JIKES: JURNAL ILMU KESEHATAN
Tahun 2026, Volume 5, Nomor 1, Bulan Juli-Desember: hlm 1827-1838
e-ISSN: 2963-069X | URL: https://yptb.org/index.php/jik | e-Mail: jurnalq17@gmail.com

Lisensi: CC-BY
DOI: https://doi.org/10.71456/jik.v5i1.2996

ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN *CHROMIUM HEXAVALENT* (CR^{6+}) MELALUI AIR MINUM DI WILAYAH KERJA PUSKESMAS BINJAI ESTATE KOTA BINJAI

David Brando Pratama Tarigan[1*], Syafran Arrazy[2], Nadia Ulfa Tanjung[3], & Wahyudi[4]

[*1-4]Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara
*e-Mail: davidbrando04@gmail.com

Submit Tgl: 14-Oktober-2026 Diterima Tgl: 15-Oktober-2026 Diterbitkan Tgl: 24-Oktober-2026

Abstrak: *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) merupakan logam berat yang bersifat toksik dan karsinogenik sehingga keberadaannya dalam air minum berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat. Penelitian ini bertujuan menganalisis risiko karsinogenik akibat pajanan Cr^{6+} melalui konsumsi air minum pada masyarakat di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Penelitian ini merupakan penelitian observasional dengan pendekatan deskriptif kuantitatif menggunakan sembilan sampel air minum yang berasal dari sembilan responden. Analisis risiko dilakukan melalui perhitungan *intake* dan karakterisasi risiko menggunakan nilai *Excess Cancer Risk* (ECR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa delapan sampel air minum (88,9%) memiliki konsentrasi Cr^{6+} melebihi baku mutu sebesar 0,01 mg/L sesuai Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023. Nilai *intake* berkisar antara 0,000000–0,019611 mg/kg/hari, sedangkan nilai ECR berkisar antara 0,000000–0,005295. Sebanyak lima responden (55,6%) berada pada kategori *unacceptable risk*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar air minum yang dikonsumsi responden berpotensi menimbulkan risiko karsinogenik, sehingga diperlukan pemantauan kualitas air minum secara berkala serta pengelolaan risiko kesehatan lingkungan untuk melindungi kesehatan masyarakat.

Kata Kunci: *Chromium Hexavalent*; Air Minum; Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan; *Intake*; *Excess Cancer Risk*

Abstract: *Hexavalent Chromium (Cr(VI)) is a toxic and carcinogenic heavy metal whose presence in drinking water may pose significant health risks to the community. This study aimed to analyze the carcinogenic risk associated with Cr(VI) exposure through drinking water consumption among residents in the catchment areas of Binjai Estate Primary Health Center using the Environmental Health Risk Assessment (EHRA) approach. This observational study employed a quantitative descriptive design using nine drinking water samples collected from nine respondents. Risk assessment was conducted by calculating intake values and characterizing the risk using the Excess Cancer Risk (ECR) model. The results showed that eight drinking water samples (88.9%) exceeded the maximum permissible limit of 0.01 mg/L stipulated in the Indonesian Ministry of Health Regulation No. 2 of 2023. Intake values ranged from 0.000000 to 0.019611 mg/kg/day, while ECR values ranged from 0.000000 to 0.005295. Five respondents (55.6%) were classified as having an unacceptable risk. The findings indicate that most of the drinking water consumed by the respondents may pose a carcinogenic risk. Therefore, regular monitoring of drinking water quality and effective environmental health risk management are necessary to minimize Cr(VI) exposure and protect public health.*

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

Keywords: *Hexavalent Chromium; Drinking Water; Environmental Health Risk Assessment; Intake; Excess Cancer Risk.*

Cara mengutip Tarigan, D. B. P., Arrazy, S., Tanjung, N. U., & Wahyudi. (2026). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Chromium Hexavalent (CR6+) melalui Air Minum di Wilayah Kerja Puskesmas Binjai Estate Kota Binjai. *JIKES : Jurnal Ilmu Kesehatan*, *5*(1), 1827–1838. https://doi.org/10.71456/jik.v5i1.2996

PENDAHULUAN

Air minum merupakan kebutuhan dasar yang berperan penting dalam menjaga kesehatan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Air minum yang aman harus memenuhi persyaratan fisik, kimia, dan mikrobiologi agar tidak menimbulkan dampak kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsinya. Namun, hingga saat ini kualitas air minum masih menjadi permasalahan kesehatan masyarakat di berbagai negara. *World Health Organization* (WHO) melaporkan bahwa sekitar 2,2 miliar penduduk dunia belum memiliki akses terhadap air minum yang dikelola secara aman, sedangkan kontaminasi air masih menyebabkan sekitar 485.000 kematian akibat diare setiap tahun. Oleh karena itu, penyediaan air minum yang aman menjadi salah satu target *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin ke-6, yaitu menjamin ketersediaan dan pengelolaan air bersih serta sanitasi yang berkelanjutan bagi seluruh masyarakat (*World Health Organization*, 2022)

Di Indonesia, akses masyarakat terhadap sumber air minum layak telah mencapai sekitar 93,22%, namun belum seluruhnya memenuhi persyaratan keamanan kualitas air. Selain pencemaran mikrobiologis, pencemaran kimia berupa logam berat menjadi perhatian karena dapat menimbulkan dampak kesehatan akibat pajanan jangka panjang. Salah satu logam berat yang banyak mendapat perhatian adalah *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}). Senyawa ini dapat berasal dari proses alami maupun aktivitas antropogenik seperti industri pelapisan logam, penyamakan kulit, tekstil, pembuatan cat, dan berbagai aktivitas lain yang menghasilkan limbah mengandung kromium. Dibandingkan *Chromium Trivalent* (Cr^{3+}), Cr^{6+} memiliki toksisitas lebih tinggi karena lebih mudah larut dalam air dan memasuki sel tubuh (Badan Pusat Statistik, 2025; Sharma et al., 2022)

International Agency for Research on Cancer (IARC) mengklasifikasikan *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) sebagai karsinogen Kelompok 1, sedangkan *United States Environmental Protection Agency* (U.S. EPA) menyatakan bahwa pajanan Cr^{6+} melalui jalur oral berpotensi meningkatkan risiko kanker. Setelah masuk ke dalam tubuh, Cr^{6+} mengalami proses reduksi yang menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS), sehingga dapat menyebabkan stres oksidatif, kerusakan DNA, mutasi sel, serta meningkatkan risiko terjadinya kanker apabila pajanan berlangsung secara terus-menerus. Selain itu, pajanan kronis Cr^{6+} juga dapat memengaruhi fungsi ginjal, hati, dan organ lainnya. Untuk melindungi kesehatan masyarakat, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 menetapkan kadar maksimum *Chromium Hexavalent* dalam air minum sebesar 0,01 mg/L (EPA USA, 2026; Permenkes, 2023; Puspitarini & Ismawati, 2023)

Kota Binjai merupakan salah satu wilayah perkotaan di Provinsi Sumatera Utara yang masyarakatnya masih memanfaatkan berbagai sumber air minum, seperti air isi ulang, sumur bor, sumur gali terlindungi, dan air perpipaan. Perbedaan karakteristik sumber air tersebut berpotensi menimbulkan variasi kualitas air yang dikonsumsi masyarakat. Berdasarkan hasil penelitian pada delapan wilayah kerja puskesmas di Kota Binjai, Puskesmas Binjai Estate

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

dipilih sebagai fokus penelitian karena memiliki tingkat risiko karsinogenik tertinggi berdasarkan hasil Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Pada wilayah ini terdapat sembilan responden dengan sumber air minum yang beragam, terdiri atas air isi ulang, sumur bor/pompa, dan sumur gali terlindungi. Hasil pemeriksaan laboratorium menunjukkan konsentrasi *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) berkisar antara 0–1,20 mg/L, dengan beberapa sampel memiliki kadar yang jauh melebihi baku mutu air minum sebesar 0,01 mg/L. Kondisi tersebut menunjukkan adanya potensi pajanan Cr^{6+} yang memerlukan evaluasi risiko kesehatan secara lebih mendalam melalui pendekatan ARKL.

Sebagian besar penelitian sebelumnya mengenai *Chromium Hexavalent* di Indonesia masih berfokus pada pengukuran konsentrasi logam berat dan perbandingannya dengan baku mutu, sedangkan penelitian yang mengintegrasikan konsentrasi Cr^{6+} dengan karakteristik pajanan masyarakat melalui pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) masih terbatas. Pendekatan ini tidak hanya menilai keberadaan kontaminan dalam air minum, tetapi juga memperkirakan besarnya pajanan (*intake*) dan risiko karsinogenik yang diterima masyarakat melalui perhitungan *Excess Cancer Risk* (ECR), sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan risiko kesehatan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko karsinogenik akibat pajanan *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) melalui konsumsi air minum pada masyarakat di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), meliputi analisis konsentrasi Cr^{6+}, perhitungan *intake*, serta karakterisasi risiko berdasarkan nilai *Excess Cancer Risk* (ECR). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam upaya pemantauan kualitas air minum dan penyusunan strategi pengendalian risiko kesehatan masyarakat di wilayah tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan observasional deskriptif menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dengan desain cross-sectional. Penelitian dilaksanakan pada Januari–Mei 2026 di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate, Kota Binjai. Sampel penelitian berjumlah 9 responden yang dipilih berdasarkan ketersediaan data karakteristik pajanan dan hasil pemeriksaan kadar *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) pada air minum. Data konsentrasi Cr^{6+} diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium Dinas Kesehatan Kota Binjai Tahun 2025, sedangkan data karakteristik pajanan, meliputi berat badan, laju konsumsi air minum, frekuensi pajanan, durasi pajanan, dan lama tinggal, diperoleh melalui wawancara menggunakan kuesioner. Analisis risiko dilakukan berdasarkan tahapan ARKL, yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis-respons, analisis pajanan, dan karakterisasi risiko untuk menghitung nilai *intake* dan *Excess Cancer Risk* (ECR) menggunakan pedoman *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA) dari U.S. EPA. Data dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel serta narasi. Berikut merupakan rumus cara mencari *intake*:

$$I = \frac{C \times R \times f_E \times Dt}{W_b \times t_{avg}}$$

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

Dan berikut merupakan rumus untuk mengetahui jumlah *Excess Cancer Risk* (ECR):

$$ECR = Intake \times CSF$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) pada air minum diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium terhadap sembilan sampel air minum yang berasal dari responden di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa konsentrasi Cr^{6+} pada setiap sampel bervariasi, dengan rentang 0,00–1,20 mg/L. Nilai konsentrasi tersebut kemudian dibandingkan dengan baku mutu air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, yaitu sebesar 0,01 mg/L. Distribusi konsentrasi Cr^{6+} pada masing-masing sampel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Konsentrasi *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) pada Air Minum Responden di Wilayah Kerja Puskesmas Binjai Estate

Sampel	Sumber Air Minum	Konsentrasi Cr^{6+} (mg/L)	Status
S1	Sumur bor/pompa	**1,20**	Tidak memenuhi
S2	Sumur bor/pompa	**1,20**	Tidak memenuhi
S3	Sumur gali terlindungi	**0,90**	Tidak memenuhi
S4	Sumur bor/pompa	**0,20**	Tidak memenuhi
S5	Sumur gali terlindungi	**0,20**	Tidak memenuhi
S6	Air isi ulang	**0,10**	Tidak memenuhi
S7	Air isi ulang	**0,03**	Tidak memenuhi
S8	Air isi ulang	**0,03**	Tidak memenuhi
S9	Air isi ulang	**0,00**	Memenuhi

Keterangan: Memenuhi Syarat = ≤0,01 mg/L; Tidak memenuhi Syarat = >0,01 mg/L sesuai Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari sembilan sampel air minum yang diperiksa di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate, sebanyak delapan sampel (88,9%) memiliki konsentrasi *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) melebihi baku mutu air minum, sedangkan hanya satu sampel (11,1%) yang memenuhi baku mutu. Konsentrasi Cr^{6+} yang diperoleh berkisar antara 0,00–1,20 mg/L, dengan konsentrasi tertinggi sebesar 1,20 mg/L pada sumber air sumur bor/pompa. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar sumber air minum yang digunakan responden telah mengalami pencemaran Cr^{6+} sehingga berpotensi meningkatkan pajanan kronis apabila dikonsumsi dalam jangka waktu yang lama.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, kadar maksimum Cr^{6+} yang diperbolehkan dalam air minum adalah 0,01 mg/L. Penetapan baku mutu tersebut bertujuan untuk melindungi masyarakat dari dampak kesehatan akibat pajanan bahan kimia berbahaya melalui konsumsi air minum secara terus-menerus. Oleh karena itu, sampel air minum yang memiliki kadar Cr^{6+} melebihi 0,01 mg/L dikategorikan tidak memenuhi persyaratan kualitas air minum dan memerlukan upaya pengendalian agar tidak meningkatkan risiko kesehatan masyarakat (Permenkes, 2023).

Hasil penelitian ini juga mendukung pedoman *World Health Organization* (WHO) yang menyatakan bahwa keamanan air minum tidak hanya ditentukan oleh kualitas mikrobiologi, tetapi juga oleh kandungan kontaminan kimia yang dapat menimbulkan efek kesehatan akibat pajanan kronis. WHO menjelaskan bahwa kromium merupakan salah satu

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

kontaminan kimia yang perlu mendapat perhatian karena dapat bertahan lama di lingkungan dan memiliki potensi menimbulkan dampak kesehatan apabila terkandung dalam air minum pada konsentrasi yang melebihi nilai yang direkomendasikan (*World Health Organization*, 2022).

Tingginya konsentrasi Cr^{6+} yang ditemukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa pencemaran logam berat pada sumber air minum masih menjadi isu kesehatan lingkungan yang perlu mendapat perhatian. Secara umum, Cr^{6+} dapat berasal dari proses alami melalui pelapukan batuan yang mengandung kromium, namun peningkatan konsentrasinya di lingkungan lebih sering dikaitkan dengan aktivitas antropogenik, seperti industri pelapisan logam (*electroplating*), penyamakan kulit, tekstil, pembuatan pigmen, limbah industri, maupun aktivitas lain yang menghasilkan residu mengandung kromium. Senyawa tersebut dapat bermigrasi menuju tanah dan air tanah sehingga mencemari sumber air yang digunakan masyarakat sebagai air minum (EPA USA, 2026; Georgaki & Charalambous, 2023)

Pada penelitian ini, konsentrasi Cr^{6+} tertinggi ditemukan pada air yang berasal dari sumur bor/pompa. Meskipun penelitian ini tidak melakukan identifikasi terhadap sumber pencemar, hasil tersebut mengindikasikan bahwa air tanah di lokasi penelitian berpotensi telah terpengaruh oleh keberadaan Cr^{6+}. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh proses infiltrasi kontaminan dari permukaan menuju akuifer maupun faktor geologi setempat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi sumber pencemaran Cr^{6+} sehingga upaya pengendalian dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran (Kabdaşlı & Tünay, 2023; Zhao et al., 2026).

Selain itu, penelitian ini juga menemukan bahwa beberapa sampel air isi ulang masih memiliki konsentrasi Cr^{6+} di atas baku mutu. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan air isi ulang tidak selalu menjamin kualitas air telah memenuhi persyaratan kesehatan. Kualitas air isi ulang sangat dipengaruhi oleh kualitas air baku, efektivitas proses pengolahan, kondisi media filtrasi, serta pemeliharaan peralatan depot. Apabila salah satu tahapan tersebut tidak berjalan dengan baik, maka kontaminan kimia, termasuk Cr^{6+}, masih dapat ditemukan pada air hasil produksi (Li et al., 2024; *World Health Organization*, 2022)

Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi konsentrasi Cr(VI) pada air minum yang diperiksa. Variasi tersebut menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi tidak seragam pada seluruh sumber air yang digunakan masyarakat. Keberadaan Cr(VI) dalam air dapat berkaitan dengan kondisi lingkungan, karakteristik sumber air, serta proses yang terjadi selama pengambilan dan penyediaan air. Izbicki et al. melaporkan bahwa keberadaan Cr(VI) pada air tanah dapat dipengaruhi oleh kondisi hidrogeokimia dan proses oksidasi kromium, sehingga karakteristik lingkungan setempat dapat berperan terhadap perbedaan konsentrasi Cr(VI) pada sumber air. Temuan tersebut memberikan dasar bahwa variasi konsentrasi Cr(VI) dalam penelitian ini perlu dipertimbangkan berdasarkan karakteristik masing-masing sumber air dan kondisi lingkungannya(Izbicki et al., 2023).

Keberadaan Cr(VI) dalam air minum menjadi perhatian karena paparan secara terus-menerus dapat meningkatkan risiko terhadap kesehatan. Cr(VI) diketahui memiliki sifat toksik dan dapat menimbulkan berbagai efek biologis setelah masuk ke dalam tubuh. Sharma et al. menjelaskan bahwa Cr(VI) memiliki toksisitas yang berkaitan dengan kemampuannya

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

menimbulkan stres oksidatif dan kerusakan sel. Oleh karena itu, keberadaan Cr(VI) pada sumber air yang dikonsumsi masyarakat perlu mendapatkan perhatian, terutama apabila paparan berlangsung dalam jangka panjang.(Balali-Mood et al., 2021; Sharma et al., 2022).

Selain itu, *National Toxicology Program* (2021) memasukkan senyawa *hexavalent chromium* ke dalam kelompok zat yang diketahui bersifat karsinogenik terhadap manusia (*known to be a human carcinogen*) berdasarkan bukti ilmiah yang memadai. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan Cr^{6+} di lingkungan, termasuk pada air minum, perlu menjadi perhatian karena pajanan yang berlangsung dalam jangka panjang berpotensi meningkatkan risiko terjadinya kanker(NIEHS, 2021; Sazakli, 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas air minum di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate masih memerlukan perhatian khusus terhadap parameter Cr^{6+}. Tingginya proporsi sampel yang melebihi baku mutu menunjukkan adanya potensi pajanan kronis pada masyarakat apabila air tersebut dikonsumsi secara terus-menerus. Kondisi tersebut menjadi dasar penting untuk melakukan analisis pada tahap berikutnya, yaitu menghitung besarnya pajanan (*intake*) yang diterima oleh setiap responden sehingga dapat diketahui risiko kesehatan yang mungkin timbul akibat konsumsi air minum yang terkontaminasi Cr^{6+}.

Selanjutnya, perhitungan *intake* pada Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) menggunakan parameter karakteristik responden yang meliputi berat badan, laju konsumsi air minum, dan lama konsumsi air minum. Ketiga parameter tersebut diperoleh melalui wawancara menggunakan kuesioner dan digunakan sebagai dasar dalam menghitung besarnya pajanan *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) melalui konsumsi air minum. Selain itu, perhitungan *intake* juga menggunakan parameter baku (*default*) sesuai pedoman ARKL. Statistik deskriptif karakteristik responden dan parameter baku yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Parameter yang Digunakan dalam Perhitungan *Intake*

Variabel	Minimum	Maksimum	Rata-rata ± SD
Berat badan (kg)	50	77	63,3 ± 10,3
Konsumsi air minum (L/hari)	1	3	1,9 ± 0,8
Lama konsumsi air minum (tahun)	9	53	21,8 ± 15,3

Table 3 Parameter Baku yang Digunakan dalam Perhitungan *Intake*

Parameter	Nilai	Satuan
Frekuensi pajanan (fE)	350	hari/tahun
Waktu rata-rata (tavg)	25.550	hari
Oral Slope Factor (OSF) Cr^{6+}	0,27	$(mg/kg/hari)^{-1}$

Berdasarkan Tabel 2, berat badan responden berkisar antara 50–77 kg dengan rata-rata 63,3 ± 10,3 kg. Konsumsi air minum responden berada pada rentang 1–3 liter per hari dengan rata-rata 1,9 ± 0,8 liter per hari, sedangkan lama konsumsi air minum berkisar antara 9–53 tahun dengan rata-rata 21,8 ± 15,3 tahun. Selanjutnya, perhitungan *intake* menggunakan parameter baku sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, yaitu frekuensi pajanan sebesar 350 hari/tahun, waktu rata-rata pajanan (*time average*) sebesar 25.550 hari, dan nilai *Oral Slope Factor* (OSF) sebesar 0,27 $(mg/kg/hari)^{-1}$. Seluruh parameter tersebut digunakan dalam perhitungan *intake* untuk mengestimasi besarnya pajanan Cr^{6+} melalui konsumsi air minum pada masing-masing responden.

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

Tingginya konsentrasi *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) yang ditemukan pada sebagian besar sampel air minum menunjukkan bahwa masyarakat di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate berpotensi mengalami pajanan Cr^{6+} melalui konsumsi air minum. Namun demikian, besarnya konsentrasi Cr^{6+} pada air minum belum dapat menggambarkan secara langsung besarnya dosis agen risiko yang benar-benar masuk ke dalam tubuh setiap individu. Dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), penilaian pajanan tidak hanya mempertimbangkan konsentrasi agen risiko pada media lingkungan, tetapi juga memperhitungkan karakteristik individu yang memengaruhi besarnya dosis yang diterima. Oleh karena itu, setelah diketahui konsentrasi Cr^{6+} pada air minum, tahap selanjutnya adalah menghitung nilai *intake* untuk mengestimasi jumlah Cr^{6+} yang masuk ke dalam tubuh melalui jalur ingesti (EPA USA, 2026; Permenkes, 2023)

Tabel 4 Nilai *Intake* Pajanan *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) pada Responden di Wilayah Kerja Puskesmas Binjai Estate

Sampel	Sumber Air Minum	*Intake* (mg/kg/hari)
S1	Sumur bor/pompa	0,019611
S2	Sumur bor/pompa	0,014988
S3	Sumur gali terlindungi	0,007045
S4	Sumur bor/pompa	0,005694
S5	Sumur gali terlindungi	0,002562
S6	Air isi ulang	0,000213
S7	Air isi ulang	0,000159
S8	Air isi ulang	0,000049

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *intake* responden berada pada rentang 0,000000–0,019611 mg/kg/hari. Variasi nilai tersebut menunjukkan bahwa besarnya pajanan Cr^{6+} berbeda pada setiap responden. Dalam metode ARKL, nilai *intake* dinyatakan dalam satuan mg/kg berat badan/hari, sehingga menggambarkan besarnya dosis agen risiko yang diterima tubuh setiap hari setelah mempertimbangkan karakteristik pajanan masing-masing individu. Semakin besar nilai *intake*, semakin besar pula dosis Cr^{6+} yang diperkirakan masuk ke dalam tubuh melalui konsumsi air minum(EPA USA, 2026; Permenkes, 2023)

Perbedaan nilai *intake* pada penelitian ini menunjukkan bahwa pajanan Cr^{6+} tidak hanya dipengaruhi oleh kadar Cr^{6+} yang terdapat pada air minum, tetapi juga dipengaruhi oleh kombinasi beberapa parameter pajanan yang digunakan dalam perhitungan ARKL, yaitu laju konsumsi air (*rate*), berat badan (*body weight*), frekuensi pajanan (*frequency of exposure*), serta durasi pajanan (*duration time*). Oleh karena itu, dua responden yang mengonsumsi air dengan kadar Cr^{6+} yang sama belum tentu memiliki nilai *intake* yang sama apabila karakteristik paparannya berbeda (EPA USA, 2026; Fitra et al., 2021)

Pada penelitian ini, nilai *intake* tertinggi diperoleh pada responden yang mengonsumsi air dengan konsentrasi Cr^{6+} paling tinggi. Temuan tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi agen risiko tetap menjadi faktor utama yang memengaruhi besarnya dosis yang diterima tubuh. Meskipun demikian, parameter lain seperti berat badan juga berperan dalam menentukan nilai *intake*. Dalam metode ARKL maupun pedoman U.S. EPA, berat badan digunakan sebagai dasar normalisasi dosis sehingga estimasi pajanan dapat dibandingkan secara proporsional antarindividu. Pendekatan ini digunakan karena efek biologis suatu agen risiko lebih tepat dinilai berdasarkan dosis yang diterima per kilogram berat badan

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

dibandingkan jumlah kontaminan yang dikonsumsi secara absolut (EPA USA, 2026; Fitra et al., 2021)

Hasil penelitian ini sejalan dengan konsep yang dijelaskan oleh U.S. EPA IRIS (2024) bahwa penilaian pajanan melalui jalur oral harus memperhitungkan besarnya dosis yang benar-benar diterima tubuh, bukan hanya berdasarkan konsentrasi kontaminan pada media lingkungan. Pendekatan tersebut memungkinkan penilaian risiko kesehatan dilakukan secara lebih representatif karena mempertimbangkan karakteristik pajanan masing-masing individu. Selain itu, Hasil penelitian ini juga didukung oleh Li (2024), yang menunjukkan bahwa penilaian risiko kesehatan akibat paparan kontaminan melalui air minum perlu mempertimbangkan tingkat konsentrasi dan besarnya paparan yang diterima individu. Dalam penelitian ini, perbedaan tingkat asupan Cr(VI) dapat dipengaruhi oleh konsentrasi Cr(VI) dalam air serta karakteristik pajanan pada masing-masing individu. Oleh karena itu, hasil pengukuran konsentrasi Cr(VI) perlu diintegrasikan dengan faktor pajanan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi risiko kesehatan akibat konsumsi air minum yang terkontaminasi.(IRIS, 2024; Fitra et al., 2021; Georgaki & Charalambous, 2023).

Temuan ini juga didukung oleh penelitian Rauf (2021) yang menunjukkan bahwa penilaian risiko terhadap Cr^{6+} tidak cukup hanya dilakukan berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi pada sumber air, tetapi perlu dilanjutkan dengan analisis pajanan untuk mengetahui besarnya risiko kesehatan yang mungkin diterima masyarakat. Dengan demikian, konsentrasi agen risiko dan nilai *intake* merupakan dua parameter yang saling berkaitan dalam penilaian risiko kesehatan lingkungan. Konsentrasi menggambarkan kondisi pencemaran pada media lingkungan, sedangkan *intake* menunjukkan besarnya dosis agen risiko yang benar-benar diterima oleh individu (Rauf et al., 2021).

Berdasarkan hasil penelitian, seluruh nilai *intake* yang diperoleh menjadi dasar dalam tahap karakterisasi risiko karsinogenik. Semakin besar nilai *intake*, semakin besar pula estimasi peluang terjadinya dampak kesehatan akibat pajanan Cr^{6+}. Oleh karena itu, nilai *intake* pada penelitian ini selanjutnya digunakan dalam perhitungan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk mengetahui tingkat risiko karsinogenik yang mungkin dialami masyarakat di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate akibat konsumsi air minum yang terkontaminasi Cr^{6+} (Fitra et al., 2021)

Karakterisasi risiko karsinogenik dilakukan dengan menghitung nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) berdasarkan hasil perkalian nilai *intake* dengan *Oral Slope Factor* (OSF) untuk *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}). Nilai ECR menggambarkan besarnya risiko karsinogenik akibat pajanan Cr^{6+} melalui konsumsi air minum pada masing-masing responden. Hasil perhitungan nilai ECR pada responden di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate disajikan pada Tabel 5.

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

Tabel 5 Nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) Pajanan *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) pada Responden di Wilayah Kerja Puskesmas Binjai Estate

Sampel	Sumber Air Minum	Nilai ECR	Kategori*
S1	Sumur bor/pompa	0,005295	*Unacceptable*
S2	Sumur bor/pompa	0,004047	*Unacceptable*
S3	Sumur gali terlindungi	0,001902	*Unacceptable*
S4	Sumur bor/pompa	0,001537	*Unacceptable*
S5	Sumur gali terlindungi	0,000692	*Unacceptable*
S6	Air isi ulang	0,000057	*Acceptable*
S7	Air isi ulang	0,000043	*Acceptable*
S8	Air isi ulang	0,000013	*Acceptable*
S9	Air isi ulang	0,000000	*Acceptable*

Keterangan: Acceptable = ECR ≤ 1×10^{-4}; Unacceptable = ECR > 1×10^{-4}.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lebih dari separuh responden di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate memiliki nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) di atas 1×10^{-4}, sehingga termasuk dalam kategori *unacceptable risk*. Berdasarkan Petunjuk Teknis Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), nilai ECR merupakan estimasi probabilitas tambahan terjadinya kanker akibat pajanan agen karsinogen selama periode pajanan tertentu. Nilai ECR $\leq1\times10^{-4}$ masih dikategorikan sebagai *acceptable risk*, sedangkan ECR $>1\times10^{-4}$ menunjukkan bahwa risiko telah melebihi batas yang direkomendasikan sehingga memerlukan upaya pengelolaan risiko (Kementerian Kesehatan RI, 2012). Dengan demikian, nilai ECR tertinggi pada penelitian ini sebesar $5{,}295\times10^{-3}$ dapat diinterpretasikan sebagai peluang sekitar 53 kasus kanker tambahan pada setiap 10.000 orang yang memiliki karakteristik pajanan yang sama apabila mengonsumsi air minum dengan kandungan Cr(VI) tersebut secara terus-menerus sesuai asumsi perhitungan ARKL. Interpretasi tersebut merupakan estimasi risiko pada tingkat populasi dan bukan berarti setiap individu yang terpapar pasti akan mengalami kanker.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Paydar (2025) yang menunjukkan bahwa paparan kromium melalui konsumsi air minum dapat menghasilkan tingkat risiko karsinogenik yang berbeda antar kelompok masyarakat. Perbedaan tersebut berkaitan dengan konsentrasi kromium dalam air serta karakteristik pajanan yang digunakan dalam perhitungan risiko. Dalam penelitian ini, variasi nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) juga menunjukkan bahwa besarnya risiko tidak hanya ditentukan oleh keberadaan Cr(VI) dalam air, tetapi dipengaruhi oleh tingkat paparan yang diterima individu. Hal ini menunjukkan bahwa karakterisasi risiko diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi dampak kesehatan akibat paparan Cr(VI) melalui air minum.(Kabdaşlı & Tünay, 2023; Paydar et al., 2025).

Hasil penelitian ini juga didukung oleh Charalambous (2023) melalui *systematic review* terhadap 18 penelitian epidemiologi yang mengevaluasi hubungan antara pajanan Cr(VI) melalui air minum dan dampaknya terhadap kesehatan manusia. Kajian tersebut menyimpulkan bahwa sebagian besar penelitian menunjukkan Cr(VI) merupakan faktor risiko bagi kesehatan manusia, terutama akibat pajanan melalui konsumsi air minum, meskipun masih terdapat beberapa penelitian yang menunjukkan hasil yang berbeda. Penulis juga menegaskan bahwa Cr(VI) memiliki toksisitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

Cr(III) dan dapat menyebabkan gangguan pada sistem pencernaan, saluran kemih, sistem reproduksi, sistem imun, hingga meningkatkan risiko kanker apabila pajanan berlangsung secara kronis. Oleh karena itu, pemantauan kadar Cr(VI) pada air minum dan upaya pencegahan pajanan menjadi langkah penting dalam melindungi kesehatan masyarakat(Georgaki & Charalambous, 2023; Yanan et al., 2025; Zhao et al., 2026).

Temuan penelitian ini juga didukung oleh Li (2024), yang menunjukkan bahwa penilaian risiko kesehatan pada air minum perlu mempertimbangkan konsentrasi kontaminan dan tingkat pajanan untuk menggambarkan potensi risiko yang diterima masyarakat. Pendekatan tersebut memperlihatkan bahwa hasil pengukuran kualitas air perlu dilanjutkan dengan karakterisasi risiko agar implikasi kesehatan dari paparan kontaminan dapat dinilai secara lebih menyeluruh(Li et al., 2024).

Selain itu, *National Toxicology Program* (2021) memasukkan senyawa *hexavalent chromium* ke dalam *Report on Carcinogens* sebagai zat yang diketahui bersifat karsinogenik terhadap manusia (*known to be a human carcinogen*). Penetapan tersebut didasarkan pada bukti ilmiah yang kuat mengenai hubungan antara pajanan Cr(VI) dengan peningkatan kejadian kanker pada manusia. Meskipun sebagian besar bukti berasal dari pajanan di lingkungan kerja, klasifikasi tersebut semakin memperkuat bahwa keberadaan Cr(VI) di lingkungan, termasuk pada air minum, perlu menjadi perhatian dalam upaya perlindungan kesehatan masyarakat(NIEHS, 2021; Rahardjo et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa masyarakat yang mengonsumsi air minum dengan kandungan Cr(VI) melebihi baku mutu memiliki potensi risiko karsinogenik yang lebih tinggi dibandingkan masyarakat dengan pajanan yang masih berada pada kategori *acceptable*. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan risiko sesuai prinsip ARKL, seperti pengendalian sumber pencemaran, pemantauan kualitas air minum secara berkala, penyediaan sumber air minum yang memenuhi persyaratan kesehatan, serta edukasi kepada masyarakat mengenai pentingnya menggunakan sumber air yang aman untuk dikonsumsi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar sampel air minum di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate mengandung *Chromium Hexavalent* (Cr^{6+}) melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. Hasil analisis pajanan menunjukkan bahwa nilai *intake* responden bervariasi sesuai dengan karakteristik pajanan masing-masing, yang dipengaruhi oleh konsentrasi Cr^{6+} dalam air minum, konsumsi air, berat badan, serta lama konsumsi air minum. Karakterisasi risiko menggunakan *Excess Cancer Risk* (ECR) menunjukkan bahwa lebih dari separuh responden berada pada kategori *unacceptable risk* ($ECR > 1\times10^{-4}$), sehingga mengindikasikan adanya potensi risiko karsinogenik akibat konsumsi air minum yang terkontaminasi Cr^{6+} dalam jangka panjang. Temuan ini menunjukkan bahwa kualitas air minum di wilayah kerja Puskesmas Binjai Estate masih memerlukan perhatian khusus melalui upaya pemantauan kualitas air dan pengelolaan risiko kesehatan lingkungan untuk melindungi masyarakat dari dampak pajanan Cr^{6+}.

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar pemerintah daerah, dinas kesehatan, dan instansi terkait melakukan pemantauan kualitas air minum secara berkala, khususnya terhadap parameter Cr^{6+}, serta mengidentifikasi sumber pencemaran sebagai dasar penyusunan strategi pengendalian yang lebih efektif. Masyarakat juga disarankan menggunakan sumber air minum yang telah memenuhi persyaratan kesehatan dan melakukan pengolahan air apabila diperlukan untuk mengurangi potensi pajanan. Selain itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat melibatkan jumlah sampel yang lebih besar, cakupan wilayah yang lebih luas, serta mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan yang berkontribusi terhadap keberadaan Cr^{6+} sehingga informasi yang diperoleh dapat mendukung upaya pengelolaan risiko kesehatan lingkungan secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2025). *Binjai Dalam Angka Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat Bps-statistics Of Langkat Regency*. https://share.google/5xlynEPMJZCxe2rMw

Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. In *Frontiers in Pharmacology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972

Environmental Protection Agency, Office Of Research And Development, & Center for Public Health and Environmental Assessmnet. (2024). *IRIS Toxicological Review of Hexavalent Chromium [Cr(VI)]*. https://iris.epa.gov/document/&deid%3D361833

EPA USA. (2026). *Human Health Risk Assessment*. https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment?utm_source=chatgpt.com

Fitra, M., Awaluddin, Sejati, & Fikri, E. (2021). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Edisi Revisi* (M. Sari, Ed.). PT.Global Eksekutif Teknologi. https://books.google.co.id/books?id=o-RYEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false

Georgaki, M. N., & Charalambous, M. (2023). Toxic chromium in water and the effects on the human body: a systematic review. *Journal of Water and Health*, *21*(2), 205–223. https://doi.org/10.2166/wh.2022.214

Izbicki, J. A., McCleskey, R. B., Burton, C. A., Clark, D. A., & Smith, G. A. (2023). Groundwater Chemistry and Hexavalent Chromium. *US Geological Survey Professional Paper*, *2023*. https://doi.org/10.3133/pp1885E

Kabdaşlı, I., & Tünay, O. (2023). Hexavalent Chromium Removal from Water and Wastewaters by Electrochemical Processes: Review. In *Molecules* (Vol. 28, Number 5). MDPI. https://doi.org/10.3390/molecules28052411

Li, J., Ding, G., & Lin, Q. (2024). Assessment of human health risk induced by 7 metals exposure through drinking water in Urumqi, Xinjiang, China. *Medicine (United States)*, *103*(39), e39864. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000039864

Copyright©2026: David Brando Pratama Tarigan, Syafran Arrazy, Nadia Ulfa Tanjung, & Wahyudi

National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS). (2021). *Report On carcinogens 15th Edition*.

Paydar, M., Vagheii, R., & Sany, B. T. (2025). *Assessment Of Human Health risk From Chromium Hexavalent in Drinking Water in the Northeast of Iran Usingthe Monthe Carlo Simulating*. https://doi.org/10.5812/healthscope-158609

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, Pub. L. 2 (2023). www.peraturan.go.id

Puspitarini, R., & Ismawati, R. (2023). Kualitas Air Baku Untuk Depot Air Minum Air Isi Ulang (Studi Kasus Di Depot Air Minum Isi Ulang Angke Tambora). *Dampak*, *19*(1), 1–7. https://doi.org/10.25077/dampak.19.1.1-7.2022

Rahardjo, D., Sasongko, G., & Hadisusanto, S. (2024). *Hexavalent chromium contamination and implications for human health risks related to fish consumption from small-scale aquaculture ponds in Bantul Regency* (Vol. 17). http://www.bioflux.com.ro/aacl

Rauf, A. U., Mallongi, A., Daud, A., Hatta, M., & Astuti, R. D. P. (2021). Ecological risk assessment of hexavalent chromium and silicon dioxide in well water in Maros Regency, Indonesia. *Gaceta Sanitaria*, *35*, S4–S8. https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.12.002

Sazakli, E. (2024). Human Health Effects of Oral Exposure to Chromium: A Systematic Review of the Epidemiological Evidence. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 21, Number 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/ijerph21040406

Sharma, P., Singh, S. P., Parakh, S. K., & Tong, Y. W. (2022). Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. In *Bioengineered* (Vol. 13, Number 3, pp. 4923–4938). Taylor and Francis Ltd. https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273

World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality Fourth edition incorporating the first and second addenda* (World Health Organization, Ed.). https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064

Yanan, T., Miaomiao, H., Yunting, X., Fangda, P., Chuanlong, X., & Chunguang, D. (2025). Urine metabolomic characteristics of people exposed to hexavalent chromium in drinking water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *302*. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118670

Zhao, X., Hao, M., Fan, T., Liu, A., & Feng, C. (2026). Study on the Influencing Factors of the Migration and Transformation Behavior of Hexavalent Chromium in a Soil–Groundwater System: A Review. In *Toxics* (Vol. 14, Number 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/toxics14010098