

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sampah merupakan hasil buangan dari aktivitas manusia sehari-hari maupun dari proses alam yang umumnya berbentuk padat. Setiap individu berperan sebagai penghasil sampah yang secara terus-menerus menimbulkan timbunan limbah. Aktivitas manusia, baik di perkotaan maupun pedesaan, tidak dapat dipisahkan dari produksi sampah (Paryono et al., 2023). Berdasarkan jenisnya, sampah terbagi menjadi sampah organik dan anorganik, di mana sampah anorganik umumnya berasal dari aktivitas industri dan sulit terurai secara alami. Karena membutuhkan waktu yang panjang untuk terurai, akumulasi sampah anorganik berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap keberlangsungan hidup makhluk hidup (Hamdani & Sudarso, 2022).

Menurut laporan World Bank berjudul *What a Waste 2.0*, dunia menghasilkan sekitar 2,01 miliar ton sampah padat perkotaan setiap tahun, dan sekitar 33% di antaranya tidak dikelola dengan baik sehingga menimbulkan dampak lingkungan yang serius. Laporan tersebut memproyeksikan bahwa volume sampah global akan meningkat sebesar 70% pada tahun 2050, mencapai 3,40 miliar ton per tahun, seiring dengan pesatnya urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi (World Bank, 2025). Berdasarkan data United Nations Environment Programme (2024), pada tahun 2023 jumlah sampah padat kota dunia telah mencapai sekitar 2,3 miliar ton, menandakan krisis ini semakin nyata setiap tahunnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan sampah telah melampaui batas nasional dan menjadi tantangan global yang mendesak untuk diatasi secara berkelanjutan (UNEP, 2024). Proyeksi ini juga menegaskan pentingnya peningkatan sistem pengelolaan sampah di berbagai negara, termasuk Indonesia, yang menghadapi pertumbuhan signifikan dalam volume sampah domestik (Santoso et al., 2024).

Data SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional) yang dikelola oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2024 menunjukkan bahwa total timbunan sampah di Indonesia yang tercatat dari 338 kabupaten/kota mencapai 36,9 juta ton per tahun. Sebanyak 24,9 juta ton (67,7%) masih tergolong belum terkelola dengan baik, sedangkan 11,9 juta ton (32,3%) telah terkelola melalui kegiatan pengumpulan, pengolahan, pengurangan, dan daur ulang. Sebagian besar sampah terkelola berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan sistem *control/sanitary landfill* sebesar 5,9 juta ton per tahun serta open dumping sekitar 9,5 juta ton per tahun (SIPSN, 2025).

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah adalah lokasi di mana semua sampah dikumpulkan secara aman agar tidak menyebabkan gangguan terhadap lingkungan. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah Pasal 1 Ayat 20, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan (UU RI, 2008). Masalah sampah menjadi isu penting yang banyak diperbincangkan, termasuk di Kota Makassar. TPA Antang yang berlokasi di Kelurahan Tamangapa, Kecamatan Manggala, saat ini diketahui sudah mengalami over kapasitas, kondisi tersebut sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan volume sampah setiap tahunnya. Menurut data terbaru dari DLH (Dinas Lingkungan Hidup) Kota Makassar hingga pertengahan 2025, rata-rata timbunan sampah di Kota Makassar mencapai sekitar 1.100 ton per hari dari total penduduk sekitar 1,5 juta jiwa, dengan produksi individu sekitar 0,6 kg per orang per hari (DLH, 2025).

Indonesia memiliki sistem pengelolaan sampah (TPA) yang umumnya menggunakan tiga metode, yaitu *open dumping*, *controlled landfill*, dan *sanitary landfill*. Metode *open dumping* masih banyak dipraktikkan karena sederhana dan murah, meskipun berisiko tinggi menimbulkan pencemaran dan penyakit. Sementara itu, *controlled landfill* dan *sanitary landfill* dianggap lebih ramah lingkungan karena melibatkan teknik penimbunan yang lebih baik, pengendalian lindi, serta pengelolaan gas metan yang dihasilkan (Yulianti et al., 2024).

Kondisi serupa juga dapat ditemukan di Kota Makassar, di mana Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Antang yang berlokasi di Kecamatan Manggala masih menerapkan sistem *open dumping*. Sampah dibuang secara langsung di permukaan tanah tanpa lapisan kedap maupun penutupan harian yang memadai. Praktik ini disebabkan oleh keterbatasan lahan dan meningkatnya volume sampah setiap hari, sementara fasilitas pengelolaan lindi serta gas metan belum tersedia secara optimal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan sampah di kawasan perkotaan masih menghadapi berbagai kendala sehingga praktik *open dumping* masih menjadi tantangan utama, termasuk di TPA Antang Makassar (Nur et al., 2023).

Penerapan sistem *open dumping* di TPA Antang tidak hanya menimbulkan permasalahan estetika dan bau, tetapi juga berdampak langsung terhadap kualitas lingkungan sekitar, terutama pada tanah dan vegetasi di sekitarnya. Penumpukan sampah tanpa lapisan kedap menyebabkan air lindi mudah meresap ke dalam tanah dan membawa berbagai senyawa kimia serta logam berat seperti kadmium (Cd), timbal (Pb), dan merkuri (Hg). Zat-zat berbahaya tersebut dapat terakumulasi dalam lapisan tanah dan diserap oleh tanaman di sekitar area TPA, sehingga berpotensi mengganggu pertumbuhan tanaman serta memasuki rantai makanan. Dengan demikian, sistem *open dumping* yang masih diterapkan di TPA Antang berpotensi menjadi salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap pencemaran tanah dan tanaman di kawasan tersebut (Rahmayani et al., 2022).

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang secara alami terdapat dalam tanah akibat pelapukan batuan induk, dengan konsentrasi normal sekitar 0,1–

0,5 mg/kg. Namun, aktivitas antropogenik seperti pertambangan, industri, penggunaan pupuk fosfat, dan pembuangan sampah dapat meningkatkan kadar Cd secara signifikan. Keberadaan Cd menjadi isu lingkungan yang serius karena bersifat toksik, mudah terakumulasi, serta berpotensi masuk ke rantai makanan melalui penyerapan oleh tanaman. Pemantauan kandungan Cd di tanah sangat penting untuk menjaga kualitas lingkungan dan mencegah risiko terhadap kesehatan manusia maupun keberlanjutan ekosistem pertanian (Liu et al., 2024).

Keberadaan unsur logam berat seperti kadmium (Cd) di tanah kawasan TPA umumnya berasal dari proses dekomposisi sampah anorganik dan pencemaran oleh air lindi yang meresap ke lapisan tanah. Sumber utama Cd di TPA antara lain berasal dari limbah baterai, plastik berpigmen, cat, elektronik bekas, serta residu industri rumah tangga yang ikut terbuang bersama sampah domestik (Susilowati et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh Wulandari *et al.* (2022) meneliti kandungan logam berat, termasuk kadmium (Cd), pada tanah di sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Batu Layang, Kota Pontianak. Pengambilan sampel dilakukan pada beberapa titik di area pembuangan, meliputi tanah penutup dan lapisan tanah yang telah bercampur dengan residu sampah. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan Cd pada tanah di TPA Batu Layang mencapai 0,625 mg/kg, nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan kadar Cd alami tanah yang umumnya berada di bawah 0,5 mg/kg. Temuan ini menunjukkan adanya akumulasi Cd akibat infiltrasi air lindi dan proses dekomposisi sampah anorganik seperti baterai, plastik berwarna, serta limbah elektronik (Wulandari et al., 2021).

Kontaminasi logam berat seperti kadmium (Cd) pada tanah di sekitar TPA dapat berpindah ke tanaman melalui penyerapan akar. Akumulasi Cd dalam jaringan tanaman tidak hanya mengganggu pertumbuhannya, tetapi juga menimbulkan risiko bagi ekosistem sekitarnya. Tanaman memiliki peran penting dalam penataan ruang terbuka hijau di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) karena tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetis, tetapi juga mendukung keseimbangan ekologi dan kesehatan lingkungan. Selain itu, tanaman berperan dalam proses fitoremediasi dengan menyerap logam berat dari lindi, yaitu cairan yang dihasilkan dari pembusukan sampah. *Typha latifolia* terbukti efektif menurunkan konsentrasi senyawa berbahaya di sekitar TPA. (Fadillah & Sari, 2022) Tanaman air lain seperti *Eichhornia crassipes* atau eceng gondok juga dimanfaatkan karena kemampuannya mengakumulasi logam berat seperti kadmium pada air tanah (Wulandari et al., 2023).

Menurut Zulfa *et al.* (2024), kadmium (Cd) merupakan logam berat non-esensial yang tidak memiliki fungsi fisiologis bagi tanaman, tetapi mudah diserap melalui akar dari tanah atau air yang tercemar limbah maupun lindi TPA. Keberadaan Cd dalam jaringan tanaman dapat menimbulkan dampak toksik berupa gangguan fotosintesis, penurunan pertumbuhan, serta akumulasi yang berbahaya bila tanaman tersebut dikonsumsi manusia. Tanaman yang tumbuh di sekitar kawasan pembuangan sampah memiliki risiko lebih tinggi

terpapar Cd sehingga pemantauan kandungan logam ini penting dilakukan sebagai upaya mitigasi risiko lingkungan dan kesehatan. Faktor lingkungan seperti pH tanah, bahan organik, tekstur tanah, serta sifat biologis tanaman seperti jenis, sistem perakaran, dan mekanisme pengikatan ion logam sangat memengaruhi akumulasi Cd (Zulfa et al., 2024).

Beberapa jenis tanaman diketahui memiliki kemampuan alami dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat dari lingkungan, sehingga berpotensi digunakan sebagai biomarker untuk mendeteksi tingkat pencemaran di kawasan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Tanaman biomarker berfungsi sebagai indikator biologis yang mampu merefleksikan kondisi lingkungan melalui perubahan morfologi, fisiologi, maupun akumulasi unsur kimia dalam jaringannya. Keberadaan logam berat seperti kadmium (Cd) di lingkungan dapat memicu perubahan pada pertumbuhan, warna daun, hingga aktivitas enzimatis tanaman. Oleh karena itu, tanaman dengan kemampuan menyerap Cd dalam jumlah signifikan dapat digunakan untuk menilai tingkat kontaminasi tanah secara alami tanpa memerlukan alat ukur kompleks (H. Zhang et al., 2023).

Salah satu tanaman yang berpotensi tinggi sebagai biomarker Cd adalah singkong (*Manihot esculenta*), yang sering tumbuh di sekitar kawasan TPA. Sistem perakarannya yang dalam memungkinkan penyerapan logam berat dari lapisan tanah yang terkontaminasi lindi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa singkong mampu mengakumulasi Cd terutama pada bagian akar dan umbi, sehingga kadar Cd pada jaringan tanaman ini dapat digunakan sebagai cerminan tingkat pencemaran tanah di sekitarnya. Namun, potensi ini juga menimbulkan kekhawatiran karena singkong merupakan tanaman pangan yang dikonsumsi luas oleh masyarakat. Apabila ditanam di area tercemar, Cd yang terserap dapat berpindah ke rantai makanan dan menimbulkan risiko kesehatan pada manusia akibat paparan jangka panjang (Liu et al., 2024).

Penelitian yang dilakukan di Kabupaten Bantul, menemukan bahwa Cd pada tanaman yang tumbuh di area dekat TPA lebih tinggi dibandingkan dengan area kontrol, namun konsentrasinya masih relatif rendah. Kandungan Cd yang terdeteksi dalam jaringan tanaman berkisar 0,03–0,16 mg/kg, menunjukkan adanya akumulasi akibat kontaminasi dari lindi dan pencemaran tanah di sekitar lokasi. Hasil penelitian ini masih berada di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) Cd dalam tanaman, meskipun beberapa sampel mendekati batas tersebut, sehingga tetap menimbulkan kewaspadaan terutama jika terjadi bioakumulasi dalam rantai makanan dan konsumsi jangka panjang (Zulfa, Irawan, et al., 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Orimisan *et al.* (2024) yang melakukan penelitian terakit kandungan Kadmium pada tanah dan tanaman di TPA Ondo Town, Nigeria, dengan mengambil sampel tanah dan tanaman yang tumbuh langsung di sekitar lokasi pembuangan. Tanaman yang dianalisis antara lain *Talinum triangulare* dan *Chromolaena odorata*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan Cd pada sayuran di area TPA lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman kontrol yang ditanam jauh dari TPA. Walaupun pada beberapa

spesies kadarnya masih berada di bawah standar internasional, nilai Cd yang terdeteksi tetap menimbulkan kekhawatiran karena ada indikasi akumulasi logam berat dari lindi dan residu sampah di tanah. Penulis menyimpulkan bahwa konsumsi sayuran dari area dekat TPA dapat meningkatkan risiko paparan Cd pada manusia, terutama jika dikonsumsi secara terus-menerus (Orimisan et al., 2024).

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa keberadaan kadmium (Cd) pada tanah dan tanaman di sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) menimbulkan risiko serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Penelitian Luo *et al.* (2024) di kawasan pertanian sekitar Danau Dongting, China, melaporkan kadar Cd yang pada beberapa titik melebihi ambang batas aman. Hasil serupa ditemukan oleh Orimisan *et al.* (2024) di TPA Ondo Town, Nigeria, di mana kandungan Cd pada tanaman di sekitar TPA lebih tinggi dibandingkan dengan area control (Lou et al., 2024). Di Indonesia, penelitian Zulfa *et al.* (2024) di TPA Piyungan, Yogyakarta, juga mendeteksi Cd pada tanaman meskipun kadarnya masih relatif rendah. Fakta ini menegaskan bahwa masalah Cd pada tanah dan tanaman telah terbukti nyata di berbagai lokasi, baik internasional maupun nasional (Zulfa et al., 2024).

Pemahaman mengenai faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi distribusi kadmium (Cd) di sekitar TPA menjadi bagian penting dalam menjelaskan variasi konsentrasi logam berat pada tanah dan tanaman. Variabel seperti jarak dari sumber pencemar, karakteristik tanah, serta kondisi topografi memberikan pengaruh berbeda terhadap tingkat akumulasi Cd. Analisis terhadap faktor-faktor ini memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat dalam menilai pola penyebaran Cd di kawasan TPA Tamangapa Antang (Fathassabilla & Budianta, 2023).

Jarak antara sumber pencemar dengan tanah atau tanaman di sekitarnya memiliki pengaruh signifikan terhadap akumulasi logam berat. Semakin dekat lokasi dengan TPA, semakin besar kemungkinan tanah dan tanaman terpapar lindi yang mengandung logam berat seperti kadmium (Cd). Sebaliknya, lokasi yang lebih jauh cenderung mengalami pengenceran alami dan deposisi logam yang lebih rendah, sehingga konsentrasi logam berat menurun secara bertahap (Wan et al., 2024).

Karakteristik tanah juga menentukan mobilitas dan bioavailabilitas logam berat. Tanah dengan tekstur berpasir, kandungan bahan organik rendah, dan pH yang asam cenderung memungkinkan logam berat bergerak lebih bebas dan mudah diserap tanaman. Sebaliknya, tanah liat atau tanah dengan bahan organik tinggi mampu menahan logam berat lebih baik, sehingga mengurangi risiko akumulasi pada tanaman dan lingkungan sekitarnya (Li et al., 2025).

Sebaran wilayah atau topografi turut memengaruhi distribusi logam berat. Area yang berada di lereng bawah atau yang menerima aliran lindi dari TPA biasanya memiliki konsentrasi logam berat lebih tinggi dibandingkan wilayah datar atau terisolasi. Selain itu, variasi penggunaan lahan, kondisi vegetasi, dan arah aliran air turut memengaruhi bagaimana logam berat menyebar, menciptakan pola distribusi yang tidak merata di kawasan sekitar TPA (Yue et

al., 2025).

Sejumlah penelitian telah membahas pencemaran Cd pada beberapa TPA di luar Sulawesi, namun informasi mengenai kondisi di wilayah Indonesia bagian timur masih terbatas. Kajian mengenai sebaran Cd di TPA Tamangapa Antang Kota Makassar hingga kini masih minim, padahal lokasi ini merupakan pusat pembuangan sampah utama yang setiap hari menerima ratusan ton limbah dengan pola pengelolaan dominan open dumping. Kondisi tersebut meningkatkan kemungkinan akumulasi Cd pada tanah serta tanaman di area sekitar, yang berpotensi masuk ke rantai makanan masyarakat setempat. Paparan Cd diketahui berkaitan dengan gangguan fungsi ginjal, penurunan kepadatan tulang, kerusakan hati, dan peningkatan risiko penyakit kardiovaskular akibat sifatnya yang nefrotoksik serta karsinogenik.

Kesenjangan penelitian ini menandai perlunya kajian spesifik mengenai sebaran Cd di TPA Tamangapa Antang untuk memperoleh gambaran ilmiah mengenai tingkat kontaminasi lingkungan dan potensi paparan terhadap penduduk sekitar. Data yang dihasilkan dapat menjadi dasar penyusunan rekomendasi pengelolaan lingkungan serta memperluas literatur nasional mengenai pencemaran logam berat di kawasan TPA.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang dan kesenjangan penelitian yang telah dijelaskan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Apakah terdapat sebaran kandungan kadmium (Cd) pada tanah di sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tamangapa Antang Kota Makassar tahun 2025?
- b. Apakah terdapat sebaran kandungan kadmium (Cd) pada tanaman singkong/ubi yang tumbuh di sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tamangapa Antang Kota Makassar tahun 2025?
- c. Apakah terdapat hubungan logam berat pada tanah dan tanaman singkong/ubi berdasarkan jarak dan wilayah TPA?

1.3. Tujuan Penelitian

1.3.1. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran kandungan kadmium (Cd) pada tanah dan tanaman di sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tamangapa Antang Kota Makassar tahun 2025 sebagai dasar ilmiah dalam upaya pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

1.3.2. Tujuan Khusus

- a. Untuk menganalisis perbedaan kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan jarak titik sampling.
- b. Untuk menganalisis sebaran kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan Wilayah
- c. Untuk menganalisis perbedaan kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanaman singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa

berdasarkan jarak titik sampling.

- d. Untuk menganalisis sebaran kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanaman singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan Wilayah.
- e. Untuk menganalisis perbedaan kandungan Cd antara tanah dan tanaman singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa.

1.4. Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Ilmiah

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang kesehatan lingkungan dengan menambah pengetahuan terkait sebaran kadmium (Cd) pada tanah dan tanaman di sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Hasil penelitian ini juga memperkaya literatur nasional, terutama karena kajian mengenai Cd di kawasan TPA di wilayah Indonesia bagian timur masih terbatas. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi studi lanjutan mengenai risiko pencemaran logam berat terhadap ekosistem dan kesehatan masyarakat.

1.4.2 Manfaat bagi Instansi

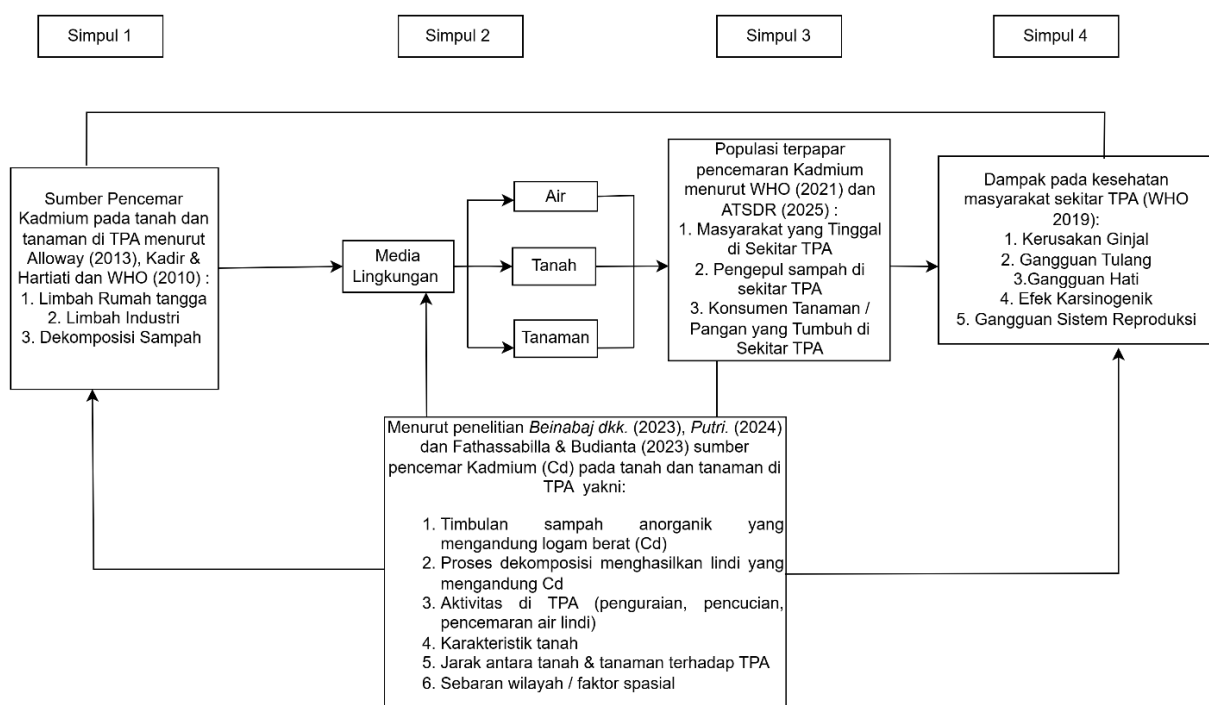
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan yang bernilai bagi institusi pendidikan, khususnya Program Studi Kesehatan Lingkungan, sebagai referensi akademik dalam pengembangan penelitian sejenis. Selain itu, penelitian ini dapat memperkuat peran institusi dalam memberikan kontribusi nyata terhadap pemecahan masalah lingkungan yang terjadi di masyarakat. Hasil penelitian juga dapat menjadi bahan ajar tambahan maupun sumber rujukan bagi mahasiswa yang melakukan penelitian terkait pencemaran logam berat di masa mendatang.

1.4.3 Manfaat bagi Peneliti

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah, khususnya Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar, dalam menyusun kebijakan pengelolaan TPA Tamangapa Antang agar lebih ramah lingkungan. Penelitian ini juga bermanfaat bagi masyarakat sekitar TPA untuk meningkatkan kesadaran akan potensi bahaya pencemaran kadmium terhadap tanah dan tanaman. Selain itu, penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam upaya monitoring, evaluasi, serta program mitigasi pencemaran lingkungan yang lebih berkelanjutan.

1.5 Kerangka Teori

Teori yang menjadi landasan dalam penelitian ini mengacu pada skenario teori simpul, yaitu suatu gambaran hubungan interaktif manusia serta perilakunya dengan komponen lingkungan yang memiliki potensi bahaya penyakit yang digambarkan dengan empat simpul (Leavell & Clark, 1965). Patogenesis penyakit dapat digambarkan dalam teori simpul, yakni simpul 1 (Agen penyakit), simpul 2 (Komponen lingkungan yang merupakan media transisi penyakit), simpul 3 (penduduk dengan variabel kependudukan seperti pendidikan, perilaku, kepadatan, gender,) dan simpul 4 (keadaan sehat atau usakit setelah mengalami interaksi dengan komponen lingkungan yang mengandung bibit penyakit atau agen penyakit).

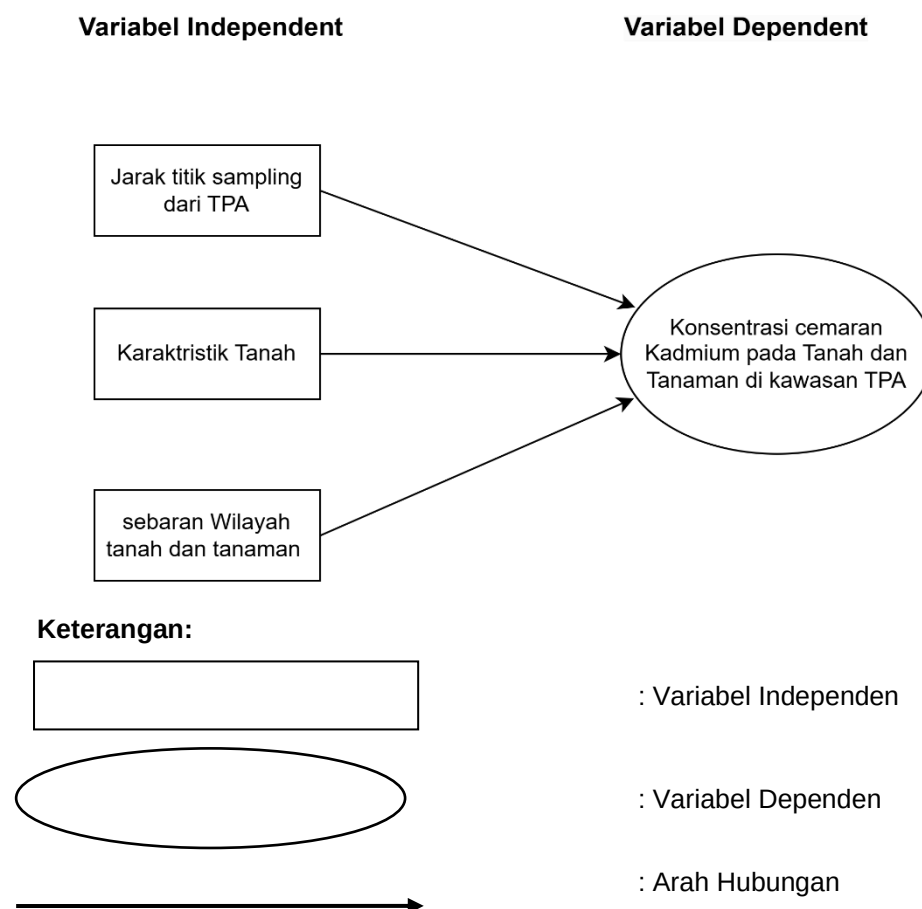


Gambar 2.1 Kerangka Teori Modifikasi

Sumber: (Leavell & Clark, 1965), (Beinabaj et al., 2023), (Putri, 2024), (Setyoningrum, 2023), (Ningsih & Budianta, 2023) dan (A. G. Fathassabilla & Budianta, 2023).

1.6 Kerangka Konsep

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



1.7 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Tabel 3
Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
1.	Konsentrasi Cemaran Kadmium pada Tanah di Kawasan TPA.	Kandungan logam berat kadmium (Cd) yang terdapat pada sampel tanah yang diambil dari sekitar area	Analisis laboratorium menggunakan metode AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>).	Data hasil analisis kadar kadmium pada tanah dari tiap titik sampling.	Rasio

		TPA, dinyatakan dalam $\mu\text{g/g}$.			
2.	Konsentrasi Cemarannya Kadmiun pada Tanaman (Ubi Kayu) di Kawasan TPA	Kandungan logam berat kadmiun (Cd) yang terdapat pada sampel tanaman ubi kayu yang diambil dari sekitar area TPA, dinyatakan dalam mg/kg .	Analisis laboratorium menggunakan metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry).	Data hasil analisis kadar kadmiun pada tanaman ubi dari tiap titik sampling.	Rasio
3.	Jarak Titik Sampling dan sebaran wilayah tanah dan tanaman dari TPA	Jarak dari lokasi pengambilan sampel tanah dan tanaman ubi terhadap batas terdekat area Tempat Pembuangan Akhir (TPA), diukur dalam satuan meter.	Pengukuran langsung menggunakan alat ukur jarak (GPS).	Informasi yang diperoleh mencakup jarak titik sampling dari TPA berdasarkan koordinat atau peta lokasi : • Jarak dekat ($\leq 500 \text{ m}$) • Jarak Sedang ($500\text{-}1.000 \text{ m}$) • Jarak jauh ($>1.000 \text{ m}$)	Ordinal
4.	Karakteristik Tanah	Sifat fisik tanah yang diamati di lokasi sampling, meliputi jenis tanah, tekstur tanah (liat, lempung, pasir), dan warna tanah sebagai indikator	Observasi langsung di lapangan dan uji sederhana tekstur tanah menggunakan metode sentuhan/jepit, serta pengamatan visual untuk warna tanah.	Data mencakup hasil identifikasi jenis, tekstur, dan warna tanah di setiap titik pengambilan sampel.	Nominal

		umum kondisi fisik tanah di sekitar TPA.			
5.	Sebaran wilayah tanah dan tanaman dari TPAS	Pembagian lokasi pengambilan sampel tanah dan tanaman di sekitar area TPA berdasarkan empat arah mata angin, yaitu Utara, Selatan, Barat, dan Timur, untuk mengetahui persebaran lokasi pengambilan sampel di kawasan penelitian.	GPS (<i>Global Positioning System</i>).	Data posisi titik pengambilan sampel tanah dan tanaman ubi berdasarkan arah mata angin (Utara, Timur, Selatan, Barat)	Nominal.

1.8 Hipotesis Penelitian

1.8.1 Hipotesis nol (H_0)

- Tidak terdapat perbedaan kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan jarak titik sampling.
- Tidak terdapat sebaran kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan wilayah.
- Tidak terdapat perbedaan kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanaman singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan jarak titik sampling.
- Tidak terdapat sebaran kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanaman singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan wilayah.
- Tidak terdapat perbedaan kandungan logam berat kadmium (Cd) antara tanah dan tanaman singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa.

1.8.2 Hipotesis Alternatif (H_a)

- Terdapat perbedaan kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan jarak titik sampling.
- Terdapat sebaran kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan wilayah.
- Terdapat perbedaan kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanaman singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan jarak titik sampling.
- Terdapat sebaran kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanaman

singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa berdasarkan wilayah.

- e. Terdapat perbedaan kandungan logam berat kadmium (Cd) antara tanah dan tanaman singkong/ubi di sekitar TPA Tamangapa.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu metode cross sectional dengan pendekatan kuantitatif deskriptif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran kadar kadmium (Cd) pada tanah dan tanaman ubi yang tumbuh di sekitar kawasan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa pada satu waktu tertentu. Data yang dikumpulkan berupa hasil pengukuran konsentrasi kadmium pada sampel tanah dan tanaman ubi yang diambil dari beberapa titik sampling dengan jarak berbeda dari TPA. Hasil pengukuran kadar Cd kemudian dibandingkan dengan nilai ambang batas yang ditetapkan dalam SNI 7387:2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan, yang menetapkan batas maksimum kandungan kadmium pada bahan pangan sebesar 0,2 mg/kg. Selain itu, kadar Cd pada tanah juga dibandingkan dengan baku mutu yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang menetapkan batas maksimum kandungan kadmium pada tanah sebesar 100 mg/kg.

2.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Desember - Februari tahun 2025 di TPA Tamangapa Antang Kota Makassar. Pemeriksaan sampel dilakukan di Laboratorium Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar (Labkesmas Makassar 1).

2.3 Populasi dan Sampel

2.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh tanah dan tanaman ubi (*Manihot esculenta*) yang berada di sekitar TPA Tamangapa Antang, Kota Makassar, yang berpotensi terpengaruh oleh pencemaran logam berat kadmium (Cd) akibat peresapan air lindi dan aktivitas pembuangan sampah di kawasan tersebut. Populasi ini meliputi berbagai jenis dan tekstur tanah pada lahan pertanian di sekitar TPA, serta tanaman ubi dengan varietas yang berbeda, yang seluruhnya dapat memengaruhi tingkat penyerapan kadmium ke dalam jaringan tanaman. Dengan demikian, populasi penelitian ini dipilih untuk mewakili kondisi lingkungan dan bioakumulasi Cd pada tanaman pangan yang tumbuh di area yang berisiko tercemar.

2.3.2 Sampel

Teknik penentuan titik sampel menggunakan purposive sampling, yaitu pemilihan titik secara sengaja berdasarkan kriteria yang relevan dengan tujuan penelitian, seperti jarak lahan dari TPA dan kondisi lahan tempat tanaman ubi tumbuh. Titik pengambilan sampel ditetapkan sebanyak 24 titik, yang mewakili tiga kategori jarak dari TPA, yaitu:

dekat (<500 m) dengan potensi pencemaran tinggi akibat peresapan air lindi dan limpasan logam berat; jarak menengah (500–1000 m) untuk melihat penurunan kadar cemaran; serta jauh (>1000 m) dari TPA sebagai pembandingan dengan potensi pencemaran yang lebih rendah.

Pembagian titik sampel dilakukan ke dalam empat wilayah utama berdasarkan sebaran arah lokasi lahan terhadap TPA, yaitu:

- Wilayah I (Utara) : 3 titik pengambilan sampel tanah dan tanaman ubi di jarak berbeda (dekat, menengah, jauh).
- Wilayah II (Timur) : 3 titik pengambilan sampel tanah dan tanaman ubi di jarak berbeda.
- Wilayah III (Selatan): 3 titik pengambilan sampel tanah dan tanaman ubi di jarak berbeda.
- Wilayah IV (Barat) : 3 titik pengambilan sampel tanah dan tanaman ubi di jarak berbeda.

2.3.2 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan berdasarkan karakteristik tertentu yang memiliki keterkaitan kuat dengan karakteristik populasi (Tajik *et al.*, 2024). Teknik yang digunakan adalah grab sampling karena penelitian ini hanya menggambarkan kadar kadmium (Cd) pada tanah dan tanaman pada satu waktu tertentu. Kadar logam berat dalam tanah relatif stabil dalam waktu singkat sehingga teknik ini sudah dianggap mewakili kondisi saat pengambilan dilakukan. Pengambilan sampel tanah mengacu pada pedoman Soil Sampling for Environmental Contaminants dari IAEA (2004), sedangkan pengambilan sampel tanaman mengacu pada General Guidelines on Sampling dari Codex Alimentarius FAO/WHO (CAC/GL 50-2004). Sebelum pengambilan sampel, peneliti menyiapkan alat tulis, lembar observasi, formulir pengambilan sampel, serta menggunakan masker, handscoon, dan handsanitizer.

2.4 Alat, Bahan dan Prosedur Pemeriksaan Parameter

1) Pengambilan Sampel

a. Alat dan Bahan

- 1) Cangkul
- 2) Sekop tanah
- 3) Plastik sampel
- 4) Label sampel
- 5) Spidol permanen
- 6) Sarung tangan dan masker
- 7) Wadah penyimpanan sampel (*cool box*)

2) Prosedur Pengambilan sampel

a. Pengambilan Sampel Tanah

1. Lokasi pengambilan dilakukan di sekitar TPA Tamangapa Antang dengan tiga jarak pengamatan: dekat (<500 m), sedang (500–1000 m), dan jauh (>1000 m).
2. Setiap titik sampel diambil dari kedalaman 0–20 cm menggunakan

sekop tanah.

3. Tanah diambil sebanyak ± 500 gram dari setiap titik dan dimasukkan ke dalam plastik sampel.
4. Sampel diberi label berisi kode lokasi, tanggal, dan jarak dari TPA.
5. Sampel disimpan dalam wadah tertutup dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

b. Pengambilan Sampel Tanaman Ubi

1. Sampel tanaman ubi diambil pada titik yang sama dengan lokasi pengambilan sampel tanah untuk memastikan kesesuaian media paparan.
2. Bagian tanaman yang diambil adalah umbi yang sudah memasuki usia panen.
3. Ubi yang dipanen dibersihkan dengan mencuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan tanah atau kotoran yang menempel, kemudian dikeringanginkan.
4. Sampel yang sudah bersih dimasukkan ke dalam wadah plastik bersih dan diberi label identitas sesuai titik lokasi pengambilan.
5. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga mencapai berat konstan.
6. Setelah kering, sampel dihaluskan dan disiapkan untuk proses analisis kandungan Kadmium (Cd).

3) Alat dan Bahan Pemeriksaan Sampel

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk pemeriksaan sampel tanah dan tanaman mengacu pada SNI 8910:2021 dan SNI 06-6989.37-2005 tentang cara uji kadar Cd dengan spektrofotometer serapan atom (SSA) secara ekstraksi tentang cara uji logam kadmium (Cd) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), yaitu:

a. Alat

- Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) – tungku karbon
- Lampu katoda berongga (Hollow Cathode Lamp/HCL) Kadmium
- Gelas piala 100 mL dan 250 mL
- Pipet volumetrik 10 mL, 25 mL, dan 50 mL
- Labu ukur 50 mL, 100 mL, dan 250 mL
- Erlenmeyer 100 mL
- Corong gelas
- Pemanas listrik atau hot plate
- Kaca arloji
- Alat saring vakum dan kertas saring Whatman
- Mikropipet atau auto sampler
- Timbangan analitik dengan ketelitian 0,0001 g
- Labu semprot
- Cawan porselen

b. Uji Control

- Larutan induk kadmium (Cd) 100 mg/L
- Asam nitrat (HNO_3) pekat

- Asam klorida (HCl) pekat
- Air suling bebas logam
- Gas argon (untuk sistem SSA)

4) **Prosedur Pemeriksaan Sampel**

Prosedur pemeriksaan kadar Kadmium (Cd) pada tanah dan tanaman mengacu pada SNI 8910:2021 dan SNI 06-6989.37-2005 tentang cara uji kadar Cd dengan spektrofotometer serapan atom (SSA) secara ekstraksi dengan langkah-langkah berikut:

1. Timbang sebanyak 1 gram sampel kering (tanah atau tanaman) ke dalam gelas piala 100 mL.
2. Tambahkan 10 mL campuran asam nitrat (HNO_3) pekat dan asam klorida (HCl) pekat dengan perbandingan 3:1.
3. Panaskan perlahan di atas hot plate hingga volume tersisa sekitar 5 mL dan larutan menjadi jernih.
4. Setelah dingin, tambahkan 10 mL air bebas logam dan saring ke dalam labu ukur 50 mL.
5. Tambahkan air bebas logam hingga tanda tera.
6. Homogenkan dan siapkan larutan untuk analisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).
7. Lakukan pengukuran pada panjang gelombang 228,8 nm untuk unsur Kadmium.
8. Buat kurva kalibrasi menggunakan larutan standar Cd dengan konsentrasi berbeda (misalnya 0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 mg/L).
9. Tentukan konsentrasi Cd dalam sampel berdasarkan hasil pembacaan absorbansi terhadap kurva kalibrasi.

2.5 Pengumpulan Data

2.5.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung melalui penelitian dan pemeriksaan kandungan logam Kadmium pada sampel tanah dan Tanaman (Ubi) di Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar. Data primer yang digunakan pengukuran dan hasil pemeriksaan.

2.5.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari literatur terkait seperti buku, jurnal, skripsi hasil penelitian serta data dari instansi terkait.

2.6 Pengolahan dan Analisis Data

2.6.1 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengelompokkan hasil pengukuran dari sampel tanah dan tanaman yang diambil pada beberapa titik pengambilan sampel. Setiap sampel yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis di laboratorium untuk mengetahui tingkat konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada tanah dan tanaman menggunakan metode spektrofotometri serapan atom (Atomic Absorption Spectrophotometry/AAS) dengan teknik graphite furnace AAS yang memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi logam berat pada konsentrasi rendah.

2.6.2 Analisis Univariat

Data diolah dan dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui jenis sebaran data, apakah terdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas dilakukan sebelum data dianalisis berdasarkan model penelitian yang akan dilakukan. Uji normalitas data bertujuan untuk mendeteksi distribusi data dalam satu variabel yang akan digunakan dalam penelitian. Pada analisis univariat, distribusi data kategorik disajikan dengan menggunakan diagram yang meliputi nilai mean, median, minimum, maksimum, standar deviasi dan kenormalan distribusi.

2.6.3 Analisis Bivariat

Analisis bivariat digunakan untuk menilai hubungan dan perbedaan antara variabel independen dan dependen dalam penelitian ini. Uji korelasi Spearman digunakan untuk menguji hubungan antara jarak titik sampling dari TPA dengan kadar Kadmium (Cd) pada tanah dan tanaman, karena kedua variabel bersifat numerik dan tidak selalu berdistribusi normal. Selain itu, uji Regresi Linear dan *Wilcoxon Signed-Rank* digunakan untuk mengetahui perbedaan kadar Cd berdasarkan kategori jarak sampling dan menganalisis perbedaan kandungan Cd pada tanah dan tanaman di sekitar TPA. Pemilihan uji statistik nonparametrik dilakukan sesuai karakteristik data penelitian. Batas signifikansi ditetapkan pada $p < 0,05$ untuk menentukan adanya hubungan atau perbedaan yang bermakna.

2.7 Penyajian Data

Data yang diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium akan disajikan dalam bentuk tabel dan juga penyajian dalam analisis Geographic Information Sisytm untuk melihat sebaran paparan Kadmium pada tanah dan tanaman di daerah TPA Tamangapa Antang Kota Makassar.

2.8 Etik Penelitian

Etika penelitian berfungsi sebagai perlindungan bagi peneliti dan institusi tempat penelitian. Dalam pelaksanaan penelitian ini, peneliti akan mengajukan kode etik penelitian kepada Komisi Etik Penelitian Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin untuk mendapatkan surat keterangan kelayakan etik penelitian. Sebagai bagian dari penghormatan terhadap prinsip dasar etika penelitian, peneliti diwajibkan memberikan penjelasan yang cukup kepada setiap individu yang akan dilibatkan sebagai subjek penelitian dan memperoleh persetujuan dari mereka. Penjelasan ini bertujuan agar subjek penelitian memahami tujuan penelitian, risiko, manfaat yang mungkin dialami, serta hak dan kewajiban mereka sebagai peserta.