

LICHEN DALAM PERSPEKTIF PERKEMBANGAN PENELITIAN BIOLOGI DI MASA KINI DAN NANTI

Efri Roziaty

Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Email : er375@ums.ac.id

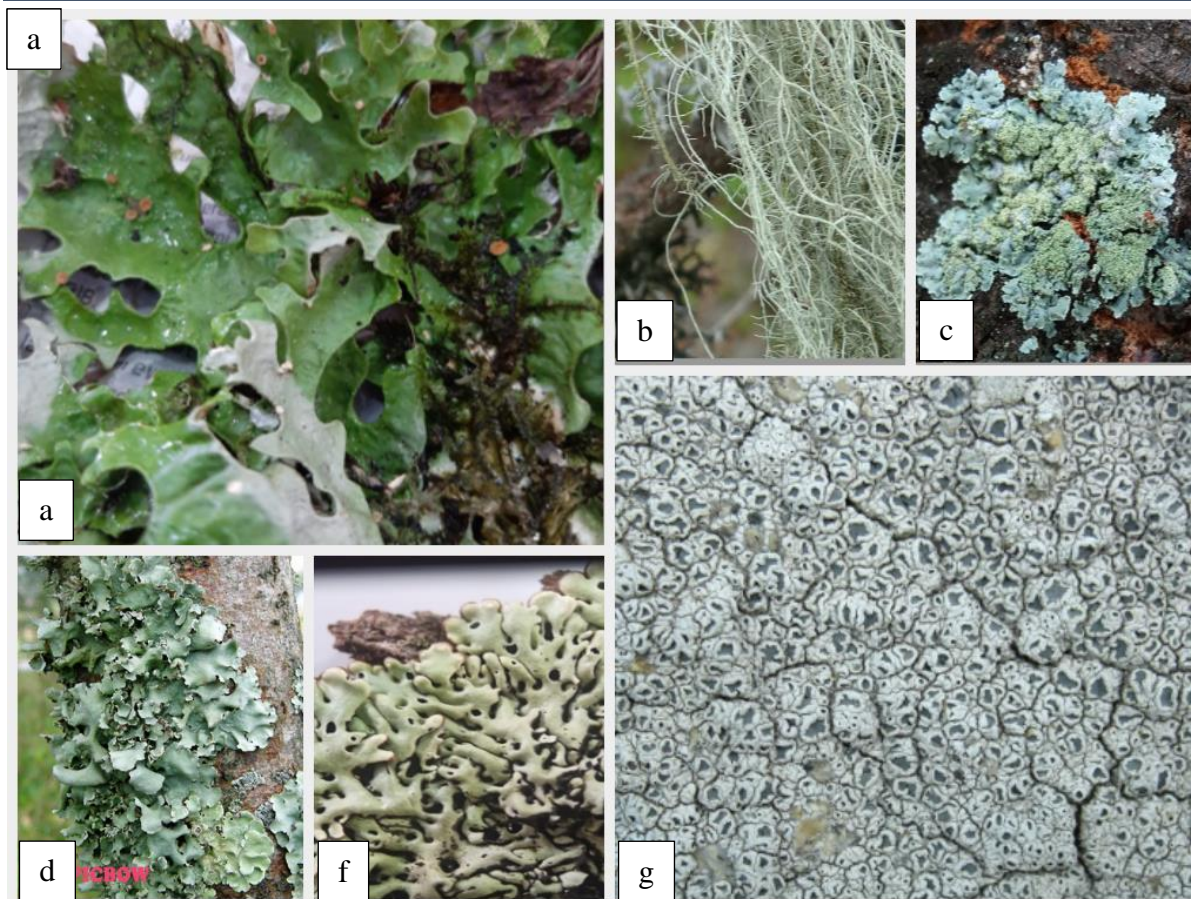
Disampaikan pada Kegiatan Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Sainstek ke VII
Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan FKIP
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 4 Juni 2022
Di Gedung Auditorium Djazman,
Universitas Muhammadiyah Surakarta

1. PENDAHULUAN

1.1. Lichen – life origin

Lichen atau yang biasa diistilahkan dengan lumut kerak adalah organisme simbiosis antara alga dan jamur (fungi). Dinamakan lumut kerak karena tubuh menyerupai lumut dan tumbuh mengerak (menempel sangat erat) pada substrat. Lichen merupakan kelompok tumbuhan rendah yang saling bersimbiosis yang dinamakan *symbiont*. Bagian alga dinamakan *photobiont* merupakan bagian yang mampu melakukan proses fotosintesis sedangkan jamur dinamakan *mycobiont*, merupakan bagian yang memberikan perlindungan dan bentuk tubuh lichen. Tubuh lichen masih sangat sederhana sehingga diistilahkan dengan thalus. Thalus ini menempel pada substrat yang menjadi tempat hidupnya, beberapa jenis substrat tersebut misalnya bebatuan, beton, tanah yang keras dan pohon.

Dimana posisi lichen dalam ilmu Biologi ? Lichen sebagai organisme simbiosis yaitu antara jamur dan alga, namun lichen bukan jamur dan bukan alga. Lichen adalah organisme gabungan keduanya. Jamur dan alga dalam lichen menempati posisi separuh dari bagian masing – masing. Alga (*photobiont*) menempati sekitar 50 % bagian tubuh lichen dan jamur (*mycobiont*) juga menempati yang 50 % lagi sisanya. Lichen merupakan organisme irisan antara organisme tingkat rendah dan tinggi yang mampu melakukan fotosintetik. Bagi fungi, simbiosis ini merupakan inovasi dalam hal nutrisi dimana fungi bisa mendapatkan makanan melalui hasil dari proses fotosintetik yang dilakukan oleh alga. Sehingga, ini menyempurnakan posisi fungi sebagai suatu “tanaman” karena pada dasarnya fungi merupakan organisme yang mendapatkan makanan dari penyerapan miselium kepada substrat makanan sangat berbeda dengan prinsip dasar tanaman (Sanders 2001). Dalam 1 spesies lichen biasanya terdiri dari satu spesies fungi dan satu spesies alga/Cyanobacteria.



Gambar 1. Lichen dengan beberapa tipe *life form* (morfologi), a-b tipe fruticose (*shrubby* yaitu menyerupai semak); c-d-f tipe foliose (*leafy* yaitu menyerupai helai daun); dan g tipe crustose (*crusty* yaitu menyerupai kerak).

Ada 3 tipe *life form* (morfologi lichen) yaitu *crustose*, tertanam dan menempel sangat erat pada permukaan substrat, beberapa jenis ada yang menyerupai partikel tepung, contoh : *Lepraria* sp.; *foliose*, morfologi menyerupai helai daun dimana morfologi permukaan atas dan bawah berbeda; dan *fruticose* menyerupai semak yang menempel pada substrat namun mudah terlepas dan tidak akan merusak substrat jika di lepaskan dari permukaan substrat (Gambar 1). Fungi adalah organisme yang bertanggung jawab terhadap pembentukan tubuh/thalus lichen. Penamaan lichen (taksonomi) lichen didasari oleh perbedaan thalus ini. Lichen merupakan organisme dengan pertumbuhan yang sangat lambat (tahunan) sehingga sangat sedikit kompetitor nya di alam terutama jika dibandingkan dengan tumbuhan hijau lainnya. Tumbuhan Bryophyta mungkin terlihat sebagai kompetitor alami lichen karena sering ditemui hampir bersama di dalam satu habitat/komunitas (Will-wolf et al. 1995).

1.2. Ekologi Lichen

Fungi yang terlichenisasi ditemukan di habitat terrestrial/daratan yang mampu mendukung proses fotosintetik, dan hanya beberapa jenis lichen saja yang hidup di habitat aquatik. Lichen merupakan tumbuhan yang sangat toleran terhadap kondisi tekanan lingkungan. Beberapa faktor abiotik lingkungan yang mempengaruhi keberadaan atau kelimpahan lichenisasi fungi di alam adalah : (1) kandungan kimiawi pada substrat, substrat ini umumnya dipengaruhi oleh jenis pohon, kondisi kulit batang pohon, tanah dan material organik lingkungan serta mikro habitat seperti kondisi kanopi pohon (AP Jain; S. Bhandarkar; G. ray 2016; Naeth et al. 2016); (2) ketersediaan cahaya (AP Jain; S. Bhandarkar; G. ray 2016; Johansson et al. 2009),

hal ini akan mempengaruhi kecepatan tumbuh lichen, tumbuhan yang lebih besar yang tumbuh. Di tempat yang sama kemudian lichen jenis lain yang juga tumbuh di tempat tersebut; dan (3) kelembaban (Kubiak and Osyczka 2017). Masing – masing individu lichen memiliki karakteristik sub stratum dan spesifikasi habitat masing – masing.

Lichen sangat bergantung pada kondisi lingkungan dalam hal pemenuhan nutrisinya (Nash III T. H., 2008), karena struktur tubuh yang masih sangat sederhana thalus mendapatkan air yang berasal dari tetes embun sedangkan sumber karbohidrat berasal dari hasil fotosintesis. Oleh karena itu, pertumbuhan lichen sangat tergantung pada kondisi lingkungan. Selain faktor air dan nutrisi, suhu dan kelembaban lingkungan serta topografi sangat mempengaruhi pertumbuhan lichen.

Penelitian – penelitian tentang lichen berkembang ke Amerika dan Eropa sejak tahun 1980 – an, khususnya mengenai lichen sebagai bioindikator (Shukla, Upreti, and Bajpai 2014), kualitas udara, biodiversitas (Naeth et al. 2016) dan kondisi iklim yang mempengaruhi lichen (Jovan 2008). Lichen juga banyak diteliti tentang senyawa metabolit sekunder yang ada pada tubuhnya (Maslač, Maslač, and Tkalec 2016); (Muggia and Grube 2018); (Jayanthi et al. 2012). Penelitian yang dilakukan di wilayah selatan Polandia mengenai rekolonisasi lichen di wilayah urban dan industri menyetakan bahwa NO₂ dan debu berpengaruh terhadap pertumbuhan lichen jenis *Lecanora conizoides* (Lisowska 2011). Pertumbuhan lichen jenis ini di wilayah tersebut mengaami penurunan akibat paparan polutan debu dan NO₂ (Lisowska, 2011). Penelitian lain menyebutkan bahwa senyawa nitrogen yang terdapat di atmosfer dengan yang terdapat pada thalus lichen adalah identik (Gadsdon et al. 2010); (McMurray et al. 2013). Selain pencemaran yang disebabkan oleh debu dan senyawa NO₂, senyawa lain yang berperan serta dalam pencemaran udara ambien adalah SO₂, dikatakan bahwa SO₂ yang tinggi pada saat musim gugur Taman Nasional Cape Breton Highlands, Canada, berpengaruh pada biodiversitas lichen, beberapa jenis lichen yang ada di wilayah tersebut mengalami penurunan pertumbuhan (Gibson et al. 2013). Populasi manusia yang terus meningkat saat ini khususnya di wilayah perkotaan (*urban area*) menyebabkan meningkatnya aktivitas yang melibatkan sarana transportasi. Kendaraan bermotor mengemisikan bahan bakar diantaranya senyawa – senyawa SO₂, dan NO₂ yang berdampak pada kehidupan.

Komunitas lichen kelompok Parmelioid, Peltuloid, Leprarioid, Dimorphic, Xanthoparmelioid, Lecanorioid, Lecideoid, Teloschistacean dan Umbilicarioid dapat digunakan bioindikator di wilayah Badrinath, Himalaya bagian barat, India (Logesh 2014), untuk menilai status suatu lingkungan tanpa menggunakan logistik dan instrumen yang rumit, biasanya di lingkungan pemukiman yang padat penduduk, areal industri dan konstruksi sipil, lalu lintas yang sibuk, dan kegiatan antropogenik lainnya akan menurunkan kualitas organisme yang tumbuh di sekitar wilayah itu terutama tumbuh – tumbuhan (Gupta et al. 2016). Selanjutnya, dilaporkan hasil penelitian yang dilakukan di wilayah sekitar Niagara, Hamilton dan Owen Sound, Ontario, Kanada, terdapat pola distribusi pertumbuhan komunitas lichen di area urban (perkotaan) dan rural (pinggir kota) dipengaruhi oleh kondisi iklim mikro atau kelembaban (McMullin et al. 2016).

1.3. Lichen dan pencemaran lingkungan

Sementara ini penelitian mengenai lichen di Indonesia umumnya mengenai biodiversitas lichen (Roziaty 2016b), (Kusmoro et al. 2018), beberapa penelitian lanjutan yang sudah mengarah kepada lichen sebagai bioindikator kualitas udara di perkotaan, yaitu Kota Bogor, Indonesia (Sudirman, Idwan, and Koesmaryono 2015), dan di Kota Medan, Indonesia (A. R. S. Hasairin 2019). Penelitian selanjutnya selain menganalisis biodiversitas di perkotaan juga yang mengamati lichen di habitat alaminya yaitu di hutan mulai dari hutan – hutan konifer di Amerika Serikat (Will-Wolf, Jovan, and Amacher 2017), di wilayah Mongolian Altai (Hauck et al. 2012), di hutan French, Guina (Normann et al. 2010), di hutan oak Central European

(Svoboda, Peksa, and Veselá 2011), hutan Eastern Romania (Vicol 2016) dan di hutan Mediterania (Aragon et al. 2010). Umumnya penelitian mengenai lichen banyak mengambil lokasi di habitat alami lichen yaitu di hutan. Selain itu, penelitian mengenai penyebaran lichen telah dilakukan secara spasial (Pinho et al. 2008), sebaran polutan juga mempengaruhi sebaran lichen (Yemets, Solhaug, and Gauslaa 2014). Belum banyak penelitian mengenai pemetaan lichen di wilayah pemukiman di Italia (Paoli et al. 2015), (Poličnik, Simončič, and Batič 2008).

Pemantauan kualitas udara ambien di perkotaan umumnya telah dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup di masing – masing wilayah akan tetapi dalam melakukan kegiatan pemantauan tersebut membutuhkan waktu dan biaya tinggi, karena instrumen yang digunakan rumit dan spesifik sehingga menyebabkan pemantauan kualitas udara secara teknis berbiaya tinggi.

Berdasarkan fakta ini, harus ada alternatif untuk memantau kualitas udara yang lebih efisien yaitu melalui pengamatan langsung di lapangan. Instrumen yang digunakan adalah alami yaitu tumbuh – tumbuhan yang tumbuh di habitat tersebut. Tumbuhan yang mampu menggambarkan kondisi spesifik suatu lingkungan dinamakan bioindikator (Li et al. 2017), (Aras et al. 2011). Bioindikator adalah organisme yang mampu bereaksi terhadap permasalahan terkait dengan ekologi (*Ecological health*) (Kuldeep and Prodyut 2015). Kesehatan ekologi meliputi struktur dan fungsi organisme dalam ekosistem. Terkait juga dengan bagaimana organisme mengatasi stressor lingkungan melalui mekanisme dalam dirinya. Umumnya, stressor dalam ekosistem merupakan polutan bahan kimia dalam ekosistem alami (Van der Wat and Forbes 2015).

Kondisi pencemaran udara yang disebabkan oleh asap kendaraan bermotor di jalan raya yang padat berpengaruh sangat nyata pada lichen, beberapa penelitian yang telah dilakukan menyatakan bahwa logam berat yang diemisikan oleh kendaraan bermotor berpengaruh pada lichen (Affum et al. 2008). Paparan pencemar di wilayah jalan raya di Ontario, Kanada, (Cowden, Debues, and Dean 2018) di jalan – jalan yang sibuk dan yang tidak berpengaruh pada luas tutupan lichen (*lichen coverage*) pada batang pohon inang (Marmor et al. 2017).

Salah satu komponen organ lichen yang terdampak lebih dulu ketika terjadi paparan pencemar adalah pigmen fotosintetik dan klorofil. Komponen pigmen fotosintetik dan degradasi klorofil, metabolit sekunder dan protein terlarut merupakan beberapa parameter fisiologis yang umum digunakan pada lichen. Pigmen fotosintetik yaitu klorofil a, klorofil b, klorofil a + b, rasio klorofil a/b merupakan parameter yang seringkali digunakan dalam penelitian efek fisiologis yang terjadi pada lichen terutama ketika terpapar senyawa pencemar (Lackovičová et al. 2013). Penelitian – penelitian mengenai pengaruh senyawa pencemar terhadap lichen terus berkembang hingga saat ini dan masih memiliki potensi untuk terus dikembangkan di masa yang akan datang.

1.4. Penelitian lichen – Past, Present and Future (Perspektif Non Molekuler hingga Molekuler)

Penelitian lichen bipolar – Penelitian mengenai lichen yang telah dilakukan sejak awal abad ke 18 – 19 an, adalah penelitian – penelitian lichen non molekuler. Lichen bipolar yaitu lichen yang memiliki dua karakteristik yaitu fungi dan alga, lichenisasi lichen dan organisme pembentuk lichen (Garrido-Benavent and Pérez-Ortega 2017). Kemudian distribusi lichen di berbagai belahan dunia mulai dari kutub (Castello and nimis 1997).

Penelitian lichen di Indonesia yang telah dilakukan umumnya adalah mengenai eksplorasi keanekaragaman lichen. Meski penelitian lichen sudah lama dikenal dan dilakukan di Indonesia namun masih sebatas eksplorasi spesies lichen di banyak wilayah di Indonesia seperti keanekaragaman jenis lichen di wilayah Surakarta, Jawa Tengah (Roziaty 2016a). Keanekaragaman lichen *Physcia* di wilayah Asia khususnya di Jepang dan Korea serta Rusia timur jauh mendekati daratan Asia (Sheard et al. 2017). Kekayaan dan kelimpahan lichen di

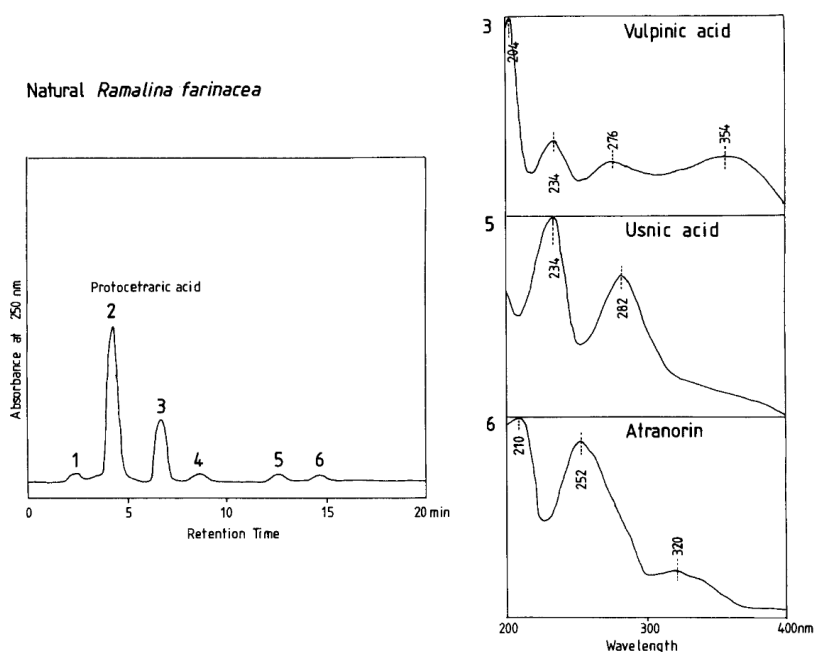
Hutan Konifer di Estonia, Eropa (Marmor et al. 2012). Struktur dan komposisi komunitas lichen juga diteliti di berbagai wilayah di dunia mulai dari Benua Eropa, Amerika, Asia dan Australia (Rosentreter et al. 2016).

Eksplorasi lichen di Indonesia telah banyak diteliti mengenai aspek kemanfaatan lichen sebagai bioindikator kualitas udara di wilayah Surakarta dan Jogjakarta (Roziaty et al. 2020), bioindikator untuk timbal (Pb) di Medan (A. Hasairin and Siregar 2018). Lichen sebagai bioindikator kualitas udara di Kota Bogor, Jawa Barat (Sudirman, Idwan, and Koesmaryono 2015). Bahkan lichen telah diteliti sebagai biomonitoring kualitas lingkungan di India (Shukla, Upreti, and Bajpai 2014). Fungsi lichen sebagai bioakumulator polutan pada thalusnya yang sederhana di India (Satya, Upreti, and Patel 2012). Penelitian di Rio Grande mengenai lichen sebagai patokan kualitas udara (Koch et al. 2018).

Penelitian perspektif molekuler - Momentum baru untuk penelitian – penelitian yang mengarah ke lichen molekuler. Selain sebagai bioindikator kualitas udara, lichen diteliti senyawa kimia metabolit sekunder (Kaasalainen et al. 2012; Le Pogam et al. 2016; Tonon et al. 2019). Fokus penelitian molekuler menggunakan objek lichen Parmeliaceae (Parmelia, Cetraria) namun lichen ini merupakan lichen di habitat sub tropik (Eropa dan Amerika) (Garrido-Benavent and Pérez-Ortega 2017). Selain Parmelia, identifikasi lichen Cladonia di wilayah Eropa khususnya di Turki (Osyczka et al. 2018). Seperti yang telah diketahui bahwa saat ini penelitian – penelitian mengenai metabolit sekunder mengalami peningkatan trend yang nyata hal ini seiring dengan manfaat yang bisa di terima jika mampu mendapat ekstrak metabolit sekunder dari tanaman. Manfaat tersebut di berbagai bidang komersil diantaranya sektor bahan baku obat – obatan, kosmetik, industri yang membutuhkan proses biologi di dalamnya, dan banyak lagi yang lainnya.

Berbagai jenis metabolit sekunder yang dihasilkan oleh lichen disebabkan karena lichen memiliki banyak spesies dengan karakteristik yang khas. Lebih dari tiga ratusan metabolit sekunder yang berhasil diisolasi dari lichen, umumnya adalah fenolik (Yoshimura et al. 1994). Salah satu metabolit sekunder dari lichen yaitu asam usnat yang berasal dari lichen Genus Usnea (Jayanthi et al. 2012). Identifikasi senyawa metabolit sekunder yang terdapat pada 28 jenis lichen di Tunisia, dinyatakan bahwa berdasarkan ekstraksi yang dilakukan terhadap lichen Usnea menunjukkan adanya aktivitas antibakteri yang terhambat pertumbuhannya oleh senyawa gentamisin (Tabbabi and Karmous 2016).

Analisis metabolit sekunder pada thalus lichen *Parmelia sulcata*, *Flavoparmelia caperata* dan *Evernia prunastri* menunjukkan bahwa pada *Parmelia sulcata* mengandung metabolit sekunder jenis asam salazinat dan atranorin. *Flavoparmelia caperata* mengandung metabolit sekunder jenis asam protocetrarat dan asam usnat. *Evernia prunastri* metabolit sekunder jenis asam evernat dan atranorin. Sehingga, disimpulkan bahwa ke – 4 jenis metabolit sekunder yang terdapat pada ketiga jenis lichen dari kelompok foliose menunjukkan resistensi terhadap paparan Cadmium (Cd) dalam waktu singkat berkisar antara 1 – 8 hari paparan *short term* (Maslač, Maslač, and Tkalec 2016).



Gambar 2. Kandungan metabolit sekunder yang terdapat pada thalus *Ramalina farinacea* kandungan senyawa asam vulpinat, asam usnat dan atranorin

Penelitian terhadap kandungan metabolit sekunder pada thalus *Ramalina farinacea* lichen yang berasal dari Inggris bagian utara menunjukkan bahwa adanya kandungan senyawa asam vulpinat, asam usnat dan atranorin (Gambar 2). Asam usnat ditemukan tidak hanya pada Genus *Usnea* namun dalam jenis lichen lainnya yang non *Usnea* (Yoshimura et al. 1994). Manfaat metabolit sekunder pada lichen ini diantaranya adalah sektor biofarmaka. Selain penelitian mengenai metabolit sekunder pada lichen yang masih perlu eksplorasi lebih dalam juga mengenai lichen genom termasuk di dalamnya adalah lichen morfotipe.

Penelitian yang menggunakan metode molekuler sudah dimulai sejak awal tahun 90 an, dikatakan bahwa lichen yang terdapat di alam maupun lichen yang dikultur atau di transplantasikan di alam itu merupakan bahan untuk penelitian biologi molekuler. Metode yang dilakukan adalah PCR *amplification* dengan menggunakan DNA genomik sebagai template. Penelitian ini juga akan mengungkap sejauh mana rantai kimia fungi akan mempengaruhi alga. (Armaleo and Clerc 1991). Penelitian yang mengarah ke morfogenesis merupakan salah satu potensi penelitian – penelitian pengembangan lichen selanjutnya.

2. PENUTUP

Dari banyak penelitian mengenai lichen yang telah dilakukan sejak dulu hingga saat ini masih banyak celah yang bisa dikembangkan selanjutnya. Diantaranya, lichen dan pencemaran lingkungan masih perlu dieksplorasi lagi mengenai zat pencemar apa yang bisa dipaparkan dan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan lichen salah satu cara yang bisa dipertimbangkan untuk diaplikasi pada penelitian tersebut adalah transplantasi lichen dari habitat asli ke habitat baru yang ditargetkan. Selanjutnya mengarah ke morfogenesis yang akan memetakan DNA genomik lichen yang selanjutnya bisa dibuat analisis filogenetik lichen dengan beberapa lichen lainnya dalam satu habitat. Anatomi dan fisiologi lichen masih berpotensi untuk diteliti lebih lanjut khususnya untuk lichen – lichen yang berada di kawasan tropik. Namun di era saat ini dimana biologi molekuler telah berkembang pesat maka penelitian – penelitian yang terkait dengan bidang tersebut akan sangat menjanjikan di masa yang akan

datang. Sehingga, perlu diinisiasi penelitian – penelitian dasar mengenai lichen di berbagai habitat alaminya.

3. UCAPAN TERIMA KASIH

Saya berterima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Surakarta atas pendanaan penelitian ini melalui skema Penelitian Hibah Integrasi Tridharma Perguruan Tinggi tahun 2020. Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan yang telah memberikan dukungan sarana dan prasarana laboratorium Biologi untuk menunjang analisis lab penelitian saya.

4. REFERENSI

- Affum, H. A. et al. 2008. "Biomonitoring of Airborne Heavy Metals along a Major Road in Accra, Ghana." *Environmental Monitoring and Assessment* 137(1–3): 15–24.
- AP Jain; S. Bhandarkar; G. ray, AK Yadav; S. Lodhi. 2016. "Evaluation of Parmotrema Reticulatum Taylor for Antibacterial and Antiinflammatory Activities." 78(December 2015).
- Aragon, Gregorio et al. 2010. "Effects of Forest Management on Epiphytic Lichen Diversity in Mediterranean Forests." *Applied Vegetation Science* 13(2): 183–94.
- Aras, Sumer, Demet Cansaran-Duman, Cigdem Vardar, and Esin Basar. 2011. "Comparative Analysis of Bioindicator and Genotoxicity Indicator Capacity of Lichens Exposed to Air Pollution." *Air Pollution - New Developments* (November 2016).
- Armaleo, Daniele, and Philippe Clerc. 1991. "Lichen Chimeras: DNA Analysis Suggests That One Fungus Forms Two Morphotypes." *Experimental Mycology* 15(1): 1–10.
- Castello, Miris, and Pier Luigi nimis. 1997. "Diversity of Lichens in Antarctica." In *Anartic Communities. Species, Structure and Survival*, , 15–21.
- Cowden, Phaedra, Max Debues, and Christy Dean. 2018. "The Influence of Vehicular Air Pollution on Lichen Abundance in Two Central Ontario Forests." *Just VI*(1).
- Gadsdon, Sally R., Jeremy R. Dagley, Patricia A. Wolseley, and Sally A. Power. 2010. "Relationships between Lichen Community Composition and Concentrations of NO₂ and NH₃." *Environmental Pollution* 158(8): 2553–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2010.05.019>.
- Garrido-Benavent, Isaac, and Sergio Pérez-Ortega. 2017. "Past, Present, and Future Research in Bipolar Lichen-Forming Fungi and Their Photobionts." *American Journal of Botany* 104(11): 1660–74.
- Gibson, Mark D. et al. 2013. "The Spatial and Seasonal Variation of Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide in Cape Breton Highlands National Park, Canada, and the Association with Lichen Abundance." *Atmospheric Environment* 64: 303–11.
- Gupta, Sugam et al. 2016. "Lichen as Bioindicator for Monitoring Environmental Status in Western Himalaya, India." *International Journal of Environment* 5(2): 1–15.
- Hasairin, A., and R. Siregar. 2018. "The Analysis of Level of Lead (Pb) on Lichens as a Bioindicator of Air Quality in Medan Industrial Area and Pinang Baris Integrated Terminal in Medan, Indonesia." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 187(1): 0–9.
- Hasairin, Ashar; Rosliana Siregar. 2019. "Chrome Analysis on Lichens at Ambient Air On Living Trees." *International Journal of Ecophysiology* 1(2): 88–93.
- Hauck, Markus et al. 2012. "Edge and Land-Use Effects on Epiphytic Lichen Diversity in the Forest-Steppe Ecotone of the Mongolian Altai." *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 207(6): 450–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2012.03.008>.

- Jayanthi, S., P. Priya, D. Monica Devi, and JM. Benila Smily. 2012. "Lichens: Origin, Types, Secondary Metabolites and Applications." *J. Acad. Indus. Res* 1(1): 45–49. <http://jairjp.com/JUNE/9 JAYANTHI.pdf>.
- Johansson, Victor, Karl Olof Bergman, Håkan Lättman, and Per Milberg. 2009. "Tree and Site Quality Preferences of Six Epiphytic Lichens Growing on Oaks in Southeastern Sweden." *Annales Botanici Fennici* 46(6): 496–506.
- Jovan, Sarah. 2008. *Lichen Bioindication of Biodiversity, Air Quality, and Climate: Baseline Results From Monitoring in Washington, Oregon, and California*.
- Kaasalainen, Ulla et al. 2012. "Cyanobacteria Produce a High Variety of Hepatotoxic Peptides in Lichen Symbiosis." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(15): 5886–91.
- Koch, Natália Mossmann et al. 2018. "Air Quality Assessment in Different Urban Areas from Rio Grande Do Sul State, Brazil, Using Lichen Transplants." *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 90(2): 2233–48.
- Kubiak, Dariusz, and Piotr Osyczka. 2017. "Specific Vicariance of Two Primeval Lowland Forest Lichen Indicators." *Environmental Management* 59(6): 966–81. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-017-0833-4>.
- Kuldeep, Srivastava, and Bhattacharya Prodyut. 2015. "Lichen as a Bio-Indicator Tool for Assessment of Climate and Air Pollution Vulnerability: Review." *International Research Journal of Environment Sciences* 4(12): 107–17.
- Kusmoro, Joko et al. 2018. "Lichen Diversity in Geothermal Area of Kamojang, Bandung, West Java, Indonesia and Its Potential for Medicines and Dyes." *Biodiversitas* 19(6): 2335–43.
- Lackovičová, Anna et al. 2013. "Response of Evernia Prunastri to Urban Environmental Conditions in Central Europe after the Decrease of Air Pollution." *Lichenologist* 45(1): 89–100.
- Li, Su et al. 2017. "Forest Type and Tree Characteristics Determine the Vertical Distribution of Epiphytic Lichen Biomass in Subtropical Forests." *Forests* 8(11): 3–5.
- Lisowska, Maja. 2011. "Lichen Recolonisation in an Urban-Industrial Area of Southern Poland as a Result of Air Quality Improvement." *Environmental Monitoring and Assessment* 179(1–4): 177–90.
- Logesh, AR. 2014. "Lichen as Indicator of Metal Pollution in the Vicinity of SIPCOT Industries in Cuddalore, Southeast Coast of India." *Mycosphere* 5(5): 681–87.
- Marmor, Liis, Tiina Randlane, Inga Juriado, and Andres Saag. 2017. "Host Tree Preferences of Red-Listed Epiphytic Lichens in Estonia." *Baltic Forestry* 23(2): 364–73.
- Marmor, Liis, Tiiu Tõrra, Lauri Saag, and Tiina Randlane. 2012. "Species Richness of Epiphytic Lichens in Coniferous Forests: The Effect of Canopy Openness." *Annales Botanici Fennici* 49(5–6): 352–58.
- Maslač, Ana, Maja Maslač, and Mirta Tkalec. 2016. "The Impact of Cadmium on Photosynthetic Performance and Secondary Metabolites in the Lichens *Parmelia Sulcata*, *Flavoparmelia Caperata* and *Evernia Prunastri*." *Acta Botanica Croatica* 75(2): 186–93.
- McMullin, Richard Troy et al. 2016. "Relationships between Air Pollution, Population Density, and Lichen Biodiversity in the Niagara Escarpment World Biosphere Reserve." *Lichenologist* 48(5): 593–605.
- McMurray, Jill A. et al. 2013. "Using Epiphytic Lichens to Monitor Nitrogen Deposition near Natural Gas Drilling Operations in the Wind River Range, WY, USA." *Water, Air, and Soil Pollution* 224(3).
- Muggia, Lucia, and Martin Grube. 2018. "Fungal Diversity in Lichens: From Extremotolerance to Interactions with Algae." *Life* 8(2): 1–14.

- Naeth, M a et al. 2016. "Mapping Lichen Diversity As a First Step For." *Environmental Monitoring and Assessment* 59(3): 1–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.017> (November 21, 2015).
- Normann, Felix et al. 2010. "Diversity and Vertical Distribution of Epiphytic Macrolichens in Lowland Rain Forest and Lowland Cloud Forest of French Guiana." *Ecological Indicators* 10(6): 1111–18.
- Osyczka, Piotr, Piotr Boroń, Anna Lenart-Boroń, and Kaja Rola. 2018. "Modifications in the Structure of the Lichen *Cladonia Thallus* in the Aftermath of Habitat Contamination and Implications for Its Heavy-Metal Accumulation Capacity." *Environmental Science and Pollution Research* 25(2): 1950–61.
- Paoli, Luca et al. 2015. "Epiphytic Lichens as Indicators of Environmental Quality around a Municipal Solid Waste Landfill (C Italy)." *Waste Management* 42: 67–73.
- Pinho, P. et al. 2008. "Impact of Neighbourhood Land-Cover in Epiphytic Lichen Diversity: Analysis of Multiple Factors Working at Different Spatial Scales." *Environmental Pollution* 151(2): 414–22.
- Le Pogam, Pierre et al. 2016. "Spatial Mapping of Lichen Specialized Metabolites Using LDI-MSI: Chemical Ecology Issues for *Ophioparma Ventosa*." *Scientific Reports* 6(October): 1–9.
- Poličnik, Helena, Primož Simončič, and Franc Batič. 2008. "Monitoring Air Quality with Lichens: A Comparison between Mapping in Forest Sites and in Open Areas." *Environmental Pollution* 151(2): 395–400.
- Rosentreter, Roger et al. 2016. "Structure, Composition, and Function of Biocrust Lichen Communities." In *Biological Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands, Ecological*, , 121–38.
- Roziaty, Efri. 2016a. "Identifikasi Lumut Kerak (Lichen) Di Area Kampus Universitas Muhammadiyah Surakarta." In Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 770–76.
- . 2016b. "Review : Kajian Lichen : Morfologi, Habitat Dan Bioindikator Kualitas Udara Ambien Akibat Polusi Kendaraan Bermotor." *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi* 2(1): 54–66.
- Roziaty, Efri, Sutarno, Suntoro Suntoro, and Sugiyarto. 2020. "Ecological Indices on Lichen Biodiversity in Three Main Different Areas (the Cities , Countrysides and the Forests) of Jogjakarta and Surakarta , Central Java , Indonesia." *EurAsian Journal of BioSciences* 14(2): 4543–50.
- Sanders, William B. 2001. "Lichens : The Interface between Mycology and Plant Morphology." *BioScience* 51(Desember 2001): 1025–35. https://www.researchgate.net/publication/232689552_Lichens_The_Interface_between_Mycology_and_Plant_Morphology.
- Satya, Dalip K. Upreti, and D. K. Patel. 2012. "Rinodina Sophodes (Ach.) Massal.: A Bioaccumulator of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Kanpur City, India." *Environmental Monitoring and Assessment* 184(1): 229–38.
- Sheard, John W. et al. 2017. "The Lichen Genus *Rinodina* (Physciaceae, Caliciales) in North-Eastern Asia." *Lichenologist* 49(6): 617–72.
- Shukla, Vertika, D. K. Upreti, and Rajesh Bajpai. 2014. "Lichens to Biomonitor the Environment." *Lichens to Biomonitor the Environment*: 1–178.
- Sudirman, Rindita, Lisdar Idwan, and Yonny Koesmaryono. 2015. "Air Quality Bioindicator Using the Population of Epiphytic Macrolichens in Bogor City, West Java." *HAYATI Journal of Biosciences* 22(2): 53–59.
- Svoboda, David, Ondrej Peksa, and Jana Veselá. 2011. "Analysis of the Species Composition of Epiphytic Lichens in Central European Oak Forests." *Preslia* 83(1): 129–44.

- Tabbabi, Karima, and Tijani Karmous. 2016. "Characterization and Identification of the Components Extracted from 28 Lichens in Tunisia by High Performance Thin-Layer Chromatography (HPTLC), Morphologic Determination of the Species and Study of the Antibiotic Effects of Usnic Acid." *Medicinal & Aromatic Plants* 05(04).
- Tonon, C. et al. 2019. "Microenvironmental Features Drive the Distribution of Lichens in the House of the Ancient Hunt, Pompeii, Italy." *International Biodeterioration and Biodegradation* 136(October 2018): 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.10.012>.
- Vicol, Ioana. 2016. "Ecological Patterns of Lichen Species Abundance in Mixed Forests of Eastern Romania." *Annals of Forest Research* 59(2): 237–48.
- Van der Wat, L., and P. B.C. Forbes. 2015. "Lichens as Biomonitors for Organic Air Pollutants." *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* 64: 165–72.
- Will-wolf, Susan et al. 1995. "Lichenized Fungi."
- Will-Wolf, Susan, Sarah Jovan, and Michael C. Amacher. 2017. "Lichen Elemental Content Bioindicators for Air Quality in Upper Midwest, USA: A Model for Large-Scale Monitoring." *Ecological Indicators* 78: 253–63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.017>.
- Yemets, Olena A., Knut Asbjorn Solhaug, and Yngvar Gauslaa. 2014. "Spatial Dispersal of Airborne Pollutants and Their Effects on Growth and Viability of Lichen Transplants along a Rural Highway in Norway." *Lichenologist* 46(6): 809–23.
- Yoshimura, Isao et al. 1994. "Analysis of Secondary Metabolites from Lichen by High Performance Liquid Chromatography with a Photodiode Array Detector." *Phytochemical Analysis* 5(4): 197–205.