

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sektor hortikultura memainkan peran strategis dalam sistem pangan global, khususnya dalam mendukung ketahanan pangan dan memenuhi kebutuhan gizi masyarakat. Komoditas hortikultura seperti sayuran, buah-buahan, dan tanaman obat merupakan sumber penting berbagai nutrisi esensial, termasuk vitamin, mineral, serat, dan antioksidan yang sangat dibutuhkan bagi kesehatan manusia (Ahmed et al., 2024). Seiring dengan pertumbuhan populasi global yang terus meningkat, permintaan terhadap produk hortikultura diperkirakan akan meningkat secara signifikan. Produk hortikultura menyumbang sekitar 22 persen dari total produksi pangan global pada tahun 2021 (Ferreira et al., 2024). Kontribusi ini menunjukkan bahwa sektor hortikultura tidak hanya penting dalam memenuhi kebutuhan nutrisi, tetapi juga memiliki nilai ekonomi yang besar dalam rantai pasok pangan global.

Indonesia memiliki potensi yang besar untuk pengembangan sektor hortikultura karena didukung oleh kondisi geografis dan iklim yang menguntungkan. Wilayah dataran tinggi yang ditandai dengan suhu yang relatif lebih rendah dan curah hujan yang stabil sangat sesuai untuk budidaya tanaman hortikultura (Yuniarti et al., 2022). Salah satu wilayah yang memiliki karakteristik tersebut adalah Kecamatan Tinggimoncong di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Terletak di lereng Gunung Bawakaraeng dan Gunung Lompobattang, wilayah ini dikenal sebagai salah satu sentra produksi komoditas hortikultura seperti kentang, wortel, tomat, dan daun bawang (BPS, 2024). Kecamatan Tinggimoncong menyumbang sekitar 66,11 persen dari total produksi kentang di Kabupaten Gowa pada tahun 2023 (BPS, 2024). Selain itu, luas panen tanaman hortikultura di Kabupaten Gowa meningkat dari 5.696 hektare pada tahun 2019 menjadi 6.368 hektare pada tahun 2023 (BPS, 2020). Tren peningkatan ini menunjukkan bahwa masyarakat setempat sudah semakin menyadari dan mulai memanfaatkan potensi hortikultura di wilayahnya.

Akan tetapi, potensi produksi tersebut menghadapi tantangan serius akibat pemanasan global. Peningkatan suhu global telah menyebabkan perubahan pola iklim serta meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem. Kondisi ini menjadi ancaman signifikan bagi sektor hortikultura yang sangat bergantung pada kestabilan kondisi iklim. Perubahan iklim telah menggeser pola curah hujan sehingga kejadian kekeringan dan hujan dengan intensitas tinggi menjadi lebih sering terjadi (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2023). Kecamatan Tinggimoncong mengalami peningkatan curah hujan tahunan yang cukup signifikan selama dua dekade terakhir, terutama pada periode Desember hingga Februari, dari 2.287 mm menjadi 2.668 mm (TerraClimate, 2024). Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan kejenuhan tanah, meningkatkan erosi, serta memperbesar risiko serangan penyakit tanaman (Dixon, 2012).

Ketersediaan air yang stabil sangat penting pada tahap-tahap pertumbuhan utama tanaman hortikultura, termasuk fase pembungaan, pembentukan buah, dan pematangan umbi. Tingkat kelembapan tanah yang tidak sesuai dapat menyebabkan stres fisiologis pada tanaman, menghambat proses fotosintesis, dan pada akhirnya menurunkan produktivitas tanaman (Marrou et al., 2013). Oleh karena itu, informasi

mengenai kelembapan tanah menjadi faktor penting dalam pengambilan keputusan untuk pengelolaan tanaman hortikultura yang efektif. Metode estimasi kelembapan tanah dapat diklasifikasikan menjadi dua pendekatan utama, yaitu pengukuran langsung di lapangan dan teknologi penginderaan jauh. Meskipun pengukuran langsung memberikan data yang sangat akurat, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam cakupan spasial serta memerlukan biaya instalasi dan pemeliharaan yang tinggi (Amazirh et al., 2018). Penginderaan jauh kemudian berkembang sebagai alternatif yang efektif untuk mengatasi keterbatasan tersebut (Tajudin et al., 2021).

Perkembangan teknologi penginderaan jauh telah meningkatkan akurasi estimasi kelembapan tanah, khususnya melalui penggunaan citra satelit resolusi tinggi seperti Sentinel-2 (Sarteshnizi et al., 2023). Salah satu model estimasi yang banyak digunakan adalah OPTRAM (*Optical Trapezoid Model*), yang mengestimasi kelembapan tanah dengan memanfaatkan hubungan antara NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan reflektansi inframerah gelombang pendek tanpa memerlukan data tambahan berupa termal atau radar (Sadeghi et al., 2017). Sebagai perbandingan, model lain seperti TOTRAM memerlukan data termal yang umumnya hanya tersedia pada citra Landsat 8 (Sadeghi et al., 2017). OPTRAM dinilai efektif untuk pemetaan kelembapan tanah pada skala detail di lahan pertanian (Crioni et al., 2025).

Dengan mempertimbangkan pentingnya informasi spasial mengenai kelembapan tanah dalam mendukung produksi hortikultura yang berkelanjutan, penelitian ini dilakukan untuk memetakan indeks kelembapan tanah berbasis penginderaan jauh pada lahan hortikultura di Kecamatan Tinggimoncong. Pendekatan empiris yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil analisis tanah secara *in situ* dengan citra satelit Sentinel-2. Informasi yang dihasilkan diharapkan dapat dimanfaatkan oleh petani, penyuluh pertanian, serta pemerintah daerah dalam perencanaan dan pengambilan keputusan teknis untuk pengelolaan lahan yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan.

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini yaitu untuk memetakan kelembapan tanah pada lahan budidaya hortikultura yang ada di Kecamatan Tinggimoncong.

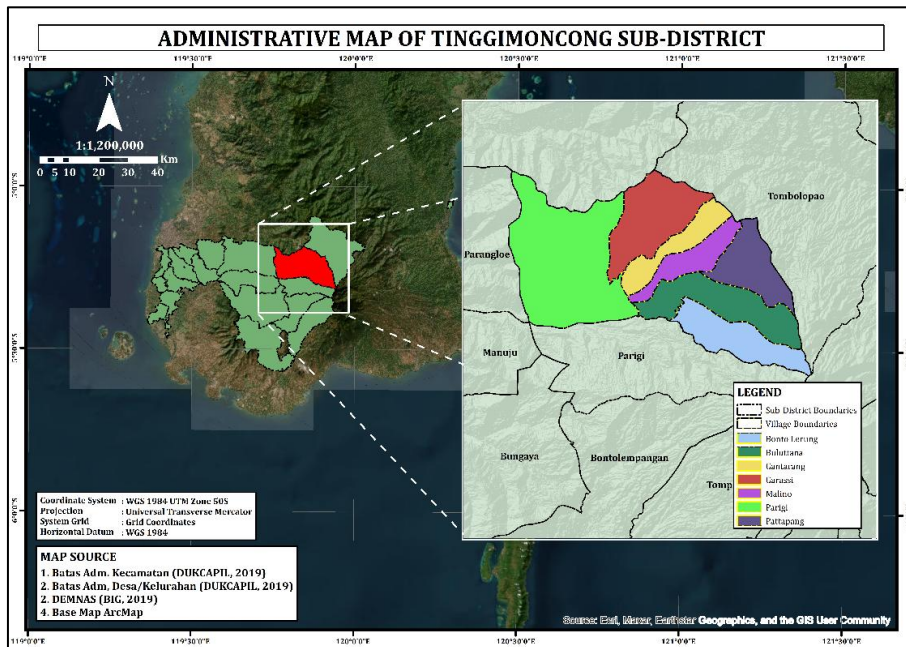
Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai bahan informasi dan acuan mengenai data persebaran nilai kelembapan tanah bagi masyarakat, khususnya Petani dan Pemerintah di Kecamatan Tinggimoncong dalam mewujudkan pembangunan pertanian berkelanjutan.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei hingga September 2025. Pengambilan sampel tanah dilakukan di Kecamatan Tinggimoncong, Kabupaten Gowa, yang terletak pada koordinat 5°13'14" hingga 5°16'56" Lintang Selatan dan 119°48'14" hingga 119°54'45" Bujur Timur, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Sampel tanah dianalisis di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah serta Laboratorium Fisika dan Konservasi Tanah, Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.



Gambar 1. Peta administrasi Kecamatan Tinggimoncong Kabupaten Gowa

2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Bahan penelitian

Bahan	Kegunaan
Citra Satelit Sentinel 2 level 2-A	Data citra
Data curah hujan	Analisis rata-rata curah hujan bulanan dan rata-rata hari hujan
Peta administrasi	Peta dasar
Peta tutupan lahan	Peta dasar
Sampel tanah terganggu	Analisis tekstur, <i>particle density</i> (berat jenis) dan C-organik
Sampel tanah utuh	Analisis permeabilitas, <i>bulk density</i> (berat isi), dan kadar air

Adapun Alat yang digunakan pada penelitian tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat penelitian

Alat	Kegunaan
ArcMap 10.8.	Membuat peta kerja dan mengolah citra
Avenza maps 5.4.3	Mengetahui titik koordinat Lokasi pengambilan sampel tanah
Kamera digital	Mengambil dokumentasi
Seperangkat alat survei	Mengambil sampel tanah di Lapangan
Seperangkat alat laboratorium	Menganalisis sampel tanah

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang didasarkan pada observasi lapangan secara langsung yang dilakukan dalam periode waktu tertentu. Untuk mencapai tujuan penelitian, diterapkan alur kerja yang sistematis, dimulai dari pengolahan data curah hujan bulanan dan pemrosesan citra satelit, kemudian dilanjutkan dengan penentuan titik pengambilan sampel tanah, analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), analisis *Shortwave Infrared Transformed Reflectance* (STR), serta analisis *Optical Trapezoid Model* (OPTRAM), diakhiri dengan pengambilan sampel tanah di lapangan, analisis laboratorium, dan analisis korelasi.

2.3.1. Pengolahan data curah hujan bulanan

Curah hujan merupakan faktor utama yang menentukan variabilitas kelembapan tanah di suatu wilayah. Dalam penelitian ini, data curah hujan digunakan untuk mengkarakterisasi kondisi klimatologis setempat serta mendukung pemilihan citra satelit yang mewakili kondisi kelembapan tanah kering, lembap, dan basah. Data curah hujan bulanan periode 2015 hingga 2024 diperoleh dari TerraClimate melalui laman *Climate Engine* (<https://www.climateengine.org/>). Data tersebut diklasifikasikan menggunakan sistem klasifikasi Oldeman dengan bantuan Microsoft Excel 2019.

Dalam klasifikasi Oldeman, penentuan tipe iklim untuk setiap zona (Tabel 4) serta interpretasi iklim (Tabel 5) digunakan sebagai pedoman dalam menentukan tipe iklim beserta interpretasinya. Penyusunan tipe iklim didasarkan pada jumlah bulan basah dan bulan kering yang terjadi secara berturut-turut. Kategori bulan basah, lembap, dan kering disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi curah hujan (Aldiansyah dan Risna, 2023)

Curah hujan (mm/bulan)	Kelas
>200	Bulan basah (BB)
100-200	Bulan lembap (BL)
<100	Bulan kering (BK)

Tabel 4. Penentuan klasifikasi iklim Oldeman (Aldiansyah dan Risna, 2023)

Zona	Bulan basah berurutan	Sub-zona	Bulan kering berurutan
A	>9 bulan	1	<2 bulan
B	7-9 bulan	2	2-3 bulan
C	5-6 bulan	3	4-6 bulan
D	3-4 bulan	4	7-9 bulan
E	<3 bulan	5	>9 bulan

Tabel 5. Interpretasi klasifikasi iklim Oldeman (Aldiansyah dan Risna, 2023)

Zona iklim	Pola tanam
A1; A2	Sesuai untuk padi terus-menerus, namun produksinya cenderung lebih rendah karena umumnya rapat fluks radiasi matahari rendah sepanjang tahun
B1	Sesuai untuk padi terus-menerus dengan perencanaan awal musim tanam yang baik; produksi tinggi saat panen pada musim kemarau
B2; B3	Sesuai untuk penanaman padi dua kali setahun dengan varietas berumur pendek dan musim kemarau yang cukup singkat untuk tanaman palawija
C1	Sesuai untuk penanaman padi satu kali dan tanaman palawija dua kali dalam setahun
C2; C3; C4	Sesuai untuk penanaman padi satu kali dan tanaman palawija dua kali dalam setahun. Penanaman kedua tanaman palawija sebaiknya tidak dilakukan pada musim kemarau
D1	Sesuai untuk menanam padi berumur pendek dengan produksi tinggi serta satu kali penanaman tanaman palawija
D2; D3; D4	Sesuai untuk satu kali penanaman padi atau satu kali tanaman palawija, tergantung pada ketersediaan air irigasi
E	Sesuai untuk penanaman tanaman palawija satu kali, tergantung pada curah hujan

2.3.2. Pemrosesan citra satelit

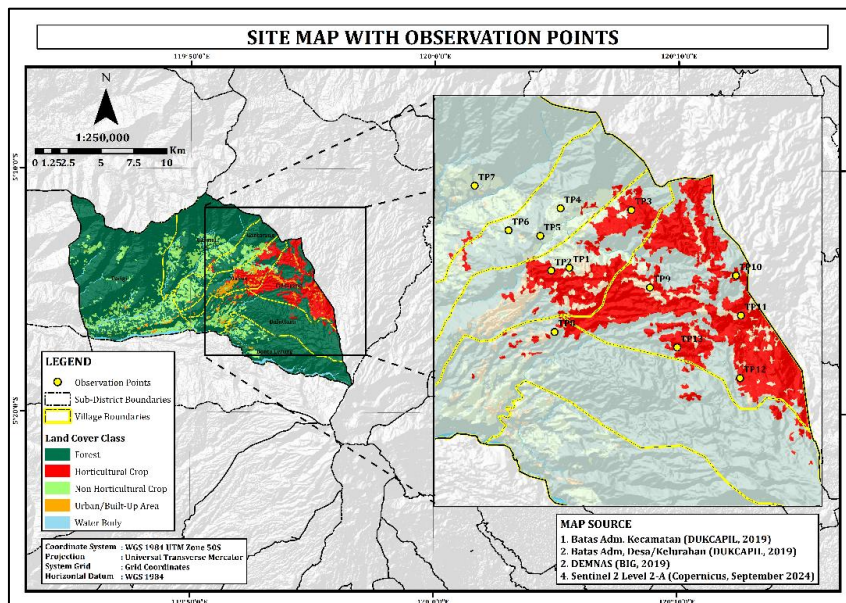
pemrosesan citra satelit diawali dengan akuisisi citra Sentinel-2 Level 2A yang bebas awan untuk mewakili kondisi kelembapan tanah kering, lembap, dan basah. Citra tersebut diunduh dari laman *Copernicus Data Space Browser* (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>) dan kemudian diolah menggunakan ArcMap versi 10.8. Seluruh band spektral Sentinel-2 mempunyai resolusi spasial yang berbeda (Tabel 6), maka perlu diseragamkan ke resolusi spasial 10 meter melalui proses *resampling*, kemudian citra dipotong (*clip*) sesuai batas wilayah penelitian. Citra yang diakuisisi pada 17 Juni 2025 dan 15 September 2024 dipilih untuk mewakili kondisi tanah lembap dan kering. Citra yang mewakili kondisi basah tidak tersedia karena tidak adanya data Sentinel-2 yang bebas awan selama musim hujan di wilayah penelitian.

Tabel 6. Karakteristik band citra satelit Sentinel-2 (Copernicus, 2025)

Sentinel-2 bands	Panjang gelombang (nm)	Resolusi spasial (m)
<i>Band 1-coastal aerosol</i>	442,7	60
<i>Band 2-blue</i>	492,4	10
<i>Band 3-green</i>	559,8	10
<i>Band 4-red</i>	664,6	10
<i>Band 5-vegetation red edge</i>	704,1	20
<i>Band 6-vegetation red edge</i>	740,5	20
<i>Band 7-vegetation red edge</i>	782,8	20
<i>Band 8-NIR</i>	832,8	10
<i>Band 8A-vegetation red edge</i>	864,7	20
<i>Band 9-water vapor</i>	945,1	60
<i>Band 10-SWIR</i>	1373,5	60
<i>Band 11-SWIR</i>	1613,7	20
<i>Band 12-SWIR</i>	2202,4	20

2.3.3. Penentuan titik pengambilan sampel tanah

Lokasi pengambilan sampel tanah ditentukan berdasarkan sebaran tutupan lahan hortikultura di wilayah penelitian. Mengingat tingginya variasi jenis penggunaan lahan, dibuat peta penggunaan lahan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* untuk membedakan kawasan terbangun, badan air, hutan, lahan hortikultura, dan lahan pertanian nonhortikultura. Proses klasifikasi dilakukan menggunakan ArcMap versi 10.8 dengan memanfaatkan citra Sentinel-2 yang diakuisisi pada 15 September 2024 dan diperoleh dari laman *Copernicus Data Space Browser* (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>). Citra hasil klasifikasi tersebut kemudian digunakan sebagai *mask area of interest*, yang menjadi dasar dalam penentuan fokus wilayah penelitian serta pemilihan lokasi pengambilan sampel tanah. Sebaran spasial titik pengamatan penelitian pada lahan hortikultura di Kecamatan Tinggimoncong disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta titik pengamatan lokasi penelitian

2.3.4. Analisis *normalized difference vegetation index*

Analisis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kerapatan vegetasi pada lahan hortikultura. Indeks ini dihitung berdasarkan reflektansi spektral pada *band R (band 4)* dan *band NIR (band 8)*. Nilai NDVI yang lebih tinggi menunjukkan vegetasi yang lebih rapat, sedangkan nilai yang lebih rendah merepresentasikan permukaan dengan vegetasi jarang atau tanpa vegetasi. Rumus perhitungan NDVI dinyatakan sebagai berikut (Zhao dan Qu, 2024):

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- NDVI = *normalized difference vegetation index*,
- NIR = nilai *near-infrared band (band 8)*,
- R = nilai *red band (band 4)*

2.3.5. Analisis *shortwave infrared transformed reflectance*

Analisis STR (*Shortwave Infrared Transformed Reflectance*) dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi kelembapan tanah permukaan berdasarkan nilai reflektansi pada *band* SWIR, dengan menggunakan *band* 12 pada citra Sentinel-2. Reflektansi gelombang elektromagnetik pada panjang gelombang ini memiliki korelasi yang kuat dengan kandungan air tanah, karena air memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap gelombang SWIR. Kandungan air tanah yang lebih tinggi akan menghasilkan nilai reflektansi SWIR yang lebih rendah, dan sebaliknya (Sadeghi et al., 2017):

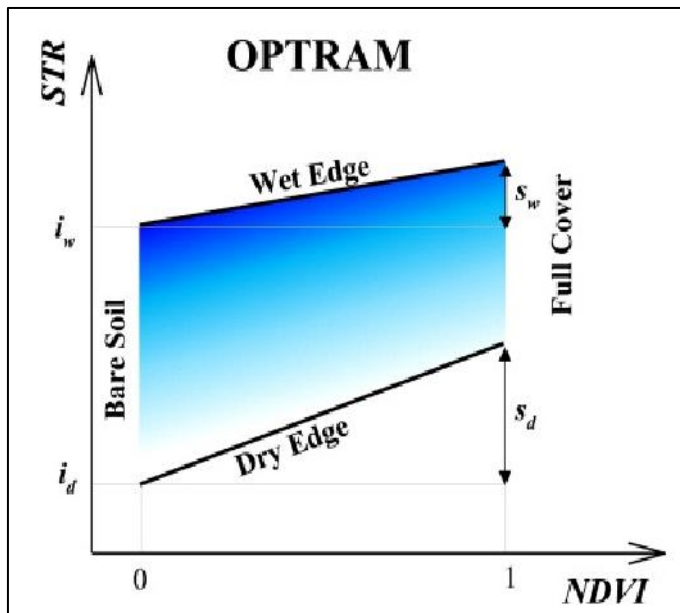
$$STR = \frac{(1-SWIR)^2}{(2SWIR)} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- STR = *shortwave infrared-transformed reflectance*;
- SWIR = *short-wave infrared (band 12)*

2.3.6. Analisis *optical trapezoid model*

OPTRAM (*Optical Trapezoid Model*) merupakan metode estimasi kelembapan tanah berbasis penginderaan jauh yang memanfaatkan hubungan antara nilai NDVI dan STR. Nilai piksel NDVI dan STR yang diperoleh dari citra Sentinel-2 diplot dalam bentuk *scatterplot*, di mana sebaran titik-titik tersebut membentuk pola trapesium, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi OPTRAM (*optical trapezoid model*) (Sadeghi et al. 2017)

Keempat sudut pada trapesium tersebut merepresentasikan kondisi permukaan yang berbeda. Nilai NDVI rendah dan STR rendah menunjukkan tanah terbuka yang kering, sedangkan NDVI rendah dan STR tinggi merepresentasikan tanah terbuka yang jenuh air. NDVI tinggi yang dikombinasikan dengan STR rendah mencerminkan vegetasi yang mengalami cekaman air, sementara NDVI tinggi dan STR tinggi menunjukkan vegetasi yang teririgasi dengan baik. Selain itu, batas atas dan batas bawah trapesium

mendefinisikan *wet edge*, yang merepresentasikan kondisi paling basah, dan *dry edge*, yang merepresentasikan kondisi paling kering. Estimasi kelembapan tanah kemudian dihitung menggunakan tahapan perhitungan sebagai berikut (Sadeghi et al., 2017):

$$W = \frac{i_d + s_d NDVI - STR}{i_d - i_w + (s_d - s_w) NDVI} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- W = kelembapan tanah;
- i_d = nilai tanah kering tanpa vegetasi;
- i_w = tanah jenuh air tanpa vegetasi;
- s_d = nilai tanah dengan vegetasi yang kering;
- s_w = nilai tanah dengan vegetasi yang jenuh

Nilai OPTRAM yang diperoleh selanjutnya diklasifikasikan dalam rentang nilai 0 hingga 1 dan dibagi menjadi lima kelas (Sholihah et al. 2018), sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Klasifikasi nilai kelembapan tanah (Sholihah et al. 2022)

Nilai OPTRAM	Kelas kelembapan
$0,0 \leq OPTRAM < 0,2$	Sangat rendah
$0,2 \leq OPTRAM < 0,4$	Rendah
$0,4 \leq OPTRAM < 0,6$	Sedang
$0,6 \leq OPTRAM < 0,8$	Tinggi
$0,8 \leq OPTRAM < 1,0$	Sangat tinggi

2.3.7. Pengambilan sampel tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan menggunakan metode *purposive sampling*, berdasarkan titik pengamatan yang telah ditentukan sebelumnya pada peta lokasi pengambilan sampel, dengan koordinat geografis di lapangan diverifikasi menggunakan *Avenza Maps* versi 5.4.3. Sampel tanah utuh dan sampel tanah terganggu diambil pada kedalaman 0-30 cm di setiap titik pengambilan sampel. Setiap sampel tanah kemudian diberi label sesuai dengan kode titik pengambilan sampel yang telah ditetapkan sebelumnya pada peta titik pengamatan.

2.3.8. Analisis laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengkarakterisasi sifat fisik dan kimia tanah, meliputi tekstur, permeabilitas, *bulk density*, porositas, C-organik, dan kadar air tanah. Parameter yang dianalisis beserta metode yang digunakan dirangkum pada Tabel 8.

Tabel 8. Jenis parameter tanah

Parameter	Metode
Tekstur (USDA)	Hydrometer
Permeabilitas (cm/jam)	<i>Water constant head</i>
<i>Bulk density</i> (g/cm ³)	Gravimetri
Porositas (%)	Perhitungan <i>bulk density</i> dan <i>particle density</i>
C-organik (%)	Walkley and Black
Kadar air tanah (cm/cm)	Gravimetri

2.3.9. Analisis korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk menilai kekuatan hubungan antara nilai OPTRAM dengan sifat tanah yang diukur di laboratorium, meliputi tekstur, permeabilitas, porositas, berat isi (*bulk density*), kandungan C-organik, dan kadar air tanah. Kekuatan serta arah hubungan dinyatakan menggunakan koefisien korelasi (*r*) yang memiliki rentang nilai dari 0 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan hubungan searah dan nilai negatif menunjukkan hubungan berlawanan (Firmanda et al., 2022). Analisis ini dilakukan menggunakan Microsoft Excel 2019 dengan persamaan yang dirangkum Sarwono (2006), yang disajikan sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- r_{xy} = nilai koefisien korelasi,
- x = nilai pengamatan X,
- y = nilai pengamatan Y,
- n = total data

Klasifikasi nilai korelasi Pearson ditentukan berdasarkan kekuatan hubungan antara variabel *x* dan *y* yang kemudian dibagi menjadi enam kelas (Sarwono, 2006). Klasifikasi tersebut disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Klasifikasi korelasi Pearson (Sarwono, 2006)

Koefisien korelasi (<i>r</i>)	Kelas korelasi
< 0.20	Hubungan korelasi dapat dianggap tidak ada
0.20 - 0.40	Hubungan korelasi rendah
> 0.40 - 0.70	Hubungan korelasi sedang
> 0.70 - 0.90	Hubungan korelasi tinggi
> 0.90 - 1	Hubungan korelasi sangat tinggi