



Research Article

DOI : 10.36728/afp.v23i2.2746

Penilaian Risiko Kesehatan Berbasis Keamanan Pangan Akibat Paparan Logam Berat dalam Biji Kedelai pada Sistem Pertanian Berkelanjutan

Sapto Priyadi^{1*}, Wiyono¹, Haryuni¹

¹ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta

* Email: priyadisapto@yahoo.co.id

ABSTRACT

Heavy metals rank high among the hazardous contaminants in the fresh produce of plant origin, originating from growing media and contaminated air environments. Plants absorb heavy metals depending on the availability of heavy metal ions in the soil and anthropogenic activities using agrochemicals. The entry of heavy metals into the human body through the tropic level can cause various chronic diseases; so regular monitoring of the presence of heavy metal contaminants in fresh products of plant origin is critical. Testing for heavy metal contaminants in plant tissues using an atomic absorption spectrophotometer – flame. The research results showed that the heavy metal contaminant Cd was not detected in the pre-cultivated agricultural land. In plant tissues, Pb in the pre-cultivated land was detected at $49,271 \pm 0,423$ mg kg⁻¹, while Cu in the pre-cultivated land was $87,369 \pm 0,867$ mg kg⁻¹, and in soybean seed tissue $12,571 \pm 0,698$ mg kg⁻¹. Based on research results for Cu contaminants, show that a THQ value of 0.001 means that it does not have the potential to suffer chronic non-carcinogenic health consequences. This situation is reinforced by the THQ < RfD value means that stakeholders to be vigilant about reducing Cu contaminants on agricultural land, by consistently implementing good agricultural practices.

KEYWORD

Heavy Metal, Human Health Risk, And Soybean.

INFORMATION

Received : 02 Mei 2023
Revised : 4 Juli 2023
Accepted : 30 Juli 2023

Volume: 23
Number: 2
Year: 2023

Copyright © 2023
by JURNAL ILMIAH AGRINECA

This work is licensed under a
Creative Commons Attribution
4.0 International Licence

1. PENDAHULUAN

Kedelai merupakan sumber penting asupan protein, vitamin, mineral, serat pangan, dan daidzein dan genistein merupakan isoflavon sebagai pangan fungsional. Kualitas kedelai tinjauan dari kandungan nutrisi, jaminan keamanan dari kontaminan logam berat tidak dapat diremehkan, karena merupakan aspek terpenting dari jaminan kualitas makanan. Logam

berat menempati peringkat tinggi di antara kontaminan pada produk segar asal tanaman. Kontaminan logam berat pada kedelai berasal dari media tanam dan lingkungan udara yang terkontaminasi, sejauh mana tanaman menyerap logam berat tergantung pada ketersediaan ion logam berat dalam tanah, agrokimia dan udara yang terkontaminasi (Priyadi et al., 2021).

Kesadaran akibat yang ditimbulkan sebagai dampak penggunaan agrokimia, perhatian masyarakat dunia mulai bergeser ke pertanian yang berwawasan lingkungan (Priyadi et al., 2013), pangan yang terkontaminasi logam berat menarik perhatian dunia (Samaila & Maidamma, 2020) dan bahkan JECFA menarik kembali ketentuan asupan mingguan untuk logam berat Pb dan As, yaitu provisional tolerable weekly intake (PTWI), karena tidak lagi dapat dianggap sebagai pelindung kesehatan (Antoine et al., 2017), karena logam berat selain bersifat non biodegradable, perilaku akumulatif serta translokasi dalam sistem tanah – tanaman (Nimyel & Chundusu, 2021; Hu et al., 2017), sehingga masuknya logam berat dalam lahan pertanian secara tidak terkontrol tidak diinginkan (Okoronkwo et al., 2005). Aktivitas antropogenik termasuk aplikasi pestisida dan pupuk (Nimyel & Chundusu, 2021; Sandeep et al., 2019; Malan et al., 2015; Guerra et al., 2012; Manzoor et al., 2018; Tay et al., 2019), merupakan jalan masuknya logam berat berbahaya ke lahan pertanian dan terpaparnya logam berat ke dalam tubuh manusia secara akumulatif merupakan keniscayaan.

Keberadaan unsur di alam yang dianggap sebagai logam berat berbahaya adalah Cr, Hg, Ni, Sn, Pb, Cd, Mn, Co, Cu, Zn, W, Mo, dan Sb. Empat besar logam berat yang menjadi perhatian dunia karena perilaku toksisitasnya yaitu Pb, Hg, Cd dan Cr (Sandeep et al., 2019), sedangkan menurut (Hasan et al., 2022) yang termasuk logam berat beracun Cr, As, Cd dan Pb, sedangkan Cu termasuk mikro mineral yang berdampak pada kesehatan bila berlebih di samping Fe, Zn dan Mn.

Mengonsumsi sayuran yang terkontaminasi logam berat secara berkepanjangan dapat menyebabkan terganggunya banyak proses biologis dan biokimia dalam tubuh dan menimbulkan risiko kesehatan (Gupta et al., 2013; Sarkar et al., 2016; Hu et al., 2017; SUN et al., 2010; Naseri et al., 2021). Jalur penting toksisitas logam berat bagi manusia adalah asupan makanan termasuk di dalamnya sayuran. Asupan pangan yang terkontaminasi dapat menyebabkan berbagai penyakit kronis (Guerra et al., 2012; Isa et al., 2015; Liu et al., 2021; Tay et al., 2019; Mahmood & Malik, 2014; Begum et al., 2019), sehingga kegiatan pemantauan secara rutin keberadaan logam berat dalam bahan makanan termasuk sayuran sangat penting. Pemantauan rutin yang dimaksud untuk meminimalkan akumulasi logam berat berbahaya yang berlebihan terakumulasi di dalam tubuh manusia pada tingkat trofik dan mencegah timbulnya berbagai penyakit kronis.

Masuknya logam berat ke dalam tubuh manusia karena mengonsumsi kedelai, menyebabkan logam berat terakumulasi dalam jaringan lemak dan tulang (Guerra et al., 2012). Clinic impact di daerah terdampak, akibat tubuh terpapar logam berat menyebabkan menurunnya ketahanan imunologi (Guerra et al., 2012; Begum et al., 2019), cacat gizi dan tingginya prevalensi kanker saluran pencernaan bagian atas (Guerra et al., 2012) Manzoor et al., 2018), dapat berkontribusi terhadap penurunan harapan hidup manusia 9 – 10 tahun (Guerra et al., 2012). Menurunnya ketahanan imunologi akibat bahan kimia termasuk terpaparnya logam berat dikenal dengan istilah C-AIDS (chemically – acquired immune deficiency syndrome). Terpaparnya logam berat berbahaya pada tubuh manusia menimbulkan efek yang berisiko toksik sub kronis, kronis sampai dengan akut, neurotoksik, karsinogenik, mutagenic, teratogenic, gangguan psikososial, atau disabilitas yang terkait dengan mal nutrisi (Begum et al., 2019).

Tujuan dari penelitian ini: 1) untuk mengetahui konsentrasi kontaminan logam berat Pb, Cd dan Cu dalam kedelai yang banyak dikonsumsi, untuk dibandingkan dengan batas maksimum

residu yang diijinkan; 2) mengetahui nilai asupan logam berat dalam menu makanan serta untuk memperkirakan kontribusi asupan harian logam berat berbahaya kaitannya dengan faktor risiko kesehatan manusia.

2. METODE

Sampel dan Preparasi

Sampel tanaman diperoleh dari riset yang meliputi biji kedelai, tanah dari lahan pertanian pra-budidaya, dan tanah dari lahan pascapanen dengan sistem yang mengacu pada good agricultural practices di gagak sipat – Ngemplak – Boyoylali – Jawa Tengah. Praktek budidaya menggunakan pupuk kandang sapi pangon, dosis sesuai perlakuan, pengendalian organisme pengganggu tanaman menggunakan pestisida nabati yang diformulasikan sendiri.

Analisis Sampel

Preparasi sampel sebelum dilakukan pengujian menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* – flame (AAS Jena ContraAA 300) di laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam – Universitas Gadjah Mada: sampel uji dilakukan destruksi basah dengan prosedur kerja sebagai berikut: a) sebanyak 5 gram bahan dimasukkan ke dalam erlenmeyer; b) ditambahkan 40 ml asam sitrat – perklorat (2:1); c) erlenmeyer diletakkan di atas penangas listrik, suhunya diatur pada suhu rendah (100 0C); setelah larutan dalam erlenmeyer mulai mendidih (asap merah akan hilang); d) pemanasan dilanjutkan sampai air dan asam nitrat hilang; e) setelah reaksi antara sampel dengan asam perklorat sempurna (dapat diidentifikasi dengan dengan hilangnya effervescent), lakukan pemanasan dengan suhu tinggi (170 0C) sampai jernih dan timbul asap putih. Hindari pemanasan yang membuat sampel mengering, karena akan terjadi letupan; f) erlenmeyer diturunkan dari penangas listrik dan biarkan dingin; g) sampel dipindahkan yang telah didigesti ke dalam labu takar 25 ml dan ditambahkan aquades sampai batas tanda dan h) larutan dibaca dengan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS-flame) yang telah dikalibrasi sebelumnya. Preparasi dan pengukuran konsentrasi Pb, Cd dan Cu: a) pembuatan larutan baku Pb, Cd dan Cu (100 µg per ml), yaitu dengan memipet 10 ml Pb, Cd atau Cu ke dalam labu ukur 100 ml; b) ditepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda tera; c) dibuat larutan kerja dengan mengencerkan larutan induk Pb, Cd atau Cu (100 µg per ml) hingga diperoleh kadar Pb, Cd atau Cu 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 dan 3,2 µg per ml; d) diukur masing-masing larutan kerja yang telah dipersiapkan dengan panjang gelombang untuk Pb = 217 nm Cd = 228,8 nm dan Cu = 324,8 nm; e) dibuat kurva kalibrasi untuk mendapatkan garis regresi dan f) dilanjutkan dengan pengukuran sampel uji yang sudah dipersiapkan. Perhitungan konsentrasi Pb atau Cd, yaitu dengan formula sebagai berikut: $C = A \times (25\text{ml}/B)$, dimana A = konsentrasi yang didapat dari hasil pengukuran, B = berat sampel dalam gram dan C = konsentrasi logam berat Pb, Cd atau Cu (Anonim, 2005; Gustavo González & Ángeles Herrador, 2007).

Bioaccumulation factor (BAF)

Faktor bioakumulasi untuk setiap jenis tanaman mencerminkan nilai transfer logam berat dalam sistem tanah – tanaman, bisa dihitung menggunakan persamaan (Nag & Cummins, 2022):

$$BAF = \frac{C_{\text{plant (seeds)}}}{C_{\text{soil}}} \quad (1)$$

where Cplant and Csoil masing-masing konsentrasi logam berat dalam biji kedelai dan tanah (lahan pra-budidaya). Dalam rangka menghitung human health risk assessment akibat

mengonsumsi kedelai yang terkontaminasi logam berat, ada beberapa tahapan hitungan yang dipersiapkan terlebih dahulu, yaitu mulai dari estimated daily intake of soybean.

Tabel 1. Persamaan untuk menghitung human health risk assessment akibat paparan logam berat berbahaya menurut (Hasan et al., 2022).

Persamaan	Nama dan parameters
$EDI = \frac{DF_c \times M_c}{BW} \quad (2)$	<p>EDI = estimated daily intake (mg day⁻¹)</p> <p>DFc = daily food (vegetable) consumption rate (g day⁻¹)</p> <p>Rata-rata konsumsi pangan penduduk di Indonesia berdasarkan kelompok umur: 13 – 18 tahun; 19 – 55 tahun dan > 55 tahun masing-masing 0,143 g day⁻¹ (Hermina & S, 2016).</p> <p>Mc = Metal concentration</p> <p>konsentrasi logam berat pada kedelai (mg kg⁻¹)</p> <p>BW = body weight (kg)</p> <p>Berat badan penduduk Indonesia berdasarkan kelompok umur: 13 – 18 tahun; 19 – 55 tahun dan > 55 tahun masing-masing 20 kg; 45 kg dan 70 kg (Hermina & S, 2016).</p>
$THQ = \frac{EDI}{RfD} \times 10^{-3} \quad (3)$	<p>THQ= target hazard quotient</p> <p>RfD = reference dose for the metal, untuk masing-masing logam berat Pb, Cd dan Cu masing-masing 0,004; 0,001; 0,04 (US EPA – IRIS, 2006) (Aendo et al., 2022).</p>

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsentrasi Kontaminan

Hasil riset tentang kontaminasi logam berat Pb, Cd dan Cu pada biji kedelai, disajikan pada tabel 2. Hasil riset menunjukkan bahwa, kontaminan Pb terdeteksi pada tanah dan pupuk kandang sapi pangon yang digunakan, masing-masing 33,612 dan 15,659 mg kg⁻¹, namun tidak terdeteksi pada biji kedelai (batas deteksi alat untuk Pb = 0,01 mg kg⁻¹). Kontaminan Cd tidak terdeteksi pada tanah, pupuk kandang sapi pangon dan biji kedelai (batas deteksi alat untuk Cd = 0,01 mg kg⁻¹). Kontaminan Cu ditemukan pada tanah, pupuk kandang sapi dan biji kedelai masing-masing 52,251 ± 0,751; 35,118 ± 0,982 dan 12,571 ± 0,698 mg kg⁻¹. Hasil riset selengkapnya terkait konsentrasi logam berat dalam biji kedelai disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Paparan logam berat plumbum, cadmium dan cuprum (mg kg⁻¹) pada biji kedelai

HM	Pupuk kandang sapi pangon (ton ha ⁻¹)			
	20	30	40	50
Pb	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd
Cu	12,587 ± 0,728	12,547 ± 1,076	12,873 ± 1,076	13,105 ± 0,260

Keterangan:

HM = heavy metal

nd = tidak terdeteksi/di bawah batas deteksi alat (Pb = 0,01 mg kg⁻¹)

Berdasarkan hasil riset menunjukkan bahwa, analisis pada bijin kedelai konsentrasi Pb tidak terkontaminasi logam berat lead (Pb), pada hal lahan budidaya secara komprehensif terkontaminasi Pb. Artinya pupuk kandang sapi pangon yang digunakan pada budidaya kedelai efektif mengkhelasi seluruh kontaminan Pb melalui substansi gugus fungsional karboksil dan hidroksil pada asam humat dan asam fulvat menjadi senyawa ligan kompleks yang tidak tersedia bagi akar tanaman. Pada lahan pertanian pra-budidaya berdasarkan analisis logam berat cadmium (Cd) tidak terdeteksi, sementara pada biji kedelai juga tidak terdeteksi, artinya air irigasi juga tidak terkontaminasi Cd; dan pada sistem budidaya yang dilakukan dalam riset ini tidak menggunakan pupuk kimia anorganik.

3.2. Bio-akumulasi Faktor

Pada sistem tanah – tanaman bio-akumulasi faktor merupakan indikator penting, karena menunjukkan kemampuan serapan logam berat oleh tanaman. Bio-akumulasi faktor untuk kontaminan logam berat Pb dan Cd tidak dihitung, karena kontaminan Pb pada biji kedelai tidak terdeteksi sedangkan Cd tidak terdeteksi pada lahan maupun biji kedelai. Nilai bio-akumulasi faktor < 1, artinya dianggap tidak berbahaya bagi hewan dan manusia pada tingkat tropic. Nilai bio-akumulasi faktor ≥ 1 untuk logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan tanaman dan hewan (Bhatti et al., 2016). Penyerapan logam dalam sistem tanah – tanaman dapat mengurangi produktivitas tanaman melalui penghambatan metabolisme fisiologis. Akumulasi logam berat pada jaringan tanaman dan biomagnifikasi menjadi ancaman bagi manusia dan lingkungan (Aladesanmi et al., 2019). Akumulasi secara biologis (bio-akumulasi faktor) kontaminan logam berat pada biji kedelai 0,144 artinya polutan Cu pada biji kedelai dianggap tidak berbahaya bagi hewan dan manusia pada tingkat tropic. Nilai bio-akumulasi faktor pada riset ini secara lengkap disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Akumulasi secara biologis kontaminan logam berat tembaga (Cu) dalam biji kedelai pada berbagai dosis pupuk kandang sapi pangon.

HM	BAF biji kedelai per dosis pupuk kandang sapi pangon (ton ha ⁻¹)			
	20	30	40	50
Pb	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-

Cu	0,144	0,144	0,147	0,150
----	-------	-------	-------	-------

Keterangan:

HM = heavy metal

BAF = bio accumulation factor

3.3. Human health risk assessment

Penilaian risiko kesehatan manusia merupakan karakterisasi potensi efek kesehatan yang merugikan akibat paparan kontaminan logam berat. Penilaian risiko kesehatan meliputi non-karsinogenik yang diekspresikan *target hazard quotient* (THQ). Kontaminan logam berat Cu pada biji kedelai rata-rata 12,571 mg kg⁻¹, maka nilai THQ 6,41E-04. Meskipun nilai THQ-nya sangat rendah namun kenyataan konsentrasi rata-rata Cu pada biji kedelai sudah mendekati batas aman yang diijinkan 20 mg kg⁻¹ untuk beans menurut National Hygienic Standard for Food in China GB15199 – 1994 (Hu et al., 2017), maka kewaspadaan dan upaya riil perlu dilakukan untuk mengurangi kontaminan tersebut dengan good agricultural practices berbasis pada pemanfaatan substansi asam humat dan asam fulvat sebagai chelating agent alami (Priyadi et al., 2021).

Kontaminan Cu pada biji kedelai menunjukkan terjadinya aktivitas penyerapan ion Cu⁺ (Priyadi et al., 2018) yang berasal dari lahan pertanian rata-rata 12,571 ± 0,698, meskipun kontaminan pada lahan tersebut masih jauh di bawah batas aman yang diijinkan FAO/WHO – 2007 dan European Union standart – 2002 masing-masing 135 – 270 dan 140 mg kg⁻¹. Realita menunjukkan bahwa tanaman kedelai termasuk akumulator logam Cu, karena tersimpan pada jaringan edible part rata-rata 0,629 kali (12,571 mg kg⁻¹ dari batas aman 20 mg kg⁻¹) pada beans yang diijinkan oleh the National Hygienic Standard for Food in China – GB15199–1994 (Hu et al., 2017), sehingga mempunyai kontribusi yang dominan terhadap target hazard quotient dan target carcinogenic risk.

3.4. Estimated daily intake dan target carcinogenic risk

Estimated Daily Intake (EDI) adalah perkiraan asupan suatu kontaminan dalam tubuh manusia melalui konsumsi makanan setiap harinya. Nilai EDI didasarkan pada tingkat konsumsi (g day⁻¹) kedelai dan konsentrasi kontaminan dalam makanan tersebut. Nilai tersebut bervariasi tergantung pada berat badan manusia. Nilai EDI dapat dibandingkan dengan provisional tolerable weekly intake (PTWI) dan nilai *oral reference dose* (RfD), PTWI untuk Cu = 3,500 µg kg⁻¹ (Peycheva et al., 2016). Nilai PTWI tersebut sama dengan 3.5 mg kg⁻¹ berat badan weekly⁻¹ atau 0.5 mg kg⁻¹ berat badan day⁻¹. Estimated daily intake pada riset ini berdasarkan kelompok umur disajikan pada tabel 4, berdasarkan analisis *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) nilai EDI untuk Cu pada kedelai untuk usia > 55 tahun masing-rata-ratanya 1,401E+00 mg kg⁻¹, artinya perbandingan EDI terhadap PTWI mencapai 2,802 kali, sehingga perlunya kewaspadaan berupa upaya agar nilai EDI untuk kontaminan Cu dapat ditekan. Upaya tersebut melalui khelasi Cu dalam lahan pertanian dengan menggunakan chelating agent, sehingga menjadi senyawa kompleks dan tidak dapat diserap oleh akar tanaman (Priyadi et al., 2014).

Estimated daily intake (EDI) akan memberikan kontribusi dalam menentukan nilai target carcinogenic risk (TCR), yaitu merupakan penjumlahan risiko dari semua jalur paparan logam berat secara individu. Kisaran TCR sebagai regulasi adalah 10⁻⁶ hingga 10⁻⁴, TCR ≤

10⁻⁶ mewakili keamanan dari carcinogenic risk dan tidak dianggap menyebabkan efek kesehatan yang signifikan, sedangkan TCR > 10⁻⁴ menunjukkan potensi risiko yang besar atas carcinogenic risk dan merupakan batas atas untuk risiko kanker yang dapat diterima (Antoine et al., 2017) & (Hu et al., 2017). Pada riset ini TCR untuk kontaminan Cu tidak bisa dihitung, karena cancer slope factor of oral not available, demikian pula untuk Pb dikarenakan konsentrasi logam berat Pb pada biji kedelai tidak terdeteksi.

3.5. Target hazard quotient (THQ)

Target Hazard Quotient (THQ) dikembangkan oleh US EPA bertujuan mengevaluasi kemungkinan dampak buruk akibat mengkonsumsi kedelai yang terkontaminasi logam berat. THQ merupakan ratio antara EDI dan RfD, apabila nilai THQ melebihi (atau > 1) dari nilai RfD maka tingkat paparan logam berat berpotensi mengalami dampak buruk akibat kontaminan suatu jenis logam berat. Nilai oral reference dose yang ditetapkan US EPA IRIS – 2006 (RfD Cu = 0.04). Reference dose merupakan nilai perkiraan maksimum harian logam berat tertentu dan umumnya nilai ini digunakan pada kajian risiko kontaminan non-karsinogen. Apabila THQ < 1 maka efek kesehatan non-karsinogenik tidak dialami. Target hazard quotient dan target carcinogenic risk untuk logam berat masing-masing THQ > 1 and TCR > 10⁻⁴ menunjukkan bahwa penduduk yang mengkonsumsi pangan terpapar kontaminan logam berat menanggung konsekuensi kesehatan karsinogenik dan non-karsinogenik secara kronis (Shaheen et al., 2016). Persamaan untuk menghitung THQ dan TCR disajikan pada tabel 1.

Berdasarkan hasil riset menunjukkan bahwa rata-rata pada semua kelompok umur nilai THQ 6,41E-04 dan nilai tersebut lebih kecil dari RfD-nya artinya tidak berpotensi mengalami dampak buruk akibat mengkonsumsi kedelai yang terkontaminasi logam berat Cu. Namun karena secara riil kontaminan Cu yang tersimpan pada jaringan edible part rata-rata 0,629 kali (12,571 mg kg⁻¹) dari batas aman 20 mg kg⁻¹ pada beans yang diijinkan oleh the National Hygienic Standard for Food in China – GB15199–1994 (Hu et al., 2017), sehingga mempunyai kontribusi yang dominan terhadap target hazard quotient dan target carcinogenic risk. Terkait dengan perihal tersebut, maka kewaspadaan bagi pemangku kepentingan untuk menurunkan dan/atau menjaga agar tidak meningkat kontaminan Cu pada lahan pertanian, dengan menerapkan good agricultural practices yaitu menggunakan chelating agent yang berbasis asam humat dan asam vulvat (Priyadi et al., 2018) dan mengurangi kegiatan antropogenik penggunaan pupuk an-organik (Malan et al., 2015), (Sandeep et al., 2019), (Tay et al., 2019) yang dapat menurunkan kontaminan Cu, karena termasuk diantara logam berat yang dianggap paling beracun (Ravichandran, 2011). Berikut disajikan health risk assessment berdasarkan rata-rata konsumsi kedelai penduduk menurut kelompok umur (Hermina & S, 2016).

Tabel 4. Risk assessment measures akibat mengkonsumsi kedelai yang terpapar logam berat tembaga (Cu) berdasarkan rata-rata konsumsi kedelai penduduk menurut kelompok umur.

*Kelompok umur (tahun)	*BW (kg)	*DFc (g)	**ED	**EDI	** THQ	**TCR
13-18	20	0,143	15,5	8,742E-02	2,28E-03	NA
19-55	45	0,143	37	3,885E-02	1,01E-03	NA
>55	70	0,143	69	2,498E-02	6,52E-03	NA

Sumber: * ----- (Hermina & S, 2016)

** ----- (Hasan et al., 2022)

Keterangan:

BW = body weight

DFc = daily food (soybean) consumption rate (g day⁻¹)

ED = exposure duration (years)

EDI = estimated daily intake (mg day⁻¹)

THQ = target hazard quotient

TCR = target carcinogenic risk

NA = not available

4. KESIMPULAN

Logam berat pada lahan pertanian umumnya merupakan penyebab terjadinya kontaminan pada produk segar asal tanaman yang tidak diharapkan, karena masuk ke menu melalui tingkat tropik dan masuk ke dalam tubuh manusia, terakumulasi dan non biodegradable. Diketahui hasil riset kontaminan logam berat Pb dan Cd tidak terdeteksi pada biji kedelai. Kontaminan Cu dijumpai pada biji kedelai rata-rata 12,571 mg kg⁻¹. Kondisinya masih dalam batas aman. Kontaminan Cu pada rata-rata kelompok umur nilai THQ 6,41E-04, tidak berpotensi mengalami dampak buruk menanggung konsekuensi kesehatan non-karsinogenik secara kronis. Nilai THQ < nilai RfD 0.04, kewaspadaan bagi pemangku kepentingan untuk menjaga agar kontaminan Cu pada lahan pertanian tidak meningkat, dengan menerapkan good agricultural practices dan mengurangi kegiatan antropogenik penggunaan pupuk anorganik

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2005). Official method of analysis of the association of official analytical chemist (AOAC). 17th edition Washington, D.C.
- Aendo, P., Netvichian, R., Thiendedsakul, P., Khaodhiar, S., & Tulayakul, P. (2022). Carcinogenic Risk of Pb, Cd, Ni, and Cr and Critical Ecological Risk of Cd and Cu in Soil and Groundwater around the Municipal Solid Waste Open Dump in Central Thailand. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3062215>
- Aladesanmi, O. T., Oroboade, J. G., Osisiogu, C. P., & Osewole, A. O. (2019). Bioaccumulation factor of selected heavy metals in Zea mays. *Journal of Health and Pollution*, 9(24). <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.24.191207>
- Antoine, J. M. R., Fung, L. A. H., & Grant, C. N. (2017). Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology Reports*, 4(March), 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.03.006>
- Begum, M. L., Naher, U. H. B., Hosen, M. R., & Rahaman, A. (2019). Levels of heavy metals in soil and vegetables and health risk assessment. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(7), 770–775. https://www.researchgate.net/publication/334720679_Levels_Of_Heavy_Metals_In_Soil_And_Vegetables_And_Health_Risk_Assessment

- Bhatti, S. S., Kumar, V., Singh, N., Sambyal, V., Singh, J., Katnoria, J. K., & Nagpal, A. K. (2016). Physico-chemical Properties and Heavy Metal Contents of Soils and Kharif Crops of Punjab, India. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 801–808. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.096>
- Guerra, F., Trevizam, A. R., Muraoka, T., Marcante, N. C., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2012). Heavy metals in vegetables and potential risk for human health. *Scientia Agricola*, 69(1), 54–60. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000100008>
- Gupta, S., Jena, V., Jena, S., Davi, N., Mati, N., Radojevi, D., & Solanki, J. S. (2013). Assessment of heavy metal contents of green leafy vegetables. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 5(2), 53–60. <https://www.google.com/search?>
- Gustavo González, A., & Ángeles Herrador, M. (2007). A practical guide to analytical method validation, including measurement uncertainty and accuracy profiles. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 26(3), 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2007.01.009>
- Hasan, G. M. M. A., Kabir, M. H., & Miah, M. A. S. (2022). Determination of heavy metals in raw and pasteurized liquid milk of Bangladesh to assess the potential health risks. *Food Research*, 6(1), 233–237. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(1\).191](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(1).191)
- Herminda, H., & S, P. (2016). Gambaran Konsumsi Sayur dan Buah Penduduk Indonesia dalam Konteks Gizi Seimbang: Analisis Lanjut Survei Konsumsi Makanan Individu (SKMI) 2014. *Buletin Penelitian Kesehatan*, 44(3), 4–10. <https://doi.org/10.22435/bpk.v44i3.5505.205-218>
- Hu, B., Jia, X., Hu, J., Xu, D., Xia, F., & Li, Y. (2017). Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze river delta, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph14091042>
- Isa, B. K., Amina, S. B., Aminu, U., & Sabo, Y. (2015). Health risk assessment of heavy metals in water, air, soil and fish. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 9(11), 204–210. <https://doi.org/10.5897/ajpac2015.0654>
- Liu, J., Ma, Y., Zhang, S., Yao, Y., Wang, X., Chen, T., He, Y., & Qi, J. (2021). Health risk assessment of heavy metal pollution in farmland downstream of Lead-zinc smelter. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 687(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/687/1/012057>
- Mahmood, A., & Malik, R. N. (2014). Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(1), 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.002>
- Malan, M., Müller, F., Cyster, L., Raitt, L., & Aalbers, J. (2015). Heavy metals in the irrigation water, soils and vegetables in the Philippi horticultural area in the Western Cape Province of South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4085-y>
- Manzoor, J., Sharma, M., & Wani, K. A. (2018). Heavy metals in vegetables and their impact on the nutrient quality of vegetables: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 41(13), 1744–1763. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1462382>
- N Shaheen, M Ahmed, M. I. (2016). No Title. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(heavy metal), 7794–7806. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-015-6013-2>
- Nag, R., & Cummins, E. (2022). Human health risk assessment of lead (Pb) through the environmental-food pathway. *Science of the Total Environment*, 810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151168>
- Naseri, K., Salmani, F., Zeinali, M., & Zeinali, T. (2021). Health risk assessment of Cd, Cr, Cu, Ni and Pb in the muscle, liver and gizzard of hen's marketed in East of Iran. *Toxicology Reports*, 8, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.12.012>
- Nimyel, N. D., & Chundusu, E. S. (2021). Assessment of Heavy Metal Levels in Soil and Vegetables in Some Farms Around Mining Sites in Mangu Local Government Area Plateau State, Nigeria.

- European Journal of Advanced Chemistry Research, 2(5), 1–10.
<https://doi.org/10.24018/ejchem.2021.2.5.81>
- Okoronkwo, N. E., Igwe, J. C., & Onwuchekwa, E. C. (2005). Risk and health implications of polluted soils for crop production. *African Journal of Biotechnology*, 4(13 SPEC. ISS.), 1521–1524.
<https://doi.org/10.4314/ajfand.v4i13.71825>
- Peycheva, K., Panayotova, V., & Stancheva, M. (2016). Assessment of human health risk for copper , arsenic , zinc , nickel , and mercury in marine fish species collected from Bulgarian black sea coast. 4(5), 41–46.
- Priyadi, S., R. Soelistijono, Setie Harieni, Kusriani Prasetyowati. (2018). Identifikasi Logam Berat Pada Biji Jagung Dan Kedelai Masa Transisi Sistem Pertanian Organik. *Agritech*, 38(4), 456–462.
- Priyadi, S., Darmadji, P., Santoso, U., & Hastuti, P. (2014). Distribution of Plumbum , Cadmium on Soybeans and Deprotonation of Carboxyl Functional Groups. *Agritech*, 34(4), 407–414.
- Priyadi, S., Darmaji, P., Santoso, U., & Hastuti, P. (2013). Khelasi Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) Menggunakan Asam Sitrat. *Agritech*, 33(4), 407–414.
- Priyadi, S., Harieni, S., Soemarah KD, T., & Utami dan Haryuni, S. D. (2021). Good Agricultural Practices Shallot (*Allium ascalonicum*) with Cow Manure , Food Safety Review From Heavy Metal Content Aspects. *Jurnal Ilmiah Agrineca*, 21(1), 20–24.
- Purbonegoro, T. (2020). Kajian Risiko Kesehatan Manusia Terkait Konsumsi Makanan Laut (Seafood) Yang Tercemar Logam. *Oseana*, 45(2), 31–39.
<https://doi.org/10.14203/oseana.2020.vol.45no.2.87>
- Ravichandran, S. (2011). Possible Natural ways to eliminate toxic heavy metals. *International Journal of ChemTech Research*, 3(4), 1886–1890.
- Samaila, B., & Maidamma, B. (2020). Review on Measurement of Heavy Metals and their Health Implications using Atomic Absorption Spectroscopy Technique in Some Parts of Nigeria. 9(6), 326–331. <https://doi.org/10.21275/SR20601175759>
- Sandeep, G., Vijayalatha, K. R., & Anitha, T. (2019). Heavy metals and its impact in vegetable crops. *International Journal of Chemical Studies*, 7(1), 1612–1621.
<https://www.researchgate.net/publication>
- Sarkar, T., Alam, M. M., Parvin, N., Fardous, Z., Chowdhury, A. Z., Hossain, S., Haque, M. E., & Biswas, N. (2016). Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhira region, Bangladesh. *Toxicology Reports*, 3, 346–350. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.03.003>
- SUN, H. fei, LI, Y. hua, JI, Y. fang, YANG, L. sheng, WANG, W. yi, & LI, H. rong. (2010). Environmental contamination and health hazard of lead and cadmium around Chatian mercury mining deposit in western Hunan Province, China. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 20(2), 308–314. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(09\)60139-4](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(09)60139-4)
- Tay, C. K., Dorleku, M., & Doamekpor, L. K. (2019). Human Exposure Risks Assessment of Heavy Metals in Groundwater within the Amansie and Adansi Districts in Ghana using Pollution Evaluation Indices. *West African Journal of Applied Ecology*, 27(1), 23–41. <https://www.google.com/search>