Original Research

HEALTH INFORMATION : JURNAL PENELITIAN (HIJP)

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Mangan (Mn) Pada Air Minum Isi Ulang di Pulau Kecil

Environmental Health Risk Assessment of Manganese (Mn) in Refilled Drinking Water on Small Island

Nurlia Sila[1*], Sudarmaji[2], Muhammad Farid Dimjati Lusno[3], Sri Handayani[4]

[1,2,3] Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga, Indonesia;
[4] Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Hasanuddin, Indonesia;
*Email korespondensi: nurliasila@gmail.com

Kata kunci: Mangan (Mn), Air Minum Isi Ulang, Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), Risiko Kesehatan.

Keywords: *Manganese (Mn), Refilled Drinking Water, Environmental Health Risk Assessment (EHRA), Health Risk*

Poltekkes Kemenkes Kendari, Indonesia
ISSN : 2085-0840
ISSN-e : 2622-5905
Periodicity: Bianual vol. 17 no. 1 2024
jurnaldanhakcipta@poltekkes-kdi.ac.id
Received: 31 Januari 2025
Accepted: 30 April 2025

Funding source: -
DOI : https://doi.org/10.36990/hijp.v17i1.1662
URL : https://myjurnal.poltekkes-kdi.ac.id/index.php/hijp/article/view/1662
Contract number: -

Ringkasan: Latar Belakang: Pulau kecil menghadapi keterbatasan sumber daya air bersih, sehingga masyarakat bergantung pada Air Minum Isi Ulang (AMIU) dari sumur bor yang rentan kontaminasi mangan (Mn). Mangan dalam konsentrasi tinggi berpotensi menyebabkan gangguan neurologis dan dampak neurotoksik, terutama pada kelompok rentan. **Tujuan:** Menganalisis konsentrasi mangan dalam AMIU dan menilai risiko kesehatan masyarakat Pulau Barrang Lompo menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). **Metode:** Penelitian observasional analitik dengan pengambilan sampel air dari tiga Depot AMIU dan survei 193 responden masyarakat. Analisis data menggunakan pendekatan ARKL meliputi identifikasi bahaya, analisis dosis-respon, analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko. **Hasil:** Konsentrasi mangan dalam AMIU sebesar 0,0043 mg/L, masih di bawah baku mutu 0,1 mg/L. Nilai Risk Quotient (RQ) saat ini 0,002 menunjukkan kategori aman. Proyeksi jangka panjang menunjukkan peningkatan kadar mangan hingga 0,0351 mg/L dalam 30 tahun pada skenario optimis. **Simpulan:** Konsumsi AMIU saat ini masih aman, namun proyeksi menunjukkan potensi peningkatan risiko jangka panjang. **Saran:** Diperlukan pemantauan berkala kualitas air, penerapan sistem pengolahan efektif, dan kebijakan pengelolaan air berkelanjutan untuk mencegah risiko kesehatan akibat akumulasi mangan.

Abstrack: ***Background:*** *Small islands face limited clean water resources, so communities depend on Refillable Drinking Water (AMIU) from drilled wells that are susceptible to manganese (Mn) contamination. Manganese in high concentrations has the potential to cause neurological disorders and neurotoxic impacts, especially in vulnerable groups.* ***Objective:*** *To analyze the concentration of manganese in the AMIU and assess the public health risks of Barrang Lompo Island using the Environmental Health Risk Analysis (ARKL) approach.* ***Methods:*** *An analytical observational study with water sampling from three AMIU Depots*

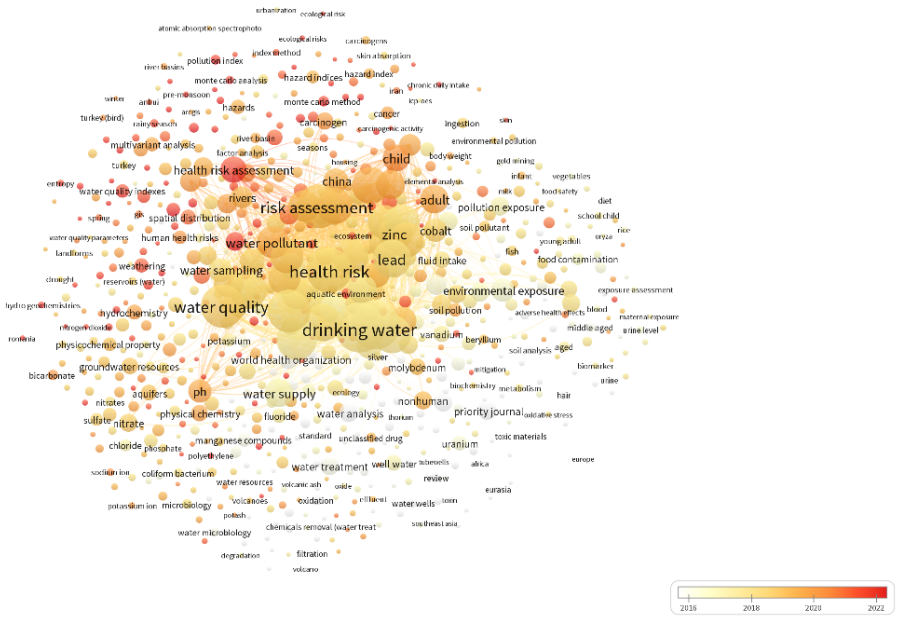
and a survey of 193 community respondents. Data analysis using the ARKL approach includes hazard identification, dose-response analysis, monitoring analysis, and risk characterization. ***Results:*** *The concentration of manganese in the AMIU was 0.0043 mg/L, still below the quality standard of 0.1 mg/L. The current Risk Quotient (RQ) value of 0.002 indicates the safe category. Long-term projections show an increase in manganese levels of up to 0.0351 mg/L in 30 years under an optimistic scenario.* ***Conclusion:*** *AMIU consumption is currently safe, but projections suggest a potential increase in long-term risk.* ***Suggestion:*** *Periodic monitoring of water quality, implementation of effective treatment systems, and sustainable water management policies are needed to prevent health risks due to manganese accumulation.*

PENDAHULUAN

Pulau kecil merupakan wilayah yang memiliki keterbatasan sumber daya air bersih, sehingga penduduknya sering menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan air minum (Nasution and Susilawati, 2023; Birawida *et al.*, 2024). Salah satu pulau kecil yang mengalami permasalahan ini adalah Pulau Barrang Lompo, Makassar (Birawida *et al.*, 2023). Pulau ini memiliki kepadatan penduduk yang tinggi, yang berdampak pada penurunan kualitas air tanah akibat aktivitas domestik dan antropogenik. Sumber air tanah di pulau ini mengalami pencemaran akibat keterbatasan sistem sanitasi, tingginya eksploitasi air tanah, serta intrusi air laut (Rahman, Abbasi and Owais, 2021; Aldi, 2024). Kondisi ini mengakibatkan masyarakat beralih ke Air Minum Isi Ulang (AMIU) sebagai alternatif pemenuhan kebutuhan air bersih.

Air minum isi ulang yang dikelola di pulau kecil umumnya menggunakan air sumur bor sebagai sumber utama. Air sumur bor di pulau kecil seperti Pulau Barrang Lompo umumnya diperoleh dari lapisan akuifer dangkal yang rentan terhadap pencemaran permukaan. Proses pengeboran dilakukan tanpa pengolahan lanjutan yang memadai, sehingga kontaminan seperti logam berat mudah masuk ke dalam sistem air yang memiliki risiko kontaminasi logam berat, termasuk Mangan (Mn). Mangan merupakan unsur yang secara alami terdapat dalam lingkungan, tetapi keberadaannya dalam konsentrasi tinggi pada air minum dapat menimbulkan dampak kesehatan. Pajanan mangan dalam jangka panjang dikaitkan dengan gangguan neurologis, efek neurotoksik pada anak-anak, serta gangguan fungsi kognitif dan motoric (Liu and Ma, 2020; Xu *et al.*, 2022).

Penelitian secara konsisten menunjukkan efek neurotoksik pajanan mangan pada anak-anak. Liu et al. (2020) melakukan tinjauan sistematis dan meta-analisis yang menyoroti hubungan antara pajanan mangan di lingkungan dengan perkembangan neurokognitif anak. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kadar mangan yang lebih tinggi berkaitan dengan gangguan kognitif dan keterlambatan perkembangan (Liu and Ma, 2020). Guan et al. (2022) juga menemukan bahwa pajanan gabungan antara timbal dan mangan berdampak negatif pada kemampuan belajar dan memori pada remaja (Guan *et al.*, 2022). Namun, penelitian ini tidak menemukan hubungan langsung antara pajanan mangan dengan gangguan kognitif. Schullehner et al. (2020) menekankan bahwa kadar mangan yang tinggi dalam air minum berhubungan dengan peningkatan risiko *Attention-Deficit Hyperactivity Disorder* (ADHD) pada anak-anak, yang menunjukkan dampak penting pencemaran mangan terhadap kesehatan masyarakat (Schullehner *et al.*, 2020).



Gambar 1. *State of the art* penelitian terkait Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Mangan pada Air Minum

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer (Gambar 1.) menunjukkan bahwa penelitian terkait risiko kesehatan dari kontaminan dalam air minum lebih banyak berfokus pada logam berat seperti timbal dan seng, sementara kajian mengenai mangan masih terbatas. Selain itu, studi spesifik mengenai analisis risiko kesehatan mangan dalam air minum isi ulang, terutama di wilayah pulau kecil, belum banyak dilakukan. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengeksplorasi risiko kesehatan akibat pajanan mangan menggunakan pendekatan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL), yang memberikan pemahaman lebih komprehensif mengenai dampaknya terhadap masyarakat di daerah dengan keterbatasan sumber daya air.

Kondisi di Pulau Barrang Lompo diperburuk oleh penggunaan AMIU yang bersumber dari air tanah, yang sering kali terkontaminasi logam berat, termasuk mangan. Penelitian menunjukkan bahwa kualitas air tanah di wilayah dengan sanitasi yang tidak memadai dan eksploitasi berlebihan sangat rentan terhadap kontaminasi. Kandungan mangan dalam air minum telah dikaitkan dengan berbagai risiko kesehatan, termasuk gangguan neurologis dan gangguan kognitif, yang menjadi perhatian khusus karena anak-anak lebih rentan terhadap efek neurotoksik logam berat (Rahman, Abbasi and Owais, 2021). Tidak adanya proses pengolahan yang efektif untuk mengurangi konsentrasi mangan dalam AMIU menambah kompleksitas masalah ini, karena kandungan mangan dalam air baku tidak berkurang secara signifikan selama proses pengolahan (Han, 2023).

Pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) diperlukan untuk mengatasi risiko kesehatan yang muncul. ARKL adalah proses analisis yang dilakukan untuk menghitung atau mengetahui risiko organisme tertentu atau populasi akibat pajanan oleh agent tertentu (Zhu *et al.*, 2021). Analisis risiko kesehatan lingkungan dibagi menjadi lima tahapan yaitu pertama tahap identifikasi bahaya (*hazard identification*), kedua tahap analisis dosis respon (*dose-respone assessment*), ketiga tahap analisis pajanan (*exposure assessment*), dan keempat tahap karakteristik risiko (*risk characterization*). Metode ini memungkinkan evaluasi komprehensif terhadap pajanan mangan berdasarkan konsentrasi dalam AMIU serta karakteristik pajanan pada komunitas setempat. Metode ini memungkinkan penilaian terhadap tingkat risiko berdasarkan konsentrasi mangan dalam AMIU serta karakteristik pajanan pada masyarakat. ARKL juga mampu mengidentifikasi kelompok populasi yang paling rentan terhadap

dampak kesehatan, sehingga dapat menjadi dasar untuk rekomendasi kebijakan pengelolaan kualitas air minum di pulau kecil.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi mangan dalam AMIU yang dikonsumsi masyarakat Pulau Barrang Lompo serta menilai tingkat risiko kesehatan yang ditimbulkan akibat pajanan mangan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang dapat digunakan sebagai dasar dalam perumusan kebijakan pengelolaan air minum yang lebih aman dan berkelanjutan di wilayah pulau kecil (Briffa, Sinagra and Blundell, 2020).

METODE

Jenis penelitian

Penelitian ini menggunakan metode observasional analitik dengan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis hubungan antara paparan lingkungan yang buruk dan risiko kesehatan manusia.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di pulau kecil di gugusan Kepulauan Spermonde yaitu Pulau Barrang Lompo, Kota Makassar, yang menjadi lokasi pengambilan sampel lingkungan dan subjek penelitian. Pengujian sampel lingkungan akan dilakukan di Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Kelas I Kota Makassar. Waktu pelaksanaan penelitian pada bulan November hingga Desember 2024.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini terdiri dari populasi lingkungan dan populasi manusia. Populasi lingkungan meliputi seluruh depot air minum isi ulang (DAMIU) yang terdapat di Kelurahan Barrang Lompo, sebanyak enam DAMIU. Populasi manusia adalah masyarakat yang mengonsumsi air dari depot-depot tersebut, dengan perkiraan sebanyak 1.324 kepala keluarga. Sampel lingkungan dipilih berdasarkan DAMIU yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat di setiap RW, yaitu DAMIU titik 1, titik 2, dan titik 3, sesuai dengan standar SNI 7828:2012 tentang representasi sampel air. Sampel manusia ditentukan menggunakan metode simple random sampling dengan perhitungan berdasarkan rumus Lemeshow, sehingga diperoleh 176 responden, ditambah 10% untuk mengantisipasi kemungkinan drop-out, sehingga total menjadi 193 responden.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua metode, yaitu pengambilan sampel lingkungan dan pengambilan data dari responden. Sampel lingkungan berupa air depot akan dikumpulkan dalam satu hari dan segera diuji di laboratorium menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk mengukur kandungan Mangan sesuai dengan SNI 6989-84:2019. Sementara itu, data dari responden dikumpulkan melalui wawancara langsung menggunakan kuesioner.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air dari depot isi ulang yang akan diuji kandungan logam beratnya. Analisis laboratorium menggunakan alat Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), yang bekerja dengan mengukur radiasi cahaya yang diserap oleh atom bebas untuk menentukan

konsentrasi unsur dalam sampel air. Standar prosedur pengambilan sampel mengacu pada SNI 7828:2012 agar hasil yang diperoleh memiliki validitas tinggi.

Pengolahan dan Analisis Data

Data yang diperoleh dari laboratorium dan kuesioner akan dianalisis menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang terdiri dari empat tahap, yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis-respon, analisis pajanan, dan karakterisasi risiko (Fitra *et al.*, 2022). Selanjutnya dilakukan pemodelan berdasarkan tiga skenario, yaitu skenario rendah (pesimis), skenario moderat, dan skenario tinggi (optimis) untuk memprediksi risiko Mn pada air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo.



Gambar 2.Tahapan Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Data kuantitatif dari laboratorium akan dianalisis dengan metode statistik deskriptif, sementara data dari kuesioner akan diuji dengan analisis statistik inferensial untuk melihat hubungan antara paparan lingkungan dan dampak kesehatan pada responden. Hasil analisis akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi serta memberikan gambaran mengenai risiko kesehatan yang dihadapi masyarakat akibat konsumsi air dari depot isi ulang.

HASIL

Identifikasi Bahaya

Pada tahap identifikasi bahaya, dilakukan analisis terhadap jenis dan sifat agen risiko yang dapat menyebabkan dampak buruk bagi organisme, sistem, atau populasi tertentu (Agustina, 2019). Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kandungan mangan (Mn) dalam air minum isi ulang yang dikonsumsi oleh masyarakat di Pulau Barrang Lompo. Berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap sampel air dari tiga titik depot air minum isi ulang (DAMIU), diperoleh nilai konsentrasi mangan sebesar 0,0043 mg/L. Meskipun nilai ini masih berada di bawah ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan yaitu 0,1 mg/L, paparan mangan dalam air minum yang dikonsumsi secara terus-menerus dalam jangka waktu tertentu tetap berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat.

Analisis Dosis Respon

Setelah tahap identifikasi bahaya, langkah selanjutnya adalah analisis dosis respon yang bertujuan untuk menentukan nilai Referensi Dosis (RfD) dari agen risiko yang menjadi objek kajian dalam ARKL. Nilai RfD merupakan takaran harian maksimum suatu zat yang dapat dikonsumsi tanpa menimbulkan dampak kesehatan yang merugikan dalam jangka panjang. Dalam penelitian ini, agen risiko yang dianalisis adalah Mangan (Mn), dengan nilai RfD sebesar 1,4E-1 mg/kg/hari (US EPA, 2014).

Paparan mangan dalam jangka panjang dapat menyebabkan berbagai efek kesehatan yang merugikan, terutama pada sistem saraf dan metabolisme tubuh. Efek kritis yang dikaitkan dengan paparan mangan kronis meliputi hipokolesterolemia, epilepsi, kekurangan pankreas eksokrin, serta gangguan metabolisme seperti fenilketonuria dan penyakit kencing maple syrup (*inborn*).

Analisis Pemajanan

Analisis pemajanan merupakan tahap dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang bertujuan untuk menilai sejauh mana populasi berisiko terpapar oleh agen risiko, baik dalam hal konsentrasi maupun frekuensi dan durasi paparan. Pajanan sendiri didefinisikan sebagai konsentrasi atau jumlah suatu agen risiko yang masuk ke dalam tubuh organisme, sistem, atau subpopulasi tertentu dalam periode waktu tertentu. Tahap ini berfungsi untuk mengidentifikasi jalur-jalur pajanan (*pathways*) guna menghitung jumlah asupan yang diterima individu dalam populasi berisiko.

Beberapa data dibutuhkan untuk analisis pemajanan pada proses ARKL parameter pemajanan, seperti konsentrasi agen risiko (C), laju asupan (R), frekuensi pajanan (fE), durasi pajanan (Dt), dan berat badan (Wb), diperoleh melalui survei dan pengukuran langsung pada populasi berisiko. Frekuensi pajanan (fE) dihitung berdasarkan informasi mengenai kebiasaan responden dalam meninggalkan tempat tinggal, seperti untuk bekerja, pulang kampung, berlibur, atau kegiatan rekreasi lainnya, yang dinyatakan dalam jumlah hari per tahun. Sementara itu, durasi pajanan (Dt) dihitung dalam satuan tahun, di mana dalam penelitian ini digunakan standar 30 tahun untuk mengukur efek non-karsinogenik. Selain itu, periode waktu rata-rata (tavg) digunakan untuk memperkirakan waktu yang dibutuhkan hingga munculnya gangguan kesehatan akibat paparan agen risiko pada masyarakat.

Tingkat risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh logam berat dalam sumber air minum tidak hanya bergantung pada konsentrasi zat tersebut, tetapi juga pada karakteristik individu dan pola aktivitas responden. Faktor-faktor seperti berat badan (kg), frekuensi pajanan dalam hari per tahun, serta laju asupan air untuk pajanan melalui ingesti menjadi variabel penting dalam menentukan tingkat risiko kesehatan. Data karakteristik responden berdasarkan berat badan serta pola aktivitas dapat dilihat pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Karakteristik Responden Berdasarkan Berat Badan dan Pola Aktifitas Masyarakat di Pulau Barrang Lompo

Karakteristik	*Minimum*	*Maximum*	*Median*	*Mean*
Umur (tahun)	17	84	41	42,25
Berat Badan (kg)	30	90	55,96	55
Laju Asupan (L/hari)	1	2	2	1,98
Frekuensi Pajanan (hari/tahun)	336	365	352	351

Sumber: Data Primer, 2024

Tabel 1. menunjukkan bahwa rentang usia responden berada antara 17 hingga 84 tahun dengan nilai tengah (median) sebesar 41 tahun. Berat badan responden bervariasi antara 30 hingga 90 kg

dengan nilai median sebesar 55,96 kg. Laju asupan air minum responden berkisar antara 1 hingga 2 liter per hari, dengan nilai median sebesar 2 liter per hari. Frekuensi pajanan responden terhadap air minum isi ulang berkisar antara 336 hingga 365 hari per tahun, dengan nilai median sebesar 352 hari per tahun.

Frekuensi pajanan (fE) diperoleh melalui wawancara dengan responden mengenai kebiasaan mereka dalam meninggalkan tempat tinggal dalam satu tahun, termasuk kegiatan seperti bekerja, pulang kampung, atau rekreasi. Berdasarkan hasil wawancara, seluruh responden menyatakan bahwa mereka mengonsumsi air minum isi ulang setiap hari sebagai sumber utama air minum.

Selanjutnya dalam analisis pemajanan dilakukan juga perhitungan intake (persamaan 1). Nilai *Intake* (I) merupakan bagian dari analisis pemajanan dengan melakukan analisis karakteristik responden untuk mengetahui nilai *Intake* (I) dari setiap risk agent yang diambil pada sumber air minum yang berada di lokasi penelitian. Adapun hasil perhitungan asupan logam berat yang masuk kedalam tubuh pada proyeksi real time (Dt). Berdasarkan perhitungan intake didapatkan bahwa nilai rata-rata *intake realtime* pada keseluruhan responden adalah 0,0004 mg/kg/hari.

Karakterisasi Risiko

Berdasarkan berbagai literatur diketahui logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur ingesti/oral. Diketahui bahwa Mn memiliki implikasi terhadap risiko kesehatan. Tingkat risiko untuk efek non karsinogenik dinyatakan dalam notasi *Risk Quotient* (RQ). Risiko perlu dikendalikan jika RQ>1, jika RQ ≤ 1, risiko tidak perlu dikendalikan tetapi segala kondisi harus dipertahankan agar nilai RQ tidak melebihi 1. Berikut merupakan hasil perhitungan RQ untuk pajanan Mn pada air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo:

$$\mathbf{RQ} = \frac{\boldsymbol{I}}{\boldsymbol{RfD}}$$

$$\mathbf{RQ} = \frac{\mathbf{0,0004}}{\mathbf{0,14}}$$

$$\mathbf{RQ} = \mathbf{0,002}$$

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil rata-rata tingkat risiko (RQ) pada populasi masyarakat di Barrang Lompo pada saat ini (*Realtime*) adalah < 1 yaitu 0,002, berarti populasi masyarakat di Barrang Lompo masih aman atau tidak berisiko dalam mengonsumsi sumber air minum yang diteliti. Selanjutnya, maka dilakukan prediksi hingga 30 tahun kedepan. Untuk mengevaluasi potensi peningkatan kadar mangan dalam air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo dalam jangka panjang, dilakukan pemodelan berdasarkan tiga skenario, yaitu skenario rendah (pesimis), skenario moderat, dan skenario tinggi (optimis). Pemilihan skenario ini mempertimbangkan pertumbuhan penduduk, eksploitasi air tanah melalui sumur bor, serta dampak dari rencana pembangunan industri pengolahan ikan yang dapat berkontribusi terhadap peningkatan kadar logam berat di lingkungan sekitar.

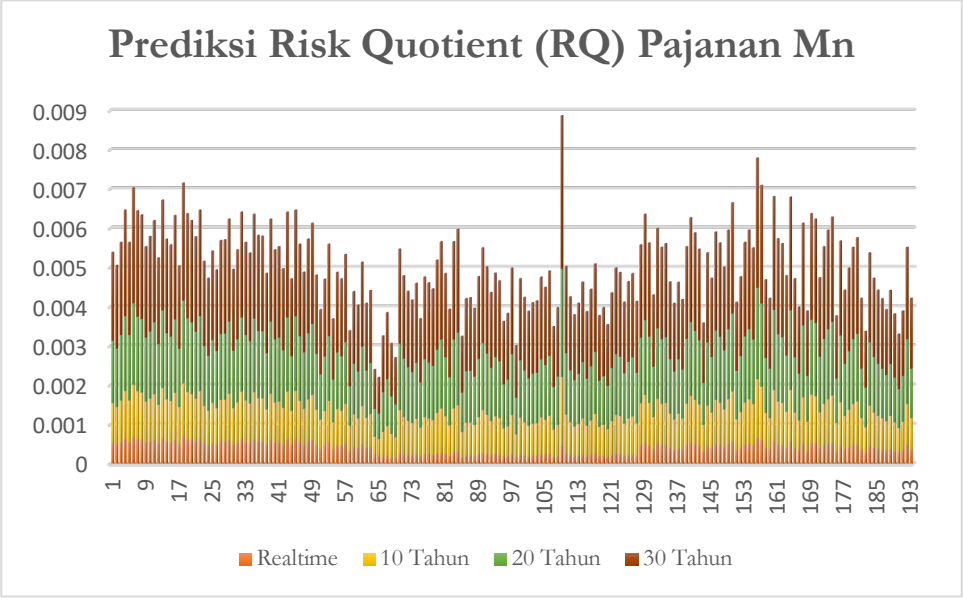
Pada skenario rendah (pesimis), laju peningkatan kadar mangan diasumsikan sebesar 1% per tahun, dengan pertimbangan bahwa upaya pengelolaan lingkungan dan sistem pengolahan air berjalan optimal, sehingga kontaminasi mangan meningkat dengan laju yang sangat lambat. Berdasarkan skenario ini, kadar mangan dalam air minum isi ulang diprediksi meningkat dari 0,0043 mg/L menjadi 0,0048 mg/L dalam 10 tahun, 0,0053 mg/L dalam 20 tahun, dan 0,0058 mg/L dalam 30 tahun.

Pada skenario moderat, laju peningkatan kadar mangan diasumsikan sebesar 4% per tahun, yang merepresentasikan kondisi dengan peningkatan eksploitasi air tanah akibat pertumbuhan penduduk

yang padat serta pengaruh aktivitas domestik. Dalam skenario ini, kadar mangan diperkirakan mencapai 0,0064 mg/L dalam 10 tahun, 0,0096 mg/L dalam 20 tahun, dan 0,0143 mg/L dalam 30 tahun.

Pada skenario tinggi (optimis), laju peningkatan mangan diperkirakan mencapai 7% per tahun, dengan asumsi bahwa pembangunan industri pengolahan ikan secara signifikan meningkatkan pencemaran lingkungan, ditambah dengan eksploitasi air tanah yang lebih intensif tanpa adanya upaya pengelolaan yang baik. Dalam skenario ini, kadar mangan diproyeksikan meningkat menjadi 0,0087 mg/L dalam 10 tahun, 0,0174 mg/L dalam 20 tahun, dan 0,0351 mg/L dalam 30 tahun.

Berdasarkan skenario diatas maka berikut merupakan grafik peningakatan risiko pajanan Mangan (Mn) pada air minum isi ulang terhadap Masyarakat Pulau Barrang Lompo:



Gambar 3. Prediksi Risk Quotient (RQ) Pajanan Mangan pada Air Minum Isi Ulang Pulau Barrang Lompo

Berdasarkan hasil prediksi RQ pada Gambar 3. diatas, didapatkan hasil tingkat risiko (RQ) pada populasi masyarakat di Pulau Barrang Lompo pada saat ini (Realtime) adalah < 1, berarti populasi masyarakat di Pulau Barrang Lompo masih aman atau tidak berisiko dalam mengonsumsi sumber air minum yang diteliti. Untuk estimasi 10 tahun-30 tahun juga didapatkan hasil RQ < 1, berarti sampai 30 tahun mendatang populasi masyarakat Pulau Barrang Lompo masih aman dalam mengonsumsi air minum isi ulang. Apabila konsentrasi logam berat dalam air baku sumur yang digunakan sebagai air minum masyarakat mengalami peningkatan setiap tahunnya maka tingkat risiko masyarakat di Pulau Barrang Lompo juga akan mengalami peningkatan. Rendahnya tingkat risiko kesehatan masyarakat di Pulau Barrang Lompo disebabkan rata-rata konsentrasi Mn masih di bawah ambang batas.

PEMBAHASAN

Identifikasi Bahaya

Hasil penelitian mengenai kadar Mangan (Mn) dalam air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo menunjukkan bahwa nilai kadar mangan sebesar 0,0043 mg/L masih berada dalam batas aman yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023, yang menetapkan ambang batas

maksimum sebesar 0,1 mg/L. Meskipun kadar ini tergolong rendah, penting untuk diingat bahwa mangan memiliki sifat akumulatif dalam tubuh manusia, yang dapat berpotensi menimbulkan dampak kesehatan jangka panjang. Penelitian menunjukkan bahwa paparan mangan yang berkepanjangan, meskipun dalam konsentrasi yang rendah, dapat menyebabkan gangguan neurologis, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia (Balachandran *et al.*, 2020; Budinger, 2024).

Mangan adalah elemen esensial yang diperlukan dalam jumlah kecil untuk berbagai fungsi biologis, namun paparan berlebihan dapat menyebabkan efek neurotoksik. Beberapa studi menunjukkan bahwa paparan mangan yang tinggi dapat mengganggu sistem saraf pusat, dengan gejala yang mirip dengan penyakit Parkinson, yang dikenal sebagai manganisme (Carmona, Roudeau and Ortega, 2021; Huang *et al.*, 2021; Kulshreshtha, Ganguly and Jog, 2021). Penelitian oleh Balachandran et al. Balachandran et al. (2020) menekankan bahwa baik kekurangan maupun kelebihan mangan dapat menyebabkan disfungsi neurologis, dan penting untuk memantau kadar mangan dalam air minum untuk mencegah akumulasi berbahaya (Balachandran *et al.*, 2020; Dorman, 2023).

Sumber air yang digunakan dalam depot air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo dapat terpengaruh oleh perubahan lingkungan dan aktivitas manusia, yang dapat meningkatkan kadar mangan. Keterbatasan sumber daya air dan sistem sanitasi yang belum optimal di pulau tersebut dapat menyebabkan perubahan karakteristik air tanah, yang berpotensi meningkatkan pelepasan logam berat ke dalam air minum. Faktor-faktor seperti eksploitasi air tanah yang berlebihan, pencemaran dari aktivitas domestik dan industri, serta perubahan redoks akibat sedimentasi dapat mempercepat mobilisasi mangan dari lapisan tanah ke sumber air baku (Tinkov *et al.*, 2021; Kondraciuk, 2023; Martínez-Hernández *et al.*, 2023).

Analisis Dosis Respon

Analisis dosis respon merupakan langkah penting dalam menilai dampak potensial dari paparan suatu agen risiko terhadap kesehatan manusia. Dalam konteks ini, mangan (Mn) telah diidentifikasi sebagai agen risiko utama, dengan nilai Referensi Dosis (RfD) sebesar 1,4E-1 mg/kg/hari yang ditetapkan oleh US EPA (US EPA, 2014). RfD ini mengacu pada tingkat pajanan harian maksimum yang masih dianggap aman bagi manusia tanpa menimbulkan dampak kesehatan yang merugikan dalam jangka panjang (Budinger, 2024). Paparan mangan dalam jumlah melebihi batas aman dapat mengakibatkan berbagai gangguan kesehatan, terutama yang berkaitan dengan sistem saraf dan metabolisme tubuh.

Studi epidemiologi menunjukkan bahwa pajanan kronis terhadap mangan dalam air minum dapat menyebabkan gangguan neurologis, seperti tremor, perubahan kognitif, dan kesulitan koordinasi motorik, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia. Penelitian menunjukkan bahwa paparan mangan dalam air minum dapat berhubungan dengan penurunan fungsi intelektual pada anak-anak, yang mengindikasikan bahwa dampak kesehatan dapat muncul bahkan pada paparan dalam dosis yang relatif rendah tetapi berlangsung dalam jangka panjang (Balachandran *et al.*, 2020; Kulshreshtha, Ganguly and Jog, 2021). Mangan berperan dalam gangguan metabolisme, dengan efek kesehatan yang telah dikaitkan dengan pajanan mangan kronis meliputi hipokolesterolemia, epilepsi, dan disfungsi pankreas eksokrin (Carmona, Roudeau and Ortega, 2021).

Meskipun kadar mangan dalam air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo masih berada di bawah batas aman, penting untuk mempertimbangkan efek akumulatif dan potensi risiko jangka panjang. Pemantauan berkala diperlukan untuk mengantisipasi peningkatan kadar mangan dalam sumber air baku, seiring dengan pola konsumsi air masyarakat setempat serta dampak eksploitasi air tanah dan perubahan lingkungan. Kesadaran akan risiko kesehatan dari paparan mangan jangka panjang harus diperkuat melalui edukasi masyarakat serta penerapan kebijakan pengelolaan air yang

lebih ketat guna mencegah peningkatan paparan yang dapat berdampak negatif terhadap kesehatan populasi di masa mendatang (Huang *et al.*, 2021).

Analisis Pemajanan

Analisis pemajanan merupakan tahapan krusial dalam menilai sejauh mana populasi berisiko terpapar oleh agen risiko, dalam hal ini mangan (Mn) yang terkandung dalam air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo. Pajanan terhadap suatu agen risiko tidak hanya bergantung pada konsentrasi zat tersebut dalam lingkungan, tetapi juga pada pola konsumsi masyarakat, frekuensi kontak, serta karakteristik individu seperti berat badan dan tingkat aktivitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi pajanan responden terhadap air minum isi ulang sangat tinggi, dengan median konsumsi harian sebesar 2 liter dan rata-rata frekuensi pajanan mencapai 351 hari per tahun. Hal ini menunjukkan bahwa air minum isi ulang merupakan sumber utama air konsumsi bagi masyarakat setempat, sehingga keberlanjutan kualitas air menjadi aspek penting dalam mencegah dampak kesehatan jangka panjang (Birawida, 2019).

Perhitungan intake (I) dalam penelitian ini menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,0004 mg/kg/hari, yang masih berada dalam batas aman jika dibandingkan dengan Referensi Dosis (RfD) mangan sebesar 1,4E-1 mg/kg/hari yang ditetapkan oleh US EPA(US EPA, 2014; Kulshreshtha, Ganguly and Jog, 2021). Karakteristik populasi yang dianalisis dalam penelitian ini juga menjadi faktor penting dalam menentukan tingkat risiko pemajanan. Data menunjukkan bahwa berat badan responden bervariasi antara 30 hingga 90 kg, dengan nilai median sebesar 55,96 kg. Berat badan berpengaruh terhadap distribusi dan metabolisme zat dalam tubuh, di mana individu dengan berat badan lebih rendah cenderung memiliki tingkat pajanan yang lebih tinggi terhadap agen risiko yang sama. Variabel durasi pajanan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 tahun, yang merupakan standar untuk menilai efek non-karsinogenik. Artinya, jika tidak ada perubahan signifikan dalam kualitas air atau pola konsumsi, dampak kesehatan dari akumulasi mangan dalam tubuh dapat mulai terlihat dalam jangka waktu yang lebih panjang (Martínez-Hernández *et al.*, 2023).

Karakterisasi Risiko

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat risiko pajanan Mangan (Mn) dalam air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo saat ini masih berada dalam kategori aman dengan nilai Risk Quotient (RQ) sebesar 0,002. Nilai ini jauh di bawah ambang batas 1, yang menunjukkan bahwa konsumsi air minum isi ulang di wilayah ini belum menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi masyarakat. Namun, karena mangan memiliki sifat akumulatif dalam tubuh, penting untuk mempertimbangkan proyeksi jangka panjang guna mengantisipasi potensi peningkatan risiko di masa depan (Balachandran *et al.*, 2020).

Karakterisasi risiko dalam penelitian ini mempertimbangkan berbagai skenario proyeksi peningkatan kadar mangan selama 10, 20, dan 30 tahun mendatang, dengan asumsi bahwa pertumbuhan penduduk, eksploitasi air tanah, serta aktivitas industri pengolahan ikan dapat meningkatkan konsentrasi mangan dalam sumber air baku. Dalam skenario pesimis, di mana peningkatan kadar mangan hanya sebesar 1% per tahun, kadar mangan dalam air minum isi ulang diprediksi mencapai 0,0058 mg/L dalam 30 tahun, yang masih jauh di bawah ambang batas baku mutu 0,1 mg/L. Namun, dalam skenario moderat dengan laju peningkatan 4% per tahun, kadar mangan dapat mencapai 0,0143 mg/L dalam 30 tahun. Sementara itu, dalam skenario optimis yang mempertimbangkan laju peningkatan 7% per tahun, kadar mangan dapat meningkat signifikan hingga 0,0351 mg/L dalam kurun waktu yang sama (Kulshreshtha, Ganguly and Jog, 2021).

Meskipun nilai RQ dalam semua skenario proyeksi tetap berada di bawah 1, hasil ini tidak dapat diabaikan begitu saja. Peningkatan kadar mangan dalam air minum yang terjadi secara bertahap dapat

menyebabkan akumulasi logam ini dalam tubuh manusia, terutama bagi kelompok populasi yang lebih rentan seperti anak-anak dan lansia. Beberapa studi terdahulu menunjukkan bahwa pajanan mangan dalam jangka panjang dapat berdampak pada sistem saraf, fungsi kognitif, serta gangguan metabolisme, terutama jika kadar dalam tubuh melebihi tingkat fisiologis yang dibutuhkan (Dorman, 2023).

Peningkatan eksploitasi air tanah di Pulau Barrang Lompo dapat mempercepat mobilisasi mangan dari lapisan geologi ke dalam sumur bor yang menjadi sumber utama air minum isi ulang. Aktivitas industri pengolahan ikan yang direncanakan di pulau ini juga dapat memperburuk kondisi lingkungan dengan meningkatkan pencemaran logam berat lainnya yang berpotensi memengaruhi kualitas air baku. Oleh karena itu, meskipun saat ini tidak ada risiko kesehatan yang teridentifikasi, penting bagi pemerintah daerah dan pengelola air minum untuk mulai menerapkan langkah-langkah mitigasi seperti pengawasan pada lokasi dan kedalaman sumur bor guna mencegah peningkatan konsentrasi mangan dalam air minum di masa mendatang (Kondraciuk, 2023).

Rekomendasi yang dapat diambil dari hasil penelitian ini mencakup perlunya pemantauan rutin terhadap kualitas air minum isi ulang, penerapan sistem pengolahan air yang lebih efektif untuk menyaring logam berat, serta edukasi kepada masyarakat mengenai potensi risiko pajanan mangan jangka panjang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Mangan saat ini masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023, dengan nilai rata-rata sebesar 0,0043 mg/L dan nilai *Risk Quotient* (RQ) sebesar 0,002, yang menunjukkan bahwa konsumsi air minum isi ulang masih berada dalam kategori aman. Namun, proyeksi jangka panjang mengindikasikan bahwa dengan adanya pertumbuhan penduduk, eksploitasi air tanah, dan pengaruh industri, kadar mangan dapat meningkat hingga 0,0351 mg/L dalam 30 tahun pada skenario terburuk. Diperlukan pemantauan kualitas air secara berkala melalui uji laboratorium terhadap kandungan logam berat, khususnya mangan, pada sumber air baku dan air siap konsumsi. Selain itu, sistem pengolahan air perlu ditingkatkan dengan teknologi penyaringan atau adsorpsi yang mampu menghilangkan logam berat secara efektif. Pemerintah daerah juga perlu menetapkan kebijakan pengelolaan air minum yang berkelanjutan, seperti regulasi standar kualitas air, pelatihan bagi pengelola depot AMIU, dan pembatasan eksploitasi air tanah di wilayah rawan pencemaran.

REKOMENDASI

Penelitian ini belum mempertimbangkan faktor lain yang dapat mempengaruhi kadar mangan dalam air minum isi ulang, seperti kontribusi sumber pencemaran dari aktivitas domestik dan industri yang lebih luas. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mencakup analisis faktor lingkungan yang lebih luas serta evaluasi dampak kesehatan berbasis data klinis guna memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap risiko pajanan mangan dalam air minum isi ulang.

PERNYATAAN

Ucapan Terimakasih

Penelti mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini.

Pendanaan

Pendanaan pada penelitian ini di danai secara mandiri oleh penulis.

Kontribusi Setiap Penulis

Seluruh nama yang tercantum dalam artikel ini berkontribusi dalam penyusunan artikel ini.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis tidak memiliki konflik apapun dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, L. (2019) 'Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Parameter Air Minum untuk Pekerja di Kabupaten Pasuruan Tahun 2017', *Medical Technology and Public Health Journal*, 3(1), pp. 61–69.

Aldi, M. (2024) 'Modular Behavior Village Concept to Improve the Quality of Fishermen's Settlements, Case Study: Barrang Lompo Island, Makassar', *Idealog Ide Dan Dialog Desain Indonesia*, 9(1), p. 1. Available at: https://doi.org/10.25124/idealog.v9i1.6782.

Balachandran, R.C. *et al.* (2020) 'Brain Manganese and the Balance Between Essential Roles and Neurotoxicity', *Journal of Biological Chemistry*, 295(19), pp. 6312–6329. Available at: https://doi.org/10.1074/jbc.rev119.009453.

Birawida, A.B. (2019) *Laut dan Kesehatan*.

Birawida, A.B. *et al.* (2023) 'Faktor Risiko Kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut Ditinjau dari Kondisi Lingkungan Fisik pada Masyarakat di Kepulauan Spermonde: Penelitian Observasional', *Health Information: Jurnal Penelitian*, 15(1), p. 67.

Birawida, A.B. *et al.* (2024) 'The microbial and chemical risk analysis of drinking water in a small island, Spermonde Archipelago', *Journal of Water and Land Development*, pp. 112–121.

Briffa, J., Sinagra, E. and Blundell, R. (2020) 'Heavy Metal Pollution in the Environment and Their Toxicological Effects on Humans', *Heliyon*, 6(9), p. e04691. Available at: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691.

Budinger, D. (2024) 'A Humanized Neuronal Model System Reveals Key Roles for Manganese in Neuronal Endocytosis, Calcium Flux and Mitochondrial Bioenergetics'. Available at: https://doi.org/10.1101/2024.11.27.625600.

Carmona, A., Roudeau, S. and Ortega, R. (2021) 'Molecular Mechanisms of Environmental Metal Neurotoxicity: A Focus on the Interactions of Metals With Synapse Structure and Function', *Toxics*, 9(9), p. 198. Available at: https://doi.org/10.3390/toxics9090198.

Dorman, D.C. (2023) 'The Role of Oxidative Stress in Manganese Neurotoxicity: A Literature Review Focused on Contributions Made by Professor Michael Aschner', *Biomolecules*, 13(8), p. 1176. Available at: https://doi.org/10.3390/biom13081176.

Fitra, M. *et al.* (2022) *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Edisi Revisi*. Miladil Fitra.

Guan, R. *et al.* (2022) 'Effects of Co-Exposure to Lead and Manganese on Learning and Memory Deficits', *Journal of Environmental Sciences*, 121, pp. 65–76. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.09.012.

Han, Y. (2023) 'Source Apportionment and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Karst Water

From Abandoned Mines in Zhangqiu, China', *Water*, 15(19), p. 3440. Available at: https://doi.org/10.3390/w15193440.

Huang, Y. *et al.* (2021) 'Manganese (II) Chloride Leads to Dopaminergic Neurotoxicity by Promoting Mitophagy Through BNIP3-mediated Oxidative Stress in SH-SY5Y Cells', *Cellular & Molecular Biology Letters*, 26(1). Available at: https://doi.org/10.1186/s11658-021-00267-8.

Kondraciuk, J. (2023) 'Neurotoxicity of Manganese', *Environmental Medicine*, 26(3–4), pp. 43–48. Available at: https://doi.org/10.26444/ms/172390.

Kulshreshtha, D., Ganguly, J. and Jog, M. (2021) 'Manganese and Movement Disorders: A Review', *Journal of Movement Disorders*, 14(2), pp. 93–102. Available at: https://doi.org/10.14802/jmd.20123.

Liu, Y. and Ma, R. (2020) 'Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Groundwater in the Luan River Catchment Within the North China Plain', *Geofluids*, 2020, pp. 1–7. Available at: https://doi.org/10.1155/2020/8391793.

Martínez-Hernández, I. *et al.* (2023) 'Microglial Activation in Metal Neurotoxicity: Impact in Neurodegenerative Diseases', *Biomed Research International*, 2023(1). Available at: https://doi.org/10.1155/2023/7389508.

Nasution, I.S. and Susilawati, S. (2023) 'Faktor Water, Sanitation, dan Hygiene (WASH) dengan Kejadian Stunting pada Balita di Kawasan Pesisir', *Health Information : Jurnal Penelitian*, 15(1). Available at: https://myjurnal.poltekkes-kdi.ac.id/index.php/hijp/article/view/934.

Rahman, A.U., Abbasi, H.N. and Owais, M. (2021) 'Evaluation of Groundwater Quality for Heavy Metals by Using Chemical Indices Approach in Karachi, Pakistan', *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 22(2), pp. 358–366. Available at: https://doi.org/10.21743/pjaec/2021.12.14.

Schullehner, J. *et al.* (2020) 'Exposure to Manganese in Drinking Water During Childhood and Association With Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A Nationwide Cohort Study', *Environmental Health Perspectives*, 128(9). Available at: https://doi.org/10.1289/ehp6391.

Tinkov, A.A. *et al.* (2021) 'Molecular Targets of Manganese-Induced Neurotoxicity: A Five-Year Update', *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), p. 4646. Available at: https://doi.org/10.3390/ijms22094646.

US EPA (2014) *Reference Dose (RfD): Description and Use in Health Risk Assessment.*

Xu, M. *et al.* (2022) 'Health Risk Assessments and Microbial Community Analyses of Groundwater From a Heavy Metal-Contaminated Site in Hezhou City, Southwest China', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), p. 604. Available at: https://doi.org/10.3390/ijerph20010604.

Zhu, W. *et al.* (2021) 'Investigation and Systematic Risk Assessment in a Typical Contaminated Site of Hazardous Waste Treatment and Disposal', *Frontiers in Public Health*, 9. Available at: https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.764788.