

KORELASI KEPADATAN LALU LINTAS DENGAN KADAR SULFUR DIOKSIDA (SO₂) DAN KLOROFIL TALUS LICHEN SEBAGAI BIOINDIKATOR PADA TEGAKAN POHON ANGSANA (*Pterocarpus indicus* Willd.) DI KAWASAN INDUSTRI MEDAN II

*Correlation of Traffic Density with Sulfur Dioxide (SO₂) Levels and Thallus Chlorophyll of Lichens as Bioindicators on Angsana Trees (*Pterocarpus indicus* Willd.) in the Medan Industrial Area II*

Muslimah Pohan^{1*}, Ashar Hasairin¹

¹Prodi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan

*Email: muslimahpohan7@gmail.com

Abstract

Air pollution is an unresolved environmental problem to date. Traffic density will have a direct impact on the increase of various types of exhaust emissions, one of which is sulfur dioxide (SO₂). Efforts that can be made to prevent further air pollution is to monitor air quality with biomonitoring utilizing lichen as a bioindicator. This study aims to identify the type of lichen species used as bioindicators in angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.) tree stands, to analyze the correlation of traffic density with sulfur dioxide (SO₂) levels in lichen thallus, to analyze the correlation of traffic density with chlorophyll levels in lichen thallus, and to analyze the correlation of sulfur dioxide (SO₂) levels with chlorophyll levels in lichen thallus in Medan Industrial Area II. This research is descriptive quantitative with Road Sampling Method on angsana tree stands in the research location. The results showed that Lichen *Lepraria incana* and *Dirinaria picta* were obtained as bioindicators in both research locations. The correlation of traffic density with sulfur dioxide levels in lichen thallus showed a very strong positive correlation between traffic density and SO₂ levels with a Pearson Product Moment value of 0.985 and a significance value (p-value) of 0.015. Since the p-value < 0.05, this relationship is statistically significant. The correlation of traffic density with chlorophyll levels in lichen thallus showed a strong negative correlation and was also statistically significant (p-value < 0.05) with a Pearson Product Moment value of -0.958 with a significance value of 0.042. Correlation of sulfur dioxide (SO₂) levels with chlorophyll levels in lichen thallus showed a strong negative correlation, but not statistically significant because the p-value > 0.05 with a Pearson Product Moment value of -0.943 with a p-value of 0.057.

Keywords: *Correlation; Lichen Chlorophyll; Sulfur Dioxide; Traffic Density*

Abstrak

Pencemaran udara menjadi masalah lingkungan yang belum terselesaikan hingga saat ini. Kepadatan lalu lintas akan berdampak langsung pada meningkatnya berbagai jenis gas emisi buang, salah satunya adalah sulfur dioksida (SO₂). Upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya pencemaran udara lebih jauh adalah melakukan pemantauan kualitas udara dengan biomonitoring pemanfaatan lichen sebagai bioindikator. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis spesies lichen yang dijadikan sebagai bioindikator pada tegakan pohon angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.), untuk menganalisis korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar sulfur dioksida (SO₂) pada talus lichen, untuk menganalisis korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar klorofil pada talus lichen, dan untuk menganalisis korelasi kadar sulfur dioksida (SO₂) dengan kadar klorofil pada talus lichen di Kawasan Industri Medan II. Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif dengan metode jelajah (*road sampling method*) pada tegakan pohon angsana di lokasi penelitian. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa diperoleh Lichen *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta* sebagai bioindikator di kedua lokasi penelitian. Korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar sulfur dioksida pada talus lichen menunjukkan adanya korelasi positif yang sangat kuat antara kepadatan lalu lintas dan kadar SO₂ dengan nilai sebesar 0,985 dan nilai signifikansi (p-value) 0,015. Karena p-value < 0,05, maka hubungan ini signifikan secara statistik. Korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar klorofil pada talus lichen menunjukkan adanya korelasi negatif kuat dan juga signifikan secara statistik (p-value < 0,05) dengan nilai Pearson Product Moment sebesar -0,958 dengan nilai signifikansi 0,042. Korelasi kadar sulfur dioksida (SO₂) dengan kadar klorofil pada talus lichen menunjukkan adanya korelasi negatif kuat, namun tidak signifikan secara statistik karena p-value > 0,05 dengan nilai Pearson Product Moment sebesar -0,943 dengan p-value 0,057.

Kata Kunci: *Kepadatan Lalu Lintas; Klorofil Lichen; Korelasi; Sulfur Dioksida*

PENDAHULUAN

Pencemaran udara masih menjadi masalah lingkungan yang belum terselesaikan hingga saat ini. Pencemaran udara terjadi akibat masuknya zat-zat pencemar, baik berupa gas maupun partikel halus (aerosol) ke dalam udara. Sumber utama pencemaran udara berasal dari sektor transportasi meliputi sepeda motor, mobil, truk serta kegiatan industri yang menimbulkan kerusakan lingkungan (Roziaty, 2016). Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor akan menyebabkan penambahan pemakaian bahan bakar fosil. Pemakaian bahan bakar fosil tersebut akan mengeluarkan berbagai jenis senyawa gas emisi berbahaya, seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen dioksida (NO₂), serta partikel pencemar berupa debu, timbal (Pb) yang akan bercampur dengan udara dan terhirup oleh masyarakat sekitar (Hadiyati *et al.*, 2013; Wijarti *et al.*, 2016).

Kota Medan menempati peringkat ke-69 kota paling berpolusi dengan kategori polusi sedang (AQI 61₊). Data tersebut dikumpulkan dari ribuan stasiun pemantauan kualitas udara dan sensor kualitas udara yang dioperasikan oleh badan pemerintah di berbagai kota besar dari seluruh dunia, namun data ini hanya berdasarkan parameter polutan partikel halus PM 2.5 (World Health Organization, 2024). Hasil observasi menunjukkan bahwa salah satu Kawasan Industri yang berlokasi di Kota Medan memiliki kawasan berpolusi.

Penelitian Ramses (2019) menunjukkan bahwa pencemaran udara di Kawasan Industri Medan (KIM) disebabkan oleh kegiatan industri dari hasil pembakaran batubara dan industri lainnya. Untuk mendeteksi kualitas udara di KIM menggunakan sensor MQ135 dan platform Internet of Things (IoT) dengan menggunakan web ThingSpeak, berbasis NodeMcu ESP8266 dengan chip LX106. Sistem ini diklaim lebih akurat dari metode konvensional, tetapi memiliki keterbatasan dalam hal seperti kestabilan jaringan internet yang digunakan pada sistem akan sangat berpengaruh terhadap proses pengiriman data pembacaan sensor pada web ThingSpeak, keterbatasan alat, serta memiliki biaya operasional.

Dalam penelitian ini, upaya yang dilakukan dalam mencegah pencemaran udara lebih lanjut adalah pemantauan kualitas udara. Metode yang dapat dilakukan adalah biomonitoring dengan memanfaatkan keberadaan suatu bioindikator. Menurut Nailufa *et al.* (2021), bioindikator adalah organisme yang keberadaannya dapat digunakan untuk mendeteksi, mengidentifikasi, dan mengkuifikasi pencemaran lingkungan. Salah satu indikator yang bisa digunakan sebagai biomonitoring udara adalah pemanfaatan lichen (lumut kerak).

Lichen merupakan gabungan antara fungi dan alga sehingga secara morfologi serta fisiologinya adalah satu kesatuan. Sebagai tumbuhan perintis, lichen rentan terhadap suatu polutan. Hasil simbiosis antara fungi dan alga menghasilkan morfologi dan fisiologi yang berbeda dari komponen asalnya (Chandra, 2017; Handoko *et al.*, 2016; Muslim & Hasairin, 2018).

Lichen dimanfaatkan sebagai indikator pencemaran udara karena bersifat akumulator dan adaptif terhadap perubahan lingkungan (Sonia *et al.*, 2024). Struktur morfologinya yang tanpa kutikula, stomata, dan organ penyerap memungkinkan lichen hidup di lingkungan ekstrim, peka terhadap polutan, dan menyerap zat kimia seperti SO₂ dan gas buang kendaraan bermotor melalui talusnya (Rasyidah, 2018). Selain sebagai biomonitoring udara, lichen juga memiliki manfaat lain, contohnya *Parmelia* sebagai sumber makanan dan *Cetraria islandica* sebagai obat pencahar (Hasairin & Hartono, 2023).

Tingkat kepekaan lichen terhadap polutan berbeda-beda (Hasairin & Hartono, 2023). Lichen memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap jenis polutan. Spesies toleran mampu bertahan di lingkungan dengan polutan lebih tinggi dibandingkan spesies sensitif. Perbedaan toleransi ini mencerminkan tingkat polusi udara di daerah tersebut. Lichen toleran digunakan sebagai bioindikator, dapat ditemukan di kawasan industri dan area padat lalu lintas, seperti *Lecanora conizaeoides* dan *Pyxine cocus* dengan tipe talus crustose, memiliki perlekatan kuat dengan substrat serta *Parmelia saxatilis* dengan tipe talus foliose, memiliki perlekatan lemah, dan ditemukan di area lalu lintas sedang (Murningsih & Mafazaa, 2016).

Penelitian sebelumnya telah memaparkan bahwa semakin banyak jenis dan jumlah lichen di daerah tersebut, maka bisa diketahui bahwa daerah tersebut memiliki tingkat polusi yang rendah dan jika semakin sedikit jenis dan jumlah lichen di daerah tersebut, maka bisa diketahui bahwa daerah tersebut memiliki tingkat polusi yang tinggi (Murningsih & Mafazaa, 2016; Nisa *et al.*, 2024).

Penelitian Jahja *et al.* (2025) menunjukkan bahwa lichen mengakumulasi logam berat timbal (Pb). Jamhari (2003) menemukan hubungan antara kandungan Pb di udara dan konsentrasi Pb dalam talus lichen *Xanthoparmelia xanthofarinoso*, yang menunjukkan kemampuan spesies ini mengakumulasi Pb. Lichen dapat menyerap Pb karena struktur tubuhnya yang sederhana dan kemampuannya menyerap nutrisi langsung dari atmosfer. Lichen memperoleh air dan mineral melalui permukaan tubuhnya yang luas, yang kaya akan polisakarida dan asam lichen yang mengikat logam berat, termasuk Pb. Morfologi menahan partikel awal di udara, dan fisiologi memungkinkan pengukuran kandungan logam. Pb yang tidak larut terakumulasi ekstraseluler di medula dan sulit dipindahkan oleh hujan dan angin. Lichen sebagai biomonitoring unggul karena mampu menunjukkan perubahan kualitas udara jangka panjang dengan menyerap dan menyimpan polutan (Mafaza *et al.*, 2019), serta praktis dan ekonomis karena tidak memerlukan peralatan mahal (Yuliani *et al.*, 2021).

Berdasarkan hal tersebut maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi jenis spesies lichen yang dijadikan sebagai bioindikator pada tegakan pohon angšana (*Pterocarpus indicus* Willd.), menganalisis korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar sulfur dioksida (SO₂) pada talus lichen, menganalisis korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar klorofil pada talus lichen, dan menganalisis korelasi kadar sulfur dioksida (SO₂) dengan kadar klorofil pada talus lichen di Kawasan Industri Medan II. Berdasarkan uraian tersebut, perlu dilakukan penelitian tentang korelasi Sulfur Dioksida (SO₂) dan klorofil pada talus lichen yang terdapat pada tegakan pohon angšana (*Pterocarpus indicus* Willd.) dengan kepadatan lalu lintas di kawasan industri Medan II.

METODE

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Penelitian ini dilakukan di Kawasan Industri Medan (KIM) II, meliputi Jalan Pulau Nias Selatan dan Jalan Pulau Sebira, Kelurahan Mabar, Kecamatan Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Taksonomi Tumbuhan Jurusan Biologi Universitas Negeri Medan, Laboratorium Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sumatera Utara dan UPTD Laboratorium Lingkungan DLHKSU (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Sumatera Utara).

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari–April 2025. Populasi pada penelitian ini yaitu jenis spesies lichen yang terdapat pada tegakan pohon angšana (*Pterocarpus indicus* Willd.) dan menghitung seluruh jenis kendaraan yang lalu lintas di Kawasan Industri Medan II, meliputi Jalan Pulau Nias Selatan dan Jalan Pulau Sebira. Sampel pada penelitian ini yaitu lichen yang tumbuh pada tegakan pohon angšana (*Pterocarpus indicus* Willd.) yang diambil menurut tingkat kepadatan lalu lintas tinggi (Jalan Pulau Nias Selatan) dan menurut tingkat kepadatan lalu lintas rendah (Jalan Pulau Sebira).

Teknik pengambilan sampel lichen dilakukan dengan metode jelajah (*road sampling method*) pada lokasi penelitian. *Road sampling method* merupakan metode penelitian yang dilakukan dengan cara berjalan menjelajahi seluruh area penelitian (Manlea *et al.*, 2016). Sampel lichen diambil dari tegakan pohon angšana (*Pterocarpus indicus* Willd.) dengan cara dikerik dari permukaan kulit batang pohon pada sisi yang berhadapan langsung dengan jalan raya. Pengukuran luas penutupan lichen dilakukan dengan menggunakan plastik transparan yang ditandai dengan spidol. Sampel lichen dimasukkan ke dalam kotak styrofoam berisi es batu agar sampel tetap segar.

Selanjutnya sampel diukur kadar klorofil talus lichen dan kadar sulfur dioksida (SO₂). Pengukuran kadar klorofil talus lichen menggunakan metode Arnon dan pengukuran kadar sulfur dioksida (SO₂) menggunakan metode turbidimetri dengan Spektrofotometer UV–Vis. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini mencakup alat dan bahan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektrofotometer UV–Vis, hand counter, thermometer, higrometer, anemometer, lux meter, hot plate, oven, kamera, kertas milimeter, kertas label, plastik klip, plastik transparan, tisu, meteran, pisau, gunting, pinset, alat tulis, timbangan analitik, aluminium foil, pipet volum, pipet tetes, pH meter, mortar,

alu, kertas saring, labu erlenmeyer, tabung reaksi, gelas ukur, corong gelas, pengaduk gelas, kuerset, dan cuvette. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel lichen yang diperoleh dari tegakan pohon angšana (*Pterocarpus indicus* Willd.), aseton 80% atau etanol 80% sebagai pelarut yang digunakan dalam uji klorofil, aquades, H₂O₂ 3%, HCl 0,1 M, BaCl₂ 10%, dan blanko sebagai pelarut yang digunakan dalam uji polutan SO₂.

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan dengan perhitungan jumlah kendaraan, pengukuran sifat fisika–kimia lingkungan, identifikasi spesies lichen, serta pengukuran kadar SO₂ dan kadar klorofil talus lichen yang dikumpulkan dalam tabulasi data. Perhitungan jumlah kendaraan dilakukan pada hari Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Jumat, dan Sabtu. Kendaraan pada arus lalu lintas berdasarkan PKJI (Kementerian PUPR, 2023) diklasifikasikan menjadi lima yaitu Sepeda Motor (SM), Mobil Penumpang (MP), Kendaraan Sedang (KS), Bus Besar (BB), dan Truk Berat (TB). Pengukuran ini dilakukan selama 9 jam yaitu pagi hari pukul 07.00–10.00, pukul 11.00–14.00, dan sore hari pada pukul 15.00–18.00. Pengukuran sifat fisika–kimia lingkungan pada lokasi penelitian diantaranya suhu (°C), kelembaban (%), dan kecepatan angin (m/s). Pengukuran kadar SO₂ dan kadar klorofil talus lichen yang didapatkan pada saat penelitian diukur menggunakan alat spektrofotometer UV–Vis. Data hasil pengukuran kadar SO₂ dan kadar klorofil dari tiap spesies lichen dikumpulkan dalam tabulasi data. Teknik analisis data hasil identifikasi sampel lichen dan pengukuran sifat fisika–kimia lingkungan dianalisis secara deskriptif. Data korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar sulfur dioksida (SO₂) dan data korelasi kadar sulfur dioksida (SO₂) dengan klorofil talus lichen dianalisis menggunakan Analisis Korelasi Product Moment pada program SPSS 25 dan secara manual dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X) (\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Keterangan:

- R_{xy} = Koefisien korelasi antara variabel X dan Y
- ∑X = Jumlah kepadatan lalu lintas
- ∑Y = Jumlah kadar sulfur dioksida (SO₂)
- ∑X² = Jumlah skor data hasil dikuadratkan
- ∑Y² = Jumlah skor data hasil dikuadratkan
- N = Banyaknya sampel (Santoso, 2014).

Korelasi Product Moment dilambangkan r dengan ketentuan nilai r tidak lebih harga (-1 ≤ r ≤ + 1). Jika r = 0 menyatakan tidak adanya hubungan linier antara kedua variable, artinya tidak ada korelasi. Jika r = -1 menyatakan adanya hubungan linier sempurna tak langsung antara X dan Y, artinya korelasinya negatif sempurna. Dan jika r = +1 menyatakan adanya hubungan linier sempurna langsung antara X dan Y, artinya korelasinya sempurna positif (sangat kuat).

HASIL DAN PEMBAHASAN

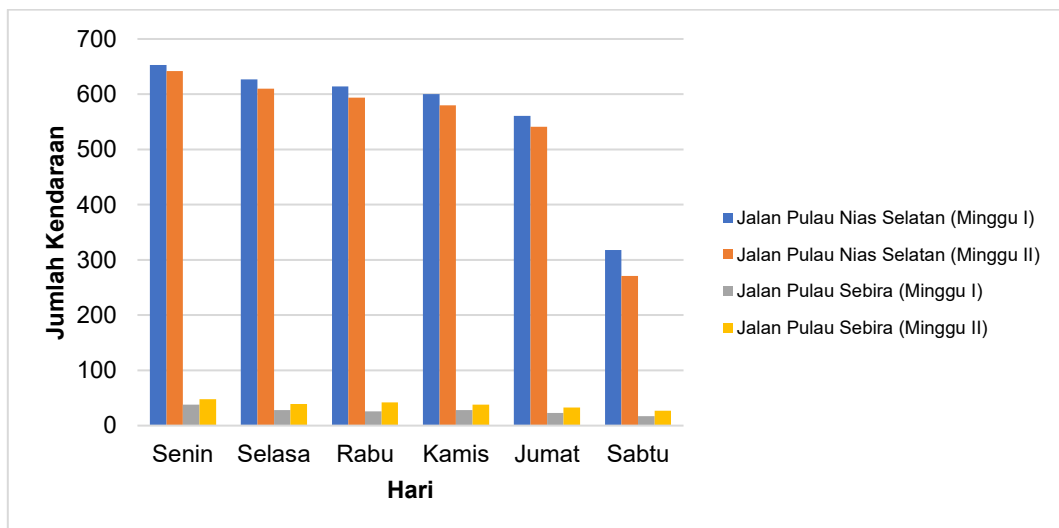
Berdasarkan hasil pengamatan parameter penelitian, tingkat kepadatan lalu lintas di kedua lokasi penelitian meliputi Jalan Pulau Nias Selatan dan Jalan Pulau Sebiria menunjukkan perbedaan yang mempengaruhi luas penutupan lichen, kadar SO₂, dan kadar klorofil talus lichen (Tabel 1).

Tabel 1. Tingkat Kepadatan Lalu Lintas, Luas Tutupan Lichen, Kadar SO₂, dan Kadar Klorofil

Parameter	Kategori	
	Jalan Pulau Nias Selatan (Tinggi)	Jalan Pulau Sebiria (Rendah)
Jumlah Kepadatan Lalu Lintas		
Minggu I	10119	481
Minggu II	9714	678
Luas tutupan Lichen (cm²)		
<i>Lepraria incana</i>	5,319	1.154,50

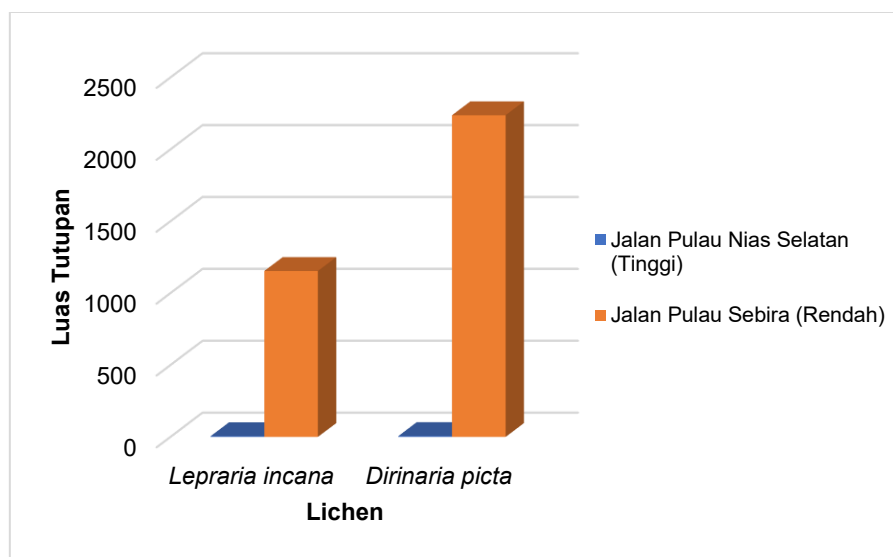
Parameter	Kategori	
	Jalan Pulau Nias Selatan (Tinggi)	Jalan Pulau Sebira (Rendah)
<i>Dirinaria picta</i>	5,766	2.237
Kadar Sulfur Dioksida (ppm)		
<i>Lepraria incana</i>	5,59602	1,552396
<i>Dirinaria picta</i>	5,907972	2,444301
Kadar Klorofil (mg/L)		
<i>Lepraria incana</i>	3,77	4,15
<i>Dirinaria picta</i>	3,89	4,11

Perhitungan kepadatan lalu lintas di Jalan Pulau Nias selatan dan Jalan Pulau Sebira selama dua minggu pengamatan terlihat perbedaan signifikan pada tingkat kendaraan yang melintas di kedua lokasi tersebut. Untuk mendukung analisis tingkat kepadatan lalu lintas di kedua lokasi tersebut, dilakukan pengamatan pada hari Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Jumat, dan Sabtu selama 9 jam (pagi hari pada pukul 07.00-10.00, siang hari pada pukul 11.00-14.00, dan sore hari pada pukul 15.00-18.00) untuk melihat pola fluktuasi kepadatan lalu lintas. Jalan Pulau Nias Selatan menunjukkan kategori tinggi kepadatan lalu lintas dengan rata-rata 550,92 kendaraan per jam, dibandingkan Jalan Pulau Sebira menunjukkan kategori rendah lalu lintas dengan rata-rata 32.25 kendaraan per jam yang disajikan dalam bentuk diagram (Gambar 1).



Gambar 1. Data Kepadatan Lalu Lintas di Lokasi Penelitian Berdasarkan Hari

Kepadatan lalu lintas di kedua lokasi penelitian tersebut mempengaruhi luas tutupan lichen. Luas tutupan lichen *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta* pada pohon angšana di Jalan Pulau Sebira lebih besar dibandingkan luas tutupan lichen *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta* pada pohon angšana di Jalan Pulau Nias Selatan. Luas tutupan *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta* di Jalan Pulau Nias Selatan yaitu 5,32 cm² dan 5,77 cm², sedangkan luas tutupan *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta* di Jalan Pulau Sebira yaitu 1.154,5 cm² dan 2.237 cm² yang disajikan dalam bentuk diagram (Gambar 2). Hal tersebut menunjukkan semakin padatnya kendaraan, maka semakin rendah juga luas tutupan lichen, sebaliknya semakin rendah jumlah kendaraan, maka semakin tinggi juga luas tutupan lichen. Berkurangnya luas tutupan thalus lichen merupakan salah satu bentuk respon lichen terhadap tingkat pencemaran udara di lingkungan tempat tumbuhnya (Santoso, 2014).



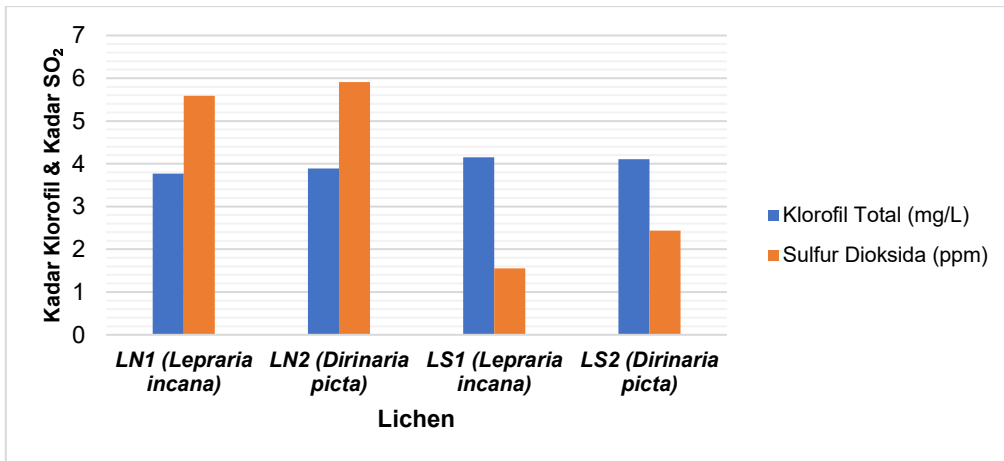
Gambar 2. Luas Tutupan Lichen

Kadar SO₂ dan klorofil talus lichen menunjukkan perbedaan nilai pada tingkat kepadatan lalu lintas di kedua lokasi penelitian tersebut. Kadar SO₂ pada spesies *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta* di Jalan Pulau Nias Selatan masing-masing sebesar 5,596020 ppm dan 5,907972 ppm, sementara spesies yang sama di Jalan Pulau Sebira masing-masing sebesar 1,552396 ppm, dan 2,444301 ppm. Lokasi Jalan Pulau Nias Selatan tersebut memiliki kadar SO₂ tertinggi dan di lokasi Jalan Pulau Sebira tersebut memiliki kadar SO₂ rendah. Sedangkan kadar klorofil total pada spesies *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta* di Jalan Pulau Nias Selatan masing-masing sebesar 3,77 mg/L dan 3,89 mg/L, sementara klorofil total di Jalan Pulau Sebira 4,15 mg/L dan 4,11 mg/L. Lokasi Jalan Pulau Nias Selatan tersebut memiliki kadar klorofil rendah dan di lokasi Jalan Pulau Sebira tersebut memiliki kadar klorofil total tertinggi yang disajikan dalam bentuk tabel dan diagram (Tabel 2).

Tabel 2. Data Kadar SO₂ dan Kadar Klorofil Talus Lichen

Nama Spesies Lichen	Kadar Klorofil			Kadar SO ₂ (ppm)
	Klorofil a (mg/L)	Klorofil b (mg/L)	Klorofil Total (mg/L)	
LN1 (<i>Lepraria incana</i>)	2,45	1,32	3,77	5,596020
LN2 (<i>Dirinaria picta</i>)	2,67	1,22	3,89	5,907972
LS1 (<i>Lepraria incana</i>)	2,78	1,37	4,15	1,552396
LS2 (<i>Dirinaria picta</i>)	2,64	1,47	4,11	2,444301

Untuk memberikan gambaran visual yang lebih jelas mengenai perbandingan kadar klorofil dan kadar SO₂, data tersebut juga disajikan dalam bentuk diagram pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Data Kadar SO₂ dan Kadar Klorofil Talus Lichen

Hasil pengukuran kadar SO₂ dan klorofil talus lichen dari tiap spesies lichen disajikan pada Tabel 2. Selanjutnya dilakukan analisis korelasi Product Moment antar variabel (Gambar 4) dan uji signifikansi pada program SPSS 25 (Tabel 3).

Tabel 3. Analisis Korelasi Antar Variabel

Hubungan Variabel	Koefisien Korelasi (r)	Arah Korelasi	Tingkat Hubungan	Signifikansi
Kepadatan Lalu Lintas dengan Kadar SO ₂	0,985	Positif	Sangat Kuat	p= 0,015
Kepadatan Lalu Lintas dengan Kadar Klorofil	-0,958	Negatif	Sangat Kuat	p= 0,042
Kadar SO ₂ dengan Kadar Klorofil	-0,943	Negatif	Sangat Kuat	p= 0,057

Faktor lingkungan sangat mempengaruhi keberadaan lichen. Parameter lingkungan yang diukur pada lokasi penelitian adalah suhu (°C), kelembaban (%), dan kecepatan angin (m/s) yang disajikan pada Tabel 4, menunjukkan data perhitungan sifat fisika-kimia lingkungan.

Tabel 4. Data Perhitungan Sifat Fisik–Kimia Lingkungan

Waktu Pengamatan	Sifat Fisika–Kimia Lingkungan			
	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kecepatan Angin (m/s)	
Minggu 1	Senin (10-03-2025)	28.6	83.0	2.0
	Selasa (11-03-2025)	28.4	82.0	2.0
	Rabu (12-03-2025)	28.9	81.0	2.0
	Kamis (13-03-2025)	27.9	83.0	2.0
	Jumat (14-03-2025)	27.7	86.0	2.0
	Sabtu (15-03-2025)	28.5	81.0	3.0
	Rata-rata	28.3	82.6	2.16
Minggu 2	Senin (17-03-2025)	28.9	78.0	2.0
	Selasa (18-03-2025)	28.6	80.0	2.0
	Rabu (19-03-2025)	28.3	82.0	2.0
	Kamis (20-03-2025)	27.5	83.0	2.0

Waktu Pengamatan	Sifat Fisika–Kimia Lingkungan		
	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kecepatan Angin (m/s)
Jumat (21-03-2025)	28.1	80.0	1.0
Sabtu (22-03-2025)	28.1	79.0	2.0
Rata-rata	28.25	80.3	1.83

PEMBAHASAN

Tingkat kepadatan lalu lintas di kedua lokasi tersebut berbeda-beda. Peningkatan jumlah kendaraan akan berdampak langsung pada meningkatnya berbagai jenis gas emisi buang, salah satunya adalah sulfur dioksida (SO₂). Sulfur dioksida merupakan gas jernih yang berbau kuat, tidak berwarna, tidak mudah terbakar di udara dan bersifat toksik terhadap kesehatan manusia (Wijiarti *et al.*, 2016). Lichen sebagai tumbuhan bioindikator yang sangat sensitif terhadap pencemaran udara. Lichen merupakan organisme simbiosis unik yang memiliki kemampuan untuk mengakumulasi polutan di lingkungan (Nasriyati & Utami, 2018). Penelitian menunjukkan bahwa lichen dapat menyerap logam berat dan senyawa berbahaya melalui permukaan talusnya yang kaya akan pori-pori (Khoerurrahmah *et al.*, 2024).

Penelitian yang dilakukan Hadiyati *et al.* (2013), menunjukkan adanya hubungan positif antara jumlah kendaraan dan kadar SO₂. Semakin tinggi jumlah kendaraan yang melintas di suatu titik, maka semakin tinggi pula konsentrasi SO₂ yang terdeteksi. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan yang sangat signifikan antar kadar SO₂ pada talus lichen di Jalan Pulau Nias Selatan (kepadatan lalu lintas tinggi) dengan Jalan Pulau Sebir (kepadatan lalu lintas rendah). Kadar SO₂ pada *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta* di Jalan Pulau Nias Selatan masing-masing sebesar 5,596020 ppm dan 5,907972 ppm, sementara spesies yang sama di Jalan Pulau Sebir masing-masing sebesar 1,552396 ppm, dan 2,444301 ppm. Lokasi Jalan Pulau Nias Selatan tersebut memiliki kadar SO₂ tertinggi dan di lokasi Jalan Pulau Sebir tersebut memiliki kadar SO₂ rendah. Perbedaan kadar SO₂ pada lichen tersebut disebabkan kedua jenis lichen memiliki sensitifitas yang berbeda terhadap polutan SO₂. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari perubahan pada warna dan bentuk talus. Lichen yang ditemukan di Jalan Pulau Nias Selatan cenderung memiliki warna yang lebih gelap dibandingkan dengan spesies yang ditemukan di Jalan Pulau Sebir memiliki warna talus yang lebih terang. Perbedaan ini mengindikasikan adanya perbedaan tingkat pencemaran udara di kedua lokasi tersebut.

Lepraria incana dengan tipe talus Crustose memiliki perlekatan yang sangat kuat dengan substrat dikarenakan bentuk talusnya seperti kerak. Sementara *Dirinaria picta* dengan tipe talus foliose memiliki perlekatan yang lemah dengan substrat dikarenakan bentuk talusnya seperti daun. Dampak dari polutan yang tinggi dapat menyebabkan penyusutan luas tutupan talus pada lichen. Perbedaan jumlah dan luas tutupan talus lichen mengindikasikan kepekaan lichen terhadap kondisi lingkungan. Masuknya polutan ke dalam talus menyebabkan perubahan morfologi; talus yang semula utuh akan mengalami keretakan setelah terpapar polusi udara. Perubahan ini merupakan ciri respon lichen terhadap pencemaran udara di lingkungan sekitar tempat tumbuhnya lichen (Nasriyati & Utami, 2018).

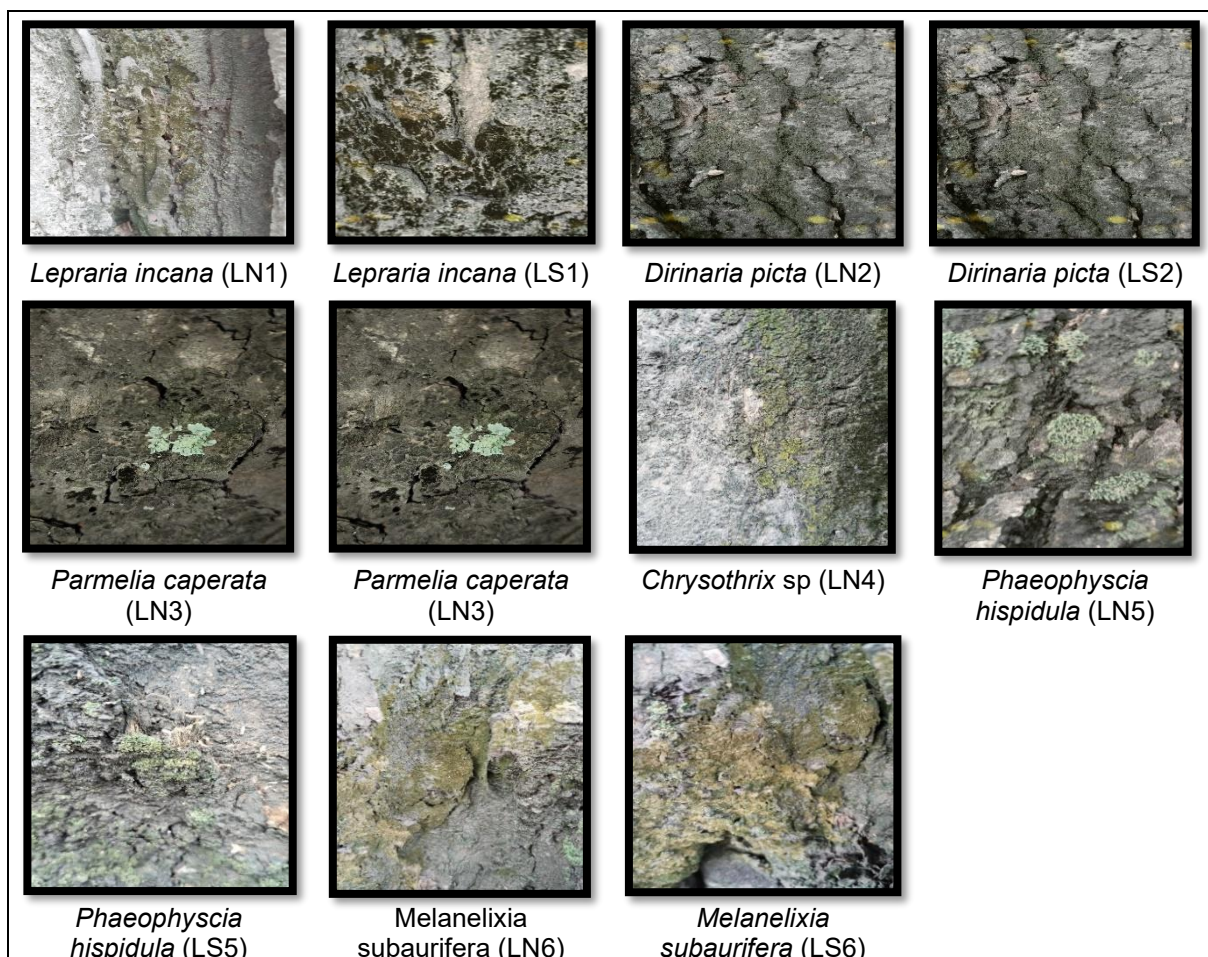
Faktor lingkungan sangat mempengaruhi keberadaan lichen, seperti suhu (°C), kelembaban (%), dan kecepatan angin (m/s). Suhu merupakan faktor lingkungan yang sangat penting bagi pertumbuhan lichen. Suhu optimal bagi pertumbuhan lichen kurang dari 40°C, jika melebihi dari suhu tersebut dapat merusak klorofil lichen, sehingga akan mengganggu proses fotosintesis (Hadiyati *et al.*, 2013). Kelembaban udara merupakan faktor penting yang memengaruhi kemampuan lichen dalam menyerap air, nutrisi, serta zat pencemar dari udara. Lichen mampu tumbuh dan melakukan fotosintesis secara optimal pada lingkungan dengan kelembaban tinggi, yaitu sekitar 85%. Namun, jika kelembaban melebihi angka tersebut, efektivitas fotosintesis lichen dapat menurun hingga 35–40% (Hadiyati *et al.*, 2013).

Korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar SO₂ pada talus lichen adalah korelasi positif. Semakin tinggi kepadatan lalu lintas maka kadar SO₂ akan semakin tinggi. Berdasarkan perhitungan statistik dengan Pearson Product Moment diperoleh nilai korelasi (r) 0,985 yang artinya korelasi tersebut sangat kuat.

Peningkatan kepadatan lalu lintas akan berdampak langsung dengan penurunan kadar klorofil pada talus lichen. Korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar klorofil talus lichen adalah negatif, artinya semakin tinggi jumlah kendaraan maka semakin tinggi pula polusi udara (SO₂) yang terakumulasi dalam lichen dan terjadi penurunan kadar klorofil.

Berdasarkan perhitungan statistik dengan Pearson Product Moment diperoleh nilai korelasi (r) -0,985 yang artinya memiliki korelasi negatif kuat. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor akan mengakibatkan banyaknya emisi-emisi yang terbuang, seperti SO₂. Lichen menyerap zat-zat dari atmosfer, termasuk presipitasi yang membawa polutan, secara langsung. SO₂ yang masuk ke dalam jaringan lichen dapat bereaksi dan menurunkan pH talus, menjadikannya bersifat asam serta merusak struktur klorofil dengan mengubahnya menjadi phaeophytin. Senyawa sulfur dapat berinteraksi dengan air di dalam sel dan membentuk asam sulfat. Asam ini kemudian mengkonversi klorofil menjadi phaeophytin, yaitu pigmen yang tidak berperan dalam proses fotosintesis (Hadiyati *et al.*, 2013). Korelasi antara kadar SO₂ dengan kadar klorofil pada talus lichen adalah negatif. Berdasarkan perhitungan statistik dengan Pearson Product Moment diperoleh nilai korelasi (r) -0,943 yang artinya memiliki korelasi negatif kuat.

Distribusi serta karakteristik lichen di kedua lokasi penelitian menunjukkan perbedaan yang nyata, menggambarkan adanya respon adaptif terhadap variasi tingkat pencemaran. Dari hasil identifikasi pada 55 tegakan pohon angkana di Jalan Pulau Nias Selatan dan 35 tegakan di Jalan Pulau Sebra, ditemukan enam spesies lichen yang berhasil dikenali (Gambar 4).



Gambar 4. Data Identifikasi Jenis Lichen

Berdasarkan hasil identifikasi lichen tersebut, diperoleh dua morfotipe yaitu Crustose dan Foliose. Crustose merupakan jenis lichen yang memiliki morfologi datar, berukuran kecil dan tipis, serta tumbuh menempel erat pada permukaan batu, tanah, atau bagian luar kulit pohon. Foliose merupakan jenis lichen yang umumnya melekat secara longgar pada substrat tempat tumbuhnya dan memiliki bentuk yang menyerupai daun. Salah satu karakter morfologi lichen yaitu warna talus yang secara tidak langsung mencerminkan kondisi fisiologis serta lingkungan tempat tumbuhnya.

Pada lokasi dengan kepadatan lalu lintas tinggi di Jalan Pulau Nias Selatan diperoleh warna talus yang lebih gelap dan kusam. Warna gelap dan kusam menunjukkan respon adaptif dari tingginya polutan yang terakumulasi di permukaan talus. Pada lokasi dengan kepadatan lalu lintas rendah di Jalan Pulau Sebira diperoleh warna talus yang lebih cerah dan terang. Warna cerah tersebut menandakan kondisi fotosintesis yang lebih optimal dan lebih mendukung bagi pertumbuhan lichen serta sedikitnya akumulasi polutan di permukaan talus.

KESIMPULAN

Spesies lichen yang dijadikan sebagai bioindikator pada tegakan pohon angšana (*Pterocarpus indicus* Willd.) di Kawasan Industri Medan II yaitu lichen *Lepraria incana* dan *Dirinaria picta*. Analisis korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar sulfur dioksida (SO₂) pada talus lichen menunjukkan adanya korelasi positif yang sangat kuat, bahwa peningkatan kepadatan lalu lintas berhubungan kuat dengan peningkatan kadar sulfur dioksida (SO₂). Analisis korelasi kepadatan lalu lintas dengan kadar klorofil total pada talus lichen menunjukkan adanya korelasi negatif yang sangat kuat, bahwa semakin tinggi kepadatan lalu lintas, semakin rendah kadar klorofil total pada talus lichen. Analisis korelasi kadar sulfur dioksida (SO₂) dengan kadar klorofil total pada talus lichen menunjukkan adanya korelasi negatif yang sangat kuat, bahwa semakin tinggi kadar sulfur dioksida (SO₂), semakin rendah kadar klorofil total pada talus lichen.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandra, R. H. (2017). Lead (Pb) accumulation and species diversity of Lichenes in Medan City Park. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 2(1), 23–37. <https://doi.org/10.31289/biolink.v2i1.763>
- Hadiyati, M., Setyawati, T. R., & Mukarlina. (2013). Sulfur and chlorophyll content in lichen thallus *Parmelia* sp. and *Graphis* sp. on shade trees in North Pontianak District. *Protobiont*, 2(1), 12–17.
- Handoko. (2016). *Lichen diversity as bioindicator of air quality in the IPB International Dormitory area* [Unpublished manuscript], 1–23.
- Hasairin, A., & Hartono, A. (2023). Phylogenetic relationship patterns of Lichenes on *Styrax* trees in Aek Nauli forest area, Parapat, Simalungun Regency. In *Proceedings of the National Seminar VII on Biology and Its Learning*.
- Jahja, S. D., Lihawa, F., Baderan, D. W. K., Prodi, P., Hidup, L., & Universitas Negeri Gorontalo. (2025). *The role of lichens as bioindicators of lead (Pb) air pollution in living organisms, i.e. fungi and algae or bacteria* [Unpublished manuscript].
- Jamhari, M. (2003). *Correlation between lead (Pb) content in air and Pb in Xanthoparmelia xanthofarinosa lichen thallus* [Unpublished manuscript], 39–42.
- Kementerian PUPR. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023)*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR. <https://pu.go.id>
- Khoerurrahmah, A., Alphabenita, A., Aulia, S., & Supriyatna, A. (2024). Identification of crustose lichens as bioindicators of air pollution in the campus area of UIN Sunan Gunung Djati Bandung. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 2(3).
- Mafaza, H., Murningsih, M., & Jumari, J. (2019). Lichen species diversity in Semarang City. *Life Science*, 8(1), 10–16. <https://doi.org/10.15294/lifesci.v8i1.29985>

- Manlea, H., Ledheng, L., & Sama, Y. M. (2016). Factors causing coral reef ecosystem damage in Wini Waters, Humusu C Sub-district, Insana Utara, North Central Timor. *Bio-Edu: Jurnal Pendidikan Biologi*, 1(2), 21–23. <https://jurnal.unimor.ac.id/JBE/article/view/499>
- Murningsih, M., & Mafaza, H. (2016). Lichen species at Diponegoro University Campus Semarang. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 18(2), 20. <https://doi.org/10.14710/bioma.18.2.20-29>
- Muslim, & Hasairin, A. (2018). Exploration of Lichenes on tree stands at Medan Zoo, Simalingkar, North Sumatra. *Jurnal Biosains*, 4(3), 145–153. <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/biosains>
- Nailufa, M., Akhmad, F., & Farid, A. (2021). Thallus morphology of lichen types as bioindicators of air pollution in Kudus. *BIOMA: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 3(1), 36–42. <https://doi.org/10.31605/bioma.v3i1.850>
- Nasriyati, T., & Utami, S. (2018). Thallus morphology of *Dirinaria picta* (Sw.) Schaer. ex Clem lichen under different traffic densities in Semarang City. *Jurnal Akademika Biologi*, 7(4), 20–27.
- Nisa, A. F., Rosdiana, L., Roqobih, F. D., & Faculty of Mathematics and Natural Sciences. (2024). Bioindicators of air pollution levels. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*, 6(2), 91–102. <https://doi.org/10.31289/jibioma.v6i2.4352>
- Ramses, J. P. (2019). Implementation of Internet of Things (IoT) for air quality detection system around Medan Industrial Area (KIM) using NodeMCU. *Jurnal CyberTech*, 2(5), 1–7.
- Rasyidah. (2018). Chlorophyll content in lichen. *Jurnal Klorofil*, 1(2), 88–92. <https://jurnal.uinsu.ac.id/index.php/klorofil/article/viewFile/1601/1288>
- Roziaty, E. (2016). Identification of crustose lichens in the area of Universitas Muhammadiyah Surakarta campus. In *Proceedings of the Biology Education Conference*, 13(1), 770–776.
- Santoso, D. H. (2014). Spatial distribution of ambient carbon monoxide on the campus of Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 6(2), 126–137. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol6.iss2.art6>
- Sonia, A., Lingga, R., & Fastanti, F. S. (2024). Diversity of lichens in Tahura Gunung Menumbing, West Bangka Regency, Bangka Belitung Islands. *Berita Biologi*, 23(2), 215–225. <https://doi.org/10.55981/beritabiologi.2024.3840>
- Wijiarti, I., Budiarto, D., & Setiawan, I. (2016). Environmental health risk analysis of sulfur dioxide (SO₂) exposure in ambient air among street vendors at Pulogadung Bus Terminal, East Jakarta [Unpublished report].
- Yuliani, N., Rahmawati, D., & Anshori, M. F. (2021). Lichen as bioindicator of air quality at buffer zone of Banjarbaru town. *Jurnal Galam*, 2(1), 54–65. <https://doi.org/10.20886/glm.2021.2.1.54-65>