

Assessing of the weight metal contamination of timbal (Pb), cadmium (Cd), and mercury (Hg) in vegetables in the agricultural region of Aceh Jaya using atomic absorption spectrofotometry method.

Kajian cemaran logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) pada sayuran di daerah pertambangan Aceh Jaya secara spektrofotometri serapan atom.

Rina Kurniaty^a, T.M. Dayan Adiyana^a, Muhammad Yusuf^a, Mahmudi Mahmudi^{a*}

^a Program Studi Farmasi, STIKes Assyifa Aceh, Banda Aceh 23242, Aceh, Indonesia.

Corresponding Author: mudie2005@gmail.com

Abstract

Heavy metal contamination in vegetables poses a threat to humans, especially at predetermined thresholds. In this study, Pb, Cd, and Hg metals were analyzed using Flame - Atomic Absorption Spectrometry (F-AAS) and Vapor Generation Accessory - Atomic Absorption Spectrometry (VGA-AAS) methods at mining areas in Krueng Sabee Sub-District, Aceh Jaya District, Aceh Province. Method validation was conducted to obtain accurate heavy metal analysis results on the samples. The results showed that the highest Pb metal contamination was found in cassava leaf I sample with levels of 2.44 ± 1.33 mg/Kg and the lowest was found in spinach III sample with levels of 0.15 ± 0.07 mg/Kg. The high Pb content was also found in kale I and spinach I samples obtained in areas close to the mining area with levels of 1.07 ± 0.59 mg/Kg and 0.93 ± 0.50 mg/Kg, respectively. The highest Cd metal contamination content was found in kale II samples with levels of 0.11 ± 0.01 mg/Kg and the lowest Cd metal contamination with levels of 0.02 ± 0.01 mg/Kg was found in cassava leaf II samples. The highest Hg metal content of 0.58 ± 0.12 mg/Kg was found in cassava leaf I sample and the lowest level was 0.04 ± 0.02 mg/Kg owned by spinach III sample. Contamination of Hg metal in all vegetable samples showed levels that were above the established SNI 7387 (2009) quality standard of 0.03 mg/Kg. The quality standards for Pb and Cd metal contamination are 0.5 mg/Kg and 0.2 mg/Kg, respectively. This study shows the need for government monitoring of heavy metal contamination in agricultural areas near mining activities to ensure safe food consumption.

Keywords: Vegetables, Heavy metals, F-AAS, VGA-AAS

Abstrak

Cemaran logam berat pada sayuran menjadi ancaman bagi manusia, terutama pada ambang batas yang telah ditentukan. Pada penelitian ini telah dilakukan analisa logam Pb, Cd, dan Hg menggunakan metode Flame - Atomic Absorption Spectrometry (F-AAS) dan Vapor Generation Accessory - Atomic Absorption Spectrometry (VGA-AAS) pada kawasan pertambangan didaerah kecamatan Krueng Sabee, Kabupaten Aceh Jaya, Provinsi Aceh. Validasi metode dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis logam berat yang akurat pada sampel. Hasil menunjukkan bahwa cemaran logam Pb tertinggi terdapat pada sampel daun singkong I dengan kadar $2,44 \pm 1,33$ mg/Kg dan yang terendah ditemukan pada sampel bayam III dengan kadar $0,15 \pm 0,07$ mg/Kg. Kandungan Pb yang tinggi juga ditemukan pada sampel kangkung I dan Bayam I yang diperoleh pada daerah dekat dengan kawasan pertambangan dengan kadar masing-masing $1,07 \pm 0,59$ mg/Kg dan $0,93 \pm 0,50$ mg/Kg. Kandungan cemaran logam Cd tertinggi ditemukan pada sampel kangkung II dengan kadar yaitu $0,11 \pm 0,01$ mg/Kg dan cemaran logam Cd terendah dengan kadar $0,02 \pm 0,01$ mg/Kg terdapat dalam sampel daun singkong II. Kandungan kadar logam Hg tertinggi yaitu $0,58 \pm 0,12$ mg/Kg ditemukan dalam sampel daun singkong I dan kadar yang terendah yaitu $0,04 \pm 0,02$ mg/Kg yang dimiliki oleh sampel bayam III. Cemaran

logam Hg pada semua sampel sayuran menunjukkan kadar yang berada diatas baku mutu SNI 7387 tahun 2009 yang telah ditetapkan yaitu 0,03 mg/Kg. Baku mutu untuk cemaran logam Pb dan Cd yaitu masing-masing 0,5 mg/Kg dan 0,2 mg/Kg. Penelitian ini menunjukkan perlunya pemantauan pemerintah tentang cemaran logam berat di area pertanian di dekat kegiatan pertambangan untuk memastikan konsumsi makanan yang aman.

Kata kunci: Sayuran, Logam berat, F-AAS, VGA-AAS



Copyright © 2020 The author(s). You are free to : **Share** (copy and redistribute the material in any medium or format) and **Adapt** (remix, transform, and build upon the material) under the following terms: **Attribution** — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use; **NonCommercial** — You may not use the material for commercial purposes; **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original. Content from this work may be used under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Article History:

Received: 03/02/2024,
Revised: 22/07/2024
Accepted: 23/07/2024,
Available Online : 11/08/2024.

QR access this Article



<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v7i3.448>

Pendahuluan

Sayuran merupakan salah satu produk pertanian hortikultura yang memiliki nilai tambah bagi pembangunan nasional karena dapat memberikan andil yang cukup besar dalam meningkatkan penghasilan dan kesejahteraan masyarakat. Kegiatan pertanian hortikultura khususnya tanaman sayuran yang saat ini banyak dikembangkan, selain memiliki peran yang sangat besar dalam pemenuhan gizi masyarakat, komoditi ini juga sangat berpotensi dan prospek untuk dijalankan karena cara budidayanya yang sangat mudah dan sederhana [1].

Sayuran merupakan sumber makanan yang mengandung banyak nutrisi dan mineral yang secara langsung berperan penting dalam meningkatkan kesehatan. Oleh karena itu, ke higienisan dan keamanan sayuran yang dikonsumsi sangat penting dijaga agar tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Sayuran juga banyak ditanam di sawah, kebun dan beberapa di antaranya dekat dengan jalan raya, sehingga keamanannya kurang terjamin dan perlu mendapat perhatian serius, terutama kemungkinan tercemarnya logam berat seperti logam timbal [2].

Pencemaran logam umumnya terjadi oleh aktifitas manusia, seperti pertambangan. Kawasan Krueng Sabee Kabupaten Aceh Jaya terdapat pertambangan emas yang telah lama melakukan kegiatan tambang. Banyak masyarakat disekitar tambang yang berprofesi sebagai petani sayuran seperti singkong, bayam, kangkong, dan sayuran lainnya. Salah satu permasalahan lingkungan yang dapat mengganggu budidaya sayuran adalah pencemaran yang dihasilkan dari buangan limbah pertambangan yang mengandung logam berat [3]). Logam berat berbahaya yang seringkali mencemari lingkungan antara lain timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) [4]. Jika sayuran yang tercemar logam berat dikonsumsi, maka dapat merusak jaringan hati dan ginjal, serta dapat menimbulkan keracunan kronis [5].

Analisis kandungan logam berat seperti merkuri, timbal dan kadmium dapat ditentukan dengan metode Spektrometri Serapan Atom (AAS), karena memiliki tingkat kepekaan yang tinggi, mudah, cepat, dan hanya dibutuhkan sedikit sampel [6]. Analisis ini juga lebih sensitif, spesifik terhadap unsur yang ditentukan, dan dapat dipakai untuk mengetahui kadar unsur yang konsentrasinya sangat kecil tanpa harus dipisahkan terlebih dahulu. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan kandungan cemaran logam berat yaitu logam Pb, Cd, dan Hg yang terkandung dalam sayuran yang tumbuh disekitar area pertambangan di Kecamatan Krueng Sabee, Kabupaten Aceh Jaya, Provinsi Aceh. Hasil dari penelitian ini diharapkan sebagai

informasi di kawasan sekitar tambang untuk berhati-hati mengkonsumsi sayuran yang tumbuh disekitar tambang.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk analisis logam berat yaitu Flame - Atomic Absorption Spectrometry (F - AAS) (Thermo Fisher Scientific - iCE 3500 Series AA, Amerika Serikat) dilengkapi dengan Hollow Cathode Lamp untuk logam Pb dan Cd, Vapour Generation Accessory - Atomic Absorption Spectrometry (VGA - AAS) (Agilent Technologies - 200 Series AA System, Amerika Serikat) dilengkapi dengan Hollow Cathode Lamp untuk logam Hg. Bahan - bahan yang digunakan adalah sampel (daun singkong, daun bayam dan daun kangkung), aquadest, hidrogen peroksida 30% (H₂O₂ 30%), asam nitrat pekat (HNO₃), Asam Klorida pekat (HCl), larutan standar logam timbal (Pb(NO₃)₂), larutan standar logam kadmium (Cd(NO₃)₂), larutan standar logam merkuri (Hg(NO₃)₂).

Pengambilan sampel

Sampel sayur-sayuran yaitu daun singkong, daun bayam dan daun kangkung diperoleh di kawasan Paya Seumantok dengan titik koordinat 4.628°N 95.672°E, Gampong Panggong titik koordinat 4.862°N 95.834°E, dan Gampong Buntha dengan titik koordinat 4.712°N 95.694°E, kecamatan Krueng Sabee, Kabupaten Aceh Jaya, Provinsi Aceh.

Pembuatan Larutan Standar

Larutan standar Pb, Cd dan Hg disiapkan mengacu pada penelitian Souza et al. [7], Larutan standar kalibrasi logam Pb yang digunakan yaitu level konsentrasi 0,10; 0,20; 0,40; 0,80; 1,60; dan 3,20 mg/Kg, untuk logam Cd yang digunakan yaitu level konsentrasi 0,30; 0,60; 0,90; 1,20; 1,50; dan 1,80 mg/Kg, sedangkan untuk logam Hg menggunakan level konsentrasi yaitu 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; dan 0,60 mg/Kg. Pada masing-masing larutan standar kalibrasi logam diukur nilai absorbansinya, untuk logam Pb dan Cd ditentukan menggunakan instrumen F - AAS, sedangkan logam Hg ditentukan menggunakan instrumen VGA - AAS [8].

Destruksi Sampel

Sampel sayur-sayuran dalam bentuk serbuk ditimbang 2 gram, dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 250 ml. Air demineralisasi (30 mL) dan HNO₃ p.a. (20 mL) ditambahkan dan diaduk menggunakan batang pengaduk. Panaskan dengan suhu 80°C selama 5 menit, dan H₂O₂ p.a. (5 mL) ditambahkan. Setelah dingin, larutan disaring dan diencerkan dengan air deionisasi dalam labu ukur 100 mL [9].

Penetapan Konsentrasi Pb, Cd, dan Hg

Analisis logam Pb dan Cd diukur dengan Flame - Atomic Absorption Spectrometry dan analisis logam Hg diukur dengan Vapour Generation Accessory - Atomic Absorption Spectrometry. Pengukuran logam Pb, Cd, dan Hg diukur dengan masing-masing panjang gelombang 283,3 nm, 228,8 nm, dan 253,7 nm [9].

Validasi Metode

Data konsentrasi Pb, Cd, dan Hg diperoleh berdasarkan kurva kalibrasi yang telah dibuat. Penentuan parameter validasi juga dilakukan berupa linearitas (R²), simpangan baku relatif (RSD) digunakan untuk menentukan presisi, untuk perolehan kembali (%Recovery) dihitung berdasarkan sinyal intensitas yang dihasilkan oleh spike sampel, limit deteksi (LoD), limit kuantifikasi (LoQ). Ketidakpastian pengukuran kadar sampel yang dinyatakan sebagai simpangan baku konsentrasi (Sc), yang dihitung berdasarkan nilai slope (m), intersep (b), standar deviasi slope (sm), standar deviasi intersep (sb), dan standar deviasi regresi (sr), persamaannya ditunjukkan pada tabel 1. Semua parameter dilakukan berdasarkan fungsi LINEST pada Microsoft Excel (Redmond, Washington, USA) [10].

Tabel 1. Rumus untuk pengukuran ketidakpastian

Name	Formula
Standard Deviation of Regression	$S_r = \sqrt{\frac{S_{yy} - m^2 S_{xx}}{N - 2}}$
Standard Deviation of Slope	$S_m = \sqrt{\frac{S_y^2}{\sum(\bar{X} - X_i)^2}} = \sqrt{\frac{S_y^2}{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2/N}}$
Standard Deviation of Intercept	$S_b = S_y \sqrt{\frac{S_y^2 \sum X_i^2}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}} = S_r \sqrt{\frac{1}{N - (\sum X_i)^2/\sum X_i^2}}$
Standard Deviation of the Concentration	$S_c = \frac{S_i}{m} \sqrt{\frac{1}{M} + \frac{1}{N} + \frac{(Y_c - Y_{ave})^2}{m^2 S_{xx}}}$
Limit of Detection	$LoD = 3.3 \times \frac{S_r}{slope}$
Limit of Quatification	$LoQ = 10 \times \frac{S_r}{slope}$

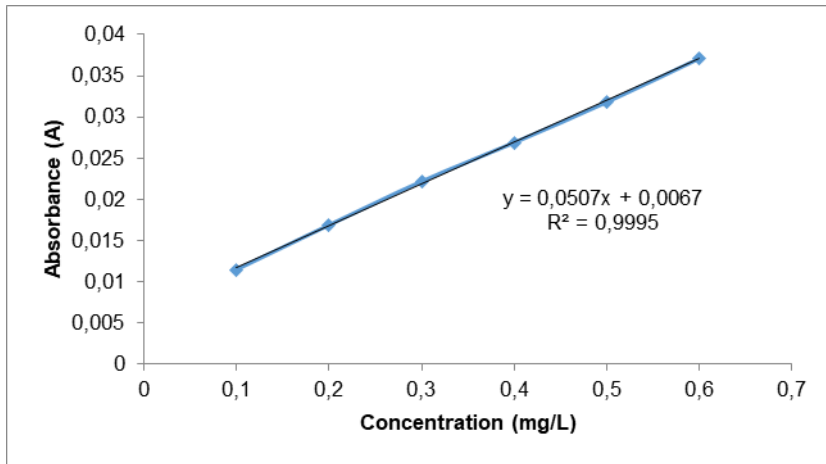
Hasil dan Diskusi

Penelitian tentang cemaran logam berat Pb, Cd, dan Hg yang terdapat pada sayuran di sekitar area pertambangan kawasan Aceh Jaya. Pengambilan sampel dilakukan di daerah Paya Seumantok dengan titik koordinat 4.628°N 95.672°E adalah titik pertama yang paling dekat yaitu sekitar 300 meter dengan pertambangan (daun singkong I, Kangkung I, dan Bayam I), daerah Gampong Panggong titik koordinat 4.862°N 95.834°E dijadikan titik kedua dengan jarak sekitar 600 meter dengan pertambangan (daun singkong II, Kangkung II dan Bayam II), sedangkan daerah Gampong Buntha dengan titik koordinat 4.712°N 95.694°E di jadikan titik ketiga dengan jarak 900 meter dengan pertambangan (daun singkong III, Kangkung III dan Bayam III), ketiga desa tersebut berada pada Kecamatan Krueng Sabee.

Tabel 2. Parameter metode validasi yang digunakan untuk menentukan kandungan logam berat

Standard	Linearity	R ²	RSD (%)	Recovery (%)	LoD (mg/L)	LoQ (mg/L)
Pb	y=0.016x + 0.0007	0.9996	0.97	100.17	0.021	0.050
Cd	y=0.243x + 0.004	0.9995	0.99	100.22	0.029	0.075
Hg	y=0.0507 + 0.0067	0.9995	1.04	102.04	0.022	0.059

Pengukuran logam berat diukur berdasarkan data validasi metode yang disajikan pada tabel 2 dan salah satu kurva kalibrasi untuk logam merkuri (Hg) ditunjukkan pada Gambar 1. Uji validasi dilakukan untuk mendapatkan hasil yang baik [11]. Logam-logam tersebut diukur dengan panjang gelombang yang sesuai dengan sensitivitas dan intensitas absorbansi gelombang masing-masing [12].



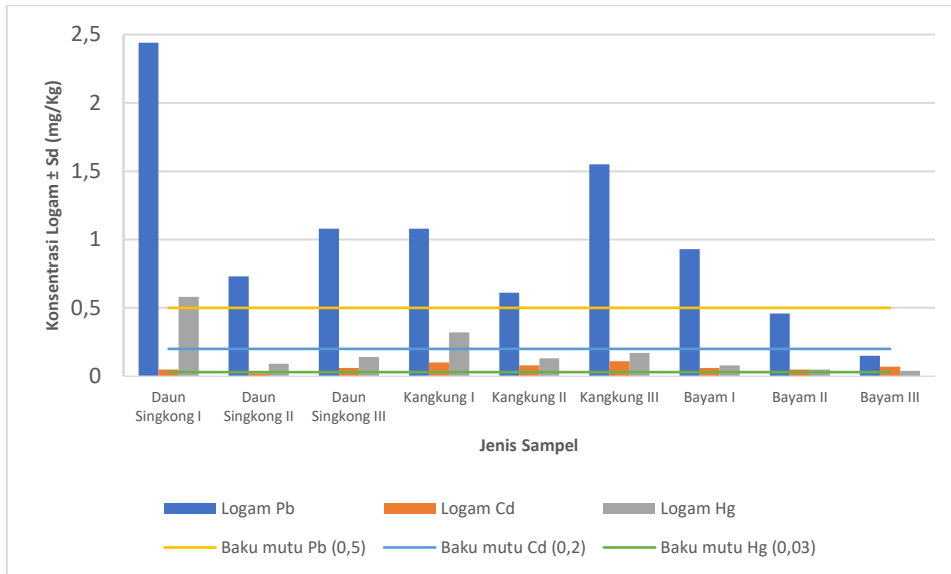
Gambar 1. Kurva kalibrasi logam merkuri (Hg)

Tabel 3. Kadar logam berat yang terkandung dalam sampel sayur-sayuran

No	Nama Sampel	Berat sampel (g)	Konsentrasi \pm Sd (mg/Kg)		
			Pb	Cd	Hg
1	Daun Singkong I	1,0083	2,44 \pm 1,33	0,05 \pm 0,02	0,58 \pm 0,12
2	Daun Singkong II	1,0094	0,73 \pm 0,39	0,02 \pm 0,01	0,09 \pm 0,01
3	Daun Singkong III	1,0037	1,08 \pm 0,58	0,06 \pm 0,01	0,14 \pm 0,02
4	Kangkung I	1,0021	1,07 \pm 0,59	0,10 \pm 0,01	0,32 \pm 0,06
5	Kangkung II	1,0032	1,55 \pm 0,84	0,11 \pm 0,01	0,17 \pm 0,03
6	Kangkung III	1,0055	0,61 \pm 0,33	0,08 \pm 0,01	0,13 \pm 0,02
7	Bayam I	1,0039	0,93 \pm 0,50	0,06 \pm 0,01	0,08 \pm 0,01
8	Bayam II	1,0061	0,46 \pm 0,24	0,05 \pm 0,02	0,05 \pm 0,02
9	Bayam III	1,0057	0,15 \pm 0,07	0,07 \pm 0,01	0,04 \pm 0,02

Tabel 3 menunjukkan hasil cemaran logam berat Pb, Cd dan Hg pada sampel sayuran-sayuran dan Gambar 2 menjelaskan bagan kandungan logam Pb, Cd, dan Hg pada sampel sayuran dan baku mutu. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa jumlah cemaran logam Pb tertinggi terdapat pada sampel daun singkong I dengan kadar 2,44 \pm 1,33 mg/Kg dan yang terendah ditemukan pada sampel bayam III dengan kadar 0,15 \pm 0,07 mg/Kg. Sampel daun singkong I diperoleh pada daerah Paya Seumantok yang berdekatan dengan kawasan pertambangan, sedangkan sampel bayam III diperoleh pada daerah Gampong Buntha yang jauh dari kawasan pertambangan. Hal ini dipengaruhi oleh jarak antara dekan dan jauhnya lokasi sampel dari pertambangan, semakin jauh dari pertambangan maka cemaran logam pada sayuran semakin berkurang [13].

Kandungan Pb yang tinggi juga ditemukan pada sampel kangkung I dan Bayam I yang diperoleh pada daerah dekat dengan kawasan pertambangan dengan kadar masing-masing 1,07 \pm 0,59 mg/Kg dan 0,93 \pm 0,50 mg/Kg. Paparan logam Pb berlebih dapat menimbulkan gangguan kesehatan, seperti metabolisme, sistem peredaran darah merah, anemia, dan penurunan intelegensia pada anak [14]. Berdasarkan baku mutu yang telah ditetapkan oleh SNI 7387 tahun 2009 batasan kadar logam Pb dalam sayuran dan buah yaitu 0,5 mg/Kg [15]. Hal ini menunjukkan sampel sayuran pada penelitian ini tidak aman untuk dikonsumsi, kecuali pada sampel bayam II dan bayam III yang tidak melebihi ambang batas.



Gambar 2. Bagan kandungan logam Pb, Cd, dan Hg pada sampel sayuran dan baku mutu

Kandungan cemaran logam Cd untuk semua sampel sayuran menunjukkan nilai di bawah baku mutu SNI 7387 tahun 2009 yaitu batasan kadar logam Cd dalam sayuran dan buah yaitu 0,2 mg/Kg [15]. Kandungan cemaran logam Cd tertinggi ditemukan pada sampel kangkung II dengan kadar yaitu 0,11 ± 0,01 mg/Kg dan cemaran logam Cd terendah dengan kadar 0,02 ± 0,01 mg/Kg terdapat dalam sampel daun singkong II. Cemaran logam kadmium dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia, seperti penggunaan bahan bakar, kebakaran hutan, limbah industri maupun penggunaan pupuk dan pestisida [16]. Dampak terhadap kesehatan manusia akibat pencemaran logam Cd berlebih yaitu kerusakan pada tulang dan ginjal, gangguan jantung, hati, otak dan sistem peredaran darah [17].

Cemaran logam Hg pada semua sampel sayuran menunjukkan kadar yang berada diatas baku mutu SNI 7387 tahun 2009 yang telah ditetapkan yaitu 0,03 mg/Kg [15]. Kandungan kadar logam Hg tertinggi yaitu 0,58 ± 0,12 mg/Kg ditemukan dalam sampel daun singkong I dan kadar yang terendah yaitu 0,04 ± 0,02 mg/Kg yang dimiliki oleh sampel bayam III. Menurut Karma et al., [18] menyatakan bahwa, dikecamatan Krueng Sabee Kabupaten Aceh Jaya terdapat pertambangan emas dengan metode amalgamasi (metode pengikat emas menggunakan merkuri cair). Hasil penelitian Alfisyahrin et al., [19] melaporkan bahwa ditemukan kandungan cemaran merkuri pada tanah sekitar pertambangan Kecamatan Krueng Sabee Kabupaten Aceh Jaya yaitu berkisar antara 3,6 – 8,4 mg/Kg. Efek cemaran logam merkuri terhadap manusia menyebabkan penghalang kerja enzim pada metabolisme tubuh, kerusakan otak secara permanen dan kerusakan ginjal [20].

Kesimpulan

Cemaran logam berat disekitar area pertambangan di Kabupaten Aceh Jaya memberikan dampak terhadap sayuran yang tumbuh disekitarnya. Cemaran logam Pb, Cd, dan Hg terhadap daun singkong, kangkung, dan bayam yang di analisis menggunakan metode Flame - Atomic Absorption Spectrometry dan Vapor Generation Accessory - Atomic Absorption Spectrometry. Hasil menunjukkan bahwa cemaran logam Pb tertinggi terdapat pada sampel daun singkong I dengan kadar 2,44 ± 1,33 mg/Kg dan yang terendah ditemukan pada sampel bayam III dengan kadar 0,15 ± 0,07 mg/Kg. Kandungan Pb yang tinggi juga ditemukan pada sampel kangkung I dan Bayam I yang diperoleh pada daerah dekat dengan kawasan pertambangan dengan kadar masing-masing 1,07 ± 0,59 mg/Kg dan 0,93 ± 0,50 mg/Kg. Berdasarkan baku mutu yang telah ditetapkan oleh SNI 7387 tahun 2009 batasan kadar logam Pb dalam sayuran dan buah yaitu 0,5 mg/Kg. Kandungan cemaran logam Cd untuk semua sampel sayuran menunjukkan nilai di bawah baku mutu SNI 7387 tahun 2009 yaitu batasan kadar logam Cd dalam sayuran dan buah yaitu 0,2 mg/Kg. Kandungan cemaran logam Cd tertinggi ditemukan pada sampel kangkung II dengan kadar yaitu 0,11 ± 0,01 mg/Kg dan cemaran logam Cd terendah dengan kadar 0,02 ± 0,01 mg/Kg terdapat dalam sampel daun singkong II. Kandungan kadar logam Hg tertinggi yaitu 0,58 ± 0,12 mg/Kg ditemukan dalam sampel daun singkong I dan kadar yang terendah yaitu 0,04 ± 0,02 mg/Kg yang dimiliki oleh sampel bayam III. Cemaran

logam Hg pada semua sampel sayuran menunjukkan kadar yang berada diatas baku mutu SNI 7387 tahun 2009 yang telah ditetapkan yaitu 0,03 mg/Kg. Penelitian ini menunjukkan perlunya pemantauan cemaran logam berat di area pertanian di dekat kegiatan pertambangan untuk memastikan konsumsi makanan yang aman.

Referensi

- [1] Panggabean, e. R. (2023). Analisa logam berat timbal (pb) dan tembaga (cu) pada singkong yang dijual disepanjang jalan pasar sukaramai kota medan.
- [2] Pangestika, M., Hohary, M., Agus, Y. H., Widyawati, N., Herawati, M. M., Sutrisno, A. J., Handoko, Y. A., Simamora, L., Zebua, D. D. N., & Nadapdap, H. J. (2020). Smart Farming: Pertanian di Era Revolusi Industri 4.0. Penerbit Andi.
- [3] Mistiani, K. (2022). Uji Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Irigasi, Tanah Dan Sayuran Kangkung Di Kawasan Industri Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung. FKIP UNPAS.
- [4] Rahman, Z., & Singh, V. P. (2019). The relative impact of toxic heavy metals (THMs)(arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 1–21.
- [5] Manwani, S., Vanisree, C. R., Jaiman, V., Awasthi, K. K., Yadav, C. S., Sankhla, M. S., Pandit, P. P., & Awasthi, G. (2022). Heavy metal contamination in vegetables and their toxic effects on human health. *Sustainable Crop Production: Recent Advances*, 181.
- [6] Abubakar, A., Yusuf, H., Syukri, M., Nasution, R., Yusuf, M., & Idroes, R. (2023). Heavy metals contamination in geothermal medicinal plant extract; *Chromolaena odorata* Linn. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9(4), 995–1004.
- [7] Souza, J. P., Cerveira, C., Miceli, T. M., Moraes, D. P., Mesko, M. F., & Pereira, J. S. F. (2020). Evaluation of sample preparation methods for cereal digestion for subsequent As, Cd, Hg and Pb determination by AAS-based techniques. *Food Chemistry*, 321, 126715.
- [8] Endah, S. R. N. (2020). Validasi Metode Analisis Cemaran Logam Berat: Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Dengan Variasi Oksidator Secara Spektrofotometri Serapan Atom Dalam Sediaan Obat Herbal. *Journal of Pharmacopolium*, 2(3).
- [9] Mahmudi, M., Annisa, M., Farida, M., Yusuf, M., Azhari, S., & Fachrunniza, Y. (2023). Assessing Heavy Metal Contamination in Traditional Herbal Medicine (Jamu) by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Grimsa Journal of Science Engineering and Technology*, 1(1), 35–39.
- [10] Irnawati, I., Idroes, R., Zulfiani, U., Akmal, M., Suhartono, E., Idroes, G. M., Muslem, M., Lala, A., Yusuf, M., & Saiful, S. (2021). Assessment of Arsenic Levels in Water, Sediment, and Human Hair around Ie Seu'um Geothermal Manifestation Area, Aceh, Indonesia. *Water*, 13(17), 2343.
- [11] Winarsih, A., Idroes, R., Zulfiani, U., Yusuf, M., Mahmudi, M., Saiful, S., & Abd Rahman, S. (2023). Method Validation for Pesticide Residues on Rice Grain in Aceh Besar District, Indonesia Using Gas Chromatography-Electron Capture Detector (GC-ECD). *Leuser Journal of Environmental Studies*, 1(1), 18–24.
- [12] Yulkifli, Dewantara, K. S., Sari, M. B., Ramli, Razi, F., & Handayani, W. (2023). A Low-cost Digital Spectrophotometer for Heavy Metal Absorbance Measurements. *Instruments and Experimental Techniques*, 66(1), 147–155.
- [13] Efrizal, W. (2020). Dampak Ekologis Bangka Belitung Terhadap Keadaan Gizi dan Kesehatan. *Jurnal Ilmu Gizi Indonesia (JIGZI)*, 1(2).
- [14] Agustina, T. (2014). Kontaminasi logam berat pada makanan dan dampaknya pada kesehatan. *TEKNOBUGA: Jurnal Teknologi Busana Dan Boga*, 1(1).
- [15] SNI 7387, 2009. (2009). Batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan. *Standar Nasional Indonesia*, 7387(2009), 15–17.
- [16] Elinder, C.-G. (2019). Cadmium: uses, occurrence, and intake. In *Cadmium and health* (pp. 23–64). CRC Press.
- [17] Indirawati, S. M. (2017). Pencemaran logam berat Pb dan Cd dan keluhan kesehatan pada masyarakat di Kawasan Pesisir Belawan. *JUMANTIK (Jurnal Ilmiah Penelitian Kesehatan)*, 2(2), 54–60.

- [18] Karma, T., Kala, P. R., Bakri, A., & Rukmana, S. M. (2023). Identifikasi Bahaya dan Pengendalian Resiko Kecelakaan Kerja dengan Metode HIRARC pada Lokasi Pengolahan Emas dengan Cara Amalgamasi di Kecamatan Krueng Sabee. *Jurnal Formil (Forum Ilmiah) Kesmas Respati*, 8(3), 222–229.
- [19] Alfisyahrin, A., Alam, P. N., Aflah, N., & Muchlis, M. (2023). Analisis Tanah Menggunakan Metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) Untuk Mengetahui Penyebaran Kadar Merkuri (Hg) di Desa Datar Luas dan Desa Bunta, Kecamatan Krueng Sabe, Kabupaten Aceh Jaya. *Journal of Geosciences, Mining Engineering, and Technology*, 7(2), 34–40.
- [20] Masruddin, M., & Mulasari, S. A. (2021). Gangguan Kesehatan Akibat Pencemaran Merkuri (Hg) pada Penambangan Emas Ilegal. *Jurnal Kesehatan Terpadu (Integrated Health Journal)*, 12(1), 8–15.