

BAB I PENDAHULUAN

a) Latar Belakang

Komponen dasar yang sangat penting bagi kebutuhan manusia dan kehidupan di bumi adalah air. Air adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui serta berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekologi. Zat ini merupakan salah satu elemen yang paling melimpah di bumi, menutupi hampir 70% dari total permukaan planet. Seiring waktu, sumber daya air telah memberikan berbagai manfaat dan layanan bagi manusia serta perekonomian global. Namun, masih terdapat beberapa wilayah di dunia yang belum dapat memenuhi kebutuhan dasar penduduk akan air minum dan air bersih serta kebutuhan air bagi ekosistem tertentu. Beberapa faktor utama yang menyebabkan kondisi ini antara lain seperti infrastruktur yang kurang memadai dan tidak terawat, eksploitasi berlebihan terhadap air permukaan, pencemaran air dan masih banyak faktor lainnya (Gavrilescu, 2021).

Air sumur menjadi salah satu sarana sumber kebutuhan air bersih maupun air minum bagi masyarakat. Air sumur merupakan air yang terperangkap di dalam batuan atau lapisan tanah di bawah permukaan bumi. Sumber utama air ini adalah infiltrasi air hujan, yang meresap ke dalam tanah dan kemudian terkumpul di celah batuan atau pori-pori tanah. Salah satu sumber air bersih yang paling penting digunakan untuk berbagai tujuan, seperti rumah tangga, pertanian, dan industri. Berbagai faktor, seperti aktivitas manusia, jenis tanah, dan kondisi lingkungan sekitar, serta dapat memengaruhi kualitas air tanah (Addzikri & Rosariawari, 2025).

Air yang berasal dari rembesan sampah serta dapat menyebabkan pencemaran pada tanah, air permukaan, dan air tanah pada lingkungan sekitarnya karena mengandung logam berat yang berbahaya bagi makhluk hidup disebut air lindi (Rachmawati *et al.*, 2024). Air lindi yang telah mencemari air sungai dan air danau dapat merusak ekosistem perairan serta membunuh makhluk hidup yang ada didalamnya. Air lindi terbentuk akibat proses dekomposisi sampah dan menghasilkan berbagai senyawa organik serta anorganik sehingga air lindi memiliki kadar bahan pencemar yang tinggi (Pratiwi *et al.*, 2022)

Logam berat termasuk elemen yang tidak dapat dihancurkan dan menimbulkan efek racun pada tubuh manusia. Efek racun pada tubuh manusia terjadi melalui konsumsi air dan hasil pertanian yang telah terkontaminasi dengan bahan pencemar logam berat. Adapun logam berat yang biasanya mencemari air tanah seperti kadmium, besi, kromium, tembaga dan lain-lain. Bahan pencemar seperti itu dapat menimbulkan dampak buruk dalam jangka

waktu yang panjang terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (S *et al.*, 2024).

Logam berat tembaga (Cu) adalah jenis logam berat yang dihasilkan dari berbagai aktivitas industri, seperti pabrik, pertanian, dan rumah tangga. Tembaga (Cu) termasuk logam yang diperlukan dalam jumlah kecil oleh tubuh, namun jika terkandung dalam jumlah tinggi, logam ini bisa menjadi racun bagi organisme hidup. Akumulasi logam berat dalam jumlah tinggi pada organisme yang dapat dikonsumsi dapat menyebabkan keracunan bagi individu yang mengonsumsinya. Tingkat toksisitas yang ditimbulkan bergantung pada jenis logam berat yang terakumulasi. Beberapa dampak yang ditimbulkan oleh logam berat tembaga (Cu) pada manusia antara lain pusing, mual, kram perut, hingga dampak serius seperti kerusakan organ, termasuk gangguan pada hati dan ginjal (Masruroh & Purnomo, 2023).

Masalah serius saat ini yang terjadi di Indonesia adalah tingginya tingkat konsumsi masyarakat yang mengakibatkan tumpukan sampah yang berlebihan. Namun, tempat sebagai pembuangan sampah berkurang, hal inilah yang dapat menyebabkan terbentuknya sarang penyakit, sumber pencemaran baik itu pencemaran udara, pencemaran tanah, dan pencemaran air. Sistem penanganan dan pengolahan sampah yang belum memadai dapat menyebabkan pencemaran tanah dan akan berdampak pada saluran air tanah (Made *et al.*, 2024).

Berdasarkan data dari SIPSN (2023) mencantumkan bahwa terdapat 313.826 ton/ tahun. Sumber dari timbulan sampah berasal dari rumah tangga, sampah hasil aktivitas kantor, pasar, pusat perbelanjaan, dan berbagai sampah dari aktivitas industri. Jenis sampah yang dihasilkan, seperti sampah organik (limbah makanan sayur, buah, tulang ikan, dedaunan, dan lain-lain), sampah non organik (plastik, kertas, kaleng, dan lain-lain), dan sampah bahan berbahaya dan beracun (B3) seperti kaca, logam, dan lain-lain.

TPA Antang merupakan lahan pembuangan sampah akhir yang berlokasi di Kota Makassar Kelurahan Tamangapa Kecamatan Manggala dan telah beroperasi sejak tahun 1993. TPA ini dirancang dengan kapasitas hanya selama 10 tahun pemakaian, tapi saat ini masih beroperasi, yang berarti TPA Antang telah digunakan lebih dari masa pemakaian yang seharusnya, yaitu selama 20 tahun lebih (Widyanti & Fatmawati, 2022).

Lokasi dari TPA Antang berada berdekatan dengan area permukiman, sehingga sering menimbulkan keluhan dari warga sekitar, terutama mengenai bau tidak sedap, khususnya saat musim hujan. Di sekitar wilayah tempat sampah terdapat berbagai fasilitas umum seperti tempat ibadah, sekolah, serta perkantoran. Sejak tahun 2000, berbagai kompleks perumahan telah dibangun di sekitar TPA, termasuk Perumahan Antang, Perumahan TNI Angkatan Laut, Perumahan Griya Tamangapa, dan Perumahan Taman Asri Indah. Masalah yang muncul terkait dengan kualitas air bersih yang sangat dibutuhkan oleh penduduk. Awalnya, lahan TPA ini memiliki luas sekitar 14,3 hektare sejak tahun 1993 hingga 2014. Namun, seiring meningkatnya volume sampah di Kota Makassar,

dilakukan perluasan dengan menambah beberapa zona, sehingga pada tahun 2015 luasnya bertambah menjadi 16,8 hektare. (Mun'im *et al.*, 2022).

Tempat sampah yang berada di Kecamatan Antang ini berfungsi sebagai pusat pembuangan sampah untuk seluruh wilayah Kota Makassar. Dalam pengelolaannya, TPA ini menerapkan metode open dumping, yang berisiko mencemari air tanah. Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi adalah munculnya cairan lindi, yang dapat meresap ke dalam tanah dan aliran sungai. Hal ini berpotensi menurunkan kualitas air permukaan serta sumur warga di sekitar TPA. Jenis sampah yang terdapat di TPA Antang Makassar sebagian besar terdiri dari sampah organik, yaitu sebesar 80,71%, sementara sampah anorganiknya mencapai 9,23%. Sampah anorganik di lokasi ini diketahui mengandung kadar logam berat yang cukup tinggi (Sabara *et al.*, 2021).

Beberapa penelitian membuktikan bahwa sumur wilayah TPA Antang banyak mengalami pencemaran akibat logam berat. Salah satu penelitian diantaranya, yaitu pada penelitian Asriani (2017), menyimpulkan bahwa kadar logam berat tembaga (Cu) air sumur disekitar TPA Antang Makassar pada jarak 1 – 5 km telah melewati nilai ambang batas untuk keperluan sehari-hari, yaitu pada radius 5 km arah barat sebesar 0.342 ppm dan 5 km arah utara sebesar 0.0579 ppm. Sedangkan pada radius 1 – 5 km arah timur dan selatan masih memenuhi nilai ambang batas sebagai air bersih.

Kontaminasi logam berat merupakan masalah serius karena dapat mencemari tanah dan air tanah, serta menyebar ke wilayah sekitarnya melalui air dan angin, bahkan terakumulasi dalam tumbuhan. Logam berat seperti tembaga (Cu) berisiko menimbulkan gangguan kesehatan, termasuk kerusakan ginjal dan hati, muntah, diare, pusing, anemia, kejang, hingga kematian. Jika suatu lingkungan, terutama perairan, telah tercemar logam berat, proses pembersihannya akan sangat sulit dilakukan (Azizah *et al.*, 2022). Pada orang yang telah mengalami keracunan kronis dapat mengalami timbunan Cu dalam organ hati dan menyebabkan hemolisis (Sugrani *et al.*, 2023).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menilai dampak kesehatan akibat paparan logam berat, seperti tembaga dalam air yang dikonsumsi oleh masyarakat adalah Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). ARKL merupakan proses analisis yang bertujuan untuk menghitung atau mengidentifikasi risiko bahaya akibat paparan agen tertentu. Metode ini digunakan untuk mengenali potensi bahaya dan dampak yang mungkin terjadi, memahami hubungan antara dosis agen risiko dan respon tubuh, mengukur tingkat paparan, serta menentukan tingkat risiko dan efek kesehatannya pada populasi. Selain itu, ARKL juga berperan dalam menilai apakah pengendalian terhadap paparan tembaga diperlukan atau tidak bagi masyarakat.

Berdasarkan uraian data serta permasalahan yang terjadi, membuktikan bahwa cemaran logam berat sangat berbahaya bagi kualitas air. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian pada air sumur masyarakat sekitar TPA Antang Kecamatan Manggala Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu "Bagaimana analisis risiko kesehatan akibat pajanan logam berat Tembaga (Cu) pada air sumur di sekitar wilayah TPA Antang Kecamatan Manggala Kota Makassar?".

Tujuan Penelitian

Tujuan Umum

Tujuan umum dilakukannya penelitian ini yaitu untuk menganalisis risiko kesehatan akibat pajanan logam berat Tembaga (Cu) pada air sumur disekitar wilayah TPA Antang Kecamatan Manggala Kota Makassar.

Tujuan Khusus

Berdasarkan tujuan umum yang telah dipaparkan diatas, maka tujuan khusus penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui konsentrasi tembaga pada air sumur masyarakat disekitar TPA Antang.
- b. Untuk menganalisis nilai pajanan tembaga pada air sumur disekitar TPA Antang.
- c. Untuk menganalisis nilai *Risk Quotient* (RQ) akibat pajanan tembaga pada air sumur disekitar TPA Antang.

Manfaat Penelitian

Manfaat Ilmiah

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi atau acuan untuk penelitian yang membahas mengenai Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Penelitian ini memberikan gambaran tentang kondisi dan kandungan air sumur di Kelurahan Tamangapa dalam hal logam berat tembaga (Cu).

Manfaat Institusi

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber informasi atau masukan tambahan bagi wilayah yang bersangkutan dalam memutuskan kebijakan dan regulasi terhadap upaya pencegahan terkait dampak yang akan ditimbulkan oleh adanya pajanan tembaga di wilayah yang bersangkutan. Melalui hasil penelitian ini, instansi setempat diharapkan mampu melakukan kontrol terhadap sumber air bersih yang digunakan oleh masyarakat.

Manfaat Praktisi

Penyusunan proposal penelitian hingga hasil penelitian menjadi pengalaman penting bagi peneliti. Peneliti mendapatkan tambahan wawasan dan juga pengalaman serta berkesempatan mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama menempuh studi di Program Studi Kesehatan Masyarakat Departemen Kesehatan Lingkungan Universitas Hasanuddin.

Manfaat lain yang diterima oleh peneliti ialah mengetahui informasi tentang kandungan dan risiko kesehatan yang akan terjadi terhadap masyarakat yang ada di wilayah setempat

Kajian Teori

Tinjauan Umum tentang Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Runtunuwu (2020) menyimpulkan, ada 4 metode pembuangan akhir sampah, yaitu:

a. Metode Penimbunan Terbuka (*Open Dumping*)

Metode *Open Dumping* merupakan system pembuangan akhir sampah yang sangat sederhana dibandingkan dengan metode lain. Sampah dibiarkan menumpuk di tempat pembuangan akhir (TPA) tanpa adanya pengelolaan lebih lanjut. Timbunan sampah yang dibiarkan terbuka dapat menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, seperti bau tidak sedap, peningkatan populasi lalat, pencemaran air, serta menurunnya estetika lingkungan. Oleh karena itu, metode ini tidak lagi disarankan untuk digunakan.

b. Metode Lahan Urung Terkendali (*Controlled Landfill*)

Metode *controlled landfill* merupakan penyempurnaan dari sistem penimbunan terbuka. Dalam metode ini, sampah yang ditimbun secara bertahap, kemudian ditutup dengan lapisan tanah untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Saat operasi di TPA selesai, seluruh timbunan sampah akan tertutup sepenuhnya oleh tanah. Metode ini memerlukan upaya dalam usaha pencegahan terjadinya pencemaran air lindi dan gas, Tindakan meliputi:

- a) Pengumpulan air lindi di dasar TPA
- b) Pengumpulan dan penyaluran gas methan
- c) Pengolahan air lindi di dalam kolam-kolam
- d) Pemagaran Lokasi dan sistem drainase merupakan fasilitas tanah

c. Metode Lahan Urung Saniter (*Sanitary Landfill*)

Metode *sanitary landfill* adalah teknik penimbunan sampah dengan menutupnya menggunakan lapisan tanah setiap akhir hari operasional, sehingga tidak ada tumpukan sampah yang terlihat setelah kegiatan selesai. Pengelolaan *leachate* dan gas dalam metode ini lebih efektif dan aman dibandingkan dengan *controlled landfill*. Meskipun metode ini lebih unggul daripada metode sebelumnya, biaya operasional dan pemeliharaannya yang tinggi menjadi kendala bagi pemerintah dalam penerapannya.

d. Metode *Improved Sanitary Landfill*

Metode *improved sanitary landfill* merupakan pengembangan lebih lanjut dari *sanitary landfill*, di mana seluruh air lindi yang terbentuk

dialirkan dan diproses terlebih dahulu di fasilitas khusus sebelum dibuang dengan aman ke lingkungan.

Air yang berasal dari rembesan sampah serta dapat menyebabkan pencemaran tanah, air permukaan, dan air tanah pada lingkungan sekitarnya karena mengandung logam berat yang berbahaya bagi makhluk hidup disebut air lindi (Rachmawati *et al.*, 2024). Air lindi yang telah mencemari air Sungai dan air danau dapat merusak ekosistem perairan serta membunuh makhluk hidup yang ada didalamnya. Proses terjadinya air lindi melalui aliran air yang berasal dari tempat pembuangan sampah kemudian mengalir kedalam tanah melalui proses infiltrasi dan membentuk air tanah selanjutnya terakumulasi dengan logam berat sehingga jadilah air tercemar.

Air lindi mengandung berbagai senyawa organik dan anorganik dalam jumlah besar, termasuk hidrokarbon, natrium, kalium, sulfat, nitrogen, dan logam berat. Seiring berjalannya waktu, konsentrasi zat-zat ini akan meningkat, membuat komposisi air lindi menjadi semakin kompleks dan lebih sulit untuk diolah. Komposisi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti curah hujan, jenis sampah, dan kondisi di tempat pembuangan akhir (TPA) (Suhartini, 2024).

Lindi merupakan limbah cair yang terbentuk akibat masuknya air ke dalam timbunan sampah. Air yang masuk dapat melarutkan berbagai senyawa kimia serta material organik yang berasal dari proses dekomposisi sampah. Kandungan dalam lindi umumnya terdiri dari senyawa organik, anorganik, dan xenobiotik. Jika tidak diolah dengan baik sebelum dibuang, senyawa-senyawa ini dapat mencemari air dan tanah. Cairan yang meresap ke dalam tumpukan sampah akan mengisi rongga-rongga di dalamnya, dan ketika tekanan air melebihi kapasitas, cairan tersebut akan keluar. Dalam proses ini, lindi akan mengekstraksi senyawa organik dan anorganik melalui mekanisme fisika, kimia, dan biologis. Oleh karena itu, jika tidak dikelola dengan baik, lindi berpotensi mencemari lingkungan. Lindi juga mengandung kontaminan organik dalam jumlah besar, yang dapat diukur melalui parameter seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), amonia, serta konsentrasi logam berat yang tinggi (Putri & Purnama, 2022)

Air lindi merupakan air yang berasal dari aliran yang berasal dari tumpukan sampah kemudian menyebar ke aliran bawah tanah dan permukaan sehingga dapat mencemari air tanah. Lindi juga dipengaruhi oleh keadaan cuaca, ketika hujan akan mengakibatkan semakin banyak lindi yang dihasilkan sampah sehingga potensi tercemarnya kualitas air disekitarnya juga sangat besar. Air lindi mengandung berbagai material organik dan anorganik yang berdampak terhadap Kesehatan tubuh makhluk hidup terlebih kepada manusia (Rachmawati *et al.*, 2024).

Dampak air lindi terhadap lingkungan dapat menyebabkan rembesan sampah yang masuk ke dalam saluran drainase atau sungai,

yang pada gilirannya dapat mencemari sumber air. Berbagai organisme seperti ikan, dapat mati mengarah pada kepunahan beberapa spesies, yang mengubah ekosistem perairan biologis. Proses penguraian sampah yang dibuang ke dalam air akan menghasilkan asam organik dan gas cair organik, seperti metana. Selain memiliki bau yang tidak sedap, gas ini juga dapat meledak jika berada dalam konsentrasi tinggi (Puspitaningsari *et al.*, 2024)

Tinjauan Umum tentang Air Sumur

Sumber air yang masih sering digunakan kebanyakan masyarakat untuk dikonsumsi dan keperluan sehari-hari masyarakat, yaitu air sumur. Air sumur yang memiliki sifat fisika seperti rasa asin, pahit, manis ataupun asam menunjukkan bahwa kualitas air telah tercemar. Rasa masam pada air sumur diakibatkan karena adanya kontaminasi asam organik ataupun asam anorganik yang berasal dari aktivitas rumah tangga atau limbah industri sekitar (Nurhajawarsi dan Haryanti, 2023).

Air sumur merupakan salah satu sumber air yang mengandung kadar COD dan BOD. Air ini sering dimanfaatkan oleh masyarakat setempat sebagai air minum, sehingga perlu dimasak terlebih dahulu untuk mengurangi kadar COD dan BOD. Penurunan kualitas air minum salah satunya disebabkan oleh tingginya kandungan COD dalam air. COD mengacu pada jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi atau menguraikan seluruh bahan organik dalam air melalui proses reaksi kimia. Penguraian bahan organik secara kimiawi dilakukan dengan menggunakan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dalam kondisi asam dan pemanasan, dengan perak sulfat sebagai katalis. Oleh karena itu, nilai COD mencerminkan total kandungan bahan organik dalam air (Triarini *et al.*, 2021).

Sumur gali memperoleh air dari lapisan tanah yang cukup dekat dengan permukaan, sehingga rentan terhadap kontaminasi akibat rembesan. Rembesan ini bisa berasal dari limbah manusia atau air limbah rumah tangga, seperti air bekas cucian. Pencemaran air sumur dapat memicu pertumbuhan berbagai jenis bakteri (Sabanari, *et al.*, 2017).

Kontaminasi mikrobiologi pada air sumur umumnya bukan disebabkan oleh konstruksi tangki septik saja, melainkan oleh berbagai faktor lain. Berdasarkan hasil inspeksi sanitasi, ditemukan bahwa sumur gali juga terpapar sumber pencemar lain, seperti kotoran ternak dan galian sampah dalam radius 10 meter di sekitarnya. Tingginya tingkat pencemaran ini dapat menurunkan kualitas air sumur secara mikrobiologi. Pencemaran oleh mikroorganisme penyebab penyakit (patogen) terjadi karena keterbatasan lahan, sehingga pembangunan tangki septik, sistem pengelolaan air limbah (SPAL), dan kandang ternak tidak memperhitungkan jarak yang aman dari sumur gali. Dengan demikian, kualitas air sumur gali tidak hanya dipengaruhi oleh konstruksi tangki

septik, tetapi juga oleh struktur sumur itu sendiri serta jarak antara sumur gali dan sumber pencemar (Achmad et al., 2020).

Sumur adalah Salah satu fasilitas penyediaan air bersih di pedesaan yang banyak diminati masyarakat sebagai sumber air bersih. Secara umum, sumur dibagi menjadi 2 berdasarkan cara pembuatannya, yaitu:

a. Sumur Gali

Sumur gali dibuat dengan cara menggali tanah hingga kedalaman tertentu, biasanya sekitar 10 – 15 meter, sehingga hanya mencapai lapisan air tanah bagian atas. Untuk mencegah kontaminasi dari permukaan, sumur ini dilengkapi dengan bibir sumur kedap air setinggi 2 – 3 kaki di atas lantai sumur. Selain itu, dinding sumur hingga kedalaman 10 kaki dari permukaan tanah juga dibuat kedap air agar air permukaan yang meresap harus melewati lapisan tanah tersebut, sehingga mikroorganisme di dalamnya dapat tersaring dengan baik. Jika sumur gali terkontaminasi, hal ini dapat berdampak buruk pada kesehatan lingkungan dan berisiko bagi kehidupan sehari-hari jika airnya digunakan (Marpaung et al., 2018).

b. Sumur Bor

Sumur bor adalah sumur yang dalam pembuatannya menggunakan mesin bor yang kedalamannya mencapai hingga 30 meter. Secara umum, kualitas air sumur gali cenderung lebih rendah dibandingkan dengan sumur bor. Namun, dalam kondisi tertentu, sumur bor juga dapat mengandung zat berbahaya. Aktivitas seperti pemompaan air yang berlebihan serta karakteristik batuan penyusun dapat mengganggu keseimbangan antara air tawar dan air laut, sehingga berpotensi menyebabkan intrusi. Intrusi ini terjadi ketika air laut, yang memiliki kerapatan lebih tinggi dibandingkan air tanah, mendesak air tanah lebih jauh ke hulu. Namun, tekanan piezometrik air tanah yang lebih tinggi dari permukaan laut serta aliran air dari daratan ke lautan dapat membantu menjaga keseimbangan dan mencegah intrusi. Jika intrusi air laut terjadi, maka kadar salinitas dalam air tanah akan meningkat (Abdul et al., 2021).

Tabel 1.1
Tabel Sintesa mengenai Air Sumur

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
----	---	--------------------------	---	--------	--------

1.	Abdul et al. (2021) https://doi.org/10.31539/bioedusains.v4i2.2346	“Perbandingan Kualitas Air Sumur Galian Dan Bor Berdasarkan Parameter Kimia Dan Parameter Fisika” <i>BIOEDUSAIN S: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains</i>	Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan nilai TDS, pH dan DHL dianalisis secara ANOVA	Pengambilan sampel air sumur bor dan sumur galian dilakukan di 60 rumah warga di sekitar Kampus Kandang Limun Universitas Bengkulu	35% sampel yang memenuhi baku mutu air kelas I, yaitu sampel tersebut terdiri dari 7 sampel sumur gali dan 14 sampel sumur bor. Sebagian besar sampel (53%) memiliki pH yang asam, di bawah 6.5, sedangkan 12% sampel lainnya tidak memenuhi baku mutu dari aspek TDS, DHL, atau keduanya
2.	Marpaung et al. (2018) https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/kesmas/article/view/22938	“Analisis Bakteriologi Air Dan Kondisi Fisik Sumur Gali Di Sekitar Lokasi TPA Sumompo Kecamatan Tuminting Kota Manado” <i>Kesmas</i>	Jenis Penelitian ini adalah deskriptif dan menggunakan pendekatan uji lab untuk pengujian bakteriologi dan observasi lapangan untuk evaluasi kondisi fisik sumur gali.	sumur gali di sekitar TPA Sumompo yang berjumlah 16 sumur gali	Seluruh sumur tidak memenuhi syarat kesehatan berdasarkan aspek kondisi fisik sumur gali. Sumur gali yang berada di dekat TPA Sumompo cenderung mengandung total koliform yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumur gali yang jauh.

Tinjauan Umum tentang Tembaga (Cu)

a. Definisi Logam Berat Tembaga (Cu)

Logam berat tembaga (Cu) adalah jenis logam berat yang dihasilkan dari berbagai aktivitas industri, seperti pabrik, pertanian, dan rumah tangga. Tembaga (Cu) termasuk logam yang diperlukan dalam jumlah kecil oleh tubuh, namun jika terkandung dalam jumlah tinggi, logam ini bisa menjadi racun bagi organisme hidup. Akumulasi logam berat dalam jumlah tinggi pada organisme yang dapat dikonsumsi dapat menyebabkan keracunan bagi individu yang mengonsumsinya. Tingkat toksisitas yang ditimbulkan bergantung pada jenis logam berat yang terakumulasi. Beberapa dampak yang ditimbulkan oleh logam berat tembaga (Cu) pada manusia antara lain pusing, mual, kram perut, hingga dampak serius seperti kerusakan organ, termasuk gangguan pada hati dan ginjal (Masruroh & Purnomo, 2023).

Logam tembaga (Cu) banyak digunakan dalam proses produksi di berbagai industri, baik sebagai bahan baku, katalisator, maupun bahan utama. Logam Cu termasuk dalam kelompok logam esensial karena dibutuhkan oleh organisme pada konsentrasi yang rendah. Namun, pada konsentrasi tinggi, logam Cu dapat bersifat toksik. Keberadaan logam ini dari industri dapat mencemari lingkungan perairan, termasuk perairan laut (Tampubolon *et al.*, 2021).

Logam tembaga dikenal sebagai salah satu logam berat yang memiliki kandungan toksik sehingga berbahaya jika banyak terdapat di lingkungan sekitar terutama pada lingkungan perairan. Ketika aktifitas industri meningkat, maka semakin banyak logam berat toksik yang akan terakumulasi oleh lingkungan air sekitar. Logam berat yang terdapat dalam badan air akan terserap dan terakumulasi oleh tanaman. Kemudian tanah yang telah tercemar limbah logam dapat mengakibatkan tanaman mengalami hambatan dalam pertumbuhannya dikarenakan tanah memiliki sifat kimia dan sifat fisika yang tidak sesuai dengan tanah yang baik (Putri *et al.*, 2023).

Tembaga (Cu) adalah logam berat yang termasuk dalam kategori logam berat esensial, yang berarti meskipun bersifat toksik, logam ini tetap dibutuhkan tubuh dalam jumlah kecil. Sebagai mineral mikro, tembaga hanya terdapat dalam jumlah sangat sedikit dalam tubuh, namun tetap diperlukan untuk berbagai proses fisiologis. Meskipun tubuh membutuhkan tembaga dalam jumlah terbatas, kelebihanannya bisa menyebabkan gangguan kesehatan atau keracunan. Tembaga sangat penting bagi manusia, mamalia, dan ikan, karena berperan dalam metabolisme, pembentukan hemoglobin, hemosianin, dan pigmen yang terlibat dalam pengangkutan oksigen. Jumlah konsumsi tembaga yang direkomendasikan untuk orang dewasa adalah 2,5 mg per kg berat badan per hari, sementara untuk anak-anak dan bayi adalah 0,05 mg per kg berat badan per hari.

Namun, konsumsi melebihi jumlah tersebut dapat berisiko toksik (Leonard, 2023).

Tembaga (Cu) adalah logam berwarna merah muda, lunak, dapat ditempa, dan memiliki sifat liat. Dalam tabel periodik, tembaga memiliki simbol Cu dengan nomor atom 29 dan massa atom standar 63,546 g/mol. Logam ini mencair pada suhu 1038°C dan mendidih pada suhu 2562°C. Tembaga banyak digunakan di industri yang memproduksi peralatan listrik, kaca, dan zat pewarna, sering kali dicampur dengan logam lain seperti perak, kadmium, timah putih, dan seng. Tembaga juga sangat penting dalam proses biokimia pada makhluk hidup, berfungsi mempengaruhi aktivitas enzim sebagai ko-faktor. Pada hewan, tembaga berperan dalam respirasi sel, perlindungan terhadap radikal bebas, neurotransmitter, dan biosintesis jaringan (Lestari *et al*, 2024).

Tabel 1.2
Tabel Sintesa mengenai Definisi Tembaga (Cu)

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
1.	Masrurroh dan Purnomo (2023) https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/article/view/25723	“Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Tumbuhan Akuatik sebagai Indikator Pencemaran di Sungai Brantas Mojokerto” <i>LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi.</i>	Penelitian Deskriptif Observasi. Deskriptif Kuantitatif.	Sampel air dan tumbuhan akuatik pada tiga titik stasiun yakni stasiun 1 di Jalan Hayam Wuruk, stasiun 2 dan stasiun 3 di Jalan Mayjend Sungkono	Hubungan kadar Cu air dan tumbuhan akuatik tidak memiliki korelasi. Kualitas air sungai secara fisika-kimia tergolong baik
2.	Tampubolon <i>et al.</i> (2021) https://doi.org/10.14710/ijocoe.v3i2.11164	“Simulasi Pola Sebaran Logam Berat Tembaga (Cu) di Perairan Kota Pekalongan”	Penelitian Deskriptif Observasi. Deskriptif Kuantitatif.	Sampel air laut di perairan Kota Pekalongan	konsentrasi Cu di perairan Kota Pekalongan berkisar antara 0,011 – 0,007 mg/l.

		<i>Indonesian Journal of Oceanography</i>			
3.	Leonard (2023) https://melatijournal.com/index.php/Metta	"Konsentrasi Logam Berat Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu) pada Perairan Sungai Radda" <i>Jurnal Penelitian Multidisiplin Ilmu</i>	Penelitian deskriptif eksploratif yang dilakukan dengan melakukan analisa terhadap hasil pengukuran kualitas air	Air Sungai pada Sungai Radda	Kualitas air sungai pada parameter Tembaga (Cu) diperoleh hasil sebesar 0,008 mg/l, Besi (Fe) sebesar 0,027 mg/l, dan Mangan (Mn) sebesar 0,007 mg/l menunjukkan bahwa kualitas air sungai tidak melebihi baku mutu

b. Sumber dan Penggunaan Tembaga (Cu)

Tembaga secara alami berasal dari proses geologis, aktivitas vulkanik, dan pelapukan batuan setelah itu tembaga dilepaskan ke lingkungan. Tembaga dalam batuan mengalami pelapukan alami, sehingga ion tembaga masuk ke dalam tanah dan perairan. Kandungan tembaga di dalam tanah berasal dari material induk batuan serta proses geokimia (Liu *et al.*, 2021). Selain itu, tembaga juga berasal dari aktivitas vulkanik, seperti pada letusan gunung berapi melepaskan berbagai logam berat, termasuk tembaga ke atmosfer yang kemudian mengendap di tanah dan perairan (Li *et al.*, 2021).

Tembaga adalah logam non-ferrous yang memiliki struktur kristal kubik dengan pemusatan sisi *Face Centered Cubic* (FCC). Dengan berat jenis 8,94 gram/cm³, tembaga memiliki titik lebur 1085°C. Logam ini juga dikenal memiliki konduktivitas listrik dan panas yang sangat baik, serta memiliki ketahanan korosi yang baik dalam berbagai kondisi (El Maghfiroh & Zaman, 2020).

Dalam kehidupan makhluk hidup, tembaga biasanya digunakan dalam industri elektronik seperti dalam pembuatan kabel Listrik dan pembuatan dalam bidang elektronik lainnya (Xu *et al.*, 2021). Di luar negeri tembaga ditemukan dalam limbah Perkebunan dan pertanian. Penggunaan tembaga juga bisa digunakan dalam pestisida. Selain itu, tembaga juga terdapat pada pakan ternak seperti aditif mineral yang biasanya mengandung mineral dan vitamin bagi kebutuhan nutrisi hewan (De Guidi *et al.*, 2024).

Tabel 1.3
Tabel Sintesa mengenai Sumber dan Penggunaan Tembaga (Cu)

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
1.	Li <i>et al.</i> (2021) https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124472	“Effects on microbiomes and resistomes and the source-specific ecological risks of heavy metals in the sediments of an urban river” <i>Journal of Hazardous Materials</i> ,.	Penelitian ini menggunakan desain penelitian observasional dengan pendekatan deskriptif-analitik.	37 sedimen permukaan dikumpulkan dari Sungai Fuhe	Hasil penelitian menunjukkan Cd, Cu, Zn, Pb dan Mn merupakan polutan utama di sedimen sungai dengan tingkat pengayaan yang bervariasi.
2.	Liu <i>et al.</i> (2021) https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144879	“Quantitative source apportionment, risk assessment and distribution of heavy metals in agricultural soils from southern Shandong Peninsula of China” <i>Science of the Total Environment</i>	Penelitian ini menggunakan desain penelitian observasional dengan pendekatan deskriptif-analitik..	Sampel tanah permukaan di pesisir timur Tiongkok Semenanjung Shandong	Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar tanah yang dikumpulkan tidak terpengaruh oleh As, Cr, Cu, Ni, Pb, dan Zn.

c. Efek yang Ditimbulkan Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) memiliki peran yang penting dalam tubuh makhluk hidup, namun jika kadar melebihi dari yang dibutuhkan oleh tubuh, maka akan memberikan dampak negatif baik itu pada Kesehatan manusia maupun lingkungan. Pada lingkungan perairan, tembaga memiliki toksisitas tinggi terhadap organisme akuatik, terutama pada ikan dan krustasea. Dalam studi penelitian menyatakan

bahwa toksisitas dari Cu akan mengganggu aktivitas pernafasan dan metabolisme organisme akuatik (Smriti et al, 2023).

Limbah cair yang mengandung Tembaga (Cu) dan Perak (Ag) banyak terdapat pada industri pengolahan perak. Jika limbah dibuang langsung ke saluran peresapan, roil, tanah, atau lingkungan sekitar dapat beresiko mencemari air tanah. Paparan logam berat Ag dan Cu dalam jangka pendek dapat menyebabkan gejala seperti pusing, mual, dan kram perut, sedangkan dalam jangka panjang dapat mengakibatkan kerusakan organ, seperti gangguan pada ginjal dan hati (Mauliyah et al, 2020). Organ tubuh manusia yang menjadi target dari tembaga, yaitu hati, ginjal, otak, usus dan jantung (Farida & Yulfiah, 2020).

Tembaga masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur oral dan dengan cepat menyebar ke seluruh tubuh melalui aliran darah. Meskipun tembaga merupakan logam esensial yang berperan dalam metabolisme hemoglobin dan dapat dikeluarkan melalui rambut, keringat, darah menstruasi, feses, serta urine, proses ekskresinya membutuhkan waktu yang cukup lama. Akibatnya, logam berat ini dapat menumpuk di jaringan tubuh, terutama di hati dan ginjal. Jika jumlah tembaga yang masuk ke dalam tubuh terlalu tinggi, maka akan bersifat racun karena sulit untuk dikeluarkan secara efektif (Devina et al., 2018).

Tabel 1.4
Tabel Sintesa mengenai Efek yang ditimbulkan Tembaga (Cu)

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
1.	Smriti et al. (2023) https://doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i4b.2835	"Copper toxicity in aquatic ecosystem: A Review" <i>International Journal of Fisheries and Aquatic Studies</i>	<i>Literature Riview</i>	Organisme yang ada didalam perairan seperti ikan dan krustasea	Hasil penelitian menunjukkan toksisitas dari Cu akan mengganggu aktivitas pernafasan dan metabolisme organisme akuatik.
2.	Farida et al. (2020) https://ejurnal.iats.ac.id/semit	"Pemetaan Kesadahan Airtanah Di Kabupaten Bangkalan"	Penelitian ini menggunakan desain penelitian observasi	Sampel air tanah berjumlah 18 di Kabupaten Bangkalan	Sebaran kesadahan airtanah dipengaruhi oleh faktor

	an/article/view/1065	<i>Prosiding</i>	nal dengan pendekatan deskriptif-analitik.		geologi, yaitu struktur geologi, stratigrafi, produktifitas akuifer, dan kawasan karts.
--	----------------------	------------------	--	--	---

Tinjauan Umum tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah metode yang digunakan untuk mengkaji dan memperkirakan dampak lingkungan terhadap kesehatan. Pendekatan ini bertujuan untuk menjawab berbagai pertanyaan yang dapat memicu permasalahan masyarakat, ketegangan sosial, atau situasi darurat akibat kecelakaan dan bencana. Tujuan utama analisis risiko adalah membedakan antara risiko minor yang dapat diterima dan risiko mayor yang memerlukan tindakan pengendalian. Tingkat rincian dalam analisis ini bervariasi, bergantung pada jenis risiko, tujuan analisis, ketersediaan informasi, data, serta sumber daya yang ada. Analisis risiko dapat dilakukan secara kualitatif, semi-kuantitatif, kuantitatif, atau kombinasi dari ketiganya, tergantung pada kondisi yang dihadapi (Dini arista putri *et al.*, 2022).

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan adalah proses evaluasi atau estimasi risiko kesehatan yang dapat terjadi pada suatu waktu dalam populasi yang berisiko. Kajian ini bersifat prediktif dan bertujuan untuk menentukan karakteristik risiko secara kuantitatif, serta menyediakan opsi manajemen risiko dan strategi komunikasi guna mengurangi risiko tersebut. Dalam analisis ini, diperlukan data kualitas lingkungan yang spesifik terhadap agen dan lokasi, serta informasi mengenai karakteristik antropometri dan pola aktivitas populasi yang terpapar (Erviанти *et al.*, 2021).

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan salah satu metode dalam pengelolaan risiko yang bertujuan untuk melindungi kesehatan masyarakat dari dampak lingkungan yang tidak sehat. Pendekatan ini digunakan untuk menghitung atau memperkirakan risiko terhadap kesehatan manusia, termasuk mengidentifikasi faktor ketidakpastian, menelusuri paparan tertentu, serta mempertimbangkan karakteristik agen yang menjadi perhatian dan karakteristik spesifik dari populasi yang terdampak (Ma'rufi, 2018).

Pelaksanaan ARKL dilakukan dengan 4 langkah yang terdiri dari (Basri *et. al.*, 2015):

a. Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya kimia merupakan metode untuk memahami karakteristik suatu bahan dengan mengamati label pada bahan kimia, serta memperhatikan bentuk, warna, bau, dan sifatnya. Proses ini dilakukan agar bahan kimia dapat ditangani, disimpan, dan digunakan

dengan tepat sehingga potensi bahaya dapat dicegah dan dihindari. Selain itu, identifikasi bahan kimia juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaannya. Cara sederhana dalam mengenali suatu bahan kimia adalah dengan membaca informasi yang terdapat pada label bahan kimia. Identifikasi bahaya merupakan langkah awal dalam analisis risiko kesehatan lingkungan yang bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya. Tahap ini membantu menentukan bahan kimia yang dapat berdampak pada kesehatan manusia, seperti menyebabkan kanker atau cacat lahir.

b. Analisis Dosis Respon

Analisis dosis-respon, yang juga dikenal sebagai *dose-response assessment* atau *toxicity assessment* bertujuan untuk menetapkan nilai kuantitatif toksisitas suatu agen risiko berdasarkan spesies kimianya. Toksisitas ini diukur menggunakan *reference dose* (RfD) untuk efek nonkarsinogenik, sedangkan untuk efek karsinogenik digunakan *Cancer Slope Factor* (CSF) atau *Cancer Unit Risk* (CCR). Tahap analisis dosis-respon sangat penting, hal itu dikarenakan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) hanya dapat dilakukan pada agen risiko yang sudah memiliki data dosis-respon. Dosis referensi dikategorikan berdasarkan jenis paparannya, seperti paparan oral atau tertelan melalui makanan dan minuman. Dalam penetapan RfD, dosis yang dipertimbangkan adalah yang menimbulkan efek paling rendah, yang dikenal sebagai *No Observed Adverse Effect Level* (NOAEL) atau *Lowest Observed Adverse Effect Level* (LOAEL).

Analisis dosis-respons bertujuan untuk menentukan nilai RfD (*Reference Dose*), RfC (*Reference Concentration*), dan/atau SF (*Slope Factor*) dari agen risiko yang menjadi fokus dalam ARKL. Selain itu, analisis ini juga bertujuan untuk memahami berbagai dampak yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko terhadap tubuh manusia. Proses analisis dosis-respons tidak mengharuskan adanya penelitian eksperimental secara langsung, melainkan dapat dilakukan dengan merujuk pada literatur yang telah tersedia.

Tahapan dalam analisis dosis-respons meliputi:

- a) Mengidentifikasi jalur pajanan (*pathways*) yang memungkinkan agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia.
- b) Memahami perubahan gejala atau dampak kesehatan yang muncul akibat peningkatan kadar atau dosis agen risiko dalam tubuh.
- c) Menentukan nilai referensi seperti RfD, RfC, atau SF untuk agen risiko yang dianalisis.

c. Analisis Pemajanan

Analisis pemajanan juga dikenal sebagai *exposure assessment* atau penilaian kontak, bertujuan untuk mengidentifikasi jalur-jalur

paparan agen risiko guna menghitung jumlah asupan yang diterima individu dalam populasi berisiko. Waktu pajanan (t_E) ditentukan dengan mengumpulkan informasi mengenai durasi kebiasaan sehari-hari responden di luar rumah, seperti pergi ke pasar atau mengantar dan menjemput anak sekolah, yang dihitung dalam jam. Frekuensi pajanan (f_E) dianalisis berdasarkan kebiasaan tahunan responden yang menyebabkan mereka meninggalkan tempat tinggal, seperti mudik, berlibur ke rumah orang tua, atau rekreasi, yang dihitung dalam hari. Sementara itu, durasi pajanan (D_t) mencerminkan total waktu responden tinggal di suatu lokasi hingga saat survei dilakukan, dihitung dalam tahun. Selain mempertimbangkan durasi pajanan seumur hidup, durasi pajanan *real-time* juga perlu dikonfirmasi melalui studi epidemiologi kesehatan lingkungan (EKL) untuk memastikan apakah estimasi risiko kesehatan sudah terindikasi dengan jelas (Mallongi, 2021):

a) *Intake* pada jalur pemajanan ingesti (tertelan)

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan:

- I = Asupan/ *intake* (mg/kg/hari)
- C = Konsentrasi risiko agen (mg/l)
- R = Laju asupan atau konsumsi (L/hari)
- t_E = Waktu Pajanan
- f_E = Frekuensi pajanan
- D_t = Durasi pajanan
- W_b = Berat badan (kg)
- t_{avg} = Periode waktu rata-rata

d. Karakteristik Risiko

Karakteristik risiko dalam kesehatan dinyatakan melalui *Risk Quotient* (RQ) untuk efek nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik. Nilai RQ diperoleh dengan membagi jumlah asupan agen risiko nonkarsinogenik (*Ink*) dengan *Reference Dose* (RfD) atau *Reference Concentration* (RfC) yang sesuai.

a) Persamaan *Risk Quotient* (RQ), (Taylor *et al.*, 2023):

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

Keterangan:

I = Asupan/ intake (mg/kg/hari)

RFD = Reference Dose tembaga (0,04)

Tabel 1.5
Tabel Sintesa mengenai Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
1.	Dini <i>et al.</i> (2022) https://doi.org/10.25311/keskom.vol8.iss1.1084	“Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Karbon Monoksida (CO) Pada Pedagang Sate di Palembang” <i>Jurnal Kesehatan Komunitas</i>	<i>Jenis penelitian deskriptif dengan analisis kuantitatif menggunakan pendekatan analisis risiko kesehatan lingkungan</i>	58 orang pada Pedagang Sate di Palembang	nilai RQ realtime masih dalam batas aman karena bernilai $RQ \leq 1$. Meskipun pada perhitungan individu terdapat beberapa nilai lebih dari 1. Sedangkan nilai RQ realtime baik individu maupun agregat menunjukkan nilai $RQ > 1$ yang mana berada diatas ambang batas
2.	Ervianti <i>et al.</i> (2021)	“Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan	Penelitian Kuantitatif dengan menggunakan metode	Sebanyak 20 orang Pa'limbang-Limbang yang	Terdapat satu orang Palimbang-limbang yang berisiko

	https://e-journal.sttl-mataram.ac.id	Timbal (Pb) pada Pa'limbang-limbang di Jl.Urip Sumoharjo Kota Makassar” <i>Jurnal Sanitasi Dan Lingkungan</i>	Observasi dengan pendekatan Analisis Risiko Lingkungan (ARKL)	beraktivitas di Jalan Urip Sumoharjo, Kota Makassar dan Udara ambien di berbagai titik pengukuran, termasuk di depan Rumah Sakit Awal Bros.	memiliki gangguan kesehatan non karsinogenik $RQ > 1$ akibat paparan Timbal (Pb)
--	---	---	--	--	---

Kerangka Teori



Gambar 1.1

Sumber : WHO 2020, Permenkes RI No 2/202

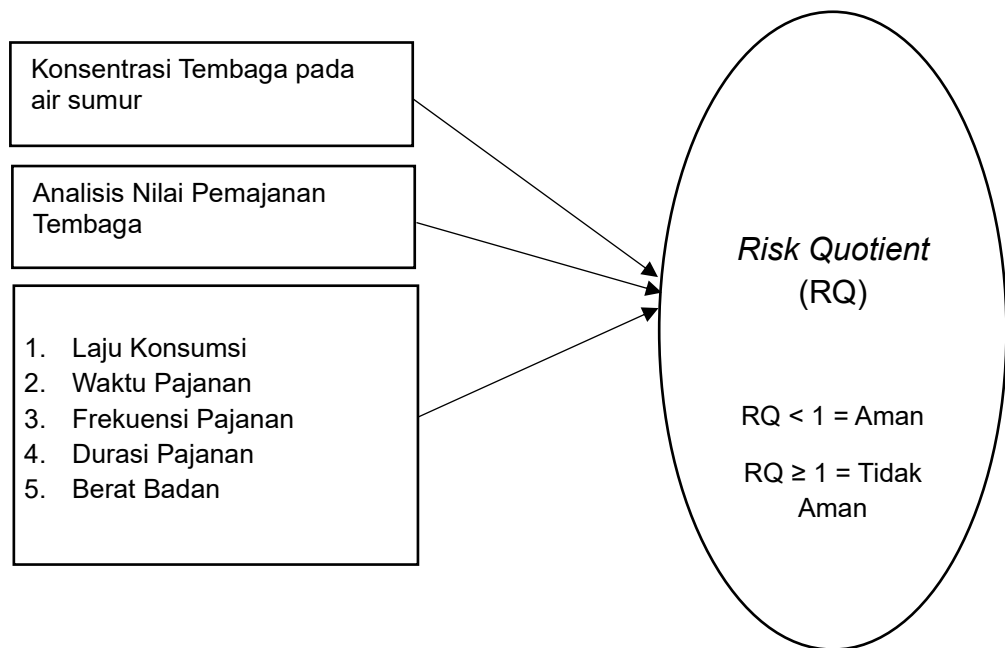
Kerangka Konsep Penelitian

Penelitian ini berfokus pada evaluasi tingkat risiko kesehatan lingkungan akibat paparan Tembaga (Cu) yang terdapat dalam air sumur milik masyarakat di sekitar wilayah TPA Antang. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dilakukan melalui empat tahap, yaitu: identifikasi bahaya (meliputi konsentrasi, sumber, dan potensi dampak kesehatan), analisis dosis respon (menentukan nilai RfD dari agen risiko), analisis pemajanan untuk memahami karakteristik responden (berat badan, laju konsumsi), serta pola aktivitas (durasi, frekuensi, dan waktu pajanan). Tahap terakhir adalah penilaian besarnya risiko menggunakan Risk Quotient (RQ).

Berdasarkan Peraturan Menteri dalam Negeri Nomor 33 Tahun 2010 tentang Pedoman Pengelolaan Sampah, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan lokasi yang digunakan untuk mengolah dan mengembalikan sampah ke lingkungan dengan cara yang aman bagi manusia serta ekosistem. TPA Antang berfungsi sebagai fasilitas pengolahan akhir sampah, namun dalam operasionalnya masih menerapkan sistem *open dumping*, di mana sampah dibuang dan ditimbun langsung di lahan terbuka. Penggunaan sistem ini di TPA Antang Makassar dapat berdampak signifikan terhadap kualitas lingkungan di sekitarnya, terutama terhadap air permukaan dan air sumur yang berada di area sekitar TPA.

Lokasi keberadaan TPA Antang yang menjadi tempat pembuangan serta penimbunan sampah terletak dekat dengan wilayah pemukiman penduduk. Hal itulah yang dikhawatirkan akan mencemari lingkungan sekitar masyarakat serta kualitas sumber air yang dikonsumsi masyarakat. Penduduk yang bermukim di sekitar TPA antang memanfaatkan sumur sebagai sumber air yang digunakan dalam kesehariannya.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat digambarkan alur penelitian dalam bentuk kerangka konsep penelitian sebagai berikut:



Gambar 1.2 Kerangka Konsep

Keterangan :

—————▶ = Arah yang menunjukkan kemungkinan terjadinya hubungan

Hipotesis Penelitian

- a) Tidak ada hubungan pengaruh konsentrasi tembaga pada air sumur dengan besarnya risiko kesehatan akibat paparan tembaga pada Air Sumur Sekitar Wilayah TPA Antang Kecamatan Manggala Kota Makassar.
- b) Tidak ada hubungan pengaruh analisis dosis respon Tembaga (Cu) dengan besarnya risiko kesehatan akibat paparan tembaga pada Air Sumur Sekitar Wilayah TPA Antang Kecamatan Manggala Kota Makassar

Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Tabel 1.6 Definisi Operasional dan Kritis Objektif Penelitian

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
1.	Konsentrasi tembaga pada air sumur	Kandungan tembaga dalam air sumur yang dikonsumsi masyarakat sekitar TPA Antang (mg/l)	Spektrofotometer Serapan Atom (AAS)	≤ 2 mg/l (WHO,2011)	Rasio
2.	Air sumur	Sarana penyediaan air dengan cara menggali atau memberi lapisan tanah sampai mendapatkan lapisan air dengan kedalaman tertentu.	Observasi	Air sumur dalam radius 500 meter dari TPA Antang (EPA, 2003)	Nominal
3.	Analisis Pemajanan	Asupan atau seberapa besar paparan tembaga yang diterima manusia melalui air sumur yang dikonsumsi	Perhitungan	$EDI = (C \times IR \times EF \times ED) / (BW \times AT)$	Rasio
4.	<i>Intake</i>	Perkiraan jumlah tembaga yang	Perhitungan	EDI < RfD = Aman, EDI > RfD = Berisiko	Rasio

		dikonsumsi per hari per berat badan (mg/kg/hari)		(EPA, 1991)	
5.	Dosis Respon (RfD)	Nilai yang dijadikan referensi untuk nilai aman pada efek non karsinogenik suatu agen risiko (mg/kg/hari).	Nilai berdasarkan <i>IRIS</i>	RfD Cu = 0.04 mg/kg/hari (EPA, 2001)	Rasio
6.	Laju Konsumsi	Jumlah air yang tertelan oleh individu per hari (liter/hari)	Wawancara	Dewasa: 2 L/hari, Anak-anak: 1 L/hari (EPA, 2011)	Rasio
7.	Durasi Paparan	Lama waktu individu terpapar logam berat dalam air sumur	Wawancara	Dewasa: 30 tahun, Anak-anak: 6 tahun (EPA, 1991)	Rasio
8.	Frekuensi Paparan	Berapa kali seseorang terpapar dalam satu tahun	Wawancara	365 hari/tahun jika konsumsi harian (EPA, 2003)	Rasio
9.	Waktu Paparan	Periode waktu rata-rata paparan	Wawancara	Non-karsinogenik : $ED \times 365$ hari (EPA, 1989)	Rasio
10.	Berat Badan	Berat badan responden pada saat dilakukan penelitian (kg)	Observasi	Dewasa: 70 kg, Anak-anak: 15 kg (EPA, 2011)	Rasio
11.	Risk Quetient	Nilai perkiraan	Perhitungan	$RQ < 1 =$ Aman, $RQ \geq$	Rasio

		besarnya kemungkinan risiko akibat paparan tembaga pada air sumur yang dikonsumsi sekitar TPA		1 = tidak aman (EPA, 1989)	
--	--	--	--	----------------------------------	--

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian observasional deskriptif, yang bertujuan untuk menggambarkan besar risiko Kesehatan akibat paparan logam berat Tembaga (Cu) yang terkandung dalam air sumur sekitar wilayah TPA Antang. Penelitian ini menggunakan pendekatan ARKL sebagai penilaian dalam mengetahui dampak dari paparan tembaga terhadap kesehatan. Penelitian ini menggunakan desain *cross-sectional study*, dimana data mengenai konsentrasi zat berbahaya dan karakteristik responden dikumpulkan secara bersamaan pada satu waktu tertentu. Desain ini bertujuan untuk melihat apakah terdapat hubungan antara tingkat paparan dan kemungkinan risiko kesehatan.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-Juni 2025 di wilayah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang Kelurahan Tamangapa, Kecamatan Manggala, Kota Makassar. Pemeriksaan sampel dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar.

Populasi dan Sampel

Populasi

Populasi penelitian ini adalah orang yang bertempat tinggal di sekitar TPA Antang atau Kelurahan Tamangapa Antang Kota Makassar serta memiliki air sumur yang masih digunakan untuk keperluan sehari-hari

Sampel

Sampel dalam penelitian ini ialah sebagian air sumur sebanyak 12 titik (disetiap 4 arah mata angin yaitu timur, Selatan, barat, dan utara diambil 3 titik sampel) dan jumlah responden sebanyak 20 sampel manusia terdiri dari anak-anak dan orang dewasa di wilayah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang Kelurahan Tamangapa, Kecamatan Manggala, Kota Makassar. Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan *purposive sampling*. Sampel ini akan diuji lab untuk diketahui keberadaan paparan zat berbahaya logam berat Tembaga (Cu).

Instrumen Penelitian

a. Persiapan

Dalam tahap ini, peneliti akan mengumpulkan semua peralatan dan bahan yang diperlukan untuk penelitian. Peralatan yang digunakan meliputi botol sampel steril, label, alat tulis dan kuesioner.

b. Pengambilan Sampel

Air akan diambil dari sumber yang digunakan oleh rumah tangga, yaitu air sumur yang dipilih secara acak di wilayah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang Kelurahan Tamangapa, Kota Makassar. Pengambilan sampel dilakukan dengan botol steril untuk menghindari kontaminasi. Setiap botol diberi label yang berisi informasi mengenai sumber air, tanggal pengambilan,

serta identifikasi rumah tangga agar data dapat dihubungkan dengan sumbernya secara akurat.

c. Uji Laboratorium

Tahap ini dilakukan uji konsentrasi atau uji keterpaparan air sumur dengan Tembaga (Cu) dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (AAS). Pemeriksaan konsentrasi tembaga dilakukan dengan mengacu pada SNI ISO 15189:2012 yaitu tentang cara uji tembaga secara SSA Spektrofotometri Serapan Atom untuk mengetahui besarnya nilai konsentrasi dari logam berat tembaga dalam sampel air sumur di sekitar TPA antang.

Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan dengan dua cara, yaitu pengumpulan data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer yang diperoleh langsung dari hasil uji laboratorium melalui pengambilan sampel air dari berbagai lokasi pada waktu yang sama. Selain itu, data primer juga diperoleh melalui pengisian kuesioner.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait seperti Kantor Lurah Tamangapa serta berbagai literatur seperti jurnal, artikel dan literatur lainnya terkait dengan penelitian ini.

Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan berdasarkan hasil wawancara mengenai kebiasaan masyarakat serta hasil dari kualitas air di lokasi penelitian, dan disajikan dalam bentuk gambar, grafik, tabel, dan narasi.

1. Pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).

Dalam pendekatan ARKL, terdapat 4 langkah, yaitu:

a) Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya merupakan langkah awal dalam analisis risiko kesehatan lingkungan yang dalam penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya dengan menentukan sumber pencemaran seperti logam berat tembaga (Cu). Tahap ini membantu menentukan bahan kimia yang dapat berdampak pada kesehatan manusia, seperti menyebabkan kanker atau cacat lahir

b) Analisis Dosis Respon

Analisis dosis-respons bertujuan untuk menentukan nilai RfD (*Reference Dose*), RfC (*Reference Concentration*), dan/atau SF (*Slope Factor*) dari agen risiko yang menjadi fokus dalam ARKL. Selain itu, analisis ini juga bertujuan untuk memahami berbagai dampak yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko terhadap tubuh manusia. Tahapan dalam analisis dosis-respons meliputi:

1) Mengidentifikasi jalur pajanan (*pathways*) yang memungkinkan agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia.

- 2) Memahami perubahan gejala atau dampak kesehatan yang muncul akibat peningkatan kadar atau dosis agen risiko dalam tubuh.
 - 3) Menentukan nilai referensi seperti RfD, RfC, atau SF untuk agen risiko yang dianalisis.
- c) Analisis Paparan

Analisis pemajanan atau penilaian kontak, bertujuan untuk mengidentifikasi jalur-jalur paparan agen risiko guna menghitung jumlah asupan yang diterima individu dalam populasi berisiko. Waktu paparan (t_E) ditentukan dengan mengumpulkan informasi mengenai durasi kebiasaan sehari-hari responden di luar rumah, seperti pergi ke pasar atau mengantar dan menjemput anak sekolah, yang dihitung dalam jam. Frekuensi paparan (f_E) dianalisis berdasarkan kebiasaan tahunan responden yang menyebabkan mereka meninggalkan tempat tinggal, seperti mudik, berlibur ke rumah orang tua, atau rekreasi, yang dihitung dalam hari. Sementara itu, durasi paparan (D_t) mencerminkan total waktu responden tinggal di suatu lokasi hingga saat survei dilakukan, dihitung dalam tahun. Selain mempertimbangkan durasi paparan seumur hidup, durasi paparan *real-time* juga perlu dikonfirmasi melalui studi epidemiologi kesehatan lingkungan (EKL) untuk memastikan apakah estimasi risiko kesehatan sudah terindikasi dengan jelas.

Intake pada jalur pemajanan ingesti (tertelan)

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan:

I = Asupan/ *intake* (mg/kg/hari)

C = Konsentrasi risiko agen (mg/l)

R = Laju asupan atau konsumsi (L/hari)

t_E = Waktu Paparan

f_E = Frekuensi paparan

D_t = Durasi paparan

W_b = Berat badan (kg)

t_{avg} = Periode waktu rata-rata

d) Karakteristik Risiko

Karakteristik risiko dalam kesehatan dinyatakan melalui *Risk Quotient* (RQ) untuk efek nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik. Nilai RQ diperoleh dengan membagi jumlah asupan agen risiko nonkarsinogenik (*Int*) dengan *Reference Dose* (RfD) atau *Reference Concentration* (RfC) yang sesuai.

Persamaan *Risk Quotient* (RQ):

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

Keterangan:

I = Asupan/ *intake* (mg/kg/hari)

RfD = *Reference Dose* tembaga (0,04)