



Seminar Biologi Kebangsaan 2025

<https://semarakilmu.my/index.php/spnes/index>
ISSN: 3083 - 8193



Lumut Jati Sebagai Bioindikator Pemendapan Logam Berat di Sekitar Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz, Kapar, Klang, Selangor

Moss as a Bioindicator of Heavy Metal Deposition Around the Sultan Salahuddin Abdul Aziz Electric Power Station, Kapar, Klang, Selangor

Fazatul Adawiyah Hamdan¹, Aznan Fazli Ismail², Nik Norhazrina^{1,3,♥}

¹ Jabatan Sains Biologi dan Bioteknologi, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

² Jabatan Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

³ Herbarium UKMB, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

ABSTRACT

Stesen Janakuasa Elektrik berasaskan arang batu merupakan antara penyumbang utama peningkatan indeks pencemaran udara, yang memberi kesan buruk kepada manusia dan ekosistem. Namun, peralatan konvensional sedia ada memerlukan kepakaran tinggi serta kos yang mahal. Justeru, kajian ini dijalankan untuk menilai potensi lumut jati sebagai bioindikator dalam pemantauan pencemaran logam berat di kawasan perindustrian. Ini kerana lumut jati berupaya menyerap logam berat daripada atmosfera melalui permukaan yang luas dan mempunyai kadar metabolisme yang rendah. Lokasi pensampelan adalah di sekitar Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz, Kapar, Klang, Selangor (kawasan tercemar), manakala Bukit Fraser, Pahang dipilih sebagai lokasi kawalan (kurang tercemar). Sampel lumut jati dikutip, dikeringkan dan diayak dengan penapis 100 μm , kemudian diproses menjadi pelet menggunakan asid borik sebelum dianalisis melalui kaedah Sinar-X Pendarfluor (XRF). Enam unsur logam berat yang dianalisis ialah natrium (Na), ferum (Fe), kuprum (Cu), kalium (K), zink (Zn) dan mangan (Mn). Data kepekatan logam berat dibandingkan menggunakan Ujian-t Sampel Tidak Bersandar untuk menentukan perbezaan signifikan, manakala ANOVA sehalu digunakan untuk menilai sama ada jarak dari sumber pencemaran memberi kesan terhadap kepekatan logam dalam sampel. Hasil menunjukkan tiada perbezaan signifikan ($p > 0.05$) antara kepekatan logam berat di Klang dan Bukit Fraser. ANOVA juga menunjukkan jarak dari sumber pencemaran tidak mempengaruhi taburan logam dalam lumut jati. Namun, sisihan piawai besar dan variasi lokasi ketara menunjukkan faktor persekitaran seperti kelembapan, kedudukan berhampiran sistem saliran dan variasi spesies boleh mempengaruhi corak bioakumulasi. Oleh itu, penggunaan lumut jati sesuai dijadikan sebagai bioindikator pencemaran logam berat secara saintifik dan mampan.

Coal-fired power stations are among the main contributors to the increase in air pollution indices, which have adverse effects on humans and ecosystems. However, existing conventional equipment requires high expertise and is expensive. Therefore, this study was conducted to evaluate the potential of moss as a bioindicator in monitoring heavy metal pollution in industrial areas. This is because moss is able to absorb heavy metals from the atmosphere through a large surface area and has a low metabolic rate. The sampling location was around the Sultan Salahuddin Abdul Aziz Power Station, Kapar, Klang, Selangor (polluted area), while Bukit Fraser, Pahang was chosen as the control location (less polluted). Moss samples were collected, dried and sieved with a 100 μm filter, then processed into pellets using boric acid before being analyzed using the X-ray Fluorescence (XRF) method. The six heavy metal elements analyzed were sodium (Na), iron (Fe), copper (Cu), potassium (K), zinc (Zn) and manganese (Mn). Heavy metal concentration data were compared using Unpaired Samples t-Test to determine significant differences, while one-way ANOVA was used to assess whether distance from the pollution source affected the metal concentration in the sample. The results showed that there was no significant difference ($p > 0.05$) between heavy metal concentrations in Klang and Bukit Fraser. ANOVA also showed that distance from the pollution source did not affect the distribution of metals in moss. However, the large standard deviation and

♥ Corresponding author.

E-mail address: riena@ukm.edu.my

significant location variation indicate that environmental factors such as humidity, proximity to drainage systems and species variation can affect the bioaccumulation pattern. Therefore, the use of moss is suitable as a bioindicator of heavy metal pollution in a scientific and sustainable manner.

Keywords: Lumut jati; indeks pencemaran udara; bioindicator; Moss; air pollution index; bioindicator

1. Pengenalan

Peningkatan aktiviti manusia dalam sektor perindustrian, terutamanya operasi stesen janakuasa elektrik, telah menyumbang kepada tahap pencemaran udara yang semakin kritikal kerana aktiviti tersebut membebaskan elemen kimia berbahaya seperti Natrium (Na), Ferum (Fe), Kalium (K), Kuprum (Cu), Zink (Zn), Mangan (Mn) yang boleh memudaratkan kesihatan manusia. Malah, pencemaran ini turut mengugut kestabilan ekosistem. Logam berat ini bersifat kekal dalam persekitaran untuk jangka masa yang panjang sehingga menyebabkan ketoksikan kronik kepada flora, fauna dan manusia melalui rantai makanan [1].

Hampir keseluruhan penduduk dunia kini terdedah kepada udara melebihi had kualiti yang telah ditetapkan oleh Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO), menunjukkan betapa seriusnya masalah pencemaran udara secara global. Keadaan ini semakin membimbangkan, lebih-lebih lagi di Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz, Kapar, Klang, Selangor yang merupakan salah satu stesen janakuasa bersumberkan arang batu terbesar di Malaysia. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk menggunakan lumut jati sebagai bioindikator bagi mengesan pemendapan logam berat serta menilai kualiti udara di kawasan industri yang berasaskan arang batu dan membandingkannya dengan kawasan yang tidak tercemar. Lokasi kajian meliputi kawasan sekitar Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz, Kapar, Selangor dan Bukit Fraser, Pahang. Penggunaan bioindikator seperti lumut jati yang berupaya menyerap bahan pencemar daripada atmosfera mampu memberikan alternatif yang lestari bagi mengesan tahap pencemaran, berbanding kaedah konvensional yang mahal dan kompleks.

2. Kaedah

2.1 Lokasi Kajian

Kajian ini melibatkan pengutipan sampel lumut pada 26 November 2024 di sekitar Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz, Kapar, Klang, Selangor dan pada 19 Disember 2024 di kawasan Bukit Fraser, Pahang. Sampel lumut telah dikutip setiap 500 m bagi jarak 5 km bermula dari Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz. Lokasi pensampelan di Bukit Fraser ialah di kawasan Air Terjun Jeriau.

2.2 Pensampelan Lumut Jati

Semasa di lapangan, sarung nitril dipakai terlebih dahulu sebelum sampel lumut jati dipisahkan daripada substrat (batu dan tanah) dengan menggunakan forsep plastik. Kemudian, sampel dimasukkan ke dalam beg plastik kecil. Koordinat lokasi pensampelan direkodkan dengan menggunakan Sistem Kedudukan Sejagat (GPS). Maklumat lokasi, tarikh, altitud, jenis substrat dan nombor koleksi sampel ditulis pada beg plastik tersebut dengan pen penanda [2].

2.3 Pengurusan dan Pengecaman Spesies

Sampel dikeringkan di Rumah Kurasi, Kompleks Rumah Tumbuhan, Fakulti Sains dan Teknologi, UKM pada suhu bilik dengan membuka beg plastik sampel. Kemudian, sebahagian sampel bagi setiap beg plastik dimasukkan ke dalam sampul untuk dijadikan sebagai spesimen herbarium dan disimpan di Herbarium Universiti Kebangsaan Malaysia (UKMB). Pengecaman spesies dilakukan dengan melakukan pemerhatian di bawah mikroskop cahaya dan mikroskop stereo, seterusnya ciri morfologi gametofit dan sporofit dinilai berpandukan kekunci, huraian dan ilustrasi yang terdapat dalam [3].

2.4 Penyediaan Sampel untuk Analisis X-Ray Fluorescence (XRF)

Lumut dibersihkan menggunakan air ternyahion bagi menanggalkan kotoran, diikuti proses pengeringan pada suhu 60°C selama 48 jam. Seterusnya, sampel tersebut dihancurkan sehingga menjadi serbuk halus dengan menggunakan lesung dan alu agate. Kemudian, asid borik digunakan sebagai pengikat dan dimampatkan menjadi pelet menggunakan penekan hidraulik bertekanan 16 tan. Pelet yang dihasilkan kemudiannya dianalisis menggunakan peranti ZSX Primus IV XRF yang memancarkan sinar-X bagi mengukur kepekatan logam berat seperti Cu, Zn, Fe, Mn, Pb dan Cd [4].

2.5 Analisis Data

Ujian-t Sampel Tidak Bersandar digunakan bagi membandingkan kepekatan logam berat antara dua lokasi utama, manakala, analisis Varian Sehala (ANOVA) untuk menilai kesan jarak (1–5 km) terhadap variasi kepekatan logam berat di sekitar kawasan janakuasa. Kedua-duanya menggunakan perisian SPSS (2025).

3. Hasil dan Perbincangan

Spesies lumut jati yang digunakan dalam kajian ini ialah *Hyophila involuta*, *Barbula consanguinea* dan *Bryum coronatum*. Keputusan analisis ANOVA Sehala (Jadual 1, Jadual 2) menunjukkan bahawa kepekatan parameter bagi pelbagai jarak pemerhatian adalah sangat berubah-ubah dan tidak seragam. Walaupun terdapat jarak tertentu yang mencatatkan purata kepekatan lebih tinggi berbanding jarak lain, perbezaan tersebut didapati tidak signifikan secara statistik. Selain itu, variasi tinggi antara sampel dengan julat nilai yang luas serta sisihan piawai yang besar menunjukkan bahawa wujud pengaruh faktor luaran yang tidak terkawal terhadap hasil pemerhatian.

Analisis kepekatan logam berat dalam sampel lumut di sekitar Stesen Janakuasa Sultan Salahuddin Abdul Aziz Kapar, Klang, Selangor menunjukkan bahawa walaupun terdapat variasi kepekatan mengikut jarak, ujian ANOVA Sehala mendapati perbezaan tersebut tidak signifikan secara statistik ($F=0.639$, $p=0.758$). Variasi data yang tinggi, sisihan piawai besar dan kewujudan nilai ekstrem menunjukkan pengaruh faktor luaran seperti keadaan cuaca, arah dan kelajuan angin, sumber pencemaran sekunder serta perbezaan ciri persekitaran. Selain itu, faktor tanah, bahan organik, pH dan aktiviti antropogenik turut mempengaruhi pengumpulan logam berat [5].

Jadual 1

Hasil analisis Anova Sehala bagi kepekatan logam sepanjang 5 km dari Stesen Janakuasa Elektrik Sultan Salahuddin Abdul Aziz, Kapar, Klang, Selangor

Parameter	N	Min	Sisihan Piawai	Ralat Sisihan Piawai	Selang Keyakinan 95% bagi min		Minimum	Maksimum
					Had Bawah	Had Atas		
0.1	6	14285.17	20677.97	8441.76	-7415.03	35985.36	281	49000
1.0	6	16256.33	21995.19	8979.50	-6826.21	39338.87	168	45100
1.5	6	19481.67	26433.01	10791.23	-8258.07	47221.41	0	59600
1.9	6	16603.33	22388.36	9140.01	-6891.81	40098.47	0	45900
2.2	6	21898.50	29847.97	12185.38	-9425.02	53222.02	0	69800
2.9	6	10815.00	18457.31	7535.17	-8554.76	30184.76	483	47600
3.3	6	16102.00	22659.75	9250.81	-7677.95	39881.95	358	54100
3.9	6	19793.50	31450.69	12839.69	-13211.97	52798.97	123	75500
4.9	6	15297.67	21846.93	8918.97	-7629.28	38224.61	0	46000
5	6	79780.50	181417.9	74063.56	-110605.94	270166.94	303	450000
Jumlah	60	23031.37	60108.65	7759.99	7503.66	38559.08	0	450000

Jadual 2

Hasil analisis Anova Sehala untuk sampel lumut jati

	Jumlah Kuasa Dua	Darjah Kebebasan	Purata Kuasa Dua	F	Signifikan
Antara Kumpulan	2.20×10^{10}	9	2443742819	0.639	0.758
Dalam Kumpulan	1.91×10^{11}	50	3823524763		
Jumlah	2.13×10^{11}	59			

Ujian-t Sampel Tidak Bersandar (Jadual 3) menunjukkan hanya unsur natrium (Na) dan kalium (K) mempunyai perbezaan signifikan antara kawasan perindustrian Klang dan Bukit Fraser ($p < 0.05$), manakala unsur ferum (Fe), kuprum (Cu), mangan (Mn) dan zink (Zn) tidak menunjukkan perbezaan ketara. Oleh itu, taburan logam berat secara keseluruhan adalah hampir seragam antara kedua-dua kawasan, kecuali bagi Na dan K yang menunjukkan variasi jelas.

Keputusan analisis menunjukkan bahawa walaupun terdapat perbezaan min kepekatan logam berat antara Klang dan Bukit Fraser, nilai ralat piawai yang besar menandakan variasi dalaman yang tinggi. Ini menyukarkan interpretasi kerana faktor setempat seperti keadaan meteorologi, spesies lumut dan masa pengambilan sampel mungkin mempengaruhi pengumpulan logam berat. Situasi ini berbeza dengan kajian di kawasan janakuasa arang batu di Thailand yang melaporkan kepekatan merkuri tinggi, ketiadaan perbezaan signifikan mungkin disebabkan oleh teknologi kawalan pencemaran, faktor geografi dan iklim tempatan [6].

Jadual 3

Hasil analisis Ujian-t Sampel Tidak Bersandar

		Ujian Levene untuk Kesamaan Varians		Ujian-t untuk Kesamaan Min				Selang Keyakinan 95% bagi Perbezaan Min		
		F	Sig.	t	df	Sig (dua hala)	Perbezaan Min	Ralat Piawai Perbezaan Min	Had Bawah	Had Atas
Na	Andaian varians seragam	1.28	0.28	-1.82	11.00	0.09	-2067.66	1131.97	-4559.11	423.78
	Andaian varians tidak seragam			-0.26	7.70	0.03	-2067.66	779.32	-3876.71	-258.62
Fe	Andaian varians seragam	1.39	0.26	-0.52	11.00	0.60	-443236.66	837361.48	-2286256.87	1399783.54
	Andaian varians tidak seragam			-0.99	9.00	0.34	-443236.66	444773.94	-1449291.01	562817.68
K	Andaian varians seragam	4.00	0.07	-1.76	11.00	0.10	-17442.00	9891.28	-39212.56	4328.56
	Andaian varians tidak seragam			-3.30	9.13	0.00	-17442.00	5272.03	-29340.89	-5543.10
Cu	Andaian varians seragam	3.41	0.09	-0.96	11.00	0.35	-968.06	1000.35	-3169.83	1233.69
	Andaian varians tidak seragam			-1.81	9.08	0.10	-968.06	532.49	-2170.87	234.74
Mn	Andaian varians seragam	1.67	0.22	0.25	11.00	0.80	575.83	2306.14	-4499.95	5651.62
	Andaian varians tidak seragam			0.45	10.26	0.66	575.83	1272.11	-2248.88	3400.54
Zn	Andaian varians seragam	2.23	0.16	0.58	11.00	0.57	1443.03	2484.58	-4025.50	6911.57
	Andaian varians tidak seragam			0.42	2.41	0.70	1443.03	3390.68	-10991.09	13877.16

4. Penutup

Dapatan kajian menunjukkan tiada perbezaan signifikan kepekatan logam berat dalam lumut jati antara kawasan perindustrian Klang dan Bukit Fraser ($p=0.647$, $p>0.05$), serta tiada hubungan antara jarak dari sumber pencemaran dengan taburan logam berat ($p=0.758$, $p>0.05$). Oleh itu, taburan logam berat bukan dipengaruhi oleh jarak sahaja tetapi faktor seperti arah angin, kelembapan, topografi, sistem saliran serta sumber pencemaran sekunder seperti lalu lintas dan aktiviti industri berhampiran. Kajian ini membuktikan potensi lumut sebagai bioindikator yang berkesan, praktikal dan ekonomik dalam pemantauan logam berat.

Penghargaan

Sekalung penghargaan buat Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) atas Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS/1/2023/WAB11/UKM/02/1) yang menampung sebahagian daripada projek penyelidikan ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia.

Rujukan

- [1] Radziemska, Maja, Zbigniew Mazur, Agnieszka Bes, Grzegorz Majewski, Zygmunt M. Gusiatin, and Martin Brtnicky. "Using Mosses as Bioindicators of Potentially Toxic Element Contamination in Ecologically Valuable Areas Located in the Vicinity of a Road: A Case Study." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16, no. 20(2019): 3963. <https://doi.org/10.3390/ijerph16203963>.
- [2] "Bryophyte Ecology Volume 3 Ebook | Bryophyte Ecology | Michigan Technological University." 2025. Mtu.edu. 2025. <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology3/>.
- [3] Eddy, Alan. 1990. *A Handbook of Malesian Mosses. 2, Leucobryaceae to Buxbaumiaceae*. London: British Museum.
- [4] Xiao, Yingrui, Chengzhi Xue, Xi Wang, Yucheng Liu, Zhou Yang, and Shengzhong Liu. "Bulk Heterostructure BA2Pb14/MAPb13 Perovskites for Suppressed Ion Migration to Achieve Sensitive X-Ray Detection Performance." *ACS Applied Materials & Interfaces* 14, no. 49(2022): 54867–75. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c17715>.
- [5] Xi, Zengfu, Yunhong Xu, Baoguo Ma, and Shuji Wang. "Evolution of Heavy Metal Contents in the Soil of Protected Vegetable Fields and Its Environmental Quality Evaluation in Yongnian County of Hebei Province in China." *World Journal of Engineering* 13, no. 3 (2016): 258–65. <https://doi.org/10.1108/wje-06-2016-035>.
- [6] Chinwetkitvanich, S. (2017). Mercury Contamination in Environment Surrounding Coal-Fired Power Plant. *International Journal of GEOMATE*. <https://doi.org/10.21660/2017.33.2581>