

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri smelter nikel di Indonesia mengalami peningkatan pesat dalam beberapa tahun terakhir seiring tingginya kebutuhan global terhadap bahan baku baterai, stainless steel, dan komponen elektronik. Salah satu pusat pertumbuhan industri ini terletak di Kecamatan Pajukukang, Kabupaten Bantaeng, yang beroperasi dengan intensitas tinggi dan berpotensi menghasilkan cemaran logam berat ke lingkungan sekitarnya. Aktivitas peleburan bijih nikel melepaskan emisi partikulat logam berat, seperti nikel (Ni) dan kadmium (Cd), yang terdispersi ke udara dan selanjutnya mengendap di permukaan tanah (*topsoil*). Akumulasi polutan tersebut pada akhirnya dapat masuk ke sistem pertanian masyarakat setempat (Mardiana et al., 2023).

Tanah merupakan salah satu komponen utama lingkungan yang rentan mengalami pencemaran logam berat karena berperan sebagai media penampung akhir polutan dari deposisi atmosfer maupun limbah padat. Logam berat seperti nikel (Ni) dan kadmium (Cd) yang berasal dari aktivitas pertambangan dan peleburan bersifat persisten, karena merupakan unsur yang tidak dapat terdegradasi secara biologis sehingga dapat bertahan dalam tanah dalam jangka waktu lama. Kondisi ini meningkatkan risiko akumulasi logam berat pada tanah pertanian yang berpotensi menurunkan kualitas lingkungan dan produktivitas lahan. Meskipun demikian, dampak logam berat dapat dikendalikan melalui upaya remediasi, seperti penambahan bahan kimia/amelioran untuk mengikat logam, pencucian tanah, maupun penggunaan tanaman hiperakumulator melalui fitoremediasi untuk menurunkan kadar atau bioavailabilitas logam dalam tanah (Hidayat et al., 2022).

Masyarakat di sekitar kawasan industri smelter banyak memanfaatkan lahan untuk budidaya tanaman pangan, salah satunya tanaman jagung (*Zea mays* L.). Tanaman jagung memiliki sistem perakaran serabut yang luas dan ekspansif, sehingga berpotensi menyerap air, unsur hara, serta kontaminan logam berat dari tanah. Akumulasi nikel dan kadmium dalam jaringan tanaman, khususnya pada bagian daun dapat menimbulkan risiko terhadap keamanan pangan. Nikel pada konsentrasi tinggi dapat menghambat metabolisme tanaman, sedangkan kadmium bersifat sangat toksik meskipun pada konsentrasi rendah (Widaningrum et al., 2017).

Distribusi pencemaran logam berat sangat dipengaruhi oleh jarak dari sumber emisi serta faktor meteorologis, terutama arah angin dan kecepatan angin; area yang lebih dekat dengan cerobong smelter umumnya menerima deposisi polutan lebih tinggi, dan partikel logam berat yang terbawa angin cenderung mengendap pada wilayah yang berada dalam jalur dominan angin sehingga memicu konsentrasi polutan yang lebih besar pada titik-titik tertentu (Rahman, 2021). Selain itu, pH tanah turut mengontrol mobilitas dan ketersediaan logam berat, karena pada pH rendah (asam) logam berat lebih mudah larut dan berpindah/terserap, sedangkan pada pH lebih tinggi (basa) logam berat cenderung lebih terikat pada partikel tanah sehingga mobilitasnya menurun (Mulyani et al., 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, sangat penting dilakukan penelitian mengenai kandungan logam berat dalam tanah serta hubungannya dengan akumulasi logam berat pada daun tanaman jagung di sekitar kawasan smelter nikel Kabupaten Bantaeng. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran ilmiah mengenai tingkat pencemaran dan pola persebaran logam berat di lahan pertanian, serta menjelaskan dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman dan potensi risiko kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi hasil pertanian tersebut.

1.2 Landasan Teori

Logam berat merupakan unsur logam atau metaloid yang memiliki densitas tinggi, umumnya lebih dari 5 g/cm³, dan bersifat toksik pada konsentrasi tertentu. Logam berat dapat terakumulasi dalam tanah sehingga memengaruhi sifat kimia, fisika, dan biologi tanah, serta berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman. Contoh logam berat toksik antara lain merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), arsenik (As), dan kromium (Cr). Dalam klasifikasi kimia berdasarkan tabel periodik, kadmium (Cd) termasuk logam golongan 12, sedangkan nikel (Ni) termasuk logam transisi (golongan 10); dalam sistem lingkungan, keduanya umumnya berada dalam bentuk ion bervalensi dua, yaitu Ni²⁺ dan Cd²⁺, yang lebih mudah terlarut dalam larutan tanah sehingga berpotensi tersedia bagi tanaman dan dapat terserap akar. Keberadaan logam berat di lahan pertanian dapat berasal dari aktivitas industri, pertambangan, limbah domestik, penggunaan pestisida dan pupuk fosfat, pembakaran batu bara, serta proses geologi alami (Kumar et al., 2022).

Berdasarkan perannya dalam sistem fisiologi tanaman, logam berat dapat dikelompokkan menjadi logam esensial dan non-esensial. Logam esensial seperti besi (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), seng (Zn), tembaga (Cu), dan kobalt (Co) dibutuhkan tanaman jagung dalam jumlah kecil untuk mendukung proses metabolisme, pembentukan klorofil, sintesis enzim, serta aktivitas fisiologis lainnya. Namun, pada konsentrasi berlebih, logam esensial dapat menimbulkan efek fitotoksik. Sebaliknya, logam non-esensial seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan merkuri (Hg) tidak memiliki fungsi biologis dalam tanaman dan dapat menyebabkan gangguan fisiologis, seperti klorosis, nekrosis, penurunan biomassa, serta kerusakan sistem perakaran (Riswan et al., 2022).

Nikel (Ni) merupakan unsur logam berat yang secara alami terdapat dalam kerak bumi, khususnya pada batuan ultrabasa dan laterit. Dalam kondisi alami, nikel berada dalam konsentrasi rendah, namun aktivitas manusia seperti penambangan dan peleburan bijih nikel dapat meningkatkan kandungan nikel di lingkungan. Pada proses industri, nikel dapat dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk partikulat halus yang kemudian mengendap ke permukaan tanah melalui deposisi kering maupun basah. Karena bersifat persisten dan sulit terdegradasi, nikel berpotensi terakumulasi dalam tanah serta masuk ke sistem perakaran tanaman, sehingga dapat memengaruhi kualitas tanah dan tanaman di sekitarnya (He et al., 2022).

Dalam tanah pertanian, keberadaan nikel perlu dikendalikan karena berpotensi memengaruhi kualitas lingkungan dan tanaman. Berdasarkan (Permentan, 2019) batas maksimum kandungan nikel (Ni) dalam tanah pertanian ditetapkan sebesar 50 mg/kg. Dalam fisiologi tanaman, nikel pada konsentrasi

rendah berperan sebagai unsur mikro yang mendukung aktivitas enzim tertentu, namun pada konsentrasi berlebih dapat menimbulkan gangguan metabolisme, kerusakan klorofil, hambatan fotosintesis, serta penurunan penyerapan unsur hara esensial. Gejala toksisitas nikel pada tanaman umumnya ditandai dengan klorosis, pertumbuhan terhambat, dan penurunan vitalitas daun. Ambang batas kandungan nikel pada jaringan tanaman pangan, termasuk tanaman jagung (*Zea mays* L.), ditetapkan sebesar 30 mg/kg (Alloway, 1995)

Kadmium (Cd) merupakan unsur logam berat non-esensial yang tidak memiliki fungsi fisiologis dalam sistem biologis. Logam ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai aktivitas industri, seperti pelapisan logam, pembuatan baterai, dan pigmen. Kadmium bersifat sangat toksik meskipun pada konsentrasi rendah dan dapat menyebabkan gangguan metabolisme serta kerusakan jaringan pada organisme hidup. Karena tingkat toksisitasnya yang tinggi dan sifatnya yang mudah terakumulasi dalam jaringan biologis, kadmium termasuk salah satu logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Zulfiaqar et al., 2021).

Keberadaan kadmium dalam tanah pertanian perlu mendapat perhatian karena dapat menimbulkan dampak negatif terhadap tanaman dan kesehatan manusia. Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 261 Tahun 2019, batas maksimum kandungan kadmium (Cd) dalam tanah pertanian ditetapkan sebesar 2 mg/kg, sedangkan ambang batas kandungan Cd pada tanaman pangan juga ditetapkan sebesar 2 mg/kg. Akumulasi kadmium dalam jaringan tanaman dapat mengganggu proses fisiologis, seperti pembentukan klorofil dan metabolisme sel, serta berpotensi masuk ke dalam rantai makanan apabila dikonsumsi oleh manusia (Permentan, 2019).

Tanaman jagung (*Zea mays* L.) dapat menyerap logam berat melalui dua mekanisme utama, yaitu melalui sistem perakaran dan deposisi langsung pada permukaan daun. Melalui akar, nikel (Ni) dan kadmium (Cd) yang berada dalam larutan tanah dapat diserap dan ditranslokasikan menuju batang serta daun melalui sistem xilem. Sementara itu, logam berat yang terdeposit pada permukaan daun dapat masuk ke jaringan daun melalui stomata atau menembus lapisan kutikula, kemudian terakumulasi pada jaringan mesofil atau disimpan dalam vakuola sel. Logam berat yang masuk melalui daun umumnya bersifat lokal dan tidak banyak ditranslokasikan ke bagian tanaman lain. Besarnya akumulasi logam berat pada daun dipengaruhi oleh kemampuan tanaman dalam menyerap dan mentranslokasikan logam serta kondisi lingkungan sekitar (Maulana et al., 2022)

Analisis kandungan logam berat dalam tanah dan jaringan tanaman pada penelitian lingkungan umumnya dilakukan menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Metode ini didasarkan pada prinsip penyerapan radiasi oleh atom logam bebas pada panjang gelombang tertentu yang spesifik untuk setiap unsur. AAS memiliki tingkat sensitivitas dan ketelitian yang tinggi, sehingga mampu mendeteksi logam berat seperti nikel (Ni) dan kadmium (Cd) pada konsentrasi yang sangat rendah, serta banyak digunakan sebagai metode standar dalam analisis pencemaran logam berat (García & Báez, 2012).

1.3 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat Nikel (Ni) dan Kadmium (Cd) dalam tanah serta tingkat akumulasinya pada daun tanaman jagung (*Zea mays* L.) di sekitar kawasan industri, sekaligus menggambarkan pola sebaran polutan tersebut berdasarkan gradien jarak dari sumber emisi smelter. Melalui pencapaian tujuan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat ilmiah berupa data empiris mengenai interaksi tanah-tanaman di lingkungan tropis, serta manfaat praktis bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Bantaeng dan masyarakat petani sebagai acuan dalam memetakan status keamanan lahan pertanian dan merumuskan strategi mitigasi dampak lingkungan yang tepat sasaran.

BAB II

METODOLOGI

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Pajukukang, Kabupaten Bantaeng, Provinsi Sulawesi Selatan. Analisis sampel tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Pakan, Departemen Nutrisi dan Makanan Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Hasanuddin, Tamalanrea, Makassar. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Juni 2025 hingga selesai.

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan sampel tanah di lapangan dan di laboratorium dapat dilihat pada tabel 1

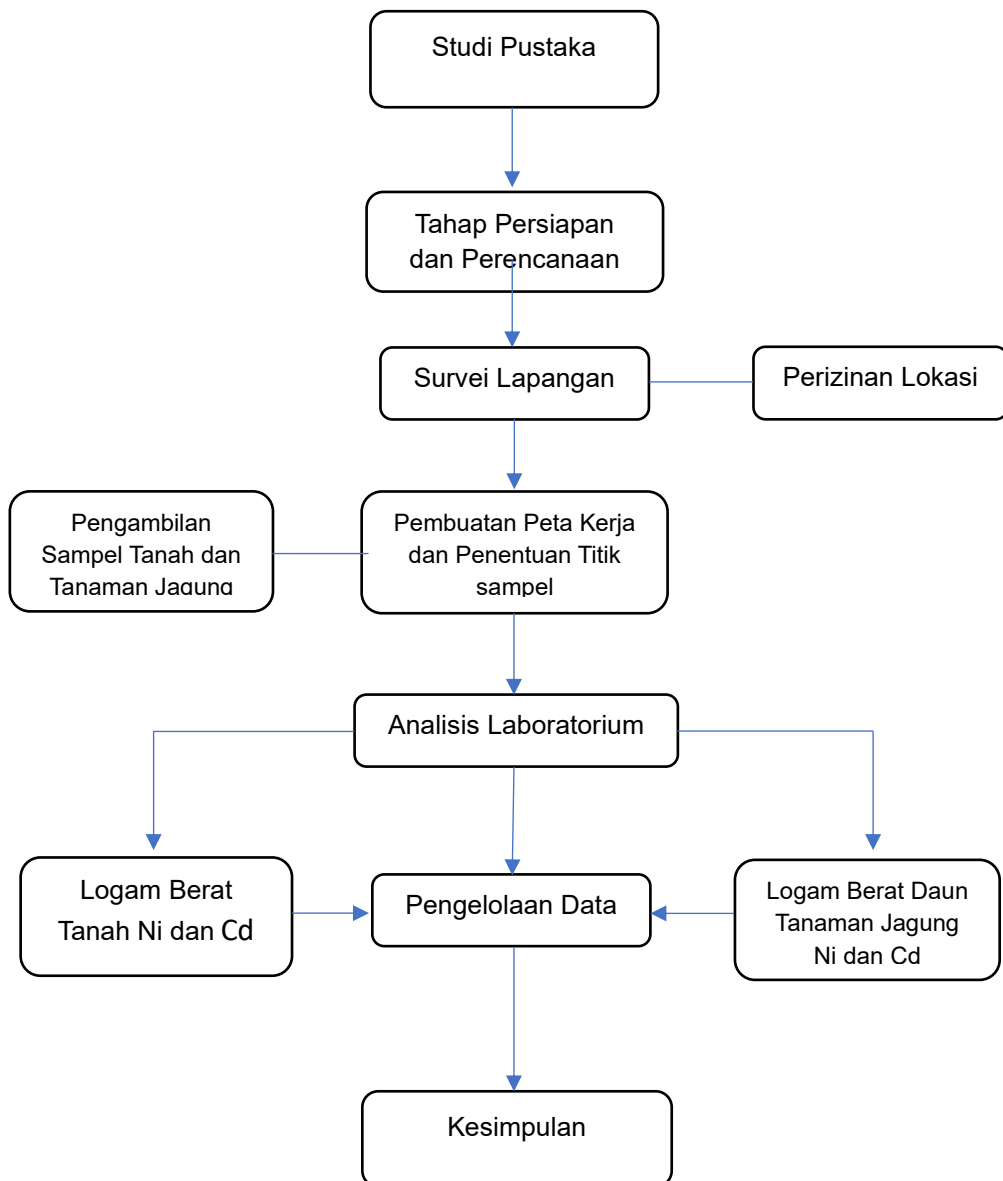
Tabel 1. Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian dan kegunaannya

Alat	Kegunaan
Alat survei	Mengambil sampel tanah di lapangan
<i>Avenza maps</i>	Menentukan titik koordinat sampel tanah di lapangan
Handphone	Dokumentasi di lapangan
Laptop	Membuat peta kerja
<i>AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry)</i>	Menganalisis kandungan logam berat
<i>Vacuum pump</i>	Menyaring sampel
<i>Erlenmeyer</i>	Wadah untuk proses destruksi sampel
<i>Hotplate</i>	Memanaskan sampel
Kertas saring	Menyaring hasil destruksi sampel
Gelas beker	Tempat sampel
Labu ukur 50ml dan 100ml	Mengencerkan sampel dan membuat larutan standar
Oven	Mengeringkan sampel tanah pada suhu konstan sebelum analisis
Bahan	Kegunaan
Sampel tanah	Sampel analisis kandungan logam berat Ni dan Cd
Sampel tanaman jagung	Analisis logam berat Ni dan Cd pada daun
Asam nitrat (HNO_3)	Pengawet dan pendestruksi
Aquades	Kalibrasi alat
Aqua demin	Pengencer sampel
Asam klorida (HCl)	Destruksi sampel tanah
Larutan standar Nikel dan Kadmium	Standar kalibrasi untuk menentukan konsentrasi Ni dan Cd dalam sampel

2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode survei dengan pendekatan deskriptif untuk mengetahui kandungan logam berat nikel (Ni) dan kadmium (Cd) dalam tanah serta akumulasinya pada daun tanaman jagung (*Zea mays* L.) di sekitar kawasan smelter nikel di Kabupaten Bantaeng.

2.4 Tahapan Penelitian



Gambar 1 Bagan Alur Penelitian

2.5 Pelaksanaan Penelitian

2.5.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan sebagai tahap awal penelitian dengan mengumpulkan dan menelaah berbagai sumber ilmiah, seperti jurnal, buku, laporan penelitian, serta peraturan yang berkaitan dengan logam berat, khususnya nikel (Ni) dan kadmium (Cd). Studi pustaka bertujuan untuk memperoleh dasar teori mengenai karakteristik logam berat, mekanisme akumulasi logam berat pada tanaman, serta dampak aktivitas industri terhadap pencemaran tanah. Hasil studi pustaka digunakan sebagai dasar dalam penyusunan kerangka penelitian dan penentuan metode yang akan digunakan.

2.5.2 Tahap Persiapan dan Perencanaan

Tahap persiapan dan perencanaan dilakukan setelah studi pustaka untuk menyusun seluruh kebutuhan penelitian. Kegiatan pada tahap ini meliputi penentuan lokasi penelitian, penyiapan alat dan bahan, penentuan metode pengambilan sampel, jumlah dan sebaran titik sampling, serta perancangan prosedur kerja di lapangan dan laboratorium. Perencanaan yang matang diperlukan agar penelitian dapat berjalan secara sistematis dan menghasilkan data yang akurat.

2.5.3 Perizinan Lokasi

Proses perizinan lokasi dilakukan dengan mengajukan surat permohonan penelitian melalui Departemen Ilmu Tanah kepada pemerintah desa, pemilik lahan, dan pihak terkait di Kecamatan Pajukukang, Kabupaten Bantaeng. Perizinan ini bertujuan untuk menjamin bahwa pelaksanaan penelitian berlangsung sesuai ketentuan dan tidak menimbulkan gangguan terhadap aktivitas masyarakat setempat. Selain itu, perizinan diperlukan untuk memastikan akses pengambilan sampel pada lahan penelitian serta membangun koordinasi awal terkait waktu dan teknis pelaksanaan di lapangan.

2.5.4 Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk mengamati kondisi lokasi penelitian secara langsung, meliputi karakteristik lahan, penggunaan lahan, kondisi tanaman jagung, serta potensi sumber pencemaran dari aktivitas smelter nikel. Survei ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi yang representatif sebagai titik pengambilan sampel. Pada tahap ini juga dilakukan pencatatan kondisi umum lingkungan serta penentuan koordinat awal lokasi sebagai bahan pendukung dalam pemetaan.

2.5.5 Pembuatan Peta Kerja

Pembuatan peta kerja dilakukan sebagai acuan dalam pelaksanaan pengambilan sampel tanah di lapangan. Peta kerja digunakan untuk menentukan lokasi dan sebaran titik sampling agar mewakili area penelitian secara spasial. Adapun peta yang digunakan dalam penyusunan penelitian yaitu peta administrasi wilayah, yang selanjutnya dipadukan dengan informasi lokasi smelter dan titik koordinat pengambilan sampel.

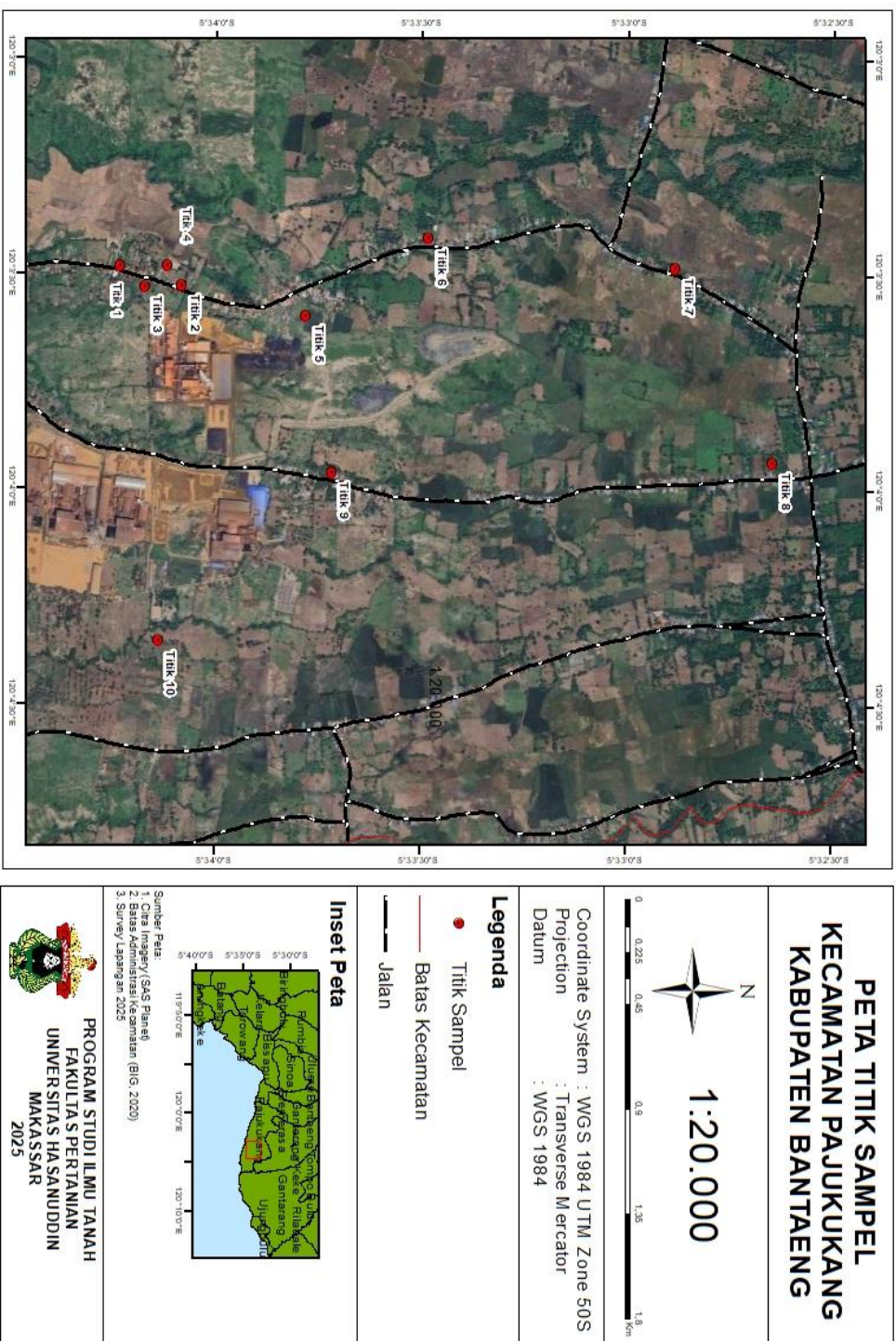
2.5.6 Penentuan Titik Sampel

Pada penelitian ini, penentuan titik sampel tanah dilakukan dengan menggunakan metode *simple random sampling* yang disesuaikan dengan kondisi wilayah di sekitar aktivitas smelter nikel. Metode ini dipilih untuk memastikan bahwa seluruh zona dengan potensi paparan berbeda mendapatkan peluang untuk mewakili dalam pengambilan sampel.

Sampel tanah diambil pada 10 titik di sekitar smelter nikel bantaeng, koordinat pengambilan sampel di setiap stasiun dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. Titik koordinat pengambilan sampel

Titik Sampling	Lintang Selatan	Bujur Timur
1	5°34'14.00"S	120°3'29.00"T
2	5°34'4.89"S	120°3'31.62"T
3	5°34'10.39"S	120°3'32.86"T
4	5°34'7.00"S	120°3'29.00"T
5	5°33'46.68"S	120°3'35.83"T
6	5°33'29.00"S	120°3'25.00"T
7	5°32'53.00"S	120°3'29.00"T
8	5°32'38.76"S	120°3'56.06"T
9	5°33'42.99"S	120°3'57.59"T
10	5°34'8.18"S	120°4'21.22"T



Gambar 2. Peta Pengambilan Titik Sampel

2.5.7 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode random sampling dengan teknik single sampling. Sampel diambil pada 10 titik lokasi yang ditentukan secara acak dengan jarak yang bervariasi dari kawasan smelter nikel. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0–20 cm (lapisan topsoil), sedangkan sampel daun jagung (*Zea mays* L.) diambil pada setiap titik pengamatan. Seluruh sampel selanjutnya dianalisis untuk menentukan kandungan logam berat nikel (Ni) dan kadmium (Cd).

2.5.8 Analisis Laboratorium

1. Analisis Logam Berat Tanah dan Daun Tanaman Jagung

Analisis kandungan logam berat nikel (Ni) dan kadmium (Cd) pada sampel tanah dan daun tanaman jagung (*Zea mays* L.) dilakukan di Laboratorium Kimia Pakan, Departemen Nutrisi dan Makanan Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Hasanuddin menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) sesuai standar uji nasional. Sampel tanah dipersiapkan melalui proses destruksi asam mengacu pada SNI 8910:2021 tentang cara uji kadar logam dalam limbah padat, sedimen, dan tanah menggunakan spektrometer serapan atom (SSA), sedangkan pengukuran nikel (Ni) mengikuti SNI 6968.18:2009.

Sampel daun tanaman jagung dianalisis menggunakan metode destruksi basah (wet digestion), di mana sampel dikeringkan, digiling hingga homogen, kemudian didestruksi menggunakan campuran asam kuat ($\text{HNO}_3\text{--HClO}_4$ atau $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{O}_2$). Larutan hasil destruksi selanjutnya dianalisis menggunakan AAS untuk menentukan konsentrasi logam berat Ni dan Cd.

Perhitungan kandungan logam berat Ni dan Cd dalam sampel dilakukan menggunakan rumus

$$\text{Ni/Cd (mg/kg)} = \frac{C \times V}{W \times P} \times F_p$$

di mana:

Ni/Cd : Kadar logam berat nikel/Kadmium

P : Fraksi padat

C : Kadar logam berat yang diperoleh dari kurva kalibrasi (mg/L)

V : Volume akhir (ml)

F_p : Faktor pengencer (bila tidak dilakukan pengenceran f_p = 1)

W : Berat uji sampel (g)

2. Analisis pH Tanah

Analisis pH tanah dilakukan dengan metode suspensi tanah–air. Sampel tanah yang telah dikeringkan dan diayak menggunakan saringan berukuran 2 mm ditimbang sebanyak 10 g, kemudian dicampurkan dengan 25 mL air suling atau larutan KCl 1 N dengan perbandingan 1:2,5. Campuran tersebut diaduk dan didiamkan selama ±30 menit hingga tercapai kesetimbangan antara tanah dan larutan. Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan buffer standar pH 4, 7, dan 10. Elektroda pH meter dicelupkan ke dalam suspensi tanah, dan nilai pH dibaca setelah kondisi stabil. Nilai pH yang diperoleh menggambarkan tingkat keasaman tanah yang berperan penting dalam mengontrol ketersediaan unsur hara serta mobilitas logam berat di dalam tanah.

Tabel 3. Parameter pengamatan

Berikut parameter dan metode analisis yang akan digunakan:

Parameter	Metode
1. Logam Berat • Nikel • Kadmium	AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>)
2. Sifat Kimia Tanah • pH Tanah	pH Meter

2.6 Analisis Data

Data hasil pengukuran kandungan logam berat Nikel (Ni) dan Kadmium (Cd) pada sampel tanah dan daun tanaman jagung akan dianalisis secara kuantitatif menggunakan pendekatan statistik deskriptif dan inferensial. Tujuannya untuk mengetahui pola distribusi data dan perbedaan antar lokasi.

2.6.1 Analisis Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi umum data kandungan logam berat yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan atau laboratorium. Parameter yang digunakan dalam statistik deskriptif meliputi: nilai minimum, maksimum, rata-rata (*mean*) dan standar deviasi.

2.6.1.1 Nilai Terkecil (Minimum)

Nilai minimum adalah nilai data terkecil yang ditemukan dalam sekumpulan data pengamatan. Nilai ini berfungsi sebagai penentu batas bawah sebaran data (Suryani & Wijaya, 2022). Dalam statistik deskriptif, nilai minimum merupakan salah satu ukuran dispersi sederhana yang digunakan untuk menggambarkan rentang data yang diamati

Secara konseptual, nilai minimum dinyatakan sebagai:

$$x_{min} = \min (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

di mana:

x_{min} : Nilai minimum data

x_1 : Data pengamatan ke- i

n : Jumlah total data

2.6.1.2 Nilai Terbesar (Maksimum)

Nilai maksimum adalah nilai data terbesar yang ditemukan dalam sekumpulan data yang diobservasi. Nilai ini berperan sebagai penentu batas atas sebaran data (Junaedi & Sari, 2023). Bersama dengan nilai minimum, nilai maksimum digunakan untuk mengetahui rentang variasi data yang diamati

Secara konseptual, nilai maksimum dinyatakan sebagai:

$$x_{max} = \max (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

di mana:

x_{max} : Nilai maksimum data

x_1 : Data pengamatan ke- i

n : Jumlah total data

2.6.1.3 Rata-Rata (*Mean*)

Rata-rata hitung atau *mean* merupakan teknik penjelasan kelompok data yang didasarkan atas nilai pusat dari data tersebut. Rata-rata didapatkan dengan menjumlahkan data seluruh individu dalam kelompok, kemudian dibagi dengan jumlah individu yang ada pada kelompok tersebut. Menurut Sudjana (2005), rata-rata adalah ukuran tendensi sentral yang digunakan sebagai wakil dari sekumpulan data untuk mendeskripsikan karakteristik umum data tersebut.

Persamaan umum untuk menghitung rata-rata (mean) sampel adalah sebagai berikut (Walpole, 1995):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

di mana:

$\bar{x}$: Rata-rata hitung (*mean*)

x_i : Nilai data pengamatan ke- i

n : Jumlah total data (banyaknya sampel)

Σ : Simbol penjumlahan (sigma)

2.6.1.4 Standar Deviasi

Standar deviasi (simpangan baku) adalah ukuran penyebaran data yang paling sering digunakan dalam analisis statistik. Standar deviasi menunjukkan seberapa jauh variasi data menyebar dari nilai rata-ratanya. Semakin kecil nilai standar deviasi, maka data tersebut semakin homogen (seragam). Sebaliknya, jika nilai standar deviasi besar, maka data memiliki variasi yang lebar (heterogen). Menurut Sugiyono (2017), standar deviasi atau simpangan baku dari sekumpulan data sampel didefinisikan sebagai akar kuadrat dari varians.

Secara matematis, standar deviasi sampel dihitung dengan persamaan berikut::

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

di mana:

SD : Standar deviasi (simpangan baku)

x_i : Nilai data pengamatan ke- i

$\bar{x}$: Nilai rata-rata hitung (mean)

n : Jumlah total data

$n-1$: Derajat kebebasan

2.6.2 Kriteria Sifat Kimia Tanah

Tabel 4. Kriteria pH Tanah (Balai Penelitian Tanah, 2009)

Parameter	Nilai					
	Sangat Masam	Masam	Agak Masam	Netral	Agak Alkalis	Alkalis
pH (H ₂ O)	<4-5	4,5-5,5	5,6-6,5	6,6-7,5	7,6-8,5	>8,5