

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia, sebagai Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI), adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan garis pantai yang membentang hingga 108.000 kmh dan memiliki lebih dari 18.000 pulau. Menurut Konvensi Hukum Laut (UNCLOS) 1982, Indonesia memiliki kedaulatan atas perairan seluas 3,2 juta km², yang terdiri dari 2,9 juta km² perairan kepulauan dan 0,3 juta km² laut teritorial (Cahyawati, 2023). Setidaknya terdapat 16,42 juta penduduk Indonesia yang tinggal pada kawasan kepulauan yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia. Secara geografis, masyarakat yang tinggal di pulau-pulau kecil memiliki keterbatasan akses dari daratan utama. Keterbatasan ini yang menyebabkan sulitnya akses air bersih dan berkualitas untuk digunakan masyarakat kepulauan. Hal ini juga yang menyebabkan tingginya risiko kesehatan yang dihadapi masyarakat pulau kecil dari aspek air bersih untuk kebutuhan minum dan *hygiene sanitation* (Dewi, 2019).

Wilayah Kepulauan Spermonde di Kota Makassar menghadapi berbagai tantangan, tidak hanya terkait dengan lingkungan tetapi juga kesehatan. Secara ekologis, pulau-pulau kecil sangat rapuh dan rentan. Ukurannya yang kecil, keterbatasan lahan, sumber daya yang langka, sebaran geografis, dan keterisolasian berkontribusi terhadap kerentanannya (Birawida et al., 2024). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Birawida et al., 2020), tantangan yang dihadapi Kepulauan Spermonde didasari oleh kondisi geografis masyarakat pulau yang jauh dari daerah daratan utama atau perkotaan menjadi penyebab akan lambatnya perkembangan dari banyak aspek permasalahan. Masalah-masalah ini termasuk kebersihan dasar, akses terhadap air bersih untuk kebutuhan minum dan memasak serta ketersediaan pangan yang terbatas.

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sulawesi Selatan, terdapat setidaknya 5 (lima) sumber air yang digunakan untuk kebutuhan minum masyarakat yaitu air isi ulang, sumur, leding, air permukaan (sungai dan mata air), dan air hujan. Pada persentase kebutuhan air minum untuk rumah tangga dari tahun 2022 sampai tahun 2023, Air Minum Isi Ulang (AMIU) menempati persentase tertinggi yang meningkat dari 36,77% pada tahun 2022 menjadi 38,23% pada tahun 2023. Sedangkan pada data wilayah Kota Makassar, persentase dari 5 (lima) sumber air utama yang digunakan oleh penduduk Kota Makassar, AMIU masih menjadi pilihan pertama dengan angka penggunaan sebanyak 64,90% pada tahun 2022 dan meningkat menjadi 68,76% pada tahun 2023 (BPS Sulawesi Selatan, 2024).

Berdasarkan data BPS Kota Makassar 2024, Kepulauan Sangkarrang memiliki luas 0,88% dan kepadatan penduduk 1,02% dari persentase 100% wilayah Kota Makassar. Wilayah kepulauan Sangkarrang hanya menggunakan AMIU sebagai sumber air utama. Hal dikarenakan wilayah tersebut yang memiliki akses yang sulit sehingga tidak mendapatkan distribusi air bersih dari PDAM Kota Makassar. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas air yang menjadi sumber utama untuk kebutuhan minum dan memasak masyarakat di Kota Makassar, khususnya di wilayah Kepulauan Sangkarrang, perlu mendapat perhatian lebih, terutama terkait kualitas

air minum isi ulang yang penggunaannya terus meningkat setiap tahun (BPS Kota Makassar, 2024).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023, air minum yang akan dikonsumsi harus memenuhi Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) yang ditetapkan dengan parameter wajib yaitu kimia, fisik dan biologi. Aspek parameter kimia yang wajib diujikan adalah pH dan senyawa logam dan non-logam. Pada parameter fisik air, suhu, bau, kekeruhan, warna, *total dissolve solid* adalah parameter wajib uji. Sedangkan pada parameter biologi, *total coliform* dan bakteri *Escherichia coli* adalah parameter yang wajib diuji untuk mengetahui layak tidaknya air untuk dikonsumsi (KEMENKES, 2023).

Hal yang dapat memengaruhi kualitas air minum adalah cemaran yang berasal dari permukaan tanah. Cemaran ini bisa berupa cemaran organik yang berasal dari sisa makhluk hidup serta kotoran tinja dari manusia itu sendiri. Sedangkan cemaran anorganik berasal dari sisa plastik, detergen, logam berat, pewangi dan bahan kimia lainnya (Pesulima et al., 2018). Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Rosihan & Husaini, 2017) Keberadaan logam pada air baku berasal dari aktivitas manusia (antropogenik) dan alam. Selain itu (Fathya, 2022) dalam penelitiannya, menyatakan bahwa sumber cemaran logam pada air minum isi ulang dapat terjadi akibat jenis peralatan penjamah yang kurang memadai, kurangnya alat sterilisasi, proses pengolahan yang kurang lengkap, serta pemeliharaan dari alat pengolahan air yang kurang tepat.

Selain cemaran logam berat, sumber air pada daerah pesisir atau kepulauan juga rentan terhadap cemaran nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-). Cemaran nitrit dan nitrat berasal dari berbagai sumber, diantaranya dari alam seperti proses pelarutan sedimen dasar pesisir yang berasal dari aktivitas air laut (Febriarta et al., 2022). Sedangkan sumber antropogenik dari nitrit dan nitrat pada wilayah pesisir adalah cemaran limbah *septic tank*, dimana masyarakat pesisir kepulauan cenderung menggunakan *septic tank* yang belum kedap serta limbahnya masih rembes. Penggunaan *septic tank* yang belum optimal ini membuat potensi cemaran kimia pada air tanah semakin tinggi (Hamuna et al., 2018).

Untuk mengetahui besaran risiko kesehatan yang ada pada lingkungan terhadap manusia maka diperlukan perhitungan. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah proses untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengukur risiko kesehatan akibat paparan faktor-faktor lingkungan seperti polutan, bahan kimia, atau kondisi fisik. Proses ini mencakup empat tahap utama: identifikasi bahaya, penilaian dosis-respon, analisis nilai pajanan, dan karakterisasi risiko. Tujuannya adalah untuk memahami dampak lingkungan terhadap kesehatan manusia dan membantu pengambilan keputusan untuk mengurangi atau mengelola risiko tersebut (Ditjen P2PL Kemenkes, 2012).

Penelitian mengenai risiko kesehatan pada kandungan air tanah daerah pesisir dan kepulauan terhadap kesehatan telah dilakukan oleh (Rahman, Islam, et al., 2021) di wilayah pesisir yang kepulauan di daerah Khulna, Bangladesh. Kandungan yang didapatkan secara teratur melanggar pedoman yang direkomendasikan oleh *World Health Organization* (WHO) dan *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) baik secara kolektif maupun individual. Data rata-rata kandungan

klorida, dan kekerasan berada di luar pedoman yang dapat memengaruhi kesehatan fisik dan mental. Beberapa air sumur gali mengandung kadar klorida yang sangat tinggi (74,3 dan 48,6% air sumur gali melampaui standar WHO), Mn (54,3 dan 42,9% air sumur gali melampaui nilai pedoman US EPA) dan Besi (Fe) (92 dan 66% sampel melampaui batas aman WHO), yang mengindikasikan bahwa bahan-bahan tersebut akan memengaruhi kesehatan.

Sementara (Sao et al., 2023) melakukan penelitian risiko kandungan air tanah di daerah pesisir Kamboja menyatakan, bahwa kandungan logam berat ((kadmium (Cd), kromium (Cr), nikel (Ni), arsen (As), dan timbal (Pb)) perlu diteliti karena bersifat toksik dan berbahaya bagi manusia. Temuannya menyatakan bahwa sumur gali atau sumur bor di daerah pesisir rentan terkontaminasi zat neurotoksik. Hasilnya sekitar 36,4% sumur bor dan 16,1% sumur gali mengandung Kadmium (Cd) lebih besar dari standar minimum (3 µg/L); 22,7% sumur bor dan 32,3% sumur gali mengandung Besi (Fe) lebih besar dari standar minimum (0,3 mg/L); dan secara total kondisi air tanah di daerah pesisir memiliki kualitas yang buruk dikarenakan kontaminasi kimiawi yang tinggi. Kontaminasi kimia ini berasal dari sisa zat organik dan anorganik, patogen, plastik, limbah B3, logam berat, dan pestisida yang ada di permukaan dan secara alami menyerap ke dalam sumber air tanah.

Berdasarkan penelitian kualitas air sumur dan air depot yang telah dilakukan oleh (Birawida et al., 2018) di Pulau Barrang Lompo, mendapatkan temuan bahwa air sumur di Pulau Barrang Lompo belum memenuhi standar atau syarat baku mutu. Sedangkan pada air depot, terdapat hanya 3 (tiga) dari 6 (enam) air depot yang diteliti yang memenuhi standar baku mutu air menurut Permenkes RI No. 429 tahun 2010. Hal ini membuktikan bahwa banyaknya ketersediaan air belum tentu menjamin kualitas dari air yang terdistribusi ke masyarakat. Dampak dari kualitas air yang buruk dapat menjadi penyebab permasalahan kesehatan yang serius jika tidak ditanggulangi.

Berdasarkan uraian di atas, maka dipandang perlu untuk melakukan penelitian analisis risiko kesehatan lingkungan dan proyeksi risiko akibat kontaminasi dari besi, nitrit, dan nitrat terlarut pada DAMIU. Ketiganya merupakan parameter prioritas dalam pemantauan kualitas air minum menurut WHO dan Permenkes RI karena berpotensi menimbulkan dampak kesehatan kronis melalui paparan jangka panjang. Pendekatan yang digunakan adalah proyeksi deterministik berbasis model filtrasi (mass balance). Proyeksi ini memungkinkan peneliti untuk mengestimasi konsentrasi masa depan berdasarkan data konsentrasi awal (C_{in}), efisiensi filtrasi (R), fraksi lolos ($Frac$), dan konsentrasi hasil filtrasi (C_{out}). Hal ini didasari juga oleh studi pendahuluan yang dilakukan oleh peneliti yang menilai masih sedikitnya penelitian tentang analisis risiko kualitas lingkungan air minum isi ulang di daerah pesisir Kota Makassar dan terkhusus pada masih sedikitnya penelitian risiko kesehatan akibat paparan kontaminan kimia air minum isi ulang di Pulau Barrang Lompo.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu, “Bagaimana tingkat risiko kesehatan masyarakat di Pulau Barrang Lompo yang mengonsumsi air minum yang mengandung besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-)”.

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan memproyeksikan risiko kesehatan akibat paparan besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) yang terkandung pada air minum isi ulang yang dikonsumsi oleh masyarakat di Pulau Barrang Lompo.

1.3.2 Tujuan Khusus

- Untuk mengetahui konsentrasi besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) terlarut pada air minum isi ulang masyarakat Pulau Barrang Lompo, Kota Makassar.
- Untuk menghitung jumlah asupan (*Intake*) pada masyarakat yang mengonsumsi air minum isi ulang yang mengandung besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) di Pulau Barrang Lompo Kota Makassar
- Untuk mengetahui nilai *Risk Quotient* masyarakat Pulau Barrang Lompo yang mengonsumsi air minum isi ulang yang mengandung besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-).
- Untuk merumuskan proyeksi risiko kesehatan dari masyarakat yang mengonsumsi air minum isi ulang yang mengandung zat besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) di Pulau Barrang Lompo, Kota Makassar.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Ilmiah

Hasil Penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait tingkat risiko kesehatan lingkungan mengenai konsentrasi besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) pada air minum isi ulang yang dikonsumsi masyarakat.

1.4.2 Manfaat Institusi

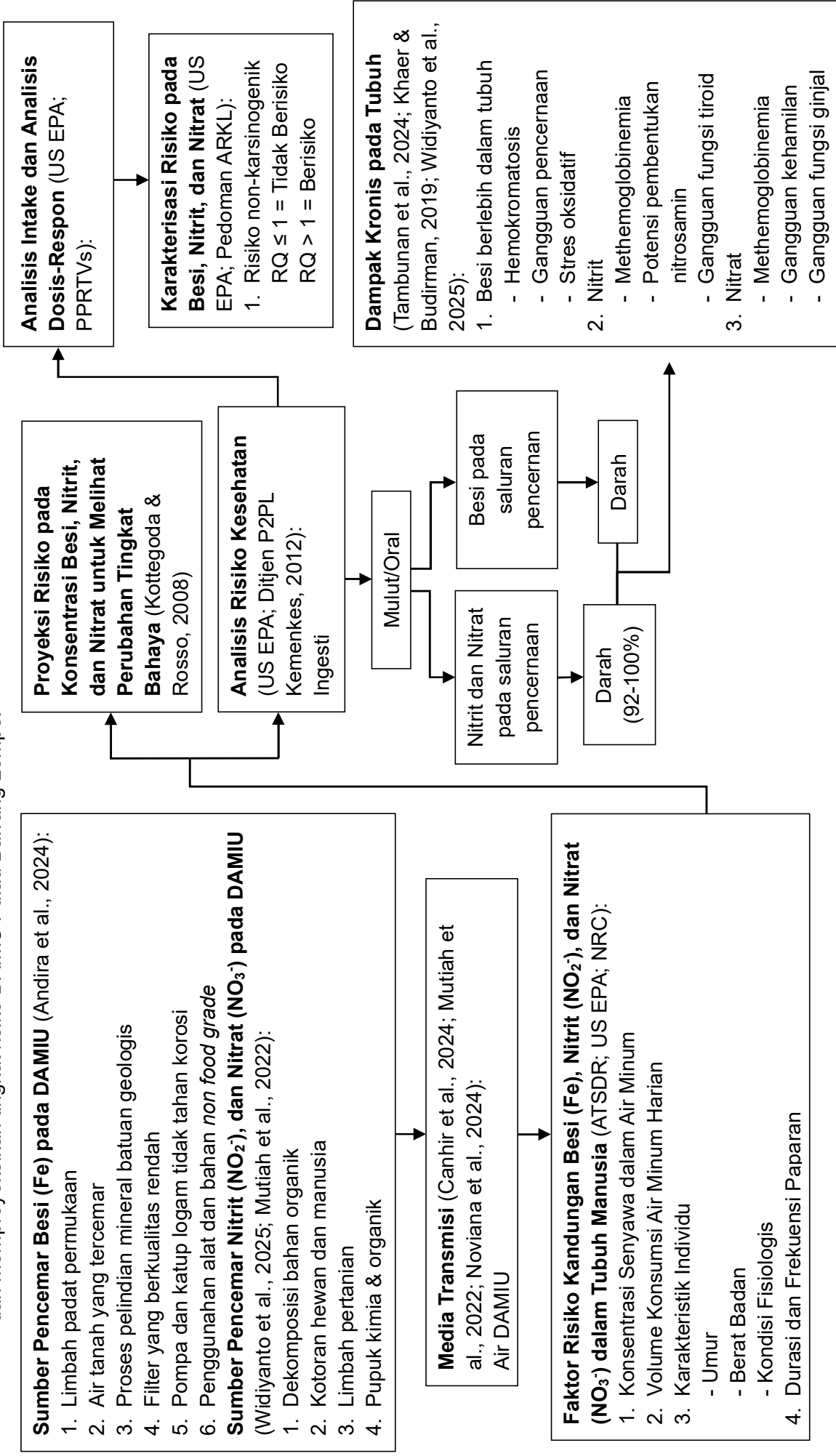
Hasil penelitian ini diharapkan menjadi sumber informasi dan rujukan pembuatan regulasi atau kebijakan bagi institusi terkait upaya pencegahan dampak dari paparan zat kimia berbahaya bagi masyarakat guna mendukung terciptanya peningkatan aspek kualitas serta kesehatan lingkungan.

1.4.3 Manfaat Praktis

Hasil Penelitian ini diharapkan menjadi penambahan wawasan serta pengetahuan bagi peneliti terkait Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan guna pengimplementasian ilmu preventif dan promotif agen kesehatan masyarakat.

1.5 Kerangka Teori

Berikut ini adalah kerangka teori Analisis Risiko Kualitas Lingkungan (ARKL) yang akan dilakukan oleh peneliti untuk menilai dan memproyeksikan tingkat risiko DAMIU Pulau Barrang Lompo:



Gambar 1. Kerangka Teori Proyeksi Risiko Kesehatan Lingkungan

1.6 Dasar Pemikiran Variabel Penelitian

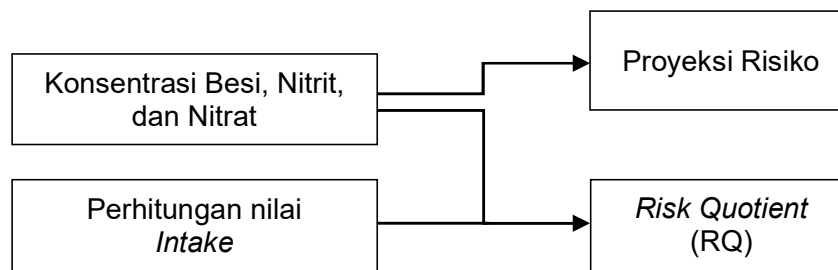
Pada penelitian akan membahas tentang besaran dari risiko kesehatan yang disebabkan oleh paparan zat kimia yang ada di DAMIU Pulau Barrang Lompo dan dampaknya pada masyarakat yang ada di Pulau Barrang Lompo. Parameter kimiawi lingkungan yang akan diteliti adalah besi, nitrit, nitrat, dikarenakan zat kimiawi ini yang berpotensi keberadaannya di wilayah pesisir dan kepulauan. Pengujian untuk mengetahui besaran risiko kesehatan lingkungan akan menggunakan metode pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan yang menggunakan 4 (empat) tahapan yaitu, identifikasi bahaya (sumber, konsentrasi dan risiko kesehatan); analisis dosis-respon (nilai RfD dari *risk agent*); analisis pajanan (frekuensi, dan durasi pajanan); dan penilaian risiko. Proyeksi risiko adalah suatu upaya untuk memperkirakan atau memprediksi besarnya potensi risiko kesehatan pada masa mendatang berdasarkan data atau tren paparan suatu bahaya lingkungan (misalnya zat kimia dalam air minum) terhadap populasi tertentu. Proyeksi risiko adalah alat prediktif yang penting untuk melihat kemungkinan ancaman kesehatan dari paparan zat berbahaya di masa depan, dan sangat berguna dalam perencanaan intervensi lingkungan.

Proyeksi risiko kesehatan lingkungan memiliki urgensi yang tinggi karena bukan hanya berfungsi sebagai evaluasi kondisi saat ini, melainkan juga sebagai sarana prediktif untuk mengantisipasi potensi dampak kesehatan masyarakat di masa mendatang. Dengan adanya proyeksi, dapat diketahui kecenderungan peningkatan atau penurunan risiko dari waktu ke waktu, sehingga pemerintah daerah, lembaga kesehatan, maupun penyedia air bersih dapat melakukan langkah-langkah pencegahan sebelum risiko tersebut benar-benar menimbulkan dampak serius bagi kesehatan masyarakat. Masyarakat yang sepenuhnya bergantung pada DAMIU memiliki kerentanan lebih tinggi karena tidak ada alternatif sumber air bersih lain yang terjamin kualitasnya. Apabila paparan zat kimia berbahaya seperti besi, nitrit, dan nitrat terus meningkat, maka akan terjadi akumulasi risiko kesehatan jangka panjang.

Air tanah yang ada pada daerah pesisir atau kepulauan termasuk pada hal yang rawan akan cemaran dari zat kimia berbahaya. Kerentanan pada air tanah daerah pesisir diakibatkan aktivitas manusia pada permukaan yang menghasilkan zat sisa yang kemudian mengendap ke dalam sumber air tanah. Selain itu cemaran air tanah daerah pesisir juga berasal dari intrusi air laut pada sedimen atau lapisan tanah. Penetrasi atau perembesan air laut ke dalam air tanah menjadi lebih berbahaya karena air laut cenderung mengikat zat kimia seperti logam berat dan membawanya masuk ke dalam air tanah.

Pulau Barrang Lompo merupakan salah satu wilayah padat penduduk yang aksesnya jauh dari Kota Makassar. Karena keterbatasan akses ke pusat Kota Makassar mengakibatkan masyarakat Barrang Lompo tidak mendapat distribusi air bersih dari PDAM Kota Makassar. Masyarakat Barrang mengandalkan Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) sebagai sumber utama untuk keperluan minum dan memasak. Hal ini menjadi kekhawatiran karena padatnya aktivitas manusia di permukaan dan dinamika air laut yang bisa menyebabkan pencemaran pada sumber air tanah yang digunakan oleh DAMIU penyedia air di Pulau Barrang Lompo.

1.7 Kerangka Konsep



Gambar 2. Kerangka Konsep Penelitian

Keterangan:

= Variabel yang diteliti

➔ = Arah variabel yang diteliti

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian yang digunakan peneliti pada penelitian ini adalah observasional analitik dengan menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan sebagai metode untuk menghitung besaran risiko kesehatan, kemudian dilakukan proyeksi dari perubahan kontaminan untuk melihat pertumbuhan majemuk dari kontaminan tersebut. Penelitian observasional analitik bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis hubungan antara faktor penyebab dan dampak atau hasil tertentu, meskipun tidak dapat mengkonfirmasi hubungan sebab-akibat secara langsung karena tidak ada intervensi peneliti terkait subjek penelitian. Sedangkan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan metode perhitungan guna mengetahui besaran risiko kesehatan manusia dari dampak paparan lingkungan yang buruk. Pendekatan ARKL dilakukan dengan empat tahapan, diantaranya identifikasi bahaya; analisa dosis-respon; analisis pajanan dengan menghitung laju asupan; dan mengkarakterisasi risiko. Proyeksi risiko yang dilakukan mengadopsi proyeksi deterministik berbasis model filtrasi yang merupakan suatu metode untuk memperkirakan nilai di masa depan berdasarkan data historis, di mana pertumbuhan atau perubahan terjadi secara terus menerus.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian untuk pengambilan sampel lingkungan dan subjek atau responden akan dilakukan di Pulau Barrang Lompo, Kota Makassar. Adapun pengujian sampel lingkungan akan di Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Kelas I Kota Makassar. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2025 hingga Juni 2025.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

Sumber: Citra Pulau Barrang Lompo @2024 Google Earth Pro

2.3 Populasi dan Sampel

2.3.1 Populasi

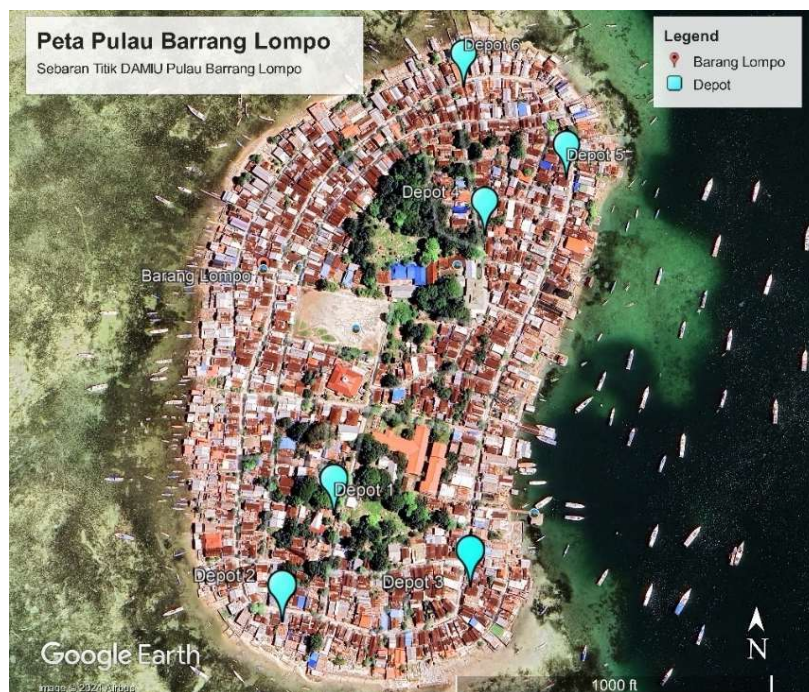
Populasi merupakan keseluruhan atau total dari individu atau kelompok atau subjek, maupun objek dari penelitian (Swarjana, 2022). Populasi objek (lingkungan) pada penelitian ini adalah seluruh depot air minum isi ulang dan masyarakat yang terdapat di Pulau Barrang Lompo, Kota Makassar. Jumlah populasi depot air minum isi ulang Pulau Barrang Lompo tahun 2024 adalah 6 (enam) DAMIU. Sedangkan jumlah populasi subjek (konsumen) depot di Pulau Barrang Lompo diperoleh dari wawancara dengan pihak pemilik depot tentang perkiraan rata-rata jumlah konsumen setiap minggunya. Berikut interpretasi dari total populasi pada “**Tabel 1. Data Konsumen**”:

Tabel 1. Data Konsumen Depot

Lokasi	Jumlah Depot	Pelanggan/Minggu
RW 1	Depot 1	250 pelanggan
	Depot 2	150 pelanggan
RW 2	Depot 3	200 pelanggan
RW 3	Depot 4	200 pelanggan
	Depot 5	150 pelanggan
	Depot 6	150 pelanggan

Sumber: Wawancara 6 Pemilik Depot Pulau Barrang Lompo, 2025

Adapun peta lokasi dari masing-masing depot yang ada akan diinterpretasikan dalam peta berikut:



Gambar 4. Peta Titik Pengambilan Sampel

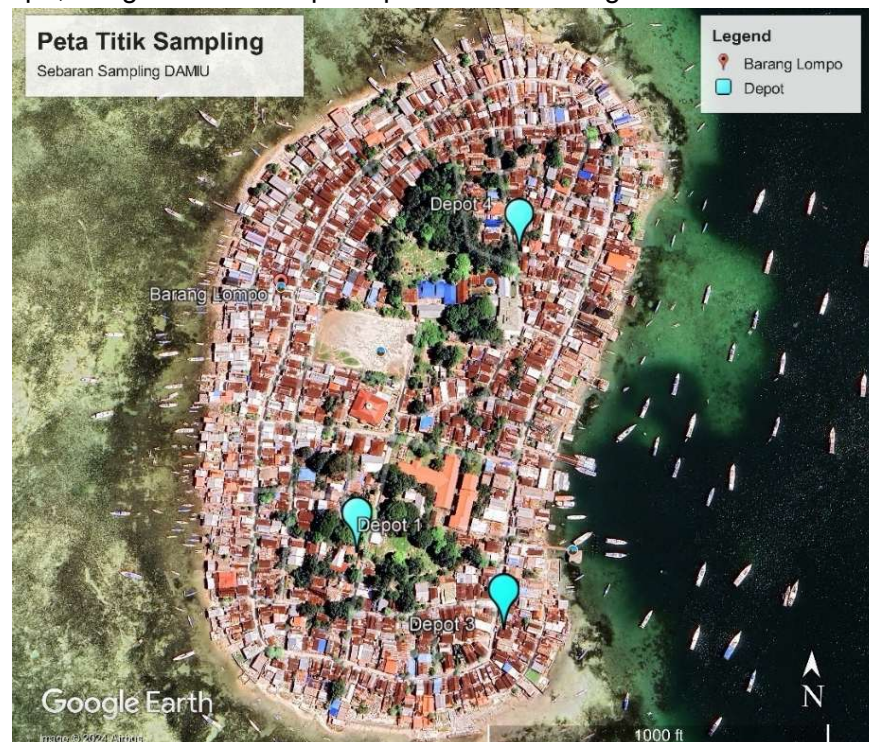
Sumber: Citra Pulau Barrang Lompo @2025 Google Earth Pro

2.3.2 Sampel

Sampel adalah unit yang diminati dan memiliki kriteria untuk dijadikan sebagai individu kelompok, maupun objek dari penelitian (Roflin et al., 2021). Sampel pada penelitian ini terbagi 2 (dua), yaitu sampel lingkungan (air depot) dan sampel manusia (responden). Adapun pembagian sampel lingkungan dan sampel manusia pada penelitian ini ditentukan sebagaimana di bawah:

1. Sampel Lingkungan (Air Depot)

Penentuan sampel lingkungan pada penelitian ini adalah depot air minum Pulau Barrang Lompo yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat Barrang Lompo di masing-masing RW sebagai representatif dari populasi. Hal ini sesuai dengan SNI 7828:2012 yang menyatakan bahwa lokasi pengambilan sampel untuk uji air baku pengolahan harus mewakili secara menyeluruh dari sampel air yang akan diuji (Badan Standarisasi Nasional, 2012). Maka ditentukan bahwa DAMIU yang akan diambil sebagai sampel adalah DAMIU titik 1, titik 3, dan titik 4 karena DAMIU ini yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat Pulau Barrang Lompo, dengan titik lokasi pada peta adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Peta Titik Pengambilan Sampel

Sumber: Citra Pulau Barrang Lompo @2025 Google Earth Pro

2. Sampel Manusia

Perhitungan jumlah sampel manusia yang akan menjadi responden pada penelitian ini akan ditentukan dengan metode *proporsional stratified sampling*. *Proporsional Stratified Sampling* merupakan salah satu teknik pengambilan sampel dalam penelitian di mana jumlah sampel dari setiap sub kelompok dalam populasi diambil secara proporsional terhadap ukuran sub kelompok tersebut. Sampel manusia yang akan dihitung menggunakan

ini diambil berdasarkan populasi konsumen pada “**Tabel 1. Data Konsumen Depot**” terkhusus pada depot yang terpilih sebagai sampel lingkungan yaitu Depot 1; Depot 3; dan Depot 4, dengan perhitungan tersaji pada “**Tabel 2. Perhitungan Sampel Manusia**” sebagai berikut:

$$nA = \frac{Na}{N} \times Na$$

....(Rumus *Proporsional Stratified Sampling*)

Keterangan:

nA : jumlah responden yang akan diwawancara per sub-kelompok DAMIU

Na : total pelanggan per DAMIU (N1/pelanggan depot 1: 250, N2/pelanggan depot 3: 200, N3/pelanggan depot 4: 200)

N : total pelanggan dari 3 DAMIU terpilih (N: 650)

Tabel 2. Perhitungan Sampel Manusia

Sub-kelompok responden yang akan diwawancara	Perhitungan Sampel	Jumlah Sampel + margin of error 10%
Responden Depot 1	Depot 1 = $\frac{250}{650} \times 250$ Depot 1 = 96	106 Sampel
Responden Depot 3	Depot 3 = $\frac{200}{650} \times 200$ Depot 3 = 62	68 Sampel
Responden Depot 4	Depot 4 = $\frac{200}{650} \times 200$ Depot 4 = 62	68 Sampel

Setelah dihitung, kemudian hasil yang didapatkan akan ditambahkan margin error 10%, maka didapatkan jumlah sampel yang akan dijadikan responden adalah sebanyak 242 orang terbagi pada sub-kelompok masing-masing. Pengambilan sampel manusia dilakukan dengan cara wawancara langsung oleh peneliti dengan menggunakan kuesioner. Pengisian kuesioner dilakukan apabila responden masuk pada 3 sub-kelompok yang telah ditentukan.

2.4 Alat, Bahan, dan Cara Kerja

Pada penelitian ini akan dilakukan uji laboratorium dengan menguji parameter besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-). Pemeriksaan besi (Fe) akan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) dengan mengacu pada SNI 6989-82:2018. Prinsip kerja dari SSA adalah dengan mengukur radiasi cahaya yang diserap oleh atom-atom bebas untuk menentukan konsentrasi unsur pada sampel. Sedangkan pada pengukuran nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) akan menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dengan nitrit yang mengacu pada SNI 06-6989.9-2004 dan nitrat SM APHA 23th Edition 4500- NO_3^- B, 2017. Prinsip kerja dari Spektrofotometri UV-Vis adalah menyerap cahaya ultraviolet atau cahaya tampak oleh senyawa kimia, yang menghasilkan spektrum yang berbeda tergantung senyawa kimianya.

Pengambilan sampel air pada depot dilakukan dalam waktu satu hari, kemudian sampel akan dibawa ke Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian

Penyakit Kelas I Kota Makassar. Dalam hal ini, selama satu hari akan dikumpulkan 3 (tiga) sampel air depot dan segera dibawa untuk diuji pada laboratorium. Pengambilan sampel air depot mengacu pada SNI 7828:2012 tentang metode pengambilan air pada instalasi pengolahan air sebagai berikut:

- 1) Diambil sampel pada sebelum tahap pencucian atau pembersihan dari instalasi pengolahan air;
- 2) Dipersiapkan alat dan bahan yang diperlukan, termasuk sarung tangan steril, masker, dan wadah steril (botol sampel plastik berukuran $\pm$ 1000 ml yang telah disterilkan);
- 3) Dialirkan air pada kran tertutup selama 1 – 2 menit terlebih dahulu sebelum pengisian botol sampel;
- 4) Dibilas botol steril dengan air sampel sebanyak tiga kali;
- 5) Diambil sampel air depot dengan mengisi 1:1 wadah steril (jika botol steril berukuran 1000 ml, maka diisi air sampel 1000 ml);
- 6) Ditutup botol sampel secara perlahan sembari air tetap mengalir, kemudian ditulis nama sampel, lokasi, dan waktu pengambilan sampel.
- 7) Dimasukkan botol sampel ke dalam wadah *styrofoam* berisi *ice gel*;
- 8) Dikirim sampel ke laboratorium dalam kurun waktu 1x24 jam untuk segera diidentifikasi kandungan logam dan non-logam.

2.5 Pengumpulan Data

2.5.1 Data Primer

Data primer pada penelitian ini didapatkan melalui wawancara tentang karakteristik dari responden serta pola aktivitasnya dan pemeriksaan tentang konsentrasi dari parameter dari depot air minum isi ulang.

2.5.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari institusi terkait yang ada di Pulau Barrang Lompo, Badan Pusat Statistik (BPS). Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, US EPA serta studi literatur seperti jurnal artikel, buku, skripsi, dan literatur lainnya.

2.6 Pengolahan dan Analisis Data

2.6.1 Pengolahan Data

Pengolahan dari data yang telah dikumpulkan akan dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu:

1. *Editing*, merupakan tahapan pemeriksaan data di lapangan terkhusus pada saat setelah kuesioner wawancara diisi oleh responden demi memastikan agar tidak terdapat kesalahan pada pengisian kuesioner.
2. *Entry*, merupakan tahapan memasukkan data kuesioner yang telah di finalisasi dari wawancara langsung ke dalam program (aplikasi pengolahan data) komputer.
3. *Cleaning Data*, merupakan tahap pengecekan data yang telah dimasukkan pada program komputer untuk memastikan tidak adanya kesalahan yang akan menyebabkan hasil yang tidak sesuai pada analisis data.

2.6.2 Analisis Data

Setelah melakukan proses pengolahan data (*editing*, *entry* dan *cleaning*) yang telah di finalisasi, kemudian dilakukan analisis data yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Analisis Univariat

Analisis univariat adalah teknik analisis data yang mendeskripsikan data yang didapatkan dari satu variabel menjadi informasi berupa tabel, grafik, ataupun statistik (Lusiana & Mahmudi, 2020). Program yang digunakan untuk analisis univariat pada penelitian ini adalah *Statistical Package for Social Science* (SPSS) guna mempermudah peneliti agar mendapatkan hasil yang lebih akurat. Analisis univariat pada penelitian ini digunakan untuk mendeskripsikan perolehan data dari distribusi frekuensi berupa umur, jenis kelamin, pekerjaan, lama menetap, berat badan, konsentrasi senyawa logam & non-logam, frekuensi pajanan, durasi pajanan, laju asupan, nilai *Intake*, besar risiko, manajemen konsentrasi aman dan manajemen laju asupan aman.

2. Analisis Risiko

i) Perhitungan *Intake* (I)

Data yang telah dikumpulkan dari setiap parameter yang diteliti berupa konsentrasi senyawa logam dan senyawa non-logam pada air depot, frekuensi, berat badan responden, serta data laju asupan. Kemudian, variabel dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad \text{..... (Persamaan 1)}$$

Keterangan:

- I_{nk} : asupan (*Intake*) non-karsinogenik, jumlah agen risiko yang diterima individu per berat badan per hari (mg/kg/hari)
- C : konsentrasi agen risiko (mg/kg)
- R : laju asupan (*rate*) (gr/hari)
- f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)
- D_t : durasi pajanan (tahun)
- W_b : berat badan (kg)
- t_{avg} : periode waktu rata-rata (30 tahun $\times$ 365 hari/tahun) untuk efek non karsinogenik.

ii) Perhitungan *Risk Quotient* (RQ)

Setelah mengetahui tingkat risiko senyawa (dosis referensi besi, nitrit dan nitrat) non-karsinogenik atau yang dinyatakan sebagai karakteristik risiko (RQ) digunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

RQ : *Risk Quotient*

I : *Intake* yang telah dihitung pada **Persamaan 1**

RfD : Batas Dosis secara ingesti (kg/hari)

3. Manajemen Risiko

Manajemen risiko atau pengelolaan risiko merupakan tindakan yang perlu dilakukan apabila dalam tahap karakterisasi risiko terdapat tingkat risiko yang tidak aman atau melebihi nilai batas yang ditentukan baik itu karsinogenik maupun non-karsinogenik. Pada manajemen risiko dilakukan strategi pengelolaan risiko melalui penentuan batas aman, yakni:

i) Konsentrasi Agen Risiko (C)

- Konsentrasi aman non-karsinogenik

$$C_{nk(aman)} = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{R \times f_E \times D_t} \quad \dots\dots (Persamaan 3)$$

ii) Jumlah Konsumsi (R)

- Laju konsumsi aman non-karsinogenik

$$R_{nk(aman)} = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{C \times f_E \times D_t} \quad \dots\dots (Persamaan 4)$$

Tahapan penilaian manajemen risiko aman melalui media air minum (ingesti) dapat lakukan hanya dengan menghitung atau substitusi nilai konsentrasi (C) dan jumlah konsumsi (R).

4. Proyeksi Risiko

Untuk mengetahui potensi peningkatan konsentrasi senyawa pencemar (nitrit, nitrat, dan besi) dalam air minum isi ulang (DAMIU) di Pulau Barrang Lompo, digunakan proyeksi deterministik berbasis model filtrasi (*mass balance*). Proyeksi dilakukan untuk estimasi konsentrasi besi (Fe), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) pada air minum isi ulang selama periode 20 tahun (2025–2045) dengan pendekatan kuantitatif berbasis proyeksi matematis dengan perhitungan retensi-fraksi. Perhitungan retensi-fraksi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bentuk sederhana dari persamaan adveksi-dispersi (*Advection-Dispersion Equation*), yang secara luas digunakan dalam studi hidrogeologi untuk menggambarkan transport dan retensi kontaminan dalam media berpori (Newell & Borden, 2020). Metode ini dipilih karena proses akumulasi pencemar dalam lingkungan berlangsung secara bertahap dan berkelanjutan kemudian membandingkan dengan retensi atau efisiensi filter RO, serta cenderung menunjukkan laju pertumbuhan majemuk (*compounded growth*) seiring waktu. Rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan ini adalah:

a) Penentuan Konsentrasi Awal (C_{in}):

Nilai C_{in} diambil dari hasil pengukuran konsentrasi tertinggi pada tiga depot air minum isi ulang sebagai pendekatan *worst case scenario*.

$$C_{in} = \max(C_{depot1}, C_{depot2}, C_{depot3}) \quad \dots\dots (Persamaan 5)$$

Keterangan:

$C_{in}(t)$: Konsentrasi awal polutan (input)

$C_{depot}(n)$: Konsentrasi hasil pengukuran agent risiko

b) Rumus Perhitungan Retensi-Fraksi (r & frac)

$$C_{out}(t) = C_{in}(t) \cdot frac \quad \text{..... (Persamaan 6)}$$

Keterangan:

$C_{out}(t)$: Konsentrasi polutan akhir pada DAMIU pada tahun ke-t

$C_{in}(t)$: Konsentrasi awal polutan (input)

r : Koefisien retensi/*removal efficiency* (fraksi tertahan) (%)
(optimis= 95 – 80%/moderat= 95 – 50%/pesimis= 95 – ∞%)

t : Waktu dalam tahun.

Frac : $1 - r$ = fraksi polutan yang lolos

c) Rumus Perhitungan Konsentrasi Pencemar yang Masuk

$$C_{in} = \frac{C_{out}}{frac} \quad \text{..... (Persamaan 7)}$$

Keterangan:

C_{in} : Konsentrasi yang masuk tiap tahun (hasil pertumbuhan).

C_{out} : Konsentrasi polutan akhir pada DAMIU pada tahun ke-t
(optimis/moderat/pesimis)

Frac : $1 - r$ = fraksi polutan yang lolos

d) Rumus Perhitungan *Fraction* Lolos

$$Frac_{lolos}(t) = 1 - r^t \quad \text{..... (Persamaan 8)}$$

Keterangan:

$Frac_{lolos}(t)$: proporsi konsentrasi yang masih bertahan/lolos setelah perhitungan tiap tahun.

r : Koefisien retensi/*removal efficiency* (fraksi tertahan) (%)
(optimis/moderat/pesimis)

t : Waktu dalam tahun.

2.7 Penyajian Data

Penyajian data dari penelitian ini yakni, data hasil wawancara responden di lokasi penelitian, hasil uji laboratorium, hasil perhitungan risiko kesehatan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk hasil proyeksi risiko yang kemudian dilengkapi dengan penjelasan atau deskripsi terkait data yang termuat dalam tabel dan grafik tersebut tersebut.