

Penilaian Risiko Kesehatan Akibat Paparan Mikroplastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam Air Minum Isi Ulang di Kelurahan Tamangapa, Makassar Menggunakan Metode *Environmental Health Risk Assessment*

Setiawan Kasim^{1*}, Arif Atul Mahmuda Dullah¹, Budirman², Vicky Milenia Ramadhina Putri³

¹Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan, Universitas Patria Artha, Jln. Tun Abdur Razak, Gowa, Indonesia

²Program Studi Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Makassar, Makassar, Indonesia

³Fakultas Kesehatan, Universitas Pejuang Republik Indonesia, Makassar, Indonesia

*Corresponding author: setiawankasim80@gmail.com

Info Artikel: Diterima bulan September 2025 ; Disetujui bulan November 2025 ; Publikasi bulan Desember 2025

ABSTRACT

Microplastic contamination in drinking water has emerged as a global public health concern. This study aimed to analyze the exposure of microplastics, particularly polyethylene terephthalate (PET), in refillable drinking water using the Environmental Health Risk Assessment (EHRA) method. A total of 20 water samples were collected from refill stations in Tamangapa Village, Makassar City. Microscopic analysis identified 104 microplastic particles, predominantly in the form of fibers (line shape) with dominant colors of blue (39 items) and transparent (27 items). Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy confirmed the presence of PET as the major polymer, along with smaller amounts of polyethylene, polypropylene, and ethylene vinyl acetate. The concentration of microplastics varied between 0.001 mg/kg and 0.030 mg/kg. Exposure assessment involving 100 respondents revealed that average water intake was 210 mg/kg/day, with an exposure frequency of 350 days/year. Non-carcinogenic intake projections over 5–30 years indicated increasing exposure levels, with mean values ranging from 0.0040 to 0.0242 mg/kg/day, surpassing the reference dose (RfD = 0.0004 mg/kg/day). Risk characterization showed that the Risk Quotient (RQ) values consistently exceeded 1, ranging from 10.07 to 60.47, indicating an unacceptable health risk. Lower body weight was associated with higher susceptibility to microplastic toxicity. These findings highlight that long-term consumption of refillable drinking water contaminated with PET microplastics poses significant non-carcinogenic health risks to the local population. Strengthening monitoring systems, improving water treatment processes, and formulating targeted public health policies are urgently required to mitigate microplastic exposure.

Keywords : Microplastics; polyethylene terephthalate (PET); refillable drinking water; environmental health risk assessment; risk quotient

ABSTRAK

Kontaminasi mikroplastik dalam air minum telah menjadi masalah kesehatan masyarakat global. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis paparan mikroplastik, khususnya polietilen tereftalat (PET), dalam air minum isi ulang menggunakan metode Penilaian Risiko Kesehatan Lingkungan (Environmental Health Risk Assessment/EHRA). Sebanyak 20 sampel air dikumpulkan dari stasiun pengisian ulang di Kelurahan Tamangapa, Kota Makassar. Analisis mikroskopis mengidentifikasi 104 partikel mikroplastik, sebagian besar berbentuk serat (garis) dengan warna dominan biru (39 butir) dan transparan (27 butir). Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) mengonfirmasi keberadaan PET sebagai polimer utama, bersama dengan sejumlah kecil polietilen, polipropilena, dan etilen vinil asetat. Konsentrasi mikroplastik bervariasi antara 0,001 mg/kg dan 0,030 mg/kg. Penilaian paparan yang melibatkan 100 responden menunjukkan bahwa rata-rata asupan air adalah 210 ml/kg/hari, dengan frekuensi paparan 350 hari/tahun. Proyeksi asupan non-karsinogenik selama 5–30 tahun menunjukkan peningkatan tingkat paparan, dengan nilai rata-rata berkisar antara 0,0040 hingga 0,0242 mg/kg/hari, melampaui dosis referensi (RfD = 0,0004 mg/kg/hari). Karakterisasi risiko menunjukkan bahwa nilai Risk Quotient (RQ) secara konsisten melebihi 1, berkisar antara 10,07 hingga 60,47, yang menunjukkan risiko kesehatan yang tidak dapat diterima. Berat badan yang lebih rendah dikaitkan dengan kerentanan yang lebih tinggi terhadap toksisitas mikroplastik. Temuan ini menyoroti bahwa konsumsi jangka panjang air minum isi ulang yang terkontaminasi mikroplastik PET menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik yang signifikan bagi penduduk setempat. Penguatan sistem pemantauan, perbaikan proses pengolahan air, dan perumusan kebijakan kesehatan masyarakat yang terarah sangat diperlukan untuk memitigasi paparan mikroplastik.

Kata kunci : Mikroplastik; polietilen tereftalat (PET); air minum isi ulang; penilaian risiko kesehatan lingkungan; tingkat risiko

PENDAHULUAN

Plastik merupakan senyawa organik sintetis yang dapat diproduksi dalam berbagai bentuk, ukuran, warna, dan tingkat kepadatan (Faujiah dan Wahyuni., 2022). Produksi plastik global saat ini telah mencapai 360 juta ton, dengan Asia sebagai kawasan penyumbang pertumbuhan sampah plastik terbesar di dunia (51%) (Supriyono dan Noviana., 2023). Indonesia sendiri menempati urutan kedua penghasil sampah plastik laut setelah Tiongkok, dengan jumlah mencapai 262,9 MT per tahun (Brancaleone *et al.*, 2024). Setiap tahun, sekitar 0,48 – 1,29 juta ton sampah plastik dari Indonesia masuk ke laut, angka tertinggi kedua di dunia, dan terus meningkat seiring dengan tingginya konsumsi plastik masyarakat (Sari *et al.*, 2021; Supit *et al.*, 2022).

Mikroplastik sebagai hasil degradasi plastik terdistribusi luas di lingkungan, termasuk laut, limbah, udara, makanan, serta air minum, baik kemasan maupun isi ulang (Venecia., 2023). Salah satu faktor utama yang meningkatkan cemaran mikroplastik pada air minum adalah lemahnya pengendalian kualitas dalam proses produksi dan pengemasan (Wiguna., 2023). Mikroplastik dapat masuk ke sistem perairan melalui berbagai jalur, di antaranya degradasi limbah plastik di lingkungan (Shruti *et al.*, 2022). Beberapa studi menemukan mikroplastik dalam depot air minum isi ulang dengan kelimpahan 0,8 partikel/L berbentuk serat berwarna merah dan biru berukuran 1,02–1,491 mm (Perez *et al.*, 2022), serta dalam air minum kemasan berbentuk fragmen *polipropilena* (PP) dengan konsentrasi 10,4 partikel/L (>100 µm) dan 335 partikel/L (6,5–100 µm) (Shruti *et al.*, 2022).

Polyethylene terephthalate (PET) merupakan polimer termoplastik linier hasil polimerisasi asam tereftalat dan *etilen glikol* (Hadeed dan Al-Ahmady., 2022). PET bersama polietilen (36%), *polipropilena* (21%), dan polivinil klorida (12%) mendominasi produksi plastik non-serat, di mana 70% produk berbahan poliester menggunakan PET (Acarer., 2023). Sejumlah penelitian menunjukkan adanya migrasi senyawa dari plastik PET ke air minum, terutama pada kondisi penyimpanan jangka panjang, yang berpotensi melampaui ambang batas aman USFDA dan USEPA (Kasim *et al.*, 2023). PET banyak digunakan untuk kemasan makanan dan minuman (Sakinah *et al.*, 2022), namun partikel mikroplastik PET berukuran 50 µm dapat berpindah melalui sistem limfatik menuju organ hati dan limpa, sehingga berisiko memicu peradangan dan gangguan sistem imun (Mustikasari., 2021; Siregar dan Santi., 2025).

Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Tamangapa, Kota Makassar, kawasan padat penduduk dengan tingkat konsumsi tinggi terhadap air isi ulang. Selain bergantung pada depot-depot air minum, wilayah ini juga berdekatan dengan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Makassar yang meningkatkan potensi pencemaran lingkungan, termasuk mikroplastik. Observasi menunjukkan sebagian depot menggunakan sumber air sumur bor dengan sistem filtrasi karbon aktif, resin, dan *reverse osmosis*, namun pengawasan sanitasi dan standar operasional belum optimal. Penggunaan ulang galon berbahan PET tanpa pemeliharaan yang memadai turut meningkatkan risiko migrasi mikroplastik ke dalam air (Chrismanto., 2023; Ia Cecilia *et al.*, 2024; Yan *et al.*, 2022).

Dengan minimnya penelitian terkait cemaran mikroplastik pada air minum, studi ini menjadi penting sebagai rujukan untuk menilai potensi risiko kesehatan akibat pajanan mikroplastik PET di Tamangapa. Penelitian difokuskan pada analisis konsentrasi rata-rata, tingkat asupan (*intake*), frekuensi dan lama pajanan, kadar *intake* harian, nilai *risk quotient* (RQ), risiko kesehatan, serta strategi pengelolaan risiko yang diperlukan bagi masyarakat.

MATERI DAN METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan studi observasional dengan pendekatan *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA) atau Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), yang bertujuan untuk menilai besaran risiko kesehatan manusia akibat pajanan bahaya lingkungan. Kegiatan penelitian dilaksanakan pada bulan Juni hingga September 2025 di Kelurahan Tamangapa, Kota Makassar. Pemilihan lokasi didasarkan pada temuan penelitian terdahulu yang mengidentifikasi adanya kandungan mikroplastik dalam air minum isi ulang yang dikonsumsi masyarakat, meskipun penelitian tersebut hanya berfokus pada kelimpahan dan jenis mikroplastik.

Dalam penelitian ini, sampel air minum isi ulang dikumpulkan langsung dari beberapa depot yang beroperasi di Kelurahan Tamangapa. Selanjutnya, pemeriksaan laboratorium dilakukan di Laboratorium Ekotoksikologi Fakultas Kelautan dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin Makassar, untuk mengidentifikasi dan mengukur kandungan mikroplastik dalam sampel.

Pengambilan sampel

Sampel penelitian berupa air minum isi ulang diperoleh dari wilayah Kelurahan Tamangapa, Kota Makassar. Sebanyak 20 sampel dikumpulkan secara langsung dari depot maupun rumah warga. Berdasarkan data setempat, terdapat 20 unit depot air minum isi ulang yang terdaftar dan masih beroperasi aktif di wilayah tersebut. Penelitian ini menggunakan teknik *total sampling*, sehingga seluruh populasi depot ($n = 20$) dijadikan sebagai sampel penelitian. Sedangkan untuk sampel dari manusia ditentukan menggunakan teknik *purposive sampling* dengan kriteria inklusi 1)

Menggunakan/mengonsumsi air minum isi ulang sebagai air minum sehari-hari, 2) Berada dalam lingkup Kelurahan Tamangapa Kota Makassar, 3) Masyarakat bersedia untuk dijadikan sebagai responden (diwawancarai), dan 4) Responden yang diwawancarai adalah anak-anak (usia 5 – 12 tahun) dan dewasa (usia > 26 tahun) sehingga diperoleh sebanyak 100 sampel.

Persiapan sampel

Sebelum digunakan, seluruh peralatan penelitian dicuci dengan larutan asam nitrat 10% dan dibilas menggunakan akuabidest untuk meminimalkan potensi kontaminasi. Setiap sampel air minum isi ulang sebanyak 1.000 mL kemudian ditambahkan dua tetes larutan pewarna Nile Red 0,1% dan diinkubasi selama ± 30 menit. Pewarna Nile Red akan berikatan pada permukaan mikroplastik, tetapi tidak berinteraksi dengan sebagian besar material alami, sehingga partikel mikroplastik dapat diamati dengan jelas di bawah mikroskop pada perbesaran 100x hingga 400x.

Untuk analisis lanjutan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), sampel terlebih dahulu disaring dengan membran selulosa nitrat berukuran pori 0,45 μm dan berat tertentu. Residu yang tertahan pada filter kemudian ditimbang untuk menentukan konsentrasi mikroplastik secara kuantitatif, dengan akuabidest digunakan sebagai blanko standar (New *et al.*, 2023).

Penentuan massa dan konsentrasi mikroplastik

Pada tahap awal, kertas saring dengan ukuran pori 0,45 μm digunakan untuk menyaring akuabidest sebagai blanko. Kertas saring tersebut kemudian dikeringkan dalam desikator selama 24 jam dan ditimbang untuk mencatat massa awalnya. Selanjutnya, sampel air difiltrasi menggunakan kertas saring yang sama. Setelah proses penyaringan selesai, kertas saring kembali dikeringkan dalam desikator selama 24 jam sebelum dilakukan penimbangan ulang. Perbedaan massa antara kertas saring setelah penyaringan dengan massa awalnya ditetapkan sebagai massa mikroplastik yang terperangkap pada kertas saring. Nilai massa tersebut selanjutnya merepresentasikan konsentrasi mikroplastik per liter sampel air yang telah melalui proses filtrasi ((Luqman *et al.*, 2023).

Karakterisasi Jumlah Mikroplastik

Untuk analisis morfologi mikroplastik, seperti fragmen, serat, pelet, maupun film, residu yang tertahan pada filter diamati menggunakan mikroskop optik (Leica ICC50 HD) pada perbesaran 100x dan 400x. Selain itu, penghitungan jumlah partikel juga dilakukan dengan metode *Neubauer Improved Counting Chamber* yang telah dimodifikasi. Metode bilik hitung ini secara luas diakui sebagai teknik yang akurat dalam menentukan jumlah partikel atau sel dalam suatu cairan biologis. Prinsipnya adalah menempatkan sampel pada ruang pengamatan dengan ketebalan tertentu (0,1 mm), kemudian menghitung partikel yang terlihat dalam volume tersebut. Jumlah partikel yang diperoleh selanjutnya dinyatakan dalam satuan partikel per liter sampel dengan asumsi air minum sebagai larutan homogen.

Residu mikroplastik selanjutnya difiltrasi menggunakan membran selulosa nitrat dengan ukuran pori 0,45 μm dan dianalisis lebih lanjut menggunakan FTIR yang dibandingkan dengan spektrum standar polimer murni. Spektroskopi FTIR merupakan salah satu metode analisis kimia yang mampu mengidentifikasi senyawa berdasarkan gugus fungsi penyusunnya. Gugus fungsi ini mencerminkan jenis ikatan antaratom yang membedakan satu senyawa dengan senyawa lainnya. Pada penelitian ini, FTIR dimanfaatkan untuk mengenali gugus fungsi mikroplastik melalui pola serapan cahaya inframerah yang dihasilkan ketika sampel dianalisis pada instrumen FTIR (Giese *et al.*, 2021).

Mikroskop FTIR

Susunan molekul pada partikel plastik dapat dianalisis dengan memadukan teknik spektroskopi vibrasi dengan mikroskop optik maupun *scanning electron microscopy* (SEM). Untuk memperoleh spektrum yang lebih akurat, partikel mikroplastik perlu dipisahkan terlebih dahulu dari matriks sampel, sebab intensitas sinyal sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel yang diamati (Luqman *et al.*, 2021). Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah mikrospektroskopi FTIR, karena mampu mendeteksi mikroplastik secara efisien. Prinsip teknik ini didasarkan pada perubahan momen dipol

molekul akibat vibrasi ikatan, di mana molekul menyerap radiasi inframerah sehingga mencapai tingkat vibrasi yang lebih tinggi. Pola serapan ini berkorelasi langsung dengan jenis ikatan kimia yang terkandung dalam molekul yang dianalisis. Dibandingkan dengan mikroskop elektron pemindaian yang dilengkapi *energy dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDX), spektroskopi inframerah memiliki keunggulan dalam menghasilkan *fingerprint* komposisi molekuler serta mengidentifikasi ikatan spesifik pada sampel. (Sun *et al.*, 2024).

Resolusi spasial pada mikroskop FTIR berkisar antara 10–20 μm , tergantung panjang gelombang yang digunakan dan tetap dibatasi oleh difraksi cahaya. Agar FTIR dapat berfungsi secara optimal, sampel idealnya diletakkan pada substrat transparan terhadap sinar inframerah dengan ketebalan minimal 150 nm. Keterbatasan ini menyebabkan FTIR lebih efektif untuk menganalisis partikel dengan ukuran di atas 20 μm . Meski demikian, partikel berukuran lebih kecil, termasuk agregat atau lapisan tipis mikroplastik, masih memungkinkan untuk dianalisis (Agbasi *et al.*, 2025).

Dibandingkan teknologi lain, mikro-FTIR memiliki keunggulan dalam mendeteksi partikel mikroplastik hingga ukuran 20 μm , sehingga dianggap sebagai instrumen ideal untuk mengidentifikasi mikroplastik terutama pada sampel udara. Inframerah (IR) sendiri merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang terletak di antara gelombang mikro dan cahaya tampak. Spektroskopi FTIR bekerja dengan prinsip *molecular fingerprinting* yang umumnya diaplikasikan pada rentang frekuensi 4.000–400 cm^{-1} . Rentang ini dikenal sebagai wilayah sidik jari (*fingerprint region*), yang paling bermanfaat untuk mengidentifikasi ikatan kimia tertentu meskipun panjang gelombang IR secara umum mencakup 700 nm hingga 1 mm. Dengan membandingkan spektrum inframerah dari berbagai bahan, keberadaan atom maupun gugus fungsional dapat diidentifikasi secara akurat, sehingga memungkinkan penentuan komposisi molekuler mikroplastik.

Tabel 1 Perbandingan teknik analisis mikroplastik

Metode	Keuntungan	Batasan
<i>Scanning electron microscopy (SEM)</i>		
Berkas elektron yang kuat digunakan untuk memindai permukaan sampel. Gambar dapat dihasilkan berkat hamburan berkas elektron sampel.	Teknik ini memberikan gambar sampel beresolusi tinggi (resolusi 0,5 nm).	Sampel harus disiapkan untuk observasi; jenis polimer tidak dapat diidentifikasi; perolehan instrumen mahal; ini adalah analisis kuno.
<i>Raman spectroscopy</i>		
Hamburan inelastis terjadi ketika energi laser mengenai objek. Pergeseran frekuensi antara dua berkas sinar dapat digunakan untuk menilai komposisi kimia suatu sampel.	Ini adalah metode yang dapat diandalkan untuk mengidentifikasi mikroplastik; dapat mendeteksi mikroplastik hingga ukuran 1 μm ; tidak menyebabkan kerusakan; dapat menganalisis solusi dan mentoleransi keberadaan air.	Sampel harus dipersiapkan dengan baik untuk mengisolasi mikroplastik penting; Hal ini dapat dipengaruhi oleh aditif, pewarna, pengotor, dan fluoresensi latar belakang sampel; akuisisi data dapat memakan waktu; Membutuhkan peralatan yang mahal, dan tanpa standar, memahami data bisa menjadi tantangan.
<i>Fourier transform infrared spectroscopy</i>		
Sampel tersebut terkena cahaya inframerah, dan spektrum transmisi atau absorbansinya kemudian dikontraskan dengan spektrum sampel yang sudah diketahui..	Ini dapat diandalkan; tidak menyebabkan kerusakan; mikro-FTIR dapat mempelajari partikel hingga ukuran 20 μm ; dapat menentukan komposisi	Akurasi akan menurun jika partikel target berukuran kurang dari 20 μm , memerlukan peralatan yang mahal; sampel harus diproses atau dimurnikan untuk menghilangkan

Metode	Keuntungan Batasan	Keuntungan Batasan
	MP; mampu memetakan permukaan sampel besar.	interferensi matriks; resolusi spasial deteksi dibatasi oleh panjang gelombang radiasi, dan resolusi terbaiknya adalah puluhan mikron; air juga tidak mungkin dideteksi.
<i>Optical microscopy</i>		
Persiapan dan identifikasi sampel dilakukan di bawah mikroskop optik.	Pemeriksaan cepat dapat dilakukan, merupakan teknik termurah, mampu mendeteksi ukuran, bentuk, dan warna partikel plastik, dan mudah mengidentifikasi partikel non-plastik ketika dikenali..	Kurangnya identifikasi kimia kualitatif; memiliki potensi kesalahan polimer untuk bahan anorganik; mikroskop optik mungkin melewatkan partikel kecil.

Analisis Data

Dalam penelitian ini, analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

a. Identifikasi bahaya

Pada tahapan ini, jenis polimer mikroplastik polietilena tereptalat yang terkandung dalam air minum isi ulang ditentukan.

b. Analisis dosis-respons

Analisis dosis-respons dilakukan berdasarkan standarisasi yang dikeluarkan oleh Badan US-EPA untuk nilai RfD mikroplastik polietilena tereptalat, yaitu 0,0004 miligram per kilogram per hari (mg/kg/d), menggunakan Persamaan 1

c. Analisis pajanan

$$I = \frac{C \times R \times fE \times Dt}{Wb \times t \text{ avg}} \quad (1)$$

Dimana;

I (<i>Intake</i>)	Konsentrasi total agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap hari (mg/kg/hari)
C (<i>Konsentrasi</i>)	Konsentrasi agen risiko mikroplastik polietilen tereftalat dalam air minum isi ulang (mg/l)
R (<i>Rate</i>)	Tingkat konsumsi atau volume air yang masuk ke dalam tubuh manusia setiap hari (mg/l)
fE (<i>Frequency Exposure</i>)	Durasi atau jumlah hari (hari/tahun) pajanan terhadap mikroplastik setiap tahun (350 hari/tahun untuk nilai default perumahan)
Dt (<i>Duration Time</i>)	Durasi atau jumlah tahun pajanan
Wb (<i>Weight of Body</i>)	Berat badan manusia/populasi/kelompok
t avg (<i>time average</i>)	Rata-rata jangka waktu (30 tahun × 365 hari/tahun untuk efek non-karsinogenik dan 70 tahun × 365 hari/tahun untuk efek karsinogenik)

d. Karakterisasi risiko

Karakterisasi risiko untuk efek non-karsinogenik dilakukan dengan membagi asupan dengan dosis atau konsentrasi agen risiko menggunakan Persamaan 2, Nilai RQ <1 berarti tidak berisiko dan RQ>1 berisiko.

$$RQ = \frac{I}{RfD} \quad (2)$$

Dimana:

RQ : Karakterisasi risiko

RfD : Analisis konsentrasi respons

I : Asupan (Pajanan)

HASIL**Tabel 2.** Distribusi Karakteristik Responden

Variabel	Jumlah (n)	Persentase (%)
Jenis kelamin		
Laki laki	48	48
Perempuan	52	52
Umur		
< 12 tahun	40	40
12 – 40	3	3
41 – 60	55	55
> 61	2	2
Tingkat Pendidikan		
SD	43	43
SMP	15	15
SMA	20	20
Perguruan tinggi	22	22
Jenis Pekerjaan		
Belum Bekerja	43	43
IRT	15	15
PNS	20	20
Wiraswasta	22	22

Sumber: Data primer, 2025

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa responden perempuan lebih banyak dari pada responden laki laki. Dimana responden perempuan sebanyak 52 orang atau sebesar 52%, rentan usia responden terbanyak pada kelompok umur 40-60 tahun yakni sebanyak 55 orang atau sebesar 55%, tingkat pendidikan responden mayoritas ditingkatkan SD dengan jumlah 43 responden atau sebesar 43%, jenis pekerjaan terbanyak belum bekerja sebanyak 43 responden atau sebesar 43%.

Tabel 3. Jumlah Mikroplastik Dalam Air Minum Isi Ulang

Titik/lokasi pengambilan sampel air minum isi ulang	Jumlah MPs yang ditemukan (item)
Kelurahan Tamangapa Kota Makassar	104
Total	104

Sumber: Data primer, 2025

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan jumlah mikroplastik pada air minum isi ulang sebanyak 104 item MPs yang diambil dari beberapa di Kelurahan Tamangapa kecamatan Manggala Kota Makassar.

Tabel 4. Bentuk Mikroplastik Dalam Air Minum Isi Ulang

Titik/lokasi pengambilan sampel air minum isi ulang	Line	Bentuk Mikroplastik		
		Fragment	Pellet	Film
Kelurahan Tamangapa Kota Makassar	104	0	0	0
Total	104	0	0	0

Sumber: Data primer, 2025

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bentuk mikroplastik pada air minum isi ulang sebanyak 104 item MPs berbentuk line yang diambil dari beberapa di Kelurahan tamangapa kecamatan manggala kota makassar.

Tabel 5. Warna Mikroplastik Dalam Air Minum Isi Ulang

Titik/lokasi pengambilan sampel air minum isi ulang	Warna Mikroplastik						
	Biru	Trans paran	Hitam	Merah	Ungu	Putih	Kuning Hijau
Kelurahan Tamangapa Kota Makassar	39	27	0	10	0	0	0
Total	39	27	0	10	0	0	0

Sumber: Data primer, 2025

Berdasarkan Tabel 5 di atas menunjukkan bahwa warna mikroplastik dalam air minum isi ulang di Kelurahan tamangapa kecamatan manggala kota makassar, warna yang paling banyak ditemukan berwarna biru yakni 39 item MPs dan paling sedikit (tidak ada) yakni berwarna hitam, putih, ungu, kuning dan hijau sebanyak 0 item MPs. Berikut mikroplastik yang ditemukan pada sampel air minum isi ulang dengan pembesaran 45 kali:

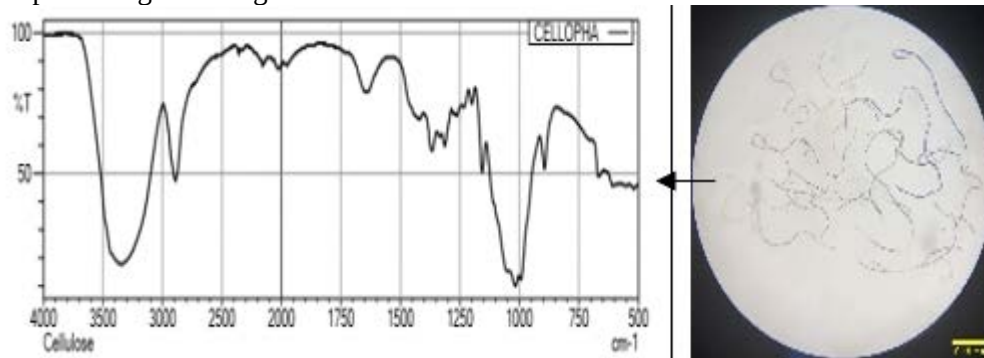


Gambar 1. Bentuk Dan Warna Mikroplastik Dalam Air Minum Isi Ulang

Analisis morfologi mikroplastik dilakukan dengan memeriksa residu pada filter menggunakan mikroskop optik (Leica ICC50 HD) dengan perbesaran 100x dan 400x. Selain identifikasi bentuk (fragmen, serat, pelet, film, dan lainnya), mikroskop juga digunakan dalam metode Counting Chamber Improved Neubauer yang dimodifikasi untuk menghitung jumlah partikel per volume sampel. Metode ini telah lama diterapkan dalam pengukuran sel atau partikel pada cairan biologis, dengan prinsip pengamatan partikel dalam ruang terukur ($1 \times 1 \times 0,1$ mm), kemudian hasil perhitungan dikonversikan menjadi jumlah partikel per liter sampel dengan asumsi homogenitas air minum sebagai larutan (Alvarez *et al.*, 2024)).

Selanjutnya, residu mikroplastik yang tertahan pada filter selulosa nitrat berpori $0,45 \mu\text{m}$ dianalisis menggunakan Fourier Transform Infrared (FT-IR) dengan standar polimer murni. Karakterisasi FT-IR digunakan untuk menentukan identitas senyawa berdasarkan gugus fungsionalnya, yang terbentuk dari ikatan antar atom penyusun molekul. Setiap gugus fungsional memiliki spektrum serapan inframerah yang khas sehingga memungkinkan diferensiasi antar polimer. Dengan demikian, FT-IR berperan penting dalam mengidentifikasi jenis polimer mikroplastik yang terdapat dalam sampel air minum (Shruti *et al.*, 2024).

Berikut adalah hasil analisis FTIR mikroplastik dalam air minum isi ulang yang ditampilkan dalam bentuk spektrum gelombang.



Gambar 2. Hasil Analisis FTIR

Berdasarkan hasil analisis FTIR yang dilakukan untuk pembacaan jenis polymer mikroplastik dalam air minum isi ulang diperoleh skor tertinggi yaitu sebesar 590 sehingga dapat disimpulkan bawa jenis *polymer* tersebut merupakan jenis Polyethylene Terephthalate (PET).

Tabel 6. Analisis FTIR Mikroplastik Dalam Air Minum Isi Ulang

No	Sampel	Bentuk	Warna	Jenis Polimer
1	Sampel 1	Line	Merah, biru, transparan	PET, Polyester, Polybutylene Terephthalate
2	Sampel 2	Line	Biru, Transparan	Ethylene Vinyl Acetate, Polyethylene, Polypropilene, PET, Ethylene Vinyl Acetate
3	Sampel 3	Line	Biru	Ethylene Vinyl Acetate, HDPE, Styrene
4	Sampel 4	Line	Transparan	Ethylene Vinyl Acetate, PE, PhosporicAcid
5	Sampel 5	Line	Biru, transparan	Ethylene Vinyl Acetate, Polyethylene, Microcrystalline
6	Sampel 6	Line	Biru, transparan	Ethylene Vinyl Acetate, Polyethylene, Microfibrillated
7	Sampel 7	Line	Transparan, biru, merah	Ethylene Vinyl Acetate, PhosporicAcid, PE
8	Sampel 8	Line	Transparan, biru, merah	Polyvinylchloride Acid,PET, Microcrystalline, Ethylene Vinyl Acetate
9	Sampel 9	Line	Merah, biru	Ethylene Vinyl Acetate, PET, PE, PP, HDPE
10	Sampel 10	Line	Biru, transparan	Ethylene Vinyl Acetate, Polyethylene, Microcrystalline
11	Sampel 11	Line	Transparan, biru	Ethylene Vinyl Acetate, EthylenebisStearamide
12	Sampel 12	Line	Biru, transparan	Polyester, PET, Microcrystalline, Polybutylene Terephthalate
13	Sampel 13	Line	Merah, transparan	PET, Polyester, Polybutylene Terephthalate
14	Sampel 14	Line	Transparan	Ethylene Vinyl Acetate, PE, PhosporicAcid
15	Sampel 15	Line	Transparan, biru	Ethylene Vinyl Acetate, Polyethylene, Microcrystalline

No	Sampel	Bentuk	Warna	Jenis Polimer
16	Sampel 16	Line	Transparan, biru	Ethylene Vinyl Acetate, HDPE, PE, PP
17	Sampel 17	Line	Merah, transparan	Polyvinylchloride Acid, PET, Microcrystalline
18	Sampel 18	Line	Biru, transparan	Ethylene Vinyl Acetate, Polyethylene, Microcrystalline
19	Sampel 19	Line	Biru	Ethylene Vinyl Acetate, Microcrystalline, PE
20	Sampel 20	Line	Biru	Ethylene Vinyl Acetate, Methyl-2-pyrrolidone, EthylenebisStearamide

Berdasarkan Tabel 6 diatas menunjukkan jenis polimer hasil analisis FTIR pada mikroplastik pada sampel air minum isi ulang mayoritas adalah *Polyethylene Terephthalate* (PET), sementara jenis polimer lainnya yakni *Ethylene Vinyl Acetate*, *Microcrystalline*, *Phosphoric Acid* dan sebagainya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwabentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan dalam sampel bentuk line. Dominansi mikroplastik bentuk line kemungkinan disebabkan oleh sumber air baku serta pada saat proses pendistribusian yang melalui jaringan perpipaan berbahan plastic hingga menuju ke dalam proses pengolahan di depot air minum isi ulang.

Tabel 7. Konsentrasi Mikroplastik Dalam Air Minum Isi Ulang

No	Sampel	Konsentrasi MPs
1	Sampel 1	0.030 mg/kg
2	Sampel 2	0.002 mg/kg
3	Sampel 3	0.003 mg/kg
4	Sampel 4	0.001 mg/kg
5	Sampel 5	0.010 mg/kg
6	Sampel 6	0.003 mg/kg
7	Sampel 7	0.011 mg/kg
8	Sampel 8	0.006 mg/kg
9	Sampel 9	0.009 mg/kg
10	Sampel 10	0.003 mg/kg
11	Sampel 11	0.004 mg/kg
12	Sampel 12	0.004 mg/kg
13	Sampel 13	0.004 mg/kg
14	Sampel 14	0.001 mg/kg
15	Sampel 15	0.004 mg/kg
16	Sampel 16	0.003 mg/kg
17	Sampel 17	0.002 mg/kg
18	Sampel 18	0.002 mg/kg
19	Sampel 19	0.001 mg/kg
20	Sampel 20	0.001 mg/kg

Sumber: Data Primer 2025

Berdasarkan Tabel 7 Konsentrasi mikroplastik dalam air minum isi ulang sebanyak 20 sampel yang di uji di Laboratorium Ekotoksikologi Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, menunjukkan hasil maksimum cemaran mikroplastik (*polyethylene terephthalate*) dalam air minum isi ulang, kadar tertinggi 0,030 mg/kg dan terendah 0,001 mg/kg.

Berdasarkan Tabel 8 menunjukkan bahwa umur (tahun) responden berkisar 7 tahun - 68 tahun dengan nilai tengah (median) 50 tahun. Berat badan responden berkisar 21 kg - 73 kg dengan nilai tengah (median) 57 kg. Laju asupan responden berkisar antara 126 mg/kg/h - 269 mg/kg/h, dengan nilai tengah (median) 210 mg/kg/h yang diperoleh dengan cara berapa banyak (gelas) responden mengonsumsi air minum isi ulang dalam sehari (mg/L). Frekuensi pajanan (fE) didapat dengan cara menyatakan seberapa banyak responden mengonsumsi air minum isi ulang dalam sehari (hari/tahun). Berdasarkan hasil wawancara seluruh responden mengonsumsi air minum isi ulang.

Tabel 8. Karakteristik Responden Berdasarkan Berat Badan dan Pola Aktivitas Masyarakat

Indikator	Min	Max	Median	Keterangan
Umur	7	68	50	Tahun
Berat Badan	21	73	57.50	Kg
Laju Asupan	126	269	210	mg/kg/hari
Frekuensi Pajanan	350	350	350	hari/tahun

Sumber: Data Primer 2025

Tabel 9. Nilai Min, Max dan Mean Asupan (*Intake*) Non Karsinogenik Responden Untuk Durasi Pajanan

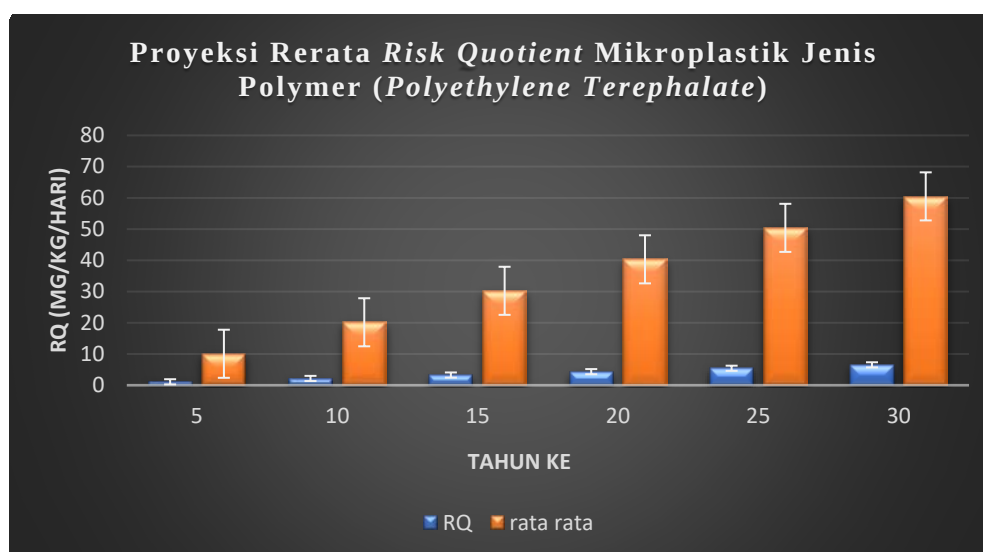
<i>Intake (mg/kg/hari)</i>				
Tahun Ke	Min	Max	Mean	Ket
5	0.000434	0.04	0.0040	TMS
10	0.000869	0.08	0.0081	TMS
15	0.001303	0.12	0.0121	TMS
20	0.001738	0.61	0.0161	TMS
25	0.002172	0.02	0.0202	TMS
30	0.002607	0.42	0.0242	TMS

Keterangan : MS(Memenuhi Standar), TMS (Tidak Memenuhi Standar)

*Catatan : *RfD* MPs PET (0,0004 mg/kg/hari)

Sumber: Data Primer 2025.

Berdasarkan Tabel 9 dapat diketahui bahwa nilai asupan *Intake* non karsinogenik) mikroplastik (*Polyethylene Terephthalate*) proyeksi tahun ke 5-30 tahun, di mana pada tahun ke 5 nilai (Min) terendah 0.000434, nilai (Max) tertinggi 0.04 dan Rerata (Mean) 0.0040, tahun ke 10 nilai (Min) 0.000869, nilai (Max) 0.08 dan Rerata (Mean) 0.0081, tahun ke 15 nilai (Min) 0.001303, nilai (Max) 0.12 dan nilai Rerata (Mean) 0.0121, tahun ke 20 nilai (Min) 0.001738, nilai (Max) 0.61, Rerata (mean) 0.0161, tahun ke 25 nilai (Min) 0.002172, nilai (Max) 0.02 dan Rerata (Mean) 0.0202 dan tahun ke 30 nilai (Min) 0.002607, nilai (Max) 0.42 dan nilai Rerata (Mean) 0.0242, masih memenuhi standar atau tidak melebihi *Reference dose (RfD)*. Hasil perhitungan nilai asupan *Intake* setiap individu yaitu 10 responden di Kelurahan Tamangapa Kecamatan Manggala Kota Makassar.

**Grafik 2.** Proyeksi Nilai Mean Risk Quotient (*RQ*) Mikroplastik (*Polyethylene Terephthalate*)

Grafik 2. menunjukkan hasil proyeksi *Risk Quotient* (RQ) durasi pajanan 5-30 tahun di mikroplastik (*Polyethylene Terephthalate*) selalu mengalami peningkatan, diperoleh nilai mean RQ yaitu 10.0786 - 60.4714, dari hasil perhitungan *Risk Quotient* (RQ) mikroplastik (*Polyethylene Terephthalate*) melebihi reference dose (RfD) pada 5 tahun – 30 tahun kedepan. Hal itu berarti tingkat risiko tidak dapat di terima atau tidak aman dan dinyatakan dengan (RQ) >1 (risiko perlu dikendalikan agar nilai (RQ) <1. Rata-rata perhitungan *Risk Quotient* (RQ) non karsinogenik lebih tinggi dikarenakan terdapat perbedaan berat badan responden dan seseorang yang memiliki berat badan rendah akan mudah mengalami toksisitas dari yang memiliki berat badan tinggi, dengan kata lain semakin tinggi berat badan seseorang semakin kecil risiko menderita penyakit non karsinogenik. Tingkat risiko akan meningkat seiring bertambahnya durasi pajanan (Dt) atau waktu perkiraan maka akan semakin tinggi tingkat risiko yang dialami responden yang terpajan mikroplastik (*Polyethylene Terephthalate*).

PEMBAHASAN

Untuk mengestimasi tingkat risiko yang dapat terjadi dilakukan penelitian ARKL mengacu pada pedoman teknis ARKL Dirjen P2PL Kemenkes RI Tahun 2012. Analisis risiko kesehatan lingkungan hanya mengenal empat langkah, yaitu Identifikasi bahaya, Analisis dosis respons (dalam literatur lainnya disebut juga karakteristik bahaya), Analisis pajanan dan Karakteristik risiko (Abdulmalik dan Mansurat., 2019). ARKL merupakan pendekatan yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko kesehatan di lingkungan dengan output adalah karakteristik risiko (dinyatakan sebagai tingkat risiko) yang menjelaskan apakah agen risiko/parameter lingkungan berisiko terhadap kesehatan masyarakat atau tidak (McCormick *et al.*, 2014). Selanjutnya hasil ARKL akan dikelola dan dikomunikasikan kepada masyarakat sebagai tindak lanjutnya (Amobonye *et al.*, 2021).

Faktor lingkungan adalah penyebab utama suatu bencana kematian, kesakitan dan cacat secara menyeluruh. World Health Organization (WHO) memperkirakan bahwa dampak dari kurangnya air yang berkualitas dan pemenuhan air bersih maupun air minum yang baik dapat menyebabkan sekitar 25% kematian dan kesakitan di dunia (Amrutha dan Warriar., 2020).

Keberadaan mikroplastik pada air minum dalam kemasan (AMDK) sebagian berasal dari kemasan dan atau proses pembotolan itu sendiri (Ayuningtyas., 2019). Atau sumber kontaminasi lainnya dapat berasal dari sumber air baku, bahan kemasan, mesin pencuci maupun rangkaian dalam proses pengisian air kedalam kemasan (A'Yun., 2019). Kontaminasi mikroplastik pada air minum isi ulang dapat berasal dari proses pengelolaannya yang menggunakan beberapa peralatan atau pipa yang terbuat dari plastik seperti PVC, PP, dan PE (Campanale *et al.*, 2020).

Sumber lainnya mengatakan bahwa mikroplastik dalam air minum isi ulang adalah terdapat pada saat pendistribusian air bersih dengan menggunakan sistem jaringan perpipaan yang menggunakan pipa jenis PVC yang terbuat dari material plastik dan sumber air lain yang digunakan seperti sumur bor yang lokasinya berada dekat tempat pembuangan akhir (TPA) atau sumber cemaran lainnya (Chaudhari dan Samnanu., 2022). Hal ini diperkuat dengan Hasil penelitian Xianxian Chu *et al* (2022), menunjukkan fragmen mikroplastik yang paling banyak. Dari semua fragmen yang teridentifikasi, jenis *Nylon* dan *Polyvinyl Chloride* yang paling dominan ditemukan. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Chen *et al.*, 2020) kelimpahan mikroplastik dalam sampel DWTP dan TW masing-masing rata-rata $0,02 \pm 0,03$ MP L⁻¹ dan $0,01 \pm 0,02$ MP L⁻¹. *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah jenis polimer yang paling umum terdeteksi dalam sampel air yang diperiksa (Schymanski *et al.*, 2018).

Hasil penelitian lainnya yang dilakukan oleh (Corami *et al.*, 2022) menunjukkan bahwa ditemukan mikroplastik bentuk film, fiber dan fragment pada instalasi pengolahan air pada bagian inlet dan outlet. Peningkatan mikroplastik berbentuk fiber pada outlet disebabkan karena tidak terdapat proses flokulasi, padahal proses tersebut cukup untuk membantu mengikat partikel termasuk mikroplastik hingga membentuk flok (Crawford dan Quinn., 2017). Menurut (Efome *et al.*, 2018) proses koagulasi-flokulasi menyebabkan partikel mikroplastik akan terikat dengan flok kemudian akan mengendap dan menggumpal.

Berdasarkan hasil pemeriksaan yang dilakukan dan pembacaan jenis polimer menggunakan analisis FTIR menunjukkan bahwa bentuk mikroplastik yang ditemukan berbentuk line dan untuk jenis polimer mikroplastik yang ditemukan pada sampel air minum isi ulang mayoritas adalah *Polyethylene Terephthalate* (PET), sementara jenis polimer lainnya yakni *Ethylene Vinyl Acetate*, *Microcrystalline*,

Phosporic Acid dan sebagainya.

Sejalan dengan hasil penelitian tersebut, Mahasiswa dari University of North Dakota (UND) juga meneliti jumlah mikroplastik di tong air minum, air kemasan, dan minuman ringan lokal yang ada di sana. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata jumlah mikroplastik pada sampel AMDK adalah 101 partikel/liter. Jumlah ini lebih sedikit dari mikroplastik yang ditemukan di tong dan minuman ringan. Mikroplastik yang paling umum adalah fragmen (Ekanayake *et al.*, 2020).

Polimer yang terpapar sinar matahari dapat mengalami perubahan secara fotokimia, termasuk dalam kasus plastik jenis PET (Eslami *et al.*, 2021). Polimer jenis ini dapat menyerap sinar matahari yang memiliki rentang panjang gelombang (λ) sesuai dengan spektrum sinar UV ($300 \text{ nm} \leq \lambda \leq 330 \text{ nm}$). Paparan sinar matahari pada Botol PET juga dapat meningkatkan suhu air. Berdasarkan 2 hal tersebut, terdapat risiko perubahan pembentukan bahan kimia dari botol dan migrasinya ke dalam air yang jika dikonsumsi dapat menimbulkan kerugian bagi konsumen (European Chemicals Agency., 2019).

Mikroplastik yang tertelan oleh makhluk hidup akan masuk ke dalam traktus gastrointestinal dan mengalami penyerapan pada ujung vili usus ke dalam aliran darah sistemik. Selanjutnya partikel mikroplastik akan terdistribusi secara luas ke seluruh organ tubuh (Fackelmann dan Sommer., 2019). Partikel mikroplastik masuk ke dalam aliran darah sistemik melalui usus dengan adanya bantuan endositosis sel (M) dari *Peyer's patch* serta proses mekanis gerak peristaltis usus. Adanya celah pada epitel selapis tunggal di ujung vili dari saluran pencernaan memungkinkan partikel padat seperti partikel plastik untuk berpindah dari lumen usus ke sistem peredaran darah (Gesamps., 2015).

Berdasarkan hasil wawancara dilakukan, diketahui masyarakat di Kelurahan tamangapa selalu mengonsumsi air minum isi ulang, sebagaimana diketahui bahwa air minum merupakan kebutuhan pokok bagi masyarakat. Berdasarkan pada Tabel 2 rata-rata laju asupan masyarakat Kelurahan tamangapa dalam mengonsumsi air minum isi ulang nilai terendah (*minimun*) sebesar 126 mg/kg/hr, nilai tertinggi (*maksimun*) 269 mg/kg/hr dan nilai rata-rata (*mean*) sebesar 210 mg/kg/hr.

Sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Guo and Wang., 2019) median tingkat asupan jumlah mikroplastik total yang ditemukan dalam penelitian ini adalah 553 ($52,5-1,37 \times 10^5$) partikel/kapita/hari untuk anak-anak dan 883 ($86,4-1,68 \times 10^5$) partikel/kapita/hari untuk orang dewasa, dan distribusinya adalah sangat miring ke kanan. Total asupan massa mikroplastik median harian dari sembilan media untuk anak-anak dan dewasa adalah $1,84 \times 10^{-4}$ ($1,28 \times 10^{-7}-7,5$) dan $5,83 \times 10^{-4}$ ($3,28 \times 10^{-7}-17$) mg/kapita/hari, masing-masing. Sebuah laporan baru-baru ini oleh *World Wildlife Fund* (WWF) mengklaim bahwa manusia mengonsumsi hingga 5 g plastik (satu kartu kredit) setiap minggu (~ 700 mg/kapita/hari) dari sebagian media asupan kita (Hanif., 2019).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan frekuensi pajanan terhadap mikroplastik (*Polyethylene Terephalate*) di Kelurahan Tamangapa Kota Makassar adalah 350 hari/tahun (pajanan pada permukiman. Semakin besar frekuensi pajanan semakin besar tingkat risiko akibat pajanan mikroplastik. Jika seluruh responden dengan frekuensi pajanan 350 hari, artinya seluruh responden memiliki kemungkinan besar dengan nilai *intake* (I) cukup tinggi (Hartmann *et al.*, 2019). Semakin sering dan lamanya individu berada pada lingkungan yang tercemar atau berpolusi maka akan semakin besar pula jumlah agen risiko yang masuk ke dalam tubuh dan risiko untuk terjadi efek gangguan kesehatan semakin besar (Hidayaturrahman dan Lee., 2019).

Risiko munculnya gangguan kesehatan akibat toksisitas mikroplastik (*Polyethylene Terephalate*) selain dipengaruhi durasi pajanan atau lama responden menetap di lokasi penelitian, jumlah konsentrasi mikroplastik (*Polyethylene Terephalate*) pada air minum isi ulang, laju asupan, frekuensi dan waktu pajanan yang tinggi akan berpengaruh pada tingkat risiko kesehatan.

Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa nilai asupan *Intake* sangat variatif. Penelitian menghitung nilai *Intake* (I) durasi pajanan, sehingga untuk menghitung nilai *intake* masing-masing individu digunakan durasi pajanan (Dt) pajanan realtime 5-30 tahun untuk menghitung efek non karsinogenik, lalu dihitung berdasarkan rumus. Rata-rata perhitungan nilai *intake* (I) non karsinogenik bisa lebih tinggi, hal ini dikarenakan terdapat perbedaan kecepatan metabolisme oleh zat kimia yang masuk ke dalam tubuh berdasarkan perbedaan berat badan (Horton *et al.*, 2017). Besarnya nilai laju asupan berbanding lurus dengan nilai konsentrasi agen risiko, frekuensi pajanan dan durasi pajanan, sehinggah semakin besar nilai variabel tersebut maka semakin besar nilai asupan pajanan seseorang (Ivanova *et al.*, 2021).

Hasil penelitian menunjukkan proyeksi *Risk Quotient* (RQ) durasi pajanan 5-30 tahun di Kelurahan Tamangapa Kecamatan Manggala Kota Makassar selalu mengalami peningkatan, diperoleh nilai mean RQ yaitu 10.0786 - 60.4714, dari hasil perhitungan *Risk Quotient* (RQ) mikroplastik (*Polyethylene Terephthalate*) melebihi *reference of dose* (RfD). Hal itu berarti tingkat risiko tidak dapat di terima atau tidak aman dan dinyatakan dengan (RQ) >1 (risiko perlu dikendalikan agar nilai(RQ) <1. Rata-rata perhitungan *Risk Quotient* (RQ) non karsinogenik lebih tinggi dikarenakan terdapat perbedaan berat badan responden, laju asupan dan nilai RQ lifetime pajanan mikroplastik (*Polyethylene Terephthalate*).

Besarnya risiko yang dinyatakan dalam angka tanpa satuan yang merupakan perhitungan perbandingan antara intake dengan dosis / konsentrasi referensi dari suatu agen risiko non karsinogenik serta dapat juga diinterpretasikan sebagai aman/tidak amannya suatu agen risiko terhadap organisme, sistem, atau sub/populasi (Jahan dan Strezov., 2018).

Mikroplastik jika terakumulasi didalam tubuh dapat memberikan dampak negatif seperti peradangan pada organ, cedera internal dan/ atau eksternal, transformasi kandungan kimia plastik kedalam tubuh, gangguan mikroba usus yang menyebabkan penyumbatan saluran usus sehingga mengakibatkan sensasi kenyang semu, stres fisiologis, perubahan pola makan, penghambatan pertumbuhan, dan penurunan kesuburan (Jambeck et al., 2015; Kurniawan et al., 2022).

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya berfokus pada mikroplastik jenis PET dan dampaknya yang terdeteksi melalui feses, tanpa mengeksplorasi lebih jauh manifestasi klinis lainnya. Oleh karena itu, studi lanjutan disarankan untuk mengkaji hubungan kausal antara paparan mikroplastik PET pada air minum isi ulang dengan dampak kesehatan jangka panjang, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia. Riset selanjutnya juga perlu menyoroti bioakumulasi, analisis toksikologis, serta pengembangan metode deteksi yang lebih sensitif. Kolaborasi lintas sektor antara akademisi, pemerintah, dan industri sangat penting dalam membangun kebijakan pengendalian mikroplastik pada sistem perairan dan rantai pasok air minum.

SIMPULAN DAN SARAN

Mikroplastik kini teridentifikasi secara luas di berbagai kompartemen lingkungan, termasuk laut, limbah, air bersih, udara, makanan, serta sumber air minum, bahkan pada air minum isi ulang. Salah satu jenis yang paling dominan adalah *polyethylene terephthalate* (PET), yang banyak digunakan pada kemasan pangan dan minuman. Partikel PET berukuran $\pm 50 \mu\text{m}$ berpotensi masuk ke organ seperti hati dan limpa melalui sistem limfatik, sehingga dapat memicu peradangan dan mengganggu respons imun. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *risk quotient* (RQ) pajanan mikroplastik PET pada air minum isi ulang di Tamangapa, Kota Makassar mencapai $RQ > 1$, yang dikategorikan sebagai risiko kesehatan. Sebagian besar masyarakat di wilayah ini mengandalkan air minum isi ulang sebagai sumber utama air konsumsi sehari-hari karena keterbatasan akses terhadap air perpipaan. Kondisi lingkungan yang dipengaruhi oleh peningkatan aktivitas urban, penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari, serta sistem pengelolaan limbah yang belum optimal berpotensi menyebabkan kontaminasi mikroplastik, khususnya jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET), ke dalam sumber air dan produk air minum isi ulang.

Upaya mitigasi risiko dapat dilakukan melalui tiga pendekatan: menurunkan konsentrasi agen risiko, mengurangi laju konsumsi (*intake rate*), atau membatasi lama pajanan. Secara praktis, penggunaan wadah air minum yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), terutama galon berbahan aman dan tahan pakai, menjadi langkah strategis untuk mengurangi kontaminasi mikroplastik. Pemeliharaan rutin, termasuk pembersihan dispenser dan penggantian galon yang rusak, juga krusial dalam meminimalisasi pelepasan mikroplastik. Di tingkat makro, strategi lain mencakup pengurangan produksi plastik sekali pakai, larangan bertahap penggunaan kantong plastik, serta pembatasan pemakaian mikroplastik dalam produk konsumen.

Acknowledgement

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM), Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan

Teknologi (Kemenristekdikti) melalui Basis Informasi Manajemen Penelitian (BIMA) atas dukungan pendanaan melalui Program Dana Hibah Penelitian Tahun 2025. Dukungan ini sangat berperan penting dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan laporan akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Faujiah, I. N., & Wahyuni, I. R. (2022). Kelimpahan dan karakteristik mikroplastik pada air minum serta potensi dampaknya terhadap kesehatan manusia. In *Gunung Djati Conference Series* (Vol. 7, pp. 89-95). <http://conferences.uinsgd.ac.id/index.php/gdcs/article/view/609>
- Supriyo, E., & Noviana, S. N. (2023). Kandungan Mikroplastik Pada Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang Beredar di Semarang, Jawa Tengah. *METANA*, 19(2), 69-78. <https://doi.org/10.14710/metana.v19i2.58548>
- Brancaleone, E., Mattei, D., Fuscoletti, V., Lucentini, L., Favero, G., Cecchini, G., ... & Lazzazzara, M. (2024). Microplastic in drinking water: a pilot study. *Microplastics*, 3(1), 31-45. <https://doi.org/10.3390/microplastics3010003>
- Sari, G. L., Utami, M. R., Kasasiah, A., Rohmana, A. S., Amethysia, N. R., Cahyaningrum, P., ... & Kurniawan, S. B. (2021). Investigation of Microplastics in Raw and Processed Water for Unbranded Refilled Drinking Water in Karawang, Indonesia. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5071763
- Supit, A., Tompodung, L., & Kumaat, S. (2022). Mikroplastik sebagai Kontaminan Anyar dan Efek Toksiknya terhadap Kesehatan Microplastic as an Emerging Contaminant and its Toxic Effects on Health. *Jurnal Kesehatan*, 13(1), 199-208. <https://ejurnal.poltekkes-tjk.ac.id/index.php/JK>
- VENECIA, J. A. (2023). Deteksi mikroplastik pada air minum dalam kemasan dari depot isi ulang di Kecamatan Pedurungan Semarang. <https://repository.unika.ac.id/31318/>
- Wiguna, M. B. A. (2023). *Analisis Kontaminasi Mikroplastik Pada Air Minum Dalam Kemasan Dengan Polimer Pet* (Doctoral dissertation, Universitas BATANGHARI Jambi). <https://repository.unbari.ac.id/id/eprint/2734>
- Apriliani, S. D., Sari, G. L., & Amanah, N. (2025). Studi Literatur: Efektivitas Penyisihan Kelimpahan Mikroplastik Menggunakan Teknologi Filter Pasir dan Membran Reverse Osmosis pada Pengolahan Air Minum. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 13(2), 119-125. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v13i2.94199>
- Shruti, V. C., Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., & Elizalde-Martínez, I. (2022). Free, but not microplastic-free, drinking water from outdoor refill kiosks: A challenge and a wake-up call for urban management. *Environmental Pollution*, 309, 119800. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119800>
- Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., Elizalde-Martínez, I., Kutralam-Muniasamy, G., & Shruti, V. C. (2022). Human exposure to microplastics from urban decentralized pay-to-fetch drinking-water refill kiosks. *Science of The Total Environment*, 848, 157722. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157722>
- Hadeed, M. D. M., & Al-Ahmady, K. K. (2022). The effect of different storage conditions for refilled plastic drink bottles on the concentration of microplastic release in water. *J. Res. Appl. Sci. Biotechnol*, 1, 71-77. <https://doi.org/10.55544/jrasb.1.4.9>
- Acarer, S. (2023). Abundance and characteristics of microplastics in drinking water treatment plants, distribution systems, water from refill kiosks, tap waters and bottled waters. *Science of the Total Environment*, 884, 163866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163866>
- Kasim, S., Daud, A., Birawida, A. B., Mallongi, A., Arundhana, A. I., Rasul, A., & Hatta, M. (2023). Analysis of environmental health risks from exposure to polyethylene terephthalate microplastics in refilled drinking. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9, 301-318. DOI:10.22034/GJESM.2023.09.SI.17
- Sakinah, F., Indrasari, W., & Umiatin, U. (2022). Pengukuran Kualitas Air Tercemar Limbah Mikroplastik Berdasarkan Parameter Fisika. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 10). <https://doi.org/10.21009/03.SNF2022.01.FA.12>

- Mustikasari, D. A. (2021). Perlindungan Hukum Bagi Konsumen Produk Air Minum Dalam Kemasan Dari Kandungan Mikroplastik. *Universitas Muhammadiyah Jember*, 31-1. <https://repository.unmuhjember.ac.id/11875/2/b.%20Abstrak.pdf>
- Siregar, T. A. P., & Santi, D. N. (2025). Analisis kualitas fisik dan keberadaan mikroplastik pada air minum isi ulang di Kecamatan Medan Selayang tahun 2023. *TROPHICO: Tropical Public Health J.*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.32734/trophico.v5i1.16036>
- Christanto, M. A. (2023). *Deteksi Mikroplastik pada Air Minum Dari Depot Isi Ulang di Kecamatan Semarang Tengah* (Doctoral dissertation, Universitas Katholik Soegijapranata Semarang). https://repository.unika.ac.id/31332/?_cf_chl_rt_tk=0QTKqxDI8Sp0bvBsdCvK2dNsREa.O1Xh2oT7JvvNdy0-1758525484-1.0.1.1-Uw6I2qA_6RGiTs1CgDERfKCDSVUHglJy0z.bBqePVJ0
- la Cecilia, D., Philipp, M., Kaegi, R., Schirmer, M., & Moeck, C. (2024). Microplastics attenuation from surface water to drinking water: impact of treatment and managed aquifer recharge—and identification uncertainties. *Science of the Total Environment*, 908, 168378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168378>
- Yan, M., Yang, J., Sun, H., Liu, C., & Wang, L. (2022). Occurrence and distribution of microplastics in sediments of a man-made lake receiving reclaimed water. *Science of the Total Environment*, 813, 152430. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152430>
- New, W. X., Kristanti, R. A., Manik, H., Wijayanti, Y., & Adeyemi, D. A. (2023). Occurrence of microplastics in drinking water in South east Asia: a short review. *Tropical Environment, Biology, and Technology*, 1(1), 14-24. <https://doi.org/10.53623/tebt.v1i1.221>
- Luqman, A., Nugrahapraja, H., Wahyuono, R. A., Islami, I., Haekal, M. H., Fardiansyah, Y., ... & Wibowo, A. T. (2021). Microplastic contamination in human stools, foods, and drinking water associated with the Indonesian coastal population. *Environments*, 8(12), 138. <https://doi.org/10.3390/environments8120138>
- Giese, A., Kerpen, J., Weber, F., & Prediger, J. (2021). A preliminary study of microplastic abrasion from the screw cap system of reusable plastic bottles by Raman microspectroscopy. *ACS ES&T Water*, 1(6), 1363-1368.
- Sun, X., Zhu, Y., An, L., Liu, Y., Zhuang, Y., Wang, Y., ... & Xu, Q. (2024). Microplastic transportation in a typical drinking water supply: from raw water to household water. *Water*, 16(11), 1567. <https://doi.org/10.3390/w16111567>
- Agbasi, J. C., Egbueri, J. C., Pande, C. B., Khan, M. Y. A., Ighalo, J. O., Uwajingba, H. C., & Abba, S. I. (2025). Review of the potential effects and remediation strategies of microplastic pollutants in drinking water sources. *Analytical Letters*, 58(5), 799-839. <https://doi.org/10.1080/00032719.2024.2343366>
- Álvarez-Fernández, C., Matikainen, E., McGuigan, K. G., Andrade, J. M., & Marugán, J. (2024). Evaluation of microplastics release from solar water disinfection poly (ethylene terephthalate) and polypropylene containers. *Journal of Hazardous Materials*, 465, 133179. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133179>
- Shruti, V. C., Muniasamy, G. K., Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., & Elizalde-Martínez, I. (2024). Corrigendum: “Free, but not microplastic-free, drinking water from outdoor refill kiosks: A challenge and a wake-up call for urban management” [Environ. Pollut. 309 (2022) 119800]. *Environmental Pollution*, 359, 124699. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124699>
- Abdulmalik, A. & Mansurat, G. (2019). *Presence and characterization of microplastics in drinking (tap/bottled) water and soft drinks* [Master's thesis]. University of North Dakota.
- McCormick, A., Hoellein, T. J., Mason, S. A., Schluep, J. & Kelly, J. J. (2014). Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environmental Science & Technology*, 48(20), 11863–11871. <https://doi.org/10.1021/es503610r>
- Amobonye, A., Bhagwat, P., Singh, S. & Pillai, S. (2021). Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes. *Science of The Total Environment*, 759, 143536. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.143536>
- Amrutha, K. & Warriar, A. K. (2020). The first report on the source-to-sink characterization of microplastic pollution from a riverine environment in tropical India. *Science of The Total Environment*, 739, 140377. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140377>

- Ayuningtyas, W. C. (2019). Kelimpahan mikroplastik pada perairan di Banyu Urip, Gresik, Jawa Timur. *Journal of Fish and Marine Research*, 3(1), 41–45. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2019.003.01.5>
- A'yun, N. Q. (2019). *Analisis mikroplastik menggunakan FT-IR pada air, sedimen, dan ikan belanak (Mugil cephalus) di Sungai Bengawan Solo yang melintasi Kabupaten Gresik* [Undergraduate thesis]. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V. & Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>
- Chaudhari, S. & Samnani, P. (2022). Determination of microplastics in pond water. *Materials Today: Proceedings*, 77(3), 1000–1005. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.141>
- Chen, G., Fu, Z., Yang, H. & Wang, J. (2020). An overview of analytical methods for detecting microplastics in the atmosphere. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 130, 115981. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115981>
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U. & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>
- Corami, F., Rosso, B., Bravo, B., Gambaro, A. & Barbante, C. (2020). Development and optimization of different extraction techniques for the analysis of microplastics in estuarine and coastal sediments. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412, 3665–3675. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02669-0>
- Crawford, C. B. & Quinn, B. (2017). Microplastic pollutants. In *Microplastic Pollutants* (pp. 1–17). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00001-9>
- Efome, J. E., Rana, D., Matsuura, T. & Lan, C. Q. (2018). Experimental determination of the effectiveness of electrospun nanofiber membranes for microplastic removal from drinking water. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 4(12), 2070–2079. <https://doi.org/10.1039/C8EW00623J>
- Ekanayake, D. I., Pathiratne, A. & Vithanage, M. (2020). A study of microplastics in municipal solid waste in Sri Lanka. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100356>
- Eslami, A., Mortazavi, S. M., Zare, F. & Salavati, H. (2021). A review on microplastics: Properties, detection, and applications. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100547>
- European Chemicals Agency. (2019). *Annex XV Restriction Report: Proposal for a restriction*. Available at: <https://echa.europa.eu/documents/10162/3e7f0e95-189d-72b7-79ed-f347d4bcaec1>
- Fackelmann, G. & Sommer, S. (2019). Microplastics and the gut microbiome: How chronically exposed species may suffer from gut dysbiosis. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.030>
- GESAMP. (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment*. GESAMP Reports and Studies No. 90. Available at: <http://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment>
- Guo, X. & Wang, J. (2019). The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.019>
- Hanif, R. (2019). Mikroplastik sebagai emerging pollutant dalam sistem akuifer dan implikasinya terhadap kualitas air tanah. *Jurnal Geologi Lingkungan*, 20(2), 123–134. <https://doi.org/10.5614/j.geologi.lingkungan.2019.20.2.2>
- Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Dugaard, A. E. et al. (2019). Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environmental Science & Technology*, 53(3), 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
- Hidayaturrehman, H. & Lee, T. H. (2019). A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 696–702. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.071>

- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E. & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of The Total Environment*, 586, 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- Ivanova, V., Stojanovic, D., Arsic, M., Pavlovic, S., Rajilic-Stojanovic, M., Radulovic, M. et al. (2021). Microplastic and nanoplastic pollution: The environmental and health hazard. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 72(3), 190–199. <https://doi.org/10.2478/aiht-2021-72-3532>
- Jahan, S. & Strezov, V. (2018). An assessment of advances in analytical tools for determining microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.010>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A. et al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kurniawan, S. B., Lo, W., Tran, N. H., Othman, M. H. D. & Sher, F. (2022). Removal of microplastics from water and wastewater by membrane technology: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 429, 128291. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128291>