

Keanekaragaman Jenis Lichen sebagai Bioindikator Kualitas Udara di Politeknik Negeri Jember

(Species Diversity of Lichen as Bioindicators of Air Quality at The State Polytechnic of Jember)

Mili Agustin^{1*}, Avika Aditya Febriana Putri¹, Ika Nuraini¹, Yohana Maharani Pitaloka¹, Putri Saniyyah Rahmalisa Az Zahra¹, Retno Wimbaningrum¹, Rendy Setiawan¹

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember, Jember 68121, Jawa Timur, Indonesia

*E-mail: miliagustin12@gmail.com

Abstrak: Lichen merupakan organisme simbiotik yang sensitif terhadap perubahan kualitas udara sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bioindikator lingkungan. Tujuan penelitian dilakukan untuk menentukan keanekaragaman lichen di kawasan Politeknik Negeri Jember serta menilai kualitas udara berdasarkan Indeks Kemurnian Atmosfer (IAP). Penelitian dilaksanakan pada sembilan lokasi pengamatan dengan menggunakan metode purposive sampling plot berukuran 10×10 cm pada empat sisi batang pohon di setiap titik. Sampel lichen dikumpulkan, diidentifikasi berdasarkan karakter morfologi, dan dihitung persentase penutupannya untuk memperoleh nilai frekuensi dan indeks ekologis yang digunakan dalam perhitungan IAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ditemukan 25 jenis lichen dengan luas penutupan 8.647%, jumlah nilai IAP tertinggi pada Jurusan Bahasa, Komunikasi dan Pariwisata dengan nilai 0.35, jumlah terendah pada Jurusan Teknologi Informasi dan Jurusan Manajemen Agribisnis dengan nilai IAP masing-masing 0.02. Seluruh lokasi di lingkungan kampus memiliki nilai IAP yang sangat rendah dengan nilai total 0.86, menandakan tingkat pencemaran udara yang sangat tinggi. Lokasi dengan nilai IAP tertinggi tetap berada dalam kategori polusi sangat tinggi. Rendahnya nilai IAP diduga kuat berkaitan dengan tingginya aktivitas kendaraan bermotor di area kampus serta belum optimalnya fungsi vegetasi dalam mengurangi polutan atmosfer.

Kata Kunci: Bioindikator, Indeks Kemurnian Atmosfer, Kualitas Udara, Lichen

Abstract: Lichens are symbiotic organisms that are sensitive to changes in air quality, so they are widely used as environmental bioindicators. The purpose of this study was to determine the diversity of lichens in the Jember State Polytechnic area and to assess air quality based on the Atmospheric Purity Index (API). The research was conducted at nine observation sites using a purposive sampling method with 10×10 cm plots on four sides of tree trunks at each point. Lichen samples were collected, identified based on morphological characteristics, and their coverage percentage was calculated to obtain frequency values and ecological indices used in the ACI calculation. The results showed that 25 types of lichens were found with a coverage area of 8.647%. The highest ACI value was found in the Department of Language, Communication, and Tourism with a value of 0.35, while the lowest values were found in the Department of Information

Technology and the Department of Agribusiness Management with ACI values of 0.02, respectively. All locations on campus had very low IAP values with a total value of 0.86, indicating a very high level of air pollution. The location with the highest IAP value remained in the very high pollution category. The low IAP value is strongly suspected to be related to the high level of motor vehicle activity on campus and the suboptimal function of vegetation in reducing atmospheric pollutants.

Keywords: Air Quality, Atmospheric Purity Index, Bioindicator, Lichen

PENDAHULUAN

Lichen adalah salah satu bentuk simbiosis mutualisme antara fungi (jamur) dengan alga (protista mirip tumbuhan) dan termasuk ke dalam kelompok tumbuhan tingkat rendah. Tipe jamur yang umumnya membentuk simbiosis ini adalah *Ascomycota* atau *Basidiomycota*, sedangkan alga yang berasosiasi biasanya berupa alga hijau atau sianobakteri (Nisa *et al.*, 2025). Alga berfungsi menghasilkan karbohidrat melalui proses fotosintesis dengan bantuan klorofil, sedangkan jamur menyerap air dan mineral dari lingkungannya (Winowoda *et al.*, 2020). Jamur juga berperan memberikan struktur, massa, dan perlindungan bagi asosiasi tersebut (Sophian *et al.*, 2025). Interaksi antara komponen penyusun lichen menghasilkan struktur talus yang terbagi ke dalam empat tipe, yaitu foliose, crustose, squamulose, dan fruticose, sehingga menjadikan lichen sebagai organisme yang unik (Hutasuhut *et al.*, 2021).

Keunikan struktur talus yang dikombinasikan dengan pola hidup simbiotik ini berperan penting dalam meningkatkan kemampuan adaptasi lichen, sehingga mampu bertahan di berbagai kondisi lingkungan, termasuk habitat ekstrem seperti permukaan batu, batang kayu, tanah gersang, hingga ekosistem tundra (Aschenbrenner *et al.*, 2016). Kemampuan adaptasi tersebut membuat lichen tidak hanya bertahan hidup, tetapi juga berfungsi sebagai penanda alami kualitas lingkungan. Sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan lingkungan membuat lichen sering dimanfaatkan sebagai bioindikator untuk mendeteksi polusi (Sophian *et al.*, 2025). Kehadiran maupun ketiadaan lichen mencerminkan tingkat pencemaran suatu wilayah, sehingga keragamannya dapat digunakan untuk menilai kondisi ekosistem. Tingkat keragaman jenis lichen cenderung lebih tinggi di wilayah yang jauh dari sumber pencemar, sedangkan komposisi spesies akan menyesuaikan kondisi lingkungan di sekitarnya (Jahja *et al.*, 2025).

Salah satu metode biomonitoring kualitas udara adalah dengan melakukan pengamatan luas tutupan Lichen yang berfungsi sebagai bioindikator pencemaran udara. Lichen menjadi salah satu bioindikator yang paling sering dimanfaatkan karena tingkat sensitivitasnya terhadap polutan. Organisme ini mampu menyerap senyawa kimia dari udara maupun air hujan, sehingga keberadaannya dapat mencerminkan kualitas udara suatu wilayah. Beragam spesies lichen dapat digunakan baik sebagai indikator pasif maupun aktif, dan semakin tinggi keragaman serta jumlah lichen di suatu daerah maka dapat diasumsikan tingkat polusinya rendah, begitu pula sebaliknya (Roziaty *et al.*, 2021).

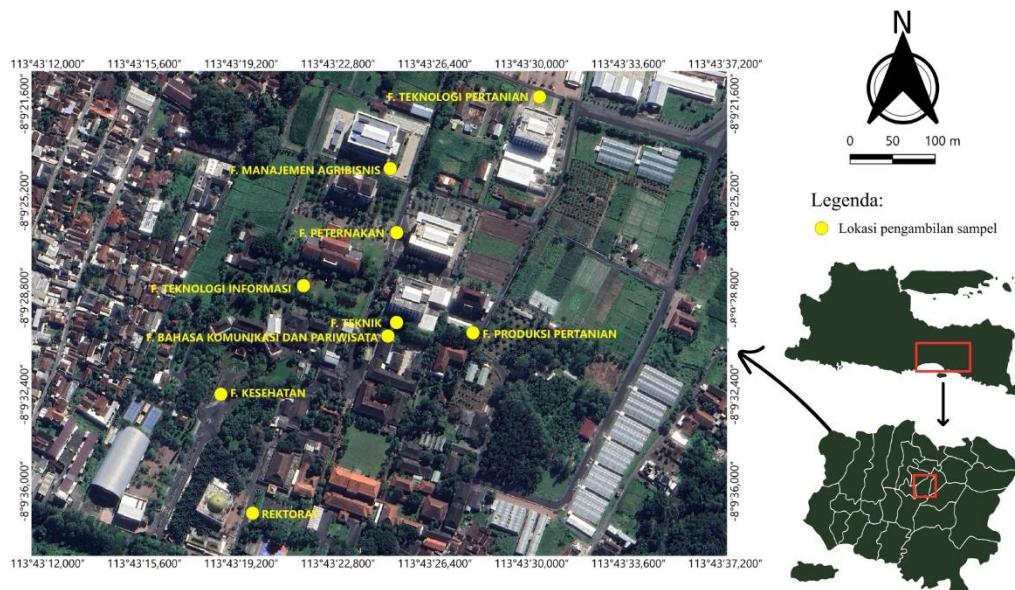
Potensi lichen sebagai bioindikator menjadikannya menarik untuk diteliti. Penelitian mengenai lichen juga relevan dilakukan di kawasan pendidikan yang memiliki perbedaan kondisi lingkungan. Politeknik Negeri Jember (Polije) merupakan salah satu Perguruan Tinggi Negeri yang dikenal sebagai kampus *Teaching Factory* (TEFA) yang merupakan pabrik di dalam kampus dengan metode pembelajaran berpusat produksi atau

jasa yang menyelaraskan pengajaran dan pelatihan atau praktikum yang berdasar pada prosedur dan standar yang telah ditetapkan di dunia industri, serta disesuaikan dengan situasi saat ini (Adhamatika *et al.*, 2025). Kawasan sekitar Polije memiliki lingkungan yang cukup beragam, mulai dari area hijau dengan pepohonan, taman kampus, hingga lahan terbuka dan bangunan dengan berbagai substrat keras seperti dinding serta batuan. Variasi kondisi tersebut menyediakan habitat potensial bagi pertumbuhan lichen, sehingga diduga pohon di area Politeknik Negeri Jember banyak ditumbuhi oleh lichen.

Penelitian ini dilakukan di area Politeknik Negeri Jember karena hingga saat ini belum ada penelitian yang secara khusus meneliti keanekaragaman lichen di lokasi tersebut, sehingga penelitian ini dapat memberikan peluang untuk memperoleh informasi baru yang dapat mendukung pengelolaan lingkungan di area kampus. Hasil penelitian diharapkan mampu menambah informasi terkait keanekaragaman hayati di kawasan kampus maupun sekitarnya. Tujuan penelitian kali ini adalah untuk mengidentifikasi keanekaragaman lichen yang terdapat di area Politeknik Negeri Jember dan mengetahui potensi lichen sebagai bioindikator kualitas udara di lingkungan kampus Politeknik Negeri Jember.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Politeknik Negeri Jember, Kabupaten Jember. Pengambilan data dilakukan selama 1 hari pada tanggal 11 Oktober 2025. Proses identifikasi dan analisis data dilakukan di Sub Laboratorium Ekologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.



Gambar 1. Peta Lokasi Sampling Lichen di Politeknik Negeri Jember

Penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling*. Metode *purposive sampling* merupakan cara menetapkan lokasi plot sampel secara sengaja, bukan secara acak (Saputra *et al.*, 2018). Plot yang digunakan dengan ukuran 10×10 cm. Alat dan bahan yang digunakan mencakup berbagai perlengkapan untuk kegiatan pengambilan sampel di lapangan hingga proses identifikasi di laboratorium. Alat yang digunakan

meliputi kamera digital, bingkai kuadran plastik berukuran 10×10 cm, spidol permanen, *cutter* atau pisau, plastik *ziplock*, alat tulis, mikroskop stereo, GPS, dan pinset. Bahan yang digunakan terdiri dari sampel lichen, label, serta buku referensi berjudul *Lichens in the Environment of Jember University* karya Wiku Purnama Wisesa (2016).



Gambar 2. Ilustrasi Pengambilan Sampel Lichen

Pengambilan sampel dilakukan di 9 titik lokasi yang berbeda. Pada setiap titik lokasi, sampel diambil dari 7 pohon yang berbeda. Pada masing-masing pohon, plot berukuran 10×10 cm ditempatkan di 4 sisi batang yang berbeda. Lichen yang terdapat di dalam setiap plot kemudian ditandai menggunakan spidol permanen pada bingkai kuadran dan dihitung persentase penutupannya. Setelah itu, lichen diambil menggunakan *cutter*, dimasukkan ke dalam plastik *ziplock*, diberi label yang mencantumkan lokasi, nomor sampel, dan tanggal pengambilan, lalu dibawa ke laboratorium untuk proses identifikasi (Gambar 2). Sampel diamati di laboratorium menggunakan mikroskop stereo untuk mengidentifikasi karakter morfologi lichen, seperti bentuk talus, warna, dan struktur permukaan, dengan mengacu pada buku identifikasi sebagai panduan penentuan jenis.

Analisis data dimulai dengan menghitung persentase tutupan lichen di berbagai titik sampel yang diambil dari lokasi penelitian. Persentase dihitung berdasarkan pengamatan visual luas tutupan lichen di setiap titik (Ardyansyah *et al.*, 2025). Data yang telah didapatkan kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan *Index Atmospheric Purity* (IAP). IAP adalah indeks yang digunakan untuk menilai tingkat kemurnian udara dengan

memanfaatkan data jumlah koloni lichen dan luas penutupannya. Perhitungan IAP dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut (LeBlanc & De Sloover, 1970).

$$IAP = \frac{1}{100} \sum_i^n Q \times f$$

Keterangan:

- n = Jumlah Spesies
f = Frekuensi penutupan
Q = Indeks ekologi

f diperoleh dari penggabungan data seberapa sering spesies tersebut ditemukan dan seberapa besar area yang ditutupinya pada plot pohon yang diamati, sedangkan Q ditentukan dari rasio jumlah individu per jumlah pohon. Nilai yang diperoleh dari perhitungan rumus tersebut kemudian dibandingkan dengan kriteria IAP agar dapat ditentukan tingkat kemurnian udaranya, seperti pada tabel berikut (LeBlanc & De Sloover, 1970).

Tabel 1. Kriteria IAP

Tingkat Pencemaran	Kriteria	Keterangan
Level A	$0 \leq IAP \leq 12.5$	Polusi sangat tinggi
Level B	$12.5 < IAP \leq 25$	Polusi tinggi
Level C	$25 < IAP \leq 37.5$	Polusi sedang
Level D	$37.5 < IAP \leq 50$	Polusi rendah
Level E	$IAP > 50$	Polusi sangat rendah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan IAP pada Tabel 2, menunjukkan variasi kualitas udara antar jurusan yang cukup jelas. Jurusan Bahasa, Komunikasi, dan Pariwisata memiliki nilai tertinggi yaitu 0.35, menandakan bahwa kualitas udara di area tersebut relatif lebih baik dibanding jurusan lain. Hal ini mengindikasikan bahwa lichen masih mampu tumbuh dengan cukup baik, yang biasanya didukung oleh keberadaan vegetasi yang memadai dan lebih rendahnya intensitas kendaraan.

Tabel 2. Hasil pengukuran IAP dari masing-masing Jurusan Di Politeknik Negeri Jember

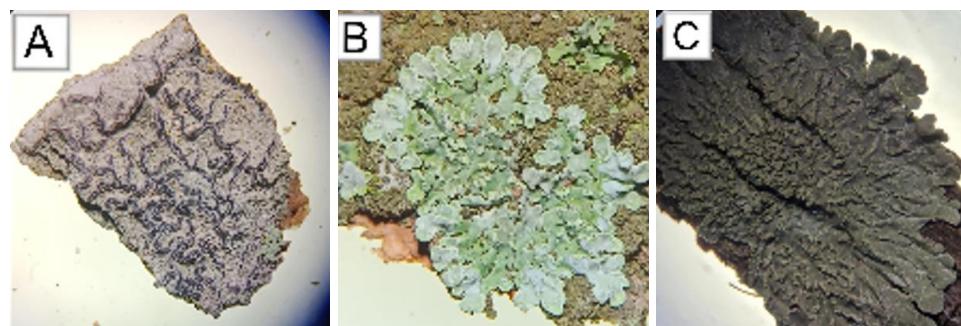
Jurusan	IAP	Kategori
Jurusan Bahasa, Komunikasi dan Pariwisata	0.35	Polusi sangat tinggi
Jurusan Teknik	0.11	Polusi sangat tinggi
Jurusan Kesehatan	0.10	Polusi sangat tinggi
Jurusan Produksi Pertanian	0.09	Polusi sangat tinggi
Jurusan Peternakan	0.08	Polusi sangat tinggi
Rektorat	0.05	Polusi sangat tinggi
Jurusan Teknologi Pertanian	0.04	Polusi sangat tinggi
Jurusan Teknologi Informasi	0.02	Polusi sangat tinggi
Jurusan Manajemen Agribisnis	0.02	Polusi sangat tinggi
Total	0.86	

Jurusan Teknik memiliki IAP 0.11 yang menunjukkan bahwa area ini mengalami polusi udara lebih tinggi. Frekuensi dan tutupan lichen yang lebih rendah mengindikasikan adanya tekanan lingkungan dari aktivitas pengguna jalan yang cukup intens. Dua lokasi dengan nilai IAP paling rendah adalah Rektorat (0.05) dan Jurusan Teknologi Informasi (0.02). Kedua nilai ini menggambarkan kondisi udara dengan tingkat pencemaran sangat tinggi. Tingginya mobilitas pegawai serta kendaraan keluar-masuk di area kantor Rektorat diduga menjadi penyebab rendahnya nilai IAP. Jurusan Teknologi Informasi memiliki kondisi paling tercemar dengan nilai IAP terendah. Minimnya vegetasi peneduh serta tingginya intensitas kendaraan mahasiswa menyebabkan lichen sulit tumbuh, sehingga IAP berada pada titik terendah. Pola ini konsisten dengan temuan Ardyansyah *et al.* (2024), di mana Jurusan dengan vegetasi minim dan kepadatan kendaraan tinggi cenderung memiliki kualitas udara paling buruk.

Tabel 3. Jenis Lichen dan persen penutupan yang ada di Politeknik Negeri Jember

Nama Jenis Lichen	Per센 Penutupan (%)
<i>Dirinaria appplanata</i>	1.866
<i>Graphis scripta</i>	1.613
<i>Pyxine</i> sp.	829
<i>Graphis</i> sp.	813
<i>Lecanora</i> sp.	445
<i>Arthonia cinnabarin</i>	389
<i>Lecidea</i> sp. 3	350
<i>Lecidea</i> sp.	345
<i>Dirinaria</i> sp.	340
<i>Arthonia punctiformis</i>	252
<i>Pyrenula nitip</i>	242
<i>Lecidella</i> sp.	215
<i>Graphis</i> cf. <i>arecae</i>	169
<i>Graphis</i> sp. 1	148
<i>Lecanora</i> sp. 3	95
<i>Lecanora</i> sp. 1	70
<i>Lecidea</i> sp. 1	60
<i>Flavoparmelia</i>	45
<i>Graphis</i> sp. 2	41
<i>Lecanora</i> sp.2	35
<i>Cryptothecia striata</i>	30
<i>Lecidea</i> sp. 2	25
<i>Lecidea</i> sp. 4	20
<i>Cladonia cristatella</i>	15
<i>Parmotermes perlatum</i>	15
Total	8.467

Jenis lichen yang banyak dijumpai dalam penelitian ini adalah *Graphis scripta*, *Pyxine* sp., dan *Dirinaria appplanata* yang ditemukan dibeberapa Jurusan dan setiap pohon pada Gambar 3.



Gambar 3. Jenis-Jenis Lichen yang Ditemukan Di Polije (A). *Graphis scripta*, (B). *Pyxine* sp., (C). *Dirinaria applanata*

Berdasarkan hasil pengukuran nilai IAP, nilai terendah dicatat di Jurusan Manajemen Agribisnis dan Jurusan Teknologi Informasi, masing-masing sebesar 0.02 dapat dilihat pada Tabel 2. Menurut kriteria nilai IAP dari LeBlanc & De Sloover (1970), nilai tersebut berada pada Level A ($0 \leq \text{IAP} \leq 12.5$) dan termasuk kategori polusi sangat tinggi. Kondisi ini sesuai dengan penelitian Fandani *et al.* (2019), yang menjelaskan bahwa lokasi dengan nilai IAP terendah memiliki volume kendaraan bermotor tertinggi sehingga tingkat pencemaran udara juga paling tinggi. Nilai IAP yang rendah tersebut berdampak langsung pada komunitas lichen, ditandai dengan berkurangnya jumlah jenis dan individu lichen yang mampu bertahan karena banyak spesies lichen bersifat sensitif terhadap polutan sehingga sulit untuk menyesuaikan dan hanya menyisakan jenis yang lebih toleran.

Menurut Nisa *et al.* (2024), dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa untuk menilai tingkat pencemaran udara melalui lichen perlu memperhatikan keanekaragaman spesies dan perubahan morfologi yang terjadi akibat paparan polutan. Faktor lingkungan abiotik seperti suhu yang relatif tinggi, kelembapan yang kurang optimal, intensitas cahaya yang tinggi, serta kecepatan angin yang membawa dan menyebarluaskan polutan juga memperparah stres fisiologis pada lichen sehingga pertumbuhannya terhambat dan nilai IAP menjadi rendah (Ulfah *et al.*, 2024). Faktor biotik seperti komposisi spesies lichen, tipe talus, umur, dan substrat tempat tumbuh, serta kerapatan vegetasi peneduh (misalnya keberadaan pohon rindang) menandakan kurangnya vegetasi dan dominasi spesies toleran di lokasi dengan arus kendaraan padat mengindikasikan lingkungan yang tercemar dan terlihat dari nilai IAP yang rendah.

Nilai IAP keseluruhan yang telah diukur dari 9 titik lokasi di Politeknik Negeri Jember, diperoleh hasil sebesar 0.86 yang menunjukkan bahwa kualitas udara di Politeknik Negeri Jember memiliki tingkat pencemaran yang sangat tinggi. Politeknik Negeri Jember merupakan institusi pendidikan vokasional yang memiliki banyak kebun-praktik dan beberapa pohon yang tersebar di berbagai area kampus. Keberadaan kebun-kebun dan pohon tersebut berperan penting dalam menjaga kualitas udara di lingkungan kampus dengan menyerap polutan dan membantu menurunkan tingkat emisi gas yang berasal dari aktivitas kendaraan bermotor. Meskipun demikian, faktor utama tingginya nilai IAP di Politeknik Negeri Jember disebabkan karena adanya aktivitas kendaraan bermotor dari sivitas akademik yang berlalu-lalang hampir sepanjang hari sehingga dapat berdampak negatif terhadap kualitas udara. Menurut Hamzah & Lihawa (2022), kendaraan merupakan salah satu sumber utama polutan di udara karena menghasilkan

asap buangan dan partikel halus dari proses pembakaran bahan bakar. Semakin tinggi jumlah kendaraan, maka semakin tinggi pula konsentrasi karbon monoksida (CO) dan konsentrasi partikel yang terdeteksi di udara.

Nilai Indeks (IAP) di Politeknik Negeri Jember mencapai 0.86, yang jauh lebih rendah dibandingkan Universitas Jember dengan nilai 2.92, menunjukkan kualitas udara yang lebih buruk di Polije akibat daya serap vegetasi yang tidak seimbang dengan beban emisi tinggi dari aktivitas kendaraan bermotor yang padat, sehingga polutan mudah terperangkap dan mengakibatkan kategori pencemaran sangat tinggi, dengan risiko kesehatan yang lebih besar bagi sivitas kampus. Temuan ini menegaskan bahwa meskipun Polije memiliki kebun praktik dan pepohonan, faktor emisi kendaraan menjadi dominan dalam menentukan tingkat polusi udara. Hasil penelitian ini sesuai dengan temuan Ardyansyah *et al.* (2025), yang menyoroti dampak negatif aktivitas kendaraan bermotor di Universitas Jember sebagai faktor utama penyebab tingkat polusi udara yang sangat tinggi, meskipun vegetasi tetap berperan dalam menyerap polutan. Rahmadani *et al.* (2024) juga menegaskan bahwa tingginya emisi kendaraan menyebabkan polutan mudah terperangkap, terutama jika vegetasi tidak cukup untuk menyerapnya. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa tantangan serupa terjadi di Polije, di mana emisi CO₂ dan polutan dari kendaraan mengimbangi manfaat vegetasi, namun intensitasnya lebih ekstrim di Polije karena nilai IAP yang lebih rendah, yang mengindikasikan tingkat pencemaran udara yang sangat tinggi.

KESIMPULAN

Jumlah jenis Lichen yang ditemukan pada penelitian ini yaitu 25 spesies dengan persen penutupan tertinggi adalah *Dirinaria appanata* dan terendah *Parmotrema perlatum*. Nilai IAP tertinggi terdapat di Jurusan Bahasa, Komunikasi dan Pariwisata, sedangkan nilai terendah berada di Jurusan Teknologi Informasi dan Jurusan Manajemen Agribisnis, yang seluruhnya termasuk kategori polusi sangat tinggi. Nilai IAP rata-rata sebesar 0.86 menunjukkan bahwa kualitas udara di Politeknik Negeri Jember tergolong pada level A dengan keterangan polusi sangat tinggi dan menandakan kondisi udara yang kurang baik, terutama akibat tingginya aktivitas kendaraan bermotor dan belum optimalnya peran vegetasi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa lichen merupakan bioindikator yang efektif untuk menilai kualitas udara dan dapat menjadi dasar dalam upaya peningkatan lingkungan kampus melalui pengelolaan ruang hijau dan pengurangan emisi kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhamatika, A., Rosyadi, A. S. A. I., Sari, E. K. N., Choirun, A., & Triardianto, D. (2025). Optimasi Teh Herbal Berbasis Teh Hitam, Kulit Jeruk Nipis dan Serai Terhadap Komponen Antioksidan. *Jurnal Teknologi dan Mutu Pangan*, 4(1): 45–56.
- Ardyansyah, M. A. A., Audyna, S. R., Sabrina, I. A., Lailiyah, R. U., Ambarwati, D., Sari, I. S. N., & Wimbaningrum, R. (2025). Diversity of Lichen as A Bioindicator of Air Quality at The University of Jember. *Biosel Biology Science and Education*, 14(2): 144-151.
- Aschenbrenner, I. A., Cernava, T., Berg, G., & Grube, M. (2016). Understanding Microbial Multi-Species Symbioses. *Frontiers in Microbiology*, 7: 180.

- Fandani, S. T., Sulistiyowati, H., Setiawan, R. (2019). Tingkat Pencemaran Udara di Desa Silo dan Pace, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember dengan Menggunakan Lichen Sebagai Bioindikator. *Berkala Sainstek*, 7(2): 39-42.
- Hamzah, I., & Lihawa, F. (2022). Analisis Hubungan Jumlah Kendaraan dan Konsentrasi Karbon Monokisida (CO) di Kota Gorontalo, Provinsi Gorontalo. *Dampak*, 19(1): 40-49.
- Hutasuhut, M. A., Febriani, H., & Devi, S. (2021). Identifikasi dan Karakteristik Habitat Jenis Lumut Kerak di Taman Wisata Alam Sickeh-Cikeh Kabupaten Dairi Sumatera Utara. *Biolokus: Jurnal Penelitian Pendidikan Biologi dan Biologi*, 4(1): 43–54.
- Jahja, S. D., Lihawa, F., & Baderan, D. W. K. (2025). Peran Lichen Sebagai Bioindikator Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) di Udara. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*, 2(1): 1–10.
- LeBlanc F, De Sloover J (1970) Relation Between Industrialization and the Distribution and Growth of Epiphytic Lichens and Mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48: 1485-1496
- Nisa, A. F., Rosdiana, L., & Roqobih, F. D. (2024). Identifikasi Efektivitas Lichen *Crustose* sp. (*Cryptothelia*) dan Lichen *Foliose* sp. (*Parmelia*) sebagai Bioindikator Tingkat Pencemaran Udara. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*, 6(2): 91–102.
- Nisa, R. H., Rahma, S., Agata, N. A., Sholihah, M. A., & Salsabila, S. (2025). Identifikasi Jenis Lichen di Area Sekitar Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. *Maliki Interdisciplinary Journal (MIJ)*, 3(Mei), 1169–1172.
- Rahmadani, A. A., Syaifudin, Y. W., Setiawan, B., Panduman, Y.Y. F., & Funabiki, N. (2024). Enhancing Campus Environment: Real-Time Air Quality Monitoring Through IoT and Web Technologies. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 14(1): 1-26.
- Roziaty, E., Santhyami, S., Kusumadhani, A. I., & Asy'ari, M. I. B. (2021). Keanekaragaman Lichen Sebagai Bioindikator Kualitas Udara Di Kawasan Kota Surakarta, Jawa Tengah. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 7(2): 66-73.
- Saputra, H., Hardiansyah, G., & Fahrizal. (2018). Pendugaan Stock Karbon Tersimpan pada Model Manajemen Hutan Meranti di Kawasan Sungai Peniti Besar Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari*, 6(1): 261–267.
- Sophian, S. K., Magdalena, S. E., Hutapea, E. J., Alfarizi, M. R., & Suryanda, A. (2025). Studi Asosiasi Alga dengan Lichen pada Tumbuhan Mahoni (*Swietenia mahagoni*) di Tebet Eco-Park. *Biogenic: Jurnal Ilmiah Biologi*, 3(1): 1–10.
- Ulfa, S. W., Nurlita, D., Amirah, N., Fahendra, M. S., & Diartika, E. I. A. (2024). Identifikasi Jenis-Jenis Keragaman Lichenes yang Terdapat di Daerah Kecamatan Percut Sei Tuan. *Jurnal Penelitian Inovatif (JUPIN)*, 4(3): 1741–1750.
- Winowoda, S. D., Singkoh, M. F. O., & Siahaan, R. (2020). Kekayaan dan Potensi Senyawa Bioaktif Makroalga di Pesisir Atep Oki, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 8(3): 7–16.
- Wisesa, P. W. (2016). *Lichen di Lingkungan Universitas Jember*. Universitas Jember. Jember.