

Analisis Faktor Risiko Cemaran Mikroba pada Depot Air Minum Isi Ulang di Kota Makassar

Khiki Purnawati Kasim*, Haerani, Budirman, Stientje

Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Makassar

*Corresponding author: khikinawing@poltekkes-mks.ac.id

Info Artikel: Diterima bulan Oktober 2025 ; Disetujui bulan Nopember 2025 ; Publikasi bulan Desember 2025

ABSTRACT

Refillable drinking water depots (DAMIUs) are widely used in Makassar due to their affordability and convenience. However, their microbiological safety is often questionable, particularly due to contamination with *Escherichia coli* (*E. coli*)—a fecal indicator associated with waterborne gastrointestinal diseases. This study aimed to assess the health risk from consuming water from *E. coli*-positive DAMIUs using a Microbial Risk Assessment (MRA) approach. A case study was conducted on seven DAMIUs identified as *E. coli*-positive across three subdistrict health centers in Makassar City. Data were analyzed using descriptive methods and quantitative MRA, without inferential statistics. *E. coli* concentrations ranged from 4 to 30 CFU/100 ml. The resulting Probability of Illness (Pill) ranged from 2.8×10^{-1} to 3.5×10^{-1} , substantially exceeding the WHO health-based threshold of 10^{-4} , indicating a high risk of waterborne illness such as diarrhea. All sampled DAMIUs failed to comply with Indonesia's Ministry of Health Regulation No. 2/2023, which requires zero *E. coli* in drinking water. Poor hygiene-sanitation conditions, suboptimal water treatment processes, and unhygienic operator practices—identified through field observation—were recognized as key contamination sources. These findings highlight the urgent need for enhanced regulatory supervision, operator training, and risk-based certification to protect public health.

Keywords: Microbial contamination; risk factors; DAMIU; Microbial Risk Assessment; *Escherichia coli*

ABSTRAK

Air minum isi ulang (AMIU) telah menjadi pilihan utama masyarakat perkotaan di Makassar karena praktis dan terjangkau. Namun, kualitas mikrobiologisnya kerap dipertanyakan akibat kontaminasi *Escherichia coli* (*E. coli*), indikator pencemaran fekal yang berpotensi menimbulkan penyakit gastrointestinal. Penelitian ini bertujuan menganalisis risiko kesehatan akibat konsumsi air dari DAMIU yang terkontaminasi *E. coli* menggunakan pendekatan Microbial Risk Assessment (MRA). Studi kasus dilakukan pada 7 DAMIU yang teridentifikasi positif *E. coli* di tiga wilayah kerja Puskesmas di Kota Makassar. Analisis data dilakukan secara deskriptif dan kuantitatif berbasis MRA, tanpa uji statistik inferensial. Hasil menunjukkan konsentrasi *E. coli* berkisar 4–30 CFU/100 ml. Nilai Probability of Illness (Pill) berkisar antara $2,8 \times 10^{-1}$ hingga $3,5 \times 10^{-1}$, jauh melebihi ambang batas aman WHO (10^{-4}), sehingga termasuk kategori risiko tinggi terhadap penyakit berbasis air seperti diare. Seluruh DAMIU tidak memenuhi standar mikrobiologis Permenkes No. 2 Tahun 2023 (*E. coli* = 0 CFU/100 ml). Faktor higiene-sanitasi, metode pengolahan air, dan perilaku operator yang buruk teridentifikasi melalui observasi lapangan sebagai penyebab potensial kontaminasi. Temuan ini menegaskan perlunya penguatan pengawasan, pelatihan operator, dan sertifikasi berbasis risiko untuk menurunkan risiko kesehatan masyarakat.

Kata kunci: Kontaminasi mikroba; faktor risiko; DAMIU; Microbial Risk Assessment; *Escherichia coli*

PENDAHULUAN

Air minum isi ulang (AMIU) telah menjadi sumber utama air konsumsi bagi sebagian besar masyarakat perkotaan di Indonesia, termasuk di Kota Makassar. Keterjangkauan harga dan kemudahan akses menjadikan depot air minum isi ulang (DAMIU) pilihan praktis dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari. Namun, kualitas mikrobiologis AMIU seringkali dipertanyakan, terutama terkait kontaminasi *Escherichia coli*—indikator utama pencemaran fekal yang berpotensi menyebabkan penyakit gastrointestinal seperti diare dan gastroenteritis.

Studi terdahulu di Makassar melaporkan bahwa sekitar 45% DAMIU terkontaminasi *E. coli* (Puspitasari et al., 2020), sementara survei nasional menunjukkan lebih dari separuh depot di Indonesia gagal memenuhi standar mikrobiologis (Pakpahan et al., 2015). Perlu dicatat bahwa menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023, air minum yang layak konsumsi harus bebas dari *E. coli*, yaitu 0 CFU/100 ml tanpa toleransi. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Ainun et al. (2022) di wilayah Antang Kota Makassar, yang mengaitkan kontaminasi dengan kondisi higiene-sanitasi yang

buruk dan praktik pengolahan air yang tidak optimal. Meski demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya bersifat deskriptif dan belum mengintegrasikan pendekatan kuantitatif untuk memperkirakan risiko kesehatan secara eksplisit.

Padahal, untuk mendukung kebijakan pengawasan yang berbasis bukti, diperlukan estimasi kuantitatif mengenai seberapa besar risiko kesehatan yang dihadapi konsumen. Pendekatan Microbial Risk Assessment (MRA) memungkinkan perhitungan Probability of Illness (Pill) yang dapat dibandingkan langsung dengan ambang batas risiko aman WHO (10^{-4}). Sayangnya, penerapan MRA dalam konteks DAMIU di Indonesia masih sangat terbatas.

Penelitian ini hadir untuk menjawab celah tersebut. Dengan mengambil sampel 7 DAMIU yang diketahui positif *E. coli* dari tiga wilayah kerja puskesmas di Makassar, kami menggabungkan observasi lapangan terhadap faktor higiene-sanitasi dengan analisis risiko kuantitatif berbasis MRA. Tujuannya bukan hanya mengidentifikasi faktor risiko, tetapi mengkuantifikasi risiko kesehatan akibat konsumsi air terkontaminasi. Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: “Bagaimana tingkat risiko kesehatan (Probability of Illness) dan faktor higiene-sanitasi apa yang terkait dengan kontaminasi *Escherichia coli* pada depot air minum isi ulang di tiga wilayah kerja puskesmas di Kota Makassar?”

MATERI DAN METODE

Desain dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain studi kasus (case study) pada 7 depot air minum isi ulang (DAMIU) yang teridentifikasi positif *Escherichia coli* berdasarkan data pemeriksaan rutin dari Dinas Kesehatan Kota Makassar periode 2023–2024. Ketujuh DAMIU tersebar di tiga wilayah kerja puskesmas: Sudiang, Tamalanrea Jaya, dan Tamangapa dipilih karena secara konsisten melaporkan kasus kontaminasi *E. coli* selama dua tahun terakhir.

Pemilihan sampel dilakukan secara purposif (purposive sampling) berdasarkan ketersediaan data dan status positif *E. coli*. Oleh karena hanya DAMIU yang tercemar yang dimasukkan, penelitian ini tidak dimaksudkan untuk mengestimasi prevalensi atau menguji asosiasi statistik, melainkan untuk menggambarkan kondisi higiene-sanitasi dan mengkuantifikasi risiko kesehatan pada kasus kontaminasi yang telah terjadi.

Pengumpulan Data

Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan terhadap empat kriteria sanitasi: lokasi, bangunan, fasilitas, operator, dan peralatan, menggunakan instrumen inspeksi kesehatan lingkungan sesuai pedoman Dinas Kesehatan. Data sekunder berupa konsentrasi *E. coli* (CFU/100 ml) diperoleh dari hasil uji laboratorium Dinas Kesehatan Kota Makassar. Data sekunder berupa konsentrasi *E. coli* (CFU/100 ml) diperoleh dari hasil uji laboratorium Dinas Kesehatan Kota Makassar menggunakan metode filtrasi membran sesuai standar nasional (SNI 01-2897-1992 atau Permenkes terkait).

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan dua pendekatan. Pertama, analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan proporsi DAMIU yang tidak memenuhi syarat berdasarkan kriteria higiene-sanitasi, meliputi lokasi, bangunan, fasilitas, peralatan, dan perilaku operator. Kedua, dilakukan Microbial Risk Assessment (MRA) untuk mengestimasi risiko kesehatan akibat konsumsi air yang terkontaminasi *Escherichia coli*. Perhitungan MRA mengacu pada panduan WHO (2022) dan menggunakan model dosis-respons eksponensial untuk *E. coli*. Parameter yang digunakan meliputi: konsentrasi *E. coli* (berdasarkan data Dinas Kesehatan, 4–30 CFU/100 ml), volume konsumsi harian sebesar 1,5 liter/orang/hari (sesuai asumsi kebutuhan rata-rata orang dewasa di Indonesia menurut Kemenkes, 2020), dan parameter dosis-respons sebesar $5,6 \times 10^{-8}$, yang merupakan nilai konservatif untuk *E. coli* patogen (diadaptasi dari Haas et al., 1999 dan WHO, 2022).

Probabilitas infeksi tahunan dihitung berdasarkan eksposur harian selama 365 hari, dan Probability of Illness (Pill) diturunkan dengan asumsi bahwa 50% infeksi berkembang menjadi penyakit klinis (Herwin et al., 2022). Nilai Pill kemudian dibandingkan dengan ambang batas risiko aman WHO (10^{-4}) untuk menentukan kategori risiko. Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini tidak menggunakan uji statistik inferensial (seperti Chi-Square), sehingga temuan bersifat deskriptif dan kuantitatif untuk menggambarkan serta mengkuantifikasi risiko pada DAMIU yang telah diketahui positif *E. coli*.

HASIL

Penelitian ini dilakukan pada 7 depot air minum isi ulang (DAMIU) yang tersebar di tiga wilayah kerja puskesmas di Kota Makassar: Sudiang, Tamalanrea Jaya, dan Tamangapa. Ketujuh DAMIU dipilih karena teridentifikasi positif *Escherichia coli* berdasarkan data pemeriksaan rutin Dinas Kesehatan Kota Makassar periode 2023–2024. Hasil pengamatan dan perhitungan MRA kami sajikan pada tabel berikut:

Tabel 1 Distribusi Kandungan *Escherichia Coli* pada Kualitas Air Minum Isi Ulang di Kota Makassar

Sampel	CFU/100 ml sampel	Jenis Bakteri
DAMIU 1	30	<i>Escherichia coli</i>
DAMIU 2	28	<i>Escherichia coli</i>
DAMIU 3	20	<i>Escherichia coli</i>
DAMIU 4	15	<i>Escherichia coli</i>
DAMIU 5	9	<i>Escherichia coli</i>
DAMIU 6	7	<i>Escherichia coli</i>
DAMIU 7	4	<i>Escherichia coli</i>

Hasil uji laboratorium menunjukkan konsentrasi *E. coli* pada ketujuh DAMIU berkisar antara 4 hingga 30 CFU/100 ml (Tabel 1). Seluruh DAMIU tidak memenuhi standar mikrobiologis Permenkes No. 2 Tahun 2023, yang mensyaratkan *E. coli* = 0 CFU/100 ml.

Tabel 2 Distribusi Probabilitas Infeksi Perhari (Pinf/hari) Bakteri *Escherichia coli* pada Air Minum Isi Ulang di Kota Makassar

Sampel	d/C	V	e	Pinf/hari
DAMIU 1	30	1500	45000	$7,40 \times 10^{-1}$
DAMIU 2	28	1500	42000	$7,14 \times 10^{-1}$
DAMIU 3	20	1500	30000	$5,79 \times 10^{-1}$
DAMIU 4	15	1500	22500	$4,68 \times 10^{-1}$
DAMIU 5	9	1500	13500	$3,01 \times 10^{-1}$
DAMIU 6	7	1500	10500	$2,38 \times 10^{-1}$
DAMIU 7	4	1500	6000	$1,35 \times 10^{-1}$

Tabel 2. Berdasarkan perhitungan Microbial Risk Assessment (MRA), probabilitas infeksi harian (Pinf/hari) berkisar antara $1,35 \times 10^{-1}$ (DAM IU 7) hingga $7,40 \times 10^{-1}$ (DAM IU 1). Nilai ini mencerminkan kemungkinan seseorang tertular *E. coli* dari konsumsi air DAMIU dalam satu hari, dengan asumsi konsumsi 1.500 ml/hari dan parameter dosis-respons $r = 5,6 \times 10^{-8}$. Semakin tinggi konsentrasi *E. coli*, semakin besar pula risiko infeksi harian.

Tabel 3 Distribusi Probabilitas Infeksi Tahunan (Pinf.annual) serta Probability of Illness (Pill) Bakteri *Escherichia Coli* Akibat Mengonsumsi Air Minum Isi Ulang di Kota Makassar

Sampel	C	V	Pinf/hari	Pinf.annual	Pill
DAMIU 1	30	1500	$7,40 \times 10^{-1}$	1	$3,5 \times 10^{-1}$
DAMIU 2	28	1500	$7,14 \times 10^{-1}$	1	$3,5 \times 10^{-1}$
DAMIU 3	20	1500	$5,79 \times 10^{-1}$	1	$3,5 \times 10^{-1}$
DAMIU 4	15	1500	$4,68 \times 10^{-1}$	1	$3,4 \times 10^{-1}$
DAMIU 5	9	1500	$3,01 \times 10^{-1}$	1	$3,4 \times 10^{-1}$
DAMIU 6	7	1500	$2,38 \times 10^{-1}$	1	$3,3 \times 10^{-1}$
DAMIU 7	4	1500	$1,35 \times 10^{-1}$	1	$2,8 \times 10^{-1}$

Tabel 3 Probabilitas infeksi tahunan (Pinf.annual) dihitung berdasarkan eksposur harian selama 365 hari. Meskipun secara matematis $Pinf.annual = 1 - (1 - Pinf/hari)^{365}$, nilai-nilai tersebut sangat mendekati 1 untuk seluruh DAMIU (sehingga dalam penyajian dinyatakan sebagai 1). Selanjutnya,

Probability of Illness (Pill)—yaitu probabilitas seseorang mengalami penyakit klinis—dihitung dengan asumsi 50% infeksi berkembang menjadi penyakit. Nilai Pill berkisar antara $2,8 \times 10^{-1}$ (DAM IU 7) hingga $3,5 \times 10^{-1}$ (DAM IU 1–3). Angka ini setara dengan 28%–35% risiko tahunan mengalami penyakit seperti diare, jauh melebihi ambang batas aman WHO (10^{-4}).

Tabel 4 Distribusi Karakterisasi Risiko Bakteri Escherichia coli Akibat Mengonsumsi Air Minum Isi Ulang di Kota Makassar

Sampel	Pill	Jenis Bakteri
DAMIU 1	$3,5 \times 10^{-1}$	Risiko Tinggi
DAMIU 2	$3,5 \times 10^{-1}$	Risiko Tinggi
DAMIU 3	$3,5 \times 10^{-1}$	Risiko Tinggi
DAMIU 4	$3,4 \times 10^{-1}$	Risiko Tinggi
DAMIU 5	$3,4 \times 10^{-1}$	Risiko Tinggi
DAMIU 6	$3,3 \times 10^{-1}$	Risiko Tinggi
DAMIU 7	$2,8 \times 10^{-1}$	Risiko Tinggi

Tabel 4 menunjukkan seluruh DAMIU dikategorikan sebagai risiko tinggi terhadap kesehatan masyarakat, karena nilai Pill-nya melebihi 10^{-4} . Tidak ada DAMIU yang berada dalam kategori risiko rendah atau dapat diterima. Temuan ini mengindikasikan bahwa konsumsi rutin air dari DAMIU yang diteliti memiliki potensi signifikan menimbulkan penyakit berbasis air, terutama pada kelompok rentan (anak-anak, lansia, dan imunokompromais).

Tabel 5 Karakteristik Operator Depot Air Minum Isi Ulang di Kota Makassar

Sampel	Jenis Kelamin	Umur (Tahun)	Pendidikan
DAMIU 1	Laki-laki	54	SMA/Sederajat
DAMIU 2	Laki-laki	68	SD
DAMIU 3	Laki-laki	36	SMA/Sederajat
DAMIU 4	Laki-laki	50	SMA/Sederajat
DAMIU 5	Laki-laki	45	SMA/Sederajat
DAMIU 6	Laki-laki	30	SMA/Sederajat
DAMIU 7	Laki-laki	18	SMA/Sederajat

Tabel 5 menunjukkan bahwa semua operator berjenis kelamin laki-laki, dengan usia berkisar 18–68 tahun. Sebagian besar (6 dari 7) memiliki pendidikan formal SMA/ sederajat, sementara satu orang berpendidikan SD. Tidak ada operator yang memiliki pelatihan resmi terkait higiene-sanitasi depot air minum, yang berpotensi memengaruhi penerapan praktik kebersihan selama operasional.

Tabel 6 Distribusi Hasil Inspeksi Kesehatan Lingkungan DAMIU di Kota Makassar

Hasil Inspeksi							Keterangan
Kriteria Penilaian	Memenuhi Syarat		Tidak Memenuhi Syarat		Total		
	n	%	n	%	n	%	
Lokasi	4	57,14	3	42,86	7	100	
Bangunan	0	0	7	100	7	100	
Fasilitas	0	0	7	100	7	100	
Operator	4	57,14	3	42,86	7	100	
Peralatan	0	0	7	100	7	100	

Tabel 6 Hasil inspeksi menunjukkan pola ketidaksesuaian yang konsisten Bangunan, fasilitas, dan peralatan: 100% tidak memenuhi syarat (7 dari 7 DAMIU). Kondisi umum meliputi lantai lembap,

dinding kotor, alat pengisian tidak tertutup, dan tidak adanya saluran pembuangan tertutup. Lokasi dan operator: 4 DAMIU (57,14%) memenuhi syarat, sedangkan 3 DAMIU (42,86%) tidak memenuhi syarat. Faktor ketidaksesuaian meliputi lokasi berdekatan dengan sumber pencemar (selokan, tempat sampah) dan operator yang tidak mencuci tangan, tidak memakai sarung tangan, atau tidak mengenakan pakaian kerja bersih.

PEMBAHASAN

Peningkatan kebutuhan air minum seiring pertumbuhan penduduk di perkotaan menciptakan tantangan serius terhadap kualitas dan keamanan air yang dikonsumsi masyarakat. Depot air minum isi ulang (DAMIU), sebagai salah satu sumber utama penyedia air minum di Kota Makassar, berpotensi menjadi media penularan mikroorganisme patogen apabila proses pengolahan, penyimpanan, dan distribusinya tidak memenuhi standar higiene dan sanitasi. Cemaran mikroba seperti *Escherichia coli* sering dijadikan indikator kualitas mikrobiologis air karena menunjukkan adanya kontaminasi fekal yang dapat menimbulkan risiko terhadap kesehatan masyarakat.

Penelitian ini dilakukan pada tujuh DAMIU yang teridentifikasi positif *E. coli* berdasarkan data Dinas Kesehatan Kota Makassar periode 2023–2024, tersebar di tiga wilayah kerja puskesmas (Sudiang, Tamalanrea Jaya, dan Tamangapa). Dengan desain studi kasus, penelitian ini tidak bertujuan menguji hipotesis atau mengestimasi prevalensi, melainkan untuk menggambarkan kondisi higiene-sanitasi dan mengkuantifikasi risiko kesehatan pada kasus kontaminasi yang telah terjadi. Pendekatan utama yang digunakan adalah Microbial Risk Assessment (MRA), yang mencakup empat tahapan: identifikasi bahaya, penilaian paparan, analisis dosis-respons, dan karakterisasi risiko, guna memperkirakan kemungkinan dampak kesehatan masyarakat akibat konsumsi air terkontaminasi (Gitter et al., 2023).

Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan terhadap kondisi higiene-sanitasi dan wawancara dengan operator, sedangkan data sekunder berupa konsentrasi *E. coli* diperoleh dari hasil uji laboratorium Dinas Kesehatan Kota Makassar. Penelitian ini tidak menggunakan uji statistik inferensial seperti Chi-Square atau regresi, sehingga temuan faktor risiko bersifat deskriptif dan kontekstual, bukan prediktif. Analisis data dilakukan secara deskriptif dan kuantitatif berbasis MRA, sesuai dengan desain studi kasus yang digunakan.

Kontaminasi *E. coli* dan Risiko Kesehatan

Air minum isi ulang (AMIU) merupakan sumber utama air konsumsi masyarakat di Kota Makassar karena harganya terjangkau dan mudah diakses. Namun, hasil pemeriksaan Dinas Kesehatan menunjukkan masih terdapat DAMIU yang positif *Escherichia coli* (*E. coli*), menandakan adanya pencemaran fekal yang berpotensi menyebabkan penyakit saluran pencernaan seperti diare dan disentri (Puspitasari et al., 2020; Herwin et al., 2022).

Berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023, air minum yang layak konsumsi harus bebas dari cemaran *E. coli*. Ketujuh DAMIU dalam penelitian ini memiliki kadar *E. coli* antara 4–30 CFU/100 ml, sehingga tidak memenuhi standar mikrobiologis nasional. Hal ini sejalan dengan temuan Puspitasari et al. (2020) di Makassar yang melaporkan 45% depot positif *E. coli*, serta Herwin et al. (2022) yang menemukan keterkaitan antara kondisi sanitasi tempat dan keberadaan *E. coli*. Sumber kontaminasi dapat berasal dari sumber air baku yang tercemar, proses filtrasi dan desinfeksi yang tidak optimal, serta peralatan pengisian yang tidak bersih (Wulandari & Pristiyaningrum, 2025).

Perbandingan dengan wilayah lain menunjukkan variasi tingkat kontaminasi. Wulandari dan Pristiyaningrum (2025) di Jakarta Timur melaporkan 37,5% depot positif *E. coli*, sedangkan Syaputra et al. (2023) di Kabupaten Konawe mencatat hanya 28%. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh faktor geografis, kualitas sumber air, dan intensitas pengawasan kesehatan lingkungan. Sebagai kota besar dengan jumlah depot padat dan sumber air beragam, Makassar memiliki risiko kontaminasi lebih tinggi jika pengawasan tidak dilakukan secara rutin.

Secara kuantitatif, nilai Probability of Illness (Pill) berkisar antara $2,8 \times 10^{-1}$ hingga $3,5 \times 10^{-1}$, yang berarti konsumen memiliki 28–35% risiko tahunan mengalami penyakit seperti diare akibat konsumsi rutin air dari DAMIU tersebut. Angka ini jauh melebihi ambang batas aman WHO (10^{-4}), sehingga seluruh DAMIU termasuk dalam kategori risiko tinggi (Ainun et al., 2022; WHO, 2022). Hasil

ini memperkuat teori bahwa *Escherichia coli* adalah indikator utama pencemaran fekal dan parameter penting dalam evaluasi kualitas air minum (Herwin et al., 2022).

Temuan ini juga konsisten dengan Ainun et al. (2022) di wilayah kerja Puskesmas Antang, Kota Makassar, yang melaporkan nilai Pill sebesar $3,3 \times 10^{-1}$ dengan kategori risiko tinggi. Penelitian Wulandari dan Pristiyaningrum (2025) di Jakarta Timur juga menemukan nilai Pill antara $2,9 \times 10^{-1}$ hingga $3,1 \times 10^{-1}$ pada depot yang tidak mengganti filter dan lampu UV secara rutin. Sementara itu, Herwin et al. (2022) di beberapa kota besar di Indonesia menemukan bahwa 61% depot air minum isi ulang mengandung *E. coli* di atas ambang batas, yang berpotensi menimbulkan gangguan gastrointestinal.

Jika dibandingkan dengan studi internasional, hasil penelitian ini menunjukkan tingkat risiko yang jauh lebih tinggi. Teunis dan Havelaar (2020) di Belanda melaporkan nilai Pill rata-rata air minum terkontaminasi sebesar 10^{-3} hingga 10^{-4} , jauh di bawah hasil penelitian di Makassar. Perbedaan ini disebabkan oleh penerapan pengawasan kualitas air yang ketat, penggunaan desinfeksi ganda seperti ozonisasi dan UV, serta regulasi yang kuat terhadap penyedia air minum publik.

Faktor Higiene-Sanitasi dan Perilaku Operator

Hasil inspeksi menunjukkan bahwa 100% DAMIU tidak memenuhi syarat dalam kriteria bangunan, fasilitas, dan peralatan, sementara 42,86% tidak memenuhi syarat dalam kriteria lokasi dan operator. Kondisi umum meliputi lantai lembap, saluran terbuka, alat pengisian tidak tertutup, serta operator yang tidak mencuci tangan atau tidak menggunakan sarung tangan — faktor yang berpotensi menyebabkan re-kontaminasi setelah proses pengolahan.

Temuan ini sejalan dengan Purba et al. (2022) di Medan Belawan, yang melaporkan bahwa kondisi tempat yang tidak higienis berkaitan dengan keberadaan *E. coli* pada air isi ulang. Demikian pula, Librianti et al. (2023) di Depok melaporkan bahwa sanitasi peralatan dan higiene penjamah berpengaruh terhadap kadar bakteri Coliform. Di Bengkulu, Universitas Dehasen (2023) juga menemukan bahwa depot yang tidak melakukan perawatan filter dan sterilisasi alat secara berkala memiliki risiko kontaminasi mikroba lebih tinggi.

Beberapa DAMIU di Makassar diketahui tidak melakukan penggantian filter secara rutin dan menggunakan lampu ultraviolet (UV) dengan intensitas rendah, sehingga efektivitas desinfeksi menurun — kondisi yang konsisten dengan temuan Wulandari dan Pristiyaningrum (2025) serta Unived (2023). Faktor berikutnya adalah praktik penanganan oleh operator. Beberapa operator tidak mencuci tangan sebelum bekerja, tidak menggunakan sarung tangan, dan tidak menutup wadah air dengan benar setelah pengisian — temuan yang sesuai dengan Ainun et al. (2022), yang menjelaskan bahwa perilaku operator merupakan faktor dominan dalam penularan mikroba melalui air isi ulang.

Secara teoretis, penelitian ini memperkuat konsep hygiene-sanitation barrier yang menyatakan bahwa pengendalian kontaminasi mikroba harus dilakukan pada seluruh tahapan proses, mulai dari sumber air baku hingga distribusi (Herwin et al., 2022). Pola yang sama terlihat di berbagai daerah: perilaku manusia dan kebersihan peralatan masih menjadi titik lemah utama dalam sistem DAMIU, menunjukkan bahwa permasalahan ini bersifat nasional dan membutuhkan pendekatan terpadu.

Dari perspektif kesehatan lingkungan, nilai Pill yang tinggi memperkuat urgensi penerapan Risk-Based Water Safety Plan (WSP) sebagaimana direkomendasikan oleh WHO (2022). Pendekatan ini menekankan pentingnya identifikasi titik kritis risiko dari hulu ke hilir dan penerapan pengendalian berlapis untuk menjamin keamanan air minum. Secara praktis, hasil ini memberikan dasar bagi Dinas Kesehatan Kota Makassar untuk: Memperkuat inspeksi berbasis indikator Pill, Memberikan pelatihan operator dalam higiene pribadi dan pemeliharaan peralatan, Menerapkan sertifikasi berbasis risiko dengan prioritas pada DAMIU ber-Pill tinggi, Mendorong masyarakat memilih depot bersertifikat dan, bila perlu, merebus air sebelum dikonsumsi. Integrasi hasil ini ke dalam kebijakan kesehatan lingkungan akan mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG 6) menjamin ketersediaan air bersih dan sanitasi yang layak bagi semua.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, desain studi kasus pada DAMIU yang sudah tercemar membatasi kemampuan untuk menyimpulkan hubungan sebab-akibat antara faktor risiko dan kontaminasi — ini merupakan bias seleksi yang inheren dalam pendekatan ini. Kedua, jumlah sampel terbatas ($n = 7$), sehingga hasil tidak dapat digeneralisasi untuk seluruh DAMIU di Makassar. Ketiga, data mikrobiologis bersumber dari Dinas Kesehatan, sehingga peneliti tidak mengontrol proses

pengambilan dan pengujian sampel secara langsung. Keempat, tidak dilakukan analisis korelasional antara Pill dan faktor sanitasi, karena penelitian ini bersifat deskriptif. Untuk penelitian lanjutan, disarankan menggunakan desain studi kasus-kontrol atau cross-sectional acak yang mencakup DAMIU negatif dan positif, serta menerapkan model simulasi Monte Carlo untuk estimasi risiko yang lebih realistis.

SIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh DAMIU yang diteliti di Kota Makassar tidak memenuhi standar mikrobiologis nasional karena terkontaminasi *Escherichia coli*. Berdasarkan penilaian risiko mikroba, konsumsi air dari depot tersebut menimbulkan risiko kesehatan yang tinggi, jauh melebihi ambang batas aman yang ditetapkan WHO. Faktor yang terkait meliputi kondisi teknis (bangunan, fasilitas, peralatan) yang tidak memadai serta praktik operator yang kurang higienis. Temuan ini menegaskan perlunya pendekatan pengawasan berbasis risiko, pelatihan operator, dan penerapan sistem pengendalian berlapis untuk menjamin keamanan air minum isi ulang.

SARAN

Berdasarkan temuan penelitian, disarankan agar Dinas Kesehatan Kota Makassar menerapkan sistem pengawasan berbasis risiko dengan menggunakan Probability of Illness (Pill) sebagai indikator prioritas pembinaan. Setiap DAMIU perlu menjalani sertifikasi laik hygiene-sanitasi yang mencakup inspeksi berkala terhadap kondisi bangunan, fasilitas, peralatan, serta praktik operator. Pemilik DAMIU wajib melakukan pemeliharaan rutin sistem pengolahan terutama penggantian filter dan kalibrasi lampu UV serta menerapkan protokol hygiene pribadi dan sterilisasi peralatan. Untuk penelitian lanjutan, diperlukan desain studi yang memungkinkan analisis kausal (misalnya studi kasus-kontrol) serta pendekatan pemodelan risiko yang lebih canggih seperti simulasi Monte Carlo, agar estimasi risiko lebih akurat dan dapat digeneralisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainun, A. A., Sulaeman, U., & Gafur, A. (2022). Mikrobial Risk Assessment (MRA) air minum isi ulang pada depot air minum (DAM) di wilayah kerja Puskesmas Antang Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 3(2), 321–331. <https://doi.org/10.33096/woph.v3i2.321-331>
- Gitter, A., Boellstorff, D. E., Mena, K. D., Gholson, D. M., Pieper, K. J., Chavarria, C. A., & Gentry, T. J. (2023). Quantitative microbial risk assessment for private wells in flood-impacted areas. *Water*, 15(3), 469. <https://doi.org/10.3390/w15030469>
- Haas, C. N., Rose, J. B., & Gerba, C. P. (1999). *Quantitative microbial risk assessment*. John Wiley & Sons.
- Herwin, H. A., Azizah, R., Keman, S., & Leonita, A. (2022). Analisis hubungan sanitasi tempat dan alat dengan keberadaan bakteri *Escherichia coli* pada depot air minum isi ulang (DAMIU) di Indonesia. *Jurnal Kesehatan*, 16(1), 67–72. <https://doi.org/10.38165/jk.v16i1.278>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020). Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan. http://labdata.litbang.kemkes.go.id/images/download/laporan/RKD/2018/Laporan_Nasional_RKD2018_FINAL.pdf
- Librianti, D., Joko, T., & Dewanti, N. A. Y. (2023). Hubungan sanitasi tempat, sanitasi peralatan, dan hygiene penjamah dengan bakteri Coliform pada depot air minum di Kecamatan Sukmajaya. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 11(2), 245–255. <https://doi.org/10.14710/jkm.v11i2.245-255>
- Pakpahan, R. S., Picauly, I., & Mahayasa, I. N. W. (2015). Cemaran mikroba *Escherichia coli* dan total bakteri koliform pada air minum isi ulang. *Kesmas: National Public Health Journal*, 9(4), 300–304. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v9i4.812>
- Puspitasari, A., Nurul Hikmah, B., & Rahman, H. (2020). Studi kualitas bakteriologis depot air minum isi ulang di wilayah kerja Puskesmas Tamangapa Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 1(1), 16–21. <https://doi.org/10.33096/woph.v1i1.16-21>

- Purba, M. R., Harahap, E. Y., & Silitonga, D. P. (2022). Hubungan kondisi tempat, peralatan, dan operator dengan kualitas air minum isi ulang di Medan Belawan. *Jurnal Kesmas Indonesia*, 14(3), 123–130. <https://doi.org/10.35874/jki.v14i3.1693>
- Syaputra, M. I., Yasnani, Y., & Meliahsari, R. (2023). Analisis bakteri *Escherichia coli* dan gambaran higiene sanitasi depot air minum isi ulang di wilayah kerja Puskesmas Morosi Kabupaten Konawe. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Universitas Halu Oleo*, 4(3), 145–154. <https://doi.org/10.56189/jkluho.v4i3.145>
- Teunis, P. F. M., & Havelaar, A. H. (2020). Risk assessment of infectious diseases transmitted by food and water. *International Journal of Food Microbiology*, 329, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108516>
- Universitas Dehasen Bengkulu. (2023). Analisis kualitas mikrobiologi depot air minum isi ulang di Kota Bengkulu. *Jurnal Nasional Public Health*, 8(1), 45–54. <https://doi.org/10.51978/jnph.v8i1.455>
- World Health Organization. (2022). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. WHO Press. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
- Wulandari, P., & Pristiyaningrum, A. (2025). Analisis cemaran mikroba *E. coli* dan total koliform pada depot air minum isi ulang: Studi kasus di Pulo Gadung, Jakarta Timur. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(3), 319–326. <https://doi.org/10.14710/jkli.73503>