



**PERBANDINGAN NDVI, NDWI, DAN NDDI DALAM
ANALISIS KADAR AIR TANAH PADA LAHAN PADI
MENGUNAKAN CITRA SENTINEL-2A**

SKRIPSI

*diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program
Sarjana pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas
Jember*

**Oleh
Putri Mazhhar Pratami
NIM 211510501048**

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2025**

PERSEMBAHAN

Skripsi dengan judul **Perbandingan NDVI, NDWI, dan NDDI dalam analisis kadar air tanah pada lahan padi menggunakan citra Sentinel-2A** dipersembahkan kepada:

1. Ibu penulis Metta Hadiahti, Ayah penulis Ahmad Azhar serta ketiga adik penulis, Mayang Mazhhar Sanita, Ridhwan Mazhhar Trisnawan, dan Prameshvari Mazhhar Neljania, yang merupakan sumber kekuatan dan dukungan dalam setiap langkah, yang doa dan kasihnya tak pernah berhenti menyertai perjalanan penulis.
2. Bapak Drs. Yagus Wijayanto, MA., Ph.D., dosen pembimbing yang dengan sabar dan tulus membimbing penulis sejak awal proses pengurusan program Merdeka Belajar Kampus Merdeka yang diikuti oleh penulis, hingga penyusunan dan penyelesaian skripsi ini. Terima kasih atas ilmu, arahan, dan waktunya yang begitu berarti.
3. Iema penulis Ratna Suparwati, yang dengan penuh kasih telah membantu, mendukung, dan membimbing penulis selama menempuh pendidikan. Terima kasih atas perhatian, ketulusan, dan doa yang selalu mengiringi setiap langkah penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Almamater tercinta, Fakultas Pertanian Universitas Jember, tempat penulis belajar, tumbuh, dan menemukan arti perjuangan.
5. Diri penulis sendiri, sebagai tanda bahwa setiap peluh, lelah, dan keyakinan akhirnya berbuah manis pada waktunya.

MOTTO

“Yesterday is history, tomorrow is mystery, but today is a gift.”
(Master Oogway – Kungfu Panda)

“Orang yang paling bijaksana adalah orang yang mengetahui bahwa dia tidak tahu”
(Socrates)

“Masa depan belum tiba, jadi, semua tergantung padamu.”
(Toshikawa Kawaguchi – Funiculi Funicula)

“Where there is hope, there always trials”
(Bangtan Sonyeondan – Sea)

*“Kalau kau berpikir positif, kau akan menarik hal-hal positif ke dalam hidupmu,
Tapi kalau kau tiba-tiba menghadapi situasi negatif, maka yang perlu kau
lakukan hanya mencintai.”*
(Jostein Gaarder – Dunia Sophie)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Putri Mazhhar Pratami

NIM : 211510501048

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi berjudul:

“Perbandingan NDVI, NDWI, dan NDDI dalam Analisis Kadar Air Tanah pada Lahan Padi Menggunakan Citra Sentinel-2A” adalah benar-benar hasil karya penulis sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya tulis plagiasi. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 06 Oktober 2025

Yang menyatakan

Putri Mazhhar Pratami

NIM. 211510501048

PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “**Perbandingan NDVI, NDWI, dan NDDI dalam Analisis Kadar Air Tanah pada Lahan Padi Menggunakan Citra Sentinel-2A**” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Senin

Tanggal : 06 Oktober 2025

Tempat : Ruang Sidang A/lantai 2 Fakultas Pertanian Universitas Jember

Pembimbing

1. Pembimbing utama

Nama : Drs. Yagus Wijayanto, MA., Ph.D.

NIP : 196606141992011001 (.....)

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Tri Wahyu Saputra, S.T.P., M.Sc.

NIP : 198906292019031008 (.....)

2. Penguji Anggota

Nama : Nilasari Dewi, S.Hut., M.Si.

NIP : 199401292019032025 (.....)

RINGKASAN

Perbandingan NDVI, NDWI, dan NDDI dalam Analisis Kadar Air Tanah Pada Lahan Padi Menggunakan Citra Sentinel-2A; Putri Mazhhar Pratami, 211510501048; 2025: Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Padi (*Oryza sativa* L.) membutuhkan ketersediaan air tanah yang optimal untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas. Namun, perubahan iklim dan keterbatasan irigasi sering menimbulkan kekeringan sehingga mengancam produksi. Pemantauan kadar air tanah melalui penginderaan jauh, khususnya citra Sentinel-2A dengan indeks vegetasi, menjadi alternatif yang efisien dan akurat. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja NDVI, NDWI, dan NDDI dalam mendeteksi kadar air tanah serta menentukan indeks terbaik. Penelitian dilakukan di lahan padi Kecamatan Antirogo, Kabupaten Jember. Data kadar air tanah diambil dari 40 titik menggunakan metode gravimetrik, kemudian dibandingkan dengan nilai NDVI, NDWI, dan NDDI dari citra Sentinel-2A. Analisis regresi sederhana digunakan untuk melihat hubungan antara indeks vegetasi dan hasil pengukuran lapangan. Hasil penelitian menunjukkan kadar air tanah berkisar 4,9%–9,3% dengan rata-rata 6,98%, jauh di bawah kapasitas lapang (25–40%) sehingga kondisi lahan tergolong kering. Nilai NDVI 0,22–0,68, NDWI -0,15–0,32, dan NDDI 0,20–0,61. NDVI memiliki korelasi sedang dengan kadar air tanah ($R^2 = 0,56$), NDWI menunjukkan hubungan terkuat ($R^2 = 0,68$), sedangkan NDDI berkorelasi negatif ($R^2 = 0,61$). Disimpulkan bahwa ketiga indeks dapat digunakan untuk mendeteksi kadar air tanah, namun NDWI merupakan indeks terbaik karena paling sensitif terhadap kelembapan. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan citra Sentinel-2A dapat mendukung pertanian presisi, khususnya dalam pengelolaan irigasi yang lebih efektif dan peningkatan produktivitas padi secara berkelanjutan.

Kata kunci: kadar air tanah, NDVI, NDWI, NDDI, Sentinel-2A.

SUMMARY

Comparison of NDVI, NDWI, and NDDI in Soil Water Content Analysis in Rice Fields Using Sentinel-2A Imagery; Putri Mazhhar Pratami, 211510501048; 2025: Agrotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, University of Jember.

Rice (*Oryza sativa* L.) requires optimal soil water availability to ensure growth and productivity. However, climate change and limited irrigation often lead to drought, threatening yields. Remote sensing with Sentinel-2A imagery and vegetation indices provides an efficient and accurate method to monitor soil water content. This study aimed to evaluate the performance of NDVI, NDWI, and NDDI in detecting soil water content and to determine the most reliable index. The research was conducted in Antirogo District, Jember Regency. Soil water content was measured at 40 sampling points using the gravimetric method and compared with NDVI, NDWI, and NDDI values derived from Sentinel-2A imagery. Linear regression was applied to analyze the correlation between vegetation indices and soil water content. The results showed that soil water content ranged from 4.9% to 9.3% with an average of 6.98%, below field capacity (25–40%), indicating dry soil conditions. NDVI values ranged from 0.22–0.68, NDWI from -0.15–0.32, and NDDI from 0.20–0.61. NDVI had a moderate correlation with soil water content ($R^2 = 0.56$), NDWI showed the strongest relationship ($R^2 = 0.68$), while NDDI was negatively correlated ($R^2 = 0.61$). It can be concluded that all three indices are applicable for soil water detection, but NDWI is the most effective due to its high sensitivity to moisture. These findings highlight the potential of Sentinel-2A imagery to support precision agriculture, improve irrigation management, and enhance sustainable rice production.

Keywords: soil water content, NDVI, NDWI, NDDI, Sentinel-2A.

PRAKATA

Rasa syukur dan terima kasih penulis sampaikan atas terselesaikannya skripsi yang berjudul “Perbandingan NDVI, NDWI, dan NDDI dalam Analisis Kadar Air Tanah Pada Lahan Padi Menggunakan Citra Sentinel-2A”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pertanian pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. M. Rondhi, S.P., M.P., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Jember, yang telah memberikan kesempatan, fasilitas, dan dukungan dalam pelaksanaan kegiatan akademik hingga penyusunan skripsi ini.
2. Drs. Yagus Wijayanto, M.A., Ph.D., selaku dosen pembimbing sekaligus Kepala Program Studi Agroteknologi, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing penulis hingga selesainya skripsi ini.
3. Tri Wahyu Saputra S.T.P., M.Sc., selaku dosen penguji utama dan Nilasari Dewi S.Hut., M.Si., selaku dosen penguji anggota yang telah berkenan menguji dan memberikan saran dan kritik dalam penyelesaian skripsi.
4. Nanang Tri Haryadi, S.P., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa memberikan bimbingan selama penulis menempuh studi.
5. Seluruh dosen dan staf di Fakultas Pertanian, Universitas Jember, khususnya Program Studi Agroteknologi atas ilmu, pengalaman, dan bantuan yang diberikan.
6. Kedua orang tua dan tiga adik yang sangat penulis sayangi, atas doa, kasih sayang, dan dukungan yang tiada henti.
7. Iema Ratna yang penulis hormati, atas segala kasih sayang dukungan, doa dan perhatian yang dicurahkan terlebih semenjak penulis kuliah.

8. Teman-teman Program Studi Agroteknologi, khususnya Berlian Cindy Febrian serta Intan Nur Rohma, yang tumbuh dan belajar bersama penulis sejak awal perkuliahan hingga penyusunan skripsi.
9. Sahabat Perpustakaan 2023 – 2024 yang menjadi wadah penulis tumbuh dan belajar berorganisasi, khususnya dibagian social media dan desain.
10. Rekan dan warga yang penulis temui selama program KKN di Pulau Semau terutama anggota Tim 1 serta warga Desa Batuinan atas segala pengalaman dan kenangan yang tidak dapat terulang.
11. Teman dan rekan di UKSM Panjalu, Program Mahasiswa Merdeka 2 Universitas Sriwijaya, Bertani untuk Negeri 7 Cluster Gekbrong – Warungkondang Cianjur, serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas kebersamaan dan pengalaman selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Jember, Oktober 2025

Penulis

Putri Mazhhar Pratami

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
PERSETUJUAN	v
RINGKASANvi	
SUMMARY	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Padi (Oryza sativa L.)	4
2.2. Kadar Air Tanah	6
2.3. Penginderaan Jauh dan Citra Satelit	7
2.4. Satelit Sentinel-2A.....	8
2.5. Indeks Vegetasi.....	10
2.6. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	10
2.7. Normalized Difference Water Index (NDWI).....	12
2.8. Normalized Difference Drought Index (NDDI)	13
2.9. Hipotesis	14
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1. Waktu dan Tempat.....	15
3.2. Alat dan Bahan.....	15
3.2.1. Alat.....	15
3.2.2. Bahan	16
3.3. Alur Kerja	16
3.4. Prosedur Penelitian	18
3.4.1. Persiapan	18
3.4.2. Survey Lapangan	18
3.4.3. Pengambilan Sampel Tanah.....	18
3.4.4. Analisis Laboratorium	19
3.4.5. Pengolahan Data	20
3.5. Analisis Data.....	22
3.6. Variabel Pengamatan	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Hasil Pengukuran Kadar Air Tanah.....	25
4.2. Hubungan NDVI dengan Kadar Air Tanah	29
4.3. Hubungan NDWI dengan Kadar Air Tanah	32

4.4.	Hubungan NDDI dengan Kadar Air Tanah	36
4.5.	Kinerja Indeks Vegetasi dalam Mendeteksi Kadar Air Tanah	39
4.6.	Kelebihan dan Keterbatasan Penelitian	41
BAB V PENUTUP.....		43
5.1.	Kesimpulan	43
5.2.	Saran	43
Daftar Pustaka		44
Lampiran		52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Citra Sentinel-2A.....	9
Tabel 2.2. Status Kerapatan Vegetasi Berdasarkan NDVI	11
Tabel 2.3. Klasifikasi Indeks Kebasahan	12
Tabel 2.4. Klasifikasi Kekeringan.....	14
Tabel 3.1. Kelas DEM.....	19
Tabel 3.2. Model, Persamaan dan Deskripsi NDVI, NDWI, dan NDDI.....	21
Tabel 3.3. Kategori R^2	22
Tabel 3.4. Kategori RMSE Lampiran	23
Tabel 3.5. Klasifikasi Kadar Air Tanah Lampiran.....	23
Tabel 4.1. Sebaran Kadar Air Tanah.....	25
Tabel 4.2. Sebaran Nilai NDVI.....	29
Tabel 4.3. Nilai NDWI.....	36
Tabel 4.5. Nilai RMSE dan R^2	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Peta Kelurahan Antirogo.....	15
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.3. Peta Titik Sampel Penelitian	18
Gambar 3.4. Peta Ketinggian Antirogo.....	19
Gambar 3.5. Peta Jenis Tanah Kecamatan Sumbersari.....	23
Gambar 4.1. Peta Sebaran Kadar Air Tanah	26
Gambar 4.2. Peta Sumber Irigasi Kelurahan Antirogo	27
Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Nilai Kadar Air dengan NDVI.....	18
Gambar 4.4. Peta Sebaran NDVI	30
Gambar 4.5. Diagram Pie NDVI.....	31
Gambar 4.6. Peta Titik Sampel Penelitian	33
Gambar 4.7. Peta Sebaran NDWI	34
Gambar 4.8. Diagram Pie Sebaran Kelas NDWI.....	35
Gambar 4.9. Peta Titik Sampel Penelitian	37
Gambar 4.10. Peta Sebaran NDDI	38
Gambar 4.11. Diagram Pie NDDI.....	38
Gambar 4.12. Diagram Garis Perbandingan Kadar Air Tanah dengan NDVI, NDWI dan NDDI	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar	52
Lampiran 2. Data Sampel.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Padi merupakan salah satu komoditas pangan pokok yang sangat penting bagi sebagian penduduk dunia, sehingga permintaan beras global terus meningkat. Jamal dkk. (2023) menyatakan bahwa untuk dapat memenuhi permintaan beras pada 2030, produksi beras global perlu ditingkatkan sebesar 25-30%. Indonesia menyumbang sekitar 2,05% dari total produksi padi dunia dan menjadi negara produsen padi terbesar keempat setelah Tiongkok, India, dan Bangladesh. Pada tahun 2021, Indonesia memproduksi padi sebanyak 54,41 juta ton GKG, meningkat menjadi 54,74 juta ton GKG pada 2022, namun mengalami penurunan menjadi 53,98 juta ton GKG pada 2023. Provinsi Jawa Timur berkontribusi sebesar 17,99% dari total produksi padi nasional, Kabupaten Jember menyumbang 1,54% dari produksi padi Jawa Timur (BPS, 2023).

Budidaya tanaman padi sangat bergantung pada ketersediaan air. Tanaman padi membutuhkan air dalam jumlah besar selama pertumbuhan karena memerlukan kondisi lahan yang selalu tergenang. Kebutuhan air yang tercukupi sangat penting untuk menunjang proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman (Wardani & Kurniati, 2022). Kadar air yang optimal untuk pertumbuhan tanaman umumnya berkisar 25% dari volume tanah (Kirkham, 2023). Purnowo dan Purwanti (2009) menjelaskan bahwa pada tanaman padi yang membutuhkan air lebih banyak, kadar air yang dibutuhkan adalah sekitar 40% dari kapasitas lapang.

Tantangan seperti hilangnya air di musim kemarau dan dampak pemanasan global semakin memperparah kondisi ini. Di Indonesia, kekeringan menyulitkan petani dalam menjamin pasokan air, yang dapat menyebabkan penurunan harga komoditas hingga kegagalan panen (Saputra & Santiyasa, 2024). Salah satu faktor yang memengaruhi produksi tanaman adalah kadar air tanah yang memengaruhi ketersediaan air bagi tanaman. Pemantauan kadar air tanah menjadi krusial untuk memastikan tanaman mendapat air yang cukup. Kekurangan air dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan kualitas gabah. Oleh karena itu, pemantauan kadar

air tanah melalui penginderaan jarak jauh menggunakan sangat efektif (Taufik, 2019).

Kadar air tanah dapat dideteksi menggunakan data satelit Sentinel-2A karena memiliki resolusi tinggi dan temporal yang cepat, memungkinkan pengamatan lanskap pertanian dan kesehatan tanaman secara berkala dan akurat. Cahyono dkk. (2023) menyatakan bahwa produktivitas dan pertumbuhan tanaman dapat diidentifikasi melalui metode penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) berbasis Sentinel-2A dengan memantau kadar air tanah tanaman padi. Sentinel-2A mampu menilai indeks vegetasi dan memantau perubahan kondisi tanaman dari waktu ke waktu, serta memfasilitasi intervensi tepat waktu dalam pengelolaan tanaman dengan menyediakan data *real-time* tentang kelembapan dan kesehatan vegetasi (Snevajs dkk., 2022). Menurut Tripathi dkk. (2021), pengelolaan sumber daya pertanian berbasis presisi, seperti sistem irigasi berbasis sensor dan pemetaan kandungan hara tanah, memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibanding metode konvensional. Sistem pemantauan air berbasis sensor juga mampu menentukan kadar air tanah dan membantu menjadwalkan irigasi secara efisien.

Integrasi data penginderaan jauh (*remote sensing*) dan sistem informasi geografis (SIG) dalam pengelolaan dan analisis data spasial dapat membantu untuk melakukan deteksi dan identifikasi yang menghasilkan peta yang menunjukkan potensi air tanah. Peta-peta ini menjadi alat penting yang dapat membantu pengambil keputusan dalam pengelolaan sumber daya air tanah untuk mengambil keputusan yang terinformasi (Bennet, 2023). Pemantauan kadar air tanah dapat dilakukan menggunakan indeks-indeks vegetasi seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDWI (*Normalized Difference Water Index*), dan NDDI (*Normalized Difference Drought Index*) (Patil dkk., 2024).

Untuk memaksimalkan penerapan indeks vegetasi, pengamatan pada skala kecil diperlukan karena keragaman lahan dan vegetasi meskipun dalam area terbatas dapat memengaruhi kadar air tanah. Analisis skala kecil memungkinkan identifikasi perbedaan secara lebih tepat. Kousar dkk. (2025) menyatakan bahwa pada skala penelitian kecil pun tetap terdapat heterogenitas sifat tanah, sedangkan Delval (2025) menunjukkan bahwa keragaman kondisi lahan pada skala mikro

berperan besar dalam menentukan status air tanaman. Hal ini sejalan dengan prinsip pertanian presisi yang menekankan pemanfaatan data beresolusi tinggi untuk membedakan kondisi lahan secara rinci sehingga pengelolaan dapat dilakukan lebih efektif.

Van Hateren dkk. (2023) menegaskan bahwa observasi kadar air tanah pada resolusi spasial tinggi mampu menangkap variasi di dalam lahan kecil, sehingga analisis detail memberikan informasi yang lebih akurat bagi pengelolaan pertanian. Kombinasi NDVI dan NDWI mampu memberikan informasi detail mengenai kondisi tanaman dan kadar air tanah, sedangkan NDDI dapat digunakan untuk mendeteksi tingkat kekeringan suatu wilayah (Firdaus dkk., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan NDVI, NDWI, dan NDDI dalam menganalisis kadar air tanah pada lahan padi menggunakan Citra Sentinel-2A.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja NDVI, NDWI, dan NDDI dalam mendeteksi kadar air tanah?
2. Indeks vegetasi apakah model terbaik yang dapat digunakan untuk mendeteksi kadar air tanah?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui kinerja NDVI, NDWI, dan NDDI dalam mendeteksi kadar air tanah.
2. Membandingkan model terbaik untuk mendeteksi kadar air tanah.

1.4. Manfaat

1. Mengembangkan metode analisis yang lebih efisien dan akurat untuk memantau kadar air tanah.
2. Memberikan gambaran model terbaik untuk mendeteksi kadar air tanah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Padi (*Oryza sativa* L.)

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman pangan terpenting di dunia setelah gandum dan jagung. Hal ini disebabkan oleh beras yang menjadi makanan pokok bagi mayoritas penduduk dunia, khususnya di kawasan Asia (Masitah dkk., 2023). Padi tergolong dalam suku *Poaceae* (padi-padian) dan termasuk tanaman semusim berusia pendek (Sumarlan dkk., 2023). Umumnya padi tumbuh di daerah beriklim tropis dan subtropis, antara lintang 45°LU hingga 45°LS dengan kondisi suhu panas dan kelembapan tinggi. Tanaman ini membutuhkan sinar matahari penuh selama ±12 jam setiap hari (Dayi dkk., 2024).

Tanaman padi memiliki batang berbentuk bulat dan berongga, yang dikenal sebagai jerami. Daunnya Panjang, tersusun sejajar dengan ruas-ruas batang. Pada fase vegetatif, rumpun terbentuk dari batang utama dan anakan, sedangkan pada fase generatif, muncul malai. Padi memiliki sistem akar serabut yang berperan dalam penyerapan air dan nutrisi dari tanah. Kelompok bunga padi tumbuh dari buku tertinggi membentuk malai. Bunga padi terdiri atas bulu halus (*awn*) di ujung *lemma*, *lemma* (kelopak besar), *palea* (kelopak kecil), kepala sari, tangkai sari, putik, kepala putik, serta tangkai bunga. Ciri khas dari daun padi adalah keberadaan lidah daun (*ligula*) dan telinga daun (*auricle*), yang membedakannya dari jenis rumput lainnya. Bagian utama daun padi meliputi (1) Helaian daun berbentuk pita panjang yang melekat pada batang; (2) Pelepah daun yang membungkus batang dan menyokong ruas-ruas batang; (3) Lidah daun yang terletak di antara helaian daun dan pelepah daun (Monareh & Ogie, 2020).

Padi termasuk dalam genus *Oryza* bersama sekitar 25 spesies lainnya. Saat ini, dua spesies padi yang banyak dibudidayakan adalah *Oryza sativa* L. dan *Oryza glaberrima* Steud. Berdasarkan ekogeografisnya, *Oryza sativa* terbagi atas tiga varietas, yaitu *Indica*, *Japonica*, dan *Javanica* (Purwansyah dkk., 2021). Tanaman padi dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Azizah dkk., 2023):

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Superdivisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Subkelas	: Commelinidae
Ordo	: Poales
Famili	: Poaceae
Genus	: <i>Oryza</i>
Spesies	: <i>Oryza sativa</i> L.

Pertumbuhan padi dipengaruhi oleh iklim dan kondisi tanah. Padi dapat tumbuh di berbagai kondisi iklim, termasuk tropis dan subtropis, dengan cuaca panas, kelembapan tinggi, dan sekitar empat bulan musim hujan. Pertumbuhan padi membutuhkan ketersediaan air dalam jumlah besar, sehingga kadar air tanah menjadi faktor yang sangat menentukan produktivitas. Padi membutuhkan curah hujan sekitar 200 mm per bulan atau lebih (Purnowo & Purwanti, 2009). Meskipun demikian, padi tetap dapat ditanam di musim kemarau asalkan tersedia sistem irigasi. Padi membutuhkan sinar matahari yang cukup untuk fotosintesis, terutama selama masa berbunga dan pematangan buah, sehingga tidak cocok ditanam di tempat teduh. Kondisi tanah yang ideal untuk pertumbuhan padi meliputi faktor geografi terkait hidrologi, porositas tanah rendah, tingkat keasaman netral, ketersediaan sumber air alami, serta pengaruh aktivitas manusia. Tanah lempung berat atau lapisan keras di bawah permukaan sangat cocok untuk budidaya padi sawah (Edy, 2022).

Fase pertumbuhan padi terdiri atas dua tahap utama, yaitu vegetatif dan generatif. Fase vegetatif mencakup perkecambahan (*germination*), pembibitan (*seedling*), dan pembentukan anakan (*tillering*). Sementara itu, fase generatif dibagi menjadi dua, yaitu fase reproduktif dan fase pematangan (Kurniawan, 2021). Menurut Triscowati dkk. (2019), pertumbuhan padi meliputi tiga tahap: vegetatif, reproduktif, dan pematangan. Fase vegetatif dimulai dari awal pertumbuhan hingga

pembentukan malai, ditandai dengan peningkatan jumlah anakan, tinggi tanaman, dan luas daun. Fase reproduktif ditandai dengan memanjangnya ruas batang atas, munculnya daun bendera, dan pembungaan. Fase pematangan dimulai setelah pembungaan hingga gabah matang dan siap dipanen.

2.2. Kadar Air Tanah

Air berada di dalam ruang pori tanah, terikat dengan padatan tanah baik organik maupun anorganik, serta menjadi komponen bahan mineral. Kadar air tanah dinyatakan dalam persen volume yaitu persentase volume air terhadap volume tanah. Kadar air tanah merupakan konsentrasi air di dalam tanah, jumlah air yang diperoleh sebagian bergantung pada kemampuan tanah dalam menyerap air dan meneruskan air yang diterima ke bawah tanah (Febrianti, 2024). Kadar air tanah merupakan faktor penting untuk mendukung penyerapan nutrisi oleh tanaman. Ketersediaan air yang cukup di dalam tanah mempercepat proses pelarutan dan pergerakan unsur hara, sehingga nutrisi lebih mudah diserap oleh akar tanaman (Laia & Laia, 2024).

Studi Turner dan Haygarth (2020) menunjukkan bahwa tanah dengan kadar air yang tinggi mampu mempertahankan kelembapan dalam jangka waktu yang lebih lama, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan ketersediaan air bagi tanaman. Kadar air yang optimal untuk pertumbuhan tanaman umumnya berkisar 25% dari volume tanah (Kirkham, 2023). Purnowo dan Purwanti (2009) menjelaskan bahwa pada tanaman padi yang membutuhkan air lebih banyak, kadar air yang dibutuhkan oleh tanaman padi adalah 40% dari kapasitas lapang. Sehingga, Allen dkk. (2022) menemukan bahwa modifikasi struktur tanah dan pengelolaan kadar air yang optimal secara signifikan meningkatkan efisiensi serapan pupuk pada lahan pertanian.

Penggunaan teknologi untuk mengendalikan kadar air dan memperbaiki porositas tanah dapat memaksimalkan hasil tanaman dengan input minimal (Barker & Lee, 2021). Tinggi tanaman dan jumlah daun yang lebih banyak pada kadar air yang tinggi menunjukkan bahwa tanaman mendapatkan cukup air untuk mendukung fotosintesis dan pertumbuhannya (Turner & Haygarth, 2020).

Sebaliknya, kadar air yang rendah mengakibatkan stres pada tanaman, sehingga menghambat pertumbuhan dan mengurangi hasil panen (Laia & Laia, 2024).

2.3. Penginderaan Jauh dan Citra Satelit

Penginderaan Jauh atau *Remote Sensing* adalah ilmu yang menggambarkan keadaan suatu wilayah menggunakan alat pengindra atau sensor, seperti citra satelit (Wiguna, 2017). Penginderaan jauh mempelajari suatu keadaan wilayah melalui pengumpulan sampel dari lapangan yang diteliti secara rinci (Insyani, 2019). Penginderaan jauh merekam informasi suatu objek wilayah dalam bentuk citra tentang permukaan bumi, baik darat maupun laut. Objek penginderaan jauh ditentukan menggunakan radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari objek tersebut, misalnya satelit yang dirancang untuk memantau sumber daya lahan pertanian (Dimiyati, 2022).

Penginderaan jauh merupakan teknik yang digunakan untuk memperoleh data tentang objek, area maupun fenomena dari jarak jauh tanpa kontak fisik. Teknik ini dilakukan dengan menangkap energi elektromagnetik yang dipantulkan permukaan bumi melalui media satelit, kemudian data dianalisis tanpa kontak langsung dengan objek yang dikaji (Santoso dkk., 2021). Menurut Indarto (2014) tahapan dari penginderaan jauh memiliki tujuh proses, yaitu: (1) sumber energi untuk memancarkan radiasi; (2) radiasi kontak dengan atmosfer bumi; (3) radiasi yang berasal dari sumber akan bereaksi dengan target selanjutnya dipantulkan dan diteruskan sebagian maupun semuanya lalu akan diserap oleh target; (4) energi akan disimpan oleh sensor; (5) transmisi penerimaan dan pengolahan data oleh penginderaan jauh; (6) interpretasi dan analisis data; dan (7) aplikasi data penginderaan jauh.

Citra satelit adalah gambar yang diambil dari jarak jauh oleh satelit, namun memiliki kelemahan seperti gangguan dan distorsi. Gambar citra satelit berperan penting dalam penyampaian informasi, tetapi gangguan dan distorsi yang dapat menghambat ekstraksi informasi (Hidayat dan Faisal, 2019). Citra satelit memiliki berbagai resolusi, yang mengacu pada kemampuan citra untuk membedakan detail dan objek di permukaan bumi. Resolusi citra satelit dibagi menjadi tiga kategori,

yaitu resolusi tinggi, menengah, dan rendah, tergantung pada jumlah band spektral yang digunakan, luas area studi, dan kemudahan akses data. Citra satelit yang umum digunakan dan memiliki akurasi serta resolusi baik adalah citra Sentinel-2 (Solihin dkk., 2020).

Penginderaan jarak jauh dapat digunakan untuk mengekstraks data klasifikasi multispektral penutup lahan guna membedakan vegetasi. Selain itu, dilakukan interpretasi visual dan klasifikasi multispektral. Perhitungan indeks vegetasi digunakan untuk proses interpretasi guna mengetahui dan membedakan kerapatan vegetasi pada suatu lahan (Nurani dan Murti, 2015).

2.4. Satelit Sentinel-2A

Satelit Sentinel-2A merupakan bagian dari teknologi penginderaan jauh yang menyediakan informasi ilmiah secara objektif, akurat, konsisten, dan global (Hasyim dan Pamungkas, 2023). Satelit Sentinel-2A diluncurkan pada tahun 2015 oleh Eropa sebagai bagian dari inisiatif Copernicus yang dikelola oleh *European Space Agency* (ESA). Satelit ini memiliki 13 pita spectral (band) beresolusi tinggi, memungkinkan pengambilan gambar multispectral untuk pemantauan hutan, deteksi perubahan tutupan lahan, dan penanganan bencana alam (Putri dkk., 2018).

Sentinel-2 terdiri dari dua satelit, yaitu sentinel-2A dan sentinel-2B, yang bekerja saling melengkapi untuk meningkatkan frekuensi akuisisi data (Phiri dkk., 2020). Satelit ini dirancang khusus dengan fungsi untuk mengirim data dan citra pada program Copernicus di Eropa (Prasetyo, 2019). Tujuan utamanya adalah memantau permukaan bumi dan memberitahukan informasi terkini tentang kondisi lingkungan dan keamanan (Semedi dkk., 2021). Menurut Nadira (2018), Sentinel-2A menyediakan data untuk memantau lahan pertanian.

Sentinel-2 menyediakan resolusi spasial 20 meter di spektrum cahaya tampak dan memiliki 13 saluran sinyal multispektral, termasuk sensor cahaya tampak, inframerah dekat, dan inframerah gelombang pendek. Resolusi spasialnya dianggap cukup tinggi, terutama pada pita merah (Dimiyati dkk., 2022). Citra Sentinel-2A memiliki resolusi temporal setiap 5-10 hari (Ariani dkk., 2020). Data citra Sentinel-2A dapat diakses secara gratis, sehingga mendukung penelitian dan pemantauan

lahan padi secara efisien. Spesifikasi pita spektral Sentinel-2A disajikan pada Tabel 2.1., yang mencakup panjang gelombang, resolusi spasial, serta fungsi setiap pita spektral yang digunakan dalam analisis lahan pertanian (Putri dkk., 2021).

Tabel 2.1. Spesifikasi Citra Sentinel-2A

Band	Panjang Gelombang (mm)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan
Band 1 – Coastal aerosol	0,443	60	Koreksi atmosferik (hamburan aerosol).
Band 2 – Blue	0,49	10	Perkembangan vegetasi, karotenoid, keadaan tanah, koreksi atmosferik, (hamburan aerosol).
Band 3 – Green	0,56	10	Puncak hijau, sensitif terhadap total klorofil pada vegetasi.
Band 4 – Red	0,665	10	Klorofil maksimum.
Band 5 – Vegetation Red Edge	0,705	20	Posisi tepi kanal merah
Band 6 – Vegetation Red Edge	0,74	20	Deteksi batas warna merah, koreksi atmosferik, penerimaan beban aerosol.
Band 7 – Vegetation Red Edge	0,783	20	Indeks area daun, tepi puncak NIR.
Band 8 – NIR	0,842	10	Indeks area Daun.
Band 8A – Vegetation Red Edge	0,865	20	Puncak NIR yang sensitif dengan total klorofil.
Band 9 – Water Vapour	0,945	60.	Koreksi atmosferik untuk mengetahui uap air
Band 10 – SWIR – Cirrus	1,375	60	Koreksi atmosferik untuk mengetahui awan yang tipis (cirrus).
Band 11 – SWIR	1,61	20	Pemisahan salju, es dan awan.
Band 12 – SWIR	2,19	20	Pembedaan tanah liat untuk pemantauan erosi tanah

Sumber: Putri dkk. (2021)

Keunggulan Sentinel-2A terletak pada kemampuan citra multispektralnya yang memanfaatkan pantulan spektral objek di permukaan bumi, seperti air, vegetasi, dan tanah, untuk menilai kondisi vegetasi (Pettorelli, 2013). Pantulan spektral ditampilkan dalam kurva pantulan spektral, yang menggambarkan persentase pantulan energi elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu. Kelebihan citra satelit ini antara lain efisiensi, efektivitas, akurasi yang baik, dan resolusi yang memadai (Andiko dkk., 2019).

2.5. Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kehijauan vegetasi suatu area dengan memanfaatkan data spektral dari citra satelit. Data ini sesuai dengan band yang tersedia. Indeks ini dihasilkan dari rasio pantulan spektral pada pita merah dan pita inframerah dekat, yang menunjukkan kondisi vegetasi berdasarkan intensitas fotosintesis dan kandungan klorofil pada tanaman (Yudistira dkk., 2018).

Nilai indeks vegetasi akan tinggi pada area dengan vegetasi yang sehat dan lebat, sedangkan nilai rendah menunjukkan kondisi vegetasi yang jarang atau rusak, serta area non-vegetasi seperti permukiman dan perairan (Que dkk., 2019). Hasil indeks vegetasi dapat digunakan sebagai indikator kondisi dan perkembangan vegetasi secara spasial dan temporal, sehingga sangat bermanfaat dalam pemantauan pertumbuhan tanaman pada lahan pertanian (Hardianto dkk., 2021).

Indeks vegetasi juga berperan dalam mendukung pengelolaan pertanian presisi, membantu dalam analisis kebutuhan irigasi, pemupukan, serta evaluasi kesehatan tanaman berdasarkan distribusi nilai indeks pada lahan pertanian (Putra & Graha, 2022).

2.6. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan salah satu indeks vegetasi yang digunakan untuk menghitung tingkat kehijauan tanaman dengan memanfaatkan citra satelit. NDVI dihitung dari rasio pantulan spektral pada pita merah (Red) dan pita inframerah dekat (Near Infrared) untuk menunjukkan

kondisi vegetasi berdasarkan kandungan klorofil dan aktivitas fotosintesis tanaman (Hatulesila dkk., 2019). Klasifikasi kerapatan vegetasi berdasarkan NDVI dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Status Kerapatan Vegetasi berdasarkan NDVI

Kelas	Kerapatan Vegetasi	Keterangan
1	<0	Lahan tidak bervegetasi
2	0 – 0.15	Kerapatan sangat rendah
3	0.15 – 0.25	Kerapatan rendah
4	0.25 – 0.35	Kerapatan sedang
5	0.35 – 1	Kerapatan tinggi

Sumber: Hatulesila dkk. (2019)

NDVI dihitung dari data spektrometrik pada dua band spesifik: merah dan inframerah dekat (NIR). NDVI dihitung menggunakan nilai reflektansi pada kanal inframerah dekat (NIR, Band 8), dan kanal merah (Red, Band 4) dari citra Sentinel-2A. Secara matematis, rumus NDVI adalah:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

NDVI memberikan informasi mengenai kepadatan dan kesehatan vegetasi pada suatu wilayah, di mana nilai indeks mendekati +1 menunjukkan vegetasi yang sehat dan lebat, sedangkan nilai mendekati -1 menunjukkan area tanpa vegetasi atau area perairan (Cahyono dkk., 2023). Indeks ini banyak digunakan dalam pemantauan pertumbuhan tanaman, analisis tutupan lahan, serta identifikasi wilayah pemukiman, lahan kosong, dan badan air (Basuki dkk., 2023).

Menurut Wang dkk. (2016), terdapat korelasi signifikan antara nilai reflektan pada pita inframerah dekat dengan konsentrasi nitrogen tanaman, sehingga pemanfaatan NDVI dapat membantu dalam menilai kondisi kesehatan tanaman secara spasial. NDVI juga dapat digunakan untuk mendukung pengelolaan pertanian presisi, termasuk analisis kebutuhan irigasi dan pemupukan berbasis kondisi vegetasi secara real-time (Aditiya & Aziz, 2021; Putra & Graha, 2022).

2.7. Normalized Difference Water Index (NDWI)

NDWI atau indeks McFeeters merupakan indeks yang digunakan untuk mendeteksi badan air dan tingkat kelembapan tanah pada suatu wilayah dengan memanfaatkan citra satelit. NDWI dihitung dari rasio pantulan spektral pada pita inframerah dekat (Near Infrared/NIR) dan gelombang pendek inframerah (Short Wave Infrared/SWIR), yang dapat menunjukkan kondisi kelembapan permukaan lahan secara spasial. Nilai reflektansi diambil dari kanal inframerah dekat (NIR, Band 8) dan gelombang pendek inframerah (SWIR, Band 12). NDWI efektif dalam menilai stres air dengan mengukur perbedaan reflektansi antara NIR dan SWIR (Cahyono dkk., 2023). Rumus NDWI adalah:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

NDWI umumnya digunakan untuk mengidentifikasi area yang memiliki kandungan air tinggi, seperti badan air, lahan basah, dan sawah, serta memantau kondisi kelembapan tanah sebagai indikator ketersediaan air untuk tanaman (Husna & Fawzi, 2022). Wilayah dengan nilai NDWI tinggi menunjukkan kondisi lahan yang basah, sedangkan nilai rendah menunjukkan lahan kering atau area non-air (Firdaus dkk., 2024). Klasifikasi indeks kebasahan menggunakan citra Sentinel-2A dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Indeks Kebasahan

Nilai NDWI	Keterangan
-0,43 – 0,1	Non Badan Air
0,1 - 0,17	Rendah
0,17 – 0,27	Agak Rendah
0,27 – 0,37	Sedang
0,37 – 0,47	Agak Tinggi
0,47 – 1,0	Tinggi

Sumber: Firdaus dkk. (2024)

Menurut Cahyono dkk. (2023), NDWI efektif dalam memantau kondisi stres air pada lahan pertanian dan membantu dalam manajemen irigasi dengan mengidentifikasi area yang membutuhkan pasokan air secara prioritas. Dengan

memanfaatkan citra Sentinel-2A, nilai NDWI dapat diperoleh secara berkala sehingga memudahkan pemantauan kelembapan tanah dan badan air dalam mendukung pengelolaan pertanian presisi. Dengan demikian, penggunaan NDWI pada lahan pertanian padi dapat membantu petani dalam memantau ketersediaan air secara efisien, mendukung pengambilan keputusan terkait pengaturan irigasi, serta meningkatkan produktivitas tanaman padi secara berkelanjutan.

2.8. Normalized Difference Drought Index (NDDI)

Normalized Difference Drought Index (NDDI) adalah algoritma penginderaan jauh digunakan untuk tingkat kekeringan di suatu wilayah (Firaus dkk., 2024). Indeks ini memiliki keunggulan berupa nilai korelasi yang tinggi dengan curah hujan, sehingga lebih efektif dalam menggambarkan kondisi kekeringan lahan pertanian dibandingkan dengan indeks vegetasi lainnya (Rahman dkk., 2024). NDDI dihitung dengan menggabungkan NDVI dan NDWI menggunakan rumus berikut:

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI}$$

Rahman dkk. (2017) memanfaatkan kombinasi NDVI dan NDWI untuk mendeteksi kekeringan pada lahan pertanian menggunakan metode NDDI. Hasil validasi menunjukkan bahwa metode ini memiliki Tingkat akurasi hingga 82%. Penelitian lain yang dilakukan oleh Du dkk. (2018) menunjukkan bahwa NDDI lebih sensitif terhadap variasi curah hujan pada lahan sawah dibandingkan indeks lainnya, sehingga lebih efektif dalam menangkap perubahan kondisi kekeringan dan dampaknya terhadap tanaman.

Pemantauan kekeringan menggunakan NDDI dapat dilakukan dengan efektif menggunakan karena indeks ini mampu menggambarkan mempresentasikan kondisi geo-meteorologi suatu wilayah secara komprehensif. Nilai NDDI yang tinggi menunjukkan kondisi lahan yang kering, sedangkan nilai rendah menunjukkan kondisi kelembapan yang baik (Julianto & Ediyanto, 2021). Klasifikasi tingkat kekeringan pada lahan sawah berdasarkan nilai NDDI menggunakan Citra Sentinel-

2A berkisar antara $\leq 0,01$ hingga 1. Nilai ini dibagi ke dalam lima kelas klasifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 2.4. berikut:

Tabel 2.4. Klasifikasi Kekeringan

Nilai NDDI	Keterangan
$< 0,01$	Normal
$0,1 \leq \text{NDDI} < 0,15$	Kekeringan Ringan
$0,15 \leq \text{NDDI} < 0,25$	Kekeringan Sedang
$0,25 \leq \text{NDDI} < 1$	Kekeringan Berat
≥ 1	Kekeringan Sangat Berat

Sumber: Firdaus dkk. (2024)

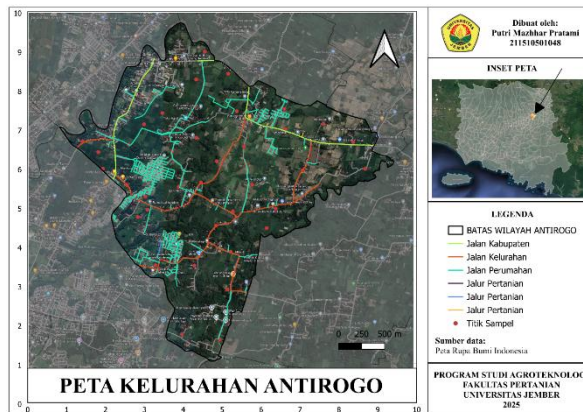
2.9. Hipotesis

1. NDDI memberikan hasil terbaik dalam menganalisis kadar air tanah.
2. Terdapat perbedaan signifikan antara hasil NDWI, NDVI, dan NDDI dalam analisis kadar air tanah pada lahan padi.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan dari 1 Mei hingga 30 September 2025 di Kelurahan Antirogo, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember dengan luas sawah pengamatan sebesar 3,5 ha. Lahan yang diteliti didominasi oleh tanaman padi dengan sistem irigasi teknis. Berikut merupakan wilayah penelitian berdasarkan topografi permukaan bumi:



Gambar 3.1. Peta Kelurahan Antirogo

Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

GPS (*Global Positioning System*), sekop, bor tanah, ponsel, pisau belati, plastik klip, ember atau wadah sampel, label dan spidol, alat tulis kantor (ATK), neraca analitik, oven pengering, cawan atau wadah tanah, desikator, sendok tanah, sikat kecil, laptop, aplikasi QGIS 3.34.4, Microsoft Word 365, & Microsoft Excel 365.

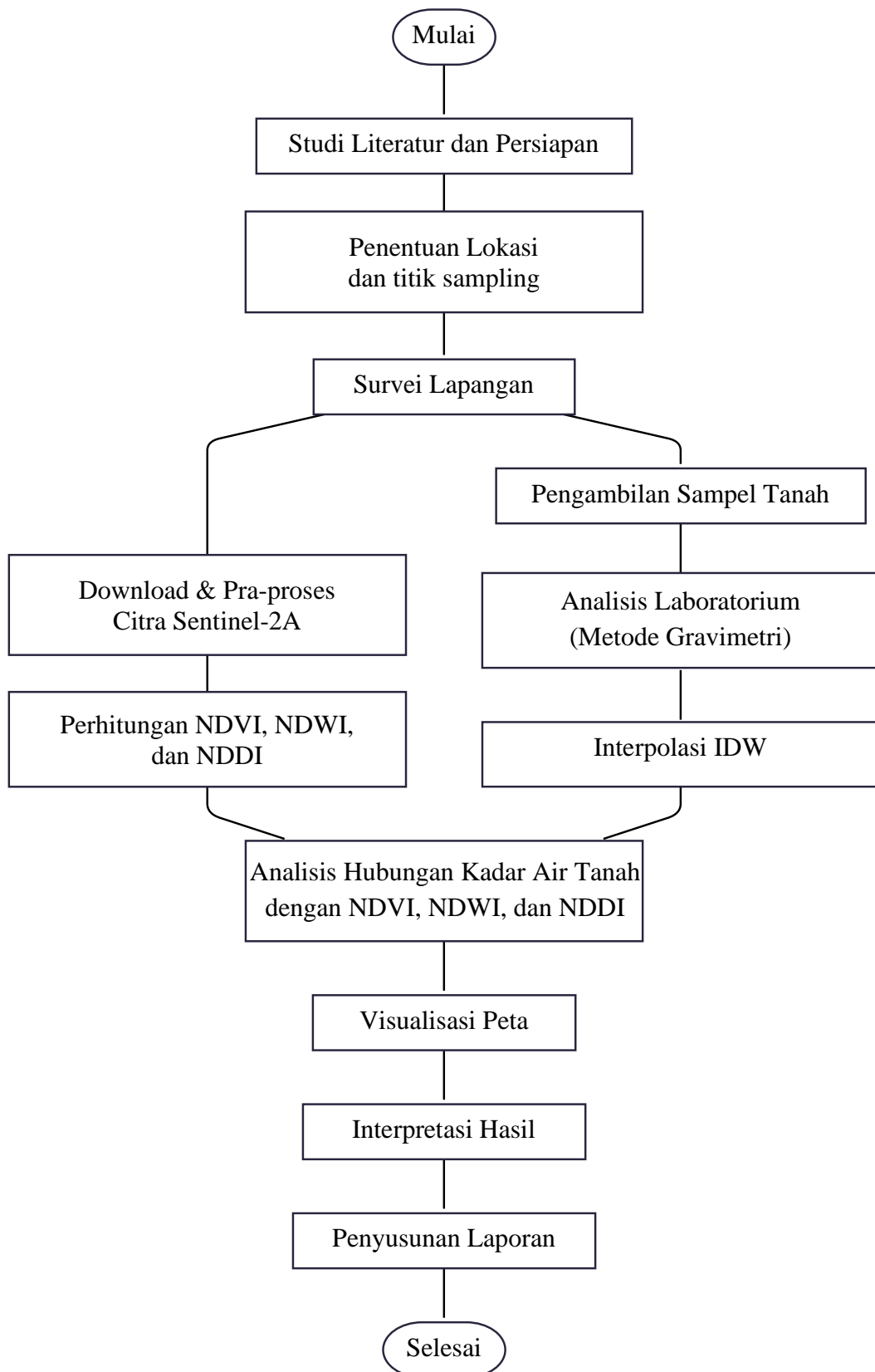
3.2.2. *Bahan*

Sampel tanah, kertas label atau spidol tahan panas, *aquades*, Citra Sentinel-2A Kelurahan Antirogo dari *website* EarthExplorer (usgs.gov), Peta Rupa Bumi Kabupaten Jember skala 1:25.0000 dari Badan Informasi Geospasial, peta sebaran sawah Kelurahan Antirogo, Peta administrasi Kabupaten Jember dari *website* <http://tanahair.indonesia.go.id/>, data koordinat titik sampel, dan hasil dokumentasi lahan.

3.3. **Alur Kerja**

Alur kerja penelitian ini diawali dengan studi literatur dan persiapan, yaitu melakukan kajian pustaka mengenai hubungan indeks vegetasi dan kadar air tanah, sekaligus menyiapkan peralatan, bahan, serta perangkat lunak yang diperlukan. Selanjutnya dilakukan penentuan lokasi penelitian dan titik sampling berdasarkan peta DEM, dengan mempertimbangkan variasi kondisi lahan yang ada. Setelah lokasi dan titik sampling ditetapkan, dilanjutkan dengan survei lapangan untuk mengidentifikasi kondisi lahan secara langsung, memastikan aksesibilitas, serta memvalidasi titik pengambilan sampel dengan bantuan GPS.

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 40 titik dengan kedalaman 0–15 cm sesuai koordinat yang telah ditentukan. Sampel tersebut kemudian dianalisis di laboratorium dengan metode gravimetri; Selanjutnya pengolahan data penginderaan jauh dengan mengunduh citra Sentinel-2A (Band 4, 8, dan 12) dari Copernicus/EarthExplorer. Citra tersebut diproses melalui tahapan koreksi geometrik, radiometrik, dan atmosferik menggunakan perangkat lunak QGIS, sehingga diperoleh citra yang siap digunakan untuk perhitungan indeks vegetasi. Selanjutnya dilakukan analisis hubungan antara hasil interpolasi kadar air tanah dengan nilai NDVI, NDWI, dan NDDI. Hasil analisis kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta tematik yang menggambarkan pola spasial kadar air dan kondisi vegetasi. Terakhir melakukan interpretasi hasil dengan membandingkan temuan penelitian terhadap teori maupun penelitian terdahulu, serta penyusunan laporan penelitian.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah tahap yang dilakukan untuk melaksanakan penelitian dari awal hingga akhir. Prosedur ini harus dilakukan supaya penelitian berjalan dengan lancar dan menghasilkan hasil sesuai yang dikehendaki. Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1. *Persiapan*

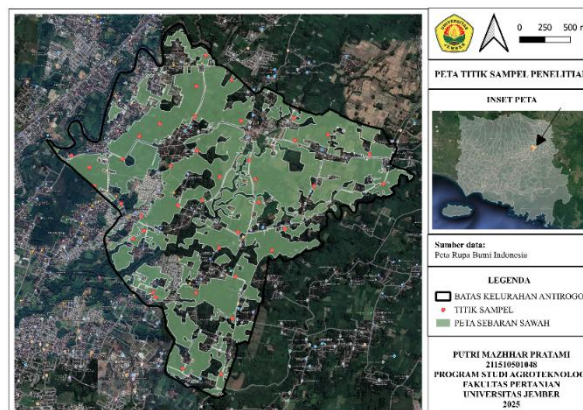
Studi literatur dilakukan sebagai langkah awal dalam penelitian untuk mencari referensi dari penelitian sejenis yang relevan. Sumber literatur diperoleh dari jurnal, buku, dan informasi lain yang memuat topik penelitian. Selain itu dilakukan penentuan lokasi penelitian dan titik sampling berdasarkan peta DEM untuk memperkirakan topografi lahan.

3.4.2. *Survey Lapangan*

Survei dilakukan untuk mengamati kondisi lapangan dan mengumpulkan data sekunder, seperti jenis tanaman, metode pengolahan tanah, sistem tanam, pola pemupukan, dan tingkat produktivitas. Data diperoleh melalui wawancara dengan petani serta pencatatan koordinat menggunakan GPS.

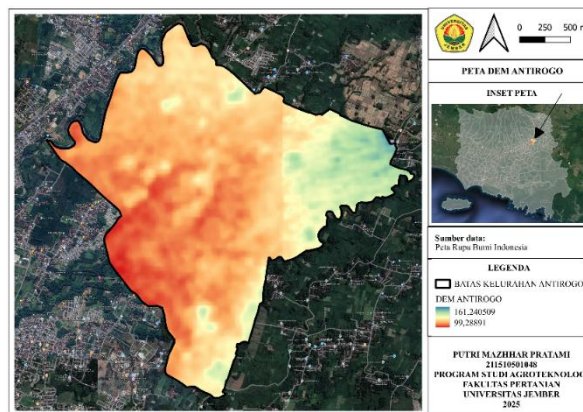
3.4.3. *Pengambilan Sampel Tanah*

Sampel tanah diambil di Kelurahan Antirogo dengan koordinat $-8,15167, 113,74361$. Titik pengambilan sampel ditentukan terlebih dahulu menggunakan GPS. Berikut merupakan gambaran lokasi sampel dan titik pengambilan datanya:



Gambar 3.3. Peta Titik Sampel Penelitian

Sejumlah 40 sampel tanah diambil pada kedalaman 0-15 cm pada 40 titik lokasi dengan luas total 3,5 ha secara acak untuk menangkap variasi heterogenitas mikro sehingga perbedaan kadar air dapat teridentifikasi secara lebih detail. Tanah yang digunakan untuk analisis fisika adalah tanah terusik. Metode sampling yang digunakan adalah *purposive sampling* karena adanya perbedaan kondisi lahan. *Purposive sampling* merupakan metode pemilihan objek yang lebih spesifik sesuai dengan masalah dan tujuan penelitian yang dianggap mewakili keseluruhan sampel (Campbel dkk., 2020). Pemilihan titik sampel ditentukan berdasarkan pada ketinggian yang diperoleh dari klasifikasi DEM. Adapun DEM yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3.4. Peta Ketinggian Antirogo

dari peta tersebut diperoleh kelas DEM sebagai berikut:

Tabel 3.1. Kelas DEM

Kelas	Ketinggian	Warna	Lokasi
Rendah	99,29 – 120	biru-kehijauan	timur dan tenggara
Sedang	120,01 – 140	kuning-kejinggaan	tengah
Tinggi	140,01 – 161,24	oranye-merah	barat dan barat daya

3.4.4. Analisis Laboratorium

Analisis dilakukan untuk mengetahui kadar air tanah dengan metode gravimetri menggunakan rumus:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \left(\frac{\text{Berat Basah} - \text{Berat Kering}}{\text{Berat Kering}} \right) \times 100\%$$

Proses dimulai dengan mengeringkan tanah pada suhu ruang. Setelah kering, tanah dibersihkan dari kotoran (akar, batu). Tanah yang telah bersih kemudian ditumbuk menggunakan mortar dan alu hingga diperoleh ukuran partikel yang diinginkan. Selanjutnya, ayak menggunakan saringan berukuran 0,5 mm dan 2 mm. Kemudian, timbang 5 gram sampel tanah, lalu keringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Setelah itu, sampel disimpan dalam desikator selama 30 menit. Berikutnya tanah ditimbang kembali untuk memperoleh massa kering. Hasil analisis kadar air tanah ini kemudian diolah menggunakan metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) untuk menghasilkan peta sebaran kadar air tanah.

3.4.5. Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari pengukuran kadar air tanah di laboratorium dicatat dan dihitung menggunakan metode gravimetri untuk mendapatkan kadar air tanah pada masing-masing titik sampel. Data citra Sentinel-2A yang berasal dari *website* Copernicus (<https://dataspace.copernicus.eu>) berdasarkan koordinat lahan. Band yang digunakan yaitu Band 8 sebagai NIR dengan resolusi spasial 20 meter, Band 4 sebagai RED pada NDVI dengan resolusi spasial 20 meter, dan Band 12 sebagai SWIR pada NDWI dengan resolusi spasial 20 meter. Selanjutnya pra-pemrosesan yaitu koreksi data raster menggunakan plugin Semi-Automatic Classification di QGIS (menghilangkan noise, koreksi atmosfer). Selanjutnya integrasi data, dengan melakukan perhitungan NDVI, NDWI, dan NDDI serta melakukan *georeferencing* dan masking area pengamatan. Kemudian melakukan analisis menggunakan metode IDW di QGIS untuk interpolasi kadar air tanah.

Penginderaan jarak jauh digunakan dalam menganalisis dinamika kadar air tanah karena luas area yang diamati adalah seluas 3,5 Ha, sehingga penginderaan jarak jauh sangat membantu untuk memantau secara rutin dengan data citra satelit. Karena tujuan penelitian ini untuk menganalisis dinamika kadar air tanah di lahan padi, penelitian ini hanya menggunakan model NDVI, NDWI, dan NDDI. Berikut adalah persamaan dari model-model tersebut:

Tabel 3.2. Model, Persamaan dan Deskripsi NDVI, NDWI, dan NDDI

Model	Persamaan	Deskripsi
NDVI	$(\text{Band 8} - \text{Band 4}) / (\text{Band 8} + \text{Band 4})$	"Band 8" merujuk pada reflektansi cahaya pada band inframerah dekat (NIR), sementara "Band 4" merujuk pada reflektansi cahaya pada band merah (RED) dalam citra Sentinel-2A. NDVI memberikan nilai yang berkisar antara -1 hingga +1, dengan nilai positif mendekati +1 menunjukkan vegetasi yang sehat, sementara nilai negatif mendekati -1 menandakan permukaan tanah yang tidak memiliki vegetasi. Nilai di antara keduanya menunjukkan berbagai tingkat keberadaan vegetasi.
NDWI	$(\text{Band 8} - \text{Band 12}) / (\text{Band 8} + \text{Band 12})$	"Band 8" merujuk pada reflektansi cahaya pada band inframerah dekat (NIR), sementara "Band 12" merujuk pada reflektansi cahaya pada band gelombang pendek inframerah (SWIR) dalam citra Sentinel-2A. NDWI adalah indeks yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan air dan sering dipakai untuk memantau perubahan tutupan air, seperti sungai, danau, dan badan air lainnya dalam citra satelit Sentinel-2A. Nilai NDWI umumnya berkisar antara -1 hingga +1, dengan nilai positif mengindikasikan adanya air.
NDDI	$(\text{NDVI} - \text{NDWI}) / (\text{NDVI} + \text{NDWI})$	Metode NDDI adalah teknik yang mengkombinasikan data mengenai vegetasi dan air, dengan menggabungkan indeks kehijauan vegetasi (NDVI) dan tingkat kelembapan vegetasi (NDWI). Nilai yang lebih tinggi dari indeks ini menunjukkan kondisi yang lebih kering.

Sumber: Putri dkk. (2021)

Berdasarkan yang dapat dilihat pada tabel tersebut, model NDVI dihitung dengan menggunakan data raster dari band 8 dan band 4 pada Sentinel-2A. Lebih spesifik lagi, model ini bisa digunakan untuk mengetahui vegetasi yang sehat atau area tanah yang tidak terdapat vegetasi. Model NDVI sangat bermanfaat guna mengetahui tingkat kelembapan tanah dari nilai indeks yang didapatkan. Di sisi lain, model NDWI, yang dihitung dengan data raster dari band 8 dan band 12 pada Sentinel-2A, dipakai guna mengetahui keberadaan air, sehingga cocok digunakan untuk memantau perubahan kandungan air di tanah. Model NDDI sendiri merupakan kombinasi NDVI dan NDWI. NDDI digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kekeringan atau stres kekeringan pada vegetasi. Nilai NDDI yang tinggi menunjukkan tingkat kekeringan yang tinggi, sedangkan nilai rendah menunjukkan kondisi kelembapan yang baik.

3.5. Analisis Data

Nilai indeks yang dihasilkan diolah dan dibandingkan dengan data kadar air tanah menggunakan analisis regresi linear sederhana untuk mengetahui hubungan antara nilai indeks dengan kadar air tanah pada lahan padi. Analisis dilengkapi dengan perhitungan nilai koefisien determinasi (R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengukur tingkat akurasi dan kesesuaian model dalam mendeteksi kadar air tanah. Menurut Sugiyono (2018), koefisien determinasi (R^2) menunjukkan seberapa besar variabel bebas dapat menjelaskan variabilitas variabel terikat; nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan kemampuan yang tinggi, sedangkan nilai mendekati 0 menunjukkan sebaliknya. Nilai koefisien determinasi sendiri dikategorikan sebagai berikut:

Tabel 3.3. Kategori koefisien determinasi

Nilai R^2	Kategori
$R^2 \geq 0.75$	substantial (sangat kuat)
$R^2 \approx 0.50$	moderate (sedang)
$R^2 \approx 0.25$	weak (lemah)

Sumber: Hair dkk. (2011)

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil yang didapatkan semakin akurat. RMSE dikalkulasikan sebagai:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

dimana y_i adalah nilai sebenarnya dari variabel target, \hat{y}_i adalah nilai prediksi, dan n adalah jumlah total prediksi (Gaspar & Pedrosa, 2024). Terdapat empat tingkat kualitas prediksi RMSE.

Tabel 3.4. Kategori RMSE

Kualitas	Nilai
Sangat Baik	< 0,1
Baik	0,1 – 0,3
Cukup Baik	0,3 – 0,5
Kurang Baik	> 0,5

Sumber: Gaspar & Pedrosa, 2024

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS 3.34.4 dengan memanfaatkan *Spatial Analysis Tools* dan metode interpolasi IDW. Hasil interpolasi divisualisasikan dalam bentuk peta tematik untuk analisis spasial kadar air tanah serta hubungannya dengan nilai indeks vegetasi dan data DEM. Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan peta distribusi kadar air tanah berdasarkan nilai indeks yang dihasilkan.

3.6. Variabel Pengamatan

1. Kadar air tanah yang diperoleh dari masing-masing titik sampel yang diambil dan telah dianalisis di laboratorium menggunakan metode gravimetri. Prosedur ini dilakukan dengan cara menimbang berat tanah basah, kemudian mengeringkannya di dalam oven hingga diperoleh berat konstan, lalu membandingkan perbedaan bobot tanah basah dan tanah kering. Nilai kadar air yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui kondisi tanah berdasarkan kadar air tanah.

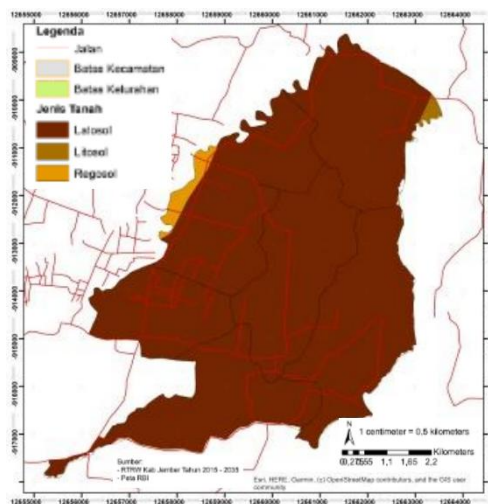
Klasifikasi kadar air tanah menurut Hakim & Hermansah (2025) mengacu pada kondisi berikut:

Tabel 3.5. Klasifikasi kondisi kadar air tanah

Kondisi Kadar Air Tanah	Kadar Air	Keterangan
Jenuh / Retensi maksimum	± 40–50 %	Semua pori tanah terisi air
Kapasitas lapang	± 25–40 %	Air gravitasi hilang, masih tersedia untuk tanaman
Titik layu permanen	± 5–25 %	Tanaman tidak dapat menyerap air
Air higroskopis / Kering	< 5 %	Air melekat sangat kuat pada partikel tanah, tidak tersedia bagi tanaman

Sumber: Hakim & Kermansyah (2025)

2. Kondisi tanah sangat memengaruhi kadar air tanah, karena ukuran partikel dan struktur tanah menentukan bagaimana tanah menyerap, menyimpan, dan mengalirkan air. Tekstur tanah ditentukan menggunakan *feel method* (metode perabaan) yang dilakukan di lapangan. Metode ini dilakukan dengan cara merasakan tanah dalam keadaan lembap melalui uji kelengketan, plastisitas, dan kehalusan butiran. Di Kelurahan Antirogo sebagian besar tanahnya merupakan tanah latosol yang umumnya memiliki tektur lempung hingga lempung liat. Di sisi lain, sebagian kecil tanah lainnya merupakan tanah litosol yang umumnya memiliki tektur beragam mulai dari pasir hingga kerikil (Aprilia dkk., 2021).



Gambar 3.5. Peta Jenis Tanah Kecamatan Summersari
Sumber: Aprilia dkk. (2021)

3. Ketinggian tempat yang dianalisis menggunakan DEM (*Digital Elevation Mode*) pada QGIS 3.34.4
4. Pengolahan lahan yang diketahui dengan melaukan wawancara pada petani dan pemilik lahan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengukuran Kadar Air Tanah

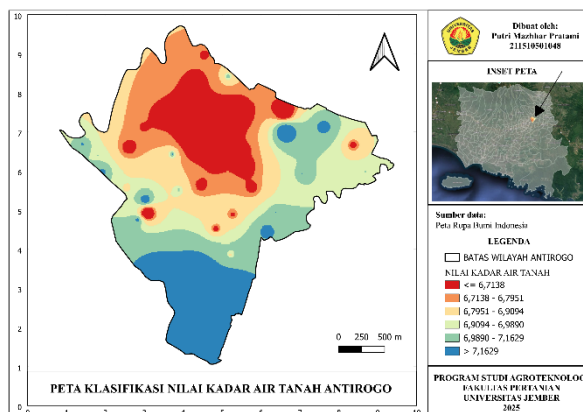
Pengukuran kadar air tanah pada 40 titik sampel menggunakan metode gravimetri menunjukkan variasi nilai antara 4,9% hingga 9,3%, dengan rata-rata 6,98%. Data sebaran kadar air tanah pada setiap titik pengamatan disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sebaran Kadar Air Tanah

Parameter	Kadar Air Tanah (%)
Minimum	4,9
Maksimum	9,3
Rata-rata	6,98
Standar Deviasi	1,01
Kategori Kadar Air	Kering (<10%)

Nilai kadar air yang diperoleh dari pengukuran tergolong rendah. Jika dibandingkan dengan kapasitas lapang tanah bertekstur lempung hingga lempung berpasir, yang berkisar pada 25-40% (Hakim & Hermansah, 2025), maka kondisi kadar air saat pengambilan data jauh di bawah kapasitas lapang. Hal ini menunjukkan bahwa lahan penelitian mengalami defisit air, dengan kondisi tanah yang berada dalam titik layu permanen, air dalam tanah sudah tidak lagi tersedia secara efektif bagi tanaman. Kondisi ini menggambarkan potensi kekeringan yang parah dan dapat memengaruhi pertumbuhan serta produktivitas tanaman di lahan tersebut

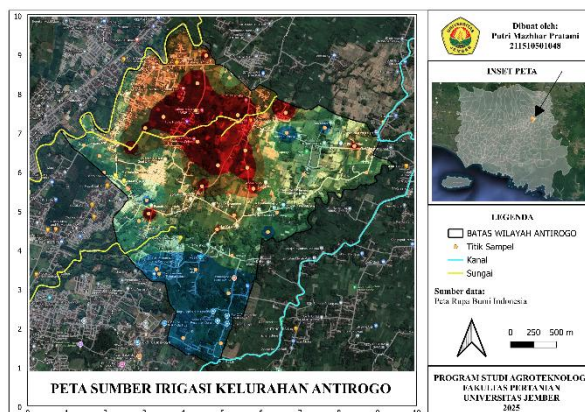
Selain itu, terdapat satu titik sampel dengan kadar air di bawah 5%, yang termasuk dalam kategori air higroskopis. Pada kondisi ini, air hanya melekat sangat kuat pada partikel tanah sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman. Keberadaan titik ini menunjukkan adanya lokasi dengan tingkat kekeringan yang lebih ekstrem dan perlu mendapat perhatian khusus dalam pengelolaan lahan. Sebaran kadar air dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Peta Sebaran Kadar Air Tanah

Titik dengan kadar air tinggi umumnya berada di dekat saluran irigasi, sedangkan kadar air rendah ditemukan pada bagian lahan yang lebih tinggi atau jauh dari sumber air. Peta pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa area dengan kadar air tanah sangat tinggi ($>7,1629\%$) ditandai warna biru tua, terletak di bagian selatan wilayah penelitian yang berdekatan dengan saluran irigasi utama. Kadar air tinggi ($6,9890-7,1629\%$) dengan warna biru muda-hijau, tersebar di sekitar area selatan-tengah. Kadar air sedang ($6,9094-6,9890$ dan $6,7951-6,9094\%$) berwarna hijau-kuning menempati bagian tengah wilayah. Sementara itu, kadar air rendah hingga sangat rendah ($\leq 6,7138\%$) berwarna merah-jingga, terkonsentrasi di bagian utara.

Variasi kadar air tanah di lokasi penelitian menunjukkan bahwa topografi saja tidak cukup menjelaskan perbedaan kelembapan antar wilayah. Peta Ketinggian Antirogo yang berada pada Gambar 3.4 memperlihatkan bahwa wilayah selatan tidak sepenuhnya lebih rendah tetapi tetap memiliki kadar air tinggi, sementara wilayah timur yang relatif lebih tinggi juga memperlihatkan kelembapan tinggi akibat keberadaan kanal irigasi. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi kelembapan lebih dipengaruhi oleh keberadaan jaringan irigasi dibandingkan semata-mata oleh elevasi. Untuk memahami lebih lanjut hubungan antara distribusi kelembapan dengan keberadaan sumber air, peta sungai di luar wilayah Antirogo disajikan pada gambar berikut:



Gambar 4.2. Peta Sumber Irigasi Kelurahan Antirogo

Peta ini menunjukkan bahwa sebagian besar sungai berada di sisi utara, barat, dan tengah, bahkan masuk hingga ke dalam wilayah Antirogo. Namun, wilayah di sekitar sungai tersebut justru memiliki kadar air rendah (merah–jingga), berbeda dengan area selatan dan timur yang dekat dengan kanal irigasi dan menunjukkan kelembapan tinggi. Kondisi ini memperlihatkan bahwa di Antirogo, sungai lebih berfungsi sebagai aliran drainase yang mengalirkan air keluar wilayah dibandingkan sebagai sumber kelembapan tanah.

Wardani dan Kurniati (2022) menekankan bahwa jarak dari saluran irigasi merupakan faktor utama yang memengaruhi variasi kelembapan tanah. Temuan ini selaras dengan kondisi di Antirogo, di mana wilayah dekat kanal irigasi lebih lembap, sedangkan daerah yang hanya dilintasi sungai justru kering. Turner dan Haygarth (2020) juga menyatakan bahwa pada tingkat wilayah terbatas, distribusi kelembapan tanah dapat bersifat relatif homogen jika terdapat sistem irigasi yang teratur, namun dapat pula bervariasi apabila sumber air tidak langsung berinteraksi dengan lahan. Hal ini ditunjukkan dalam hasil penelitian, di mana rata-rata kadar air tanah masih berada di bawah ambang “kering” (<10%), tetapi nilai standar deviasi yang rendah (1,01%) menunjukkan bahwa kondisi lahan relatif homogen. Dengan demikian, variabilitas kelembapan yang ada tetap berada dalam batas yang terkontrol meskipun terdapat perbedaan spasial antar wilayah.

Anggraeni dkk. (2022) menegaskan bahwa perbedaan elevasi dan kondisi atmosfer, seperti tutupan awan, memengaruhi kadar lengas tanah serta suhu tanah. Hasil penelitian ini selaras dengan temuan tersebut, namun di Antirogo peran

saluran irigasi lebih dominan daripada elevasi dalam menentukan distribusi kelembapan. Kondisi kekeringan yang terjadi pada area penelitian juga dipengaruhi oleh faktor klimatologis setempat. Berdasarkan hasil analisis Purnamasari et al. (2024) menggunakan data CHIRPS, Kabupaten Jember memiliki pola iklim musonal dengan puncak musim kemarau pada bulan Agustus dan peralihan musim hujan ke kemarau pada Maret–Mei. Pada periode tersebut, curah hujan menurun drastis hingga di bawah 100 mm/bulan. Hal ini sejalan dengan kondisi saat pengambilan data lapangan pada 1-5 Mei 2025, di mana wilayah penelitian mengalami cuaca yang jarang hujan dan cenderung panas, sehingga kadar air tanah di lapangan relatif rendah sehingga memengaruhi nilai kadar air yang didapatkan.

Sifat tanah juga berpengaruh terhadap perbedaan distribusi kadar air. Berdasarkan pengamatan lapangan, tanah di wilayah penelitian didominasi tekstur lempung hingga lempung berpasir dengan struktur remah hingga gumpal. Tanah bertekstur lempung memiliki kapasitas menahan air lebih tinggi, sedangkan tanah lempung berpasir cenderung lebih cepat meloloskan air. Struktur remah mempermudah masuknya air ke dalam tanah, sementara struktur gumpal dapat menahan air lebih lama. Di daerah penelitian, pengamatan lapangan menunjukkan bahwa tekstur tanah berperan nyata dalam mengatur kecepatan pergerakan air. Brady & Weil (2017) menyatakan bahwa tanah lempung termasuk kategori besar dalam menahan air sedangkan tanah lempung berpasir berada pada kategori sedang dalam mempertahankan kelembapan. Kombinasi sifat ini menjelaskan mengapa meskipun terdapat homogenitas relatif dalam kadar air (standar deviasi rendah), masih terjadi variasi lokal yang berkaitan dengan dominasi tekstur dan struktur tanah di tiap titik. Hal ini sejalan dengan temuan Wankmüller dkk (2024) yang menegaskan bahwa tekstur tanah berperan penting dalam menentukan ketersediaan air, di mana tanah berpasir lebih cepat mengering sementara tanah liat lebih mampu mempertahankan kelembapan.

Phiri dkk. (2020) juga menemukan korelasi antara tutupan tanaman (indeks NDWI) dan kelembapan tanah menggunakan citra Sentinel-2. Hal ini sesuai dengan kondisi di lapangan, di mana area sekitar kanal pada gambar 4.2. yang berada pada bagian timur dan selatan menunjukkan kadar air lebih tinggi, sedangkan area di

sekitar sungai di bagian tengah dan utara menunjukkan kadar air rendah. Pola sebaran kadar air tanah yang tidak merata ini juga memperlihatkan adanya variasi spasial antar titik pengamatan.

4.2. Hubungan NDVI dengan Kadar Air Tanah

Nilai NDVI berkisar antara 0,174 hingga 0,372 dengan rata-rata 0,244, yang menunjukkan kerapatan vegetasi berada pada kategori sedang hingga tinggi. Titik pengamatan yang memiliki kadar air tanah tinggi umumnya menunjukkan nilai NDVI lebih besar, mengindikasikan vegetasi yang lebih rapat dan sehat, dengan kapasitas fotosintesis yang lebih besar serta berasosiasi dengan kelembapan tanah yang baik (Ariani dkk, 2020). Sebaran nilai NDVI dapat dilihat pada Tabel 4.2.

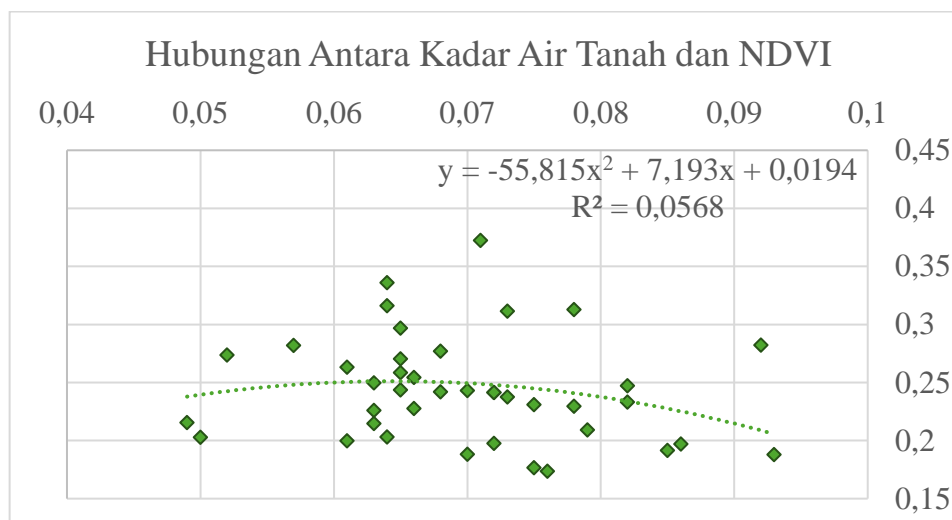
Tabel 4.2. Sebaran Nilai NDVI

Parameter	NDVI
Minimum	0,173762947
Maksimum	0,372468233
Rata-rata	0,243966136
Standar Deviasi	0,045490155
Regresi	$y = -55,815x^2 + 7,193x + 0,0194$
Intersep	0.07862485
R ²	0.0586
RMSE	0,180522162
Interpretasi	Hubungan sangat lemah, tidak direkomendasikan

Berdasarkan hasil analisis regresi polinomial antara NDVI dan kadar air tanah, diperoleh persamaan

$$y = -55,815x^2 + 7,193x + 0,0194$$

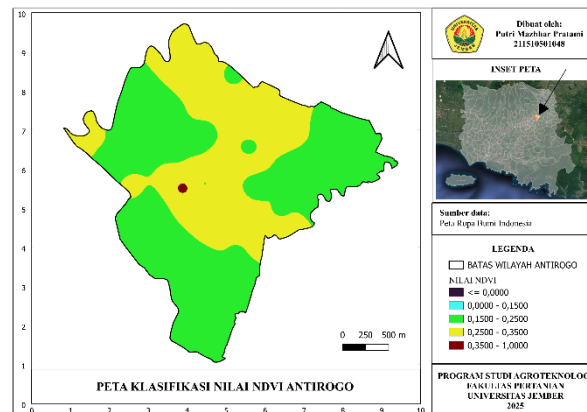
dengan koefisien determinasi (R²) sebesar 0,0568 dan nilai RMSE sebesar 0,181. Hasil analisis regresi antara NDVI dan kadar air tanah menunjukkan persamaan pada grafik berikut:



Gambar 4.3. Grafik hubungan kadar air tanah dengan NDVI

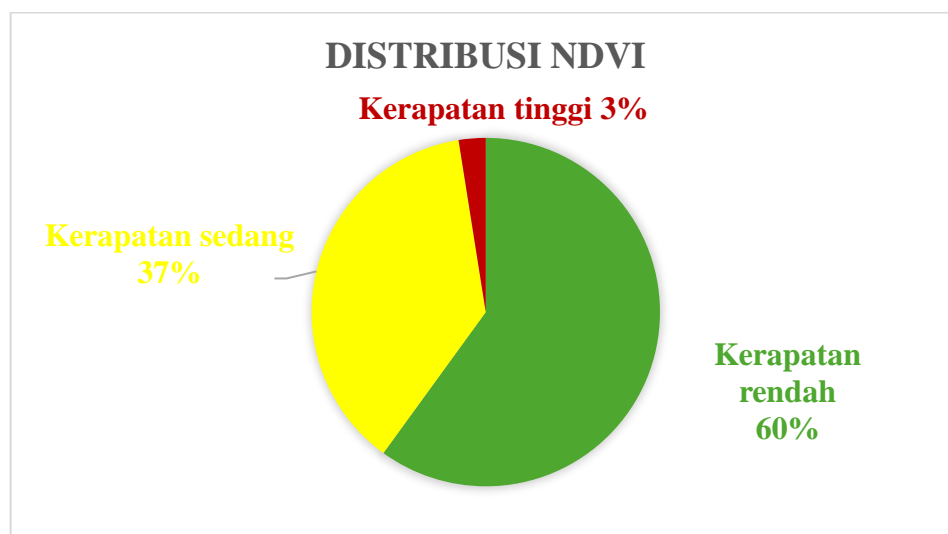
Nilai R^2 yang sangat rendah menunjukkan bahwa hubungan antara NDVI dan kadar air tanah tergolong sangat lemah dan tidak signifikan secara statistik. Hal ini menandakan bahwa variasi kadar air tanah tidak dapat dijelaskan dengan baik oleh variasi NDVI. Dengan demikian, NDVI kurang tepat digunakan sebagai prediktor tunggal untuk memperkirakan kadar air tanah di lokasi penelitian, sebagaimana juga disampaikan oleh Husna dan Fawzi (2022).

Hasil yang tidak sesuai ini diperkirakan juga terjadi karena area studi relatif kecil dan memiliki tingkat homogenitas tinggi baik dari segi elevasi (112–147 mdpl), kerapatan tanaman, maupun kadar air sehingga variasi NDVI dan kelembapan tanah menjadi terbatas. Campbell dkk. (2020) mencatat bahwa pemilihan sampel di area sempit cenderung menghasilkan rentang nilai variabel yang sempit, sehingga menurunkan kekuatan prediktor dalam model regresi. Singgalen (2023) berpendapat bahwa meskipun analisis berbasis NDVI efektif untuk klasifikasi tutupan lahan, indeks ini tidak secara langsung mencerminkan fluktuasi kelembapan tanah. Oleh karena itu, untuk studi dengan skala area dan homogenitas serupa, sebaiknya mempertimbangkan indeks lain (misalnya NDWI) atau pendekatan fisik-hidrologi yang lebih sensitif terhadap kandungan air di zona akar.



Gambar 4.4. Peta Sebaran NDVI

Gambar 4.4. memperlihatkan bahwa nilai NDVI tinggi tersebar di area dengan kadar air tanah tinggi, sedangkan nilai NDVI rendah mendominasi area yang cenderung kering. Peta tersebut mengelompokkan nilai NDVI menjadi lima kelas. Area dengan NDVI rendah (0,1500–0,2500, warna hijau) dominan di bagian timur, sebagian barat dan selatan. NDVI sedang (0,2500–0,3500, warna kuning) menempati area tengah–utara. Nilai NDVI tinggi (0,3500–1,0000, warna merah) ditemukan satu titik di daerah barat yang cukup dekat dengan sungai dan memiliki nilai kadar air lebih tinggi. Mupepi dkk (2025) menyatakan, kadar air menjadi parameter kritis bagi kesehatan vegetasi yang merupakan salah satu indikator utama dalam mengetahui kadar air tanah. Namun, hasil penelitian memperlihatkan bahwa vegetasi yang sehat tidak selalu berada pada lahan dengan kadar air yang tinggi.



Gambar 4.5. Diagram Pie NDVI

Diagram pie pada Gambar 4.5. memperlihatkan distribusi kerapatan vegetasi pada lahan penelitian. Hasil yang kurang sesuai dengan perkiraan ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor seperti adanya outlier pada data sampel, variasi kondisi lokal seperti praktik irigasi yang tidak merata, atau keterbatasan NDVI dalam mengestimasi kadar air tanah secara langsung. Temuan ini sejalan dengan penelitian Wijayanto dkk. (2024) yang melaporkan bahwa nilai NDVI dari citra Sentinel-2A sensitif terhadap perubahan kadar klorofil dan nitrogen pada tanaman padi. Hal ini menunjukkan bahwa NDVI lebih merefleksikan kesehatan vegetasi daripada kelembapan tanah secara langsung.

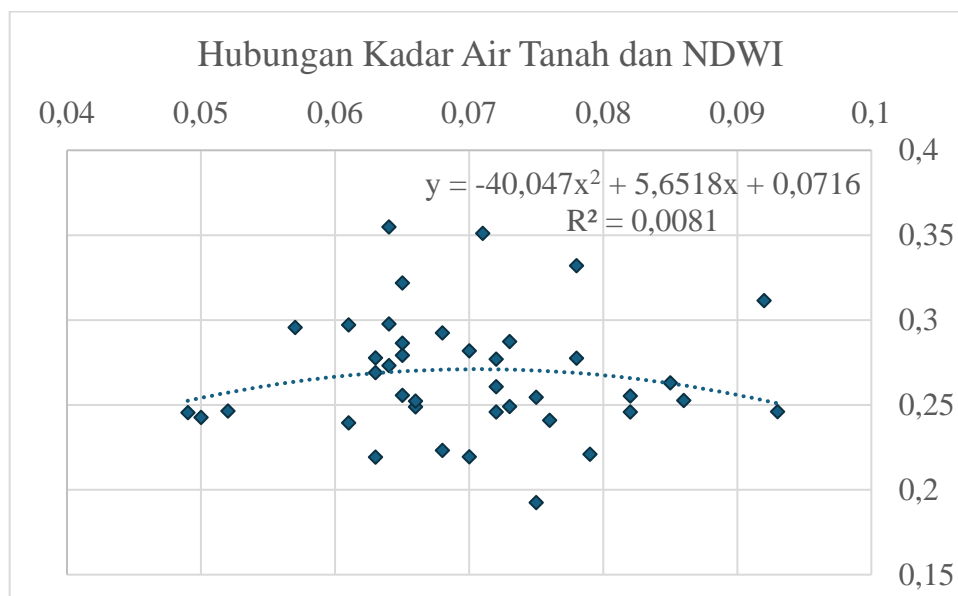
4.3. Hubungan NDWI dengan Kadar Air Tanah

Nilai NDWI pada lokasi penelitian berkisar antara 0,193 hingga 0,355 dengan rata-rata 0,267, yang secara teoritis menggambarkan tingkat kebasahan vegetasi dari kategori agak rendah hingga sedang. secara teoritis, rentang ini menggambarkan tingkat kebasahan vegetasi dari kategori agak rendah hingga sedang. Temuan ini sejalan dengan Singgalen (2023) yang menyatakan bahwa NDWI tidak efektif memprediksi variasi kelembapan tanah. Data hubungan kadar air tanah dengan NDWI disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai NDWI

Parameter	NDWI
Minimum	0,192551211
Maksimum	0,354752332
Rata-rata	0,267078337
Standar Deviasi	0,035362541
Regresi	$y = -40,047x^2 + 5,6518x + 0,0716$
Intersep	0,071620158
R ²	0,0081
RMSE	0,200610219
Interpretasi	Tidak signifikan, tidak efektif

Hasil analisis regresi antara NDWI dan kadar air tanah menunjukkan persamaan pada grafik berikut:



Gambar 4.6. Grafik hubungan kadar air tanah dengan NDWI

Berdasarkan hasil analisis regresi polinomial kuadrat antara NDWI dan kadar air tanah, diperoleh persamaan

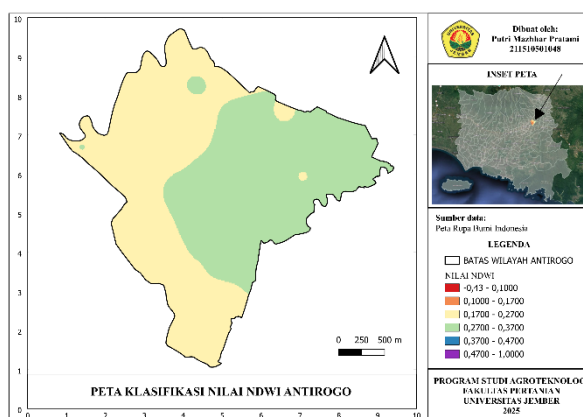
$$y = -40,047x^2 + 5,6518x + 0,0716$$

dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0081 dan nilai RMSE sebesar 0,2006. Nilai R^2 yang sangat rendah menunjukkan bahwa hubungan antara NDWI dan kadar air tanah tergolong sangat lemah dan tidak signifikan, sehingga variasi NDWI hampir tidak dapat menjelaskan variasi kadar air tanah. Pola hubungan yang membentuk kurva parabola dengan arah naik lalu turun juga menunjukkan bahwa peningkatan NDWI tidak selalu diikuti oleh peningkatan kadar air tanah.

Husna dan Fawzi (2022) menekankan bahwa saturasi tajuk daun pada lahan padi bervegetasi rapat dapat mengurangi sensitivitas pantulan spektral di pita yang digunakan untuk menghitung NDWI, sehingga korelasinya dengan kadar air tanah menjadi sangat lemah. Phiri dkk. (2020) dalam review Sentinel-2 juga melaporkan bahwa meskipun NDWI baik untuk memetakan tutupan air pada kanopi, indeks ini seringkali tidak mampu menggambarkan fluktuasi kelembapan permukaan tanah. Rendahnya performa model ini juga dapat disebabkan oleh ruang lingkup studi yang sempit dan tingkat homogenitas yang tinggi pada lahan penelitian. Faktor-faktor seperti elevasi (112–147 mdpl), kerapatan tanaman, serta distribusi kadar air

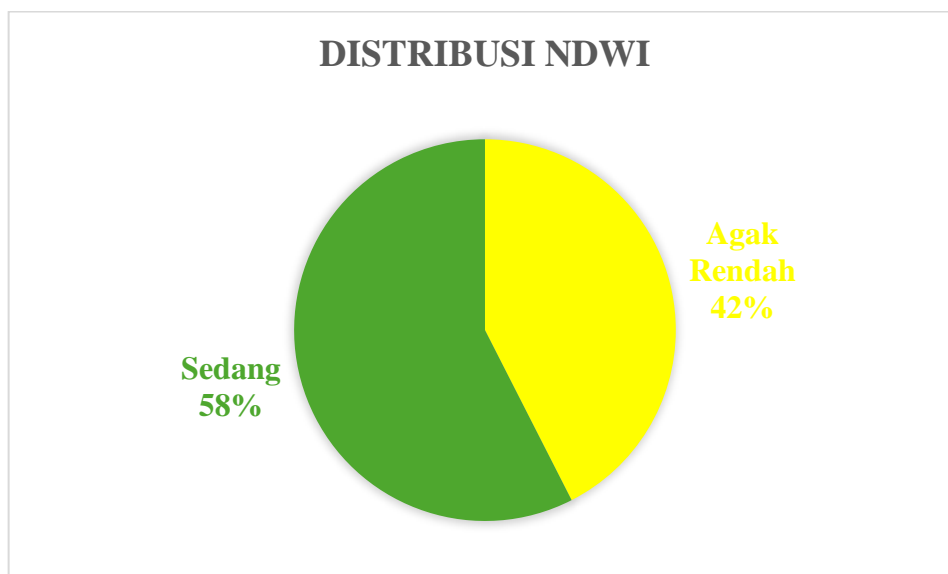
tanah yang kurang bervariasi mengakibatkan rentang nilai NDWI dan kadar air yang sangat sempit, sehingga kemampuan prediksi dari regresi linear menurun (Campbell dkk., 2020).

Kondisi cuaca saat pengambilan citra yang cerah, dengan curah hujan rendah dan tutupan awan yang minimal, menghasilkan data citra yang bersih dan bebas gangguan atmosferik. Namun, kondisi ini juga mencerminkan situasi permukaan yang relatif homogen, baik dari segi kelembapan tanah maupun tutupan vegetasi, sehingga nilai NDWI yang dihasilkan cenderung seragam dan tidak menunjukkan variasi yang signifikan (Anggraeni dkk., 2022). Titik pengamatan dengan kadar air tanah tinggi umumnya memiliki nilai NDWI yang lebih besar, karena NDWI sensitive terhadap perubahan kadar air vegetasi. Sebaran spasial NDWI disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.7. Peta Sebaran NDWI

Peta tersebut menunjukkan bahwa wilayah dengan NDWI tinggi umumnya berada pada lokasi yang juga memiliki kadar air tanah tinggi. Terdapat satu titik yang memiliki nilai NDWI agak tinggi ($0,3700 - 0,4700$, warna biru) berada pada bagian timur. NDWI sedang ($0,2700 - 0,3700$, warna hijau) berada di bagian timur dan tengah wilayah. NDWI agak rendah ($0,1700 - 0,2700$, warna kuning) mendominasi area utara, selatan, dan barat. Proporsi luas masing-masing kelas NDWI disajikan dalam bentuk diagram pie pada Gambar 4.8, untuk menggambarkan distribusi kadar air vegetasi di wilayah penelitian:



Gambar 4.8. Diagram Pie Sebaran Kelas NDWI

Temuan ini memperlihatkan bahwa NDWI memiliki keterbatasan dalam memprediksi kadar air tanah pada lahan pertanian padi. Faktor-faktor penyebabnya meliputi tutupan vegetasi yang padat sehingga memengaruhi pantulan spektral, variasi kondisi lapangan seperti sistem irigasi dan tekstur tanah setempat, serta kemungkinan adanya noise pada data penginderaan jauh. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Purnamasari dkk. (2024) yang menunjukkan bahwa kadar air tanah di Kabupaten Jember berkisar antara 6,92–18,68%, dengan status sedang mendominasi sebesar 59% dari total lahan. Selain itu, intensitas hujan yang menurun di akhir musim penghujan berperan dalam menurunkan kadar air tanah. Hal tersebut mendukung kondisi lapangan di wilayah penelitian, di mana pada bulan Mei 2025 curah hujan relatif rendah dan suhu cenderung panas sehingga menyebabkan nilai kadar air tanah di lahan padi bagian utara Kecamatan Sumpalsari tergolong kering. Fenomena ini mengindikasikan bahwa meskipun area penelitian relatif homogen, perbedaan mikro seperti variasi tekstur tanah dan keberadaan saluran irigasi masih dapat memengaruhi hasil NDWI. Oleh karena itu, sensitivitas NDWI cenderung terbatas dalam menangkap variasi kelembapan tanah pada skala yang lebih detail pada area penelitian.

4.4. Hubungan NDDI dengan Kadar Air Tanah

Analisis hubungan antara NDDI dan kadar air tanah menunjukkan hasil yang relatif lebih baik dibandingkan NDVI dan NDWI, meskipun tingkat keterkaitannya masih lemah. Nilai NDDI pada lokasi penelitian berkisar antara -0,199 hingga 0,107 dengan rata-rata -0,049. Rentang ini secara teoritis menggambarkan tingkat kekeringan lahan dari kategori relatif basah hingga agak kering. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh faktor-faktor spesifik di lokasi penelitian, termasuk variasi tekstur tanah, sistem irigasi, atau fase pertumbuhan tanaman padi yang berbeda pada saat pengambilan data. Data hubungan kadar air tanah dengan NDDI disajikan pada Tabel 4.4.

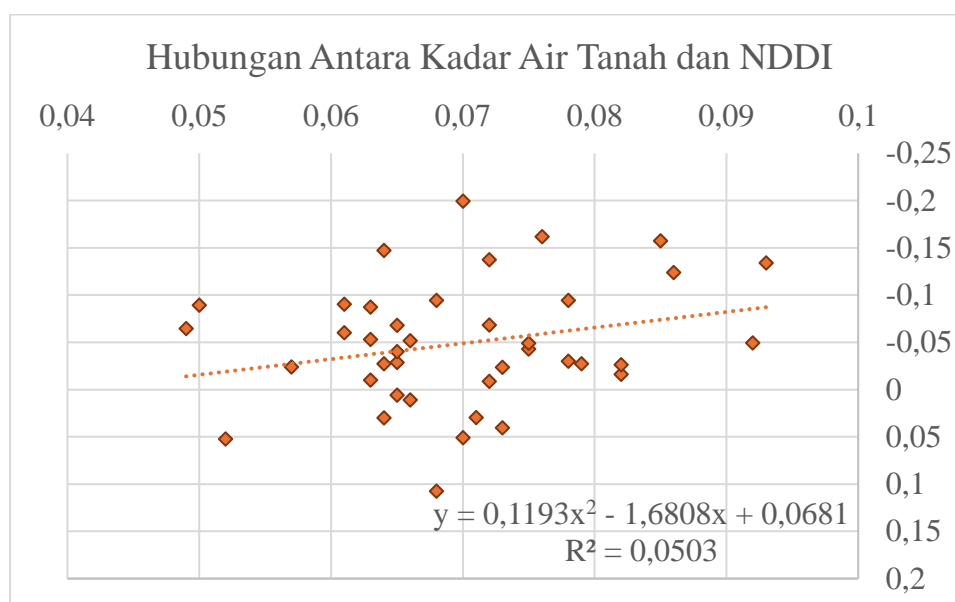
Tabel 4.4. Nilai NDDI

Parameter	NDDI
Minimum	-0,199316353
Maksimum	0,10739629
Rata-rata	-0,048945977
Standar Deviasi	0,065420154
Regresi	$y = -0,1193x^2 + 1,6808x + 0,0681$
Intersep	0.068124033
R ²	0.0503
RMSE	0,136635708
Interpretasi	Terbaik namun tetap Terbatas

Hasil analisis regresi polinomial antara NDDI dan kadar air tanah menghasilkan persamaan

$$y = -0,1193x^2 + 1,6808x + 0,0681$$

dengan koefisien determinasi (R²) sebesar 0,0503 dan nilai RMSE sebesar 0,1366. Grafik regresi polinomial antara kadar air tanah dan NDDI dapat dilihat pada gambar dibawah:

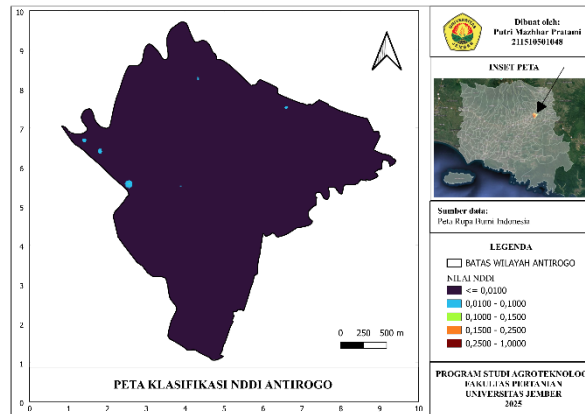


Gambar 4.9. Grafik hubungan nilai kadar air dengan NDDI

Nilai R^2 ini menunjukkan bahwa NDDI mampu menjelaskan sekitar 5,03% variasi kadar air tanah, yang berarti hubungan keduanya tergolong sangat lemah namun relatif lebih baik dibandingkan NDVI dan NDWI. Pola hubungan yang berbentuk kurva parabola membuka ke atas menunjukkan bahwa peningkatan nilai NDDI pada kisaran tertentu tidak selalu diikuti oleh penurunan kadar air tanah. Hal ini menandakan bahwa meskipun secara teoretis NDDI yang tinggi menggambarkan kondisi kekeringan, hubungan empiris di lokasi penelitian tidak menunjukkan pola negatif yang kuat.

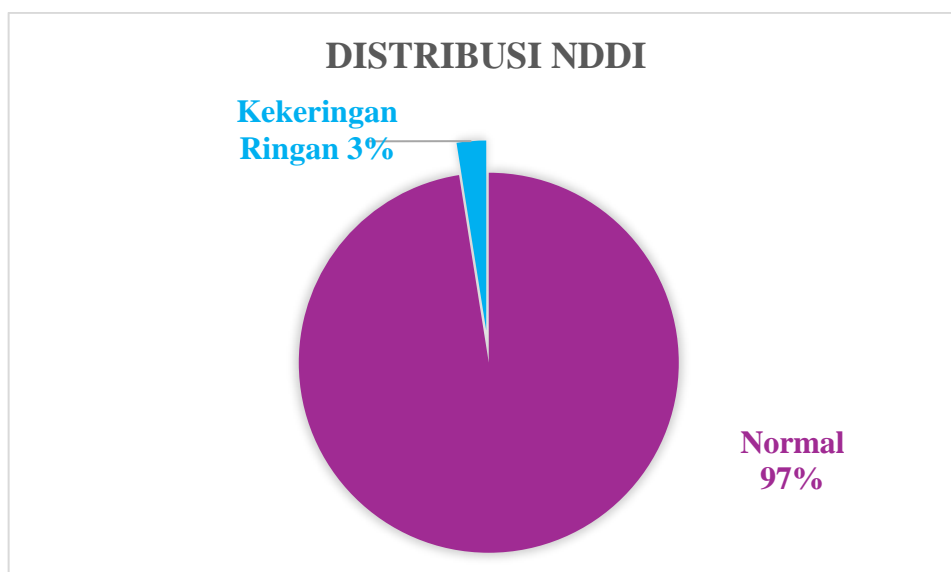
Faktor-faktor seperti perbedaan tekstur tanah, sistem irigasi, dan fase pertumbuhan tanaman padi diduga memengaruhi hubungan tersebut Singgalen (2023) menegaskan bahwa penggabungan NDVI dan NDWI pada NDDI memang menyajikan klasifikasi ruang yang lebih detail, tetapi untuk model prediksi kelembapan tanah di lahan penelitian, dibutuhkan data multi waktu atau integrasi parameter fisik-hidrologi. Kondisi tersebut sejalan dengan karakteristik klimatologis wilayah penelitian yang berada di bagian utara Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember menurut penelitian Bahtiah dan Wijayanto (2021). Pada saat pengambilan data, wilayah ini mengalami cuaca yang jarang hujan dan cenderung panas, sehingga kadar air tanah di lapangan relatif rendah. Curah hujan yang rendah dan intensitas penyinaran matahari yang tinggi pada periode tersebut memengaruhi

peningkatan nilai NDDI di area kering. Sebaran nilai NDDI ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Peta Sebaran NDDI

Peta pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai NDDI tinggi cenderung berada pada area dengan kadar air tanah rendah. Sebagian besar wilayah memiliki NDDI sangat rendah ($\leq 0,0100$, warna ungu), yang menandakan kondisi vegetasi relatif lembap. Nilai NDDI tinggi ($> 0,2500$, warna biru) hanya muncul pada titik-titik kecil di bagian utara, barat, dan tengah, mengindikasikan adanya vegetasi mengalami stres air. Temuan ini memperkuat peran NDDI dalam memantau kekeringan. Persentase distribusi kelas NDDI divisualisasikan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Diagram Pie NDDI

Meskipun NDDI menunjukkan kinerja terbaik di antara ketiga indeks, hasil analisis ini mengungkapkan beberapa keterbatasan penting. Nilai RMSE sebesar 0,1366 yang masih tergolong tinggi menunjukkan bahwa model prediksi berbasis NDDI tunggal belum cukup akurat untuk digunakan dalam analisis kadar air.

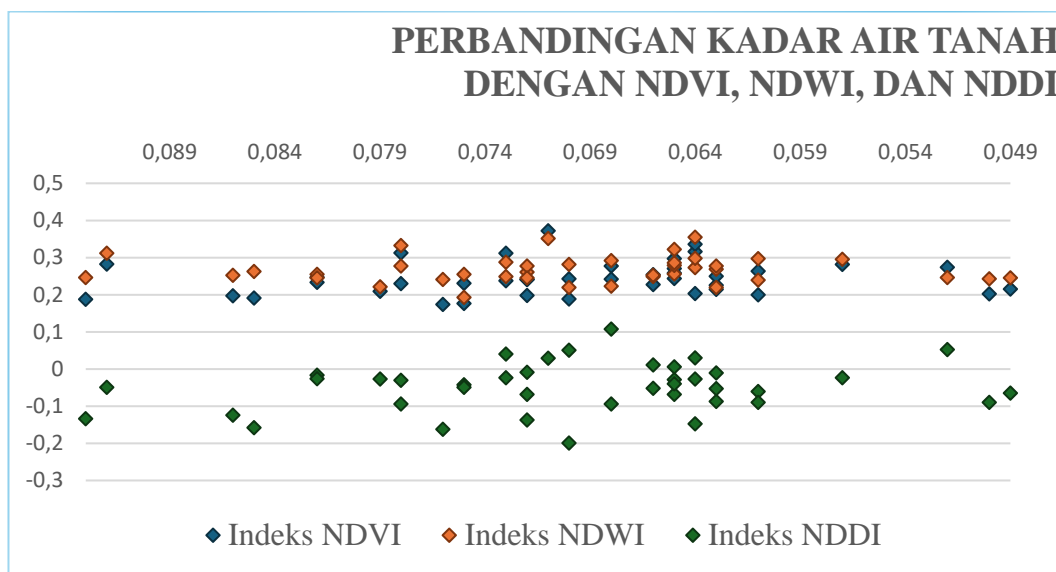
4.5. Kinerja Indeks Vegetasi dalam Mendeteksi Kadar Air Tanah

Analisis perbandingan ketiga indeks (NDVI, NDWI, dan NDDI) terhadap kadar air tanah menunjukkan bahwa masing-masing memiliki tingkat akurasi yang berbeda. Hasil pengujian koefisien determinasi (R^2) dan RMSE disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Nilai RMSE dan R^2

	NDVI	NDWI	NDDI
RMSE	0,180522162	0,200610219	0,136635708
R^2	0,0586	0,0081	0,0503

Berdasarkan Tabel 4.5, NDVI memiliki nilai R^2 tertinggi sebesar 0,0586, menunjukkan hubungan paling kuat dengan kadar air tanah dibandingkan dua indeks lainnya. Nilai RMSE NDVI sebesar 0,181 menandakan adanya selisih prediksi sekitar 18%. Sementara itu, NDWI menunjukkan nilai R^2 terendah sebesar 0,0081 dan RMSE sebesar 0,201, yang berarti hubungannya dengan kadar air tanah sangat lemah. NDDI memiliki RMSE terkecil sebesar 0,137 dan R^2 sebesar 0,0503, menandakan bahwa indeks ini memberikan prediksi yang lebih stabil meskipun nilai R^2 -nya sedikit lebih rendah dari NDVI. Dengan demikian, NDDI tetap dianggap memiliki kinerja paling baik secara keseluruhan karena kesalahan prediksinya paling kecil dibandingkan dua indeks lainnya. Temuan ini konsisten dengan Tripathi dkk. (2021), yang menyatakan bahwa NDDI lebih mampu menangkap tren kekeringan karena menggabungkan sensitivitas NDVI dan NDWI meski masih terbatas. Namun, nilai RMSE NDDI yang masih mencapai 13,7% menandakan prediksi kelembapan tanah belum memadai untuk aplikasi tunggal dilapangan (Firdaus dkk., 2024).



Gambar 4.12. Diagram Garis Perbandingan Kadar Air Tanah dengan NDVI, NDWI dan NDDI

Gambar 4.12. memperlihatkan bahwa garis tren NDVI paling mengikuti fluktuasi kadar air tanah, menunjukkan hubungan searah antara peningkatan vegetasi dan kelembapan tanah. NDWI juga menunjukkan kecenderungan serupa tetapi dengan sebaran yang lebih acak, sedangkan NDDI cenderung memiliki pola berbanding terbalik dengan kadar air tanah. Pola sebaran kadar air tanah yang tidak merata ini memperlihatkan adanya variasi antar titik pengamatan. Kondisi tersebut sesuai dengan temuan Wijayanto dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa kadar air tanah (*Soil Moisture Content*) pada lahan sawah dapat berfluktuasi secara signifikan meskipun dalam luasan kecil, akibat perbedaan tekstur, elevasi mikro, serta aktivitas manusia seperti pengolahan lahan dan irigasi. Penelitian tersebut membuktikan bahwa variabilitas spasial kadar air tanah tetap muncul meski jarak antarsampel relatif dekat, sehingga pengambilan data spasial beresolusi tinggi menjadi penting untuk memahami kondisi kelembapan tanah secara akurat. Kondisi cuaca cerah dengan sedikit tutupan awan saat pengambilan citra semakin mengecilkan variasi pantulan spektral, khususnya pada pita kanal yang digunakan NDWI dan NDDI (Anggraeni dkk., 2022). Sementara itu, NDVI yang sekalipun paling mengikuti fluktuasi kadar air, tetap memiliki keterbatasan sensitivitas terhadap kelembapan tanah langsung sebagaimana dijelaskan Husna & Fawzi (2022) sehingga menghasilkan nilai R^2 rendah.

Singgalen (2023) menambahkan bahwa meski NDWI rentan terhadap noise spektral pada kanopi padi yang rapat, variabilitasnya paling besar di antara ketiganya, sehingga menghasilkan RMSE tertinggi. Dengan demikian, tidak ada indeks vegetasi tunggal yang dapat memberikan prediksi kadar air tanah akurat di lahan penelitian. Peluang penelitian selanjutnya terbuka untuk model hibrida yang mengintegrasikan multi-indeks vegetasi, parameter fisik-hidrologi, dan data cuaca mikro. Kinerja relatif lebih baik dari NDDI memperlihatkan bahwa meskipun wilayah penelitian berskala kecil, indeks ini lebih mampu membedakan perbedaan kelembapan akibat variasi mikro lahan. Hal ini menjadikan NDDI lebih relevan digunakan dibandingkan NDVI dan NDWI untuk mendeteksi kekeringan di lahan padi berskala sempit.

4.6. Kelebihan dan Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini mengembangkan pendekatan komparatif yang terstruktur dalam mengevaluasi tiga indeks vegetasi (NDVI, NDWI, dan NDDI) dengan dukungan data lapangan dari 40 titik sampling yang diperoleh secara presisi. Kelebihan utama penelitian ini adalah adanya perhitungan R^2 dan RMSE secara bersamaan untuk menilai kesalahan, sehingga memberikan gambaran yang jelas mengenai tingkat akurasi setiap model prediksi.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Dari sisi temporal, penelitian hanya dilakukan pada satu periode pengambilan data, sehingga tidak dapat menggambarkan perubahan kadar air tanah dari waktu ke waktu (Du dkk., 2018). Dari sisi spasial, resolusi citra Sentinel-2 (10–20 m) dinilai kurang memadai untuk menangkap perbedaan kecil pada lahan pertanian (Phiri dkk., 2020). Hal ini karena ukuran piksel lebih besar daripada variasi nyata di lapangan. Selain itu, penggunaan regresi linear sederhana masih terbatas, sebab hubungan antara indeks vegetasi dan kadar air tanah bersifat kompleks dan tidak selalu lurus (Khodadadi dkk., 2024).

Keterbatasan utama terlihat pada hasil model, dimana kinerja ketiga indeks menunjukkan nilai R^2 rendah ($<0,1$) dan RMSE tinggi ($>10\%$). Artinya model berbasis satu indeks saja belum mampu memprediksi kadar air tanah secara akurat.

Temuan ini menunjukkan perlunya penelitian lanjutan, dengan pendekatan yang lebih lengkap, misalnya dengan memanfaatkan data multitemporal untuk menangkap dinamika musiman kelembapan (Ariani dkk., 2020), menggabungkan parameter tanah dan iklim mikro untuk mengurangi gangguan data (Anggraeni dkk., 2022), serta menerapkan metode *machine learning* atau model hibrida yang lebih mampu menangkap hubungan non-linear (Khodadadi dkk., 2024). Selain itu, dibutuhkan validasi lapangan yang lebih ketat dengan prosedur pengukuran standar serta periode observasi yang lebih panjang, agar kalibrasi model lebih akurat (Firdaus dkk., 2024).

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran kadar air tanah pada 40 titik sampel menunjukkan nilai berkisar antara 4,9%–9,3% dengan rata-rata 6,98%. Nilai ini jauh di bawah kapasitas lapang (25–40%), sehingga lahan penelitian tergolong kering, bahkan beberapa titik masuk kategori titik layu permanen dan air higroskopis.
2. Nilai RMSE NDVI sebesar 0,181 menandakan adanya selisih prediksi sekitar 18%. Sementara itu, NDWI menunjukkan nilai R^2 terendah sebesar 0,0081 dan RMSE sebesar 0,201, yang berarti hubungannya dengan kadar air tanah sangat lemah. NDDI memiliki RMSE terkecil sebesar 0,137 dan R^2 sebesar 0,0503, menandakan bahwa indeks ini memberikan prediksi yang lebih stabil meskipun nilai R^2 -nya sedikit lebih rendah dari NDVI. Sehingga NDDI tetap dianggap memiliki kinerja paling baik secara keseluruhan karena kesalahan prediksinya paling kecil dibandingkan dua indeks lainnya.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan integrasi indeks vegetasi dengan parameter lain, seperti tekstur tanah, kedalaman muka air tanah, dan ketersediaan irigasi, agar estimasi kelembapan tanah lebih akurat.
2. Melakukan pengukuran lapangan dengan prosedur yang lebih ketat dan pengamatan dalam waktu yang lebih lama untuk memperkuat kalibrasi model.
3. Memanfaatkan citra dengan resolusi lebih tinggi agar bisa mendeteksi variasi kecil pada lahan pertanian.

Daftar Pustaka

- Aditya, H.B. dan M. Aziz. 2021. Prospect of hydrogen energy in Asia-Pacific: A perspective review on techno-socio-economy nexus. *International Journal of Hydrogen Energy*. 46(71): 35027–35056. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.08.070>
- Allen, D.E., K.C. Cameron dan H.J. Di. 2022. Impact of soil structure modification on nutrient absorption in agriculture. *Precision Agriculture Journal*. 11(2): 135–148.
- Andayani, N., W. Hartawan dan A. Maulanan. 2022. Perancangan sistem pemetaan wilayah calon pelanggan dengan menggunakan QGIS pada PT. Indonesia Comnets Plus (ICON+) SBU Bengkulu. *Jurnal Informatika*. 1(2): 1–12. <https://doi.org/10.57094/ji.v1i2.357>
- Andiko, J.A.D. dan A. Darmawan. 2019. Efisiensi penggunaan citra multisensor untuk pemetaan tutupan lahan. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(3): 342–349. <https://doi.org/10.23960/jsl37342-349>
- Anggraeni, R., I.G.M. Kusnarta, P. Silawibawa dan Mahrup. 2022. Variasi regim lengas dan suhu tanah pada lahan yang mengalami penutupan awan rendah berbasis peta Terra Modis di Pulau Lombok. *Journal of Soil Quality and Management (JQSM)*. 1(1): 7–15. <https://doi.org/10.29303/jsqm.v1i1.9>
- Aprilia, S.N., N.N. Hayati dan R. Alfiah. 2021. Analysis of flood vulnerability based on geographic information system at Summersari District, Jember Regency. *Matrapolis: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*. 3(2): 26–38. <https://doi.org/10.19184/matrapolis.v3i2.32095>
- Ariani, D., Y. Prasetyo dan B. Sasmito. 2020. Estimasi tingkat produktivitas padi berdasarkan algoritma NDVI, EVI, dan SAVI menggunakan citra Sentinel-2 multitemporal (studi kasus: Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*. 9(1): 207–216. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26165>
- Azizah, M., M. Aulia dan A. Supriyatna. 2023. Inventarisasi dan identifikasi jenis tumbuhan famili Poaceae di sekitar Cibiru, Bandung, Jawa Barat. *Konstanta: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. 1(2): 94–104. <https://doi.org/10.59581/konstanta-widyakarya.v1i2.799>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember. 2024. *Kecamatan Summersari dalam angka 2024*. BPS Kabupaten Jember. <https://jemberkab.bps.go.id/id/publication/2024/09/26/abec6d433f6cccd3a56885c1/kecamatan-sumbersari-dalam-angka-2024.html>

- Bahtiar, R., & Wijayanto, Y. 2021. Perbedaan karakteristik sebaran spasial hujan di Kabupaten Jember menggunakan metode Inverse Distance Weighted (IDW) dan Poligon Thiessen. *Berkala Ilmiah Pertanian*, 5(1), 1–5.
- Barker, R. dan J.S. Lee. 2021. Precision irrigation techniques for optimizing soil moisture. *Agricultural Engineering*. 65: 173–182.
- Basuki, B., B.B. Hermiyanto dan S.A. Budiman. 2023. Identifikasi dan estimasi kerusakan tanah dengan metode berbasis OBIA citra satelit Sentinel-2B dan pembobotan lereng Gunung Raung. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 11(1): 56–72. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i1.443>
- Bennett, G. 2024. Analysis of methods used to validate remote sensing and GIS-based groundwater potential maps in the last two decades: A review. *Geosystems and Geoenvironment*. 3(1): 100245. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100245>
- Brady, N.C. dan R.R. Weil. 2017. *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson Education.
- Cahyono, B.E., R. Rahagian dan A.T. Nugroho. 2023. Analisis produktivitas padi berdasarkan indeks kekeringan (NDWI dan NDDI) lahan sawah menggunakan data citra Sentinel-2A di Kecamatan Ambulu. *Indonesian Journal of Applied Physics (IJAP)*. 13(1): 88–97. <https://doi.org/10.13057/ijap.v13i1.70682>
- Campbell, S., M. Greenwood, S. Prior, T. Shearer, K. Walkem, S. Young, D. Bywaters dan K. Walker. 2020. Purposive sampling: Complex or simple? Research case examples. *Journal of Research in Nursing*. 25(1): 1–10.
- Danoedoro, P. 2012. *Pengantar penginderaan jauh digital*. Yogyakarta: Andi.
- Dayi, N.I., Y.A. Nugroho dan T. Suharjanto. 2024. Kajian produktivitas padi (*Oryza sativa*) di Kabupaten Sumba Tengah akibat Covid-19. *Sentri: Jurnal Riset Ilmiah*. 3(10): 4581–4592.
- Delval, L., J. Bates, F. Jonard dan M. Javaux. 2025. Field heterogeneity of soil texture controls leaf water potential spatial distribution predicted from UAS-based vegetation indices in non-irrigated vineyards. *Biogeosciences*. 22: 513–534. <https://doi.org/10.5194/bg-22-513-2025>
- Dimiyati, A.E.F., L. Somantri dan N.T. Sugito. 2022. Klasifikasi berbasis objek citra satelit Sentinel-2 untuk pemetaan perubahan lahan di Kecamatan Parongpong Kabupaten Bandung Barat. *Jurnal Geografi*. 19(1): 24–28. <https://doi.org/10.15294/jg.v19i1.33958>

- Dimiyati, M. 2022. *Memahami penginderaan jauh*. Jakarta: UI Publishing.
- Du, T., D. Bui, M. Nguyen dan H. Lee. 2018. Satellite-based multi-indices for evaluation of agricultural droughts in a highly dynamic tropical catchment, Central Vietnam. *Water*. 10(5): 659. <https://doi.org/10.3390/w10050659>
- Edy. 2022. *Pengantar teknologi budidaya tanaman serelia*. Yogyakarta: PT Nas Media Indonesia.
- Febrianti, D. 2024. Penetapan kadar air dan pH pada sampel tanah. *De Facto: Journal of International Multidisciplinary Science*. 3(1): 38–44. <https://doi.org/10.62668/defacto.v3i1.1388>
- Firdaus, R.A., E. Hermawan dan N. Kamilah. 2024. Implementasi metode normalized difference drought index (NDDI) terhadap pemantauan produktivitas pertanian tanaman padi (studi kasus: Kecamatan Jonggol tahun 2019–2022). *Infotech Journal*. 10(1): 147–160. <https://doi.org/10.31949/infotech.v10i1.9794>
- Gaspar, I., & Pedrosa, D. 2024. Towards universal applied supervised machine learning: A multi-agent framework for systematic pipeline executions. *Preprints.org*. doi:10.20944/preprints202406.1554.v1
- Hakim, N. dan Hermansah. 2025. *Dasar-dasar ilmu tanah* (Edisi ke-2). Andalas University Press.
- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139–152. <https://doi.org/10.2753/MTP1069-6679190202>
- Hardianto, A., P.U. Dewi, T. Feriansyah, N. Fadillah dan S. Sari. 2021. Pemanfaatan citra Landsat 8 dalam mengidentifikasi nilai indeks kerapatan vegetasi (NDVI) tahun 2013 dan 2019 (area studi: Kota Bandar Lampung). *Jurnal Geografi dan Remote Sensing*. 2(1): 8–15. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2021.v2i1.38>
- Hasyim, A.W. dan A.Y. Pamungkas. 2023. *Teknologi remote sensing sebagai pendukung aspek spasial dalam perencanaan*. Malang: UB Press.
- Hatulesila, J.W., G. Mardiatmoko dan I. Irwanto. 2019. Analisis nilai indeks kehijauan (NDVI) pada pola ruang Kota Ambon, Provinsi Maluku. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*. 3(1): 55–64. <https://doi.org/10.30598/jhppk.2019.3.1.55>
- Hou, D., J. Bi, L. Ma, K. Zhang, D. Li, M.I.A. Rehmani, J. Tan, Q. Bi, Y. Wei, G. Liu, X. Yu dan L. Luo. 2022. Effects of soil moisture content on germination

and physiological characteristics of rice seeds with different specific gravity. *Agronomy*. 12(2): 1–16. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020500>

Husna, V.N. dan N.I. Fawzi. 2022. Aplikasi algoritma normalized difference water index (NDWI), normalized difference vegetation index (NDVI) dan bare soil index (BSI) dalam penilaian kerapatan vegetasi dan produktivitas di Pulau Burung. *Geo Image (Spatial-Ecological-Regional)*. 11(2): 1–7.

Indarto. 2014. *Teori dan praktik penginderaan jauh*. Yogyakarta: Andi.

Insyani, R.S. 2019. *Dasar-dasar penginderaan jauh*. Semarang: Alprin.

Jamal, M.R., P. Kristiansen, M.J. Kabir dan L. de Bruyn. 2023. Challenges and adaptations for resilient rice production under changing environments in Bangladesh. *Land*. 12(6): 1217. <https://doi.org/10.3390/land12061217>

Julianto, F.D. dan I. Ediyanto. 2021. Analisis sebaran potensi kekeringan dengan cloud computing platform di Kabupaten Grobogan. *Jurnal Ilmiah Geomatika*. 1(1): 1–10. <https://doi.org/10.31315/imagi.v1i1.4730>

Khodadadi, N., S.K. Towfek, A.M. Zaki, A.H. Alharbi, E. Khodadadi, D.S. Khafaga, L. Abualigah, A. Ibrahim, A.A. Abdelhamid dan M.M. Eid. 2024. Predicting normalized difference vegetation index using a deep attention network with bidirectional GRU: A hybrid parametric optimization approach. *International Journal of Data Science and Analytics*: 1–28. <https://doi.org/10.1007/s41060-024-00640-8>

Kousar, R., A.H. Lone, Z.A. Shah, E.A. Dar, M.S. Mir, L.A. Alkeridis, L.A. Al-Shuraym, M.A. Ganie, J.A. Bhat, M.A. Alshehri, S. Sayed, M. Shukry, O.A. Wani, I.A. Jehangir, F.J. Wani, Z.A. Baba, N.R. Sofi, T. Mubarak, A. Hussain dan B. Summuna. 2025. Farm-scale soil spatial variability at a mountain research centre in Northwestern Himalayas. *Scientific Reports*. 15: 19705. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03695-0>

Kurniawan, J.D. dan M. Chusnah. 2021. Penerapan kombinasi pupuk organik dinosaurus dan pupuk kimia terhadap pertumbuhan padi varietas Inpari 32. Jombang: LPPM Universitas KH A. Wahab Hasbullah. <https://doi.org/10.21082/bullittro.v32n1.2021.23-30>

Laia, M. dan J. Laia. 2024. Pengaruh kadar air dan porositas tanah terhadap efisiensi pemberian pupuk pada tanaman jagung. *Penarik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*. 1(2): 7–14. <https://doi.org/10.70134/penarik.v1i2.60>

Masitah, T.H., S.Y. Lubis dan R. Harahap. 2023. Analisis faktor sosial dan ekonomi yang memengaruhi pendapatan petani padi organik. *Jurnal Ilman: Jurnal Ilmu Manajemen*. 11(1): 8–15. <https://doi.org/10.35126/ilman.v11i1.532>

- Monareh, J. dan T.B. Ogie. 2020. Disease control using biopesticide on rice plants (*Oryza sativa* L.). *Applied Agroecotechnology Journal*. 1(1): 11–13.
- Mulyaqin, T., K. Kardiyono, I. Hidayah, F. Ramadhani dan M. Yusron. 2022. Deteksi alih fungsi lahan padi sawah menggunakan Sentinel-2 dan Google Earth Engine di Kota Serang, Provinsi Banten. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 27(2): 226–236. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.2.226>
- Mupepi, O., T. Marambanyika, M.M. Matsa dan T. Dube. 2025. Multi-temporal catchment and wetland scale soil moisture and vegetation analysis in Shashe, Tugwi and Zibagwe sub-catchments of Zimbabwe. *Geocarto International*. 40(1): 1–20. <https://doi.org/10.1080/10106049.2025.2507922>
- Nadira, S. 2018. Analisis tutupan lahan menggunakan citra Sentinel-2 di kawasan pesisir Kabupaten Langkat. Skripsi.
- Patil, P.P., M.P. Jagtap, N. Khatri, H. Madan, A.A. Vadduri dan T. Patodia. 2024. Exploration and advancement of NDDI leveraging NDVI and NDWI in Indian semi-arid regions: A remote sensing-based study. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 9(100573): 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100573>
- Perrina, M.G. 2021. Literature review sistem informasi geografis (SIG). *Jointecom: Journal of Information Technology and Computer Science*. 1: 1–4.
- Pettorelli, N. 2013. *The normalized difference vegetation index*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199693160.001.0001>
- Phiri, D., M. Simwanda, S. Salekin, V.R. Ryirenda, Y. Murayama, M. Ranagalage, N. Oktaviani, H.A. Kusuma, T. Zhang, J. Su, C. Liu, W.H. Chen, H. Liu, G. Liu, M. Cavour, H.S. Duzgun, S. Kemec, D.C. Demirkan, R. Chairat dan K. Peerbhay. 2020. Remote sensing Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*. 12: 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Prasetya, R. dan P. Danoedoro. 2018. Pemantauan fase pertumbuhan tanaman padi menggunakan citra synthetic aperture radar (SAR-C) Sentinel-1A di sebagian wilayah Kabupaten Bantul. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Purwansyah, T.S., D. Rosanti dan T. Kartika. 2021. Morfometri beberapa varietas tanaman padi (*Oryza sativa* L.) di Kecamatan Pulau Rimau Banyuasin. *Jurnal Indobiosains*. 3(2): 28–38. <https://doi.org/10.31851/indobiosains.v3i2.6162>

- Putra, M.A.B. dan I.M.S. Graha. 2022. Pemantauan pertumbuhan padi menggunakan citra satelit Landsat 8. *Litbang Sukowati*. 6(1): 43–53. <https://doi.org/10.32630/sukowati.v6i1.316>
- Putri, D.R., A. Sukmono dan B. Sudarsono. 2018. Analisis kombinasi citra Sentinel-1A dan citra Sentinel-2A untuk klasifikasi tutupan lahan (studi kasus: Kabupaten Demak, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*. 7(2): 85–96. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2018.20660>
- Putri, E.S., A. Widiyanti, R.A. Karim, L. Somantri dan R. Ridwana. 2021. Pemanfaatan citra Sentinel-2 untuk analisis kerapatan vegetasi di wilayah Gunung Manglayang. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*. 9(2): 133–143. <https://doi.org/10.23887/jjpg.v9i2.35357>
- Purnamasari, I., Abdillah, M. R. W., Wijayanto, Y., Saputra, T. W., Ristiyana, S., & Budiman, S. A. 2024. Karakter spasial dan temporal curah hujan bulanan Kabupaten Jember berdasarkan data CHIRPS. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 11(2), 423–432. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.2.13>
- Purnamasari, I., Wijayanto, Y., Budiman, S. A., Saputra, T. W., & Ristiyana, S. 2024. Kajian distribusi C organik dan kadar air tanah di lahan kopi robusta Kabupaten Jember. *Agro Research and Outreach (ARO)*, 15(2), 135–142. <https://doi.org/10.25047/aro.2024.v15i2.961>
- Que, V.K.S., S.Y.J. Prasetyo dan C. Fibriani. 2019. Analisis perbedaan indeks vegetasi normalized difference vegetation index (NDVI) dan normalized burn ratio (NBR) Kabupaten Pelalawan menggunakan citra satelit Landsat 8. *Indonesian Journal of Computing and Modeling*. 2(1): 1–7.
- Rahman, F.A., S. Suryawati, S. Supriyadi dan Basuki. 2024. Google Earth Engine for spatio-temporal drought monitoring in Bangkalan, Indonesia. *BIO Web of Conferences*. 99: 05006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249905006>
- Rahman, F., A. Sukmono dan B.D. Yuwono. 2017. Land drought analysis using the NDDI method and Perka BNPB Number 02 Year 2012 (case study: Kendal District in 2015). *Jurnal Geodesi Undip*. 6(4): 1–10.
- Roziqin, M.C. 2018. *Sistem informasi geografis menggunakan Quantum GIS dan dilengkapi cara upload hasil digitasi ke web server*. Yogyakarta: Mobius.
- Safitri, A.E., S. Maysaroh, A.R. Zalsabilla dan R.A. Yunanto. 2024. Optimalisasi pemahaman kader cekatan K3 pertanian dalam mewujudkan desa pertanian sehat di Antirogo. *Jurnal Abdimas Indonesia*. 4(3): 750–759. <https://doi.org/10.53769/jai.v4i3.834>

- Santoso, T., M.K. Tsani dan M. Riniarti. 2021. Penggunaan citra DEMNAS untuk desain pola tanam alley cropping pada lahan garapan anggota KPPH Talang Mulya Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Ulin: Jurnal Hutan Tropis*. 5(1): 33–40. <https://doi.org/10.32522/ujht.v5i1.4390>
- Saputra, M.Y. dan I.W. Santiyasa. 2024. Optimizing machine learning performance with the Naive Bayes classifier process in smart farming. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika: Janapati*. 13(2): 382–393. <https://doi.org/10.23887/janapati.v13i2.76926>
- Semedi, B., S.S. Rijal, A.B. Sambah dan A. Isdianto. 2021. *Pengantar penginderaan jauh kelautan*. Malang: UB Press.
- Singgalen, Y.A. 2023. Penerapan metode spatio-temporal analysis dalam analisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan berbasis NDVI dan NDWI. *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*. 4(2): 1052–1061. <https://doi.org/10.30865/klik.v4i2.1313>
- Snevajs, H., K. Charvat, V. Onckelet, J. Kvapil, F. Zadrazil, H. Kubickova, J. Seidlova dan I. Batrlova. 2022. Crop detection using time series of Sentinel-2 and Sentinel-1 and existing land parcel information systems. *Remote Sensing*. 14(5): 1095. <https://doi.org/10.3390/rs14051095>
- Sugiyono. 2018. *Metode Penelitian Kualitatif untuk penelitian yang bersifat: eksploratif, enterpretif, interaktif, dan konstruktif*. Bandung: Alfabeta
- Sumarlan, S.H., A. Latriyanto, Hammam dan L. Magfiroh. 2023. *Mekanisasi produksi padi dan beras*. Malang: Media Nusa Creative.
- Taufik, A. 2019. Perspektif tentang perkembangan sistem pembelajaran jarak jauh di Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Pendidikan & Konseptual*. 3(2): 88–98. https://doi.org/10.28926/riset_konseptual.v3i2.111
- Tripathi, R., A. Kumar, P. Guru, M. Debnath, S.D. Mohapatra, S. Mohanty, R. Khanam, M. Shahid dan A.K. Nayak. 2021. Precision farming technologies for water and nutrient management in rice: Challenges and opportunities. *Oryza*. 58: 126–142. <https://doi.org/10.35709/ory.2021.58.spl.5>
- Triscowati, D.W., B. Sartono dan A. Kumia. 2019. Classification of rice-plant growth phase using supervised random forest method based on Landsat-8 multitemporal data. *International Journal of Remote Sensing and Earth Science*. 16(2): 187–196. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2019.v16.a3217>
- Turner, B.L. dan P.M. Haygarth. 2020. Soil moisture management for optimal nutrient use efficiency. *Journal of Agricultural Sciences*. 150(3): 223–238.

- Van Hateren, T.C., M. Chini, P. Matgen, L. Pulvirenti, N. Pierdicca dan A.J. Teuling. 2023. On the potential of Sentinel-1 for sub-field scale soil moisture monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 120: 103342. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103342>
- Wang, R., Y. Balkanski, O. Boucher, P. Ciais, G.L. Schuster, F. Chevallier, B.H. Samset, J. Liu, S. Piao, M. Valari dan S. Tao. 2016. Estimation of global black carbon direct radiative forcing and its uncertainty constrained by observations. *Journal of Geophysical Research*. 121(10): 5948–5971. <https://doi.org/10.1002/2015JD024326>
- Wankmüller, F.J.P., L. Delval, P. Lehmann, M.J. Baur, A. Cecere, S. Wolf, D. Or, M. Javaux dan A. Carminati. 2024. Global influence of soil texture on ecosystem water limitation. *Nature*. 635(8032): 631–638. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08089-2>
- Wardani, M. dan E. Kurniati. 2022. Analisis kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi di Desa Berora Kecamatan Lopok. *Jurnal Kacapuri Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*. 5(1): 372–380. <https://doi.org/10.31602/jk.v5i1.7565>
- Wiguna, D.P. 2017. *Sistem informasi geografi dan penginderaan jauh*. Yogyakarta: Deepublish.
- Wijayanto, Y., Kustianto, M. A. D., Budiman, S. A., & Purnamasari, I. 2023. Using geostatistics for spatial analysis of soil moisture content, electrical conductivity, and pH at paddy fields. *Journal of Tropical Soils*, 28(2), 47–56. <https://doi.org/10.5400/jts.2023.v28i2.47>
- Wijayanto, Y., Safitri, M., Purnamasari, I., Budiman, S. A., Saputra, T. W., Regar, A. F. C., & Ristiyana, S. 2024. Estimating the contents of chlorophyll, nitrogen, and yields on rice through Sentinel-2 vegetation indices in heterogeneous land management. *Indonesian Journal of Geography*, 56(3), 357–367. <https://doi.org/10.22146/ijg.87159>
- Yudistira, R., A.I. Meha, S. Yulianto dan J. Prasetyo. 2018. Perubahan konversi lahan menggunakan NDVI, EVI, SAVI dan PCA pada citra Landsat 8 (studi kasus Kota Salatiga). *Indonesian Journal of Computing and Modeling*. 2(1): 25–30.

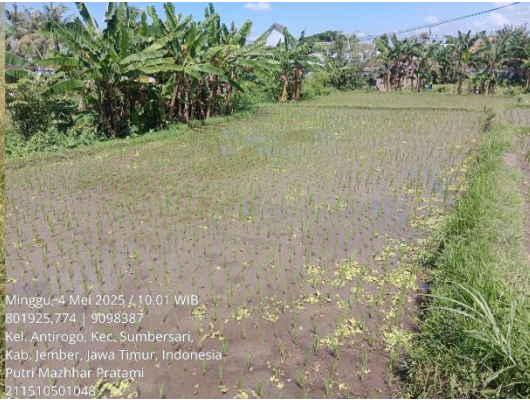
Lampiran

Lampiran 1. Gambar





Minggu, 4 Mei 2025 / 09:49 WIB
803576364 | 9098682
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10:01 WIB
801925,774 | 9098387
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10:04 WIB
802558.004 | 9097294
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10:06 WIB
802532,018 | 9099228
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10:10 WIB
802726,102 | 9098248
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10:14 WIB
801815,622 | 9098801
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10:17 WIB
801740,989 | 9097147
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10:19 WIB
802184,866 | 9098532
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10.23 WIB
804022.848 | 9098195
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 10.28 WIB
803142.746 | 9098847
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09.35 WIB
803890.884 | 9098485
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09.38 WIB
802523.482 | 9096884
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09.40 WIB
802029.333 | 9096397
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09.43 WIB
802183.154 | 9099166
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09.52 WIB
802624.561 | 9098820
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09.55 WIB
803048.244 | 9097762
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09:57 WIB
802407301 | 9098276
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratami
211510501048



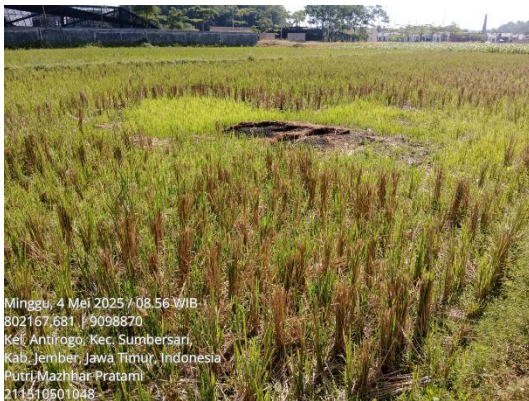
Minggu, 4 Mei 2025 / 08:41 WIB
801430109 | 9098017
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:46 WIB
80094848 | 9098494
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:53 WIB
802277518 | 9099468
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:56 WIB
802167681 | 9098870
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09:01 WIB
802795109 | 9098437
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:48 WIB
803154883 | 9098628
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09:04 WIB
802792479 | 9098021
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09:08 WIB
802163.99 | 9097142
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09:12 WIB
802582.757 | 9097732
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09:17 WIB
801617.015 | 9098679
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 09:29 WIB
802233.881 | 9098047
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:12 WIB
801116.855 | 9098377
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:16 WIB
801168.433 | 9098197
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:20 WIB
801632.117 | 9097895
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:25 WIB
801653.987 | 9097730
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhhar Pratami
211510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:29 WIB
801548471 | 9097670
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratiwi
21510501048



Minggu, 4 Mei 2025 / 08:33 WIB
801766607 | 9097096
Kel. Antirogo, Kec. Sumbersari,
Kab. Jember, Jawa Timur, Indonesia
Putri Mazhar Pratiwi
21510501048

