



KEANEKARAGAMAN *LICHENES* SEBAGAI INDIKATOR KUALITAS UDARA DI KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS (KHDTK) PUJON KABUPATEN MALANG

Ivan Ardiansyah¹, Abdulkadir Rahardjanto², & Lud Waluyo^{3*}

^{1,2,&3}Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Malang, Jalan Raya Tlogomas Nomor 246, Malang, Jawa Timur 65144, Indonesia

*Email: lud@umm.ac.id

Submit: 20-02-2024; Revised: 22-04-2024; Accepted: 26-04-2024; Published: 30-06-2024

ABSTRAK: Udara penting bagi kelangsungan hidup manusia, namun di zaman modern ini kualitas udara semakin menurun akibat polusi udara. Kualitas udara dapat dilihat melalui beberapa aspek salah satunya aspek biologi. *Lichenes* merupakan aspek biologi yang dapat digunakan sebagai indikator kualitas udara. *Lichenes* peka terhadap kondisi alam tempat tinggalnya, jika terjadi pencemaran udara di habitatnya maka akan mengganggu proses pertumbuhannya. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui kualitas udara di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus Pujon Kabupaten Malang berdasarkan hasil keanekaragaman spesies dan ukuran *Lichenes* yang ditemukan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan jenis penelitian deskriptif eksploratif. Metode yang digunakan purposive sampling menggunakan *belt transect* ukuran 10×20 m yang ditempatkan pada stasiun I, II, dan III di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus Pujon. Teknik analisis data meliputi analisis faktor abiotik, analisis ukuran *Lichenes* sebagai indikator kualitas udara, keanekaragaman *Shannon-Weiner* (H'), dan analisis ciri makroskopis. Hasil penelitian ini ditemukan sebanyak 27 spesies *Lichenes* yang telah teridentifikasi dari 15 famili berbeda. Nilai indeks keanekaragaman tertinggi pada stasiun II 2,62, diikuti stasiun I 2,52, dan terendah pada stasiun III 2,41. Berdasarkan nilai indeks keanekaragaman spesies *Lichenes* termasuk dalam keanekaragaman sedang. Rata-rata ukuran *Lichenes* yang ada di stasiun I, II, dan III mengindikasikan bahwa kualitas udara di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus Pujon memiliki kualitas yang sangat baik.

Kata Kunci: *Belt Transect*, Indeks Keanekaragaman, Indikator, Kualitas Udara, *Lichenes*.

ABSTRACT: Air is important for human survival, but in modern times, air quality is increasingly decreasing due to air pollution. Air quality can be seen in several aspects, one of which is the biological aspect. *Lichenes* are a biological aspect that can be used as an indicator of air quality. *Lichenes* are sensitive to the natural conditions in which they live, if air pollution occurs in their habitat it will disrupt their growth process. The aim of this research is to determine the air quality in the Pujon Special Purpose Forest Area, Malang Regency, based on the results of the diversity of spesies and size of *Lichenes* found. This research uses a quantitative approach and an exploratory descriptive research type. The method used was purposive sampling using a 10×20m *belt transect* placed at stations I, II, and III in the Pujon Special Purpose Forest Area. Data analysis techniques include abiotic factor analysis, analysis of the size of *Lichenes* as an indicator of air quality, *Shannon-Weiner* (H') diversity, and analysis of macroscopic characteristics. The results of this research found that 27 spesies of *Lichenes* had been identified from 15 different families. The highest diversity index value was at station II (2.62), followed by station I (2.52), and the lowest at station III (2.41). Based on the spesies diversity index value, *Lichenes* are included in medium diversity. The average size of *Lichenes* at stations I, II, and III indicates that the air quality in the Pujon Special Purpose Forest Area is of very good quality.

Keywords: Air Quality, *Belt Transect*, Diversity Index, Indicators, *Lichenes*.



How to Cite: Ardiansyah, I., Rahardjanto, A., & Waluyo, L. (2024). Keanekaragaman *Lichenes* sebagai Indikator Kualitas Udara di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon Kabupaten Malang. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 12(1), 671-688. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v12i1.10894>



Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi is Licensed Under a CC BY-SA [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara di dunia dengan keanekaragaman hayati yang tinggi (Fau, 2020). Indonesia dengan letak geografi yang sangat strategis menjadi faktor dari tingginya keanekaragaman hayati (Retnowati *et al.*, 2019). Salah satu contohnya adalah keanekaragaman *Lichenes* yang tinggi. Lingkungan memang sangat erat kaitannya dengan pertumbuhan dan keberadaan suatu tumbuhan. Faktor lingkungan yang bervariasi dan mendukung pertumbuhan *Lichenes* (Fastafani *et al.*, 2020). Jumlah *Lichenes* yang tercatat di dunia ada 20.000 spesies, dan di Indonesia sendiri ada 595 spesies (Widjaja *et al.*, 2014). *Lichenes* atau sering dikenal lumut kerak memiliki berbagai spesies dan beberapa spesies yang lain belum diketahui.

Peneliti di Indonesia belum banyak melaporkan mengenai keanekaragaman spesies *Lichenes*. Sehingga jika dibandingkan dengan data keanekaragaman tumbuhan lain, tentu data keanekaragaman *Lichenes* lebih sedikit (Ramadhan, 2021). Penelitian tentang keanekaragaman *Lichenes* di Indonesia juga masih terbatas. Hal ini dikarenakan belum banyak peneliti yang menekuni penelitian mengenai spesies *Lichenes* (Andrea *et al.*, 2018). Apalagi keberadaan *Lichenes* sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan di suatu kawasan, salah satunya adalah terkait kualitas udaranya.

Meskipun manusia membutuhkan udara, polusi membuat kualitas udara semakin buruk saat ini (Ismiyati *et al.*, 2014). Polutan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia yang meningkat, termasuk penggunaan kendaraan, adalah penyebab pencemaran udara di kota-kota. Penggunaan kendaraan menghasilkan emisi gas buang kendaraan yang tinggi yang pada gilirannya menghasilkan gas rumah kaca yang meningkatkan suhu dan kelembapan di bumi (Kurniawati *et al.*, 2017). Setiap daerah mempunyai dominasi sumber pencemaran yang berbeda-beda. Tidak seperti pencemaran udara yang terjadi di daerah pedesaan, terutama di bidang pertanian yang disebabkan oleh penggunaan pestisida sebagai zat pengatur pertumbuhan dan perangsang pertumbuhan (Abidin & Hasibuan, 2019).

Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon merupakan lingkungan hutan pendidikan yang dikelola oleh Universitas Muhammadiyah Malang (UMM). KHDTK Pujon termasuk lahan miring dengan kemiringan lebih dari 25% (Chanan & Prakosa, 2022). Kawasan ini terbagi menjadi 2, yaitu kawasan hutan lindung dan kawasan hutan produksi. Hutan produksi dan hutan lindung di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon memiliki topografi berbukit. Studi Rahman (2023), menunjukkan bahwa Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon mengalami penurunan fungsi hutan menjadi lahan pertanian dan pembukaan lahan yang berlebihan. Melihat hal ini



tentu secara tidak langsung dapat berpengaruh terhadap kondisi lingkungan, khususnya pada kualitas udaranya

Kualitas udara dapat dilihat melalui beberapa aspek. Salah satunya ialah aspek biologi (Kaswinarni *et al.*, 2023). Sejalan dengan pernyataan Samudera *et al.* (2022), bahwa salah satu upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran udara adalah dengan memantau kualitas udara menggunakan bioindikator. *Lichenes* merupakan aspek biologi yang dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas udara (Ramadhani *et al.*, 2022).

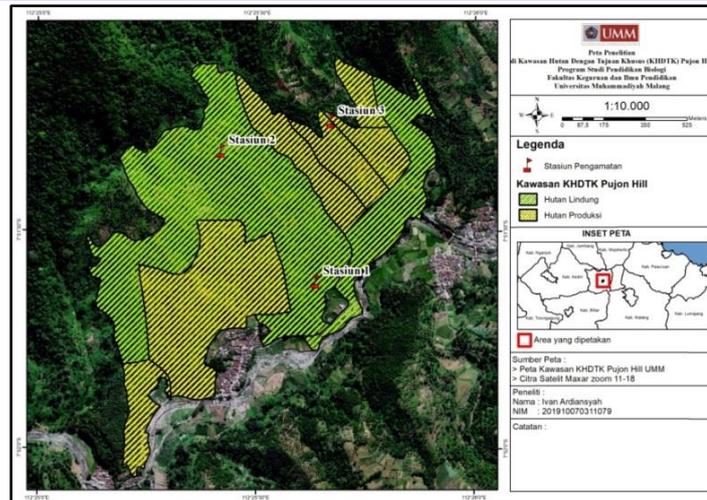
Lichenes sangat sensitif terhadap lingkungan tempat tinggalnya. Jika terjadi pencemaran udara di habitatnya, ia akan mengganggu prosesnya dalam bertumbuh atau bahkan tidak dapat tumbuh (Muslim & Hasairin, 2018). *Lichenes* mampu menjalani hidup di lingkungan yang keras dan tergolong ekstrim, namun juga sangat sensitif terhadap polusi udara (Rasyidah, 2018). Sebagian besar spesies *Lichenes* sangat sensitif terhadap gas belerang (SO₂) dan gas buang lain yang berasal dari kendaraan bermotor atau daerah industri (Andrea *et al.*, 2018). Penggunaan *Lichenes* sebagai bioindikator kualitas udara dapat dilihat dari kerusakan dan akumulasi polutan pada thallusnya (Kaswinarni *et al.*, 2023).

Penelitian keanekaragaman *Lichenes* di Kabupaten Malang sebenarnya sudah pernah dilakukan. Pada penelitian Fatma *et al.* (2017), melakukan identifikasi *Lichenes*, khususnya famili Lobariaceae dan Physciaceae di Tahura R. Soerjo. Penelitian Putri (2020), meneliti kelimpahan *Lichenes*, mengetahui keanekaragaman *Lichenes*, mengetahui respon *Lichenes* terhadap pencemar udara di Kota Batu dan Kota Malang, dan untuk dijadikan sebagai sumber belajar biologi. Penelitian Jannah & Untari (2019), mengidentifikasi *Lichenes* dan mempelajari distribusi spesies di hutan Tahura R. Soeryo. Penelitian lebih lanjut tentang keanekaragaman *Lichenes* harus dilakukan di berbagai lokasi, seperti di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon, karena lokasi yang berbeda pasti memiliki tingkat keanekaragaman dan kualitas udara yang berbeda

Penelitian keanekaragaman *Lichenes* di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon masih diperlukan, karena belum ada penelitian yang secara khusus membahas *Lichenes* dan hubungannya dengan kualitas udara di area tersebut. Kekurangan data ini memberikan alasan yang kuat untuk melakukan penelitian dengan tujuan memberikan informasi yang lebih lengkap dan memperkaya pengetahuan masyarakat tentang *Lichenes* sebagai indikator kualitas udara. Tujuan penelitian ini untuk menggambarkan keanekaragaman *Lichenes* yang ada di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon yang diambil datanya sebagai indikator kualitas udara.

METODE

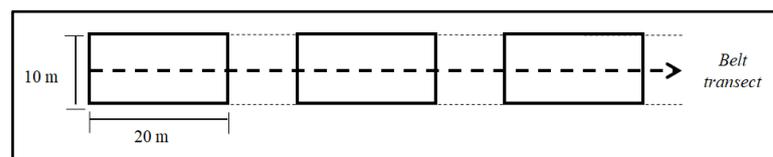
Jenis penelitian ini adalah deskriptif eksploratif yang menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode yang digunakan untuk pengambilan sampel *Lichenes* adalah *cruiser* (jelajah) (Suniyanti *et al.*, 2022) dengan *belt transect* yang ditempatkan pada jalur setapak (Khastini *et al.*, 2019). Tempat penelitian di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon di Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. Penelitian dilakukan pada bulan Agustus - November 2023. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

Teknik *sampling* yang digunakan dalam penelitian adalah *purposive sampling*. Sampel penelitian ini adalah spesies *Lichenes* yang terdapat di stasiun I, kawasan hutan dekat jalan raya, stasiun II, kawasan hutan lindung yang jauh dari kawasan pertanian dan jalan raya, dan stasiun III, kawasan hutan produksi yang menjadi lahan produksi atau pertanian pada Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. Kriteria inklusi, yaitu setiap pengambilan sampel pada batang pohon dengan diameter >20 cm DBH (*Diameters of Breast Height*) (Susilawati & Kasiamdari, 2021), dan dengan tinggi pohon 150 cm dari permukaan tanah (Nuryani *et al.*, 2023). Sampel *Lichenes* diambil dengan cara dikerik dari permukaan kulit pohon. Bagian dari sampel diambil bagian tubuh *Lichenes*. Pengambilan sampel dilakukan pada kedua sisi batang pohon (Roziaty, 2016). Sedangkan kriteria eksklusi adalah *Lichenes* yang tumbuh pada batu, tanah, daun, dan batang pohon yang sudah mati atau tumbang.

Pengambilan data sampel *Lichenes* dilakukan menggunakan metode jelajah (*cruiser*) (Suniyanti *et al.*, 2022) dengan transek sabuk atau *belt transect* (Khastini *et al.*, 2019). Pengambilan sampel *Lichenes* menggunakan petak (*plot*) ukuran 20 x 10 meter (Suwardi *et al.*, 2014) yang diletakkan di sepanjang *belt transect* dengan jarak antar petak 10 meter (Nuryani *et al.*, 2023). Peletakan *belt transect* ditempatkan pada tiga stasiun yang telah ditentukan dengan panjang transek menyesuaikan dengan kondisi lokasi penelitian (Andrito *et al.*, 2020; Suwardi *et al.*, 2014). Desain *belt transect* penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Belt Transect Penelitian.

Pengambilan data kondisi lingkungan, yaitu parameter fisika dilakukan sehari tiga kali, yaitu di pagi hari (07.30), siang hari (13.30), dan sore hari (17.30)



dilaksanakan pada lokasi penelitian. Data parameter fisika lingkungan yang diambil adalah kelembapan relatif udara (RH) menggunakan alat *Hygrometer*, suhu udara dengan alat *Thermo-anemometer*, dan intensitas cahaya menggunakan alat *Lux meter*, serta Jumlah kendaraan/jam menggunakan *counter digital*.

Pengukuran *Lichenes* dilakukan dengan cara menempelkan mika pada *Lichenes* yang tumbuh pada substrat, kemudian digambar dan dihitung dengan menggunakan kertas *blok* milimeter, kemudian pengumpulan data keanekaragaman dengan melakukan dokumentasi dan melakukan pencatatan spesies *Lichenes* yang ditemukan, selanjutnya menghitung keanekaragaman *Lichenes* dapat memakai analisis dengan kuantitatif rumus dari *Shannon-Wiener* (H').

Teknik analisis yang digunakan yaitu: 1) analisis faktor abiotik, data kondisi lingkungan atau parameter fisika seperti suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan jumlah kendaraan dianalisis secara deskriptif; 2) analisis ukuran *Lichenes* sebagai indikator kualitas udara menggunakan hubungan ukuran *Lichenes* (Tabel 3) dan kualitas udara (Sett & Kundu, 2016); 3) analisis keanekaragaman *Shannon-Weiner* (H') disajikan menggunakan analisis kuantitatif dan pengolahan data menggunakan indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener* (H') (Nuryani *et al.*, 2023); dan 4) analisis ciri makroskopis *thallus Lichenes* menggunakan analisis kualitatif deskriptif. Spesies *Lichenes* yang digunakan dapat diketahui melalui pengenalan morfologi dengan melihat *thallus*, bentuk, dan warnanya. Identifikasi spesies *Lichenes* dilakukan oleh Tim Laboratorium Taksonomi, Struktur, dan Perkembangan Biologi, Universitas Brawijaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengukuran parameter fisika lingkungan, seperti suhu udara, kelembapan udara relatif (RH), dan intensitas cahaya, berperan penting dalam pertumbuhan makhluk hidup, termasuk *Lichenes*. Data hasil pengukuran parameter tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Parameter Fisika Suhu Udara, Kelembapan Udara Relatif (RH), dan Intensitas Cahaya.

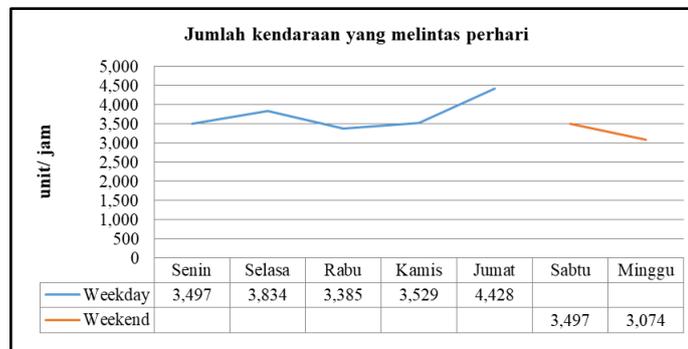
Parameter	Stasiun			Rata-rata
	I	II	III	
Fisika Suhu udara (°C)	27	28	27	27.33
Kelembapan udara relatif (RH) (%)	55	55	58	56
Intensitas cahaya $\times 100$ lux (Lux)	245	362	433	346.6

Hasil pengukuran dan pencatatan parameter fisika, meliputi suhu udara, kelembapan udara relatif (RH), dan intensitas cahaya disajikan pada Tabel 1. Pada stasiun I didapatkan data suhu udara 27°C dengan kelembapan udara relatif 55% dan intensitas cahaya 245 lux. Stasiun II didapatkan suhu udara 28°C dengan kelembapan udara relatif 55% dan intensitas cahaya 362 lux. Sedangkan pada stasiun III, suhu udara 27°C dengan kelembapan udara relatif 58%, dan intensitas cahaya 433 lux.

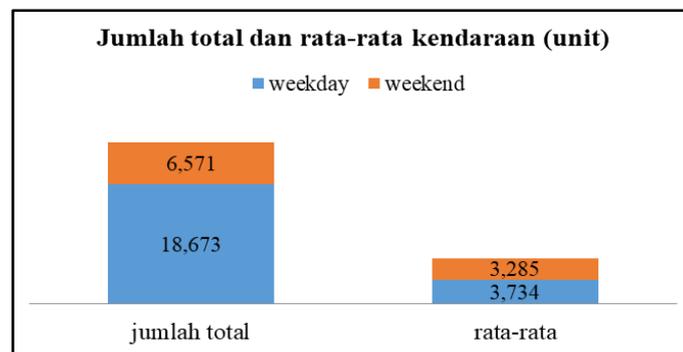
Perhitungan parameter lingkungan secara keseluruhan menunjukkan bahwa Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon memiliki suhu

udara rata-rata 27,33°C dan kelembapan udara relatif rata-rata 56%, serta intensitas cahaya rata-rata 346,6 lux. Hasil penelitian ini mengenai kondisi lingkungan pada parameter fisika di KHDTK Pujon memiliki nilai yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangan *Lichenes*. *Lichenes* dapat tumbuh dengan baik pada suhu optimal <40°C (Nuryani *et al.*, 2023), sedangkan jika suhu udara <45°C dapat merusak klorofil pada *Lichenes*, kemudian menghambat aktivitas fotosintesisnya (Hutasuhut *et al.*, 2021). Kemampuan *Lichenes* dalam penyerapan SO₂ dari udara juga dipengaruhi suhu udara (Aly & Roziaty, 2022).

Kelembapan udara relatif keseluruhan didapatkan hasil rata-rata 56% atau secara detail pada setiap stasiun berkisar 55-58%. Hasil ini berkaitan dengan salah satu faktor, yaitu waktu pada saat pengambilan data dilakukan pada bulan November, dimana kondisinya masih kering dengan cuaca panas dan belum terjadi hujan di kawasan tersebut. Kelembapan udara relatif dipengaruhi oleh sinar matahari, pergerakan udara, dan jarak antar pepohonan yang membentuk vegetasi. Jarak antar pepohonan akan mempercepat laju penguapan, sehingga tingkat kelembapan menjadi rendah (Roziaty, 2016). Menurut Muvidha (2020), tempat dengan kelembapan udara berkisar antara 40-69% biasanya yang disukai *Lichenes*. Hal ini karena pada suhu tersebut *Lichenes* dapat melakukan proses fotosintesis dengan optimal. Selain itu, kelembapan yang tinggi pada rentang 40-69% menandakan bahwa kawasan tersebut mempunyai kandungan uap air yang banyak di udara. Uap air ini diserap oleh *Lichenes* untuk digunakan dalam proses metabolisme dan pertumbuhan (Nasriyati *et al.*, 2018).



Gambar 3. Grafik Hasil Penghitungan Jumlah Kendaraan di Stasiun I Kawasan Hutan Lindung yang Dekat dengan Jalan Raya di KHDTK Pujon.



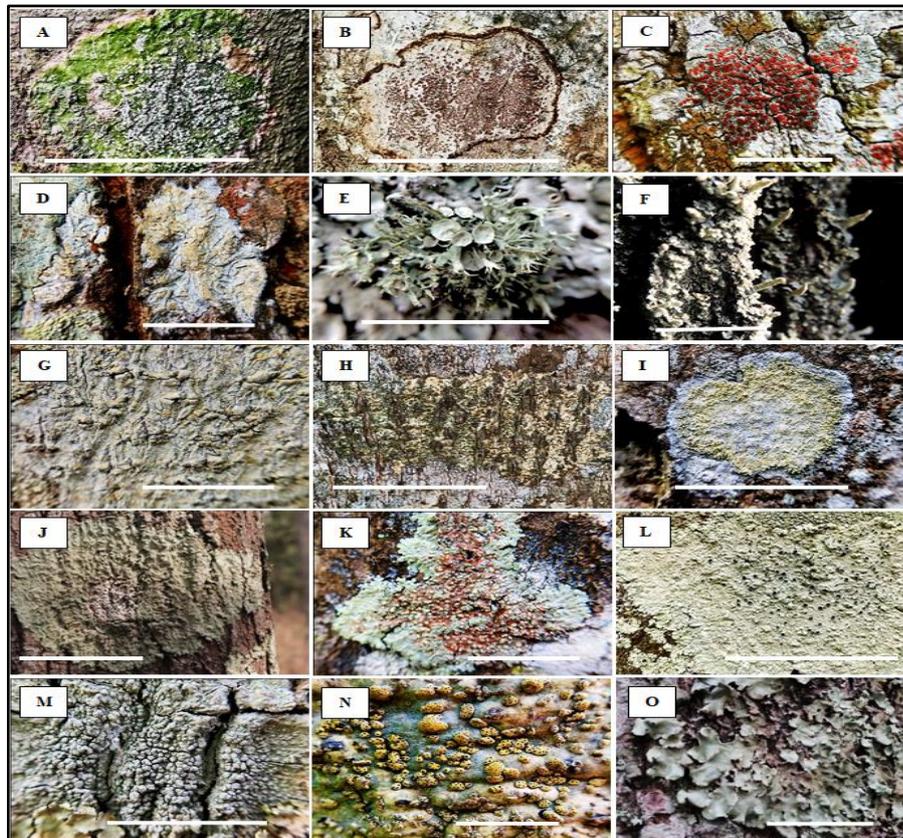
Gambar 4. Grafik Jumlah Total dan Rata-rata Kendaraan yang Melintas pada Weekday dan Weekend di Stasiun I yang Dekat dengan Jalan Raya.

Hasilnya dari perhitungan jumlah kendaraan (Gambar 3 dan Gambar 4), diperoleh hasil bahwa jumlah total kendaraan yang melintas selama 7 hari dengan detail pada saat *weekday* sejumlah 18.673 unit, sedangkan saat *weekend* sejumlah 6.571 unit. Kepadatan lalu lintas saat *weekday* lebih tinggi dengan rata-rata jumlah kendaraan yang melintas saat *weekday* lebih tinggi, yaitu 3.734 unit dibanding saat *weekend*, yaitu hanya 3.285 unit. Kendaraan yang melintas didominasi oleh kendaraan roda dua dibandingkan dengan roda empat yang lebih sedikit. Semakin banyak jumlah kendaraan pada suatu titik, maka semakin rendah kecepatan kendaraan, sehingga mengakibatkan emisi semakin besar (Sasmita *et al.*, 2022). Kendaraan bermotor yang melintas akan mengeluarkan emisi meliputi nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), hidrokarbon (HC), timbal (Pb), dan karbondioksida (CO₂) (Asri *et al.*, 2022).

Tabel 2. Hasil Eksplorasi, Identifikasi, dan Penghitungan Spesies *Lichenes* di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon.

No.	Spesies	Famili	Stasiun			Σ Koloni	% Koloni
			I	II	III		
1	<i>Lepra amara</i> (Ach.) Hafellner	Pertusariaceae	14	-	-	14	1.1%
2	<i>Coniocarpon cinnabarinum</i> DC.	Arthoniaceae	3	2	-	5	0.4%
3	<i>Ramboldia russula</i> (Ach.) Kalb, Lumbsch & Elix	Ramboldiaceae	3	22	18	43	3.4%
4	<i>Pallidogramme chrysenteron</i> (Mont.) Staiger, Klab & Lücking	Graphidaceae	-	38	19	57	4.5%
5	<i>Ramalina fastigiata</i> (Pers.) Ach.	Ramalinaceae	-	5	3	8	0.6%
6	<i>Cladonia coniocraea</i> (Flörke) Spreng.	Cladoniaceae	-	-	1	1	0.1%
7	<i>Arthonia quintaria</i> Nyl.	Arthoniaceae	-	11	-	11	0.9%
8	<i>Pyrenula reebiae</i> Aptroot & Gueidan	Pyrenulaceae	-	13	-	13	1.0%
9	<i>Cryptothecia striata</i> G.Thor	Arthoniaceae	48	-	-	48	3.8%
10	<i>Xanthoparmelia cordillerana</i> (Gyeln.) Hale	Parmeliaceae	-	32	3	35	2.7%
11	<i>Dirinaria picta</i> (Sw.) Clem. & Shear	Caliciaceae	16	57	23	96	7.5%
12	<i>Tephromela atra</i> (Huds.) Hafellner	Tephromelataceae	21	30	-	51	4.0%
13	<i>Pertusaria paratuberculifera</i> Dibben	Pertusariaceae	8	-	5	13	1.0%
14	<i>Trypethelium eluteriae</i> (Spreng.)	Trypetheliaceae	-	4	-	4	0.3%
15	<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale	Parmeliaceae	9	95	17	121	9.5%
16	<i>Usnea hirta</i> (L.) Weber ex F. H. Wigg.	Parmeliaceae	-	4	-	4	0.3%
17	<i>Lepraria lobificans</i> Nyl.	Streptocaulaceae	22	17	9	48	3.8%
18	<i>Chrysonthrix candelaris</i> (L.) J.R.	Chrysotrichaceae	18	15	24	57	4.5%

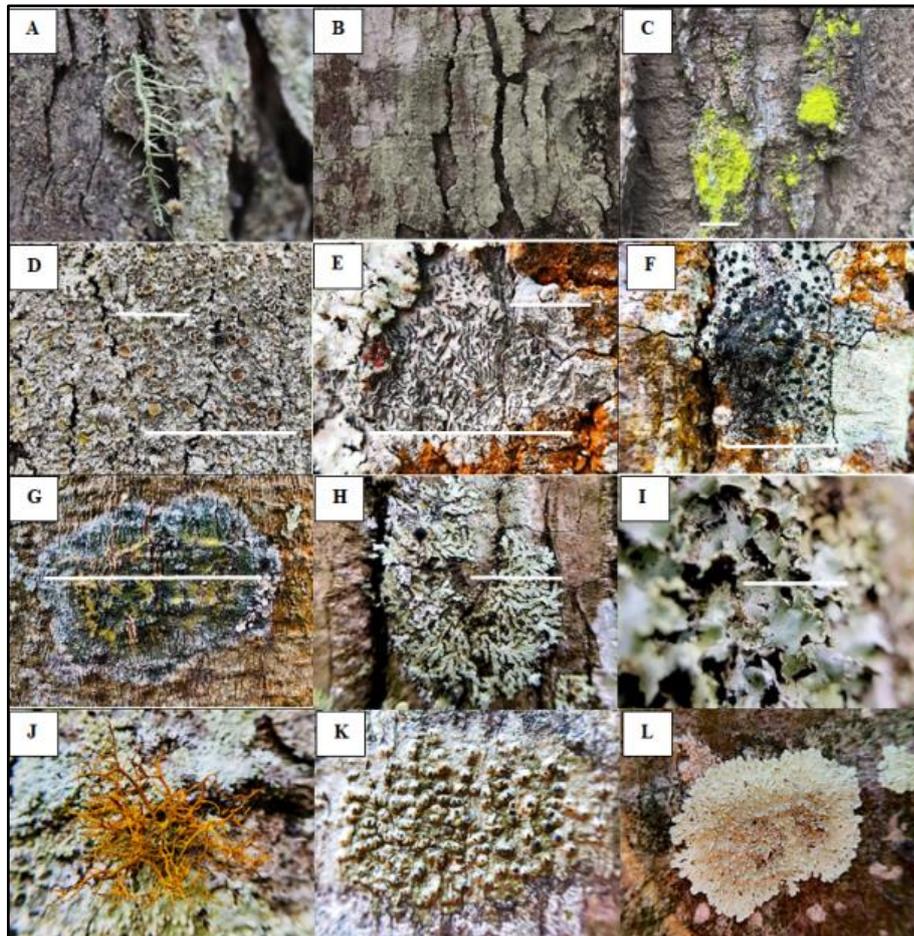
No.	Spesies	Famili	Stasiun			Σ Koloni	% Koloni
			I	II	III		
19	Laundon <i>Xanthoparmelia cumberlandia</i> (Gyeln.) Hale	Parmeliaceae	-	38	13	51	4.0%
20	<i>Graphis scripta</i> (L.) Ach	Graphidaceae	48	79	10	137	10.8%
21	<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) Hazsl	Lecanoraceae	17	90	14	121	9.5%
22	<i>Viridothelium virens</i> (Tuck. ex E. Michener) Lücking, M.P. Nelsen & Aptroot,	Trypetheliaceae	-	-	5	5	0.4%
23	<i>Parmeliopsis hyperopta</i> (Ach.) Arnold	Parmeliaceae	10	116	81	207	16.3%
24	<i>Parmotrema perlatum</i> (Huds.)M. Choisy	Parmeliaceae	19	24	17	60	4.7%
25	<i>Teloschistes flavicans</i> (Sw.) Norman	Teloschistaceae	-	8	-	8	0.6%
26	<i>Ocellularia crocea</i> (Kremp.) Overeem & D. Overeem	Graphidaceae	5	-	-	5	0.4%
27	<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D.Awasthi	Caliciaceae	25	16	9	50	3.9%
	Jumlah total		286	716	271	1.273	100%



Gambar 5. Dokumentasi Spesies Lichenes: A) *Lepra amara* = 4 cm; B) *Coniocarpon cinnabarinum* = 5 cm; C) *Ramboldia russula* = 3 cm; D) *Pallidogramme chrysenteron* = 2,5

cm; E) *Ramalina fastigiata* = 3 cm; F) *Cladonia coniocraea* = 3,5 cm; G) *Arthonia quintaria* = 0,5 cm; H) *Pyrenula reebiae* = 3 cm; I) *Cryptothecia striata* = 2 cm; J) *Xanthoparmelia cordillerana* = 7 cm; K) *Dirinaria picta* = 2 cm; L) *Tephromela atra* = 10 cm; M) *Pertusaria paratuberculifera* = 3,5 cm; N) *Trypethelium eluteriae* = 2 cm; dan O), *Flavoparmelia caperata* = 12 cm.

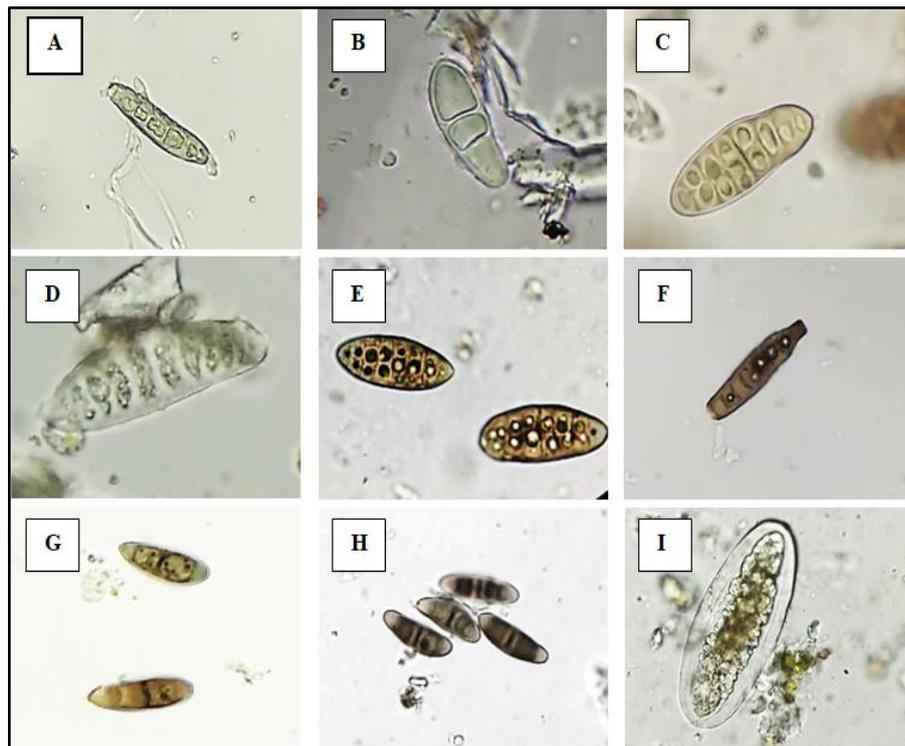
Eksplorasi spesies *Lichenes* yang sudah teridentifikasi di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon berdasarkan Tabel 2. didapatkan sebanyak 27 spesies *Lichenes* dari 15 famili dengan jumlah keseluruhan spesies sebanyak 1.273 koloni atau individu *Lichenes*. Spesies *Lichenes* paling banyak ditemukan pada stasiun II dengan jumlah 21 spesies, pada stasiun III sebanyak 17 spesies, sedangkan jumlah paling sedikit ditemukan di stasiun I, yaitu 16 spesies.



Gambar 6. Dokumentasi Spesies *Lichenes*: A) *Usnea hirta* = 1 cm; B) *Lepraria lobificans* = 3 cm; C) *Chrysonthrix candelaris* = 2,5 cm; D) *Xanthoparmelia cumberlandia* = 6 cm; E) *Graphis scripta* = 1,5 cm; F) *Lecidella elaeochroma* = 2 cm; G) *Viridothelium virens* = 5 cm; H) *Parmeliopsis hyperopta* = 4,5 cm; I) *Parmotrema perlatum* = 6 cm; J) *Teloschistes flavicans* = 3 cm; K) *Ocellularia crocea* = 3,5 cm; dan L) *Dirinaria applanata* = 3 cm.

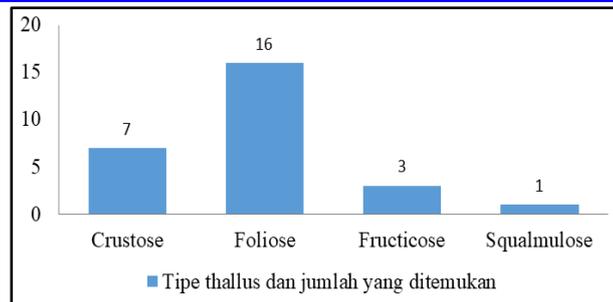
Spesies *Lichenes* yang ditemukan dan teridentifikasi, yaitu *Lepra amara* (Ach.) Hafellner, *Coniocarpon cinnabarinum* DC., *Ramboldia russula* (Ach.) Kalb, Lumbsch & Elix, *Pallidogramme chrysenteron* (Mont.) Staiger, Klab & Uniform Resource Locator: <https://e-journal.undikma.ac.id/index.php/bioscientist> 679

Lücking, *Ramalina fastigiata* (Pers.) Ach., *Cladonia coniocraea* (Flörke) Spreng., *Arthonia quintaria* Nyl. *Pyrenula reebiae* Aptroot & Gueidan, *Cryptothecia striata* G.Thor, *Xanthoparmelia cordillerana* (Gyeln.) Hale, *Dirinaria picta* (Sw.) Clem. & Shear, *Tephromela atra* (Huds.) Hafellner, *Pertusaria paratuberculifera* Dibben, *Trypethelium eluteriae* (Spreng.), *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale, *Usnea hirta* (L.) Weber ex F. H. Wigg., *Lepraria lobificans* Nyl, *Chrysonthrix candelaris* (L.) J.R. Laundon, *Xanthoparmelia cumberlandia* (Gyeln.) Hale, *Graphis scripta* (L.) Ach, *Lecidella elaeochroma* (Ach.) Hazsl, *Viridothelium virens* (Tuck. ex E. Michener) Lücking, M.P. Nelsen & Aptroot, *Parmeliopsis hyperopta* (Ach.) Arnold, *Parmotrema perlatum* (Huds.) M. Choisy, *Teloschistes flavicans* (Sw.) Norman, *Ocellularia crocea* (Kremp.) Overeem & D. Overeem, *Dirinaria applanata* (Fée) D.D.Awasthi. Famili yang ditemukan antara lain Pertusariaceae, Cladoniaceae, Parmeliaceae, Stereocaulaceae, Chrysotrichaceae, Arthoniaceae, Ramboldiaceae, Stereocaulaceae, Caliciaceae, Tephromelataceae, Ramalinaceae, Teloschistaceae, Graphidaceae, Lecanoraceae, dan Trypetheliaceae. Dokumentasi dari jenis askospora pada beberapa spesies *Lichenes* yang diamati melalui pengamatan mikroskop disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Dokumentasi Bagian Askospora Lichenes: A) *Lepra amara*; B) *Coniocarpon cinnabarinum*; C) *Pallidogramme chrysenteron*; D) *Cladonia coniocraea*; E) *Pyrenula reebiae*; F) *Dirinaria picta*; G) *Xanthoparmelia cordillerana*; H) *Tephromela atra*; dan I) *Pertusaria paratuberculifera*. A-I = Pengamatan Mikroskop Perbesaran 1000×.

Tipe-tipe *thallus* dan jumlah dari spesies *Lichenes* yang telah ditemukan disajikan pada Gambar 8.

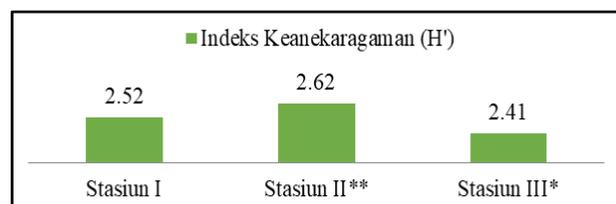


Gambar 8. Grafik Tipe *Thallus Lichenes* yang Ditemukan Beserta Jumlahnya.

Spesies *Lichenes* yang ditemukan mempunyai tipe *thallus crustose*, *foliose*, *fruticose*, dan *squamulose*. Berdasarkan keempat jenis tipe *thallus Lichenes*, tipe *thallus crustose* adalah yang paling banyak ditemukan dibandingkan dengan tipe *thallus* yang lainnya (Gambar 8). *Lichenes* tipe *thallus crustose* adalah yang paling umum dan tahan (resisten) dibandingkan dengan tipe *thallus* lainnya (Rasyidah, 2018). Hal ini terjadi karena *Lichenes* dengan tipe *thallus crustose* terlindung dari potensi kehilangan udara, karena bergantung pada substrat, tipe *thallus crustose* ini memiliki sifat menempel erat pada substratnya dengan tipe jaringan *thallus* yang *homoimer*, yaitu keadaan dimana *phycobiont* (alga) berada sekitar hifa (Khastini *et al.*, 2018).

Berbanding terbalik dengan *Lichenes* tipe *thallus fruticose* dan *squamulose*, tipe *thallus* ini hanya ditemukan dengan jumlah sedikit. Tipe *thallus fruticose* hanya ditemukan dari 3 spesies, dan tipe *thallus squamulose* ditemukan hanya dari 1 spesies. Dua tipe *thallus* tersebut memang sulit ditemukan, karena relatif tidak toleran terhadap habitat yang terganggu atau tercemar, sehingga hanya ditemukan pada kondisi lingkungan tertentu (Susilawati, 2017).

Hasil keanekaragaman spesies *Lichenes* dan tipe *thallus* yang ditemukan tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, waktu, atau musim. Lokasi pengambilan *Lichenes* juga mempengaruhi jumlah koloni *Lichenes*. Hasil keanekaragaman spesies *Lichenes* yang ditemukan pada daerah penelitian dipengaruhi oleh tingkat pencemaran udara yang terjadi di daerah tersebut. Sesuai dengan pernyataan Mafaza *et al.* (2019), bahwa memang kehadiran *Lichenes* relatif lebih sering ditemukan pada daerah yang tidak tercemar, karena kondisi lingkungan sangat berpengaruh.



Gambar 9. Grafik Nilai Indeks Keanekaragaman *Lichenes*.

Keterangan:

* = Nilai paling rendah;

** = Nilai paling tinggi;

Stasiun I = Kawasan hutan lindung dekat jalan raya;

Stasiun II = Kawasan hutan lindung jauh dari jalan raya; dan

Stasiun III = Kawasan hutan produksi dekat pertanian.



Berdasarkan hasil pengolahan dan perhitungan data primer dari jumlah koloni setiap spesies *Lichenes* yang ditemukan, didapatkan hasil (Gambar 9), bahwa tingkat keanekaragaman sedang. Hal ini dibuktikan dengan nilai yang didapatkan pada setiap stasiun yang paling tinggi adalah stasiun II dengan 2,62, diikuti stasiun I dengan nilai 2,52, dan nilai terkecil pada stasiun III yaitu 2,41. Berdasarkan kriteria indeks keanekaragaman *Shannon-Weiner*, jika $1 < H' < 3$ maka dapat ditentukan pada stasiun penelitian memiliki kriteria keanekaragaman sedang, yang artinya penyebaran jumlah individu tiap spesies sedang dan kestabilan komunitas sedang.

Nilai indeks keanekaragaman bergantung pada jumlah individu pada suatu spesies, jika suatu komunitas mempunyai jumlah spesies yang tinggi dengan jumlah individu yang sebanding, maka nilai keanekaragaman akan semakin tinggi (Anwari *et al.*, 2021; Utami *et al.*, 2023). Nilai keanekaragaman *Lichenes* yang berbeda-beda disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain parameter fisika, kepadatan lalu lintas, dan juga kondisi pada setiap stasiun penelitiannya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Roziaty *et al.* (2021), bahwa keanekaragaman *Lichenes* dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti spesies substrat, kondisi topografi, suhu lingkungan, kelembapan udara, tingkat polusi, intensitas cahaya, dan juga curah hujan yang turut mempengaruhi keanekaragaman *Lichenes*.

Hasil penelitian pada stasiun I ditemukan sebanyak 16 spesies *Lichenes* dengan nilai indeks keanekaragaman 2,57. Hasil yang ditemukan dipengaruhi oleh banyak faktor. Stasiun I berada di ketinggian antara 878,85 - 931,96 mdpl. Stasiun I merupakan kawasan hutan lindung yang dekat dengan jalan raya. Kepadatan lalu lintas yang dalam hal ini jumlah kendaraan yang melintas di jalan raya akan mengeluarkan gas buang, baik itu dari kendaraan roda 2 maupun roda 4. Jumlah kendaraan yang melintas sebanyak 25.244 unit per minggunya. Gas buang kendaraan inilah yang mempengaruhi pertumbuhan dan keanekaragaman *Lichenes* yang berada di stasiun I. Semakin tinggi volume lalu lintas, maka semakin rendah persentase keberadaan dan keanekaragaman spesies *Lichenes*. Meningkatnya jumlah gas buang kendaraan bermotor menyebabkan spesies *Lichenes* tidak toleran atau sensitif terhadap pencemaran udara tingkat tinggi hilang (Sumarlin *et al.*, 2016).

Lichenes pada daerah yang tercemar akan mengalami pertumbuhan yang buruk, salah satunya ditandai dengan perubahan warna *thallus* menjadi lebih pucat atau kusam (Ramadhani *et al.*, 2022). Perubahan warna *thallus* dapat berlanjut hingga berubah menjadi putih sebagai tanda telah terjadi kerusakan kronis. Warna pucat pada *thallus* merupakan akibat rusaknya lapisan alga penyusun *Lichenes*. Lapisan alga yang mengalami kerusakan terutama adalah bagian klorofil akibat penyerapan sejumlah gas pencemar dalam konsentrasi sublethal dalam jangka waktu yang lama (Yuliani *et al.*, 2021). Hal ini sesuai dengan kondisi *Lichenes* yang ditemukan di stasiun I, dimana sebagian spesies mengalami kerusakan ataupun warna yang memudar.

Hasil penelitian pada stasiun II, ditemukan sebanyak 21 spesies *Lichenes* dengan nilai indeks keanekaragaman 2,62. Hasil yang ditemukan dipengaruhi oleh banyak faktor. Stasiun I berada di ketinggian antara 962,12 - 1.047,31 mdpl. Stasiun I merupakan lokasi penelitian yang berada di tengah-tengah kawasan



hutan lindung, sedikit aktivitas manusia, baik itu polusi udara dari kendaraan bermotor maupun kawasan produksi atau pertanian. Minimnya masukan atau pencemaran dari aktivitas manusia ini tentu sangat berpengaruh pada kualitas udara yang ada di stasiun II, yang akhirnya akan berpengaruh pada keanekaragaman spesies *Lichenes* yang ditemukan. Terbukti dari ketiga lokasi yang ditentukan untuk diambil sampel *Lichenes*, stasiun II mempunyai keanekaragaman paling tinggi dibanding dengan stasiun I dan III.

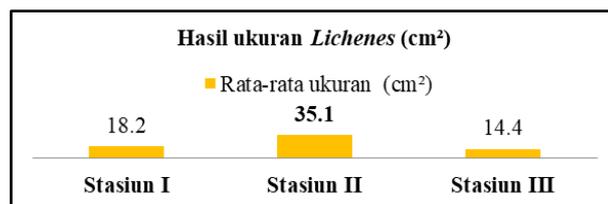
Hasil penelitian pada stasiun III ditemukan sebanyak 17 spesies *Lichenes* dengan nilai indeks keanekaragaman 2,41. Hasil yang ditemukan dipengaruhi oleh banyak faktor. Stasiun III berada di ketinggian antara 1.034,29 - 1.070,08 mdpl. Stasiun III merupakan kawasan hutan produksi yang dekat dengan lahan yang digunakan untuk pertanian. Pada stasiun III terdapat pencemaran udara dari penggunaan pestisida buatan, terbukti dari 3 jenis pestisida merek X yang ditemukan di lokasi secara berurutan menggunakan bahan yang mengandung delta endotoksin, karbofuran 3%, dan profenofos 500 g/L. Bahan yang terkandung dalam pestisida maupun insektisida yang digunakan berpengaruh pada kondisi lingkungan di stasiun III. Penggunaan pestisida akan berpengaruh pada keanekaragaman *Lichenes* yang ditemukan, dengan dibuktikannya jumlah spesies yang paling rendah di antara stasiun yang lain. Sejalan dengan pernyataan Abidin & Hasibuan (2019), bahwa sumber polusi udara di kawasan pertanian, yaitu dengan menggunakan pestisida.

Polusi yang dihasilkan akan diserap oleh *Lichenes* tanpa filtrasi, karena tidak mempunyai kutikula (Samudera *et al.*, 2022), oleh karena itu hanya *Lichenes* yang mempunyai sensitifitas rendah yang mampu bertahan hidup dan tumbuh, sedangkan spesies *Lichenes* yang sangat sensitif, seperti tipe *thallus fructicose*, tidak banyak ditemukan. Hanya ditemukan 1 spesies tipe *fructicose* dengan jumlah terbatas, yaitu 3 koloni. Terpaut jauhnya jumlah spesies *Lichenes* yang ditemukan di stasiun III secara detail bisa disebabkan karena pembukaan lahan untuk pertanian secara berlebihan, dan dalam menggunakan pestisida dengan dosis yang besar dan sering. Pada kenyataannya memang pembukaan lahan untuk pertanian di lereng perbukitan stasiun III ini cukup banyak, hal ini sesuai dengan hasil penelitian Rahman (2023), bahwa menunjukkan di kawasan ini terjadi pembukaan lahan berlebihan dan penurunan fungsi kawasan hutan.

Merujuk pada jumlah koloni *Lichenes* (Tabel 2), ada hal menarik yang ditemukan pada penelitian ini, yaitu pada spesies *Arthonia quintaria* Nyl., *Pyrenula reebiae* Aprot & Gueidan, dan *Trypethelium eluteriae* (Spreng) yang hanya ditemukan pada stasiun II dengan jumlah yang sedikit, secara berurutan yaitu 11 individu, 13 individu, dan 4 individu. Padahal kedua spesies ini termasuk *Lichenes* dengan tipe *thallus crustose* yang memiliki sifat melekat dan susah dipisahkan pada substrat. Selain itu, penelitian Yuliani *et al.* (2021), menyatakan bahwa jenis *crustose* tertentu lebih tahan terhadap pencemaran udara dibandingkan dengan jenis tipe *thallus* lainnya. Tentu hal ini berbeda dengan yang ditemukan pada penelitian, dimana kedua spesies ini hanya ditemukan pada stasiun II yang merupakan kawasan hutan lindung yang jauh dari jalan raya maupun kawasan pertanian yang menggunakan pestisida. Berdasarkan temuan ini, dapat dianalisis terkait faktor yang mempengaruhinya.

Berdasarkan karakter dari spesies *Arthonia quintaria* Nyl, *Lichenes* ini termasuk tidak toleran terhadap pencemaran. Hal ini diperkuat oleh data dari Nimis & Stefano (2024), yang menyatakan bahwa spesies *Arthonia quintaria* Nyl., khususnya pada genus ini secara eksklusif terdapat pada pohon-pohon tua di hutan purba yang tidak terganggu oleh aktivitas manusia. Data tersebut diperkuat oleh Ramadhanti *et al.* (2021), bahwa *Arthonia quintaria* adalah anggota genus yang besar dan biasanya mengalami likenisasi yang mencakup spesies yang tidak memiliki fotobiont atau mengalami likenisasi lemah. Tidak jelas apakah keadaan non-likenisasi tersebut merupakan nenek moyang atau spesies telah kehilangan fotobiontnya dan berevolusi menjadi gaya hidup saprofit.

Pada spesies *Pyrenula reebiae*, jika dilihat dari karakternya termasuk pada spesies yang kurang toleran terhadap pencemaran udara. Berdasarkan Nimis & Stefano (2024), spesies *Pyrenula reebiae* mempunyai kecenderungan muncul di habitat alami atau semi alami dengan gangguan minim oleh aktivitas manusia. Hal inilah yang menyebabkan spesies ini hanya muncul pada stasiun II saja walaupun jenis substratnya pohon kemiri juga ditemukan pada stasiun I yang merupakan kawasan dekat dengan jalan raya.



Gambar 10. Hasil Rata-rata Ukuran *Lichenes* pada Setiap Stasiun.

Data hasil rata-rata ukuran pada stasiun I, II, dan III disajikan pada Gambar 10. Kemudian untuk melihat hubungan ukuran *Lichenes* dengan kualitas udara, dapat dilihat pada Tabel 3 (Sett & Kundu, 2016).

Tabel 3. Hubungan Ukuran *Lichenes* dengan Kualitas Udara.

No.	Ukuran (cm ²)	Tingkat Kualitas Udara
1	0-3	Miskin/ Buruk
2	4-6	Cukup
3	7-9	Baik
4	10-12	Sangat Baik

Jika dilihat menggunakan Tabel 3, hubungan ukuran *Lichenes* dan kualitas udara (Sett & Kundu, 2016) pada stasiun I, II, dan III memiliki kualitas udara yang sangat baik dengan rata-rata ukuran *Lichenes* pada stasiun I, II dan III secara berurutan, yaitu 18,2 cm², 35,1 cm², dan 14,4 cm².

SIMPULAN

Hasil penelitian keanekaragaman *Lichenes* sebagai indikator kualitas udara di KHDTK Pujon menemukan 27 spesies dari 15 famili dengan total 1.273 individu. Indeks keanekaragaman tergolong sedang dengan variasi tertinggi di stasiun II. Meskipun secara umum kualitas udara cenderung baik, analisis ukuran *Lichenes* menunjukkan perbedaan antar-stasiun, disebabkan oleh faktor fisik dan



kepadatan lalu lintas. Potensi hasil penelitian ini sebagai artikel ilmiah untuk pembelajaran biologi sangat memungkinkan, karena memenuhi syarat kajian kejelasan potensi, kejelasan sasaran, kejelasan tujuan, kejelasan informasi, kejelasan pedoman eksplorasi, dan kejelasan hasil yang dicapai dan kriteria sumber belajar yang praktis dan ekonomis.

SARAN

Saran penulis untuk penelitian lebih lanjut dapat meningkatkan keanekaragaman hasil penelitian tentang *Lichenes*, disarankan untuk mengambil sampel dari berbagai jenis substrat seperti batu, daun, atau substrat lainnya. Identifikasi spesies secara mendalam dengan menggunakan mikroskop perlu dilakukan untuk memperoleh detail morfologi dan anatomi yang lebih baik, terutama jika peneliti melakukan identifikasi secara mandiri. Penting juga untuk menguji kandungan cemaran dalam *thallus Lichenes* guna memvalidasi bahwa benar dan valid *Lichenes* dapat dimanfaatkan sebagai indikator kualitas udara. Perencanaan detail mengenai pembiayaan dan penggunaan layanan laboratorium sangat penting agar penelitian berjalan efisien dan optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian dan penyusunan artikel ini, yaitu: 1) Dosen Pembimbing; 2) Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Malang; 3) UPT KHDTK Pujon sebagai tempat penelitian; dan 4) Laboratorium Taksonomi dan Struktur Perkembangan Tumbuhan Universitas Brawijaya yang telah memfasilitasi kebutuhan penelitian dalam identifikasi sampel *Lichenes*.

DAFTAR RUJUKAN

- Abidin, J., & Hasibuan, F. A. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran Udara terhadap Kesehatan untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam tentang Bahaya dari Polusi Udara. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau IV* (pp. 1-7). Pekanbaru, Indonesia: Universitas Riau.
- Aly, F. H., & Roziaty, E. (2022). Kandungan Klorofil Thalus Lumut Kerak di Jalan Protokol Kecamatan Tawangmangu. In *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek ke-VII* (pp. 420-428). Surakarta, Indonesia: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Andrea, E. S., Zuhri, R., & Marlina, L. (2018). Identifikasi Jenis Lichen di Kawasan Objek Wisata Teluk Wang Sakti. *Jurnal Pendidikan Biologi dan Biosains*, 1(2), 7-14.
- Andrito, W., Nasution, S., & Efriyeldi. (2020). Kondisi Mangrove di Pesisir Timur Pulau Jemaja Kepulauan Anambas. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 7(2), 70-80. <https://doi.org/10.31258/dli.7.2.p.70-80>
- Anwari, W., Sutjihati, S., & Muniarti, M. (2021). Keanekaragaman Lichen di Pusat Pendidikan Konservasi Alam Bodogol, Taman Nasional Gudung Gede Pangrango. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 7(2), 89-100. <https://doi.org/10.20886/jped.2021.7.2.89-100>



- Asri, L. N., Sari, K. E., & Meidiana, C. (2022). Emisi CO Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan dengan Tingkat Pelayanan Rendah di Kota Malang. *Planning for Urban Region and Environment*, 11(1), 31-38.
- Chanan, M., & Prakosa, G. G. (2022). Pengembangan Tanaman Penghasil Minyak Atsiri sebagai Sumber Pendapatan Petani dan Pelestarian Kawasan Hutan. *Kalandra : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(3), 56-65. <https://doi.org/10.55266/jurnalkalandra.v1i3.149>
- Fastafani, F. S., Susan, D., Supriyanti, Y., & Sutikno. (2020). A Preliminary Study of Lichen Diversity in Gunung Halimun Salak National Park. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*, 7(2), 46-52. <https://doi.org/10.23960/jbekh.v7i2.150>
- Fatma, Y., Mahanal, S., & Sari, M. S. (2017). Keanekaragaman Familia Physciaceae dan Lobariaceae di Taman Hutan Raya Raden Soerjo sebagai Bahan Ajar pada Mata Kuliah Mikrobiologi. *Jurnal Pendidikan : Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 2(2), 179-185. <http://dx.doi.org/10.17977/jp.v2i2.8513>
- Fau, A. (2020). Studi Keanekaragaman Hayati sebagai Sarana Edukasi Ekowisata di Kawasan Air Terjun Baho Majo Desa Bawodara. *Jurnal Education and Development*, 8(1), 289-293. <https://doi.org/10.37081/ed.v8i1>
- Hutasuhut, M. A., Febriani, H., & Devi, S. (2021). Identifikasi dan Karakteristik Habitat Jenis Lumut Kerak di Taman Wisata Alam Sicikeh-Cikeh Kabupaten Dairi Sumatera Utara. *Jurnal Biolokus*, 4(1), 43-56. <https://doi.org/10.30821/biolokus.v4i1.957>
- Ismiyati., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 01(03), 241-248. <http://dx.doi.org/10.54324/j.mtl.v1i3.23>
- Jannah, M., & Untari, L. F. (2019). Taxonomy of Crustose Lichens in the Forest of Tahura R. Soeryo, Batu, East Java. *Biotropic : The Journal of Tropical Biology*, 3(1), 1-12. <https://doi.org/10.29080/biotropic.2019.3.1.1-12>
- Kaswinarni, F., Ananda, T. T., & Rachmawati, R. C. (2023). Keanekaragaman Jenis Lichenes sebagai Bioindikator Kualitas Udara di Objek Wisata Wono Sreni Indah Kota Jepara. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 9(2), 39-45. <https://doi.org/10.26877/jitek.v9i2/Nov.16773>
- Khastini, R. O., Juwitasari, I., & Sulasanah, S. (2018). Ragam Liken Berdasarkan Ketinggian Dataran sebagai Bioindikator Kualitas Ekosistem di Cagar Alam Rawa Danau Serang Banten. *Biota : Biologi dan Pendidikan Biologi*, 11(2), 107-122. <http://dx.doi.org/10.20414/jb.v11i2.143>
- Khastini, R. O., Sari, I. J., Herysca, Y., & Sulasanah. (2019). Lichen Diversity as Indicators for Monitoring Ecosystem Health in Rawa Danau Nature Reserve, Banten, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(2), 489-496. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200227>
- Kurniawati, I. D., Nurullita, U., & Mifbakhudin, M. (2017). Indikator Pencemaran Udara Berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Kondisi Iklim (Studi di Wilayah Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang). *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 12(2), 19-24.
- Mafaza, H., Murningsih., & Jumari. (2019). Keanekaragaman Jenis Lichen di



- Kota Semarang. *Life Science*, 8(1), 10-16.
<https://doi.org/10.15294/lifesci.v8i1.29985>
- Muslim., & Hasairin, A. (2018). Eksplorasi Lichenes pada Tegakan Pohon di Area Taman Margasatwa (Medan Zoo) Simalingkar Medan Sumatera Utara. *Jurnal Biosains*, 4(3), 145-153.
<https://doi.org/10.24114/jbio.v4i3.9715>
- Muvidha, A. (2020). *Lichen di Jawa Timur*. Tulungagung: Akademia Pustaka.
- Nasriyati, T., Muningsih, M., & Utami, S. (2018). Morfologi Talus Lichen *Dirinaria Picta* (Sw.) Schaer. Ex Clem pada Tingkat Kepadatan Lalu Lintas yang Berbeda di Kota Semarang. *Jurnal Akademika Biologi*, 7(4), 20-27.
- Nimis, P. L., & Stefano, M. (2024). Italic - The information system on Italian. *Bibliotheca Lichenologica*, 82(1), 271-283.
- Nuryani, E., Hutasuhut., Melfa, A., & Idami, Z. (2023). Keragaman Lumut Kerak (Lichenes) di *Resort 6 Taman Nasional Batang Gadis (TNBG) Sumatera Utara*. *Bioedusains*, 6(1), 138-150.
<https://doi.org/10.31539/bioedusains.v6i1.5776>
- Putri, M. T. (2020). Analisis Kelimpahan dan Keanekaragaman Kerak (Lichens) sebagai Kualitas Udara di Wilayah Kota Batu dan Kota Malang sebagai Sumber Belajar SMA Kelas X. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Rahman, M. A. T. (2023). Keanekaragaman Jenis Reptilia Berdasarkan Elevasi di Kawasan Agroforestri KPH Malang, Jawa Timur. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Ramadhan, F. M. (2021). Inventarisasi Lichen di Hutan Kampus. *Skripsi*. Universitas Jambi.
- Ramadhani, R. W., Salsabila, N., & Mumpuni, K. E. (2022). Lichen sebagai Bioindikator Kualitas Udara di Kecamatan Jebres Kota Surakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(2), 207-221. <https://doi.org/10.31258/jil.16.2.p.207-221>
- Ramadhanti, Z. N., Pratiwi, N. R., Harnum, I. A., Putri, Z. W., Miarsyah, M., & Utami, A. W. A. (2021). Inventarisasi Liken di Kawasan Kebun Raya Bogor. In *Proceeding of Biology Education* (pp. 120-129). Jakarta, Indonesia: Universitas Negeri Jakarta.
- Rasyidah, R. (2018). Kelimpahan Lumut Kerak (Lichens) sebagai Bioindikator Kualitas Udara di Kawasan Perkotaan Kota Medan. *Klorofil*, 1(2), 88-92.
<http://dx.doi.org/10.30821/kfl:jibt.v1i2.1601>
- Retnowati, A., Rugayah., Rahajoe, J. S., & Arifiani, D. (2019). *Status Keanekaragaman Hayati Indonesia: Kekayaan Jenis Tumbuhan dan Jamur Indonesia*. Jakarta: LIPI Press.
- Roziaty, E. (2016). *Review : Kajian Lichen : Morfologi, Habitat dan Bioindikator Kualitas Udara Ambien Akibat Polusi Kendaraan Bermotor*. *Bioeksperimen : Jurnal Penelitian Biologi*, 2(1), 54-67.
<https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v2i1.1632>
- 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. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v7i2.16523>
- Samudera, W., Prahayuningsih, L., Apriana, S., & Handayani, H. (2022). Perbandingan Tingkat Pencemaran Udara dengan Indikator Biologi di Terminal Mandalika dan Hutan Suranadi. *Al-Amin : Journal of Education and Social Studies*, 7(1), 37-50. <https://doi.org/10.54723/jurnalalamin.v7i01.119>
- Sasmita, A., Reza, M., Elystia, S., & Adriana, S. (2022). Analisis Pengaruh Kecepatan dan Volume Kendaraan terhadap Emisi dan Konsentrasi Karbon Monoksida di Jalan Jenderal Sudirman, Kota Pekanbaru. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(4), 269-279. <https://doi.org/https://doi.org/10.24002/jts.v16i4.5452>
- Sett, R., & Kundu, M. (2016). Epiphytic Lichens: Their Usefulness as Bio-Indicators of Air Pollution. *Donnish Journal of Research in Environmental Studies*, 3(1), 17-24.
- Sumarlin., Maheng, M. D., & Rosdiana. (2016). ACE 3-008 Pemantauan Kualitas Udara Perkotaan Menggunakan Lumut Kerak (Lichen). In *Prosiding Seminar ACE* (pp. 107-124). Padang, Indonesia: Universitas Andalas.
- Suniyanti., Mahrus., & Mertha, I. G. (2022). The Diversity of Lichens in the Tourist Area of the Stokel Waterfall Central Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(2), 660-667. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i2.3586>
- Susilawati, P. R. (2017). Fruticose dan Foliose Lichen di Bukit Bibi, Taman Nasional Gunung Merapi. *Jurnal Penelitian*, 21(1), 12-21.
- Susilawati, P. R., & Kasiamdari, R. S. (2021). Karakteristik Kulit Batang Pohon Inang Lichen di Bukit Bibi, Taman Nasional Gunung Merapi. *Bioeksperimen : Jurnal Penelitian Biologi*, 7(2), 130-142. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v7i2.11355>
- Suwardi., Tambaru, E., Ambeng., & Priosambodo, D. (2014). Keanekaragaman Jenis Mangrove di Pulau Panikiang Kabupaten Barru Sulawesi Selatan. *Jurnal Universitas Hasanuddin*, 5(1), 1-9.
- Utami, F., Utami, S. D., & Safnowandi, S. (2023). Struktur Komunitas Mangrove di Pesisir Pantai Cemara Kabupaten Lombok Barat dalam Upaya Penyusunan Modul Ekologi. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 3(4), 206-225. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v3i4.213>
- Widjaja, E. A., Rahayuningsih, Y., Rahajoe, J. S., Ubaidillah, R., Maryanto, I., Walujo, E. B., & Semiadi, G. (2014). *Kekinian Keragaman Hayati Indonesia*. Jakarta: LIPI Press.
- Yuliani, R., Imaningsih, W., & Yuwati, T. W. (2021). Lichen sebagai Bioindikator Kualitas Udara di Kawasan Penyangga Kota Banjarbaru. *Jurnal Galam*, 2(1), 54-65. <https://doi.org/10.20886/GLM.2021.2.1.54-65>