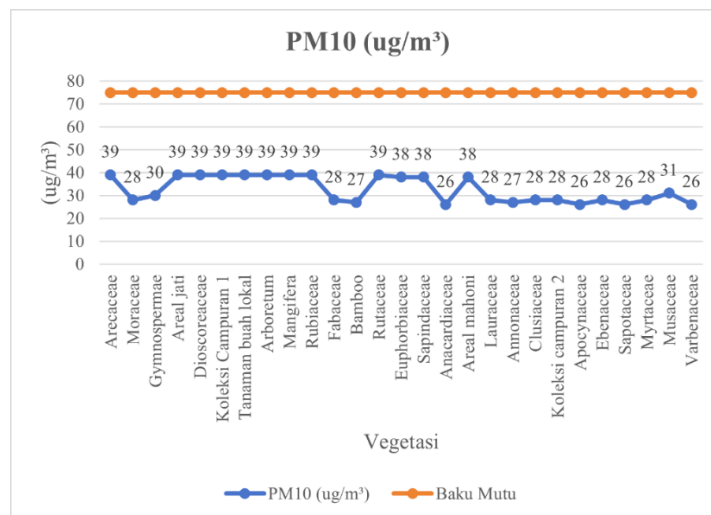
Konsentrasi PM2.5 terendah tercatat pada plot *Apocynaceae*, *Sapotaceae*, dan *Verbenaceae* (masing-masing 20 µg/m³), sedangkan tertinggi pada plot *Arecaceae*, *Areal Jati*, *Dioscoreaceae*,

Clusiaceae campuran 1, *Dipterocarpaceae*, *Arboretum*, dan *Mangifera* ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Gambar 4). Konsentrasi PM10 juga menunjukkan data yang baik. Seluruh nilai uji berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan pada PP No. 22 Tahun 2021. Konsentrasi Tertinggi PM10 tercatat pada plot *Arecaceae*, areal jati, koleksi campuran 1, tanaman buah lokal, arboretum, *Mangifera*, *Rubiaceae* dan *Rutaceae* ($39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Gambar 5).



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Partikulat Halus (PM2,5)

Variasi konsentrasi PM2.5 dan PM10 antar famili vegetasi mengindikasikan perbedaan kapasitas deposisi partikel yang signifikan. Steinparzer *et al.* (2023) menyebut bahwa perbedaan akumulasi PM pada daun hingga 10–20 kali lipat antar spesies pohon, yang secara dominan dipengaruhi oleh sifat morfologi daun khususnya kerapatan trikoma, rasio alur permukaan dan kepadatan stomata. Famili dengan daun berbulu (trikoma padat) seperti beberapa spesies *Apocynaceae* dan *Verbenaceae* cenderung menunjukkan akumulasi partikel lebih tinggi pada permukaan daun, yang secara mekanistik berkorelasi dengan konsentrasi PM2.5 lebih rendah di udara sekitarnya. Temuan ini didukung oleh Li *et al.* (2024) yang membuktikan bahwa kebiasaan daun (leaf habit types) merupakan determinan utama kapasitas retensi partikulat pada vegetasi urban.



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Partikulat Kasar (PM10)

4 KESIMPULAN

Vegetasi koleksi Kebun Raya Purwodadi menunjukkan pengaruh yang bervariasi dan terpola secara ekologis terhadap delapan parameter kualitas udara di 27 plot pengukuran. Secara umum, kualitas udara kawasan masih memenuhi baku mutu udara ambien nasional (PP No. 22 Tahun 2021). Perbedaan konsentrasi HCHO, TVOC, dan CO₂ antar family vegetasi khususnya pada kelompok Gymnospermae/ Myrtaceae/ Dipterocarpaceae sebagai net emitter BVOC dan kelompok Verbenaceae/ Annonaceae/ Apocynaceae sebagai vegetasi berkapasitas deposisi partikel lebih baik mengindikasikan adanya pengaruh diferensial komposisi vegetasi koleksi terhadap kualitas udara lokal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) terutama Direktorat Pengelolaan Koleksi Ilmiah (DPKI) BRIN dan juga rekan mahasiswa Biologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta serta peneliti dari Pusat Riset Teknologi Lingkungan dan Teknologi (PRTLTB) BRIN.

DAFTAR PUSTAKA

- Bond-Lamberty, B., Bhatt, D., Gough, C. M., Hartman, M. D., & Hanson, P. J. (2024). Twenty years of progress, challenges, and opportunities in measuring and understanding soil respiration. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129(2), e2023JG007637. <https://doi.org/10.1029/2023JG007637>.
- BRIN. (2024). Kebun Raya Purwodadi: Tentang Kami. Pusat Riset Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya-BRIN. <https://kebunraya.id/r/purwodadi/about-us>
- Jansawang, N., Uthaikitmongkol, K., Sritarapipat, T., Boonman, A., & Pumijumnong, N. (2022). Biogenic volatile organic compound emission from tropical plants in relation to temperature changes. *Environmental Challenges*, 9, Article100643. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100643>
- Li, Q., Liao, J., Zhu, Y., Ye, Z., Chen, C., Huang, Y., & Liu, Y. (2024). A study on the leaf retention capacity and mechanism of nine greening tree species in central tropical Asia regarding particulate various matter Atmosphere, 15(4), 394.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in Public Health*, 8, 14. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Lampiran VII: Baku Mutu Udara Ambien Nasional.
- Peng, W. X., Deng, W., Wang, Y., & Cao, J. (2022). A review of plants formaldehyde metabolism: Implications for hazardous emissions and phytoremediation. *Journal of Hazardous Materials*, 436, 129235. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129235>
- Peratura Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., ... & Wheeler, B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*, 15(Suppl 1), 36.
- Siahaan, F. A., Irawanto, R., Rahadianoro, A., & Abiwijaya, I. K. (2018). Sifat tanah lapisan atas di bawah pengaruh tegakan vegetasi berbeda di Kebun Raya Purwodadi. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 42(2), 91-98.

- Steinparzer, M., Rewald, B., Gartner, H., & Watzinger, A. (2023). Particulate matter accumulation by tree foliage is driven by leaf habit types, urbanization- and pollution levels. *Environmental Pollution*, 333, 122072. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122072>
- Tümse, S. (2025). Current Status and Future Forecast of Global CO₂ Concentration Using Statistical and Deep Learning Time Series Methods. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 40(4), 875-888.
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- Wright, I. J., Read, J., Gleason, S. M., Hua, X., Falster, D. S., & Reich, P. B. (2024). Plant traits, microclimate temperature and humidity: A research agenda for advancing nature-based solutions to a warming and drying climate. *Journal of Ecology*, 112(5), 975-990. <https://doi.org/10.1111/13652745.14313>
- Yang, W., Zhang, W., Liu, X., & Zhao, L. (2025). Vegetation plays a significant role in PM_{2.5} removal in urban green spaces. *Environmental Pollution*, 369, 125800. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125800>
- Zeng, J., Song, W., Zhang, Y., Mu, Z., Pang, W., Zhang, H., & Wang, X. (2022). Emissions of isoprenoids from dominant tree species in subtropical China. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 1089676. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1089676>