

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air bersih adalah salah satu kebutuhan hidup yang paling penting yang dapat menjadi suatu sarana utama untuk meningkatkan derajat kesehatan masyarakat. Air merupakan sumber kehidupan utama bagi masyarakat, karena itu penyediaan sumber air bersih yang memenuhi syarat sangat penting diperhatikan (Maksuk, 2019)

Air yang bersih adalah air yang jernih, tidak berwarna, tawar, dan tidak berbau yang biasa digunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi syarat kesehatan, dapat diminum apabila telah dimasak (Awliahasanah *et al*, 2021)

Data yang diperoleh dari WHO menunjukkan bahwa 663 juta penduduk masih sangat sulit dalam memperoleh air bersih. Berkaitan dengan krisis air bersih, di prediksi bahwa pada tahun 2025 hampir dua pertiga penduduk di dunia akan sulit memperoleh akses terhadap air bersih (Utami & Handayani, 2017).

Seiring dengan meningkatnya pertambahan penduduk, kebutuhan air bersih pun meningkat, menurut data Badan Pusat Statistik Indonesia yang dirilis pada tahun 2013 – 2018 tercatat produksi air bersih Indonesia tahun 2018 sebanyak 4.879.050 m³ dengan jumlah penduduk 268 juta jiwa (Badan Pusat Statistik, 2019).

Kualitas lingkungan yang baik, biasanya identik dengan tingkat kesehatan masyarakat di sekitar lingkungan tersebut. Ketersediaan sumber air bersih menjadi penentu baik atau buruknya kualitas lingkungan. Salah satu sumber air bersih yang masih banyak digunakan masyarakat adalah air sumur.

Air sumur merupakan air tanah dangkal dengan kedalaman kurang dari 30 meter. Sementara sumur bor biasanya dibuat untuk mendapatkan air tanah dalam, dengan menggunakan bor dan memasukan pipa dengan panjang mencapai 100-300 meter. Air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak. Sebagai batasannya air yang memenuhi syarat bagi sistem penyediaan air minum, dimana persyaratan yang dimaksud adalah persyaratan dari segi kualitas yang meliputi kualitas fisik, kimia, biologis dan radiologis (Birawida, 2018).

Secara nasional, ditemukan sebanyak 843/1000 penduduk di Indonesia mengalami gangguan pencernaan contohnya diare. Sulawesi Selatan menempati urutan ke-14 dengan cakupan pelayanan penderita diare sebesar 40,92%. Pada tahun 2023 kejadian terbesar diare ditemukan di Kota Makassar dengan jumlah 19.592 kasus yang ditangani dari jumlah keseluruhan penduduk sebanyak 9.145.143 jiwa. Kota Makassar menempati urutan ke-5 tertinggi dengan prevalensi diare sebesar 8,25%. Menurut kelompok umur, prevalensi diare tertinggi terjadi pada kelompok umur 1-4 tahun yaitu sebesar 9,75% dibandingkan dengan kelompok umur lainnya (Riskesdas 2023).

Berdasarkan letak geografis Kelurahan Banta – bantaeng berada dipusat Kota Makassar yang memiliki pengaruh terhadap tingkat perkembangan Kota Makassar. Menurut data yang diperoleh dari Puskesmas Kassi terdapat sekitar 10 sumur gali yang berada di Kelurahan Banta-bantaeng dan terdapat sebanyak 55 KK yang masih menggunakan air sumur untuk kegiatan sehari-hari.

Berdasarkan hasil observasi di masyarakat, diketahui kualitas fisik air sumur gali banyak yang berwarna kuning kecoklatan dan jika digunakan untuk mencuci pakaian akan meninggalkan noda, hal ini disebabkan kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) yang tinggi, dan tidak jarang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan untuk kebutuhan air bersih ataupun air minum. Hasil pemeriksaan awal yang dilakukan pada air baku (air sumur gali) kadar (Fe) awal sebesar 2,4 mg/l, kualitas air tersebut tidak layak untuk dikonsumsi dan belum memenuhi persyaratan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 yaitu 1,0 mg/l.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pristiyanto 2020 menunjukkan bahwa konsentrasi Fe, Cu, Zn, dan Mn masih berada di bawah baku mutu, sedangkan konsentrasi logam Cd dan Pb melebihi baku mutu. Persebaran logam berat pada tiap zona berbeda-beda dan cenderung meningkat pada zona bawah. Konsentrasi yang melebihi baku mutu ini menyebabkan naiknya angka penderita hipertensi dari tahun-tahun sebelumnya. Tingkat risiko tidak aman logam Fe (24% dewasa), Pb (65% anak-anak; 100% dewasa), dan Cd (53% dewasa).

Peneliti lainnya yang dilakukan oleh Amalia & Ardianti 2020 diperoleh bahwa kualitas air sumur gali berdasarkan parameter kimia Cl, 4 dari 12 sumur gali yang diperiksa tidak memenuhi syarat kesehatan dan Kualitas air sumur gali berdasarkan parameter kimia Fe, 2 dari 12 sumur gali yang diperiksa tidak memenuhi syarat kesehatan.

Secara bersamaan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) umumnya terdapat dalam air tanah. Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam air menyebabkan kekeruhan, korosi, warna kekuningan pada cucian baju dan merusak perkakas juga alat plambing (Mandasari & Purnomo, 2016).

Faktor utama yang menyebabkan tingginya zat besi (Fe) pada air sumur gali dapat dilihat dari segi konstruksi maupun lokasi dari sumur gali tersebut salah satu contohnya yaitu jarak antara sumber pencemar dengan sumur gali berjarak kurang dari 11 meter sehingga bahan kimia yang terkandung pada sumber pencemar seperti sulfur (SO_2) mencemari air sumur gali sehingga dapat menyebabkan korosifitas pada air. salah satu syarat konstruksi serta lokasi sumur gali adalah lokasi sumur gali berjarak horisintal 11 meter ke arah hulu dari aliran tanah dari sumber pengotoran, seperti resapan dari tangki septik, kakus, empang, lubang galian untuk sampah, dan lain-lain (Handayani, R, 2019)

Besi (Fe) dengan kadar kecil pada air tidak menimbulkan gangguan kesehatan dan dapat bermanfaat bagi tubuh, salah satunya untuk pembentukan hemoglobin. Mangan (Mn) apabila dalam dosis tinggi bersifat toksik. Toksisitas Mangan (Mn) pada konsentrasi rendah relatif sudah tampak (Antika *et al.*, 2019). Apabila kelebihan Mangan (Mn) pada tubuh dapat menimbulkan efek-efek kesehatan seperti gejala insomnia, serangan jantung, gangguan pembuluh darah, lemah pada kaki dan otot muka, bahkan kanker hati (Agustiani *et al.*, 2014)

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Lobzang Chorol, Sunil Kumar Gupta, 2023 mengungkapkan bahwa persentil ke-95 dari risiko karsinogenik pada anak-anak ($5,54\text{E}^{-03}$) sekitar 3 kali lebih tinggi daripada orang dewasa ($2,38\text{E}^{-03}$). Risiko non-karsinogenik dievaluasi menggunakan kuantifikasi Indeks Bahaya (HI) yang mengikuti urutan $\text{Cr} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Zn}$. Analisis sensitivitas mengungkapkan

bahwa konsentrasi logam merupakan faktor berpengaruh utama diikuti oleh berat badan dan durasi paparan yang menyebabkan risiko kesehatan secara keseluruhan.

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammadpour 2023 menggunakan simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa tingkat asupan air dan konsentrasi merkuri merupakan parameter paling kritis dalam indeks bahaya untuk anak-anak dan orang dewasa. Konsentrasi timbal juga merupakan faktor terpenting dalam analisis risiko kanker. (59,3%). Sedangkan tingkat pengetahuan subyek penelitian pada kategori baik sebanyak 19 orang (35,2%), kategori cukup 33 orang (61,1%) dan kategori kurang sebanyak 2 orang (3,7%).

Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk meneliti analisis risiko kesehatan pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas maka diperoleh rumusan masalah yaitu bagaimana analisis risiko kesehatan pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk menganalisis risiko kesehatan pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali melalui pendekatan Monte Carlo di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Untuk menganalisis zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.
2. Untuk menganalisis rata rata laju asupan, frekuensi pajanan, durasi pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.
3. Untuk menganalisis tingkat asupan harian (*intake*) frekuensi pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.
4. Untuk menganalisis rata rata tingkat risiko (*Risk quotient*) pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

1. Melalui penelitian diharapkan memperkuat bukti-bukti empiris terkait potensi tingkat risiko dari pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali
2. Menjadi sumber pengetahuan tambahan bagi pembaca terkait analisis risiko pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali pada masyarakat melalui pendekatan montecarlo di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Masyarakat

Melalui penelitian ini diharapkan masyarakat mendapatkan informasi terkait adanya potensi bahaya dari pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali pada masyarakat sehingga semakin menyadari pentingnya menjaga lingkungan dari kegiatan pencemaran pada kualitas air di Kelurahan Banta-Bantaeng Kota Makassar.

2. Peneliti Selanjutnya

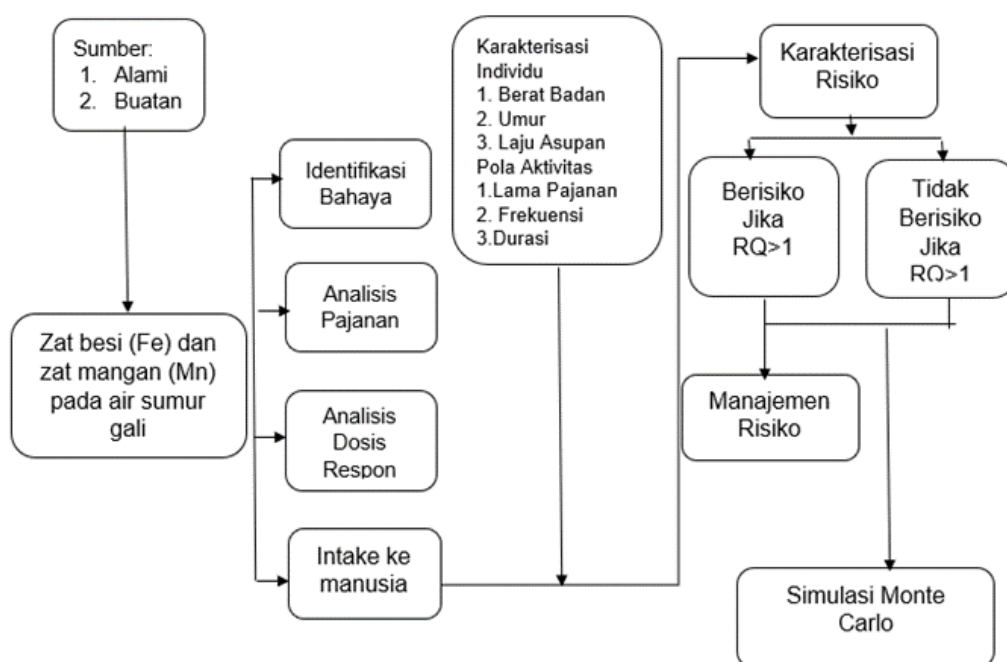
Melalui penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi, kajian, landasan ilmiah yang mendorong dalam penelitian lebih lanjut.

3. Instansi Pemerintahan

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dalam merumuskan kebijakan yang perlu diambil dalam upaya pencegahan dampak dari pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali

1.5 Kerangka Teori Penelitian

Teori adalah alur logika atau penalaran, yang merupakan seperangkat konsep, definisi, dan proposisi yang disusun secara sistematis (Sugiyono 2017). Berdasarkan tinjauan pustaka, disusun suatu kerangka teori bagaimana Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali melalui pendekatan simulasi Monte Carlo di Kelurahan banta-bantaeng Kota Makassar yang skemanya disajikan pada gambar berikut;



Gambar 1. Kerangka Teori Penelitian

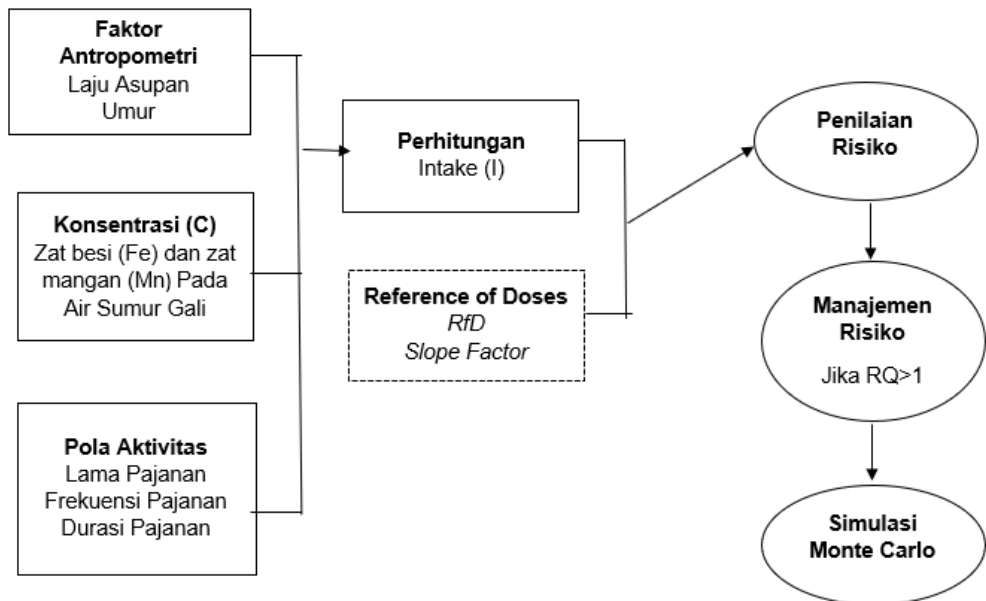
Pencemaran air yang diindikasikan dengan turunnya kualitas air sampai ke tingkat tertentu akan menyebabkan air tidak dapat sesuai dengan peruntukannya. Penetapan baku mutu air dengan pendekatan golongan perlu disesuaikan dengan menerapkan pendekatan klasifikasi kualitas air (kelas air), sehingga dapat dihitung berapa beban zat pencemar yang diterima oleh air. Kualitas air yang baik akan sesuai dengan peraturan yang dikeluarkan oleh pemerintah tersebut dengan kadar (konsentrasi) maksimum yang diperbolehkan (Faisal *et al.*, 2019).

Terakumulasinya polutan-polutan ke air tanah baik secara langsung maupun tak langsung akan menurunkan kualitas air tanah baik secara fisik, kimia maupun mikrobiologi. Secara alami air tanah memiliki daya dukung (*carying capacity*) untuk memurnikan sendiri (*self furification*), terutama air tanah dalam yaitu melalui filtrasi pori tanah maupun akar-akar tanaman. Akan tetapi jika polutan dalam volume banyak atau memiliki dosis tinggi seperti limbah B3 (bahan berbahaya beracun) ataupun logam berat maka akan melampaui daya dukung yang dimiliki perairan tersebut. Jika penurunan kualitas air tersebut melampaui ambang batas (baku mutu) yang ditetapkan sesuai dengan peruntukannya, maka air tersebut dikatakan tercemar (Sundra, 2006).

Zat besi (Fe) dengan kadar kecil pada air tidak menimbulkan gangguan kesehatan dan dapat bermanfaat bagi tubuh, salah satunya untuk pembentukan hemoglobin. Mangan (Mn) apabila dalam dosis tinggi bersifat toksik. Toksisitas Mangan (Mn) pada konsentrasi rendah relatif sudah tampak (Antika *et al.*, 2019). Apabila kelebihan Mangan (Mn) pada tubuh dapat menimbulkan efek-efek kesehatan seperti gejala insomnia, serangan jantung, gangguan pembuluh darah, lemah pada kaki dan otot muka, bahkan kanker hati (Agustiani *et al.*, 2014).

1.6 Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep ini terdiri dari variabel dependen dan variabel independent. Hubungan antara variabel independen dan variabel dependen digambarkan dalam bagan dibawah ini;



Gambar 2. Kerangka Konsep Penelitian

1.7 Definisi Operasional Dan Kriteria Obyektif

Tabel 1. Definisi Operasional Dan Kriteria Obyektif

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Skala	Kriteria Objektif
Variabel Independen					
1	Konsentrasi zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali	Besarnya kandungan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali di kelurahan banta-bantaeng kota makassar dalam satuan mg/l	Pemeriksaan laboratorium untuk mengidentifikasi kandungan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali	Rasio	-
2	Berat Badan	Berat badan responden (kg) saat dilakukan penelitian	Pengukuran langsung menggunakan timbangan berat badan	Rasio	-
3	Laju Asupan	Laju Konsumsi atau banyaknya volume air yang masuk /dikonsumsi setiap hari	Wawancara dan kuesioner, dengan satuan L/day	Rasio	-
4	Durasi Paparan	Lamanya waktu (tahun) kontak responden dengan risk agent di tempat penelitian (lama tinggal di lokasi)	Wawancara menggunakan kuesioner	Rasio	-
5	Frekuensi Paparan	Lama atau jumlah hari (hari/tahun) terjadinya paparan kandungan zat besi (Fe) dan zat mangan setiap tahunnya (350 hari/tahun untuk nilai default residensial)	Wawancara dan kuesioner, dengan satuan day/year	Rasio	-
6	<i>Time Average</i> (t avg)	Periode waktu rata-rata (hari) untuk efek karsinogenik (70 tahun x 365 hari/tahun) dan efek non-karsinogenik (30 tahun x 365 hari/tahun)	Dalam jam/hari	Rasio	-

7	<i>Intake (I)</i>	Jumlah konsentrasi/besaran risiko paparan zat besi (Fe) dan zat mangan yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	Melakukan perhitungan berdasarkan paparan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) dengan rumus : $I = \frac{C \times R \times fE \times Dt}{Wb \times t \text{ avg}}$ Dengan satuan mg/kg/day	Nominal	-
Variabel Dependen					
1	Tingkat Risiko	Nilai prakiraan besarnya kemungkinan terjadinya gangguan kesehatan pada manusia	Perhitungan tingkat risiko Kesehatan dengan rumus <i>Risk Quetient</i> (RQ) berdasarkan besarnya intake dan dosis referensi (<i>RfD</i>) Nilai <i>RfD</i> besi (Fe) = 0.70 mg/kg/day. Nilai <i>RfD</i> mangan (Mn) = 0.14 mg/kg/day. Dengan rumus = $RQ = \frac{I}{RfD}$	Rasio	RQ > 1 adalah indikasi besarnya risiko untuk terjadinya gangguan kesehatan sehingga perlu dilakukan pengendalian dan manajemen risiko RQ ≤ 1 adalah indikasi kecilnya risiko untuk terjadinya gangguan kesehatan sehingga perlu mempertahankan kondisi tersebut

1.8 Tabel Sintesa

Tabel 2. Sintesa penelitian

No	Nama/Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
1	O.O. Elemile <i>et al</i> , 2022	Discerning potable water sources using Monte Carlo based simulation for health risk assessment in Omu-Aran, Nigeria	Untuk memperkirakan risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh paparan HMs menggunakan metode deterministik dan probabilistik..	<i>Risk Assessment</i> dengan pendekatan monte carlo	Nilai Indeks Bahaya (HI) yang dihitung untuk anak-anak dan orang dewasa menunjukkan kemungkinan melebihi nilai HI 1 lebih besar pada anak-anak (90%) dibandingkan pada orang dewasa (16%) setelah terpapar Cr di rumah sakit. Nilai risiko karsinogenik seumur hidup terkomputasi (LTCR) melalui jalur oral untuk paparan Pb jauh di bawah 10^{-4} , oleh karena itu, tidak ada risiko karsinogenik yang diharapkan setelah terpapar Pb. Sebaliknya, untuk HWS, nilai LTCR untuk paparan Cr pada anak-anak berkisar antara 0 hingga $2,14 \times 10^{-4}$, menunjukkan bahwa kadar Cr saat ini menimbulkan risiko, terutama untuk anak-anak
2	Lobzang Chorol, Sunil Kumar Gupta, 2023	Evaluation of groundwater heavy metal pollution index through analytical	Untuk menggambarkan penilaian kontaminasi logam berat	<i>Risk Assessment</i> dengan pendekatan monte carlo	Analisis risiko jalur multi-paparan menggunakan simulasi Monte Carlo mengungkapkan bahwa

No	Nama/Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
		hierarchy process and its health risk assessment via Monte Carlo simulation	menggunakan HPI berbasis AHP dan risiko kesehatan yang terkait melalui simulasi Monte Carlo		persentil ke-95 dari risiko karsinogenik pada anak-anak ($5,54E-03$) sekitar 3 kali lebih tinggi daripada orang dewasa ($2,38E-03$). Risiko non-karsinogenik dievaluasi menggunakan kuantifikasi Indeks Bahaya (HI) yang mengikuti urutan $Cr > Mn > Cd > Fe > Ni > Zn$. Analisis sensitivitas mengungkapkan bahwa konsentrasi logam merupakan faktor berpengaruh utama diikuti oleh berat badan dan durasi paparan yang menyebabkan risiko kesehatan secara keseluruhan.
3	Mohammadpour et al, 2023	The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in drinking water from Shiraz, Iran: a health risk assessment of samples	Untuk memperkirakan dampak nonkarsinogenik dan karsinogenik dari Pb, Hg, Mn, dan Fe pada anak-anak dan orang dewasa yang terpapar melalui konsumsi.	<i>Potentially toxic elements (PTEs) with monte carlo</i>	Simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa tingkat asupan air dan konsentrasi merkuri merupakan parameter paling kritis dalam indeks bahaya untuk anak-anak dan orang dewasa. Konsentrasi timbal juga merupakan faktor terpenting dalam analisis risiko kanker. (59,3%). Sedangkan

No	Nama/Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
					tingkat pengetahuan subyek penelitian pada kategori baik sebanyak 19 orang (35,2%), kategori cukup 33 orang (61,1%) dan kategori kurang sebanyak 2 orang (3,7%).
4	Sohrabi <i>et al</i> , 2021	A probabilistic-deterministic analysis of human health risk related to the exposure to potentially toxic elements in groundwater of Urmia coastal aquifer (NW of Iran) with a special focus on arsenic speciation and temporal variation	Untuk mengevaluasi risiko kesehatan manusia sehubungan dengan konsumsi air tanah yang terkontaminasi unsur beracun	Pendekatan estimasi risiko probabilistik dan deterministik	Nilai rata-rata dari indeks bahaya yang diperkirakan untuk As paparan dari kombinasi jalur konsumsi dan kontak kulit melebihi tingkat aman 1,0 untuk orang dewasa dan anak-anak, menunjukkan potensi risiko kesehatan non-karsinogenik. Total risiko kanker yang disebabkan oleh air tanah As melebihi batas yang dapat diterima yaitu 1×10^{-4} . Analisis sensitivitas menyoroti durasi paparan, konsentrasi unsur dalam air, dan waktu rata-rata sebagai variabel paling signifikan yang menyebabkan kemungkinan risiko kesehatan.
5	Chao Zhao <i>et al</i> , 2022	Characterization of drinking groundwater quality in rural areas of	Untuk menganalisis ketidakpastian dan sensitivitas dalam	<i>Risk Assessment</i> dengan pendekatan monte carlo	Mengungkapkan bahwa sementara hazard quotient (HQ) menunjukkan bahwa

No	Nama/Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
		Inner Mongolia and assessment of human health risks	penilaian risiko kesehatan		risiko kontaminasi elemen tunggal lemah, indeks bahaya (HI) menunjukkan potensi risiko kesehatan bagi penduduk setempat. Risiko karsinogenik kumulatif (CCR) yang diamati menunjukkan kemungkinan risiko bahaya kesehatan karsinogenik di wilayah studi. Analisis sensitivitas mengungkapkan bahwa tingkat konsumsi harian (IR), frekuensi paparan (EF), dan konsentrasi As, Mn, F-, dan Cr adalah parameter yang paling berpengaruh untuk bahaya kesehatan.
6	Tapos Kumar <i>et al</i> , 2023	Arsenic, iron, and manganese in groundwater and its associated human health risk assessment in the rural area of Jashore, Bangladesh	Untuk menyelidiki polusi air tanah dan potensi risiko kesehatan manusia dari arsenik, besi, dan mangan di daerah pedesaan Jashore, Bangladesh.	Human health risk assessment with monte carlo	Nilai rata-rata pH air tanah adalah $7,25 \pm 0,31$, dengan konduktivitas rata-rata $633,94 \pm 327,41 \mu\text{S/cm}$, sementara sekitar 73, 97, dan 91% sampel air tanah melebihi batas standar air minum Bangladesh untuk As, Fe, dan Mn, masing-masing. Dalam kasus risiko kesehatan non-karsinogenik melalui paparan

No	Nama/Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
					oral, sekitar 94% sampel menunjukkan kategori risiko tinggi untuk bayi, dan 97% sampel ditemukan berisiko tinggi untuk anak-anak dan orang dewasa.
7	Hadi Islami <i>et al</i> , 2022	Potentially toxic metal concentration, spatial distribution, and health risk assessment in drinking groundwater resources of southeast Iran	Untuk mengetahui konsentrasi dan sebaran spasial logam berpotensi toksik (PTM), antara lain arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe), mangan (Mn), dan magnesium (Mg) di 23 sumur dan jaringan distribusi air minum di Rafsanjan, yang terletak di tenggara Iran telah dievaluasi.	<i>Risk Assessment</i> dengan pendekatan monte carlo	Rata-rata konsentrasi logam lain, termasuk Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, dan Mn di semua sumber air minum berada dalam batas standar WHO. Rata-rata hazard quotient (HQ) untuk As pada kelompok usia anak-anak adalah 9,246 dan dewasa 2,972, menunjukkan risiko As non-karsinogenik yang tinggi di daerah penelitian. Risiko kanker seumur hidup (LTCR) dari As adalah $1,36E-3$ untuk orang dewasa dan $1,52E-2$ untuk anak-anak, menunjukkan risiko As non-karsinogenik yang tinggi. Tingkat HQ dan LTCR untuk Pb pada kedua kelompok umur berada dalam kisaran yang dapat diterima.

No	Nama/Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
8	Fadillah dan Mulia, 2022	Analisis Paparan Besi dan Mangan Pada Air Tanah Terhadap Kesehatan Masyarakat Desa Lakardowo Kabupaten Mojokerto	Untuk mempelajari kualitas air dengan parameter Fe dan Mn pada air bersih yang bersumber dari air tanah (sumur bor) warga yang dekat dengan industri pengelola limbah B3 dan gangguan kesehatan masyarakat	Kualitatif deskriptif dengan pendekatan <i>crosssectional</i>	2 dari 9 sampel air diatas baku mutu Fe air higiene sanitasi dengan nilai tertinggi 1.23 mg/l dan 1 dari 9 sampel air diatas baku mutu Mn air higiene sanitasi dengan nilai tertinggi 10.6 mg/l. Gangguan kesehatan masyarakat yang dirasakan di sekitar industri pengelolaan limbah B3 adalah gatal-gatal dengan gejala serupa
9	Wang Lijuan, <i>et al</i> , 2022	Environmental and Health Risks Posed by Heavy Metal Contamination of Groundwater in the Sunan Coal Mine, China	Untuk mengetahui potensi dampak pencemaran logam berat (As, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, dan Zn) terhadap kualitas lingkungan dan manusia.	<i>Environmental and Health Risks</i>	22% dan 31% dari lokasi pengambilan sampel masing-masing memiliki kualitas air “sangat baik” dan “baik”. Konsentrasi Fe dan Mn yang berlebihan terdeteksi masing-masing pada 47% dan 72% sampel. Nilai risiko kesehatan non-karsinogenik As, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, dan Zn berada di bawah tingkat risiko kesehatan yang dapat diabaikan yang ditetapkan oleh berbagai lembaga lingkungan. Peringkat konten adalah

No	Nama/Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
					sebagai berikut: Fe > Mn > Cr > Cu > Pb > Zn > As, dengan Fe terhitung 43%.
10	Senoro <i>et al</i> , 2022	In Situ Measurements of Domestic Water Quality and Health Risks by Elevated Concentration of Heavy Metals and Metalloids Using Monte Carlo and MLGI Methods	Untuk mengetahui distribusi spasial dari konsentrasi zat pencemar logam berat dan risiko kesehatan	<i>Monte Carlo and MLGI Methods</i>	Indeks kesehatan (HQI) untuk As dan Pb secara signifikan lebih besar dari 1 di semua sumber air, menunjukkan kemungkinan risiko kesehatan yang signifikan (SDM) untuk penduduk provinsi pulau. Selain itu, As menunjukkan risiko karsinogenik (CR) tertinggi, yang diamati pada sampel TW. Ini menyumbang 89,7% dari total CR yang diamati di TW. Selain itu, semua lokasi pengambilan sampel melebihi tingkat ambang batas maksimum yang direkomendasikan sebesar $1,0 \times 10^{-4}$ oleh USEPA.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian observasional menggunakan metode *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA) atau Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dengan tujuan menilai atau memperkirakan besaran risiko kesehatan manusia yang disebabkan oleh paparan bahaya lingkungan.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Agustus 2023. Lokasi penelitian dan tempat pengambilan sampel berada di Kelurahan Banta-bantaeng Kota Makassar. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya yang menemukan bahwa kadar besi dan kadar mangan pada air sumur gali yang digunakan oleh masyarakat dalam kegiatan sehari-hari cukup tinggi. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel air sumur gali yang diambil langsung di Kelurahan Banta-bantaeng Kota Makassar, kemudian sampel tersebut dilakukan pemeriksaan di Poltekkes Kemenkes Makassar Jurusan Kesehatan Lingkungan Kota Makassar.

2.3 Populasi dan Sampel

2.3.1 Populasi

1. Populasi Manusia

Populasi manusia dalam penelitian ini adalah masyarakat yang menggunakan air sumur gali yang berada di Kelurahan Banta-bantaeng Kota Makassar.

2. Populasi Lingkungan

Populasi lingkungan dalam penelitian ini adalah semua sumur gali yang berada di Kelurahan Banta-bantaeng Kota Makassar sebanyak 10 sumur gali.

2.3.2 Sampel

1. Sampel Manusia

Pengambilan sampel subjek dilakukan dengan teknik *purposive sampling*. Menurut Sumantri (2011), pada teknik *purposive sampling* sampel ditentukan oleh orang yang telah mengenal betul populasi yang akan diteliti (seorang ahli di bidang yang akan diteliti). Cara ini lebih baik dari cara yang lain karena dilakukan berdasarkan pengalaman berbagai pihak (Budiarto, 2004).

Besaran sampel diperoleh dengan menggunakan rumus lemeshow (1997) dikarenakan jumlah populasi tidak diketahui. Berikut adalah rumus lemeshow:

$$n = \frac{z^2 p (p - 1)}{d^2}$$

Gambar 3. Rumus lemeshow

Keterangan:

n : Jumlah sampel

z : Nilai standar (1.96)

p : Maksimal estimasi = 50% = 0.5

d : Alpha (0.10) sampling eror=10%

Maka diperoleh hasil jumlah sampel minimal yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebanyak 96 responden yang akan dibulatkan oleh peneliti menjadi 100 responden. Alasan peneliti menggunakan rumus lemeshow (1997) karena populasi yang dituju terlalu besar dengan jumlah yang berubah ubah.

Sampel tersebut diambil berdasarkan kriteria kriteria sebagai berikut:

- a. Menggunakan/mengonsumsi air sumur gali
- b. Berada dalam lingkup Kelurahan Banta-bantaeng Kota Makassar.
- c. Masyarakat bersedia untuk dijadikan sebagai responden (diwawancarai)
- d. Responden yang diwawancarai adalah anak anak (usia 5 – 12 tahun) dan dewasa (usia > 26 tahun).

2. Sampel Lingkungan

Sampel air sumur gali dalam penelitian ini diambil di lokasi penelitian yaitu di Kelurahan Banta-bantaeng Kota Makassar dengan jumlah sampel air sumur gali sebanyak 10 (sampel) yang diambil langsung dari sumur dirumah warga. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *convenience sampling* dalam metode *non-probability sampling*, yang biasa digunakan untuk mengatasi berbagai limitasi yang tidak diinginkan dalam riset berskala kecil hingga menengah (Taherdoost, 2016).

2.4 Jenis dan Sumber Data

1. Data Primer, yaitu data yang diperoleh dari hasil wawancara, observasi lapangan, hasil uji laboratorium pemeriksaan kadar besi dan kadar mangan pada air sumur gali, hasil perhitungan analisis pajanan dan risiko kesehatan. Data primer meliputi:
 - a. Dokumentasi lapangan pada saat melaksanakan penelitian
 - b. Data hasil wawancara langsung terhadap responden
 - c. Data interpretasi hasil pengisian kuesioner oleh responden
 - d. Data hasil pemeriksaan sampel kadar besi dan kadar mangan di laboratorium
 - e. Data riwayat kesehatan responden
2. Data Sekunder, yaitu data pendukung yang diperoleh dari penelusuran kepustakaan berupa buku, artikel/jurnal serta media informasi yang dianggap memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dijalankan.

2.5 Teknik Pengumpulan Data

1. Sampel air yang diperoleh adalah air sumur gali yang di peroleh dari sumur yang berada di rumah warga yang digunakan oleh masyarakat, sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisa.

2. Data individu (responden) diperoleh dari hasil wawancara dengan responden yang bertempat tinggal di Kelurahan Banta-bantaengg Kota Makassar. Selanjutnya data yang diperoleh digunakan untuk menghitung laju asupan (*intake*) dari pajanan kadar besi dan kadar mangan yang terkandung dalam air sumur gali kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui sistem pencernaan (*ingesti*). Data berat badan responden diukur menggunakan timbangan berat badan yang diambil langsung pada saat melakukan wawancara.
3. Simulasi Monte Carlo digunakan menemukan nilai yang mendekati nilai sesungguhnya, atau nilai yang akan terjadi berdasarkan distribusi dari data sampling.

2.6 Prosedur Pemeriksaan Sampel

2.6.1 Pemeriksaan Fe metode Rhodanida (Visual)

1. Alat dan Bahan

- a. Tabung nessler 12 buah @100 mL
- b. Aquadest· Pipet ukur
- c. Larutan FECNS 20%
- d. Pipet tetes
- e. Larutan KMnO_4 0,1 N
- f. Rak
- g. Larutan H_2SO_4 4 N
- h. Larutan standar Fe

2.6.2 Pemeriksaan Mn metode Comperator Manganese Test

1. Alat dan Bahan

- a. Komperator dengan disk untuk Mn
- b. Air sampel secukupnya
- c. 2 buah tube
- d. Reagen Mn-1, Mn-2, Mn-3

2.6.3 Cara Kerja

1. Pemeriksaan Fe metode Rhodanida (Visual)

a. Pembuatan larutan standar Fe:

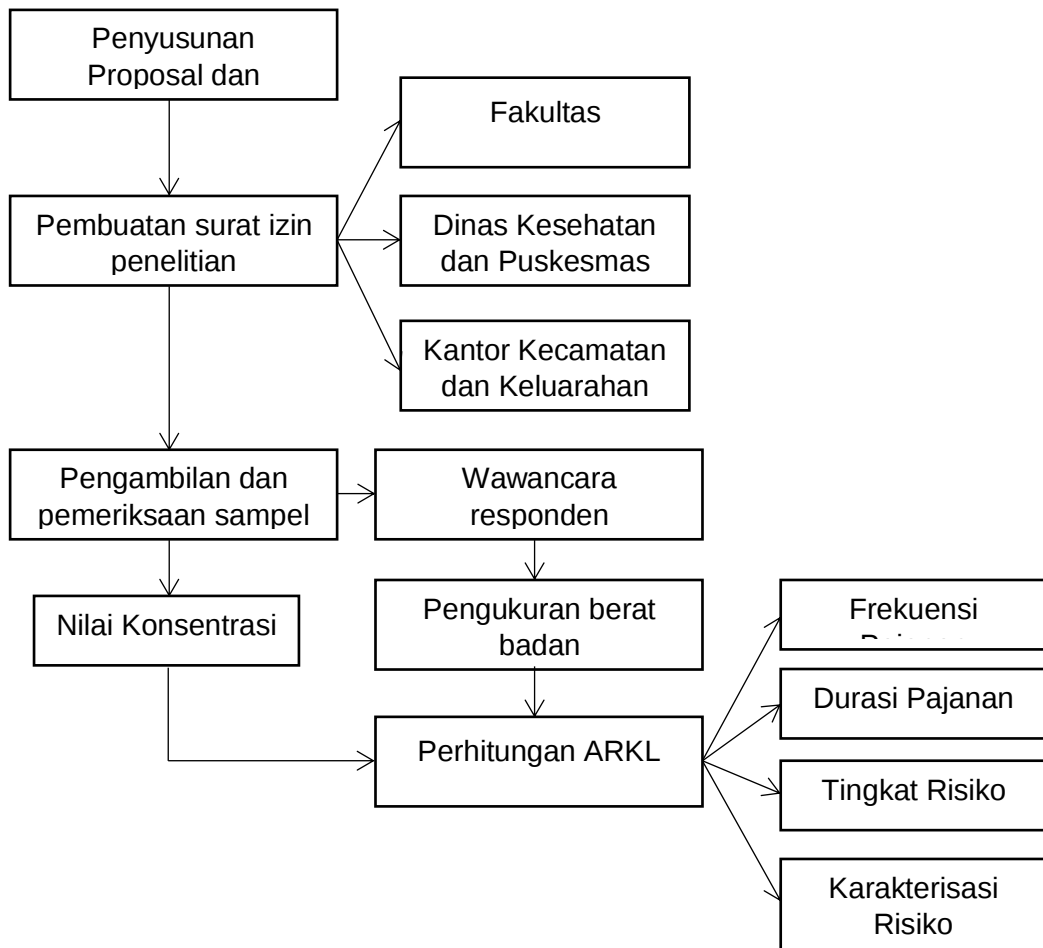
- 1). Isi 10 tabung nessler dengan aquadest masing-masing 100 mL
- 2). Tambahkan masing-masing tabung dengan larutan standar 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 mL
- 3). Tambahkan 2,5 mL larutan H_2SO_4 4N pada masing-masing tabung
- 4). Tambahkan beberapa tetes larutan KMnO_4 0,1N, kocok hingga berwarna merah stabil
- 5). Tambahkan 2,5 mL larutan FECNS 20% dan kocok hingga kuning-coklat.

b. Pemeriksaan Fe dan Mn total

- 1). Isi tabung nessler dengan air sampel sebanyak 10 mL
- 2). Tambahkan 2,5 mL larutan H_2SO_4 4N
- 3). Tambahkan beberapa tetes larutan KMnO_4 0,1N dan kocok sampai berwarna merah muda stabil

- 4). Tambahkan 2,5 mL larutan FECNS 20% dikocok hingga warna stabil
- 5). Membandingkan dengan warna larutan standar Fe dan Mn

2.7 Bagian Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

2.8 Pengolahan dan Analisa Data

2.8.1 Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan salah satu bagian dari rangkaian kegiatan penelitian setelah kegiatan pengumpulan data. Tahapan pengolahan data sebagai berikut:

1. *Editing*, kegiatan ini dilakukan untuk memeriksa kembali isian kuesioner apakah jawaban yang ada pada kuesioner mengenai data antropometrik, pola aktivitas responden sudah lengkap, jelas, relevan dan konsisten

2. *Coding*, kegiatan ini dilakukan untuk mempermudah pada saat analisis data dan juga mempercepat pada saat entry data.
3. *Tabulasi Data*, kegiatan ini dilakukan untuk mengelompokkan data kedalam tabel yang dibuat agar sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian
4. *Entry Data*, setelah semua isian kuesioner terisi dan benar, maka langkah selanjutnya adalah memproses data agar dapat dianalisa. Pemrosesan data dilakukan dengan cara meng-entry data dari kuesioner ke dalam program komputer.
5. *Cleaning*, kegiatan ini dilakukan untuk memeriksa kembali data yang sudah di entry apakah ada kesalahan atau tidak.

2.8.2 Analisa Data (Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan)

1. Identifikasi Bahaya

Mengidentifikasi dan penetapan jenis faktor risiko zat besi (Fe) dan zat Mangan (Mn) pada air sumur gali.

2. Analisis Dosis Respon

Setelah melakukan identifikasi bahaya agen risiko, konsentrasi dan media lingkungan), maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dosis respon yaitu mencari nilai RfD dan/atau RfC, dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL, serta memahami efek apa saja yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia.

3. Analisis Paparan

Selanjutnya dilakukan analisis paparan yaitu dengan mengukur atau menghitung intake/asupan dari agen/risiko. Untuk menghitung intake digunakan persamaan atau rumus yang berbeda. Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan dapat berupa data primer (hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan sendiri) atau data sekunder (pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan oleh pihak lain yang dipercaya seperti BLH, Dinas Kesehatan, LSM, dll) dan asumsi yang didasarkan pertimbangan yang logis atau menggunakan nilai default yang tersedia.

$$ADD = \frac{C \times IR \times ABSg \times EF \times ED}{AT \times BW}$$

Gambar 5. Rumus analisis paparan

Keterangan :

ADD (*Average Daily Doses*): Jumlah konsentrasi agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya (mg/kg/hari)

C (Konsentrasi) :Konsentrasi agen risiko zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) pada air sumur gali (mg/l)

- IR (Rate) : Laju konsumsi atau banyaknya volume air yang masuk setiap harinya dalam tubuh manusia (mg/l)
- ABSg : Nilai konstanta absorption agen risiko melalui ingesti (0.001)
- EF (*Exposure Frequency*): Lama atau jumlah hari (hari/tahun) terjadinya pajanan zat besi (Fe) dan zat mangan (Mn) setiap tahunnya. (350 hari/tahun untuk nilai default residensial)
- ED (*Duration Time*) : Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan. Residual (permukiman) pajanan seumur hidup
- Wb (*Weight of Body*) : Berat badan manusia/populasi/kelompok
- AT (*Average Time*) : Periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun untuk efek non karsinogenik dan 70 tahun x 365 hari/tahun untuk efek karsinogenik)

4. Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko kesehatan dinyatakan sebagai *risk quotient (RQ*, tingkat risiko) untuk efek efek nonkarsinogenik dan *excess cancer risk (ECR)*, *RQ* dihitung dengan membagi asupan non karsinogenik (*Ink*) *risk agent* dengan *RfD* atau *RfC*-nya.

Karakteristik risiko untuk non karsinogenik dilakukan dengan membandingkan atau membagi intake dengan dosis atau konsentrasi agen risiko tersebut. Variabel yang digunakan untuk menghitung tingkat risiko adalah intake (yang didapatkan dari analisis pemajanan) dan dosis referensi (*RfD*) atau konsentrasi referensi (*RfD*) yang didapat dari literatur yang ada (dapat diakses di situs www.epa.gov/iris)

$$THQ = \frac{ADD}{RfD}$$

Gambar 6. Rumus Karakterisasi risiko kesehatan

Keterangan :

THQ : *Target Hazard Quotient*

RfD : Analisis konsentasi respon (nilai RfD Besi (Fe) adalah 0.30 mg/kg/day dan nilai RfD Mangan (Mn) adalah 0.14 mg/kg/day.

ADD : *Average Daily Doses*

Karakteristik risiko untuk efek karsinogenik dilakukan perhitungan dengan mengkali intake dengan SF (*slope factor*). Nilai referensi agen risiko dengan efek karsinogenik didapatkan dari situs www.epa.gov/iris . Rumus untuk menentukan ECR sebagai berikut;

$$ECR = I \times SF$$

Keterangan :

ECR : Tingkat risiko efek karsinogenik (*Excess Cancer Risk*)

SF : Nilai referensi agen risiko (*Slope Factor*)

ADD : *Acceptable Daily Doses*

2.9 Penyajian Data

Cara penyajian data penelitian dilakukan melalui berbagai bentuk. Penyajian data umumnya dikelompokkan menjadi tiga, yaitu penyajian dalam bentuk narasi, penyajian dalam bentuk tabel dan penyajian dalam bentuk grafik (Notoatmodjo, 2010). Data pada penelitian ini diperoleh dari hasil pengambilan sampel dilapangan dan di laboratorium disajikan dalam bentuk narasi.