

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri semen merupakan salah satu sumber pencemar berat bagi lingkungan. Terdapat dampak negatif terhadap lingkungan selama setiap proses produksi semen, mulai dari proses pengadaan bahan baku hingga proses akhir produksi. Bahan baku berasal dari batu kapur (batu kars) yang digali. Pegunungan kapur akan secara bertahap hilang karena terkikis. Industri semen menghasilkan emisi udara dan air yang tinggi bukan hanya dari bahan baku yang diolah melainkan juga dari batu bara sebagai sumber energi yang digunakan. Penggunaan batu bara ini memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan dan kehidupan masyarakat di sekitar pabrik (Sulasmi, Hasanbasri dan Rustamaji, 2022). Bahan baku yang digunakan dalam industri semen adalah batuan sedimen yang banyak mengandung logam yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Logam-logam ini termasuk Ca, Cd, As, Hg, Pb, Cr, Cu, Zn, dan Ni (Farnas, Goembira dan Zulkarnaini, 2023). Logam berat tersebut dapat menjadi sumber pencemaran bagi air, udara, maupun tanah. Sumber pencemaran air dapat berasal dari sumber alam maupun akibat tindakan manusia. Kualitas air menurun menyebabkan air tidak dapat berfungsi dengan baik (Akbar, Daud dan Mallongi, 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh (Irfandi, Ashar dan Chahaya, 2013) mendeskripsikan mengenai Kandungan Cadmium (Cd) Dan Timbal (Pb) Pada Air Sumur Gali Penduduk Di Sekitar Industri Daur Ulang Aki, bahwa terdapat (60%) sumur memiliki risiko pencemaran tinggi. Semua sampel mengandung kadar Cadmium dan Timbal dengan (90%) sampel memenuhi syarat berdasarkan Permenkes No. 416/Menkes/Per/IX/ 1990. Sedangkan berdasarkan Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010 terdapat sampel mengandung kadar Cadmium tidak memenuhi syarat (20%) dan Timbal (100%).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Anggriana, 2011) mengenai Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) Dan Cadmium (Cd) Pada Air Sumur Di Kawasan Pt. Kima dengan menggunakan metode spektrofotometer serapan atom, menunjukkan nilai kandungan logam berat Cd adalah 0,11 mg/l, 0,08 mg/l dan 0,065 mg/l. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, logam dari ketiga sumur tersebut melewati kadar maksimum Persyaratan Kualitas Air Bersih menurut MenKes RI No 416/MENKES/PER/1990 yaitu untuk Timbal sebesar 0,05 mg/L dan untuk Cadmium sebesar 0.005 mg/L sehingga dapat dikatakan bahwa air sumur tersebut telah tercemar dan tidak aman untuk dikonsumsi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Permata, Purwiyanto dan Diansyah, 2018).



akan sumber daya mutlak yang harus ada bagi kehidupan. Hal ini an keberadaan dan kebergunaan air dalam tubuh setiap organisme. r penduduk dunia tidak mempunyai akses ke air bersih (Wulandari, lan Wahyuningsih, 2015). Air dan kesehatan merupakan dua hal rhubungan. Kualitas air yang dikonsumsi masyarakat dapat ajat kesehatan masyarakat tersebut, khususnya air untuk minum. n merupakan kebutuhan esensial, juga berpotensi sebagai media

penularan penyakit, keracunan dan sebagainya. Sumber air baku air minum bisa berasal dari waduk, air hujan, air tanah dan lain sebagainya (Herlina, 2012).

Pencemaran air diindikasikan dengan turunnya kualitas air sampai ke tingkat tertentu yang akan menyebabkan air tidak dapat sesuai dengan peruntukannya. Kualitas air yang baik akan sesuai dengan peraturan yang dikeluarkan oleh pemerintah tersebut dengan kadar konsentrasi maksimum yang diperbolehkan (Faisal dan Atmaja, 2019). Jika penurunan kualitas air tersebut melampaui ambang batas baku mutu yang ditetapkan sesuai dengan peruntukannya, maka air tersebut dikatakan tercemar (Sundra, 2016). 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 et al., 2018).

Salah satu unsur yang menjadi kontaminan air bersih bagi masyarakat adalah logam berat. Logam berat tidak berasal secara alami saja akan tetapi banyak penyebab terjadinya kontaminan logam berat seperti pupuk, pestisida, kendaraan bermotor, industri, pertambangan dan kegiatan lainnya (Irianti *et al.*, 2017). Logam berat timbal secara alami terdapat di alam dalam jumlah kecil pada batu-batuan, lava yang menguap, tanah, dan tumbuhan. Selain timbal, deposisi atmosferik secara alami menyebabkan cadmium ditemukan di tanah dan batuan (Bakri, 2017). Cadmium merupakan logam hasil samping pada proses pemurnian logam Timbal (Pb) dan logam Seng (Zn) di pertambangan timbal dan pertambangan Zn. Peningkatan konsentrasi logam berat seperti Timbal dan Cadmium dapat terjadi karena emisi gas dan abu batubara yang dihasilkan dari pembakaran batubara.

Logam berat dapat berasal dari udara dan air yang terkontaminasi dan dapat menumpuk dalam tubuh manusia dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan (Widayanti dan Widwastuti, 2018). Beberapa efek pencemaran air langsung dikenali, namun juga dapat diidentifikasi atau muncul setelah berbulan-bulan atau bertahun-tahun (Hamzar, Suprpta dan Amal, 2021). Ketika racun berada di dalam air, racun berpindah dari air yang diminum hewan ke manusia saat daging hewan dimakan agar kontaminan masuk ke dalam rantai makanan. Air yang tercemar dapat menyebabkan penyakit seperti tifus, kolera, Diare, hepatitis dan berbagai penyakit lainnya (Fernando, 2021). Jantung dan ginjal manusia dapat terkena dampak buruk jika manusia minum air yang terkontaminasi secara terus-menerus. Masalah kesehatan lain yang terkait dengan air yang terkontaminasi adalah sirkulasi darah yang buruk, lesi kulit, muntah, dan kerusakan sistem saraf. Dampak pencemaran air merupakan penyebab utama kematian manusia di seluruh dunia (Isti Fadiah, Yushardi dan Sudartik, 2023).



Cadmium dapat masuk melalui jalur inhalasi dari polutan udara yang aktivitas industri seperti proses pengelasan dan pemurnian logam (2020). Cadmium juga dapat masuk melalui jalur oral yaitu melalui terkontaminasi. Cadmium merupakan senyawa yang persisten di dan waktu paruh 30-40 tahun (Irianti *et al.*, 2017). Bila konsentrasi masuk tersebut melebihi ambang batas maka biota dari suatu tersebut akan mengalami kematian dan bahkan kemusnahan (Nur, yang masuk kedalam tubuh sebagian besar akan terkumpul

diginjal. Secara umum keracunan Cadmium pada manusia baik secara akut maupun kronis dapat mengakibatkan gangguan pada sistem pernapasan, dan kerusakan pada fungsi ginjal, kemudian Cadmium dalam tubuh diekskresikan melalui saluran pencernaan (Mayaserli dan Rahayu, 2018). Secara umum, tanda-tanda keracunan Cadmium pada manusia baik secara akut ataupun kronis yaitu adanya gangguan pada sistem pernapasan, kerusakan pada fungsi organ hati dan ginjal, pendarahan, serta gangguan terhadap pertumbuhan tulang yang dapat mengakibatkan kerapuhan tulang (Legiarsi dan Yamin, 2022).

Selain cadmium, timbal merupakan salah satu logam berat non esensial yang sulit untuk didegradasi secara alami dan bersifat akumulatif yaitu apabila terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup akan menimbulkan sifat toksik. Timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui kulit, tertelan atau kontak dengan mata kemudian masuk ke dalam peredaran darah dan terakumulasi dalam jaringan, terutama tulang (Fatmawati, 2019). Timbal yang terabsorpsi oleh tubuh 99% akan terikat pada eritrosit, dan 1% menyebar bebas ke dalam jaringan lunak dan tulang, sehingga kadar timbal dalam darah menggambarkan kadar timbal pada tubuh. Selain itu, kadar timbal dalam darah juga menggambarkan refleksi kesinambungan dinamis antara pemaparan, absorpsi, distribusi, dan ekskresi sehingga merupakan salah satu indikator untuk mengetahui dan mengikuti pemaparan yang sedang berlangsung (Arlinda *et al.*, 2023). Timbal yang masuk ke aliran darah dapat mempengaruhi sistem peredaran darah secara langsung karena mempengaruhi sintesis hemoglobin dengan menghambat berbagai enzim utama yang terlibat dalam proses sintesis heme. Timbal kemudian dapat memperlambat pematangan normal sel darah merah dalam sumsum tulang sehingga dapat menyebabkan anemia (Kusumastuti, Setiaini dan Joko, 2020).

Timbal di dalam tubuh manusia lama kelamaan bisa menjadi toksik yang bersifat akut dan kronis. Toksisitas timbal (Pb) akut dapat menimbulkan gangguan gastrointestinal, seperti kram perut, kolik. Sedangkan toksisitas timbal (Pb) kronis bisa mengakibatkan kelelahan, lesu, iritabilitas, kehilangan libido, infertilitas pada laki-laki, gangguan menstruasi, aborsi spontan pada wanita, depresi, sakit kepala, sulit konsentrasi, daya ingat terganggu, dan sulit tidur (Atika, Rahmah dan Fitriyani, 2022). Penyerapan yang terjadi pada salah satu organ tubuh yaitu usus mencapai 5-15% untuk golongan orang dewasa (Ramadhani, 2021).

Berdasarkan pada adanya beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai kondisi air di sekitar wilayah industri, maka dapat terlihat bahwa logam berat Timbal dan Cadmium dapat terkandung dalam beberapa sumber air termasuk air sumur yang berada disekitar wilayah industri. Terutama pada industri-industri



da di dekat permukiman warga tanpa pembatas atau sabut hijau si permukiman dengan lokasi industri, dapat menyebabkan maran (Fitria *et al.*, 2022). Salah satu industri yang besar dan terus wilayah sulawesi selatan yaitu industri seperti PT. Semen Tonasa di goro, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan.

ing Ere merupakan salah satu desa yang lokasinya dekat dengan sa. Sebagian besar masyarakat desa Biring Ere menggunakan air

sumur galian dalam kegiatan sehari-hari seperti mandi, mencuci dan memasak. Namun, beberapa masyarakat memberikan informasi bahwa sebagian dari sumur galian yang mereka gunakan pada kondisi tertentu mengalami perubahan warna menjadi keruh dan berbau sehingga diperlukan analisis lanjut untuk melihat dampak yang dapat dirasakan masyarakat.

Pengukuran rutin yang dilakukan secara berkala di sekitar wilayah Industri PT. Semen Tonasa yang dilakukan oleh PSLH Unhas pada dua laporan pertriwulan terakhir ditemukan bahwa di Jl. Desa Biring Ere pada bulan september 2023 beberapa sumur yang menjadi sampel pemeriksaan ditemukan hasil kandungan Cadmium (Cd) $<0,00004$ mg/L, 0,0012 mg/L, 0,001mg/L, 0,0004 mg/L serta pada laporan bulan November 2023 ditemukan hasil kandungan Kadmium (Cd) $<0,00004$ mg/L, 0,0023mg/L, 0,0019mg/L, dan 0,0007 mg/L. Serta pada hasil pengukuran timbal (Pb) yakni $<0,0002$ mg/L pada pengukuran bulan september dan November. Berdasarkan pengukuran tersebut, konsentrasi kandungan logam berat cadmium pada air sumur cenderung mengalami peningkatan, sedangkan pada logam timbal konsentrasinya cenderung konstan. Meskipun masih berada dibawah nilai ambang batas, jika terakumulasi secara masif dan terus menerus, logam berat tersebut dapat berbahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar yang masih menggunakan air sumur bagi kebutuhan sehari-hari. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menilai dampak yang dapat dirasakan oleh masyarakat.

Metode yang dapat digunakan untuk menilai dampak paparan logam berat pada air terhadap manusia adalah dengan menggunakan metode analisis risiko kesehatan lingkungan. Analisis risiko adalah padanan istilah untuk risk assessment, yaitu karakteristik efek yang potensial merugikan kesehatan manusia oleh paparan bahaya lingkungan. Tujuannya adalah untuk menyediakan kerangka ilmiah guna membantu para pengambil keputusan dan orang-orang yang berkepentingan (legislator dan regulator, industri dan warga negara yang peduli lainnya) dan memecahkan masalah-masalah lingkungan dan kesehatan (P2PL, 2012).

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan adalah proses analisis yang dilakukan untuk menghitung atau mengetahui risiko yang timbul bagi organisme atau populasi karena paparan oleh agen tertentu. Analisis risiko kesehatan lingkungan terdiri dari lima tahap: identifikasi bahaya, analisis dosis respons, analisis paparan, karakteristik risiko, dan manajemen risiko (Rahman, 2007). Dampak buruk terhadap kesehatan yang ditimbulkan oleh agen risiko terjadi karena adanya pemajanan dengan dosis dan waktu yang cukup. Suatu organisme, sistem, sub/populasi terpajan agen risiko di lingkungan Melalui beberapa jalur pemajanan, seperti oral, dermal dan inhalasi. Paparan dan dosis (oral) pada proses ini hampir sama dengan inhalasi, hanya berbeda pada saat zat berbahaya masuk ke dalam

kanan di teruskan di organ pencernaan. Alurnya masuk melalui mengakibatkan *potensial dose*. Zat tersebut kemudian masuk ke an dan diserap oleh tubuh (*observed internal dose*), dan melalui sme menuju ke organ target sehingga menimbulkan efek kesehatan



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana tingkat risiko paparan logam berat Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada air sumur yang digunakan oleh masyarakat Pangkajene Kepulauan.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Menganalisis risiko kesehatan akibat paparan logam berat Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada air sumur yang digunakan oleh masyarakat Pangkajene Kepulauan.

2. Tujuan Khusus

- Menganalisis karakteristik responden (umur, berat badan, dan jenis kelamin).
- Menganalisis kadar konsentrasi Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada air sumur yang digunakan oleh masyarakat desa Biring Ere.
- Mengetahui lama pajanan, laju asupan dan frekuensi pajanan Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada masyarakat desa Biring Ere.
- Menganalisis karakteristik risiko akibat pajanan Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada air sumur yang digunakan Masyarakat desa Biring Ere.
- Mendesain manajemen risiko kesehatan yang dapat dilakukan terhadap populasi yang berisiko.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Ilmiah

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang konsentrasi Cadmium (Cd) dan timbal (Pb) pada air sumur yang digunakan masyarakat Desa Biring dan tingkat risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh logam berat tersebut guna merumuskan upaya-upaya manajemen risiko dan komunikasi risiko sehingga efek yang merugikan kesehatan masyarakat dapat ditekan.

2. Manfaat Institusi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan bagi Pemerintah dan Masyarakat Pangkajene kepulauan khususnya desa Biring Ere dalam rangka peningkatan kualitas kesehatan. Serta diharapkan dapat menjadi bahan referensi dan bahan bacaan yang diharapkan bermanfaat dalam menambah pengetahuan mahasiswa FKM Unhas.

3. Manfaat Praktis

Menambah wawasan dan pengalaman bagi pembaca. Selain itu penelitian ini merupakan salah satu syarat kelulusan di bagian departemen Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas

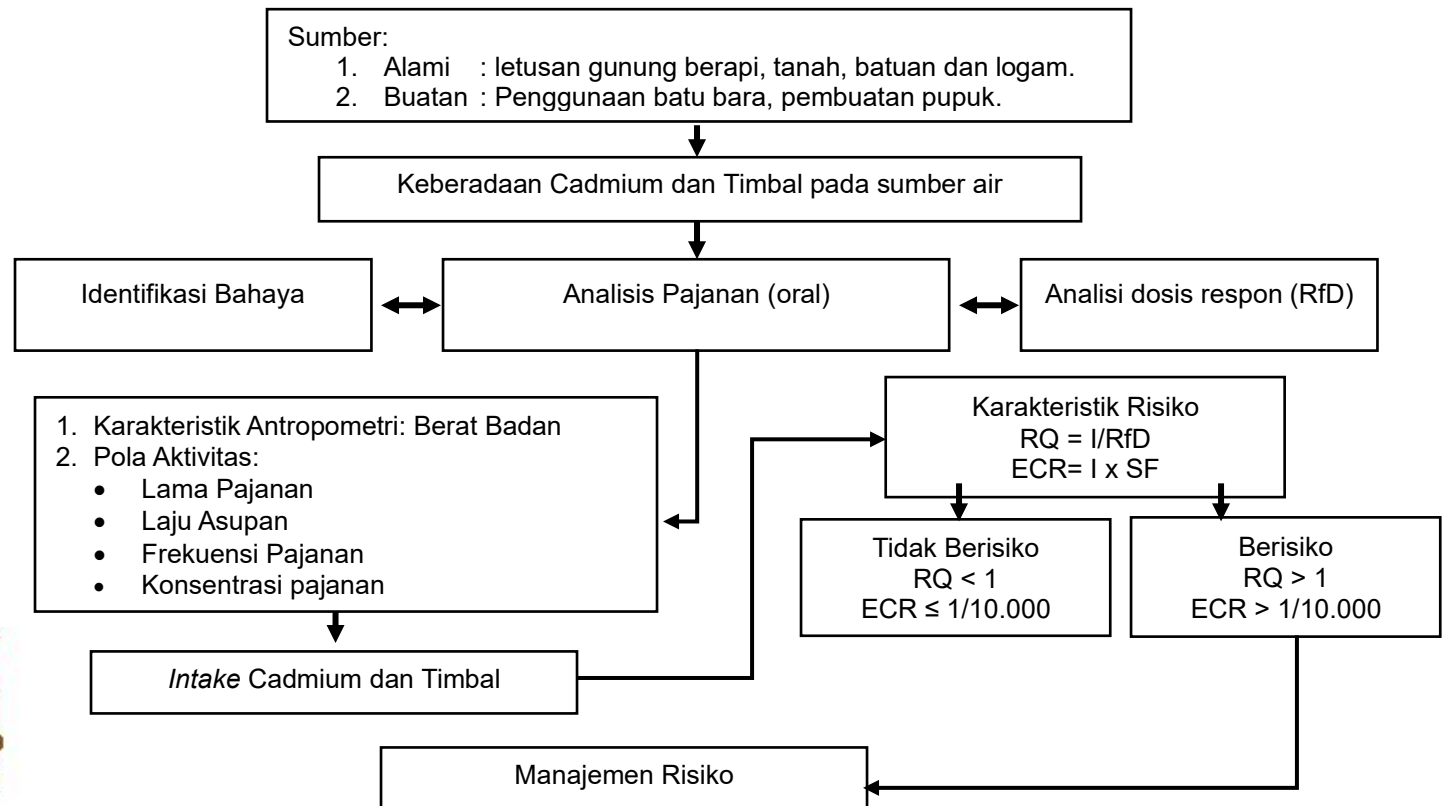


ik Penulis

penelitian ini merupakan pengalaman berharga bagi peneliti dalam kan ilmu yang diperoleh selama mengikuti pendidikan serta wawasan pengetahuan tentang risiko kesehatan lingkungan maran logam berat pada sumber air.

1.5 Kerangka Teori

Teori adalah alur logika atau penalaran, yang merupakan seperangkat konsep, definisi, dan proposisi yang disusun secara sistematis (Junaidin, 2022). Berdasarkan tinjauan pustaka, disusun suatu kerangka teori bagaimana Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan pada Air Sumur Masyarakat Desa Biring Ere, yang skemanya disajikan pada gambar 2.6 berikut ini :



Gambar 1.1 Kerangka Teori Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Sumber : Dirjen P2PL Kemenkes (2012), ATSDR (2004)



Standar Baku Mutu air merupakan nilai yang dibakukan pada media air yang berhubungan atau berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat. Air tanah digunakan untuk keperluan higiene sanitasi yang digunakan untuk pemeliharaan kebersihan perorangan seperti mandi dan sikat gigi, serta untuk keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan, dan pakaian. Selain itu air sumur dapat digunakan sebagai air minum.

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 dan Atmaja, 2019)

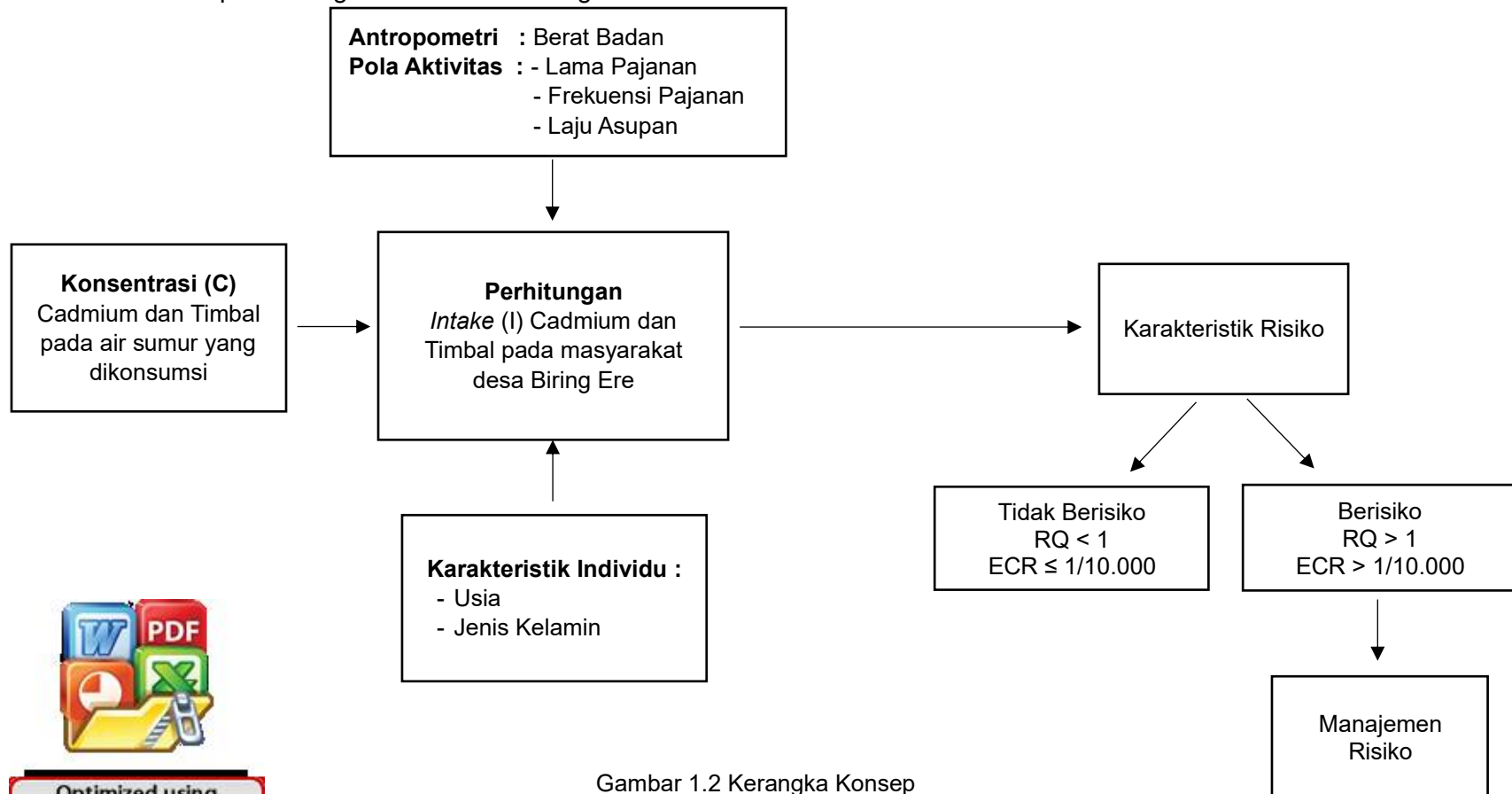
Meningkatnya industri dengan pesat terutama industri yang banyak menggunakan batu bara sebagai bahan baku utama dalam proses produksi yang berada dekat dengan kawasan perumahan tanpa fasilitas penanganan limbah dapat menyebabkan peningkatan pencemaran pada sumber air masyarakat. Terakumulasinya polutan-polutan 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).

Logam berat dalam air tanah apabila terpajan melalui saluran pencernaan (*ingesti*) dapat menimbulkan risiko kesehatan. Paparan Cd secara akut dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal, kanker, sakit kepala, kedinginan hingga menggigil, nyeri otot dan diare bahkan menyebabkan kematian. Keracunan akut akibat Timbal (Pb) dapat merusak jaringan saraf, fungsi ginjal, sistem reproduksi, sistem endokrin dan jantung serta gangguan pada otak sehingga anak mengalami gangguan kecerdasan dan mental (Widowati *et al.*, 2008).



1.6 Kerangka Konsep

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



Gambar 1.2 Kerangka Konsep



Kerangka konsep berperan dalam mendukung perencanaan, pelaksanaan, dan interpretasi penelitian. Mengidentifikasi jenis, sifat dan konsentrasi logam berat serta kemampuan yang melekat pada suatu agen risiko yang menyebabkan dampak buruk organisme, sistem, atau sub atau populasi. Setelah melakukan identifikasi bahaya selanjutnya melakukan analisis dosis respon yaitu mencari nilai RfD, dan atau SF dari agen risiko yang menjadi kajian ARKL, serta memahami efek yang ditimbulkan. Perhitungan analisis pajanan menghasilkan nilai intake (i) minimal dan maksimal untuk mencari nilai tingkat risiko kesehatan yang ditimbulkan dari konsentrasi logam berat dalam sumber air minum. Manajemen risiko dilakukan apabila hasil karakteristik risiko menunjukkan hasil yang tidak aman atau nilai $RQ > 1$. Nilai RQ dihitung dengan membandingkan antara intake (i) atau jumlah konsentrasi logam berat yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu setiap harinya dengan nilai Reference Dose (RfD) dan Slope Factor (SF) yang telah diperoleh berdasarkan literatur. Besarnya risiko dipengaruhi juga oleh berat badan, laju asupan, lama pajanan, dan frekuensi pajanan.



1.7 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Tabel 1.1 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

No	Variabel	Definisi	Alat Ukur	Cara Ukur	Satuan	Skala Ukur
1	Usia	Lamanya waktu yang dilewati oleh responden pada saat dilakukan wawancara terhitung sejak responden lahir hingga penelitian dilakukan.	Kuesioner	Wawancara	Tahun	Rasio
2	Jenis Kelamin	Berkaitan dengan perbedaan organ biologis sejak responden lahir yang terbagi menjadi dua yaitu, laki laki dan perempuan.	Kuesioner	Wawancara	1. Laki-laki 2. Perempuan	Nominal
3	Berat Badan (Wb)	Berat badan responden yang diukur pada saat pengukuran langsung atau observasi dilakukan	Timbangan	Menimbang berat badan	kg	Rasio
4	Konsentrasi Cadmium (Cd)	Konsentrasi Cadmium(Cd) pada air sumur masyarakat desa Biring Ere	<i>Inductively Coupled Plasma (ICP)</i>	Pengukuran menggunakan ICP	mg/kg	Rasio
	Konsentrasi Timbal (Pb)	Konsentrasi Timbal (Pb) pada air sumur masyarakat desa Biring Ere	<i>Inductively Coupled Plasma (ICP)</i>	Pengukuran menggunakan ICP	mg/kg	Rasio



asi
'b)

No	Variabel	Definisi	Alat Ukur	Cara Ukur	Satuan	Skala Ukur
6	Pajanan Personal (Intake)	Banyaknya Cadmium dan Timbal yang masuk kedalam tubuh masyarakat melalui air minum.	<i>Exposure Assessment</i>	$CDI\ Oral = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$	mg/kg/hari	Rasio
7	Frekuensi Pajanan (Fe)	Jumlah hari mengonsumsi atau menggunakan air yang mengandung Cadmium dan Timbal per tahun	Kuesioner	Wawancara	Hari/tahun	Rasio
8	Durasi Pemajanan (Dt)	Lamanya waktu mengonsumsi atau menggunakan air yang mengandung Cadmium dan Timbal di lokasi penelitian dalam tahun	Kuesioner	Wawancara	Tahun	Rasio
9	Laju Asupan(R)	Banyaknya air yang dikonsumsi oleh masyarakat dalam satuan liter perhari	Timbangan	Wawancara dan menggunakan referensi buku	gr/hari	Rasio
10	Tingkat Risiko Non Karsinogenik (RQ)	Besarnya risiko non karsinogenik Cadmium dan Timbal terhadap masyarakat	<i>Software komputer</i>	Rumus Perhitungan $RQ = \frac{1}{RfC/RfD}$	L/mg/kg/hari	Rasio
	Tingkat Risiko Karsinogenik (ECR)	Besarnya risiko karsinogenik Cadmium dan Timbal terhadap masyarakat	<i>Software komputer</i>	Rumus Perhitungan $ECR = Intake_{cancer} \times CSF$	L/mg/kg/hari	Rasio
	Periode Waktu (Ta)	Periode waktu rata rata untuk efek nonkarsinogenik atau efek karsinogenik	-	Efek non karsinogenik =10.950 hari Efek Karsinogenik =25.550 hari	hari	Rasio



1.8 Tabel Sintesis

Tabel 1.2 Sintesis Artikel Terkait Konsentrasi Logam Berat Cd dan Pb

No	Judul	Penulis	Metode	Hasil
1.	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pada Air Minum Masyarakat Di Pulau Kodingareng Dan Barrang Lompo Kota Makassar Tahun 2022	(Azizah, 2022)	<i>Crossectional</i> dengan desain ARKL	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Cadmium (Cd) dalam sumber air minum responden sebesar 0.00019 mg/L, Pb 0.0011 mg/L, CrVI 0.0090 mg/L dan Ni 0.0018 mg/L. Seluruh konsentrasi logam berat masih berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan berdasarkan Permenkes No. 492 tahun 2010 untuk persyaratan air bersih. Tingkat risiko non karsinogenik dari konsumsi air minum yang mengandung logam berat Cd, Pb, CrVI dan Ni menunjukkan bahwa responden tidak berisiko dengan nilai $RQ \leq 1$ pada durasi pajanan 5- 30, paparan Cd dan CrVI menunjukkan bahwa nilai $ECR > 1/10.000$ responden atau tidak aman pada durasi pajanan 30-70 tahun maka perlu dilakukan manajemen risiko yaitu dengan menghitung penentuan batas aman konsentrasi dan jumlah konsumsi aman.
2.	Analisis Kandungan Logam Berat (Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, Dan Mn) Pada Air tanah Dan Potensi Risiko Lingkungan Di	(Pristiyanto, 2019)	Pengujian laboratorium mengacu kepada SNI (Standar Nasional Indonesia)	Hasil pengujian menunjukkan konsentrasi Fe, Cu, Zn, dan Mn masih berada di bawah baku mutu, sedangkan konsentrasi logam Cd 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). Dikarenakan sifat bioakumulasi dan biomagnifikasi logam-logam ini di lingkungan, maka perlu dilakukan pengolahan air agar aman untuk dikonsumsi, salah satunya dengan menggunakan metode koagulasi-flokulasi dan filter multimedia.



No	Judul	Penulis	Metode	Hasil
3.	Analisa Kandungan Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Pada Air Minum Dalam Kemasan Di Kota Ambon	(Dewa <i>et al.</i> , 2015)	Pengujian laboratorium mengacu kepada SNI (Standar Nasional Indonesia)	Hasil penelitian pada 6 sampel sampel yang terdiri dari bermacam-macam merk produk air minum dalam kemasan yang berada di kota Ambon. Sampel dianalisa menggunakan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom). Hasil yang didapat, untuk kandungan timbal (Pb) berurut dari sampel nomer 1 sampai 6 adalah 7.2789 ppb, -0.5595 ppb, -1.5602 ppb, -1.4490 ppb, -0.8931 ppb, 3.8878 ppb. Sedangkan kandungan Cadmium (Cd) adalah -2.3934 ppb, -2.3903 ppb, -2.4074 ppb, -2.3954 ppb, -2.4013 ppb, -2.3926 ppb. Berdasarkan pengukuran tersebut Kadar logam timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) yang berada dalam air sampel masih berada dalam batas nilai yang diijinkan.
4.	Analisis Kandungan Cadmium (Cd) Dan Timbal (Pb) Pada Air Sumur Gali Penduduk Di Sekitar Industri Daur Ulang Aki Dan Gangguan Kesehatan Pada Masyarakat Desa Bandar Khalipah Kabupaten Deli Serdang Tahun 2013	(Irfandi, Ashar dan Chahaya, 2013)	Penelitian deskriptif yaitu untuk mengetahui kandungan Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada air sumur gali penduduk di sekitar industri daur ulang aki	Hasil penelitian yang Dilakukan yaitu terdaoat (60%) sumur memiliki risiko pencemaran tinggi. Semua sampel mengandung kadar Cadmium dan Timbal (90%) memenuhi syarat berdasarkan Permenkes No. 416/Menkes/Per/IX/ 1990. Sedangkan berdasarkan Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010 terdapat sampel mengandung kadar Cadmium tidak memenuhi syarat (20%) dan Timbal (100%). Penduduk yang mengalami gangguan kesehatan setelah menggunakan air sumur untuk keperluan MCK sebanyak (63,0%). Gangguan kesehatan yang dirasakan penduduk meliputi gatal-gatal pada kulit (25,0%).
5.	Analisis Logam Berat Tanah n Kubu Rokan	(Putra dan Mairizki, 2020)	Pengujian laboratorium mengacu kepada SNI (Standar Nasional Indonesia)	Air tanah yang terdapat di Kecamatan Kubu Babussalam telah tercemar oleh logam berat seperti timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe), Cadmium (Cd) dan kromium (Cr). Kandungan Pb yang terdapat di dalam air tanah berkisar antara 0,01-0,06 mg/L, Fe berkisar antara 1,3-2,2 mg/L sedangkan kandungan tiga logam yang lain masih sangat kecil dan berada dibawa nilai LOQ alat ukur yang digunakan. Berdasarkan Permenkes 416/MEN.KES/PER/IX/1990, terdapat satu titik sampel yang memiliki kandungan logam Pb di atas baku mutu,



No	Judul	Penulis	Metode	Hasil
				dan terdapat tujuh titik sampel yang memiliki kandungan logam Fe di atas baku mutu.
6.	Analisis Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) Dan Cadmium (Cd) Pada Air Sumur Di Kawasan Pt. Kima Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (Ssa)	(Anggriana, 2011)	analisis menggunakan spektrofotometer serapan atom	Hasil penelitian menunjukkan nilai kandungan logam berat Cd adalah 0,11 mg/l, 0,08 mg/l dan 0,065 mg/l. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, logam dari ketiga sumur tersebut melewati kadar maksimum Persyaratan Kualitas Air Bersih menurut MenKes RI No 416/MENKES/PER/1990 yaitu untuk Timbal sebesar 0,05 mg/L dan untuk Cadmium sebesar 0.005 mg/L sehingga dapat dikatakan bahwa air sumur tersebut telah tercemar dan tidak aman untuk dikonsumsi.



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Pendekatan dan Jenis Penelitian

Desain studi dalam penelitian ini menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Penelitian dengan menggunakan metode analisis risiko kesehatan lingkungan bertujuan untuk menghitung tingkat risiko gangguan kesehatan yang mungkin terjadi pada masyarakat yang tinggal di Desa Biring Ere. Prosedur penelitian yang digunakan dalam metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan meliputi langkah langkah sebagai berikut yaitu:

1. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam ARKL yang digunakan untuk mengetahui secara spesifik agen risiko apa yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan bila tubuh terpajan. Sebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya dapat ditambahkan gejala gejala gangguan kesehatan apa yang terkait erat dengan agen risiko yang akan dianalisis.

2. Analisis Dosis Respon (*Dose – Respon Assesment*)

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

3. Analisis Pemajanan (*Exposure Assessment*)

Analisis pemajanan dalam studi ARKL dilakukan dengan mengukur atau menghitung *intake* (asupan) dari agen risiko dalam tubuh manusia. Menurut National Research Council (NRC) analisis pemajanan analisis pajanan merupakan proses mengukur atau memperkirakan intensitas, frekuensi, dan durasi pajanan manusia agen lingkungan atau memperkirakan pajanan hipotesis yang mungkin timbul dari pelepasan bahan kimia baru lingkungan.

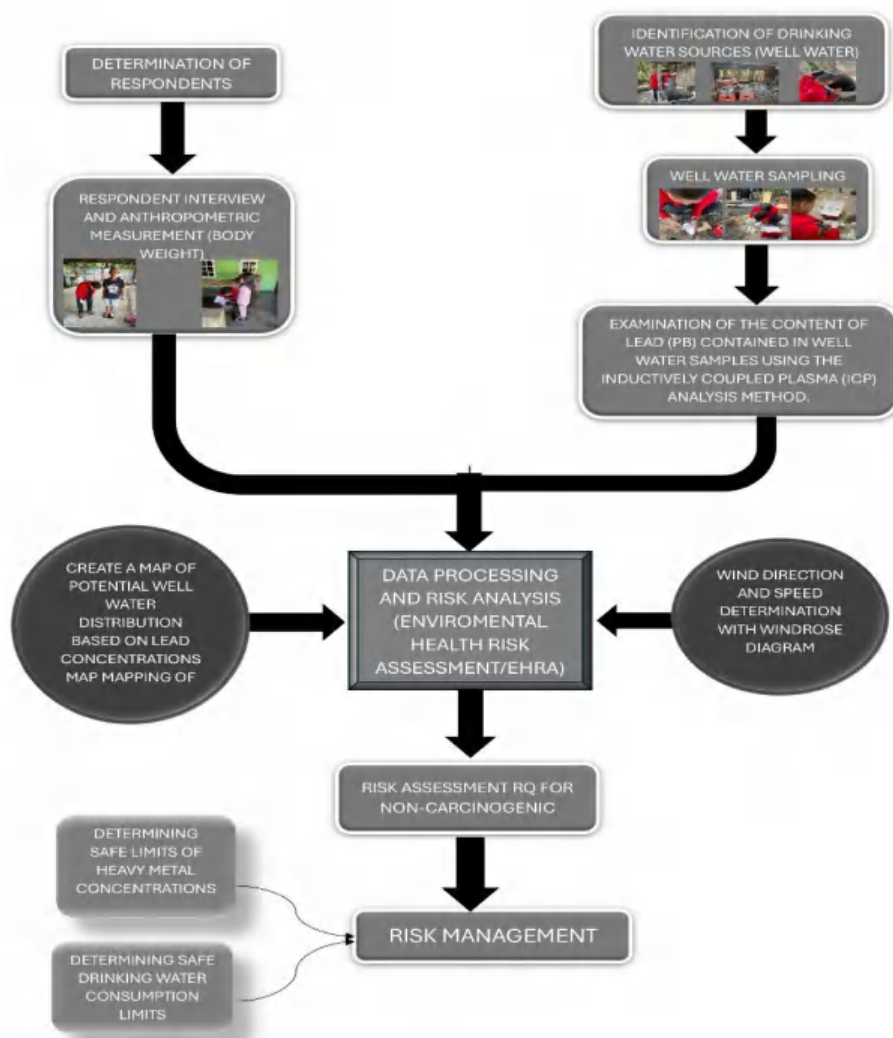
4. Karakteristik Risiko (*Risk Characteristic*)

Karakterisasi risiko adalah proses memperkirakan kejadian efek kesehatan akibat berbagai pajanan yang telah dijelaskan dianalisis pajanan. Karakterisasi risiko dilakukan dengan menggabungkan analisis pajanan dan dosis respon. Karakterisasi risiko dibagi dalam dua hal, yaitu dinyatakan dalam *Risk Quotient* (RQ) untuk efek non karsinogenik dan dinyatakan dalam *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik.

5. Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan langkah selanjutnya di luar ARKL yang dilakukan apabila hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman atau ip kesehatan. Manajemen risiko dilakukan untuk memperkecil i dari suatu agen melalui strategi pengelolaan risiko.





Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Juni Tahun 2024 di Desa Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene Kepulauan, Provinsi Sulawesi Selatan. Pemilihan lokasi di desa Biring Ere karena lokasinya yang sangat dekat dengan industri PT. Semen Tonasa serta masyarakatnya yang masih menggunakan air sumur untuk kebutuhan sehari-hari sehingga memiliki potensi yang besar untuk terkena dampak dari terkontaminasinya air sumur.

Sampel penelitian

Manusia

Populasi dalam penelitian ini adalah masyarakat yang berisiko terpapar logam berat kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) sebanyak 3.738 jiwa penduduk desa



Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene Kepulauan, Provinsi Sulawesi Selatan.

b. Populasi Lingkungan

Populasi lingkungan dalam penelitian ini adalah air sumur untuk keperluan air minum responden atau masyarakat yang berasal dari 250 sumur berbeda.

2. Teknik Pengambilan Sampel

a. Sampel Lingkungan

Sampel air yang diambil pada penelitian ini yaitu sebanyak 20 titik pengambilan sampel. Sampel lingkungan dalam penelitian ini adalah logam berat yaitu cadmium (Cd) dan timbal (Pb) pada air sumur yang ditentukan dengan teknik *purposive sampling*. Teknik pengambilan sampel secara *purposive sampling* yaitu teknik pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu, seperti karakteristik atau ciri-ciri tertentu yang sesuai dengan kriteria inklusi yang telah ditetapkan.

b. Sampel Manusia

Pengambilan sampel manusia dalam penelitian ini, yaitu yang memenuhi kriteria pemilihan sampel seperti yang menggunakan air sumur untuk dikonsumsi. Jumlah sampel yang akan diambil dalam penelitian ini dihitung berdasarkan jumlah sampel sumur, yaitu 2 orang sampel manusia untuk setiap sampel air sumur. Sehingga sampel manusia pada penelitian ini yaitu 40 sampel.

c. Prosedur Pengambilan Sampel Air

Metode pengambilan sumber air sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.58:2008. Sampel air sumur diambil menggunakan botol sampel sebanyak 500 ml selanjutnya ditambahkan dengan asam nitrat (HNO₃) lalu dimasukkan ke dalam cool box dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*) (Ramessur et al., 2001). Menurut APHA *Standard Methods* (1998), untuk pengawetan sampel air yang akan dianalisis kandungan logam beratnya perlu dilakukan penambahan HNO₃ pekat. Setelah sampel diawetkan, sampel dimasukkan ke dalam cool box. Kandungan logam Cadmium dan Timbal diukur dengan menggunakan alat ICP (*Inductively Coupled Plasma*) di Laboratorium.

d. Lokasi Pengambilan Sampel

Penentuan lokasi pengambilan sampel dipilih berdasarkan pengamatan visual daerah dengan pencemaran yang tinggi dan padat penduduk. Lokasi pengambilan sampel dipilih berdasarkan lokasi sumber air terdekat dari industri PT. Semen Tonasa.

e. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Sampel

1) Kriteria Inklusi;

Kriteria Inklusi merupakan kriteria yang apabila terpenuhi maka dapat dijadikan sebagai sampel penelitian. Kriteria inklusi penelitian ini :

responden merupakan masyarakat yang tercatat tinggal di Desa Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene Kepulauan, Provinsi Sulawesi Selatan.

Masyarakat Desa Biring Ere yang menggunakan air sumur untuk konsumsi sehari-hari.



- c) Sampel air sumur yang digunakan merupakan sampel yang di ambil dari sumur masyarakat dengan kondisi terbuka (tanpa penutup sumur).
- 2) Kriteria Eksklusi

Kriteria Eksklusi merupakan kriteria yang apabila dijumpai maka tidak dapat dijadikan sebagai sampel penelitian. Kriteria eksklusi penelitian ini adalah:

- a) Responden tidak bersedia.
- b) Masyarakat warga Desa Biring Ere yang tidak menggunakan air sumur.
- c) Sumur warga yang menggunakan penutup sumur atau berada di dalam rumah.

2.4 Pengumpulan Data

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang didapat secara langsung dari sumber pertama, baik dari individu atau perorangan seperti hasil wawancara atau hasil pengisian kuesioner yang dilakukan oleh penulis. Data primer yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu konsentrasi logam berat Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada air serta karakteristik responden dalam penelitian yang meliputi berat badan, durasi pajanan, frekuensi pajanan.

2. Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini dikumpulkan melalui studi kepustakaan dan data dari pemerintah di lokasi penelitian. Studi kepustakaan yang dilakukan oleh peneliti melalui referensi buku, tugas akhir, jurnal penelitian, artikel, sumber-sumber yang berasal dari internet yang berkaitan dengan pembahasan penelitian ini. Data pemerintah setempat diambil dari *data base* pemerintah.

2.5 Prosedur Penelitian

1. Observasi lapangan.
2. Peneliti melakukan pengurusan surat izin untuk penelitian sebelum melaksanakan penelitian di lapangan.
3. Pengambilan data di lapangan.
4. Wawancara responden
Wawancara responden dilakukan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan dosis pajanan harian seperti karakteristik individu (Laju Asupan, Berat Badan, dan Umur) serta Pola Aktivitas (Lama Pajanan, Frekuensi Pajanan, dan Lama Tinggal).
5. Kemudian peneliti mempersiapkan kuesioner penelitian serta lembar persetujuan penelitian *informed consent*.



utnya peneliti memeriksa kembali data data yang telah diperoleh, ata tersebut diolah dan dianalisis.
 losis pajanan harian yang diterima oleh responden.
 besaran risiko yang akan diperoleh responden.

2.6 Pengolahan dan Penyajian Data

1. *Editing*

Hasil dari wawancara dan observasi di lapangan dilakukan penyuntingan (*editing*) terlebih dahulu, untuk mengidentifikasi dan memperbaiki isian kuesioner penelitian yang bertujuan untuk memastikan agar data yang diperoleh telah diisi semua dengan baik.

2. *Coding*

Tahapan selanjutnya yaitu dengan pemberian kode (*coding*) yaitu mengubah data dari bentuk kalimat menjadi data angka atau bilangan yang sangat berguna dalam proses memasukkan data (*data entry*).

3. Memasukkan Data (*Data Entry*) atau *Processing*

Data Kuisoner yang telah diperoleh dari responden diubah ke dalam bentuk kode kemudian diolah dengan menggunakan *software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)*.

4. Pembersihan Data

Semua data dari responden perlu dilakukan pengecekan kembali untuk melihat kemungkinan terjadinya kesalahan atau ketidaklengkapan, kemudian dilakukan perbaikan.

2.7 Analisis Data

1. Analisis Univariat

Data yang telah terkumpul kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui jenis dan sebaran datanya. Untuk mengetahui sebaran data dilakukan uji normalitas data. Uji normalitas data digunakan untuk mendeteksi distribusi data dari suatu variabel yang digunakan dalam penelitian. Terdapat dua jenis data dalam Analisis univariat yaitu data kategorik dan data numerik. Variabel kategorik yang disajikan dalam penelitian ini diantaranya adalah tempat tinggal dan jenis kelamin. Sedangkan untuk variabel numerik yang disajikan dalam penelitian ini diantaranya adalah konsentrasi Cadmium dan Timbal, berat badan, durasi pajanan, frekuensi pajanan dan lama pajanan. Analisis univariat dilakukan dengan menggunakan *software Microsoft Excel*.

2. Perhitungan *Intake*

a. Data hasil wawancara dengan responden menggunakan instrumen kuosioner dan pengukuran data antropometri serta pemeriksaan konsentrasi masing-masing logam berat di laboratorium PT Sucofindo kemudian dilakukan pengolahan dengan Microsoft Excel untuk memperoleh gambaran secara deskriptif terkait masing-masing variabel yang diteliti.

b. Pengolahan data menggunakan perhitungan analisis risiko yaitu dengan menghitung asupan (*intake*), untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan kat. Perhitungan asupan (*intake*) diperoleh berdasarkan data asi Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada air minum (mg/L), laju L/hr), frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun), durasi pajanan (real lifetime) dalam tahunan, berat badan (kg), periode waktu rata-rata 1 x 365 hari/tahun untuk efek non karsiogenik dan 70 tahun x 365 n untuk efek karsiogenik)



Rumus perhitungan *intake* jalur pemajanan oral (*ingesti*)

$$CDI\ Oral = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Keterangan:

CDI : *Cronic Daily Intake* (mg/kg-hari)

CW : Konsentrasi kontaminan dalam air (mg/liter)

IR : Laju Pencernaan / *ingestion rate* (Liter air/hari)

EF : Frekuensi pajanan/ *exposure frequency* (hari/tahun)

ED : Durasi pajanan/ *exposure duration* (tahun)

BW : Berat badan/ *body weight* (kg)

AT : Rata rata waktu/ *average time* (untuk non karsinogenik, AT=ED x 365 hari)

- c. Berdasarkan Integrated Risk Information System diperoleh nilai referensi atau Referense Dose kadmium (Cd) adalah 0.0005 mg/kg/hari sementara untuk timbal (Pb) adalah 0.004 mg/kg/hari. Nilai Risk Quotient (RQ) digunakan untuk menentukan besaran risiko efek non karsinogenik

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

Keterangan:

RQ : Karakterisasi risiko (Risk Characterization)

RfC : Analisis konsentrasi respons

I : Intake (pajanan)

- d. Nilai Excess Cancer Risk (ECR) digunakan untuk menentukan besaran risiko efek karsinogenik. Berdasarkan Integrated Risk Information System, (US-EPA) dan California Environmental Protection Agency (Cal-EPA) diperoleh nilai SF (slope factor), kadmium (Cd) adalah 15 mg/kg/hari dan untuk logam berat timbal (Pb) adalah 0.085 mg/kg/hari.

$$ECR = I \times SF$$

Keterangan:

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

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

I : *Intake* (pajanan)

3. Pengelolaan Risiko

a. Penentuan konsentrasi aman

Menurunkan konsentrasi agen risiko bila pola dan waktu konsumsi tidak dapat diubah.



$$Ck\ (aman) = \frac{(0.0001/SF) \times Wb \times 70 \times 365}{R \times fE \times fE \times Dt}$$

1. Jumlah Konsumsi Aman (R)

2. Menentukan jumlah konsumsi aman (R) Laju asupan yang dapat dikelola pada pajanan melalui makanan dan air minum (*ingesti*) Untuk jumlah konsumsi aman digunakan rumus sebagai berikut:

$$Rk\ (aman) = \frac{(0.0001/SF) \times Wb \times 70 \times 365}{C \times fE \times fE \times Dt}$$

4. Manajemen Risiko

- a. Mengurangi konsentrasi *risk agent* bila pola dan waktu konsumsi tidak dapat diubah. Cara ini menggunakan prinsip $I_{nk} = RfD$, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$C = \frac{RfD \times W_B \times t_{avg}}{R \times f_E \times D_t} \text{ mg/L}$$

- b. Pengurangan jumlah konsumsi

Upaya lain yang dapat dilakukan untuk menurunkan atau memanipulasi nilai *intake* agar sama dengan *RfD* adalah dengan mengurangi jumlah konsumsi atau dengan kata lain menurunkan laju asupan.

Persamaan yang digunakan dalam manajemen risiko cara ini adalah:

$$R = \frac{RfD \times W_B \times t_{avg}}{C_{As} \times f_E \times D_t} \text{ L/hari}$$

Menjadi:

$$RfD = \frac{C \times R \times t_{avg}}{C_{As} \times f_E \times D_t}$$

- c. Pengurangan durasi pajanan

Cara ketiga untuk dapat memanipulasi *intake* sehingga sama dengan *RfD* adalah dengan mengurangi durasi pajanan.

$$D_t = \frac{RfD \times W_B \times t_{avg}}{C \times R \times f_E} \text{ tahun}$$

