
Lichen Sebagai Bioindikator Kualitas Udara di Wonosalam dan Krian

Firza Waliyyani Rimanda✉

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim

ABSTRAK

Pencemaran udara menjadi masalah serius di Indonesia akibat peningkatan aktivitas industri, transportasi, dan urbanisasi. Kualitas udara mempengaruhi keanekaragaman lichen yang dapat digunakan sebagai bioindikator lingkungan. Tujuan penelitian adalah mengetahui tingkat pencemaran udara dengan menggunakan bioindikator lichen. Pengambilan sampel dilakukan secara eksploratif dengan teknik transek sejauh 50 meter di dua lokasi: Sumber Gintungan dan Sentra Industri Tahu Tropodo. Setiap lokasi memiliki 4 stasiun, dengan 5 pohon berdiameter batang >10 cm dan ketinggian 150-200 cm dari tanah diamati per stasiun. Data dianalisis menggunakan Indeks Shannon-Wiener, Indeks Kelimpahan, dan faktor abiotik. Hasil penelitian menunjukkan di Sumber Gintungan didominasi oleh lichen jenis foliose yang menandakan kualitas udara baik, sedangkan di Sentra Industri Tahu didominasi crustose yang menandakan kualitas udara kurang baik. Bioindikator lichen efektif untuk mengukur kualitas udara suatu lokasi. Untuk memperoleh data yang lebih representatif, penelitian harus dilakukan di lebih banyak lokasi dengan berbagai macam musim dan waktu yang lebih lama.

Kata kunci: Keanekaragaman Lichen, Kualitas Udara, Sumber Gintungan, Sentra Industri Tahu

Lichen as a Bioindicator of Air Quality in the Wonosalam and Krian

ABSTRACT

Air pollution has become a serious problem in Indonesia due to the increase of industrial activities, transportation, and urbanization. Air quality affects the diversity of lichens, which can be used as environmental bioindicators. Lichens are classified morphologically into crustose, foliose, fruticose, and squamulose. Sampling was conducted exploratively using a 50-meter transect technique at two locations: Sumber Gintungan and Sentra Industri Tahu Tropodo. Each location had 4 stations, with 5 trees per station, each with a trunk diameter >10 cm and a height of 150-200 cm from the ground. The aim of the study was to determine the level of air pollution using lichen bioindicators. The data were analyzed using the Shannon-Wiener Index, Abundance Index, and abiotic factors. The results showed that Sumber Gintungan was dominated by foliose lichens, indicating good air quality, while Sentra Industri Tahu was dominated by crustose lichens, indicating poor air quality. Lichen bioindicators are effective for measuring air quality in a given location. To obtain more representative data, research should be conducted in more locations with various seasons and over a longer period of time.

Keywords: Diversity, Lichens, Air Quality. Sumber Gintungan, Tofu Industry Center

PENDAHULUAN

Udara merupakan elemen vital dalam lingkungan yang sangat berperan penting bagi kelangsungan hidup, kualitas udara yang baik dapat menjadikan organisme berkembang dan menjalankan fungsi hidupnya secara maksimal. Menjaga dan

meningkatkan kualitas udara menjadi suatu keharusan agar dapat memberikan dukungan optimal bagi kehidupan makhluk hidup (Dewi et al., 2021). Pencemaran udara telah menjadi masalah lingkungan yang serius di berbagai negara

✉ Corresponding author
Address : Kota Kediri, Jawa Timur
Email : Firzamanda@gmail.com

termasuk Indonesia. Peningkatan aktivitas industri, transportasi, dan urbanisasi telah berkontribusi secara signifikan terhadap penurunan kualitas udara di banyak wilayah. Dampak negatif dari pencemaran udara tidak hanya mempengaruhi kesehatan manusia, tetapi juga ekosistem dan keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, pemantauan dan penilaian kualitas udara menjadi sangat penting untuk mengetahui tingkat pencemaran dan mengambil tindakan yang tepat (Vandyck et al., 2020). Metode konvensional untuk mengukur kualitas udara seringkali memerlukan peralatan yang mahal dan kompleks. Namun, penggunaan bioindikator seperti Lichen telah terbukti menjadi alternatif yang efektif dan ekonomis untuk menilai kualitas udara (Winatama & Syafrudin., 2023).

Lichens merupakan organisme hasil persilangan dari bentuk simbiosis mutualisme antara jamur dengan alga dan helotisme yang dapat membentuk kesatuan morfologi yang berbeda antara satu organisme dengan organisme yang lain (Pratama & Trianto., 2020). Ascomycetes merupakan golongan fungi yang banyak menyusun tubuh dari lumut kerak ini, sedangkan alga yang ikut berperan dalam penyusunan tubuh lichens adalah alga golongan ganggang biru (Chlorophyta) dan ganggang hijau (Chlorophyta) (Tjitrosoepomo., 2005). Fungi dan alga dalam tubuh Lichen mempunyai fungsinya masing masing. Fungi dalam lichen mempunyai peran sebagai penyedia struktur dan massa serta perlindungan terhadap tubuh Lichen, sedangkan alga mempunyai fungsi atau peran untuk menyediakan karbohidrat untuk tubuh Lichen (Mulyadi & Hasanuddin., 2014).

Lichen dapat hidup secara empifit sehingga ditemukan menempel pada berbagai substrat, antara lain berupa pohon, kayu mati, kayu lapuk, serasah, tanah dan bebatuan (Windadri., 2010). Keanekaragaman jenis Lichen di Indonesia mempunyai persebaran yang dangat luas. Persebaran lichen dapat di-

gunakan sebagai bioindikator lingkungan (Sopandan & Yudhana., 2013). Lichen dapat bertahan hidup pada lokasi yang ekstrim dan mempunyai sensitifitas yang tinggi terhadap kelembapan udara, suhu kualitas udara dan polutan pada lingkungan habitatnya (Rasyidah., 2018). Siklus hidup Lichen tidak membutuhkan ketentuan hidup yang tinggi dan tahan terhadap daerah yang kering atau kekurangan air dalam jangka waktu yang cukup lama, tetapi Lichen juga mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap kondisi udara (Supriati., 2013). Kemampuan Lichen yang dapat menyerap zat kimia yang ada di udara dan air hujan, menjadikan Lichen sebagai organisme yang digunakan sebagai bioindikator atau biomonitoring udara (Dewi et al., 2021). Kemampuan Lichen untuk menyerap kontaminan atmosfer menjadikannya bioindikator potensial untuk pencemaran udara. Metode sederhana untuk menilai tingkat pencemaran suatu daerah adalah dengan mengamati morfologi Lichen pada pohon atau batuan. Perubahan keanekaragaman dan akumulasi polutan dalam talus lumut dapat menunjukkan tingkat polusi udara. Bagian utama lumut adalah talus, yang dapat tumbuh dengan berbagai orientasi terhadap substratnya (Tangahu., 2020).

Lichen berdasarkan morfologinya dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis yaitu *crustose*, *foliose*, *fruticose*, dan *squamulose*. Talus *crustose* memiliki ukuran bervariasi dengan bentuk datar dan tipis. Talus *foliose* memiliki perbedaan antara bagian atas dan bawah, dengan tepi yang sering tergulung ke atas. Talus *fruticose* hanya menempati bagian dasar substrat dan tumbuh lebih mengembang pada bebatuan, daun, dan cabang pohon. Talus *squamulose* memiliki struktur *askokarp* khusus yang disebut *podetia* dan tidak memiliki rhizin. Pertumbuhan lumut dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, pH, tanaman inang, dan kualitas udara (Majumder et al., 2012).

Wonosalam merupakan sebuah kecamatan yang mempunyai sebagian

besar hutan terluas di Jawa Timur, terletak di kabupaten Jombang dengan luas 20.085.242 ha. Area Wonosalasam disebut sebagai kawasan sumber daya air dengan 123 titik mata air yang memiliki kontribusi terhadap kualitas udara di Kabupaten Jombang. Salah satu sumber mata air di Kabupaten Jombang adalah Sumber Gintungan. Sumber Gintungan terletak di area yang memiliki banyak vegetasi tumbuhan, yang berpotensi untuk habitat Lichen. Sumber Gintungan terletak di Dusun Mendiro, Desa Panglungan, Kecamatan Wonosalam (Wardana & Sari., 2019). Menurut Wardana & Sari (2019), menyatakan Sumber Gintungan dapat dijadikan lokasi kontrol dalam penelitian ini dikarenakan lokasinya yang relatif alami, jauh dari industri dan minim polusi. Lokasi tersebut berada pada dataran tinggi dengan iklim yang sejuk dan udara yang segar, menjadikan lichen dapat tumbuh beranekaragam (Roziaty & Aini., 2023).

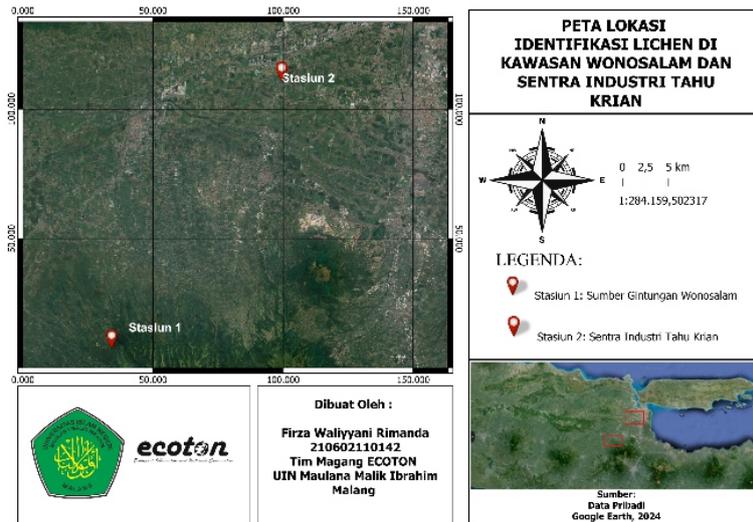
Sidoarjo merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Timur yang pembangunan industrinya berkembang dengan pesat. Dalam hal ini dapat terlihat bawasannya kabupaten Sidoarjo berhasil untuk mengembangkan industri, baik industri kecil ataupun menengah dengan skala rumah tangga (Abdian., 2021). Salah satunya berada pada Sentra Industri Tahu, desa Tropodo, kecamatan Krian, Sidoarjo. Pada industri tahu di Sidoarjo didapatkan pada saat penelitian bahwa terdapat konsentrasi gas amonia (NH₃) yang melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.13/MEN/X/2011 dalam Prasetya et al (2019) adalah 17 mg/m³. Sedangkan rata-rata konsentrasi amonia di pabrik tahu Sidoarjo didapatkan sebesar 40 mg/m³ (Prasetya et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan adanya indikator udara yang sensitif terhadap kondisi lingkungan sehingga dapat dijadikan sebagai peringatan dini. Tingkat kepekaan lichen yang dapat digunakan sebagai parameter lingkungan seperti polusi udara (Kurniasih et al., 2020).

Penelitian yang dilakukan di kawasan Wonosalam telah banyak dilakukan, yang salah satunya mengenai parameter kualitas air. Namun untuk penelitian mengenai Lichen sebagai bioindikator kualitas udara masih sangat terbatas, terutama di kawasan Wonosalam, kabupaten Jombang, Jawa Timur. Kondisi lingkungan dapat mempengaruhi kemampuan adaptif Lichen, terutama terhadap peningkatan polusi di suatu daerah. Respons ini dapat dilihat dari perubahan dalam keanekaragaman, serta karakteristik morfologi dan fisiologi Lichen (Kuldeep & Prodyut., 2015). Ketika tingkat polusi udara meningkat secara signifikan, dampaknya terlihat pada komunitas Lichen yang dapat menyebabkan hilangnya beberapa spesies Lichen tertentu atau perubahan dalam komposisi komunitas Lichen secara keseluruhan (Kurniasih et al., 2020).

Menurut Madjeni., et al (2019), dalam penelitian yang dilakukan di Taman Wisata Alam Camplong dapat disimpulkan bahwa terdapat 7 jenis Lichen yang ditemukan, yaitu *Parmelia sulcata*, *Haematomma accolens*, *Graphis* sp, *Caloplaca chrysodeta*, *Opegrapha atra*, *Hafellia levieri*, dan *Lepraria*. Tingkat kepadatan lalu lintas dalam penelitian berpengaruh terhadap keanekaragaman Lichen. Dengan itu pentingnya penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jumlah keanekaragaman dan morfologi mengenai Lichen yang dikaitkan dengan kualitas udara dari Sumber Gintungan Wonosalam, Jombang dan Kawasan Sentral Industri Tahu Sidoarjo, Jawa Timur.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di dua lokasi yang berbeda yaitu pada area hutan Sumber Gintungan Kawasan Wonosalam dan area Sentral Industri Tahu Sidoarjo sebagai lokasi pengambilan sampel lichen. Pengambilan sampel lichen dilakukan pada Bulan Juli tahun 2024. Identifikasi struktur morfologi Lichens dilaksanakan di lokasi pengambilan sampel. Populasi



Sumber: Data Primer Diolah, (2024)

Gambar 1

Peta Lokasi Penelitian di Kawasan Wonosalam dan Krian, Jawa Timur

pada penelitian ini adalah seluruh tumbuahan lichens yang tumbuh menempel pada inang yang berada di Sumber Gintungan Kawasan Wonosalam dan area Sentra Industri Tahu Sidoarjo, Jawa Timur.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Global Positioning System* (GPS), *avenza maps*, kamera digital, *termohyrometer*, alat tulis, cutter, pinset, toples kaca, *aluminium foil*, lup, pita meter, buku identifikasi dan mikroskop stereo (Widodo et al., 2023). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel Lichen, selotip (penanda pohon) dan alkohol.

Metode yang digunakan adalah metode eksplorasi purposive sampling. Pengambilan data sampel lichen dilakukan menggunakan teknik transek sejauh 50 meter. Terdapat 4 stasiun pada setiap lokasi. Lokasi 1 terdapat di kawasan Sumber Gintungan, Wonosalam dengan 4 stasiun, dan lokasi 2 di kawasan Sentra Industri Tahu, Sidoarjo. Pohon yang diamati sejumlah 8 pohon pada tiap stasiun. Kriteria pemilihan vegetasi meliputi diameter batang lebih dari 35 – 70 cm dan berada pada ketinggian 150 cm dari permukaan tanah. Sampel lichen diambil dengan cara mengerik permukaan kulit batang pohon, fokus pada bagian tubuh buah lichen. Proses pengambilan sampel dilakukan pada kedua sisi batang pohon

untuk memastikan representasi yang baik dari populasi lichen di area tersebut. Sampel lichen diambil dan dilanjutkan pengamatan secara mikroskopis dengan pengamatan keragaman tipe morfologi thalus yaitu dengan melihat morfologi dan bentuk thalus (Nailufa et al., 2021).

Faktor abiotik yang diamati meliputi suhu dan kelembapan udara. Pengukuran dilakukan menggunakan termohigrometer yang digantung pada ketinggian sekitar 150 cm dari permukaan tanah. Di setiap lokasi pengamatan, pengukuran dilakukan di setiap stasiun guna mendapat data yang representatif. Pengamatan ini dilaksanakan saat pagi hari pukul 08.00 WIB. Metode ini digunakan untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang variasi suhu dan kelembapan udara sepanjang hari di lokasi penelitian (Kurniasih et al., 2020). Analisis data dilakukan dengan mengidentifikasi hasil dari dua metode yang digunakan, lalu membandingkannya dengan tabel indikator untuk menentukan kualitas udara.

Morfologi Thalus Lumut Kerak

Indikator pertama yang digunakan adalah menggunakan morfologi Talus Lichen sebagai parameter pencemaran udara. Morfologi thalus dapat dipengaruhi oleh faktor dari kelembapan dan suhu pada lokasi tersebut. Identifikasi perubahan warna yang dapat disebabkan oleh adanya

pencemaran udara yang terdapat pada suatu lokasi, sehingga dapat menghambat adanya perkembangan dari organisme lumut kerak. Selain itu perubahan warna dan thallus, dapat digunakan sebagai indikator atau respon lumut kerak terhadap masuknya zat tertentu dalam suatu lingkungan (Nailufa et al., 2021).

Keanekaragaman Shanon Wiener (H')

Analisis keanekaragaman Shanon Wiener digunakan sebagai indikator kualitas udara menurut Susilawati (2017), sebagai berikut:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

keterangan rumus tersebut antara lain H' = Indeks Keragaman Shannon, P_i = Proporsi Kelimpahan Jenis (N_i/N), n_i = Jumlah individu jenis ke- i dan N = Total seluruh jenis individu. Sedangkan kriteria indeks keanekaragaman Shanon - Wiener dibagi menjadi 3 yaitu: $H' < 1$ = keanekaragaman rendah, jika $1 < H' < 3$ = keanekaragaman sedang, dan $H' > 3$ = keanekaragaman tinggi.

3. Indeks Kelimpahan Relatif (KR)

Perhitungan Indeks Kelimpahan Relatif dengan persamaan yang diadopsi pada penelitian Madjeni., et al (2019), adalah sebagai berikut:

$$IKR = \frac{\text{Kelimpahan Spesies}}{\text{Kelimpahan Total}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Kelimpahan Spesies} = \frac{n_i}{A} \quad (3)$$

Keterangan untuk rumus tersebut adalah K = Kelimpahan Spesies ke I , jika n_i = Jumlah Total Individu spesies ke I dan A = Jumlah Total Individu yang ditemukan.

Indikator Kualitas Udara Berdasarkan Faktor Abiotik

Indikator keempat berdasarkan dari faktor abiotik sebagai bioindikator kualitas udara dapat diukur melalui suhu udara dan kelembapan udara. Pengukuran tersebut dilakukan menggunakan alat *TermoHygrometer*. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Suhu udara pada setiap lokasi di ukur pada waktu yang sama di pagi hari pada pukul 08.00 pada lokasi 1 maupun lokasi 2. Begitu pula dengan perhitungan kelembapan udara di lokasi 1 maupun lokasi 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis - jenis Lumut Kerak (Lichen) di Lokasi Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan jenis Lichen yang ditemukan di kawasan Sumber Gintungan Wonosalam memiliki jenis lichen yang lebih banyak dibandingkan lichen yang ditemukan di kawasan Sentra Industri Tahu Krian Sidoarjo. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini diketahui bahwa di Kawasan Sumber Gintungan Wonosalam ditemukan 13 jenis Lichen seperti yang telah dicantumkan dalam tabel.1. Jenis jenis lichen yang didapatkan di kawasan sumber gintungan antara lain *Bacidia Schweinitzii*, *Flavopunctelia flaventior*, *Parmelia sulcata*, *Parmelia saxatilis*, *Lepraria incana*, *Cryptothecia stariata*, *Cryotithecia sp*, *Graphis scripta*, *Graphis pulverulenta*, *Phlyctis agelaea*, *Peltigera britannica*, *Trentepholia flava* dan *Leptogium azureum*. Sedangkan jenis jenis lichen yang ditemukan di kawasan Sentra Industri Tahu Krian Sidoarjo yaitu *Bacidia Schweinitzii*, *Parmelia saxatilis*, *Cryptothecia stariata*, *Graphis scripta* dan *Phlyctis agelaea*. Jenis jenis Lichen pada lokasi 1 dan lokasi 2 disajikan dalam bentuk tabel 1.

Jenis Lichen yang banyak ditemukan pada lokasi Sumber Gintungan Wonosalam dan Sentra Industri Tahu Krian adalah famili parmeliaceae. Spesies pada dua lokasi tersebut dibedakan berdasarkan warnanya, thallus lichen yang ditemukan di lokasi 1 (Sumber Gintungan) cenderung lebih hijau atau gelap sedangkan Lichen yang ditemukan di lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) lebih dominan mempunyai warna thallus yang lebih cerah atau pucat. Tipe talus yang ditemukan di lokasi 1 dan lokasi 2 adalah *crustose* dan *foliose*. Hal ini didukung oleh pernyataan Pryanka (2014), menyatakan bahwa jenis talus Lichen yang ditemukan dalam penelitiannya mengenai lichen sebagai bioindikator juga menemukan 2 tipe talus Lichen yaitu *crustose* dan *foliose*. Pada penelitian ini banyak ditemukan tipe talus *crustose* dibandingkan dengan jenis Lichen *foliose*. Hal ini dapat digunakan sebagai bioindikator bahwa tipe talus

No	Famili	Genus	Spesies	Tipe Talus		Jumlah	
				Crustose	Foliose	Sumber Gintungan	Sentra Industri Tahu
1	Bacidiae	Bacidia	<i>Bacidia Schweinitzii</i>			28	6
2		Flavopunctelia	<i>Flavopunctelia flaventior</i>			22	0
3	Parmeliaceae		<i>Parmelia sulcate</i>			107	51
4		Parmelia	<i>Parmelia saxatilis</i>			56	0
5			<i>Parmelia sp</i>			59	0
6	Stereocaulaceae	Lepraria	<i>Lepraria incana</i>			61	0
7	Arthoniomycetidae	Cryptothecia	<i>Cryptothecia stariata</i>			38	3
8			<i>Cryptothecia sp</i>			40	0
9	Graphidaceae	Graphis	<i>Graphis scripta</i>			55	7
10			<i>Graphis pulverulenta</i>			38	0
11	Phlyctidaceae	Phlyctis	<i>Phlyctis agelaea</i>			38	5
12	Trentepohliceae	Trentepohlia	<i>Trentepohlia flava</i>			46	0
13	Collemataceae	Leptogium	<i>Leptogium azureum</i>			19	0
Total						607	72
H' (Indeks Keanekaragaman) =						2.467	0.996

Sumber: Data Penelitian Diolah, (2024)

crustose dapat tumbuh dimana pun baik dilokasi 1 maupun dilokasi 2. Hal ini didukung oleh pernyataan Armstrong & Bradwell (2010), yang menyatakan bahwa Lichen *crustose* merupakan jenis Lichen yang mempunyai resistensi yang tinggi pada kondisi lingkungan dibandingkan dengan tipe talus yang lain. Resistensi yang tinggi tersebut dikarenakan Lichen *crustose* hanya sedikit mengalami kehilangan air dan spesies yang ditemukan mempunyai sifat yang melekat pada substratnya (Suniyanti et al., 2022).

Deskripsi spesies

Bacidia Schweinitzii

Spesies ini mempunyai ciri ciri talus dengan tipe *crustose*. Sesuai dengan pernyataan Ulfa., et al (2018), yang menyatakan bahwa *Bacidia schweinitzii* mempunyai thallus yang dapat melekat kuat pada substrat, seperti kulit pohon atau bebatuan. *Bacidia schweinitzii* ditemukan pada dua lokasi penelitian, namun lokasi 1 (Sumber gintungan) mempunyai jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan lokasi 2 (Sebra Industri Tahu). Talus Lichen pada lokasi

satu rerata mempunyai warna hijau, sedangkan pada lokasi 2 rerata cenderung pucat. Hal ini dikarenakan bahwa spesies ini mampu hidup di habitat atau lingkungan yang lembap di hutan ataupun di area vegetasi pohon. *Bacidia schweinitzii* sangat sensitif terhadap polusi udara, khususnya sulfur dioksida (SO₂) (Neuwirth & Aptroot, 2011).

Flavopunctelia flaventior

Flavopunctelia flaventior pada penelitian dapat diketahui bahwa spesies ini mempunyai thalus yang berbentuk *foliose* dan berwarna hijau. Menurut Ulfa., et al (2023), menyatakan bahwa genus lichen mempunyai talus yang berwarna hijau dan berbentuk *foliose*. Pada penelitian lichen ini ditemukan di lokasi 1 (Sumber Gintungan), dengan jumlah total 22 koloni. *Flavopunctelia flaventior* tidak bisa hidup di lingkungan yang tercemar, menandakan bahwa lokasi 2 merupakan kawasan yang mempunyai pencemaran udara.

Parmelia sulcate

Hasil pengamatan yang dilakukan dapat diketahui lichen *Parmelia sulcate* mempunyai talus yang berwarna hijau di

lokasi 1 (Sumber gintungan) dan bewarna keabuan mulai pudar di lokasi 2 (Sentra Industri Tahu). Tipe talusnya yaitu berbentuk *foliose* atau lembaran dengan permukaan atas yang sedikit kasar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hadiyati & Rima Setyawati (2013), yang menyatakan bahwa Famili *Parmeliaceae* mempunyai talus yang berbentuk *foliose* dengan bentuk seperti daun dengan warna hijau keabuan. Spesies *Parmelia* ditemukan di kedua lokasi, yaitu lokasi 1 (Sumber Gintungan) berjumlah 107 koloni dan lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) 53 koloni. Perbedaan yang ditemukan menandakan adanya pencemaran udara pada lokasi 2 (Sentra Industri Tahu). *Parmelia sulcata* jenis lichen yang mampu bertahan hidup di lokasi yang tercemar (Hadiyati & Rima Setyawati, 2013).

Parmelia saxatilis

Hasil penelitian yang dilakukan pada lokasi 1 dapat diketahui bahwa spesies *Parmelia saxatilis* mempunyai tipe talus dengan warna yang hijau kebiruan, sedangkan pada lokasi 2 spesies *Parmelia saxatilis* mempunyai warna yang cenderung keabuan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kamaluddin et al (2022) yang menyatakan bahwa *Parmelia saxatilis* merupakan lichen yang memiliki tipe talus *foliose* yang bewarna hijau kebiruan dengan panjang rerata 5-5cm. Struktur talus memiliki ujung yang lebih longgar dan apothesia yang berbentuk cawan. Perbedaan struktur morfologi pada spesies ini dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas udara yang mempengaruhi pertumbuhan lichen.

Lepraria incana

Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa lichen *Lepraria incana* mempunyai tipe talus *crustose*. Spesies *Lepraria incana* pada pengamatan hanya ditemukan pada lokasi 1 (Sumber Gintungan) dengan jumlah total 61 koloni. Talus yang ditemukan mempunyai perpaduan abu abu dengan hijau. Hal ini didukung oleh pernyataan Kamaluddin et al (2022), yang menyatakan bahwa spesies *Lepraria incana* mempunyai tipe talus *Crustose* dengan butiran debu/leprose

yang tidak beraturan dan melekat erat pada substratnya.

Cryptothecia striata

Spesies *Cryptothecia striata* pada penelitian dapat diketahui mempunyai talus yang berbentuk *crustose*, dengan pinggir bewarna putih dan memiliki warna yang cenderung hijau. Spesies *Cryptothecia striata* pada penelitian hanya ditemukan pada lokasi 1 (Sumber Gintungan) dengan jumlah 38 koloni. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mulyadi & Hasanuddin (2014), bahwa spesies *Cryptothecia striata* memiliki morfologi talus yang berbentuk *crustose*. Warna talusnya yang terbagi menjadi 3 zona yaitu putih dibagian tengah dan tepi serta warna kehijauan diantaranya dan pola pertumbuhannya yang berbentuk bulat. Jenis ini ditemukan sebagian besar dipermukaan kulit batang tumbuhan yang berada di pegunungan mupun di hutan (Mulyadi & Hasanuddin, 2014)

Graphis scripta

Tipe talus yang ditemukan pada penelitian yaitu *crustose* yang bewarna putih. Spesies *Graphis scripta* dalam hasil pengamatan mempunyai corak garis garis secara tidak beraturan, memanjang atau membentuk pola pola yang lain. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kamaluddin et al (2022), yang menyatakan bahwa lichen spesies *Graphis scripta* mempunyai tipe talus *crustose* dengan warna putih pucat keabuan yang memanjang. Famili *Graphideae* memiliki bentuk askorokap linier, elongate, dan tidak beraturan (Roziaty, 2016). Pada pengamatan spesies ini ditemukan pada lokasi 1 (Sumber Gintungan) dengan jumlah 55 koloni dan lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) dengan jumlah 7 koloni.

Graphis pulverulenta

Graphis pulverulenta pada pengamatan memiliki talus dengan tipe *crustose* dan cenderung mempunyai warna putih. Spesies ini memiliki corak garis garis yang bewarna hitam. Talus *Graphis pulverulenta* menempel sangat erat pada substrat, termasuk pada pohon. Hal ini sesuai dengan pernyataan Roniyah & Roziaty (2023), yang menyatakan bahwa *Graphis pulverulenta* memiliki serat bewarna abu-

abu dengan talus yang berwarna putih. *Talus crustose Graphis pulverulenta* tumbuh memanjang pada batang tumbuhan dan mempunyai lirellate yang berwarna hitam, melengkung dan bercabang (Handoko et al., 2012). Spesies *Graphis pulverulenta* ditemukan pada lokasi 1 (Sumber Gintungan) dengan jumlah 38 koloni dan tidak ditemukan di lokasi 2 (Sentra Industri Tahu). Hal itu dapat disebabkan oleh faktor adanya pencemaran udara pada kawasan tersebut. Sehingga dapat menghambat pertumbuhan lichen (Nasriyati & Utami., 2018).

Phlyctis agelaea

Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesies *Phlyctis agelaea* mempunyai talus dengan tipe *crustose*, berwarna putih dan tampak seperti ada gumpalan tepung. Spesies *Phlyctis agelaea* pada penelitian ditemukan di 2 lokasi penelitian. Pada lokasi 1 spesies *Phlyctis agelaea* mempunyai jumlah 38, dengan gumpalan tepung yang padat. Hasil pengamatan yang dilakukan di Lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) spesies *Phlyctis agelaea* 5 koloni dengan gumpalan tepung yang tidak padat. Didukung oleh pernyataan Waruwu (2022), yang menyatakan bahwa talus *Phlyctis agelaea* bertipe *crustose*, berwarna putih menebal, membentuk tempat seperti gumpalan tepung, permukaan yang tidak rata dan nampak terdapat butiran butiran halus.

Trentepholia flava

Trentepholia flava pada pengamatan dapat diketahui memiliki talus dengan tipe *crustose* dan mempunyai warna orange atau jingga. Permukaan talus *Trentepholia flava* yang kasar dan bertepung. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hutasuhut et al (2021) merupakan jenis jenis Lichen yang memiliki talus dengan tipe *crustose*, berwarna jingga dengan bentuk morfologi tubuh bergelombang. Bentuk talus kasar dan permukaan talus bertepung. Warna merah atau jingga pada Trentepohliaceae disebabkan karena spora mengandung pigmen karotenoid (Hutasuhut et al., 2021). Spesies ini mempunyai tingkat sensitifitas yang tinggi. *Trentepholia flava* hanya ditemukan dilokasi 1 (Sumber Gintungan) dengan jumlah 46 koloni. Hal

ini menandakan bahwa lokasi 2 telah mengalami pencemaran lingkungan.

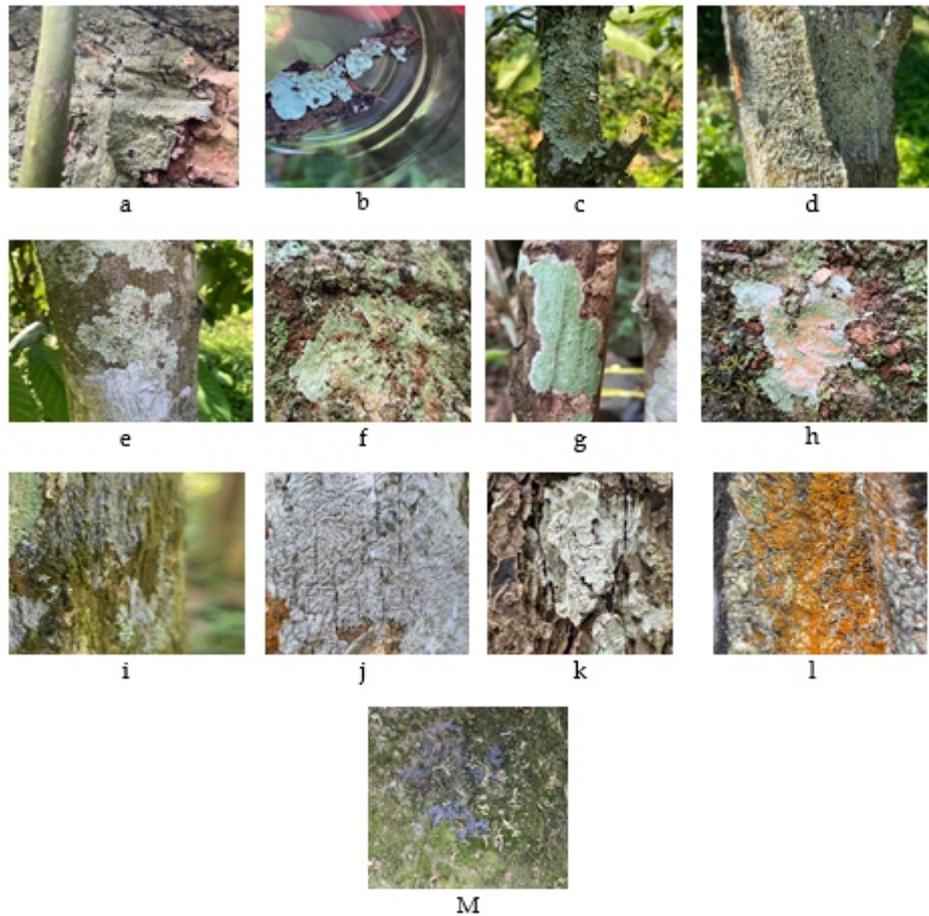
Leptogium azureum

Hasil pengamatan yang telah dilakukan diketahui bahwa Lichen jenis ini mempunyai talus yang berwarna hitam dengan tipe talus *foliose*. Spesies *Leptogium azureum* hanya ditemukan pada Hasanuddin (2014), yang menyatakan bahwa *Leptogium azureum* memiliki tipe talus *foliose* yang berwarna hitam kecoklatan dengan permukaan yang halus. Habitat *Leptogium azureum* ini yang paling khas ditemukan di hutan atau vegetasi tumbuhan yang lebat (Fitrihri, 2017). Berikut jenis jenis Lichen yang ditemukan dalam penelitian yang disajikan dalam Gambar 2 dan Gambar 3.

Keanekaragaman Lichen sebagai Bioindikator Udara

Hasil penelitian yang telah dilakukan, keanekaragaman Lichen dapat dilihat dari indkes keanekaragaman yang terdapat pada tabel.1. Diketahui bahwa indkes keanekaragaman Lichen pada lokasi 1 (Sumber gintungan) lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi 2 (Sentra Industri Tahu). Nilai indeks keanekaragaman lokasi 1 (Sumber Gintungan) yaitu 2.467, nilai tersebut menandakan bahwa keanekaragaman Lichen dalam kategori sedang ($1 < H' < 3$). Lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) mempunyai nilai indeks keanekaragaman senilai 0.997, artinya keanekaragaman pada Lokasi 2 rendah ($H' < 1$).

Tinggi dan rendahnya nilai keanekaragaman Lichen dapat disebabkan oleh banyak sedikitnya jumlah spesies yang di temukan pada lokasi penelitian. Keanekaragaman Lichen yang sedang pada penelitian disebabkan oleh tingkat kematangan suatu komunitas, sehingga komunitas tersebut menjadi lebih kompleks dan stabil (Murningsih & Mafazaa, 2016). Sedangkan rendahnya tingkat keanekaragaman lichen pada suatu habitat atau lokasi penelitian dapat disebabkan oleh sedikitnya jumlah spesies yang ditemukan karena kualitas udara yang buruk (adanya pencemaran udara) yang menyebabkan keankaragaman



Sumber : Data Penelitian Diolah, (2024)

Gambar 2

Jenis Jenis Lichen (a. *Bacidia schweinitzii*, b. *Flavopunctelia flaventior*, c. *Parmelia sulcata*, d. *Parmelia saxatilis*, e. *Parmelia sp*, f. *Lepraria incana*, g. *Cryptothwcia stariata*, h. *Cryptotecia sp*, i. *Graphis scripta*, j. *Graphis pulverulenta*, k. *Phlyctis agelaea*, l. *Trentepholia flava* dan m. *Leptogium Azureum*.

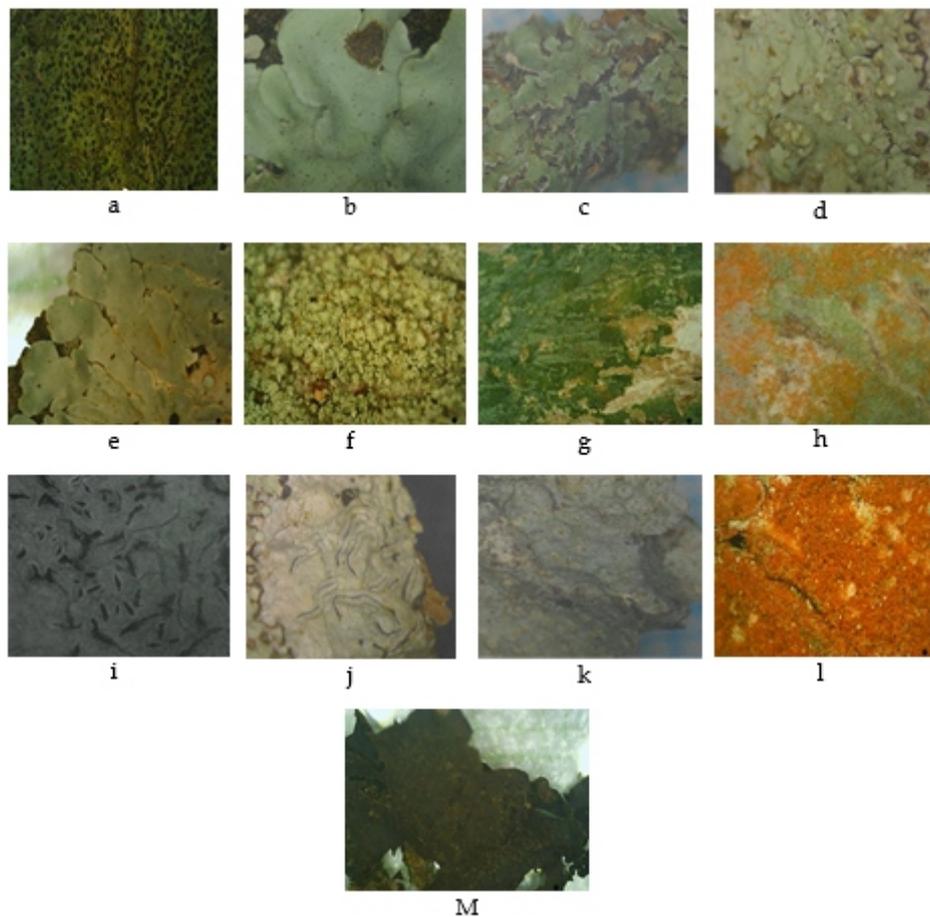
lumut kerak berkurang sehingga proporsi jumlah individu pada masing masing spesies yang ada tidak merata (Madjeni et al., 2019).

Kelimpahan Lichen sebagai Bioindikator Kualitas Udara

Berdasarkan hasil dari penelitian ini yang disajikan dalam gambar 2, indeks kelimpahan jenis di Lokasi 1 (Sumber Gintungan) yang termasuk dalam kategori tinggi yaitu spesies *Parmelia sulcata*. *Parmelia sulcata* mempunyai tingkat sensitivitas tertentu terhadap berbagai macam polutan udara, hal tersebut dapat dapat menjadikan *Parmelia sulcata* untuk mengindikasi perubahan dalam tingkat polusi udara. Hal ini juga didukung oleh pernyataan Monaghan & Wiersma (2018), bahwa *Parmelia sulcata* mempunyai tingkat

sensitifitas yang tinggi terhadap polutan udara, terutama sulfur dioksida (SO₂). Adanya dominansi yang tinggi pada spesies *Parmelia sulcata* mengindikasikan bahwa lokasi 1 (Sumber Gintungan) menunjukkan tingkat udara yang bagus.

Indeks Kelimpahan pada Lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) pada gambar 4, dapat diketahui bahwa spesies yang mempunyai tingkat kelimpahan yang paling tinggi adalah *Phlyctis agelaea*. *Phlyctis agelaea* yang ditemukan pada Lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) pada pengamatan mempunyai talus yang pucat hal ini disebabkan oleh adanya polusi udara yang disebabkan oleh emisi yang tinggi dari proses produksi yang setiap hari dikeluarkan. Kerusakan struktur talus yang berubah warna dapat mengidentifikasi



Sumber : Data Penelitian Diolah, (2024)

Gambar 3

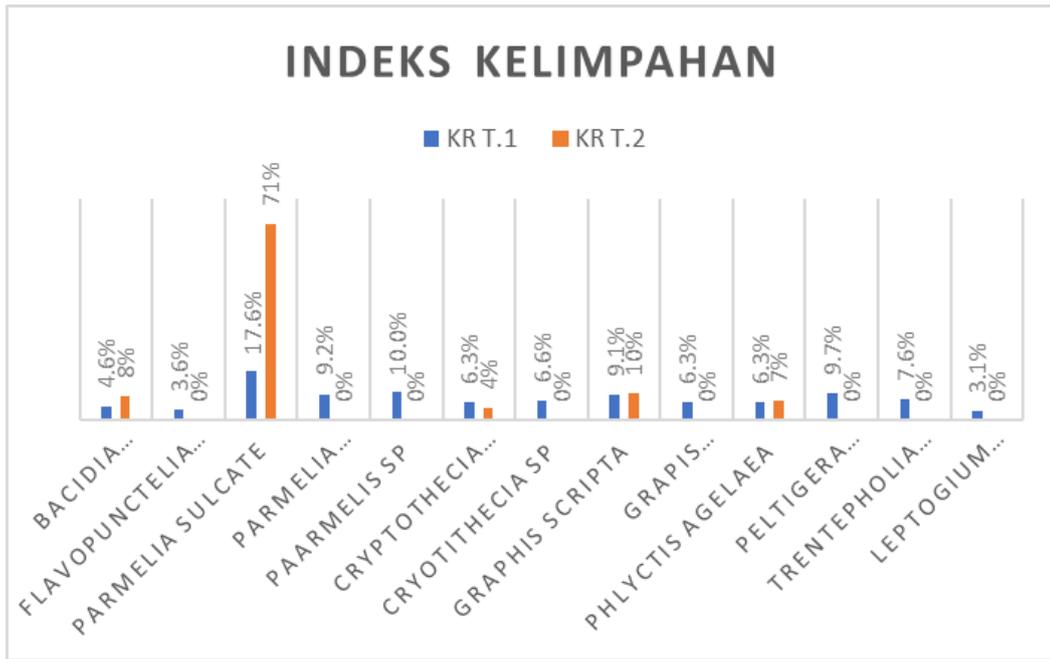
Jenis Jenis Lichen Secara Mikroskopis (a. *Bacidia schweinitzii*, b. *Flavopunctelia flaventior*, c. *Parmelia sulcate*, d. *Parmelia saxatilis*, e. *Parmelia sp*, f. *Lepraria incana*, g. *Cryptothwicia stariata*, h. *Cryptotecia sp*, i. *Graphis scripta*, j. *Graphis pulverulenta*, k. *Phlyctis agelaea*, l. *Trentepholia flava* dan m. *Leptogium Azureum*)

kasi kualitas udara di Lokasi 2 tercemar. *Phlyctis agelaea* perubahan struktur thallus, dikarenakan spesies ini sensitif terhadap polusi udara terutama sulfur dioksida (SO_2) dan logam berat (Waruwu, 2022). Indikator Kualitas Udara berdasarkan Faktor Abiotik

Hasil pengukuran faktor abiotik yang berada di Lokasi 1 (Sumber Gintungan) dan Lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) ditunjukkan pada tabel 2. Perhitungan parameter lingkungan setelah 3 kali pengulangan di jam 08.00 WIB dapat diketahui Lokasi 1 (Sumber Gintungan) memiliki suhu rata-rata $25.8^{\circ}C$ dan mempunyai tingkat kelembapan yang tinggi yaitu 72%. Berdasarkan data yang didapatkan dalam penelitian dapat diketahui bahwa Lokasi 1 memiliki nilai

yang baik untuk pertumbuhan Lichen. Hal ini didukung oleh penelitian Sopandan (2014), yaitu Lichen dapat tumbuh di kelembapan yang tinggi yaitu 75.5% - 83.3%. Suhu optimal suhu optimal bagi pertumbuhan lumut kerak yaitu kurang dari $40^{\circ}C$. Suhu $45^{\circ}C$ dapat merusak klorofil pada lumut kerak sehingga aktivitas fotosintesis dapat terganggu (Madjeni et al., 2019).

Lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) berdasarkan penelitian dapat diketahui nilai suhunya adalah $30^{\circ}C$ dan tingkat kelembapan adalah 55.5%. Hal ini didukung oleh pernyataan Murningsih & Mafazaa (2016), yang menyatakan bahwa suhu optimal pertumbuhan lichen yaitu berada di bawah $40^{\circ}C$ dan untuk kelembapan udara menurut Furi & Roziaty



Sumber : Data Penelitian Diolah, (2024)

Gambar 4
Indeks Kelimpahan Jenis Lichen pada Lokasi Penelitian

(2016), menyatakan bahwa lichen menyukai tempat yang memiliki kelembapan udara berkisar antara (40-69 %). Lichen mempunyai kemampuan untuk tumbuh dan bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang ekstrem sekalipun (Al-Thani & Al-Meri, 2011).

Parameter yang didapatkan pada kedua lokasi menunjukkan bahwa Lokasi 1 (Sumber Gintungan) mempunyai suhu dan kelembapan yang lebih ideal untuk pertumbuhan lichen. Sehingga pertumbuhan lichen pada Lokasi 1 (Sumber Gintungan) mempunyai lichen dengan Indeks Keanekaragaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan Lokasi 2. Hal itu didukung oleh pernyataan Asih et al (2013), yang menyatakan bahwa suhu yang standar akan mempengaruhi proses fotosintesis pada tiap makhluk hidup.

Nilai suhu tersebut menandakan bahwasannya laju respirasi tumbuhan tergolong sedang sehingga nilai indeks keanekaragaman spesiesnya tergolong sedang (Asih et al., 2013).

Kemampuan suatu spesies untuk bertahan hidup di suatu tempat sangat bergantung pada kemampuannya menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan. Penyerapan air, nutrisi, dan zat-zat pencemar dari udara oleh lumut kerak sangat dipengaruhi oleh tingkat kelembapan udara (Suniyanti et al., 2022). Pertumbuhan dan perkembangan talus lumut kerak pada suatu kawasan tidak hanya ditentukan oleh faktor suhu dan kelembapan, tapi juga dapat dipengaruhi oleh tingkat pencemaran udara. Seperti pernyataan Suniyanti et al. (2022), menyatakan bahwa adanya tingkat

Tabel 2
Hasil Identifikasi Kondisi Lingkungan di Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian	Suhu °C	Kelembapan %
Sumber Gintungan	25.8	66.8
Sentra Industri Tahu	33.0	55.5

Sumber: Data Penelitian Diolah, (2024)

pencemaran udara juga dapat menjadi faktor sedikitnya jenis lumut kerak pada suatu wilayah.

SIMPULAN

Kualitas udara di lokasi 2 (Sentra Industri Tahu) tergolong kurang baik atau tercemar dibandingkan dengan lokasi 1 (Sumber Gintungan). Nilai indeks keanekaragamannya yaitu rendah dengan tingkat kelimpahan relatif paling tinggi yaitu pada spesies *Phlyctis agelaea*. Tipe talus yang ditemukan dominan *crustose* dengan warna yang pucat. Selain itu pertumbuhan Lichen juga dapat dilihat dari suhu dan kelembapannya. Perbedaan suhu yang signifikan antara lokasi 1 dengan lokasi 2. Lokasi 1 diduga memiliki tingkat pencemaran udara yang rendah karena berada di area hutan dan jarang adanya aktivitas manusia. Lokasi 2 diduga mengalami pencemaran udara karena adanya aktifitas industri yang padat dan terus menerus setiap harinya. Supaya memperoleh data yang lebih representatif, diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menganalisis di musim hujan maupun kemarau dan waktu yang lebih lama. Selain itu, penggunaan lichen sebagai bioindikator perlu dikombinasikan dengan metode lain, seperti pengukuran langsung kualitas udara menggunakan alat sensor untuk memverifikasi hasil yang didapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdian, R. C. (2021). Perkembangan Industri Tahu Di Desa Tropodo Kecamatan Krian Kabupaten Sidoarjo Tahun 1970-2000. *AVATARA E-Journal Pendidikan Sejarah*, 10(3), 1-23.
- Al-Thani, R. F., & Al-Meri, H. A. (2011). Study of Some Lichens of Qatar. *Atlas Journal of Biology*, 1(3), 41-46. <https://doi.org/10.5147/ajb.2011.0046>
- Armstrong, R., & Bradwell, T. (2010). Growth of crustose lichens: A review. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, 92(1), 3-17. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2010.00374.x>
- Asih, S. M., Jumari, & Murningsih. (2013). Keanekaragaman Jenis Lichenes Epifit pada Hutan Kopi dan Hutan Campuran di Nglimit Gonoharjo Kendal. *Jurnal Biologi*, 2(2), 27-36.
- Dewi, W. C., Raharjo, M., & Wahyuningsih, N. E. (2021). Literatur Review : Hubungan Antara Kualitas Udara Ruang Dengan Gangguan Kesehatan Pada Pekerja. *An-Nadaa: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(1), 88. <https://doi.org/10.31602/ann.v8i1.4815>
- Fitrhri, S. (2017). *Keanekaragaman Lichenes di Brayeyun Kecamatan Leupung Aceh Besar sebagai Referensi Mata Kuliah Mikologi*. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Furi, A. R., & Roziaty, E. (2016). *Eksplorasi lichen di sepanjang jalan raya solo tawangmangu dan kawasan hutan sekian karanganyar jawa tengah publikasi ilmiah*. 8.
- Hadiyati, M., & Rima Setyawati, T. (2013). Kandungan sulfur dan klorofil thallus lichen *Parmelia* sp. dan *Graphis* sp. pada pohon peneduh jalan di Kecamatan Pontianak Utara. *Protobiont*, 2(1), 12-17.
- Handoko, A., Tohir, R. K., Sutrisno, Y., Brillianti, D. H., Tryfani, D., Oktorina, P., Yunita, P., & Hayati, A. N. (2012). Keanekaragaman Lumut Kerak (Lichens) sebagai Bioindikator Kualitas Udara di Kawasan Asrama Internasional IPB. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
- Hasanuddin. (2014). *Botani Tumbuhan Rendah*. Unsyiah Press.
- 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. <https://doi.org/10.30821/biolokus.v4i1.957>
- Kamaluddin, Hano, E. M., & Pardosi, L. (2022). Keanekaragaman Lumut Kerak (Lichenes) di Area Kaki

- Gunung Mutis. *Jurnal Pro-Life*, 9(5), 515-532. <https://ejournal.uki.ac.id/index.php/prolife>
- Kuldeep, S., & Prodyut, B. (2015). Lichen as a Bio-Indicator Tool for Assessment of Climate and Air Pollution Vulnerability: Review. *International Research Journal of Environment Sciences*, 4(12), 107-117. www.isca.me
- Kurniasih, S., Prasaja, D., & Ayu Lestari, A. (2020). Potensi Lichen Sebagai Bioindikator Kualitas Udara Di Kawasan Sentul Bogor. *Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 6(1), 17-24. <http://doi.org/10.20886/jped.2020.6.1.17-24>
- Madjeni, H., Hendrik, A. C., & Bullu, N. I. (2019). Keragaman Lumut Kerak (lichen) Sebagai Bioindikator Pencemaran Udara Di Taman Wisata Alam Camplong Kabupaten Kupang. *Jurnal Pendidikan Dan Sains Biologi*, 2(2), 65-72.
- Majumder, S., Mishra, M., Ram, S., Jana, S., Santra, K., Sudarshan, S., & Chakraborty, M. (2012). Physiological and Chemical Response of the lichen, *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale, to the urban environment of Kolkata, India. *Environmental Science and Pollution*, 20(5), 3077-3085.
- Monaghan, M., & Wiersma, Y. F. (2018). *Parmelia sulcata* as a Bioindicator of Air Pollution in Newfoundland, Canada. *Evansia*, 35(1), 30-35. <https://doi.org/10.1639/0747-9859-35.1.030>
- Mulyadi, & Hasanuddin. (2014). *Botani Tumbuhan Rendah*. Syiah Kuala University Press.
- Murningsih, M., & Mafazaa, H. (2016). Jenis-Jenis Lichen Di Kampus Undip Semarang. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 18(2), 20. <https://doi.org/10.14710/bioma.18.2.20-29>
- Nailufa, L. E., Laelasari, I., Fitriani, Miranda, Paramadina, & Azizah. (2021). Morfologi Tipe Talus Lichen sebagai Bioindikator Pencemaran Udara di Kudus. *BIOMA: Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, 3(1), 36-42. <https://doi.org/10.31605/bioma.v3i1.850>
- Nasriyati, T., & 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.
- Neuwirth, G., & Aptroot, A. (2011). Recognition of Four Morphologically Distinct Species in the *Graphis scripta* Complex in Europe. *Herzogia*, 24(2), 207-230. <https://doi.org/10.13158/heritia.24.2.2011.207>
- Prasetya, A., Khambali, I., & . R. (2019). Analisis Risiko Paparan Gas Amonia (Nh3) Pada Pekerja Pabrik Tahu Di Desa Sepande Kecamatan Candi Kabupaten Sidoarjo Tahun 2018. *Gema Lingkungan Kesehatan*, 17(1), 44-49. <https://doi.org/10.36568/kesling.v17i1.1052>
- Pratama, A., & Trianto, M. (2020). Diversity of Lichen in Mangrove Forest of Tomoli Village Parigi Moutong Regency. *BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(3), 140-150. <https://doi.org/10.32938/jbe.v5i3.730>
- Pryanka, A. (2014). *Keanekaragaman Lumut Kerak Tiga Taman Kota Di Jakarta Selatan Sebagai Bioindikator Pencemaran Udara*. Institut Pertanian Bogor.
- Rasyidah. (2018). 1601-3932-1-Sm. *Jurnal Klorofil*, 1(2), 88-92. <https://jurnal.uinsu.ac.id/index.php/klorofil/article/viewFile/1601/1288>
- Roniyah, F. I., & Roziaty, E. (2023). Inventarisasi Lichen Crustose Epifit pada Tanaman Teh di Kecamatan Ngargoyoso Kabupaten Karanganyar. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 11(1), 592. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v11i1.7889>
- Roziaty, E. (2016). Lichen : Karakteristik Anatomis Dan Reproduksi Vegetatifnya. *Jurnal Pena Sains*, 3(1), 44-53. <http://www.archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/micr>

- Roziaty, E., & Aini, L. (2023). *Kualitas Hutan di Kawasan Cemoro Sewu Magetan*. 20, 95–101.
- Sopandan, E., & Yudhana, A. (2013). *Keanekaragaman Lichenes di Taman Nasional Gunung Halimun Salak*. Andi Press.
- Suniyanti, S., Mahrus, M., & 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>
- Supriati. (2013). *Keragaman Jenis Lichen di Kota Bengkulu*. Bengkulu : Universitas Bengkulu Press.
- Susilawati, P. R. (2017). Fructicose dan Foliose Lichen di Bukit Bibi, Taman Nasional Gunung Merapi. *Jurnal Penelitian*, 21(1), 12–21.
- Tangahu, B. (2020). The Lichen Type Identification as a Bioindicator of Air Quality of Sukolilo District The Lichen Type Identification as a Bioindicator of Air Quality of Sukolilo District In Surabaya , Indonesia. *Technology Reports of Kansai University*, 62(April), 743.
- Tjitrosoepomo, G. (2005). *Taksonomi tumbuhan (schizophyta, thallophyta, bryophyta, pteridophyta)*. UGM Press.
- Ulfa, S W, Simanungkalit, A. Z., Farokhi, A. Z., Siregar, E. R. A., & Berutu, K. A. F. (2023). Identifikasi Jenis Lichenes Yang Ada Di Beberapa Kecamatan Di Kota Medan. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 3(3), 2275–2289.
- Ulfa, S. widya, Afdan, R. khoir, Nabilla, M., Achyri, P. R., & Nayla. (2018). Identifikasi Jenis Lumut Kerak (Lichenes) Di Kecamatan Percut Sei Tuan Pada Desa Bandar Setia, Sampali Dan Tembung. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 3(1), 10–27. <https://medium.com/@arifwicaknaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Vandyck, T., Keramidas, K., Tchung-Ming, S., Weitzel, M., & Van Dingenen, R. (2020). Quantifying air quality co-benefits of climate policy across sectors and regions. *Climatic Change*, 163(3), 1501–1517. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02685-7>
- Wardana, H. L., & Sari, M. M. K. (2019). Partisipasi Kelompok Pelindung Hutan Dan Pelestari Mata Air (Kepuh) Dalam Menumbuhkan Karakter Peduli Lingkungan. *Kajian Moral Dan Kewarganegaraan*, 07(02), 1131–1145.
- Waruwu. (2022). *Keanekaragaman Jenis Liken (Lumut Kerak) Di Kawasan Tahura Bukit Barisan Berbasis Riset*. CV. Global Aksara Pers.
- Widodo, G. A., Kartikasari, D., Ichyaidina, Nayla, A., & Pitaloka, D. (2023). *RADIKULA : Jurnal Ilmu Pertanian*. 2(1), 47–59.
- Winatama, D., & Syafrudinn, W. (2023). Analisis Kualitas Udara pada Kawasan Transportasi, Industri, Perkotaan, Permukiman, dan Perdagangan di Kota Tegal. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2), 381–386. <https://doi.org/10.14710/jil.21.2.381-386>
- Windadri, F. I. (2010). Keanekaragaman Lumut Di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan, Provinsi Lampung, Sumatera. *Berita Biologi*, 10(2), 159–165.