

## Analisis Risiko Kesehatan Karyawan Terhadap Paparan Kadmium (Cd) dan *Eschericia coli* di Industri

Sri Slamet Mulyati\*, Fenni Maulani, Farah Ayu Aristawati, Muhamad Iqbal, Redi Yudha Irianto

Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes RI Bandung, Jalan Babakan Loa No.10A, Gunung Batu, Cimahi Utara, Kota Cimahi 40514, Indonesia

\*Corresponding author : srislamet@staff.poltekkesbandung.ac.id

Info Artikel: Diterima 8 Agustus 2022 ; Direvisi 7 Maret 2023 ; Disetujui 7 Maret 2023  
Tersedia online : 25 Mei 2023 ; Diterbitkan secara teratur : Juni 2023

**Cara sitasi (Vancouver):** Mulyati SS, Maulani F, Aristawati FA, Iqbal M, Irianto RY. Analisis Risiko Kesehatan Karyawan Terhadap Paparan Kadmium (Cd) dan *Eschericia coli* di Industri. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2023 Jun;22(2):202-207. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.2.202-207>.

### ABSTRAK

**Latar Belakang:** Karyawan berhak mendapatkan pelayanan yang menjamin kesehatan dan keselamatannya ketika mereka bekerja. Ketika menggunakan air bersih untuk higiene dan sanitasinya, pastikan air tersebut tidak berdampak secara langsung maupun tidak langsung terhadap kesehatannya. Risiko kesehatan terhadap karyawan apabila mengkonsumsi air tersebut bisa diprediksi melalui analisis risiko kesehatan lingkungan. Tujuan: Mengetahui risiko non karsinogenik dan mikroba akibat paparan Kadmium (Cd) dan *E. coli* dalam air bersih.

**Metode:** Penelitian ini adalah deskriptif dengan pendekatan analisis risiko kesehatan lingkungan. Sampel manusia adalah orang dewasa dengan menggunakan nilai *default* berat badan orang dewasa 55 Kg. Sampel lingkungan adalah air bersih di industri tekstil PT.X Kota Cimahi.

**Hasil:** Intake Kadmium (Cd) belum menunjukkan adanya bukti kanker dalam paparan oral sehingga tidak dihitung dalam studi ini. Paparan Cd dalam air bersih secara oral belum berisiko non karsinogenik ( $RQ = 0,20756$ ). Peluang terinfeksi akibat paparan *E.coli* dalam air bersih ( $P = 4,34 \times 10^{-5}$ ), dan peluang sakit ( $P = 1,572 \times 10^{-2}$ ).

**Simimpulan:** Keberadaan Cd dalam air bersih belum berisiko non karsinogenik ( $RQ < 1$ ). Keberadaan *E. coli* dalam air bersih berpeluang menginfeksi  $> 1$  per 100.000 karyawan, dan berpeluang menimbulkan sakit  $> 1$  per 100 karyawan industri PT.X Kota Cimahi dalam setahun.

**Kata kunci:** Karsinogenik; Kadmium (Cd); Beta poison

### ABSTRACT:

**Title:** Employee Health Risk Analysis of Cadmium (Cd) and *Eschericia coli* Exposure in Industry

**Background:** Employees have the right to get services that ensure their health and safety when they work. When using clean water for hygiene and sanitation, ensure that the water does not directly or indirectly impact on their health. The health risks to workers if they consume water can be predicted through an environmental health risk analysis. **Objective:** Knowing the carcinogenic, non-carcinogenic, and microbial risks due to exposure to Cadmium and *E.coli* in clean water.

**Methods:** This research was descriptive with environmental health risk analysis approach. Human samples were adults using the default value of the adult weight of 55 Kg. Environmental samples were clean water in the textile industry PT.X Cimahi City.

**Result:** Exposure to Cd in clean water orally did not pose a carcinogenic risk. Exposure to Cd in clean water orally had a non-carcinogenic risk ( $RQ = 0.20756$ ). The probability of becoming infected due to exposure to *E.coli* in clean water ( $P = 4.34 \times 10^{-5}$ ), and the probability of illness ( $P = 1.572 \times 10^{-2}$ )

**Conclusion:** The presence of Cd in clean water had no non-carcinogenic risk ( $RQ < 1$ ). The presence of E.coli in clean water had the opportunity to infect  $> 1$  per 100,000 employees, and has the opportunity to cause illness  $> 1$  per 100 industrial employees of PT. X Cimahi City in a year.

**Keywords:** Carcinogeni c; Kadmium (Cd); Beta poisson

## PENDAHULUAN

Dewasa ini pencemaran akibat logam berat telah menjadi pusat perhatian di berbagai belahan dunia manapun. Hal ini disebabkan logam berat bersifat toksik, persisten di alam dan mobilitasnya yang tinggi. Tidak semua logam berat berbahaya bagi manusia. Beberapa diantaranya bersifat esensial bagi proses metabolisme manusia seperti Cu, Zn, Fe, Mn, Se, dan Co. Adapun yang bersifat toksik diantaranya adalah Cd, Pb, Hg, dan Ni (1). Asupan logam toksik secara berlebihan, berbahaya bagi manusia dan hewan. Logam berat akan mengalami bioakumulasi dalam tubuh organisme. Beberapa diantaranya dilaporkan menyebabkan efek karsinogenik, mutagenik, dan teratogenik (2).

International Program on Chemical Safety (IPCS), dan International Agency for Research on Cancer mengklasifikasikan Cd sebagai substansi karsinogenik Grup 1, artinya probabilitas tinggi penyebab kanker. Efek lainnya adalah menyebabkan gangguan ginjal, metabolisme kalsium, hipertensi, dan jantung (3)

Beberapa penelitian sebelumnya tentang Cd telah dilakukan pada berbagai media yang terkontaminasi logam berat toksik tersebut. Toksisitas Cd dalam air dikaitkan keberadaannya dengan kesadahan. Pada kondisi normal kesadahan  $\text{CaCO}_3$  100 mg/L, didapat konsentrasi maksimum Cd sebesar 6,46  $\mu\text{g/L}$  (4). Studi ini memberikan referensi bagaimana kualitas air terkontaminasi Cd dengan kesadahan yang berbeda-beda memberikan dampak yang berbeda pula pada kehidupan akuatik. Analisis risiko akibat pajanan Cd di wilayah semi urban Lebanon juga telah memberikan dasar-dasar strategi manajemen risiko akibat polutan. Aktivitas penduduk yang berbeda menunjukkan *Hazard Quotient* yang berbeda pula (5).

## MATERI DAN METODE

Jenis penelitian ini adalah deskriptif dengan pendekatan analisis risiko kesehatan lingkungan. Sampel manusia adalah orang dewasa dengan menggunakan nilai *default* berat badan 55 Kg, area pemajanan di industri, masa kerja 25 tahun, dan lama pajanan 250 hari dalam setahun. Sampel lingkungan adalah air bersih di industri tekstil PT.X Kota Cimahi. Sumber air yang dijadikan sampel adalah berasal dari bak penampungan air untuk kebutuhan hygiene dan sanitasi para karyawan industri tersebut. Teknik pengambilan yang digunakan adalah *grab sampling*. Data hasil pengukuran kualitas kimia merupakan data sekunder dari industri. Laboratorium yang digunakan adalah Labkesda Provinsi Jawa Barat. Substansi kimia yang melampaui baku mutu diidentifikasi karakteristik

hazardnya dan dilakukan analisis risikonya apabila air tersebut dikonsumsi. Perhitungan *intake* dilakukan dengan rumus sebagai berikut : (6)

$$I = \frac{C.R.te.fe.Dt}{Wb.tavg} \quad (1)$$

Keterangan :

- I: Intake (asupan) : Jumlah risk agent yang diterima individu per satuan berat badan setiap hari (mg/kg/hari),  
 C : Konsentrasi *Risk agent* Cd dan Mn.  
 R : Laju asupan (mg/L atau mg/Kg),  
 t<sub>e</sub> : Waktu pajanan per hari (jam/hari),  
 f<sub>e</sub> : Frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun), D<sub>i</sub>: Durasi pajanan, real time atau 30 tahun proyeksi,  
 W<sub>b</sub> : Berat badan (kg),  
 t<sub>avg</sub> : periode waktu rata-rata, 30 tahun x 365 hari/tahun, (nonkarsinogenik) atau 70 tahun x 365 hari/tahun (karsinogenik). Selanjutnya perhitungan risiko (*Risk Quotient*) disingkat

RQ, yang dihitung dengan pendekatan rumus sebagai berikut:(7)

$$RQ = \frac{\text{intake} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg/hari}} \right)}{RfD \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg/hari}} \right)} \quad (2)$$

Risiko karsinogenik dinyatakan sebagai *Excess Cancer Risk (ECR)*, dihitung dengan mengalikan asupan ( $I_k$ ) dengan *CSF*:(6)

$$ECR = I_k (\text{mg/kg/hari}) \times CSF (\text{mg/kg/hari})^{-1}$$

Apabila nilai  $RQ \leq 1$  artinya bahwa asupan air bersih yang terkontaminasi Cd dan Mn melalui pajanan oral belum berisiko menimbulkan gangguan kesehatan non karsinogenik. Nilai ECR dikatakan berisiko jika menimbulkan tambahan kasus kanker lebih dari satu per satu juta populasi, contohnya jika diperoleh nilai ECR  $2,9.10^{-6}$  berarti kasus tambahan kanker per satu juta populasi adalah 3, berarti berisiko karsinogenik.

Penetapan dosis pajanan mikroba berbeda dengan dosis pajanan kimia. Dosis pajanan mikroba dinyatakan sebagai jumlah atau kuantitas mikroba dalam suatu pajanan tunggal. Berikut adalah perhitungan probabilitas infeksi dari pajanan tunggal dengan metode beta poisson: (8)

$$P = 1 - \left( 1 + \frac{N}{\beta} \right)^{-\alpha} \quad (3)$$

Keterangan :

- P : Probabilitas infeksi
- N : Jumlah pajanan mikroba
- $\beta$  dan  $\alpha$  : Karakterisasi interaksi host dan patogen

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan kualitas kimia air bersih di indusri tekstil PT. X:

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Kualitas Kimia dan Bakteriologi Air Bersih

Parameter	Hasil Uji mg/L	Baku Mutu mg/L	Metode Pemeriksaan
pH	7,33	6,5-8,5	Potensiometri
NO2 sebagai N	<0,004	1	Spektrometri
NO3 sebagai N	<0,173	10	Spektrometri
Besi	<0,105	1	Spektrometri Serapan Atom (SSA)
<b>Mangan</b>	1,30	0,5	SSA
<b>Kadmium (Cd)</b>	0,01	0,005	SSA
Timbal	<0,01	0,05	SSA
Krom (VI)	<0,027	0,05	SSA
Fluorida	0,46	1,5	SSA
Sulfat	128,74	400	Turbidimetri
Kesadahan	340,27	500	Titrimetri
<b>E.coli</b>	41	0 CFU/ml	ALT
	CFU/100ml		

Sumber : Data Sekunder mengacu pada standar baku mutu (SBM) Permenkes RI No.32 Tahun 2017

Parameter Mn, Cd, dan bakteri *E. coli* konsentrasinya melampaui baku mutu. Sesungguhnya pendekatan analisis risiko tidak selalu ditujukan untuk parameter-parameter yang melampaui baku mutu saja. Justru konsentrasi yang sedikit saja namun kontinyu dan sepanjang hayat pajanannya, itulah kajian risiko yang sesungguhnya. Penelitian ini hanya melakukan analisis risiko yang melampaui baku mutu saja dan

Tabel 2. Default Exposure Factors (US-EPA) Modifikasi

Land Use	Exposure Pathway	Daily Intake	Exposure Frequency	Exposure Duration	Body Weight
Industri & Komersial	Air minum Tanah & debu Inhalasi	1 L 50 mg 20 m <sup>3</sup> (hari kerja)	250 hari/tahun	25 tahun	55Kg (BB dewasa Indonesia)

Pajanan Cd secara oral yang melebihi dosis referensi melalui media air dapat menyebabkan proteinuria yang bermakna. Proteinuria adalah kondisi urine dengan kandungan albumin yang tidak normal. Tidak ada kecukupan data-data penelitian sebelumnya tentang risiko karsinogenik akibat pajanan oral Cd melalui media air. Namun demikian hasil studi epidemiologi menunjukkan bahwa pajanan Cd melalui inhalasi berisiko karsinogenik. Ada kemaknaan secara statistik antara pajanan debu atau uap logam Cd terhadap tenaga kerja dengan kejadian kanker prostat.

Kontaminasi air oleh mikroorganisme menandakan keseriusan terjadinya ancaman terhadap

tersedia data-data pajanan yang cukup adekuat dalam peneleitian-penelitian terdahulunya. Disamping itu alasan dasar baku mutu adalah mengingat intervensi yang dilakukan saat kegiatan PKL di industri, inilah yang menjadi dasar rekayasa alat penyelesaian masalah kesehatan lingkungan. Berikut adalah nilai-nilai *default* yang diperlukan ketika melakukan analisis risiko kesehatan lingkungan untuk parameter kimia : (9) Berikut adalah nilai *default* yang digunakan dalam analisis risiko mikroba : (8)

Tabel 3. Parameter Dosis Respon Mikroorgnaisme Pathogen

Mikroorganisme	Best Model	Model Parameter
<i>E. coli</i>	<i>Beta Poisson</i>	$\alpha = 0,1705$ $\beta = 1,61 \times 10^6$

Rute pajanan Mn secara oral melalui air tidak cukup adekuat bukti-bukti penelitian sebelumnya. Beberapa penyakit pada manusia dikaitkan dengan masalah defisiensi dan asupan yang berlebihan. Asupan yang melampaui dosis referensi pada populasi general tidak berhubungan dengan gangguan kesehatan non karsinogenik melainkan hanya pada tingkatan toksisitas. Toksikitas akibat Mn menyebabkan gangguan sistem saraf pusat. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa beberapa individu yang terpapar kandungan Mn lebih dari 10 mg/hari dalam makanannya tidak menunjukkan efek serius yang harus diperhatikan. Begitu juga untuk risiko karsinogenik akibat pajanan Mn secara inhalasi tidak ditemukan data-data penelitian sebelumnya yang cukup adekuat. Risiko pajanan melalui inhalasi banyak berhubungan dengan industri yang melepaskan debu MnO<sub>2</sub> saat proses produksinya. Efek yang ditimbulkan belum berisiko karsinogenik melainkan kegagalan fungsi neurobehavioral.(10)

kesehatan manusia. Saat ini ada berbagai mikroorganisme yang dijadikan indikator utama dalam menilai kualitas air. Secara umum yang sering digunakan dalam penilaian tersebut adalah total coliform dan *Escherichia coli* (11).

*Water related illness* berkaitan dengan keberadaan mikroba dalam air yang terkontaminasi. Sejumlah mikroba patogen ini berasal dari feses manusia atau hewan. *E. coli* berasal dari feses manusia dan tidak menutup kemungkinan ada mikroba patogen lainnya. Atas dasar kemudahan dalam pemeriksaan dan biaya yang efisien, Fecal Indicator Bacteria (FIB) menjadi alat ukur kualitas air(12).

Analisis dosis respon hanya dilakukan untuk spesi kimia logam berat Cd. Nilai dosis referensi atau RfD pajanan oral melalui media air adalah  $5 \times 10^{-4}$  mg/Kg/hari.(13) Berikut adalah perhitungan asupan debu total (intake)

$$\begin{aligned} \text{Intake} &= \frac{C. R. te. fe. Dt}{Wb. tavg} \\ \text{Intake} &= \frac{0,01 \times 1 \times 25 \times 250}{55 \times 10950} \\ \text{Intake} &= 0,00010378 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{hari} \end{aligned}$$

Perhitungan *Risk Qoutient* (RQ) untuk t intake 0,00010378 mg/kg/hari.

$$\begin{aligned} \text{Risk Qoutient} &= \frac{\text{intake} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg/hari}} \right)}{\text{RfD} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg/hari}} \right)} \\ \text{Risk Qoutient} &= \frac{0,00010378 \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg/hari}} \right)}{0,0005 \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg/hari}} \right)} \\ \text{Risk Qoutient} &= 0,20756 \end{aligned}$$

Interpretasi nilai *Risk Qoutient* tersebut artinya bahwa air bersih yang mengandung logam berat Cd 0,01mg/L di industri tersebut belum berisiko menyebabkan gangguan kesehatan (non karsinogenik) bila terminum 1 Liter/hari selama 250 hari per tahun dalam jangka waktu 25 tahun dengan berat badan 55 kg.

Berikut adalah penetapan risiko infeksi dan penyakit akibat mengkonsumsi air bersih yang terkontaminasi *E. coli*.

$$\begin{aligned} P &= 1 - \left( 1 + \frac{N}{\beta} \right)^{-\alpha} \\ P &= 1 - \left( 1 + \frac{41}{1610000} \right)^{-0,1705} \\ P &= 4,34 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Interpretasi nilai risiko di atas adalah sebanyak 5 dari 100.000 orang berpeluang untuk terinfeksi akibat mengkonsumsi air bersih yang terkontaminasi *E. coli*. Penetapan risiko tahunan jika seseorang mengkonsumsi air yang mengandung *E. coli* selama setahun adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P \text{ tahunan} &= 1 - (1 - P \text{ infeksi})^{365} \\ &= 1 - (1 - 4,34 \times 10^{-5})^{365} \\ &= 0,0069 / 69 \times 10^{-4} \\ &= 0,01572 \end{aligned}$$

Interpretasi nilai risiko di atas adalah sebanyak 2 dari 100 (pembulatan) orang berpeluang untuk sakit tahunan akibat mengkonsumsi air bersih yang terkontaminasi *E.coli*.

Analisis risiko Cd tidak hanya dilakukan pada individu atau populasi yang terpajan lewat media air. Sebuah penelitian telah dilakukan di salah satu

kecamatan yang ada di Thailand. Penelitian ini menemukan 159 sampel beras yang dikonsumsi oleh masyarakatnya terkontaminasi oleh Cd. Potensi risiko dalam penelitian ini dipengaruhi oleh konsentrasi total Cd dalam beras itu sendiri dan rerata asupan beras masyarakat tersebut (14). Analisis risiko Cd pada beras yang dikonsumsi masyarakat juga dilakukan di Bangladesh. Sebanyak 144 sampel beras yang diteliti menunjukkan kisaran Cd 1-180  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  berat kering sampel. Asupan Cd harian pada kisaran 0,09-0,58  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  berat badan menunjukkan Incremental Lifetime Cancer Risk (ILCR) pada kisaran  $1.35 \times 10^{-3}$  dan  $8.7 \times 10^{-3}$  (15).

Fenomena di atas menuntut kehati-hatian industri ketika pegawai dalam jumlah yang besar dilayani kebutuhan makannya oleh perusahaan. Nasi merupakan kebutuhan pokok sebagian besar masyarakat Indonesia. Ketika sumber air bersihnya tercemar logam berat maka bahan pangan yang dicuci dengan air tersebut atau menggunakan air tersebut saat mengolah makanan tentunya ada risiko kontaminasi di sana.

Analisis risiko kesehatan sumber air terkontaminasi Cd dan upaya pengendaliannya juga telah dilakukan dalam penelitian lainnya. Sebuah irigasi yang memanfaatkan limbah cair terkontaminasi Cd untuk tanaman umbi-umbian, dapat diminimalisir risiko bahayanya dengan penambahan unsur-unsur silikon berbagai variasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa amandemen silikon berbagai variasi erat kaitannya dengan upaya mitigasi risiko kesehatan akibat pajanan konsumsi makanan terkontaminasi Cd(16). Fenomena ini menunjukkan bahwa sumber air yang terkontaminasi tidak boleh diabaikan, akan ada konsekuensi mengkontaminasi media lainnya seperti tanaman-tanaman sereal atau umbi-umbian yang nantinya akan kita konsumsi. Penelitian lainnya terkait sumber air terkontaminasi logam berat Pb dan Cd juga dilakukan pada biji jagung. Seperti kita ketahui jagung merupakan bahan sereal yang tidak kalah penting setelah gandum dan beras. Kandungan Pb dan Cd pada biji jagung bersumber irigasi kualitas air rendah lebih tinggi dibandingkan dengan sumber irigasi kualitas air baik atau *freshwater*. Kualitas air rendah menghasilkan nilai keduanya (Pb dan Cd) pada jagung melampaui baku mutu yang dipersyaratkan oleh WHO (17). Ini pun membuktikan bahwa sumber air yang terkontaminasi logam berat dapat mempengaruhi kualitas pangan yang memanfaatkan sumber air tersebut.

Cd berada pada larutan tanah dalam bentuk ion maupun senyawa kompleks dengan zat organik. Sumber air bersih atau air tanah menjadi terkontaminasi Cd ketika tanah itu sendiri terkontaminasi logam berat Cd. Proses ini disebut sebagai desorpsi, yakni terlepasnya kontaminan Cd dalam tanah ke dalam air tanah (18). Kadar maksimum Cd yang ditenggang adanya dalam tanah adalah  $\leq 1300$  mg/Kg(19). Sementara batas maksimum cemaran Cd dalam makanan sereal seperti beras dan tepung beras

adalah 0,4 mg/Kg (20). Dalam penelitian ini belum dilakukan analisis lebih lanjut seberapa besar kandungan Cd dalam media lainnya ketika sumber air di industri tersebut dimanfaatkan untuk kebutuhan higiene dan sanitasi.

Analisis risiko mikroba secara kuantitatif telah dilakukan melalui studi literatur. Studi pertama ditujukan untuk menilai pasokan air minum bagi masyarakat. Pendekatan saat ini lebih bervariasi dalam hal mengupayakan turunnya dosis infeksi mikroba. Contoh upaya tersebut adalah munculnya berbagai penelitian terkait metode pengolahan air bersih kemudian diamati kualitas bakterinya. Adapun pendekatan respon dosis masih sangat terbatas. Namun demikian faktor dosis umumnya merupakan penentu risiko yang paling berpengaruh. Perlu konsistensi yang besar supaya pendekatan analisis risiko mikroba ini dapat dimanfaatkan secara menyeluruh (21).

Sebuah penelitian risiko mikroba dilakukan di Pakistan terhadap 425 sumber air yang ada di Sekolah Dasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 49% terkontaminasi *E. coli*, 63% terkontaminasi *Shigella spp*, 53% terkontaminasi *Salmonella spp* dan 49% terkontaminasi *Vibrio cholerae*. Probabilitas infeksi setiap tahunnya akibat *E. coli* dalam penelitian ini sebesar 99,6%. Probabilitas sakit setiap tahunnya sebesar 34,8% (22). Kedua probabilitas tersebut lebih besar persentasenya dibandingkan dengan penelitian kami. Hal ini menunjukkan bahwa peluang untuk terinfeksi dan juga peluang untuk sakit akibat menggunakan air bersih yang terkontaminasi *Escherichia coli* lebih besar pada anak-anak di beberapa SD yang ada di Pakistan tersebut dibandingkan dengan karyawan di industri. Penelitian lainnya dengan jumlah  $60 \pm 360$  CFU *Escherichia coli* /100 ml menunjukkan nilai probabilitas terjadinya sakit > 1 per 10.000 orang (23). Nilai ini lebih rendah dibandingkan probabilitas sakit dalam penelitian kami yaitu > 1 per 100 orang. Hal ini menunjukkan bahwa peluang untuk sakit akibat menggunakan air bersih yang terkontaminasi *Escherichia coli* lebih besar pada karyawan yang ada di industri dibandingkan dengan penduduk miskin yang ada di Pakistan dalam penelitian tersebut. Hal lain yang perlu mendapat perhatian adalah ketika di tempat kerja atau industri melakukan pengelolaan limbah cair. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa timbunan *sludge* dapat mengkontaminasi area tangkapan air bersih. Kondisi ini menyebabkan risiko infeksi *E. coli* bagi pengguna air tersebut pada kisaran  $6.22 \times 10^{-3} \pm 3.74 \times 10^{-4}$ . (24). Disamping itu penggunaan air minum isi ulang di industri juga perlu mendapat perhatian dari risiko kontaminasi mikroba. Sebuah penelitian di Makasar menunjukkan bahwa hasil pemeriksaan laboratorium dari 6 sampel air minum isi ulang, semuanya positif (+) *E. coli*. (25).

## SIMPULAN

Keberadaan Cd dalam air bersih belum berisiko non karsinogenik (RQ < 1). Keberadaan *E. coli* dalam air

bersih berpeluang menginfeksi > 1 per 100.000 karyawan, dan berpeluang menimbulkan sakit > 1 per 100 karyawan industri PT.X Kota Cimahi dalam setahun.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Vallejo Toro PP, Vásquez Bedoya LF, Correa ID, Bernal Franco GR, Alcántara-Carrió J, Palacio Baena JA. Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. *Mar Pollut Bull.* 2016;111(1–2):311–20. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.093>
2. Clemens S, Ma JF. Toxic Heavy Metal and Metalloid Accumulation in Crop Plants and Foods. 2016; <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112301>
3. Cadmium ; CASRN 7440-43-9. *Interated Risk Inf Syst Chem Assess Summ US EPA.* 1987;1–11.
4. Ding, T, Shilin Du, Yahui Zhang , Wang H, Yu Zhang, Ying Cao, Jin Zhang dan LH. Hardness-Dependent Water Quality Criteria for Cadmium and An Ecological Risk Assessment of The Shaying River Basin. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020;198. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110666>
5. Halwani, D.A, M. Jurdi, Fatima K, A. Salem, M.A. Jaffa, N. Amacha, R.R. Habib dan HRD. Cadmium Health Risk Assessment and Anthropogenic Sources of Pollution in Mount-Lebanon Springs. *Expo Helath.* 2020;12:163–78. <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00301-3>
6. Ogidi OI, Enenebeaku UE, Okara E, Elumelu SA. Toxic Metal Profiles, Carcinogenic and Non-Carcinogenic Human Health Risk Assessment of Some Locally Produced Beverages in Nigeria. *J Toxicol Risk Assess.* 2021;7(1):1–8. <https://doi.org/10.23937/2572-4061.1510039>
7. US EPA. Characterizing Risk and Hazard. *Hum Heal Risk Assess Protoc* [Internet]. 2005;1–15. Available from: <http://www3.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/td/co-mbust/finalmact/ssra/05hhrap7.pdf>
8. Ichida A, Schaub S, Soller J, Nappier S, Ravenscroft J. Microbial risk assessment tools, methods, and approaches for water media. *Microb Risk Anal.* 2016;1(December):12. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2015.05.002>
9. USEPA D. Risk assessment guidance for superfund. *Hum Heal Eval Man Part A.* 1989;1(202).
10. IRIS EPA. Manganese (CASRN 7439-96-5). *Integr Risk Inf Syst.* 1995;1–46.
11. Wen X, Feiyu C, Yixiang L, Hui Z, Fang Y, Duiyi K, Zhihui J dan ZY. Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality. *Rev Sustain.* 2020;12(6). <https://doi.org/10.3390/su12062249>
12. Sinclair, R.G.; Jones, E.L.; Gerba CP. Viruses in

- recreational water-borne disease outbreaks. 2009. p. 1769–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04367.x>
13. Assessment USEPANC for E. Integrated Risk Information System (IRIS). 1989;1–11.
  14. Suwatvitavakorn P, Myoung S.K, Kyoung W.K dan PC. Human health risk assessment of cadmium exposure through rice consumption in cadmium-contaminated areas of the Mae Tao sub-district, Tak, Thailand. *Environ Geochemistry Helath.* 2020;42:2331–44. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00410-7>
  15. Shahrir, S, M.M. Rahman dan RN. Geographical variation of cadmium in commercial rice brands in Bangladesh: Human health risk assessment. *Sci Total Environ.* 2020;716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137049>
  16. Sohail, M.I, M.Z. Rahman, M. Rizwan, B. Yousaf, M.A.Haq, a. Anayat dan AAW. Efficiency of various silicon rich amendments on growth and cadmium accumulation in field grown cereals and health risk assessment. *Chemosphere.* 2020;244. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125481>
  17. El-Hassanin, Adel S. Magdy R.Samak, Gomaa N.Abdel-Rahman, Yahia H.Abu-Sree EMS. Risk assessment of human exposure to lead and cadmium in maize grains cultivated in soils irrigated either with low-quality water or freshwater. *Toxicol Reports.* 2020;7:10–5. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.11.018>
  18. S. N. Pencemaran Tanah dan Air Tanah. Bandung: ITB Bandung; 2005.
  19. Permenkes RI Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. Permenkes; 2016.
  20. BSN. SNI 7387:2009. Batas Maksimum Cemar Logam Berat dalam Pangan. Batas Maksimum Cemar Logam Berat dalam Pangan [Internet]. 2009;1–29. Available from: [https://sertifikasibbia.com/upload/logam\\_berat.pdf](https://sertifikasibbia.com/upload/logam_berat.pdf)
  21. E.L. Owens, C, M.L. Angles, P.T. Cox, P.M. Byleved, N.J. Osborne dan MBR. Implementation of quantitative microbial risk assessment (QMRA) for public drinking water supplies. *Syst Rev Water Res.* 2020;174. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115614>
  22. Ahmed J, Wong LP, Chua YP, Channa N, Mahar RB, Yasmin A, et al. Quantitative microbial risk assessment of drinking water quality to predict the risk of waterborne diseases in primary-school children. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(8):1–16. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082774>
  23. Jamal, R, S. Mubarak, S.Q. Sahulka, J.A. Kori, A. Tajjamul, J.Ahmed, R.B. Mahar, M.S. Olsen, R.Goel dan J. Informing water distribution line rehabilitation through quantitative microbial risk assessment. *Sci Total Environ.* 2020;739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140021>
  24. Deepnarain N. Development of a Model to Predict Bulking in Full-scale Wastewater Treatment Plants, and the Impact of Bulking in the Receiving Environment. 2021;(April).
  25. Baharuddin A, Ichsan M. Microbial risk assessment (MRA) as a method of assessment for drinking water refill in pattingaloang district of Makassar city. *Indian J Forensic Med Toxicol.* 2020;14(2):1793–8.



©2023. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.