

POTENSI LIKEN SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS UDARA DI KAWASAN SENTUL BOGOR

Munarti¹, Surti Kurniasih¹, Anna Ayu Lestari²

¹Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Pakuan

²Alumni Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Pakuan

munarti@unpak.ac.id

ABSTRAK

Polusi udara merupakan salah satu masalah lingkungan yang terjadi di perkotaan terutama di daerah dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi. Liken sangat peka terhadap parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, angin dan polusi udara sehingga dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis liken yang dapat dijadikan sebagai bioindikator untuk memonitoring kualitas udara di Kawasan Sentul *Eco Edu Tourism Forest*. Metode penelitian yang digunakan adalah *deskripif eksploratif*, Pengambilan data liken dilakukan di tiga lokasi secara *purposive sampling* yaitu memilih secara sengaja lokasi yang dianggap memiliki tingkat polusi yang berbeda berdasarkan tingkat aktivitas manusia. Luas pengamatan liken dilakukan pada permukaan kulit batang pohon secara melingkar setinggi ± 150 cm dari permukaan tanah, Analisis kandungan logam berat yaitu timbal (Pb) dan kromium (Cr) dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat Sembilan jenis liken yang berhasil diidentifikasi dengan dua jenis tipe tallus yaitu *Foliose* dan *Crustose*. Jenis *Parmelia* paling sedikit ditemukan dan merupakan jenis liken yang sensitif sedangkan jenis liken *Cryptochenia effusa* ditemukan paling banyak dan terdapat pada semua lokasi pengamatan sehingga jenis ini tergolong toleran terhadap perubahan kualitas udara. Berdasarkan akumulasi Pb dan Cr pada tallus, jenis *Parmelia* lebih banyak mengakumulasi Pb dan Cr dibanding jenis *Crythocenia* dan *Physcia*.

Kata Kunci : Liken, Bioindikator, logam berat, kualitas udara

PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan permasalahan lingkungan terutama di daerah perkotaan, hal ini disebabkan karena meningkatnya pengembangan industri dan transportasi yang berdampak pada degradasi lingkungan. Emisi kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber polusi udara yang paling signifikan di wilayah perkotaan, tingkat polusi berkaitan dengan jumlah kendaraan bermotor (Hasairin *et al.* 2015). Wilayah dengan tingkat polusi tinggi berdampak pada kesehatan manusia salah satunya gangguan pernafasan (D'Amato 2011; Cheng *et*

al. 2016). Oleh karena itu diperlukan adanya indikator yang relevan, sensitif dan terukur untuk memantau kondisi lingkungan sehingga dapat dijadikan sebagai peringatan dini. Liken sangat peka terhadap parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, angin dan polusi udara sehingga dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran udara (McMullin *et al.* 2016).

Liken merupakan organisme yang hidup bersimbiosis dengan jamur (*mycobiont*) dan ganggang atau *Cyanobacterium* (*photobiont*) (Nash, 2008). Liken dapat ditemukan mulai dari wilayah yang tercemar sampai wilayah yang tergolong bersih dari polutan (Samsudin *et al.* 2013). Liken tidak bereaksi terhadap partikel polutan tetapi dapat memberikan respon terhadap dampak umum dari polutan. Liken juga mempunyai tingkat sensitifitas yang berbeda terhadap jenis polutan. Spesies liken yang tergolong toleran dapat bertahan hidup pada lingkungan yang mengandung banyak polutan, dibandingkan spesies yang sensitif. Perbedaan tingkat sensitifitas dari liken sangat berguna dalam menentukan tingkat polusi udara pada suatu lingkungan (Abas dan Awang, 2015).

Perubahan keanekaragaman, kelimpahan, morfologi dan fisiologi liken merupakan bentuk respon terhadap perubahan lingkungan akibat peningkatan polusi pada suatu daerah (Kuldeep and Prodyut 2015). Tingkat polusi udara yang tinggi akan menyebabkan hilangnya spesies liken tertentu atau perubahan komposisi komunitas liken (Purvis 2000). Liken memiliki sifat sensitif terhadap perubahan lingkungan termasuk polusi udara. Sifat tersebut terkait dengan kemampuannya mengakumulasi partikel-partikel terlarut dalam udara. Liken menyerap mineral melalui permukaan talus karena tidak memiliki organ khusus untuk penyerapan air seperti akar pada tumbuhan tingkat tinggi. Disamping itu tallus liken tidak memiliki lapisan kutikula sehingga tidak dapat menghindari penyerapan partikel-partikel secara langsung dari udara, termasuk polutan (Bates 2002; Nash 2008). Penelitian mengenai potensi liken sebagai bioindikator kualitas udara masih sangat terbatas terutama di Bogor, oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jenis liken yang berpotensi sebagai bioindikator kualitas udara di Kawasan Sentul *Eco Edu Tourism Forest* Bogor.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan mulai April sampai Juni 2019, di kawasan Sentul *Eco Edu Tourism Forest*, Kabupaten Bogor. Metode yang digunakan adalah *deskriptif eksploratif*, Pengambilan data liken dilakukan di tiga lokasi secara *purposive sampling* yakni memilih secara sengaja lokasi yang dianggap memiliki tingkat polusi yang berbeda berdasarkan tingkat aktivitas manusia. Lokasi pengambilan sampel dibagi menjadi tiga titik yaitu lokasi A merupakan bagian tepi *Sentul Eco Edu Tourism Forest* dan dekat jalan raya Babakan Madang dengan asumsi polusinya lebih tinggi, lokasi B terletak agak jauh dari jalan raya, sedangkan lokasi C merupakan bagian yang diasumsikan aktifitas manusia lebih sedikit sehingga dianggap udaranya lebih bersih.

Pengamatan liken dilakukan pada permukaan kulit batang pohon secara melingkar setinggi ± 150 cm dari permukaan tanah. Sampel liken disayat dari permukaan kulit batang pohon dan dimasukkan ke dalam amplop. Liken dikoleksi untuk diidentifikasi lebih lanjut berdasarkan ciri-ciri yang dimiliki dengan menggunakan kunci determinasi (Divakar dan Upreti 2005) dan dicocokkan dengan koleksi foto. Analisis kandungan logam berat yaitu timbal (Pb) dan kromium (Cr) dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dilakukan di Laboratorium Pengujian Institut Pertanian Bogor (IPB).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis dan Tipe Tallus

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis liken yang berhasil diidentifikasi dari tiga lokasi pengamatan ada Sembilan jenis liken dengan dua tipe tallus yaitu *Foliose* dan *Crustose* (Tabel 1). Tipe tallus *Foliose* ditemukan tiga jenis yaitu *Parmelia* sp, *Dirinaria* sp dan *Physcia* sp, sedangkan tipe *Crustose* yaitu *Sarcograpa* sp, *Cryptochenia effusa*, *Grapis* sp, *Lepanora* sp, *Cryptochenia* sp, dan *Grapis insulena*.

Tabel 1. Jenis liken berdasarkan tipe tallus dan jumlah individu yang diidentifikasi di kawasan Sentul *Eco Edu Tourism Forest*.

Jenis Liken	Tipe Tallus		Jumlah individu
	<i>Foliose</i>	<i>Crustose</i>	
<i>Parmelia</i> sp.	√	-	9
<i>Dirinaria</i> sp	√	-	83
<i>Sarcograpa</i> sp.	-	√	42
<i>Cryptochenia effusa</i>	-	√	126
<i>Grapis</i> sp.	-	√	36
<i>Lepanora</i> sp.	-	√	74
<i>Physcia</i> sp.	√	-	33
<i>Cryptochenia</i> sp	-	√	87
<i>Grapis insulena</i>	-	√	11

Tipe tallus *Crustose* yang paling banyak ditemukan pada penelitian ini, dibandingkan tipe *Foliose*. Tipe tallus *Crustose* ditemukan pada semua lokasi penelitian baik pada lokasi yang diasumsikan polusinya tinggi maupun pada lokasi yang diasumsikan kualitas udaranya lebih baik (terletak dibagian dalam kawasan Sentul *Eco Edu Tourism Forest*). Tipe tallus *Crustose* dianggap lebih toleran dibanding tipe tallus yang lain karena struktur tallusnya relatif lebih simpel (Hasairin *et al.* 2015). Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Mulyadi (2017) dan Marianingsih dkk (2017) yang menemukan liken dengan tipe tallus *Crustose* paling banyak dibanding tipe *Foliose*. Menurut Boonpragob (2003) tipe talus *Crustose* termasuk tipe tallus yang toleran dibandingkan dengan tipe tallus yang lain.

Berdasarkan jumlah individu jenis *Parmelia* sp ditemukan paling sedikit yaitu sembilan individu, kemudian disusul jenis *Grapis insulena* 11 individu dan *Physcia* 33 individu, sehingga ketiga jenis liken tersebut dapat dijadikan sebagai bioindikator sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan di Kawasan Sentul *Eco Edu Tourism Forest*. Menurut Rindita *et al.* (2015) *Physcia* tergolong sensitif moderat berdasarkan Kerapatan, dominasi dan frekuensi relatif yang lebih tinggi di bagian dalam Kebun Raya Bogor dibanding dengan bagian tepi Kebun Raya Bogor yang secara tidak langsung berhubungan dengan Jalan Otto Iskandardinata

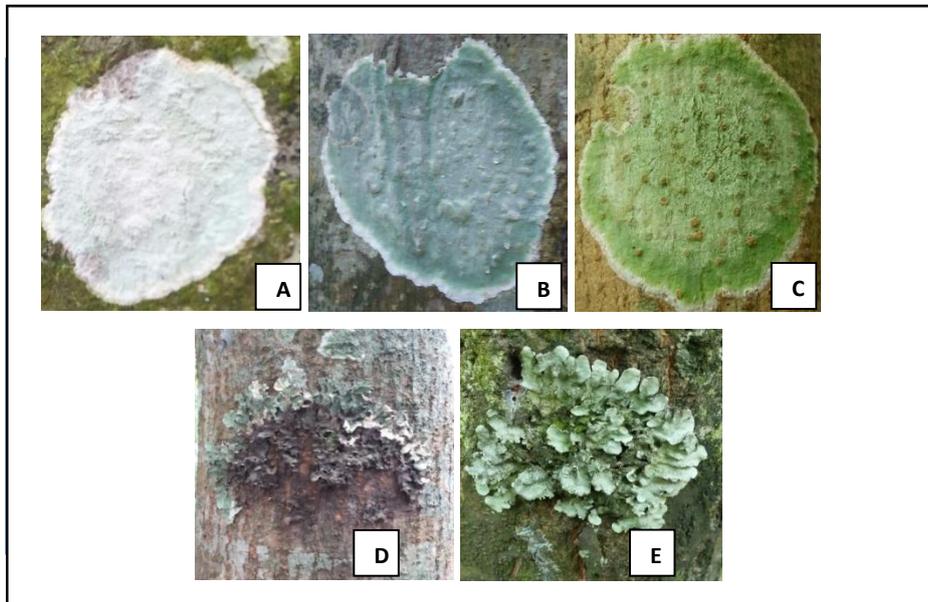
yang lalu lintasnya padat. Berdasarkan hasil penelitian ini jenis liken *Cryptochenia effusa* ditemukan paling banyak (126 individu) dan terdapat di ketiga lokasi pengamatan sehingga dapat digolongkan liken yang toleran. Menurut Will-Wolf (2015), kelimpahan terhadap suatu jenis liken dapat dijadikan sebagai indikator liken yang toleran dan sensitif terhadap polusi udara. Keanekaragaman dan distribusi liken *epifitik* sangat dipengaruhi oleh kandungan polutan di udara (Hauck 2011). Selain itu tingkat pertumbuhan dan keanekaragaman jenis liken merupakan indikator yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat kualitas udara suatu wilayah (Purvis 2000).

Menurut Negi (2003), liken jenis *Parmelia* hanya ditemukan pada lingkungan dengan kualitas udara yang tergolong baik. Disamping itu jenis *Parmelia* sp termasuk jenis yang sensitif terhadap kandungan *Sulfur dioksida* (SO₂) (Wetmore 1989). SO₂ merupakan salah satu jenis polutan yang berasal dari asap buangan transportasi jalan raya dan banyak ditemukan di perkotaan (Zahradníková 2010). Jenis liken yang diasumsikan paling sensitif pada penelitian ini adalah *Parmelia* sp, karena jenis tersebut tidak ditemukan di lokasi pengamatan A yang berhubungan secara tidak langsung dengan jalan Babakan Madang yang padat lalu lintas.

Keadaan Tallus

Jenis *Cryptochenia* memiliki warna tallus yang berbeda pada tiga lokasi pengamatan, pada lokasi A warna tallus keputih-putihan, lokasi B berwarna keabu-abuan dan lokasi C berwarna hijau (Gambar 1). Menurut Purvis (2000), Dampak fisik bagi liken yang mengakumulasi polutan seperti *sulphur dioksida* (SO₂), menyebabkan terjadinya pemutihan tallus (*bleaching*) yang diikuti oleh hilangnya klorofil pada sel ganggang. Pemutihan tallus (*bleaching*) pada jenis *Parmelia sulcata* yang ditemukan di kota St. John's Canada menunjukkan tingginya polusi tetapi tidak mempengaruhi kelimpahan *Parmelia sulcata* (Monaghan & Wiersma 2018). Berbeda halnya dengan jenis *Parmelia*, jenis ini hanya ditemukan di lokasi B dan C. Menurut McMullin *et al.* (2017) ketidak munculan jenis liken tertentu yang dianggap sensitif pada suatu daerah merupakan indikasi tingkat polusi yang tinggi. Sedangkan tipe toleran dapat hidup pada

lingkungan yang kualitas udaranya tergolong baik maupun pada lingkungan yang tercemar (Hasairin *et al.* 2015).



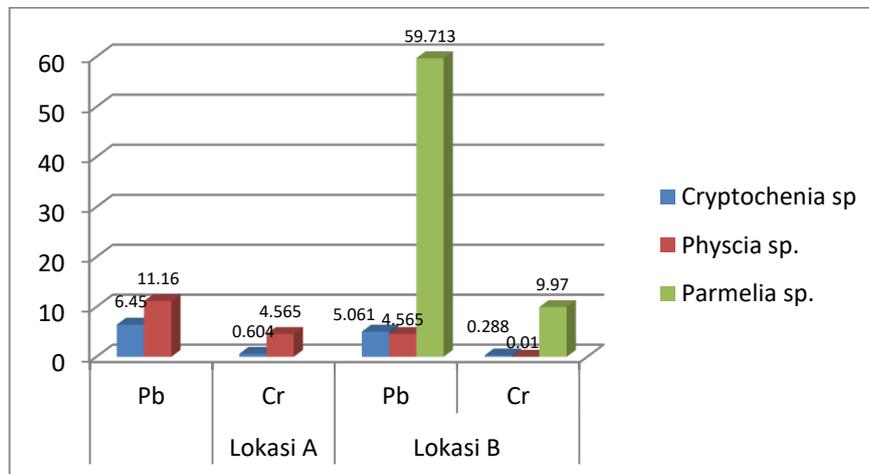
Gambar 1. Keadaan Tallus jenis lichen *Cryptochenia* dan *Parmelia*.

Keterangan : A= Jenis *Cryptochenia* di lokasi A; B= Jenis *Cryptochenia* di lokasi B; C= Jenis *Cryptochenia* di lokasi C; D= Jenis *Parmelia* di lokasi B; E= Jenis *Parmelia* di lokasi C.

Kondisi tallus jenis *Parmelia* yang ditemukan di lokasi B mengalami kerusakan dibandingkan dengan lokasi C, dimana lokasi C dianggap memiliki kualitas udara yang lebih baik dibandingkan lokasi A dan B (Gambar 1). Hal ini kemungkinan disebabkan karena *Parmelia* lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan termasuk polusi udara dibandingkan dengan jenis yang lain. Lichen menunjukkan sensitifitasnya terhadap polusi udara dengan berbagai cara seperti penurunan keanekaragaman, tidak ditemukan spesies sensitif, terjadi perubahan morfologi, anatomi dan fisiologis (Bajpai *et al.* 2010). Sifat sensitif pada lichen berhubungan dengan kemampuannya mengakumulasi partikel-partikel yang terlarut dalam udara karena talusnya tumbuh menahun (perennial) (Rindita *et al.* 2015). Berdasarkan hal tersebut Lichen dapat dijadikan sebagai indikator biologis yang sensitif terhadap kondisi lingkungan khususnya polusi udara (Bennett dan Wetmore 1999; Bargagli *et al.* 2002; Blasco *et al.* 2011).

Kandungan Pb dan Cr pada Tallus

Analisis akumulasi Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) pada tallus dilakukan terhadap tiga jenis liken yaitu jenis *Cryptochenia*, *Phycia* dan *Parmelia*, dengan pertimbangan ketiga jenis tersebut ada yang dapat dijadikan sebagai bioindikator dalam mengakumulasi logam berat jenis Pb dan Cr. Berdasarkan hasil analisis tipe tallus *Foliose* (*Parmelia* dan *Phycia*) lebih mampu mengakumulasi Pb dan Cr dibanding tipe tallus *Crustose* dalam hal ini diwakili jenis *Cryptochenia* (Gambar 2). Menurut Kinaliouglu *et al.* (2010), tingkat efisiensi akumulasi polutan tergantung pada tipe tallus, tipe tallus berdasarkan tingkat efisiensinya berturut-turut yaitu *Foliose* > *Crustose* > *Fruticose*. Tipe tallus *Foliose* memiliki permukaan tallus yang lebih luas sehingga lebih banyak kontak dengan polutan dan lebih efisien dalam mengakumulasi polutan dibanding tipe tallus yang lain (Scerbo *et. al* 2002). Pada penelitian ini jenis *Parmelia* lebih efisien mengakumulasi Pb dan Cr dibanding jenis *Cryptochenia* dan *Phycia*.



Gambar 2. Kandungan Pb dan Cr (ppm) pada jenis liken *Cryptochenia*, *Phycia* dan *Parmelia*.

Jenis *Crypthocenia* dan *Phycia* mengakumulasi Pb dan Cr lebih tinggi pada lokasi A yang dekat dengan jalan Raya Babakan Madang dibanding dengan lokasi B yang letaknya agak jauh dari jalan raya. Hal ini sesuai dengan pendapat Cristofolini *et al.* (2008), bahwa kandungan logam pada tallus liken berkorelasi dengan kandungan logam yang ada di atmosfer, dimana semakin dekat dengan

sumber polutan akan semakin tinggi konsentrasi logam pada tallus liken, begitu juga dengan sebaliknya. Jenis logam timbal (Pb) merupakan sumber utama pencemaran di daerah perkotaan, terutama daerah dengan kepadatan lalu lintas tinggi, akumulasi Pb berkorelasi cukup kuat ($r^2=83\%$) dengan kepadatan lalu lintas (Nursal *et al* 2005). Oleh karena itu penggunaan liken sebagai alat biomonitoring untuk mengevaluasi kontaminasi udara termasuk kontaminasi logam berat banyak digunakan. Pada penelitian ini jenis *Parmelia* dapat mengakumulasi logam berat jenis Pb dan Cr paling tinggi dibandingkan jenis *Cryptochenia* dan *Physcia*, sehingga dapat dijadikan bioindikator sensitif terhadap kualitas udara di Kawasan Sentul *Eco Edu Tourism Forest*. Perbedaan sensitifitas liken terhadap pencemaran udara dapat melalui perubahan keanekaragamannya dan akumulasi polutan pada talusnya. (Panjaitan, 2012).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat Sembilan jenis liken dengan dua jenis tipe tallus yaitu *Foliose* dan *Crustose*, tipe tallus *Crustose* lebih banyak ditemukan dibanding tipe tallus *Foliose*. Berdasarkan jumlah individu yang ditemukan jenis *Parmelia* (sembilan individu) paling sedikit dan hanya ditemukan di lokasi B dan C, sedangkan jenis *Cryptochenia effusa* paling banyak (126 individu) dan terdapat di semua lokasi pengamatan. Disamping itu jenis *Parmelia* paling banyak mengakumulasi jenis logam Pb dan Cr dibanding jenis *Crypthocenia* dan *Physcia*, sehingga jenis *Parmelia* dapat dijadikan sebagai bioindikator untuk mengetahui kualitas udara di Kawasan Sentul *Eco Edu Tourism Forest* Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abas, A. and Awang, A. 2015. Determination of Air Pollution Using Biological Indicator (Lichen) Case Study: Bandar BaruBangi. *Geografia: Malaysia Journal of Society and Space*. 11 (9): 67-74.
- Bajpai R, Upreti DK, Nayaka S, Kumari B. 2010. Biodiversity, bioaccumulation and physiological changes in lichens growing in the vicinity of coal-based

- thermal power plant of Raebareli district, north India. *J Hazard Mater* 174:429–43.
- Bargagli R, Monaci F, Borghini F, Bravi F, Agnorelli C. 2002. Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmelia caperata* in a former mining district in Italy. *Environ Pollut* 116:279–287.
- Bates JW. 2002. Effects on bryophytes and lichens. In: Bell JNB, Treshow M (ed). *Air Pollution and Plant Life*. 2nd ed. London: John Wiley & Sons, Ltd. p 309-342.
- Bennett JP, Wetmore CM. 1999. Changes in element contents of selected lichens over 11 years in northern Minnesota, USA. *Environ Exp Bot*. 41:75–82.
- Blasco M, Domeno C, Lopez P, Nerin C. 2011. Behaviour of different lichen species as biomonitors of air pollution by PAHs in natural ecosystems. *J Environ Monit*. 13:2588.
- Boonpragob, K. 2003. Using Lichens as Bioindicator of airpollution. [www.pcd.go.th › count › airdl › FileName=31_LichenAcidDep](http://www.pcd.go.th/count/airdl/FileName=31_LichenAcidDep) (diakses 26 Agustus 2019).
- Cheng Z, Luo L, Wang S, Wang Y, Sharma S, Shimadera H, Wang X, Bressi M, Miranda RM, Jiang J, et al. 2016. Status and characteristics of ambient PM_{2.5} pollution in global megacities. *Environ. Int*. 212–221.
- Cristofolini F, Giordani P, Gottardini E, Modenesi P .2008. The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: a case study from the Italian Prealps. *Environ Pollut* 151: 308–317.
- D’Amato G. 2011. Effects of climatic changes and urban air pollution on the rising trends of respiratory allergy and asthma. *Multidisciplinary Respiratory Medicine* 6: 28–37.
- Divakar PK, Upreti DK. 2005. *Parmelioid Lichens in India* (A Revisionary Study). Dehra Dun: Bishen Singh Mahendra Pal Singh.
- Hasairin A, Pasaribu, Sudirman, Widhiastuti R. 2015. Accumulation of Lead (Pb) in the Talus Lichenes Contained in Mahogany Tree Stands of Roadside of Medan City. *Environment and Pollution*. 4 (1): 19-28.
- Hauck M. 2011. Site factors controlling epiphytic lichen abundance in northern coniferous forests. Review. *Flora*. 206: 81-90.

- Kinaliglou K, Ozbucak TB, Kutbay HG, Huseyinova R, Bilgin A, Demirayak, A. 2010. Biomonitoring of Trace Elements with Lichens in Samsun, Turkey. *Ekoloji*. 19(75): 64-70.
- Kuldeep S, Prodyut B. 2015. Lichen as a Bio-Indicator Tool for Assessment of Climate and Air Pollution Vulnerability: Review. *Int. Res. J. Environment Sci.* 4(12):107-117.
- Marianingsih P, Amelia E, Niska Nurhayati N. 2017. Keanekaragaman liken Pulau Tunda Banten sebagai konten pembelajaran keanekaragaman hayati berbasis potensi local. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP UNTIRTA*.
- McMullin RT, Bennett LL, Bjorgan OJ, Bourque DA, Burke CJ, M.A. Clarke MA, Gutgesell MK, Krawiec PL, Malyon R, Mantione A, Piotrowski AT, Tam NY, Van Natto AC, Wiersma YF, Newmaster SG. 2016. Impact of air pollution and population density on lichen diversity in the Niagara Escarpment World Biosphere Reserve. *The Lichenologist* 48: 593–605.
- McMullin RTD, Ure M, Smith HC, Wiersma YF. 2017. Ten years of monitoring air quality and ecological integrity using field-identifiable lichens at Kejimikujik National Park and National Historic Site in Nova Scotia, Canada. *Ecological Indicators* 81: 214–221.
- Monaghan M, Wiersma YF. 2018. *Parmelia sulcata* as a bioindicator of air pollution in Newfoundland, Canada. *Evansia*. 35(1): 30-35.
- Mulyadi. 2017. Jenis lichenes di Kawasan Gugop Pulo Breuh Kecamatan Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Biotik*. 5(2): 83-87.
- Nash TH. 2008. *Lichen Biology*. 4th edition. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Nimis, P.L, Scheidegger, C., Wolseley, P.A. 20.
- Negi HR. 2003. Lichens: A valuable bioresource for environmental monitoring and sustainable development. *Resonance*: 51-58.
- Nursal, Firdaus, Basori. 2005. Akumulasi timbal (Pb) pada talus lichenes di kota Pekanbaru. *Biogenesis*. 1(2): 47-50.
- Panjaitan, Desi Maria, Fitmawati dan Atria Martina. 2012. *Keanekaragaman Lichen Sebagai Bioindikator Pencemaran Udara di Kota Pekanbaru Provinsi Riau*. Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unriau. 1: 1 – 17.
- Purvis W. 2000. *Lichens*. Washington DC: Smithsonian Institution Press.

- Rindita, Sudirman L, Koesmaryono Y. 2015. Air Quality Bioindicator Using the Population of Epiphytic Macrolichens in Bogor City, West Java. *HAYATI Journal of Biosciences*. 22 (2): 53-59.
- Samsudin, MW, Azahar H, Abas A, Zakaria Z. 2013. Determination of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (UKM) Contents Using Lichen *Dirinaria picta* in Universiti Kebangsaan Malaysia. *Journal of Environmental Protection*. 4: 760-765.
- Scerbo R, Ristori R, Possenti L, Lampugnani L, Barale L, Barghigiani C. 2002. Lichen (*Xanthoria parietina*) Biomonitoring of Trace Element Contamination and Air Quality Assessment in Livorno Province (Tuscany, Italy). *The Science of the Total Environment*. 241, 91-106.
- Wetmore CM. 1989. *Lichens and air quality in White Mountain National Forest Wilderness Areas*. Final Report. Botany Department, University of Minnesota. St.Paul. Minnesota.
- Will-Wolf S, Jovan S, Neitlich P, Peck JE, Rosentreter R. 2015. Lichen-based indices to quantify responses to climate and air pollution across northeastern U.S.A. *The Bryologist* 118(1): 059–082.
- Zahradníková M. 2010. Does the traffic flow affect the lichen diversity? A case study from the Novohradské hory Mts, Czech Republic. *Acta Univ. Carol. Environ.* 1-2:27-44.