

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri nikel skala besar di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir telah meningkatkan potensi tekanan lingkungan di sekitar kawasan smelter, termasuk di Kabupaten Bantaeng, Sulawesi Selatan. Operasional smelter menghasilkan emisi partikel yang berpotensi mengandung logam berat seperti nikel (Ni) dan kadmium (Cd), yang dapat terdispersi melalui udara maupun aliran permukaan menuju lahan pertanian di sekitarnya. Deposisi partikulat tersebut berisiko menurunkan kualitas tanah dan memicu akumulasi logam berat pada tanaman pangan. Sejumlah laporan investigatif dan hasil pengamatan lapangan juga menunjukkan adanya endapan debu pada permukaan bangunan dan tanaman serta keluhan masyarakat terkait gangguan kualitas lingkungan. Mengingat jalur paparan logam berat terhadap manusia terutama terjadi melalui rantai makanan, diperlukan kajian ilmiah yang sistematis untuk menilai potensi kontaminasi tanah dan tanaman akibat aktivitas smelter tersebut (Naprida et al., 2025).

Salah satu wilayah yang mengalami perkembangan industri smelter nikel tersebut adalah Kabupaten Bantaeng, khususnya di kawasan Kawasan Industri Bantaeng (KIBA). Kawasan Industri Bantaeng yang berada di Kecamatan Pajukukan merupakan kawasan industri yang berlokasi berdekatan dengan area pertanian dan permukiman warga sehingga berpotensi menimbulkan tekanan lingkungan pada lahan pertanian di sekitarnya. Kedekatan spasial tersebut memungkinkan terjadinya paparan berkelanjutan terhadap partikel debu dan emisi industri yang terbawa angin maupun mengendap di permukaan tanah. Studi lapangan dan laporan lokal menunjukkan adanya indikasi perubahan kondisi lingkungan, seperti pengendapan sedimen dan perubahan parameter fisik-lingkungan yang dirasakan oleh petani setempat. Beberapa penelitian akademik lokal juga telah melaporkan adanya perubahan sifat tanah dan respons tanaman di lahan sekitar smelter, meskipun cakupan datanya masih terbatas dan belum secara komprehensif dikaitkan dengan konsentrasi logam berat pada tanaman pangan. Oleh karena itu, pemetaan dan analisis parameter kimia tanah di zona berisiko menjadi langkah penting untuk menilai potensi kontaminasi dan memperjelas hubungan antara aktivitas industri dan kualitas lahan pertanian (Pratama & Haedir, 2023).

Salah satu kelompok kontaminan yang berpotensi muncul akibat aktivitas smelter tersebut adalah logam berat. Logam berat nikel (Ni) dan kadmium (Cd) merupakan dua unsur yang memiliki perilaku mobilitas serta potensi toksisitas berbeda, tetapi sama-sama relevan dalam konteks pencemaran tanah pertanian di sekitar smelter nikel. Ni adalah unsur mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah kecil, namun pada konsentrasi tinggi dapat bersifat toksik bagi tanaman itu sendiri. Sebaliknya, Cd merupakan unsur non-esensial yang mudah terakumulasi dalam tanah dan hidup organisme, sehingga berisiko bagi kesehatan manusia melalui rantai pangan. Berbagai studi eksperimental dan tinjauan ilmiah menunjukkan bahwa Ni

dan Cd dapat bertahan dalam tanah, memengaruhi pertumbuhan tanaman, serta dipindahkan ke jaringan tanaman melalui penyerapan akar, sebuah proses yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisik-kimia tanah dan praktik pengelolaan lahan. Untuk itu, pemantauan kadar Ni dan Cd di tanah serta pada jaringan jagung menjadi penting sebagai alat penilaian risiko agronomis dan pangan di wilayah yang dipengaruhi emisi smelter (Rizwan et al., 2024).

Ketersediaan dan mobilitas Ni dan Cd di dalam tanah tidak hanya ditentukan oleh jumlah logam tersebut, tetapi juga dipengaruhi karakteristik kimia tanah. Sifat kimia tanah seperti pH, kapasitas tukar kation (KTK/CEC), dan kandungan karbon organik merupakan faktor utama yang menentukan ketersediaan logam berat di dalam tanah. Secara umum, pH tanah sangat mempengaruhi kelarutan ion logam, di mana pH rendah (asam) cenderung meningkatkan kelarutan dan ketersediaan kadmium (Cd) serta logam-logam lainnya. Kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi menunjukkan kemampuan tanah untuk menahan ion logam sehingga mengurangi pergerakan dan ketersediaannya bagi tanaman. Selain itu, kandungan bahan organik berperan kompleks karena dapat membentuk kompleks dengan ion logam, yang pada satu sisi menurunkan ketersediaan hayati, tetapi dalam kondisi tertentu juga dapat meningkatkan mobilitas logam tergantung bentuk kompleks yang terbentuk. Karena pH, KTK, dan karbon organik secara bersama-sama mengatur sejauh mana Ni dan Cd tersedia untuk diserap tanaman, pengukuran ketiga parameter ini diperlukan untuk memahami mekanisme akumulasi logam berat oleh tanaman jagung di daerah penelitian (Hossain et al., 2024).

Salah satu tanaman yang berpotensi terpengaruh oleh kondisi kimia tanah dan keberadaan logam berat tersebut adalah jagung (*Zea mays* L.). Jagung (*Zea mays* L.) merupakan komoditas pangan dan pakan yang luas dibudidayakan di daerah pantai dan dataran rendah Sulawesi Selatan, termasuk di sekitar kawasan industri smelter nikel di Kabupaten Bantaeng, sehingga tanaman ini relevan dijadikan sebagai indikator akumulasi logam berat di lahan pertanian sekitar. Jagung telah dilaporkan mampu menyerap berbagai logam berat dari tanah, dan kemampuan penyerapannya dapat berbeda antar unsur tergantung pada kondisi lingkungan serta praktik budidaya yang diterapkan. Selain itu, besarnya transfer logam dari tanah ke bagian tanaman sangat dipengaruhi oleh sifat fisik-kimia tanah dan fenotipe tanaman itu sendiri. Karena jagung dikonsumsi langsung oleh manusia dan hewan ternak, pengukuran kadar nikel (Ni) dan kadmium (Cd) pada jaringan yang dikonsumsi, seperti biji atau bagian vegetatif lainnya, menjadi penting untuk menilai potensi risiko kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, kajian yang menghubungkan sifat kimia tanah dengan akumulasi logam pada jagung dapat memberikan gambaran langsung tentang potensi paparan logam melalui rantai pangan lokal (Dirman, 2022).

Meskipun beberapa studi awal telah meneliti dampak industri nikel terhadap lingkungan di Kabupaten Bantaeng, masih terdapat keterbatasan penelitian kuantitatif yang secara simultan mengukur sifat kimia tanah (pH, KTK, dan C-organik) dan kadar nikel (Ni) serta kadmium (Cd) pada jaringan jagung di zona berisiko. Banyak laporan yang tersedia saat ini bersifat deskriptif atau hanya membahas

kerangka dampak sosial dan lingkungan, sehingga data kuantitatif terperinci tentang hubungan antara sifat tanah dan akumulasi logam berat pada tanaman pangan belum memadai. Kesenjangan ini menghambat kemampuan pembuat kebijakan dan masyarakat untuk merancang strategi pengelolaan lahan atau langkah mitigasi yang berbasis bukti ilmiah. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lapangan terukur yang mengombinasikan analisis kimia tanah dan analisis kadar logam pada jagung untuk menutup celah pengetahuan tersebut (Yerli et al., 2025).

Secara ilmiah, studi yang menghubungkan parameter pH, kapasitas tukar kation (KTK), dan karbon organik dengan potensi akumulasi Ni dan Cd pada jagung memiliki manfaat penting dalam konteks lingkungan dan pertanian di sekitar kawasan smelter nikel. Penelitian semacam ini dapat memperluas pemahaman tentang interaksi antara sifat kimia tanah, ketersediaan logam, dan respons tanaman, serta menyediakan data observasi yang dapat digunakan untuk memetakan zona risiko kontaminasi di lahan pertanian. Selain itu, hasil studi ini dapat menjadi dasar dalam merumuskan rekomendasi pengelolaan lahan yang efektif untuk menurunkan bioavailabilitas logam berat dan mengurangi potensi transfernya dari tanah ke tanaman. Lebih jauh lagi, temuan mengenai strategi mitigasi, seperti penggunaan bahan organik atau teknik agronomi yang telah terbukti menurunkan transfer logam, juga dapat diadaptasi untuk kondisi lokal. Dengan demikian, penelitian ini berpotensi menjadi acuan bagi pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan lokal maupun regional dalam menyusun program pemantauan berkala serta kebijakan perlindungan pangan di area berdekatan dengan smelter (Subiksa et al., 2020).

Berdasarkan uraian sebelumnya, penelitian tentang hubungan antara sifat kimia tanah dan potensi akumulasi logam berat pada tanaman jagung di sekitar smelter nikel Kabupaten Bantaeng perlu dilakukan untuk memahami lebih jelas keterkaitan antara karakteristik tanah dan risiko pencemaran tanaman pangan. Interaksi antara aktivitas industri smelter, emisi logam berat, serta parameter kimia tanah seperti pH, kapasitas tukar kation (KTK), dan kandungan karbon organik memerlukan analisis yang sistematis untuk mengidentifikasi sejauh mana variabel-variabel tersebut memengaruhi mobilitas dan ketersediaan logam berat di dalam tanah. Penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan hubungan antara pH, KTK, dan C-organik dengan konsentrasi nikel (Ni) dan kadmium (Cd) dalam jaringan jagung, sehingga memberikan gambaran yang lebih jelas tentang mekanisme akumulasi logam pada tanaman di zona berisiko. Selain itu, hasil penelitian ini berpotensi menjadi dasar rekomendasi ilmiah untuk perencanaan pengelolaan lingkungan dan strategi pertanian berkelanjutan di sekitar kawasan industri nikel Kabupaten Bantaeng, termasuk dalam upaya mitigasi paparan logam berat melalui rantai pangan lokal.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan sifat kimia tanah (pH, KTK, dan C-organik), mengetahui kandungan logam berat Ni dan Cd pada daun jagung, serta mengidentifikasi kecenderungan hubungan deskriptif antara keduanya sebagai

gambaran awal potensi akumulasi logam berat di sekitar smelter nikel Kabupaten Bantaeng. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai informasi mengenai risiko kontaminasi pada lahan dan tanaman bagi petani, sebagai data awal untuk penelitian lanjutan terkait tanah, logam, tanaman untuk akademisi, serta sebagai dasar pemantauan lingkungan dan perumusan kebijakan pengelolaan lahan di area berdekatan dengan aktivitas industri smelter untuk pemerintah.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Sifat Kimia Tanah

Sifat kimia tanah merupakan indikator penting dalam menilai kemampuan suatu lahan. Karakteristik ini menggambarkan aktivitas ion dalam tanah yang tidak tampak secara langsung, tetapi dapat dianalisis menggunakan bahan kimia. Informasi mengenai sifat kimia tanah juga berperan sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi pemupukan untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman (Isir et al., 2022).

Beberapa sifat kimia tanah dapat digunakan untuk menilai apakah suatu tanah memiliki potensi atau tidak. Tanah dianggap subur apabila fase padatnya mengandung unsur hara yang cukup, serta mampu menyediakan air dan udara yang memadai bagi pertumbuhan tanaman. Namun, banyaknya unsur hara saja tidak menjamin tanaman tumbuh optimal dan menghasilkan produksi tinggi. Kondisi lain yang turut menentukan adalah keseimbangan air dan udara dalam tanah, yang memungkinkan tanaman memanfaatkan unsur hara secara efisien serta mendukung perkembangan akar yang lebih baik. Proses biologis dan kimia di dalam tanah juga akan berjalan optimal jika kondisi tanah sesuai. Sifat kimia tanah yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman meliputi pH tanah, kadar bahan organik, dan kapasitas tukar kation (Muhammad & Mowidu, 2018).

1.3.2 pH Tanah

pH tanah merupakan ukuran yang digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman maupun kebasaan suatu lahan. Informasi mengenai pH tanah membantu petani menentukan jenis tanaman yang sesuai untuk dibudidayakan, karena setiap tanaman memiliki kebutuhan pH yang berbeda. pH merupakan ukuran yang menunjukkan tingkat konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan. Larutan dengan nilai pH rendah bersifat asam, sedangkan nilai pH tinggi menunjukkan sifat basa. Secara umum, tanah di daerah beriklim lembap cenderung memiliki sifat lebih asam, sementara tanah di wilayah kering biasanya lebih bersifat basa. Pada tanah yang asam, ion hidrogen (H^+) lebih banyak dibandingkan ion hidroksil OH^- , sedangkan pada tanah yang bersifat basa, ion OH^- lebih dominan. Skala pH berada pada rentang 0 hingga 14, di mana nilai 7 menandakan kondisi netral. Sementara itu, pH tanah umumnya berkisar antara 4 sampai 10 (Juliansyah et al., 2022).

Mengetahui pH tanah sangat penting untuk menentukan apakah tanah bersifat asam, netral, atau basa. Pengukuran tingkat keasaman tanah dapat

dilakukan dengan dua metode, yaitu metode kolorimetri dan metode elektrometri. Metode kolorimetri menggunakan indikator asam-basa atau zat pewarna yang berubah warna sesuai dengan aktivitas ion hidrogen dalam larutan, dan umumnya digunakan di lapangan. Sedangkan metode elektrometri memanfaatkan pH meter yang dilengkapi elektroda, dan biasanya dilakukan di laboratorium. Beberapa faktor yang memengaruhi penentuan pH tanah antara lain adalah perbandingan jumlah air dengan tanah (tingkat pengenceran), kandungan garam-garam terlarut dalam larutan tanah, serta keseimbangan antara CO_2 di udara dan CO_2 yang berada di dalam tanah.

Tingkat keasaman (pH) tanah dipengaruhi oleh sifat misel tanah dan jenis kation yang diserap, termasuk besarnya kejenuhan basa. Ketika kejenuhan basa menurun, tanah menjadi lebih masam dan nilai pH ikut turun. Perbedaan kemampuan misel dalam melepaskan ion hydrogen (H^+) juga dapat menyebabkan variasi pH meskipun tingkat kejenuhan basanya sama. Sebagai contoh, koloid tanah dengan kandungan natrium (Na) yang lebih tinggi umumnya memiliki pH lebih besar dibandingkan koloid lain pada tingkat kejenuhan basa yang sama (Saragih et al., 2025).

Tabel 1. Kriteria Penilaian pH Tanah (Balai Penelitian Tanah, 2005)

Kriteria	Sangat Masam	Masam	Agak Masam	Netral	Agak Alkalis	Alkalis
	<4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	6,6-7,5	7,6-8,5	>8,5

Pencemaran logam berat di dalam tanah dapat menurunkan pH tanah sehingga tanah menjadi lebih asam. Dalam jangka panjang, kondisi ini menyebabkan penurunan kualitas tanah karena tingginya akumulasi logam berat. Logam berat yang berada di tanah dapat diserap dan ditimbun oleh tanaman. Tanaman yang mengandung logam berat berpotensi membahayakan kesehatan manusia apabila dikonsumsi. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan sifat fisik dan kimia tanah untuk mengurangi risiko tersebut, meningkatkan produktivitas lahan, dan memperkuat ketahanan pangan. Sumber pencemaran terbesar biasanya berasal dari limbah industri, yang memiliki peran signifikan dalam memasok logam berat ke lingkungan. Banyak jenis limbah berbahaya mengandung senyawa kaya logam berat yang dapat mencemari lahan pertanian (Khasanah et al., 2021).

1.3.3 Kapasitas Tukar Kation

Selain pH tanah, sifat kimia tanah lain yang sangat berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara dan interaksi logam dalam tanah adalah kapasitas tukar kation (KTK). Kapasitas Tukar Kation merupakan indikator kemampuan tanah dalam menahan serta menukar kation-kation bermuatan positif yang dibutuhkan tanaman, seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+ . Tanah dengan nilai KTK tinggi mampu menyimpan unsur hara lebih baik dan mengurangi kehilangan nutrisi akibat pencucian, sehingga mampu menyediakan kebutuhan hara tanaman secara lebih stabil. Tanah yang memiliki KTK tinggi juga mampu menahan kation dalam jumlah lebih besar, sehingga

dapat dikatakan bahwa semakin tinggi nilai KTK suatu tanah, semakin besar pula kemampuan tanah tersebut dalam menahan logam pencemar dan meningkatkan toleransinya terhadap kontaminasi (Syachroni, 2017). Besarnya KTK sangat dipengaruhi oleh tekstur tanah, pH tanah dan bahan organik. Tanah dengan proporsi lempung tinggi maupun tanah kaya bahan organik umumnya memiliki KTK yang lebih besar. Bahan organik berperan penting dalam meningkatkan KTK karena mengandung gugus fungsional yang dapat mengikat berbagai kation. pH tanah yang netral hingga basa umumnya memiliki KTK yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah masam (Pradana et al., 2025).

Tabel 2. Kriteria Penilaian Kapasitas Tukar Kation (KTK) (Balai Penelitian Tanah, 2005)

Kriteria	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
	<5	5-16	17-24	25-40	>40

Adapun Faktor-faktor yang memengaruhi KTK yaitu (Harefa & Zebua, 2024)

Tekstur. Tekstur tanah ditentukan oleh komposisi tiga fraksi utama, yaitu pasir, debu, dan liat. Tanah bertekstur kasar, seperti tanah berpasir, biasanya memiliki nilai KTK rendah karena minimnya kandungan mineral lempung dan bahan organik. Sebaliknya, tanah dengan tekstur halus, misalnya tanah liat, umumnya menunjukkan KTK lebih tinggi karena kaya akan mineral lempung yang mampu mengikat kation dalam jumlah besar. Selain memengaruhi KTK, tekstur tanah juga berperan dalam mengatur pergerakan air, mempertahankan unsur hara, serta memengaruhi respon tanah terhadap perubahan pH yang berdampak pada ketersediaan nutrisi bagi tanaman.

Bahan organik. Bahan organik merupakan komponen penting yang berperan besar dalam meningkatkan kapasitas tukar kation. Melalui proses dekomposisi, bahan organik menghasilkan humus yang memiliki gugus karboksil dan fenolik yang mampu mengikat berbagai kation dalam tanah. Kondisi ini membuat tanah lebih tahan terhadap pencucian unsur hara dan menjaga ketersediaan nutrisi tanaman dalam jangka waktu yang lebih lama. Penambahan bahan organik pada tanah bertekstur kasar dapat secara signifikan meningkatkan KTK, sehingga berpotensi meningkatkan produktivitas tanaman.

pH tanah. pH tanah berkaitan erat dengan nilai KTK. Tanah yang memiliki pH netral hingga sedikit basa umumnya menunjukkan KTK lebih tinggi dibandingkan tanah yang bersifat asam. Pada kondisi pH rendah, tanah menjadi lebih asam, sehingga KTK efektif menurun karena ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} lebih banyak tergantikan oleh ion hidrogen (H^+) atau aluminium (Al^{3+}) yang kurang bermanfaat bagi tanaman. Pengapuran tanah asam dapat meningkatkan KTK sekaligus memperbaiki ketersediaan unsur hara penting, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman. Dengan memahami berbagai faktor yang berpengaruh terhadap KTK, seperti tekstur tanah, kandungan bahan organik, serta pH, pengelolaan tanah dapat dilakukan dengan lebih tepat untuk mengoptimalkan kesuburan tanah secara berkelanjutan.

1.3.4 C-Organik

C-organik tanah merupakan pengelolaan kandungan karbon dalam tanah dengan tujuan meningkatkan produktivitas tanaman serta mempertahankan keberlanjutan pertumbuhannya, karena karbon berperan penting dalam memperbaiki kesuburan tanah dan efisiensi pemanfaatan hara. Karbon di dalam tanah dapat ditemukan dalam empat bentuk, yaitu karbonat mineral, bentuk padat seperti arang, grafit, dan batu bara, serta humus yang berasal dari sisa-sisa tanaman, hewan, dan mikroorganisme yang telah mengalami proses dekomposisi di dalam tanah. Kandungan bahan organik tanah umumnya dinilai dari kadar C-organiknya. Karbon (C) dalam bahan organik berkisar antara 45%-60%, dan besarnya bahan organik dapat dihitung dengan rumus: % C-organik $\times 1,724$. Jumlah bahan organik dipengaruhi oleh laju penumpukan bahan asal serta laju dekomposisi dan humifikasi, yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan seperti jenis vegetasi, iklim, bahan induk, topografi, dan praktik pengelolaan lahan. Proses dekomposisi sering kali lebih menentukan dibandingkan jumlah bahan organik yang masuk ke dalam tanah.

Nilai C-organik berkaitan positif dengan kadar bahan organik tanah; semakin tinggi bahan organik, semakin tinggi pula C-organiknya karena C-organik merupakan komponen utama bahan organik yang berasal dari sisa organisme hidup dan menjadi sumber karbon serta unsur hara penting bagi tanaman. Selain itu, aktivitas mikroorganisme tanah turut memengaruhi C-organik karena proses dekomposisi mikroba mempercepat penguraian bahan organik dan meningkatkan ketersediaan karbon. Bahan organik sendiri adalah seluruh material dari jaringan tumbuhan maupun hewan pada berbagai tingkat pembusukan yang mampu mengikat logam berat melalui gugus fungsional seperti karboksil, hidroksil, dan karbonil yang bereaksi membentuk kompleks dengan ion logam, serta membantu menetralkan kondisi asam dengan mengikat ion H^+ , sehingga pH tanah meningkat (Mardhiati et al., 2021).

Tabel 3. Kriteria Penilaian C-organik (Balai Penelitian Tanah, 2005)

Kriteria	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
	<1,0	1,0-2,0	2,1-3,0	3,1-5,0	>5,0

1.3.5 Unsur Logam Berat

Logam berat adalah unsur kimia yang memiliki densitas lebih dari 5 g/cm^3 , dengan nomor atom berkisar antara 22 hingga 92, serta mampu membentuk ikatan kompleks ketika masuk ke dalam tubuh organisme. Logam berat bersifat sulit terurai, mudah larut dalam air dan sedimen, serta dapat menumpuk di dalam tubuh organisme (Robi et al., 2021). Logam berat merupakan salah satu sumber pencemar yang cukup mengkhawatirkan dalam sektor pertanian. Beberapa jenis logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) termasuk kategori yang sangat berbahaya. Logam berat memiliki sifat yang persisten di dalam tanah, sulit terdegradasi, dan dapat memberikan dampak negatif terhadap kondisi tanah. Keberadaannya dapat bertahan dalam waktu yang lama sehingga memengaruhi kualitas serta tingkat kesuburan tanah.

Keberadaan logam berat kadmium (Cd) dan nikel (Ni) di lingkungan pertanian umumnya berkaitan erat dengan aktivitas industri, terutama emisi debu dari kawasan industri dan smelter, serta proses migrasi atmosfer yang memungkinkan partikel logam berat terdispersi dan terdeposisi pada permukaan tanah dan tanaman di sekitarnya. Cadmium (Cd) dapat terakumulasi di tanah akibat deposisi partikel udara dan limpasan limbah industri, sehingga meningkatkan risiko kontaminasi lahan pertanian di sekitar kawasan industri (Rifanda et al., 2024). Sifat Cd yang persisten menyebabkan logam ini sulit terdegradasi di dalam tanah dan berpotensi menjadi sumber pencemar jangka panjang bagi tanaman dan ekosistem tanah (Mamun et al., 2020). Hal serupa juga terjadi pada nikel (Ni), di mana emisi dari industri pengolahan logam dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk partikel halus dan debu, kemudian terendapkan melalui deposisi kering maupun basah. Akumulasi Ni di tanah dipengaruhi oleh karakteristik tanah dan intensitas sumber pencemar, yang selanjutnya menentukan tingkat ketersediaan logam tersebut bagi tanaman di sekitar kawasan industri (Priantoro et al., 2025).

Paparan Cd dan Ni pada tanaman jagung dilaporkan berdampak negatif terhadap pertumbuhan dan kondisi fisiologis tanaman, seperti penurunan biomassa serta gangguan perkembangan sistem perakaran. Cd yang tersedia di dalam tanah dapat diserap oleh akar jagung dan terdistribusi ke bagian tanaman lainnya (Widyasari et al., 2019). Proses perpindahan logam dari tanah ke tanaman berlangsung melalui mekanisme penyerapan unsur hara, terutama melalui difusi ion di zona perakaran dan aliran massa yang mengikuti pergerakan air tanah menuju akar (Susana & Suswati, 2011). Mekanisme yang sama juga berlaku pada Ni, di mana logam tersebut diserap oleh sistem perakaran, terakumulasi pada akar, dan selanjutnya ditranslokasikan ke bagian tajuk melalui jaringan vaskular tanaman (Zaeni et al., 2021). Perbedaan tingkat akumulasi logam antar organ tanaman, dengan konsentrasi yang umumnya lebih tinggi pada akar dibandingkan bagian tajuk, menunjukkan adanya potensi risiko keamanan pangan apabila Cd dan Ni terakumulasi pada bagian tanaman yang dikonsumsi.

Tabel 4. Baku Mutu Kandungan Logam Berat pada Tanaman Jagung

Logam Berat	Baku Mutu	Dasar Acuan
Nikel (Ni)	>30	Alloway 1995
Cadmium (Cd)	<2 (mg/kg)	(SNI 7387:2009)

1.3.6 Tanaman Jagung sebagai Bioindikator

Jagung (*Zea mays L.*) merupakan salah satu tanaman yang sering dijadikan bioindikator untuk mendeteksi kekurangan unsur hara. Tanaman ini membutuhkan pasokan nutrisi yang cukup besar sehingga sangat peka terhadap kondisi tanah yang kurang subur. Ketika unsur hara tidak mencukupi, pertumbuhan jagung akan terhambat dan muncul berbagai gejala spesifik. Kekurangan nitrogen (N) ditandai dengan daun yang berubah menjadi hijau pucat hingga kuning serta pertumbuhan tanaman yang kerdil. Kekurangan fosfor (P) biasanya terlihat dari warna ungu kemerahan pada tulang daun, dimulai dari bagian ujung menuju pangkal dan tampak

jelas pada permukaan bawah daun. Sementara itu, defisiensi kalium (K) menyebabkan tepi daun menguning dan akhirnya berubah menjadi coklat seperti terbakar (Silvani et al., 2024). Tanaman jagung termasuk tanaman dengan kemampuan akumulasi logam berat moderat, yaitu jenis tanaman yang mampu menyerap logam berat dalam jumlah tinggi (Leskona et al., 2013). Salah satu komponen biologis yang sering dimanfaatkan dalam kegiatan biomonitoring adalah daun tanaman. Bagian ini mampu menangkap dan menahan debu, terutama di area yang terpapar pencemaran. Selain berfungsi sebagai penyerap, daun juga dapat menurunkan tingkat partikel debu di udara. Kemampuannya menjadikan daun sebagai reseptor sekaligus biomonitor yang efektif, khususnya untuk mendeteksi keberadaan logam berat (Sari et al., 2020).

Penyerapan logam berat oleh tanaman terjadi melalui jaringan akar dan batang. Kemampuan ini dipengaruhi oleh kandungan senyawa seperti alkaloid, glikosida, dan flavonoid dalam tubuh tanaman yang berperan dalam menetralkan polutan yang masuk. Selain itu, tanaman tersebut mampu mengakumulasi logam karena memiliki struktur batang yang kokoh serta sistem perakaran yang berkembang baik. Efisiensi tanaman dalam menyerap logam berat cenderung menurun seiring bertambahnya waktu paparan. Hal ini berkaitan dengan peningkatan laju pertumbuhan yang dapat memicu kerusakan pada tanaman hingga menyebabkan kematian sebagai bentuk respon negatif terhadap paparan tersebut. Tingkat penyerapan logam berat oleh tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah umur tanaman. Semakin tua umur tanaman umumnya semakin besar kemampuan tanaman tersebut dalam menyerap logam berat (Ulumudin & Purnomo, 2022).

1.3.7 Penelitian Terdahulu

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji hubungan antara sifat kimia tanah dan keberadaan logam berat di lingkungan. Penelitian empiris mengenai pengaruh pH terhadap pergerakan logam berat menunjukkan bahwa pH memiliki peran penting dalam menentukan ketersediaan, mobilitas, dan tingkat toksisitas logam berat di tanah. Pada penelitian (Allo, 2016), nilai pH tanah setelah penambangan menurun dari 6 menjadi 5,6. Penurunan ini menunjukkan meningkatnya kemasaman tanah, yang kemudian memengaruhi ketersediaan unsur hara makro seperti P dan K yang turun. Kondisi ini juga berdampak pada unsur hara K, Ca, dan Mg, yang masing-masing mengalami penurunan. Pada penelitian tersebut terdapat penurunan nyata pada kandungan beberapa unsur hara mikro akibat aktivitas penambangan. Reaksi tanah yang semakin masam mencerminkan meningkatnya ion Al^3+ , sementara unsur hara mikro lainnya cenderung berkurang karena sifatnya yang mudah larut. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa Tanah yang lebih asam umumnya meningkatkan kelarutan dan pergerakan logam, sehingga unsur hara maupun logam tertentu lebih mudah terlepas, bergerak, atau tercuci ke lapisan tanah yang lebih dalam. Temuan ini mendukung teori bahwa tingginya konsentrasi ion H^+ dalam tanah masam akan bersaing dengan logam berat untuk menempati situs adsorpsi, sehingga logam lebih

banyak berada dalam larutan tanah dan lebih mudah berpindah ke lapisan bawah atau sumber air di sekitarnya (Rusdiah, 2025).

Menurut (Henggar, 2009) Efisiensi penyerapan logam berat pada tanaman yang memiliki jarak rendah, nilai penyerapannya juga rendah, yakni hanya sekitar 0,24%. Hal ini diperkuat oleh penelitian (Muryani et al., 2025) yang menyatakan bahwa Konsentrasi awal logam dalam tanah turut menentukan tingkat penyerapan logam oleh tumbuhan. Dengan demikian, pada daerah yang memiliki kandungan logam berat lebih rendah, jumlah logam yang dapat diserap tanaman juga menurun, sehingga efisiensi serapan logam oleh tanaman otomatis rendah.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

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, Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Tamalanrea, Makassar. Waktu penelitian berlangsung mulai dari bulan Juni – November 2025.

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang di gunakan dalam penelitian ini dan kegunaannya dapat dilihat pada tabel 5, tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 5. Alat yang digunakan untuk Penelitian dan kegunaannya

Alat	Kegunaan
Alat survey	Mengambil sampel tanah di lapangan
Avenza Maps	Menentukan titik koordinat sampel tanah di lapangan
Handphone	Dokumentasi di lapangan
Laptop	Membuat peta kerja
Peralatan laboratorium	Analisis logam berat Ni dan Cd
Alat tulis	Untuk mencatat pengamatan di lapangan

Tabel 6. Bahan yang digunakan untuk Penelitian dan kegunaannya

Bahan	Kegunaan
Sampel tanah	Analisis sifat kimia tanah pH, KTK, C-organik
Sampel Tanaman Jagung	Analisis logam berat Ni dan Cd pada daun
Data peta lokasi penelitian	Untuk mengetahui kondisi lokasi penelitian
Bahan kimia	Analisis sampel tanah di laboratorium

Tabel 7. Tabel Parameter Alat dan Bahan Penelitian yang digunakan

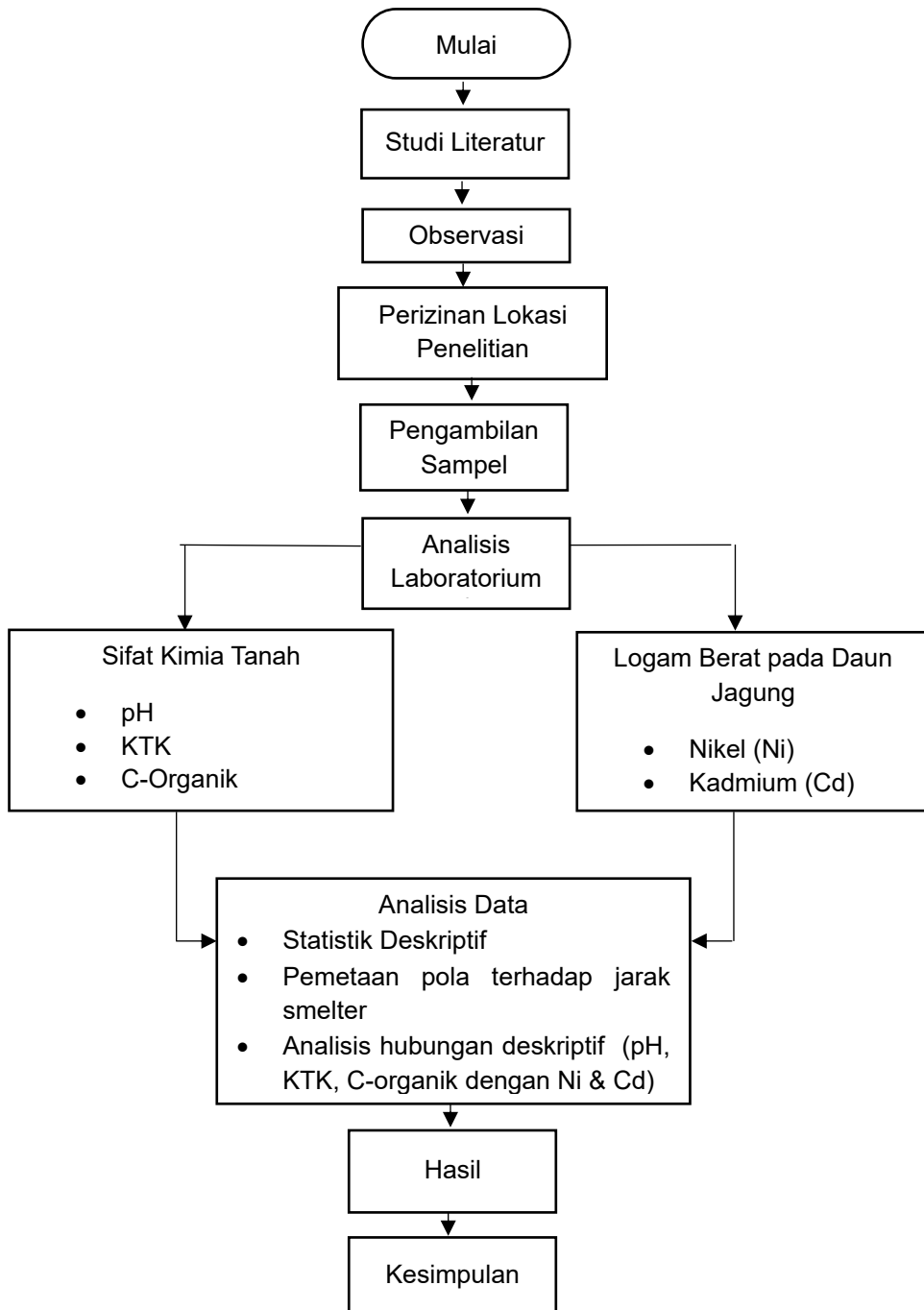
No	Parameter	Alat	Bahan
1	Sifat Kimia Tanah		
	pH Tanah	pH meter, gelas ukur, pengaduk	Air suling atau KCL 1N
	KTK	Timbangan analitik, Ayakan tanah (2 mm), Erlenmeyer & gelas beaker, Shaker/lab shaker, Corong & kertas saring, Labu ukur, Pipet otomatis, Oven	Larutan NH_4OAc 1 N pH 7 (ammonium asetat), Aquades, Alkohol (etanol) 95% untuk pencucian, Larutan NaCl / KCl untuk menetralkan ion NH_4^+ (pada tahap penggantian kation)
	C-Organik	Erlenmeyer, Pipet Ukur, Buret	Kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), asam sulfat (H_2SO_4), Ferron sulfat (FeSO_4) sebagai titran, indikator difenilamin
2	Unsur Logam Berat		
	Nikel (Ni)	AAS/ICP-OES, Timbangan analitik, Oven pengering, Furnace (tanur), Hot plate, Labu ukur & gelas beaker, Pipet volume	HNO_3 pekat (65%) HCl pekat (37%) jika diperlukan (aqua regia), Aquades/air bebas ion, Standar larutan Ni
	Kadmium (Cd)	AAS/ICP-OES, Timbangan analitik, Oven pengering, Furnace (tanur), Hot plate, Labu ukur & gelas beaker, Pipet volume	HNO_3 pekat (65%), H_2O_2 (30%) untuk oksidasi tambahan, Aquades/air bebas ion, Standar larutan Ni

2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan deskriptif kuantitatif untuk menggambarkan kondisi sifat kimia tanah serta kandungan logam berat pada tanaman jagung di sekitar kawasan smelter nikel Kabupaten Bantaeng. Penelitian dilaksanakan melalui kegiatan survei lapangan dan analisis laboratorium dengan pengambilan sampel tanah pada kedalaman 0-20 cm serta sampel daun tanaman jagung pada beberapa titik

pengamatan yang ditentukan secara *purposive sampling* pada jarak yang berbeda dari sumber emisi smelter.

2.4 Diagram Alur Penelitian



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

2.5 Tahapan Penelitian

2.5.1 Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan untuk mengumpulkan berbagai sumber informasi ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Kegiatan ini dilakukan dengan menelaah buku, jurnal ilmiah, serta hasil penelitian sebelumnya untuk memahami konsep, teori, dan temuan yang berkaitan dengan permasalahan yang dikaji.

2.5.2 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan dan perencanaan dilakukan setelah melakukan kajian literatur untuk menyusun seluruh kebutuhan dalam penelitian. Dalam tahap ini, kegiatan yang dilakukan mencakup pemilihan lokasi penelitian, penyediaan alat dan bahan, penetapan metode pengambilan sampel, penentuan jumlah serta sebaran titik-titik sampling, dan penyusunan prosedur kerja di lapangan maupun di laboratorium. Perencanaan yang teliti sangat penting agar proses penelitian berjalan dengan teratur dan mampu menghasilkan data yang valid.

2.5.3 Perizinan Lokasi

Perizinan lokasi dilakukan untuk memperoleh persetujuan resmi dari masyarakat yang tinggal di kawasan sekitar industri smelter nikel. Surat ditujukan langsung kepada Kepala Desa sebagai kepala pemerintah di kawasan tersebut. Perizinan bertujuan untuk menjamin bahwa pelaksanaan penelitian berlangsung sesuai ketentuan dan tidak menimbulkan gangguan terhadap aktivitas masyarakat setempat.

2.5.4 Survei Lokasi

Survei lokasi dilakukan untuk memperoleh gambaran umum mengenai kondisi wilayah penelitian. Kegiatan ini meliputi pengamatan langsung terhadap kondisi lingkungan, penggunaan lahan, serta karakteristik lokasi yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Melalui survei lokasi ini, peneliti dapat menentukan titik pengambilan sampel serta memastikan kesesuaian lokasi penelitian dengan kebutuhan penelitian yang dilakukan.

2.5.5 Pembuatan Peta Kerja

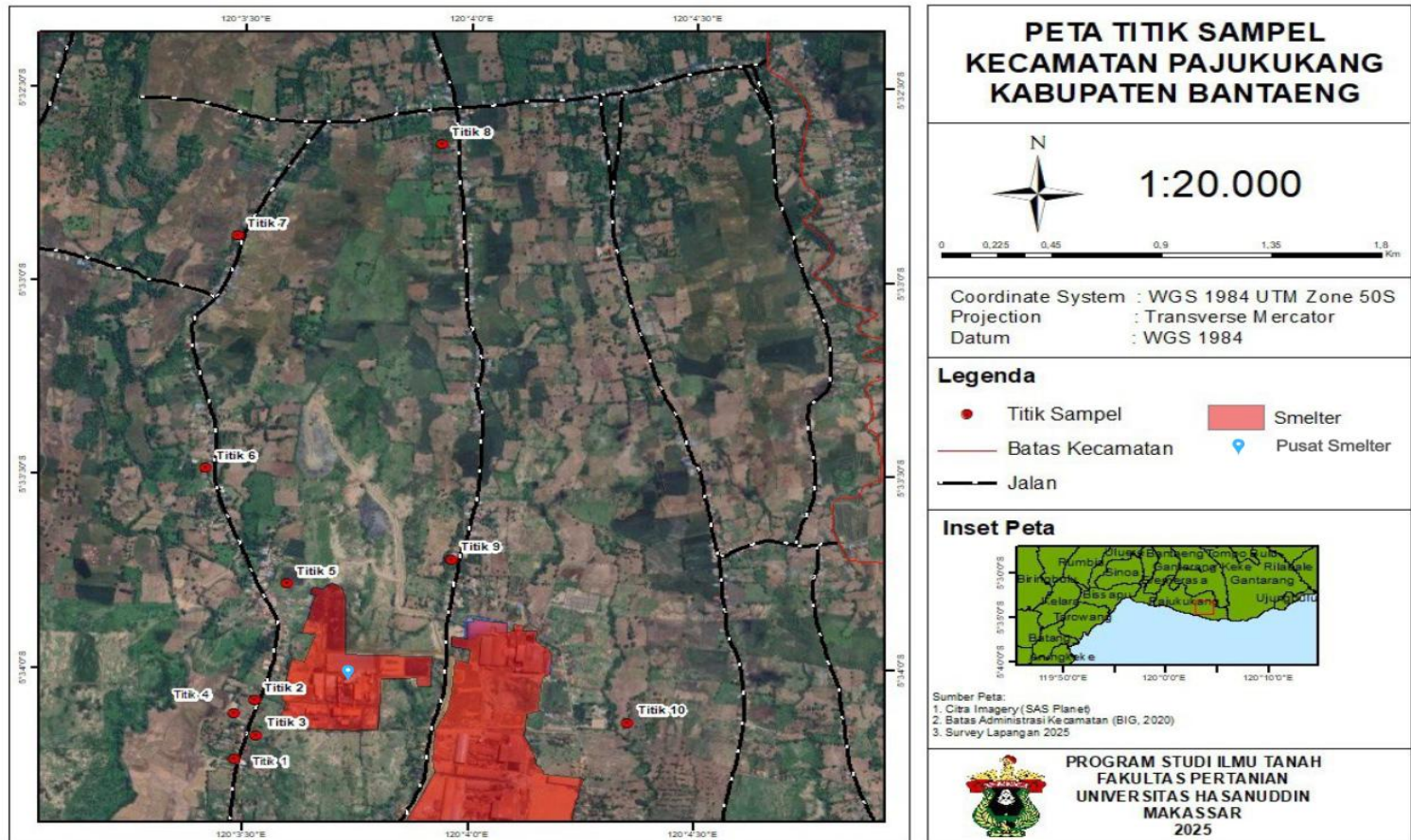
Pembuatan peta kerja dilakukan untuk menyajikan gambaran spasial lokasi penelitian yang memuat batas wilayah dan titik pengamatan sehingga kegiatan pengumpulan data di lapangan dapat dilakukan secara terarah dan akurat. Peta ini memuat informasi penting seperti batas wilayah penelitian serta titik-titik pengamatan yang akan digunakan dalam proses pengumpulan data.

2.5.6 Penentuan Titik Sampel

Penentuan sampel tanah dan tanaman jagung ditetapkan dengan menerapkan metode *purposive sampling* (pengambilan sampel secara sengaja), yang disesuaikan dengan karakteristik wilayah di sekitar area aktivitas smelter nikel. Pendekatan ini dipilih agar setiap zona yang memiliki potensi tingkat paparan berbeda memiliki kesempatan yang sama untuk terwakili dalam proses pengambilan sampel. Penentuan titik sampel kemudian ditentukan titik koordinat geografisnya dan disajikan dalam bentuk tabel sebagai acuan dalam kegiatan pengambilan sampel di lapangan. Adapun koordinat titik pengamatan pada lokasi penelitian disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. 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

Pengambilan sampel dilakukan pada 10 titik pengamatan yang telah ditentukan di sekitar kawasan smelter nikel Kabupaten Bantaeng. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm dengan menggunakan metode *purposive sampling* untuk memperoleh representasi kondisi tanah pada setiap lokasi penelitian. Tanah yang diambil dari setiap titik kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label sesuai kode titik sampel untuk memudahkan identifikasi. Selanjutnya, sampel tanah dikeringanginkan selama beberapa hari, kemudian ditumbuk dan diayak untuk memisahkan partikel tanah dari kerikil atau bahan lain sebelum dilakukan analisis di laboratorium. Jumlah sampel tanah yang dikumpulkan sebanyak 10 sampel dengan berat masing-masing sekitar 2 kg dari setiap titik pengambilan sampel. Selain itu, sampel tanaman jagung juga diambil pada lokasi yang sama dengan titik pengambilan sampel tanah dengan pengambilan sampel daun tua pada tanaman jagung, sehingga diperoleh 10 sampel daun jagung yang selanjutnya digunakan untuk analisis kandungan logam berat di laboratorium.

2.5.8 Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan terhadap sampel tanah yang telah dipreparasi untuk mengetahui sifat kimia tanah serta kandungan logam berat pada lokasi penelitian. Analisis sifat kimia tanah meliputi pH tanah, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK) dan analisis logam berat meliputi nikel (Ni) dan cadmium (Cd) yang mengikuti prosedur di laboratorium. Berikut parameter dan metode analisis yang akan digunakan disajikan pada tabel 9.

Tabel 9. Parameter pengamatan dan Metode Analisis

No	Parameter	Metode
1	Sifat Kimia Tanah	
	pH Tanah	Elektrometrik (pH H ₂ O)
	Kapasitas Tukar Kation (KTK)	Ekstrak NH ₄ O ₄ Sc pH 7
	C-organik	Walkley & Black
2	Unsur Logam Berat	
	Nikel (Ni)	AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>)
	Cadmium (Cd)	

Sumber: Mukklisin et al. (2023) & Dewi et al. (2023)

2.5.9 Analisis Data

Analisis data dilakukan secara statistik deskriptif untuk menggambarkan kecenderungan umum hubungan antara sifat kimia tanah (pH, KTK, C-organik) dengan kadar logam berat nikel (Ni) dan cadmium (Cd) pada daun jagung berdasarkan hasil pengukuran laboratorium tanpa menggunakan uji statistik inferensial. Analisis dilakukan dalam tiga tahapan utama, yaitu statistik deskriptif, pemetaan pola sederhana, dan analisis hubungan deskriptif.

Statistik deskriptif. Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk menghitung nilai dasar berupa nilai minimum, maksimum, median dan rata-rata dari setiap parameter yang diamati, termasuk pH tanah, KTK, C-organik, serta konsentrasi Ni dan Cd pada daun jagung. Statistik deskriptif berfungsi untuk menunjukkan rentang variasi dan nilai tipikal dari masing-masing parameter sehingga mampu memberikan gambaran umum karakteristik lokasi penelitian. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk menilai tingkat variasi antar titik sampel serta potensi adanya pola tertentu terkait jarak terhadap smelter.

Menurut Sutisna (2020), rumus untuk menghitung nilai rata-rata adalah:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Keterangan:

$\bar{X}$ = rata -rata

X_i = nilai tengah

n = banyak data

Menurut Pratikno et al. (2020), rumus untuk menghitung nilai median adalah:

$$Median = \frac{X_{[\frac{n}{2}]} + X_{[\frac{n}{2}+2]}}{2}$$

Keterangan:

X = nilai data ke-

n = banyak data

Pemetaan pola sederhana. Pemetaan pola sederhana dilakukan untuk melihat perubahan nilai parameter terhadap jarak titik sampel dari pusat aktivitas smelter. Nilai dari setiap parameter pada setiap titik sampel diplot terhadap jarak masing-masing titik dari pusat smelter. Langkah ini dilakukan untuk mengamati apakah terdapat kecenderungan nilai semakin meningkat atau menurun pada lokasi yang lebih dekat atau lebih jauh dari smelter. Hasil pola ini dianalisis secara visual dan deskriptif berdasarkan perubahan nilai antar titik sampel.

Analisis deskriptif hubungan. Analisis deskriptif hubungan dilakukan dengan menilai kecenderungan umum apakah perubahan suatu sifat kimia tanah tampak berkaitan dengan perubahan kadar Ni dan Cd pada daun tanaman jagung. Pendekatan hanya menggambarkan pola kecenderungan berdasarkan perbandingan nilai antar sampel.