



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Perbandingan Efektivitas *Marchantia polymorpha* dan *Sphagnum* spp. sebagai Bioindikator Timbal di Kawasan Lalu Lintas Padat Kota Palu

*Comparison of the Effectiveness of *Marchantia polymorpha* and *Sphagnum* spp. as Lead Bioindicators in Heavy Traffic Areas of Palu City*

Ardini Wulandari^{1*}, Alricha², Fatimah Maulida³, Darasita Zahra Dayanun⁴, Siti Rahmatia Pratiwi⁵, Moh. Baitullah Amaludin⁶, Awwalini Maghfirah Salim⁷

¹ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, ardiniwulandari@untad.ac.id

² Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, alrichanasir@untad.ac.id

³ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, fatimahmaulida@untad.ac.id

⁴ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, darasitazahra@untad.ac.id

⁵ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, sitirahmatia.tl@untad.ac.id

⁶ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, baitullah@untad.ac.id

⁷ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, awwalinimaghfirah@untad.ac.id

*Corresponding Author: E-mail: ardiniwulandari@untad.ac.id

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 06 Sep, 2025

Revised: 25 Nov, 2025

Accepted: 02 Dec, 2025

Kata Kunci:

Bioindikator;

Lumut;

Timbal;

Kualitas udara

Keywords:

Bioindicator;

Moss;

Lead;

Air quality

DOI: [10.56338/jks.v8i12.9411](https://doi.org/10.56338/jks.v8i12.9411)

ABSTRAK

Penelitian biomonitoring kualitas udara dengan bioindikator lumut semakin berkembang sebagai alternatif metode pemantauan konvensional yang umumnya membutuhkan biaya tinggi, peralatan canggih, dan tenaga ahli. Studi ini bertujuan membandingkan efektivitas dua jenis lumut, yaitu lumut hati *Marchantia polymorpha* dan lumut gambut *Sphagnum* spp., dalam menyerap logam berat timbal (Pb) pada lingkungan dengan tingkat pencemaran lalu lintas berbeda di Kota Palu, Sulawesi Tengah. Penggunaan lumut dipilih karena kemampuannya menyerap polutan langsung dari atmosfer melalui permukaan tubuh tanpa adanya sistem pembuluh atau kutikula pelindung. Penelitian dilakukan dengan dua pendekatan lokasi. *Marchantia polymorpha* digunakan pada kawasan SPBU Pertamina Martadinata yang memiliki intensitas lalu lintas tinggi. Sementara itu, *Sphagnum* spp. ditempatkan pada kawasan lampu merah Jalan Suprpto, Besusu Tengah, yang merupakan titik akumulasi emisi kendaraan bermotor. Selain mengukur akumulasi timbal, penelitian ini juga menganalisis faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, curah hujan, dan arah angin untuk melihat pengaruh kondisi iklim terhadap penyerapannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *M. polymorpha*, dengan permukaan talus yang lebar, mampu mengakumulasi timbal secara efektif di lingkungan urban tropis yang terpapar polutan kendaraan. Di sisi lain, *Sphagnum* spp. memiliki sel hialin yang mampu menyerap air dan logam berat dengan lebih tinggi, sehingga responsif terhadap perubahan kelembaban dan kondisi iklim. Temuan ini menegaskan bahwa kedua jenis lumut merupakan bioindikator efektif dengan keunggulan masing-masing, dan berpotensi digunakan

sebagai metode biomonitoring yang murah, praktis, serta mendukung pengendalian pencemaran udara di kawasan perkotaan.

ABSTRACT

*Air quality biomonitoring research using moss bioindicators is increasingly developing as an alternative to conventional monitoring methods that generally require high costs, sophisticated equipment, and expertise. This study aims to compare the effectiveness of two types of moss, namely the liverwort *Marchantia polymorpha* and the peat moss *Sphagnum* spp., in absorbing the heavy metal lead (Pb) in environments with different levels of traffic pollution in Palu City, Central Sulawesi. The use of moss was chosen because of its ability to absorb pollutants directly from the atmosphere through the body surface without a vascular system or protective cuticle. The study was conducted using two location approaches. *Marchantia polymorpha* was used in the Pertamina Martadinata gas station area, which has high traffic intensity. Meanwhile, *Sphagnum* spp. was placed in the traffic light area of Jalan Suprpto, Central Besusu, which is a point of accumulation of motor vehicle emissions. In addition to measuring lead accumulation, this study also analyzed environmental factors such as temperature, humidity, wind speed, rainfall, and wind direction to determine the effect of microclimate conditions on its absorption. The results of the study indicate that *M. polymorpha*, with its wide thallus surface, is able to accumulate lead effectively in tropical urban environments exposed to vehicle pollutants. On the other hand, *Sphagnum* spp. has hyaline cells that are able to absorb water and heavy metals more highly, making it responsive to changes in humidity and microclimate conditions. These findings confirm that both types of moss are effective bioindicators with their respective advantages, and have the potential to be used as an inexpensive and practical biomonitoring method that supports air pollution control in urban areas.*

PENDAHULUAN

Pencemaran udara dari aktivitas transportasi tetap menjadi masalah kesehatan lingkungan di kawasan perkotaan; emisi kendaraan menyumbang partikel dan unsur logam berat seperti timbal (Pb) yang berpotensi menimbulkan efek neurologis dan perkembangan kronis pada manusia (Suryadi et al., 2025). Oleh karena itu pemantauan kualitas udara menjadi prioritas kebijakan kesehatan lingkungan. WHO telah memperbarui pedoman kualitas udara global pada 2021 untuk merefleksikan bukti kesehatan yang lebih ketat dan menekankan perlunya pengukuran yang andal di tingkat lokal (World Health Organization, 2021).

Metode konvensional pemantauan udara (alat aktif, stasiun pemantau) seringkali mahal dan membutuhkan pemeliharaan serta keahlian teknis. Sebagai alternatif yang hemat biaya dan praktis, biomonitoring menggunakan *bryophyta* (lumut dan liverwort) sebagai bioindikator telah berkembang pesat karena kemampuan organisme ini menyerap/menahan polutan dari atmosfer melalui permukaan tubuhnya; pendekatan ini telah dievaluasi ulang dalam beberapa ringkasan dan studi lapang modern (Aboal et al., 2020; Basile et al., 2022; Wulan & Yulianto, 2021).

Setiap jenis lumut punya bentuk dan sifat tubuh yang berbeda, sehingga kemampuan mereka menyerap polutan juga tidak sama. Misalnya, *Marchantia polymorpha* atau lumut hati banyak digunakan dalam penelitian karena talusnya yang lebar mampu menangkap partikel dan ion logam dari udara. Sementara itu, *Sphagnum* spp. atau lumut gambut memiliki sel-sel hialin yang bisa menyimpan banyak air, sehingga lebih efektif menyerap logam berat dan partikel di lingkungan yang lembap. Penelitian terbaru, baik di laboratorium maupun di lapangan, menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti kelembaban, curah hujan, dan angin juga sangat memengaruhi kemampuan lumut untuk menahan logam dari udara (Wulan & Yulianto, 2021; Capozzi, Giordano, & Spagnuolo, 2016).

Penelitian ini bertujuan menyusun pembahasan komparatif berdasarkan kajian lapangan mengenai pemanfaatan *Marchantia polymorpha* dan *Sphagnum* spp. sebagai bioindikator Pb di dua lokasi dengan intensitas lalu lintas tinggi di Kota Palu. Melalui perbandingan ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai keunggulan masing-masing spesies, pengaruh faktor mikroklimat terhadap kemampuan akumulasi logam, serta implikasinya bagi strategi pemantauan kualitas udara yang murah, praktis, dan berkelanjutan di kawasan perkotaan tropis (Wulan & Yulianto, 2021; Basile, Sorbo, Loppi, & Paoli, 2022).

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di dua titik strategis di Kota Palu, Sulawesi Tengah, yang mewakili area dengan intensitas lalu lintas tinggi. Lokasi pertama adalah SPBU Pertamina Martadinata, yang dipilih karena aktivitas kendaraan berlangsung secara konstan dan berpotensi menghasilkan polusi Pb dari emisi kendaraan. Lokasi kedua adalah lampu merah Jalan Suprpto, Besusu Tengah, yang mewakili area kemacetan dengan akumulasi emisi tinggi. Pemilihan lokasi ini bertujuan membandingkan kondisi pencemaran pada dua tipe aktivitas lalu lintas berbeda.

Objek dan Bahan Penelitian

Dua jenis lumut digunakan sebagai bioindikator, yaitu lumut hati (*Marchantia polymorpha*) dan lumut gambut (*Sphagnum* spp.). Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini meliputi akuades untuk pembersihan sampel, HNO_3 pekat untuk destruksi jaringan, dan kertas saring Whatman No. 42. Peralatan yang digunakan antara lain kantong jaring nilon (moss bag) untuk wadah lumut, oven pengering, timbangan analitik dengan akurasi 0,001 g, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), serta instrumen pengukur mikroklimat berupa termohigrometer, anemometer, dan penakar hujan.

Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dalam melakukan penelitian ini, adalah :

a. Pengambilan dan Persiapan Sampel

Sampel lumut dikumpulkan dari habitat alami yang relatif bebas polusi, kemudian dibersihkan dari kotoran dan tanah. Lumut ditempatkan dalam kantong jaring (moss bag) untuk memastikan standar paparan.

b. Penempatan Sampel

Moss bag yang berisi masing-masing spesies lumut digantung pada ketinggian $\pm 1,5\text{--}2$ meter dari permukaan tanah di kedua lokasi penelitian. Lama paparan ditentukan selama dua minggu untuk memastikan kontak cukup dengan polutan udara, mengacu pada standar biomonitoring lumut (Aboal et al., 2020).

c. Pengukuran Faktor Lingkungan

Pada saat penelitian berlangsung, faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, curah hujan, kecepatan angin, dan arah angin dicatat setiap hari. Parameter ini digunakan untuk menganalisis pengaruh kondisi mikroklimat terhadap kemampuan akumulasi Pb (Basile et al., 2022).

d. Analisis Kandungan Pb

Setelah periode eksposur, sampel lumut dikeringkan, digiling, lalu dianalisis kandungan timbal (Pb) menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Data konsentrasi Pb dinyatakan dalam $\mu\text{g/g}$ berat kering.

Analisis Data

Data hasil pengukuran konsentrasi Pb dari SSA dinyatakan dalam $\mu\text{g/g}$ berat kering. Nilai tersebut dihitung berdasarkan persamaan:

$$\text{Kadar Pb} = \frac{(C \times V)}{W}$$

C : konsentrasi Pb hasil SSA ($\mu\text{g/mL}$);

V : volume larutan sampel (mL);

W : adalah berat kering sampel (g)

Data konsentrasi Pb dianalisis secara deskriptif-komparatif untuk melihat perbedaan akumulasi antara spesies lumut dan lokasi. Hubungan antara faktor lingkungan dan tingkat akumulasi logam dianalisis secara korelatif untuk memahami sejauh mana kondisi iklim mikro memengaruhi efektivitas bioindikator.

HASIL

Penelitian ini menghasilkan data akumulasi logam berat timbal (Pb) pada dua spesies lumut, *Marchantia polymorpha* dan *Sphagnum* spp., yang diekspos di dua lokasi dengan tingkat kepadatan lalu lintas tinggi di Kota Palu. Analisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) menunjukkan adanya variasi konsentrasi Pb yang dipengaruhi oleh perbedaan spesies dan lokasi penelitian.

Tabel 1. Konsentrasi Pb ($\mu\text{g/g}$ berat kering) pada lumut setelah 14 hari eksposur

Lokasi Penelitian	<i>Marchantia polymorpha</i>	<i>Sphagnum</i> spp.
SPBU Pertamina Martadinata	18,4 $\mu\text{g/g}$	21,7 $\mu\text{g/g}$
Lampu Merah Jl. Suprpto	15,6 $\mu\text{g/g}$	20,2 $\mu\text{g/g}$

Tabel 2. Konsentrasi Pb ($\mu\text{g/g}$ berat kering) pada lumut setelah 14 hari eksposur

Parameter	SPBU Pertamina Martadinata	Lampu Merah Jl. Suprpto
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	29–32 (rata-rata 31)	28–30 (rata-rata 29)
Kelembapan (%)	60–70 (rata-rata 65)	75–82 (rata-rata 78)
Kecepatan Angin (m/s)	1,5–2,0 (rata-rata 1,8)	1,0–1,5 (rata-rata 1,2)
Curah Hujan (mm/hari)	2–4 (rata-rata 3)	4–6 (rata-rata 5)

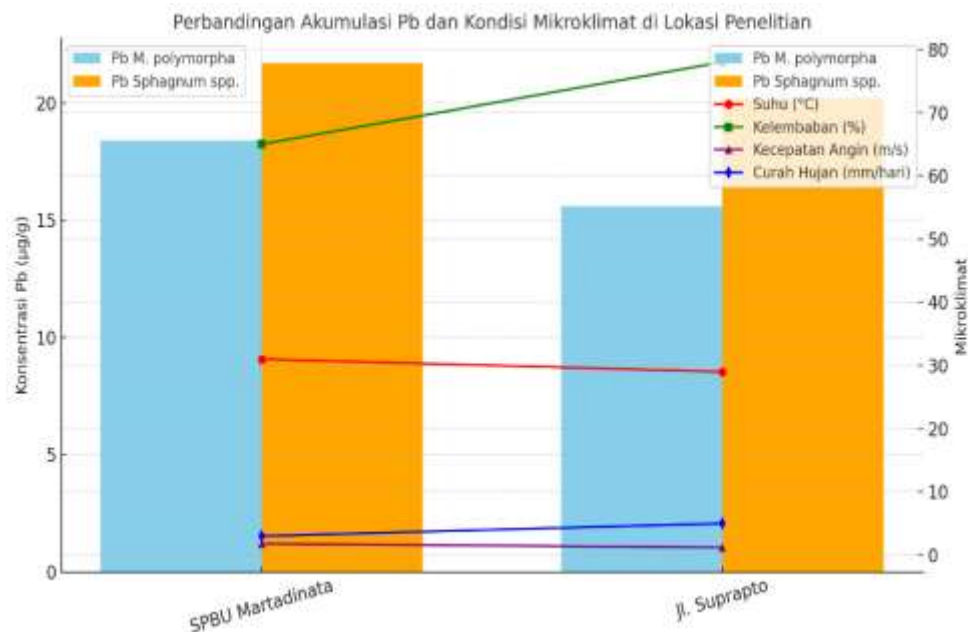
DISKUSI

Tujuan utama penelitian ini adalah membandingkan efektivitas dua jenis lumut, *Marchantia polymorpha* dan *Sphagnum* spp., sebagai bioindikator Pb di dua area lalu lintas padat. Temuan penelitian menunjukkan Pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa *Sphagnum* spp. secara konsisten memiliki akumulasi Pb lebih tinggi dibanding *M. polymorpha* di kedua lokasi. Hal ini dapat dijelaskan oleh perbedaan morfologi kedua lumut. *M. polymorpha* dengan talus lebarnya efektif menangkap partikel

Pb dari udara, sedangkan *Sphagnum* spp. memiliki sel hialin yang mampu menyimpan air dan ion logam, sehingga lebih unggul dalam menyerap Pb terutama pada lingkungan lembap. Hasil ini sejalan dengan penelitian Capozzi, Giordano, & Spagnuolo (2016) yang melaporkan bahwa variasi morfologi bryophyta memengaruhi kapasitas akumulasi logam berat. Dilihat dari lokasi, SPBU Pertamina Martadinata menunjukkan konsentrasi Pb lebih tinggi dibanding lampu merah Jalan Suprpto, baik pada *M. polymorpha* maupun *Sphagnum* spp. Hal ini disebabkan oleh aktivitas kendaraan yang padat dan konstan sepanjang hari, ditambah emisi volatil dari aktivitas pengisian bahan bakar. Kondisi ini berbeda dengan lampu merah Jl. Suprpto, yang meskipun lalu lintasnya padat, hanya mengalami akumulasi polutan pada waktu-waktu tertentu ketika terjadi kemacetan. Temuan ini konsisten dengan laporan Suryadi et al. (2025) bahwa area transportasi dengan aktivitas kendaraan berulang cenderung memiliki tingkat polusi lebih tinggi dibanding area yang hanya mengalami paparan sesekali.

Data mikroklimat (**Tabel 2**) memperkuat perbedaan tersebut. Suhu rata-rata di SPBU lebih tinggi (31 °C) dibandingkan di Jl. Suprpto (29 °C). Suhu yang lebih tinggi biasanya menyebabkan kelembaban lebih rendah, sehingga memengaruhi kemampuan lumut dalam menyerap logam berat. Kelembaban di SPBU hanya sekitar 60–70% (rata-rata 65%), sedangkan di Jl. Suprpto mencapai 75–82% (rata-rata 78%). Kelembaban tinggi sangat mendukung *Sphagnum* spp. karena lumut ini menyerap air dan logam melalui sel hialinnya. Sebaliknya, kelembaban rendah membuat *M. polymorpha* kurang optimal. Kecepatan angin di SPBU sedikit lebih tinggi (1,5–2,0 m/s) dibandingkan Jl. Suprpto (1,0–1,5 m/s). Angin yang lebih kencang dapat membantu penyebaran partikel polutan ke permukaan lumut, sehingga memperbesar peluang akumulasi logam. Curah hujan di Jl. Suprpto lebih tinggi (4–6 mm/hari) dibandingkan di SPBU (2–4 mm/hari). Hujan dapat mencuci polutan dari permukaan lumut (proses wash-out), sehingga meskipun kelembaban tinggi mendukung penyerapan, ada risiko logam terbawa air hujan.

Berikut perbandingan akumulasi logam berat Pb pada *Marchantia polymorpha* dan *Sphagnum* spp. dengan kondisi mikroklimat.



Gambar 1 Grafik Perbandingan Pb pada *Marchantia polymorpha* dan *Sphagnum* spp. dengan kondisi mikroklimat.

Pada grafik batang menunjukkan konsentrasi Pb ($\mu\text{g/g}$ berat kering) pada lumut setelah 14 hari eksposur, sedangkan grafik garis menggambarkan parameter mikroklimat rata-rata selama periode penelitian. Dari data diatas memperlihatkan bahwa *Sphagnum* spp. secara konsisten mengakumulasi Pb lebih tinggi dibanding *M. polymorpha*, dan variasi akumulasi Pb berkaitan erat dengan perbedaan kelembaban serta curah hujan antar lokasi. Pb merupakan salah satu logam berat berbahaya yang dapat menimbulkan gangguan neurologis penurunan fungsi kognitif dan efek kesehatan kronis lainnya pada manusia jika terpapar dalam jangka panjang (Suryadi et al., 2025; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Dengan demikian, pemanfaatan lumut sebagai bioindikator menawarkan solusi praktis dan hemat biaya untuk memantau kualitas udara di wilayah perkotaan tropis yang belum memiliki infrastruktur pemantauan konvensional. *Marchantia polymorpha* lebih sesuai digunakan di area urban kering dengan paparan polutan kendaraan yang stabil, sedangkan *Sphagnum* spp. lebih efektif di area lembap dengan kelembaban tinggi. Kombinasi keduanya dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi pencemaran udara di perkotaan. Hasil penelitian ini konsisten dengan studi internasional seperti Basile et al. (2022), meskipun akumulasi Pb di Kota Palu relatif lebih tinggi dibandingkan laporan dari kawasan subtropis, yang kemungkinan dipengaruhi oleh iklim tropis lembap dan karakteristik lalu lintas lokal. Meski demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya berfokus pada satu jenis logam (Pb), periode eksposur singkat (14 hari), serta lokasi yang terbatas. Oleh karena itu, penelitian lanjutan sebaiknya dilakukan dalam periode yang lebih panjang, mencakup lebih banyak jenis polutan, dan melibatkan lokasi dengan variasi aktivitas transportasi yang lebih luas, sehingga hasil biomonitoring dapat lebih representatif dan bermanfaat untuk mendukung kebijakan pengendalian pencemaran udara di Indonesia (Prasetyo, Utami, & Wibowo, 2021)

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa lumut dapat dijadikan bioindikator yang efektif untuk biomonitoring pencemaran udara di kawasan perkotaan tropis. Hasil pengukuran konsentrasi Pb menunjukkan bahwa *Sphagnum* spp. memiliki kemampuan akumulasi logam yang lebih tinggi dibandingkan *Marchantia polymorpha* pada kedua lokasi penelitian. Perbedaan ini terutama dipengaruhi oleh karakteristik morfologi, di mana sel hialin pada *Sphagnum* spp. mampu menyimpan air dan ion logam dalam jumlah lebih besar. Dari sisi lokasi, SPBU Pertamina Martadinata menunjukkan konsentrasi Pb lebih tinggi dibanding lampu merah Jalan Suprpto. Hal ini diduga terkait dengan aktivitas kendaraan yang padat dan konstan, serta adanya tambahan polusi dari proses pengisian bahan bakar. Faktor mikroklimat, seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan curah hujan, juga terbukti memengaruhi variasi akumulasi logam. Kondisi kelembaban tinggi mendukung daya serap *Sphagnum* spp., sedangkan suhu lebih tinggi di SPBU cenderung membatasi akumulasi pada *M. polymorpha*. Secara umum, *M. polymorpha* lebih sesuai digunakan sebagai bioindikator di kawasan urban kering dengan lalu lintas padat, sementara *Sphagnum* spp. lebih unggul di lingkungan lembap dengan daya retensi polutan yang tinggi. Kombinasi pemanfaatan kedua jenis lumut ini dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif untuk mendukung pemantauan kualitas udara di kota tropis.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, suhu atau pemanasan lingkungan terbukti menjadi faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kemampuan lumut dalam mengakumulasi logam berat Pb. Oleh karena itu, pemilihan spesies lumut sebagai bioindikator disarankan untuk disesuaikan dengan kondisi suhu lokasi pemantauan. Pada area bersuhu tinggi seperti SPBU Pertamina Martadinata, *Sphagnum* spp. lebih direkomendasikan karena mampu mempertahankan kapasitas penyerapan logam meskipun berada pada lingkungan yang panas, sementara *Marchantia polymorpha* cenderung menunjukkan efektivitas yang

lebih rendah. Selain itu, titik-titik pemantauan sebaiknya ditempatkan pada kawasan yang mengalami peningkatan suhu atau pemanasan mikroklimat, mengingat area tersebut menunjukkan akumulasi Pb yang lebih tinggi sehingga penting untuk dipantau secara berkelanjutan. Pengukuran suhu harian perlu dilakukan secara konsisten selama periode biomonitoring untuk memastikan interpretasi data lebih akurat, mengingat fluktuasi suhu dapat memengaruhi proses penyerapan logam pada kedua spesies. Untuk lokasi-lokasi yang cenderung panas, durasi eksposur lumut juga direkomendasikan untuk diperpanjang agar akumulasi logam dapat mencapai kestabilan dan menghasilkan data yang lebih representatif. Dengan menerapkan strategi ini, pemanfaatan lumut sebagai bioindikator akan menjadi lebih efektif dan mampu memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi pencemaran udara di kawasan perkotaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboal, J. R., Fernández, J. A., Ederra, A., Carballeira, A., & Giordano, S. (2020). Moss bag biomonitoring: A review of the technique and guidelines for its application. *Science of the Total Environment*, 715, 136843.
- Basile, A., Sorbo, S., Loppi, S., & Paoli, L. (2022). Bryophytes as bioindicators of air pollution: A comprehensive review. *Ecological Indicators*, 141, 109064.
- Capozzi, F., Giordano, S., & Spagnuolo, V. (2016). Morphological traits influence the accumulation of airborne trace elements in mosses. *Environmental Pollution*, 218, 704–713.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *Laporan Kualitas Udara Perkotaan Indonesia*. Jakarta: KLHK.
- Prasetyo, D., Utami, L., & Wibowo, A. (2021). Kajian kualitas udara ambien di kawasan perkotaan padat transportasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan Indonesia*, 19(3), 145–158.
- Suryadi, I., Juherah, J., Rachmawati, S., Fitriani, N., Kahfi, M., & Basri, S. (2025). Exposure of volunteer traffic assistants to PM_{2.5} from transportation in Indonesia: An environmental health risk analysis. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 58(4), 379-387.
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. WHO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
- Wulan, R., & Yulianto, A. (2021). Lumut hati sebagai bioindikator pencemaran Pb di sekitar SPBU Surabaya. *Jurnal Lingkungan Indonesia*, 28(3), 155–162