



Handwritten notes:
A. Ace Budipal
04 Juli 2023
04 Juli 2023
04 Juli 2023

**PENGGUNAAN CITRA SATELIT SENTINEL-2 UNTUK
ESTIMASI SERAPAN NITROGEN PADA
TANAMAN PADI (*Oryza sativa*. L)**

Handwritten notes:
04 Juli 2023
A. Ace Budipal
04 Juli 2023

diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jember

SKRIPSI

Oleh
Mahardika Safitri
201510501121

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
JEMBER
2023**

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karya tulis ini saya persembahkan untuk:

1. Keluarga saya, yaitu Bapak Sujono, Ibu Salbiyah, Kakak saya Ahmad Izzari Kusuma Putra dan Noven Pramitasari yang telah menjadi sumber penyemangat saya dalam menyelesaikan tugas akhir
2. Dosen Pembimbing saya Bapak Drs. Yagus Wijayanto, MA., Ph.D, dosen penguji utama Bapak Dr. Subhan Arif. Budiman, S.P., M.P., dan dosen penguji anggota Ibu Ika Purnamasari, S.Si., M.Si. yang sudah memberikan arahan, kritikan dan masukan terkait penelitian ini.
3. Segenap dosen-dosen di Fakultas Pertanian Universitas Jember yang telah memberikan ilmu serta membimbing dengan tulus dan penuh kesabaran.
4. Teman-teman saya yang selalu mendukung, menyemangati, memotivasi saya dalam penulisan skripsi ini.
5. Almamater Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jember

MOTTO

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?”

(Ar-Rahman; 16)

“Hiduplah seperti larry”

(Spongebob)

“Ayo sini masalah, akan aku trabas tapi sambil nangis dan sambat”

(Mahardika Safitri)



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mahardika Safitri
NIM : 201510501121
Program Studi : S1 Agroteknologi
Fakultas : Pertanian
Universitas : Universitas Jember

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "*Penggunaan Citra Satelit Sentinel-2 untuk Estimasi Serapan Nitrogen pada Tanaman Padi (Oryza Sativa. L)*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 11 Juli 2023

menyatakan,



Mahardika Safitri

NIM. 20151050112

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “*Penggunaan Citra Satelit Sentinel-2 untuk Estimasi Serapan Nitrogen pada Tanaman Padi (Oryza sativa. L)*” karya Mahardika Safitri telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Pertanian Universitas Jember pada :


Hari : Rabu
Tanggal : 11 Juli 2023 .
Tempat : Fakultas Pertanian Universitas Jember

Pembimbing

1. Pembimbing Utama

Nama : Drs. Yagus Wijayanto, MA, Ph.D
NIP : 196606141992011001

Tanda Tangan

()

Penguji

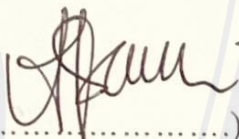
1. Penguji Utama

Nama : Dr. Subhan Arif. Budiman, S.P., M.P.
NIP : 197702072005011002

()

2. Penguji Anggota

Nama : Ika Purnamasari, S.Si., M.Si.
NIP : 199108032019032024

()

ABSTRACT

Paddy is an important commodity for people in Indonesia. Nitrogen is an important nutrient for rice plants. It is necessary to know the absorption of nitrogen elements to ensure that rice plants can absorb nitrogen properly, because a lack of nitrogen will affect the growth and productivity of rice plants. Satellite imagery is a technology that can monitor vegetation from afar, by utilizing a combination of bands according to the vegetation index formula to monitor nitrogen uptake in rice plants. The satellite imagery used is Sentinel-2 which has two types of satellites, namely Sentinel 2A and 2B. Sentinel-2 has a resolution of 10 days and 5 days combined temporal resolution with spatial resolutions are 10 m, 20 m, and 60 m. The spatial resolution used in this research is 10 m. Vegetation indices used in this research are Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Visible Atmospherically Resistant Index (VARI). The index values that have been obtained are then extracted and a correlation analysis is performed to determine the strength of the relationship. The results obtained, the NDVI vegetation index is the best index, because it has a strong category relationship with the results of laboratory nitrogen analysis, with the highest index correlation coefficient value among the others. The NDVI index also has a strong relationship with chlorophyll and can be used to estimate the productivity of rice plants. The vegetation index value obtained is also influenced by several factors, such as the soil background, and the diversity of objects in one pixel.

Keywords : Nitrogen, Vegetation Indices, Satellite

RINGKASAN

Beras merupakan kebutuhan makanan masyarakat di Indonesia, sehingga tanaman padi menjadi komoditas unggulan. Produktivitas beras di Indonesia mengalami fluktuasi selama 10 tahun terakhir. Diperlukan upaya untuk peningkatan produktivitas beras guna memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia. Upaya peningkatan dapat dilakukan dengan pemenuhan kebutuhan nutrisi tanaman padi terutama nitrogen sebagai unsur hara makro. Penilaian kadar unsur hara pada tanaman masih dilakukan secara konvensional yang memerlukan biaya yang besar untuk uji laboratorium dan waktu yang lama. Teknologi *remote sensing* yang memanfaatkan pantulan dari daun tanaman padi dapat digunakan untuk memprediksi serapan nitrogen dengan menggunakan algoritma indeks vegetasi lebih efisien. Penelitian dilakukan untuk mengetahui indeks vegetasi terbaik untuk estimasi serapan nitrogen.

Lahan yang diamati sebesar 87, 54 ha. Penentuan titik sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling* dengan mempertimbangkan umur tanaman. Jumlah titik sampel yang diamati yaitu 15. Variabel yang diamati yaitu serapan nitrogen pada daun hasil analisis laboratorium, klorofil dengan *chlorophyll meter* SPAD, indeks vegetasi dari citra satelit (NDVI, GNDVI, SAVI, dan VARI), dan hasil panen. Analisis yang digunakan yaitu mencari kekuatan hubungan dengan menghitung koefisien korelasi (r), koefisien determinasi untuk mengetahui seberapa kuat hubungan antar variabel, dan root mean square (RMSE) untuk menguji tingkat akurasi.

Berdasarkan hasil penelitian yang didapat, masing-masing indeks memiliki koefisien korelasi (r) yaitu sebagai berikut, NDVI 0,66; GNDVI 0,65; SAVI 0,63; dan VARI 0,59. Indeks terbaik untuk estimasi serapan nitrogen pada tanaman padi yaitu NDVI, dan didukung oleh persebaran data spasial yang sesuai dengan kondisi lapang, memiliki hubungan yang kuat dengan klorofil daun, dan dapat digunakan untuk estimasi produksi.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya , sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Penggunaan Citra Satelit Sentinel-2 untuk Estimasi Serapan Nitrogen pada Tanaman Padi (*Oryza sativa. L*)**”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember.

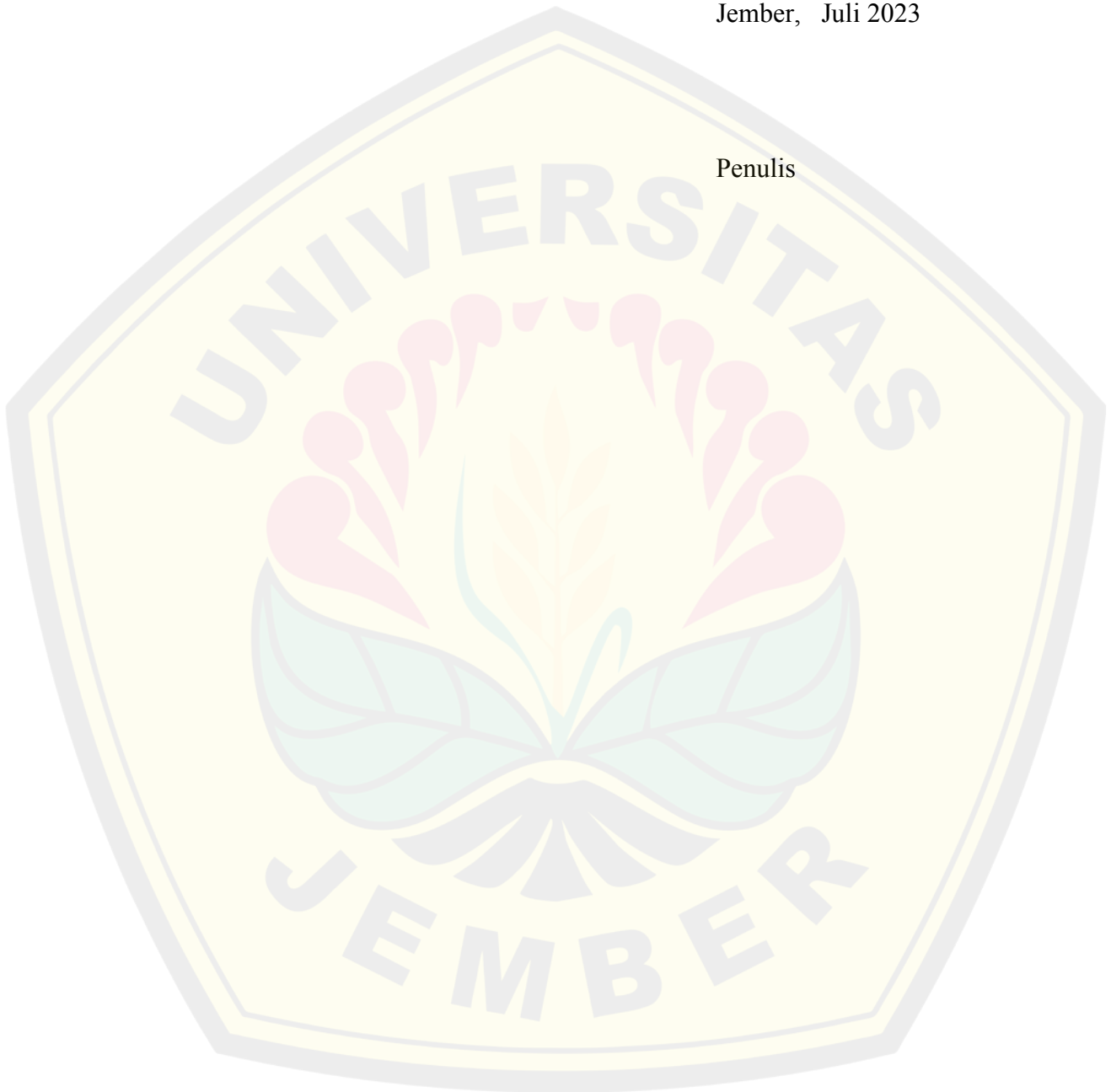
Pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Sujono dan Ibu Salbiyah yang telah memberikan dukungan, doa, dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi;
2. Prof. Soetrisno, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Jember;
3. Bapak Drs. Yagus Wijayanto, M.A., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Agroteknologi sekaligus dosen pembimbing skripsi yang senantiasa memberikan arahan, kritikan, masukan serta saran sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
4. Bapak Dr. Subhan Arif. Budiman, S.P., M.P. selaku Dosen Penguji Utama dan Ibu Ika Purnamasari, S.Si., M.S. selaku Dosen Penguji Anggota yang memberikan banyak sekali masukan dan pertimbangan dalam kelancaran menjalankan kegiatan skripsi;
5. Bapak/Ibu dosen serta seluruh staf di lingkungan Fakultas Pertanian Universitas Jember atas segala ketulusan dan keikhlasannya dalam membantu penulis selama masa perkuliahan;
6. Kakak kandung saya Ahmad Izzari Kusuma Putra dan Kakak Ipar saya Noven Pramitasari yang telah mendukung saya dalam penelitian ini;
7. Teman saya Donny Atmajaya dan Fadhillah Khairiah Sitorus yang sudah membantu saya dalam penelitian;
8. Musisi/penyanyi Taylor Swift, Coldplay, Ariana Grande, Raisa, Tulus, Paramore, Slipknot, Linkin Park, Bring Me The Horizon, Avenged Sevenfold, Bullet for My Valentine, dan Metallica, dan banyak musisi/penyanyi lainnya yang lagu-lagunya sudah menemani saya selama mengerjakan skripsi;

9. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, namun telah memberikan banyak bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis memahami sepenuhnya bahwa tulisan ini masih kurang sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi skripsi yang lebih baik. Semoga karya tulis ilmiah ini dapat bermanfaat untuk pada pembaca.

Jember, Juli 2023

Penulis



DAFTAR ISI

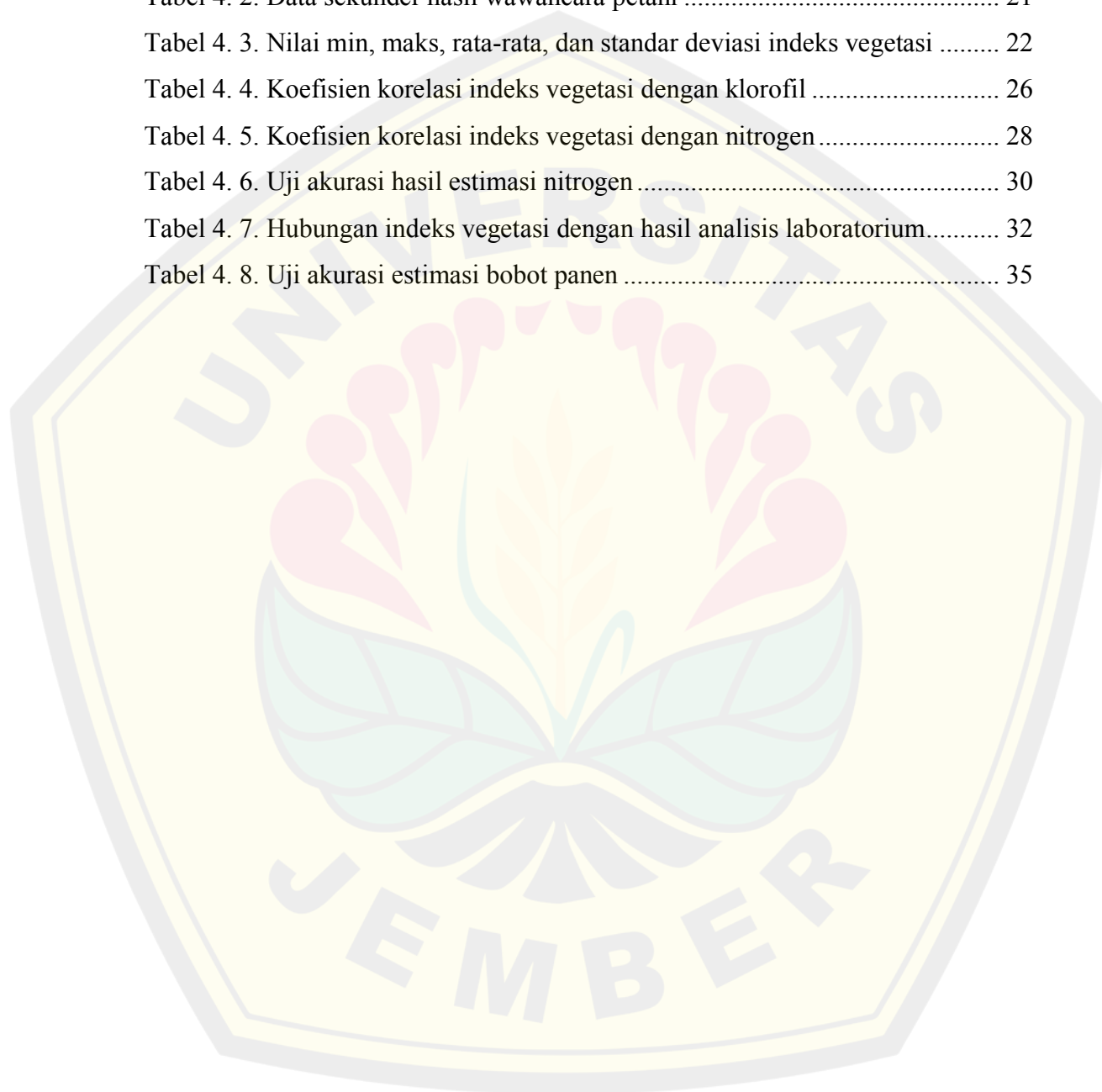
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRACT	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Padi.....	4
2.2 Nitrogen.....	4
2.3 Citra Satelit Sentinel-2	5
2.4 Indeks Vegetasi	7
BAB 3. METODE PENELITIAN	10
3.1 Waktu dan Tempat	10
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	10
3.4 Variabel Pengamatan.....	15
3.5. Analisis Data	15
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	19
4.2 Hasil Pengolahan Citra Satelit.....	22

4.4	Estimasi Serapan Nitrogen Menggunakan Citra Satelit	28
4.5	Estimasi Produktivitas Padi dengan Indeks Terbaik	33
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....		36
5.1	Kesimpulan.....	36
5.2	Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....		37
LAMPIRAN.....		43



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Karakteristik <i>band</i> (kanal) Citra Satelit Sentinel-2.....	6
Tabel 2. 2. <i>Product types</i> Sentinel-2	6
Tabel 3. 1. Tingkat kekuatan hubungan.....	16
Tabel 4. 1. Titik koordinat sampel.....	20
Tabel 4. 2. Data sekunder hasil wawancara petani	21
Tabel 4. 3. Nilai min, maks, rata-rata, dan standar deviasi indeks vegetasi	22
Tabel 4. 4. Koefisien korelasi indeks vegetasi dengan klorofil	26
Tabel 4. 5. Koefisien korelasi indeks vegetasi dengan nitrogen	28
Tabel 4. 6. Uji akurasi hasil estimasi nitrogen	30
Tabel 4. 7. Hubungan indeks vegetasi dengan hasil analisis laboratorium.....	32
Tabel 4. 8. Uji akurasi estimasi bobot panen	35

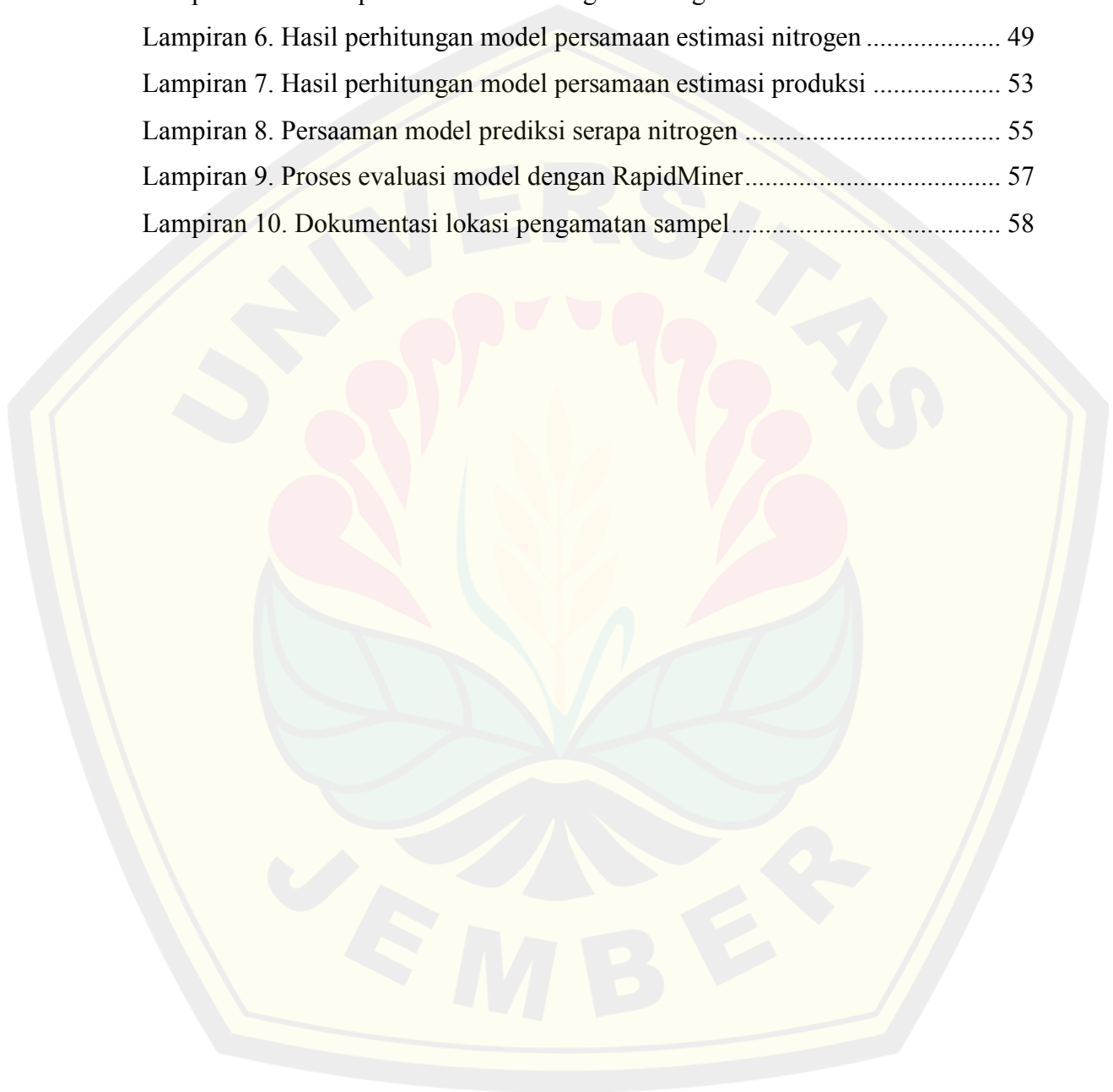


DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian	11
Gambar 4. 1. Lahan penelitian	19
Gambar 4. 2. Pola persebaran masing-masing index vegetasi	23
Gambar 4. 3. Kondisi pertumbuhan padi	24
Gambar 4. 4. Grafik perubahan indeks vegetasi	25
Gambar 4. 5. Grafik rata-rata kandungan klorofil.....	26
Gambar 4. 6. Grafik rata-rata serapan nitrogen.....	27
Gambar 4. 7. Hubungan Nitrogen dengan klorofil	28
Gambar 4. 8. Hasil analisis regresi NDVI dengan nitrogen.....	29
Gambar 4. 9. Perbandingan nilai aktual dan prediksi serapan nitrogen.....	30
Gambar 4. 10. Proses evaluasi model	32
Gambar 4. 11. Hasil model decision tree	33
Gambar 4. 12. Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi produktivitas	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil transformasi indeks vegetasi	43
Lampiran 2. Hasil pengamatan klorofil dan serapan nitrogen	45
Lampiran 3. Hasil pengamatan panen	46
Lampiran 4. Model persamaan indeks vegetasi dengan klorofil.....	47
Lampiran 5. Model persamaan indeks vegetasi dengan analisis laboratorium	48
Lampiran 6. Hasil perhitungan model persamaan estimasi nitrogen	49
Lampiran 7. Hasil perhitungan model persamaan estimasi produksi	53
Lampiran 8. Persamaan model prediksi serapan nitrogen	55
Lampiran 9. Proses evaluasi model dengan RapidMiner.....	57
Lampiran 10. Dokumentasi lokasi pengamatan sampel.....	58



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beras merupakan bahan kebutuhan makanan yang wajib bagi mayoritas masyarakat di Indonesia, sehingga tanaman padi menjadi komoditas unggulan. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2022), padi di Indonesia selama 10 tahun terakhir mengalami fluktuasi. Produktivitas padi tahun 2019 mengalami penurunan sebesar 1,71% dari tahun sebelumnya dengan produktivitas 51,14 kw/ha, namun dari tahun 2019 mengalami kenaikan terus sampai 2021 dengan produktivitas 52,56 kw/ha. Upaya untuk meningkatkan produktivitas harus terus dilakukan guna memenuhi kebutuhan beras di Indonesia.

Salah satu nutrisi yang penting bagi tanaman padi yaitu nitrogen. Nitrogen merupakan unsur utama dapat merangsang pertumbuhan vegetative pada tanaman padi, apabila kekurangan unsur nitrogen maka pertumbuhan tanaman menjadi kerdil atau lambat, daun menguning karena kekurangan klorofil, dan dapat mempengaruhi pembentukan gabah sehingga kualitas bulir yang dihasilkan menjadi kurang (Tando, 2018). Dosis pemberian nitrogen akan mempengaruhi produktivitas tanaman padi, sehingga pemberian dosis nitrogen yang rendah akan memberikan produktivitas yang rendah. Pemberian dosis nitrogen yang berlebihan juga tidak berpengaruh nyata terhadap produktivitas padi. Rekomendasi pemupukan dapat dilihat berdasarkan presentase respon produktivitas pada tanaman padi terhadap dosis nitrogen. Pemberian dosis yang optimal akan meningkatkan produktivitas tanaman padi (Cahyono dkk., 2019).

Penilaian kadar unsur hara pada tanaman masih dilakukan secara konvensional yang memerlukan biaya yang besar untuk uji laboratorium dan waktu yang lama. Kanopi suatu tanaman mempunyai pantulan radiasi yang bisa dihitung, sehingga memiliki potensi untuk menilai kadar nitrogen (Withall *et al.*, 2000). Pantulan radiasi menjadi indikator numerik yang menggunakan panjang gelombang spesifik, yang secara kuantitatif menghubungkan perubahan spektrum yang dipantulkan dan berhubungan dengan variabel fisiologis tanaman seperti serapan nitrogen. Aplikasi nitrogen yang optimal berpengaruh terhadap pertumbuhan dan karakteristik tanaman, sehingga tanaman yang kurang menyerap nitrogen akan

menyebabkan defisiensi unsur hara yang bisa kita lihat gejalanya salah satunya pada daun dan akan memberikan pantulan berbeda dengan tanaman yang sehat (Kizilgeci *et al.*, 2021).

Xue *et al.*, (2004) membuktikan adanya korelasi yang kuat antara pantulan kanopi pada tanaman padi dengan kandungan nitrogen pada daun. Tian *et al.* (2011) menggunakan algoritma indeks vegetasi untuk estimasi kadar nitrogen pada tanaman padi, dan didapatkan hasil algoritma indeks vegetasi memiliki hubungan yang kuat dengan kandungan nitrogen pada daun. Hasil penelitian moharana dan Dutta (2016) juga membuktikan bahwa indeks vegetasi dapat memprediksi dengan baik kandungan nitrogen pada tanaman padi. Indeks vegetasi merupakan nilai kehijauan yang dipancarkan oleh vegetasi, semakin tinggi nilai indeks vegetasi, semakin tinggi tingkat kehijauannya (Vitasari dkk., 2017). Indeks vegetasi dengan tingkat kehijauan yang tinggi menandakan kandungan nitrogen yang tinggi (Huang *et al.*, 2015). Data dari analisis indeks vegetasi bisa digunakan untuk mendukung keputusan yang baik dalam budidaya tanaman padi.

Indeks vegetasi bisa dihitung dari hasil pengolahan citra *remote sensing* (penginderaan jauh). Penggunaan *remote sensing* seperti citra satelit merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk pemantauan kondisi lahan, seperti memantau vegetasi untuk mengestimasi kadar unsur hara nitrogen. Citra satelit dapat digunakan untuk menggambarkan kandungan nitrogen pada tanaman padi (Saputra dan Kamal, 2017). Remote sensing dengan *multispectral band* menangkap gelombang seperti *near-infrared* dan *visible light* yang sensitive dengan kehijauan tanaman bisa dikombinasikan menggunakan algoritma indeks vegetasi untuk menonjolkan tingkat kehijauan tanaman dan untuk estimasi serapan nitrogen (Lu *et al.*, 2020). Pemanfaatan teknologi citra satelit mampu mengefisiensi dari segi waktu maupun biaya dalam menganalisis kadar unsur hara suatu tanaman. Saputra dkk (2020), membuktikan bahwa penggunaan citra satelit Sentinel-2 merupakan citra yang akurat untuk estimasi kandungan nitrogen (akurasi 86,83%) dan memiliki efektivitas dari segi biaya maupun waktu. Citra satelit seperti Berdasarkan penelitian Saputra (2018), terdapat hubungan yang kuat antara pengukuran kadar nitrogen dengan citra satelit dan hasil uji di laboratorium. Citra satelit menjadi teknologi yang potensial untuk monitoring kandungan nitrogen padi dalam skala

luas, sehingga bisa meningkatkan mengefisiensi tenaga maupun waktu, dan dapat membantu dalam proses peningkatan produksi tanaman padi (Huang *et al.*, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian yang dilakukan yaitu :

1. Berapa nilai indeks vegetasi dari hasil transformasi citra satelit?
2. Bagaimana hubungan antara indeks vegetasi dan analisis laboratorium dalam estimasi kadar nitrogen pada tanaman padi?
3. Indeks vegetasi apa yang paling baik dalam estimasi kadar nitrogen pada tanaman padi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Mengetahui nilai indeks vegetasi dari hasil transformasi citra satelit
2. Mengetahui hubungan antara indeks vegetasi dan analisis laboratorium dalam estimasi kadar nitrogen pada tanaman padi
3. Mengetahui indeks vegetasi yang paling baik dalam estimasi kadar nitrogen pada tanaman padi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan yaitu dapat memberikan informasi mengenai estimasi serapan unsur hara nitrogen pada tanaman padi, sehingga dapat menjadi informasi yang bisa digunakan untuk upaya peningkatan produktivitas tanaman padi di Kecamatan Sumpalsari, Kabupaten Jember. Informasi dari hasil penelitian didapat juga bisa menjadi bahan pertimbangan dalam penggunaan teknologi Citra Setelit dan referensi untuk penelitian-penelitian yang akan datang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Padi

Padi merupakan salah satu jenis tanaman pangan semusim yang banyak di konsumsi oleh masyarakat di Indonesia. Menurut USDA (2022), klasifikasi tanaman padi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Subkingdom : Tracheobionta
Superdivision : Spermatophyta
Division : Magnoliophyta
Class : Liliopsida
Subclass : Commelinidae
Order : Cyperales
Family : Poaceae Barnhart
Genus : *Oryza* L.
Species : *Oryza sativa* L.

Tanaman padi dapat tumbuh pada lahan basah (sawah irigasi) atau lahan kering. Padi yang tumbuh di lahan kering membutuhkan curah hujan yang optimum >1.600 mm/tahun, sedangkan pada lahan basah hujan bukan faktor pembatas dalam pertumbuhan padi. Suhu yang optimum untuk pertumbuhan padi sekitar 24-29⁰C. Tanaman padi dapat tumbuh dengan pH tanah berkisar 5,5-7,5 dengan berbagai tipe jenis tanah (Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Aceh, 2009).

Menurut Ishizuka (1971), fase pertumbuhan tanaman padi dibagi menjadi tiga yaitu vegetative, reproduktif, dan pematangan. Fase vegetative dimulai dari perkecambahan hingga inisiasi malai. Jumlah klorofil saat fase vegetative mencapai maksimum sampai tahap inisiasi malai. Fase reproduktive dimulai dari malai inisiasi hingga pematangan. Fase pematangan dimulai dari pembungaan hingga pematangan penuh atau sampai panen.

2.2 Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu unsur penting pada tanaman padi. Tanaman menyerap nitrogen dalam bentuk nitrat (NO³⁻) atau ammonium (NH⁴⁺), nitrat

merupakan jenis nitrogen yang paling banyak diserap oleh tanaman (Tando, 2018). Nitrogen merupakan salah satu penyusun klorofil daun. Klorofil berperan penting pada proses fotosintesis. Hasil fotosintesis akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman, untuk pertumbuhan fase vegetative seperti pemanjangan sel yang mempengaruhi tinggi tanaman dan panjang malai. Hasil fotosintesis juga bisa disimpan untuk fase generative yang ditranslokasikan ke bagian gabah (Widodo, 2021). Nitrogen sangat berpengaruh pada fase pertumbuhan padi. Menurut Rahayu dkk (2018), kekurangan unsur nitrogen dapat menyebabkan pertumbuhan padi menjadi kerdil dan batang kecil, sehingga mempengaruhi juga pada jumlah anakan yang menjadi sedikit dan daun berwarna kekuningan.

Pemberian nitrogen yang sesuai akan membantu ketersediaan unsur hara kalium dan fosfor untuk membantu peningkatan pertumbuhan tanaman padi. Dosis pemupukan nitrogen yang terlalu tinggi tidak serta merta dapat meningkatkan serapan nitrogen dalam tanah yang berdampak pada penurunan nilai efisiensi penggunaan nitrogen (Saputra, 2016). Efisiensi dalam pemberian nitrogen perlu diperhatikan, karena tanaman padi mempunyai kapasitas dalam menyerap suatu unsur. Kelebihan nitrogen tidak akan diserap oleh tanaman, akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan, dan tidak efisien dari segi biaya. Estimasi penyerapan unsur hara nitrogen dapat menjadi pertimbangan dalam penentuan dosis pupuk yang efisien (Adi *et al.*, 2021).

2.3 Citra Satelit Sentinel-2

Remote sensing (penginderaan jauh) merupakan salah satu teknologi yang bisa digunakan untuk memantau kondisi vegetasi dari jauh. Salah teknologi *remote sensing* yaitu citra satelit. Citra satelit memberikan informasi yang baik Citra satelit dapat digunakan untuk memantau kondisi tanaman, seperti mengamati kandungan unsur hara pada tanaman. Citra satelit merupakan teknologi yang bisa melakukan proses pemantauan cepat dan efisien pada daerah yang luas maupun yang sulit dijangkau, sehingga dapat mengefisiensi biaya dan waktu.

Citra satelit yang digunakan dalam penelitian yaitu Sentinel-2. Sentinel-2 memiliki 2 satelit yaitu sentinel 2A yang diluncurkan pada 23 Juni 2015 dan Sentinel 2B yang diluncurkan pada 7 maret 2017. Sentinel-2 merupakan citra

multispectral yang dapat digunakan untuk mendukung observasi kondisi lahan, seperti pengamatan kondisi vegetasi lahan, pengamatan tutupan tanah dan tutupan air (Maathuis *et al.*, 2018). Citra multispectral yang dimiliki oleh satelit Sentinel-2 bisa dimanfaatkan untuk analisis indeks vegetasi, yang didapat dari monitoring nilai pantulan pada objek di bumi untuk mengevaluasi vegetasi (Pettorelli, 2013).

Tabel 2. 1. Karakteristik *band* (kanal) Citra Satelit Sentinel-2

No	Resolusi Spasial	Band (kanal)	Panjang Gelombang (nm)
1	10 m	B2 - <i>Blue</i>	490
		B3 - <i>Green</i>	560
		B4 - <i>Red</i>	665
		B8 - <i>Near Infrared (NIR)</i>	842
2	20 m	B5 - <i>Vegetation Red Edge</i>	705
		B6 - <i>Vegetation Red Edge</i>	740
		B7 - <i>Vegetation Red Edge</i>	783
		B8a - <i>Vegetation Red Edge</i>	865
		B11 - <i>SWIR</i>	1610
		B12 - <i>SWIR</i>	2190
3	60 m	B1 - <i>Coastal/Aerosol</i>	443
		B9 - <i>Water Vapour</i>	945
		B10 - <i>SWIR - Cirrus</i>	1375

(Sumber : European Space Agency, 2015)

Tabel 2. 2. *Product types* Sentinel-2

Nama	Deskripsi	Data Volume
Level-1B	Terkoreksi radiometrik	27 MB (25 x 23 km ²)
Level-1C	Terkoreksi radiometric dan geometrik	500 MB (100 x 100 km ²)
Level-2A	Terkoreksi radiometrick, geometric, dan atmosferik	600 MB (100 x 100 km ²)

(Sumber : European Space Agency, 2015)

Berdasarkan European Space Agency (2015), orbit sentinel-2 sejajar dengan matahari untuk memastikan sudut sinar matahari di atas permukaan bumi dipertahankan secara konsisten, sehingga dapat meminimalisir dampak bayangan. Ketinggian orbit yaitu 786 km, dengan kemiringan 98,62⁰. Citra satelit Sentinel 2A dan 2B memiliki resolusi temporal masing-masing 10 hari dan resolusi temporal gabungan yaitu 5 hari. Citra satelit sentinel memiliki 13 band, dan 3 resolusi spasial (Tabel 2.1). Citra satelit Sentinel-2 memiliki beberapa *product types* yang bisa

didownload yaitu Level-1B, Level-1C, dan Level 2A yang dapat dilihat pada tabel 2.2

2.4 Indeks Vegetasi

Tumbuhan membuat makanan sendiri dengan proses fotosintesis. Fotosintesis membutuhkan cahaya yang diserap oleh klorofil. Cahaya yang mengenai suatu molekul akan memantulkan dan menyerap energi cahaya. Tanaman yang sehat memantulkan cahaya inframerah dekat (*near infrared*) dan cahaya tampak (*visible light*) warna hijau. Klorofil menyerap cahaya tampak (*visible light*) warna merah dan biru. Tanaman yang sehat memiliki jumlah klorofil juga semakin banyak. Fenomena penyerapan dan pemantulan cahaya oleh klorofil daun membuat nilai kecerahan yang diterima *remote sensing* berbeda dari objek lainnya, sehingga dapat digunakan untuk perhitungan indeks vegetasi. Nilai indeks vegetasi perairan, tanah kosong, pemukiman penduduk akan berbeda nilainya dengan lokasi yang memiliki tingkat vegetasi yang rapat (Sudiana dan Diasmara, 2008). Indeks vegetasi menggambarkan tingkat kehijauan yang dapat diperoleh dari mengelola hasil citra foto dari *remote sensing*. Menurut Arhatin dan Wahyuningrum (2021), areal seperti hutan rapat dan lebat memberikan gambaran nilai kehijauan yang tinggi, sedangkan areal yang jarang atau tidak ada objek vegetasi memiliki nilai kehijauan rendah.

Tingkat kehijauan tanaman yang berhubungan dengan kandungan klorofil yang akan memberikan perbedaan indeks vegetasi pada suatu tanaman (Adzima dkk., 2022). Kadar klorofil yang tinggi berhubungan dengan serapan unsur hara nitrogen. Berdasarkan hasil penelitian Hartoko dkk. (2013), juga membuktikan bahwa besarnya kandungan klorofil dalam daun berhubungan dengan banyaknya jumlah nitrogen yang diserap oleh tanaman, semakin besar kandungan klorofil semakin tinggi nilai nitrogen yang diserap dan mempengaruhi nilai indeks vegetasi. Indeks vegetasi memiliki banyak jenis algoritma untuk menghitung, dan semakin berkembang dengan melihat berbagai faktor.

Indeks vegetasi yang baik yaitu sensitive terhadap vegetasi, tidak sensitive terhadap perubahan tingkat kecerahan dan warna tanah, dan hanya sedikit dipengaruhi oleh efek atmosfer. Meskipun banyak dikembangkan indeks vegetasi

baru yang sudah disesuaikan dengan faktor perilaku tanah maupun efek atmosfer, indeks yang paling banyak digunakan yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Jackson *et al.*, 1983).

Mempertimbangkan beberapa algoritma indeks vegetasi dapat membantu untuk memutuskan indeks yang sesuai pada kondisi vegetasi suatu lahan. Penelitian yang dilakukan menggunakan indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Visible Atmospherically Resistant index* (VARI)

2.1.1. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan algoritma indeks vegetasi yang bisa digunakan untuk menentukan tingkat kehijauan. Menurut Vian *et al.* (2018), nilai NDVI memiliki hubungan yang signifikan dengan kadar nitrogen dalam daun, semakin tinggi nilai NDVI, semakin tinggi juga kadar nitrogen. Perhitungan NDVI dihitung dari *band near infrared* (NIR) yang dipantulkan oleh klorofil daun dan *band visible light* yaitu *band red* yang diserap oleh klorofil daun, dengan rumus sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \text{ (Rouse et al., 1974)}$$

2.1.2. *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI)

Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) merupakan pengembangan dari NDVI, dengan mengganti band red menjadi band green dalam algoritmanya. Menurut Gitelson *et al.*, (1996), *band green* lebih peka terhadap perubahan kandungan klorofil dalam berbagai variasi daripada *band red*. Indeks GNDVI dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$GNDVI = \frac{NIR-GREEN}{NIR+GREEN} \text{ (Gitelson et al., 1996)}$$

2.1.3. *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI)

Latar belakang tanah merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan, karena juga memberikan efek pantulan yang bisa mempengaruhi nilai indeks vegetasi. *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) merupakan salah satu indeks yang

dikembangkan dengan mempertimbangkan tingkat kecerahan dan warna pada tanah. Huete (1988) memperkenalkan SAVI dengan mengembangkan algoritma NDVI, menambahkan konstanta L dan angka 1. Nilai L=0,5 untuk menguji vegetasi daun lebar dan sempit dapat meminimalkan efek pantulan tanah. Indeks SAVI dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+L} (1 + L) \text{ (Huete, 1988)}$$

2.1.4. *Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)*

Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) merupakan algoritma indeks vegetasi yang tahan terhadap faktor atmosfer (Vitasari dkk., 2017). VARI menggunakan algoritma Red, Green, Blue (RGB) yang secara efektif dapat menunjukkan seberapa hijau tanaman dibandingkan dengan objek yang lain, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi tanaman (Harfian dkk., 2020). Indeks VARI dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$VARI = \frac{GREEN-RED}{GREEN+RED-BLUE} \text{ (Gitelson et al., 2002)}$$

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai Mei 2023. Proses pengambilan data lapangan seperti pengukuran *chlorophyll meter* SPAD, pengambilan sampel daun saat padi, dan data panen. Pengamatan dilakukan empat kali saat padi berumur 30 – 35 HSS, 60 – 65 HSS, 90 – 95 HSS, dan 120 HSS (saat pemanenan).

Penelitian bertempat di lahan persawahan, Kelurahan Antirogo dan Kelurahan Tegalgede, Kecamatan Sumpalsari, Kabupaten Jember untuk proses pengambilan data lapangan dan Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember untuk analisis laboratorium.

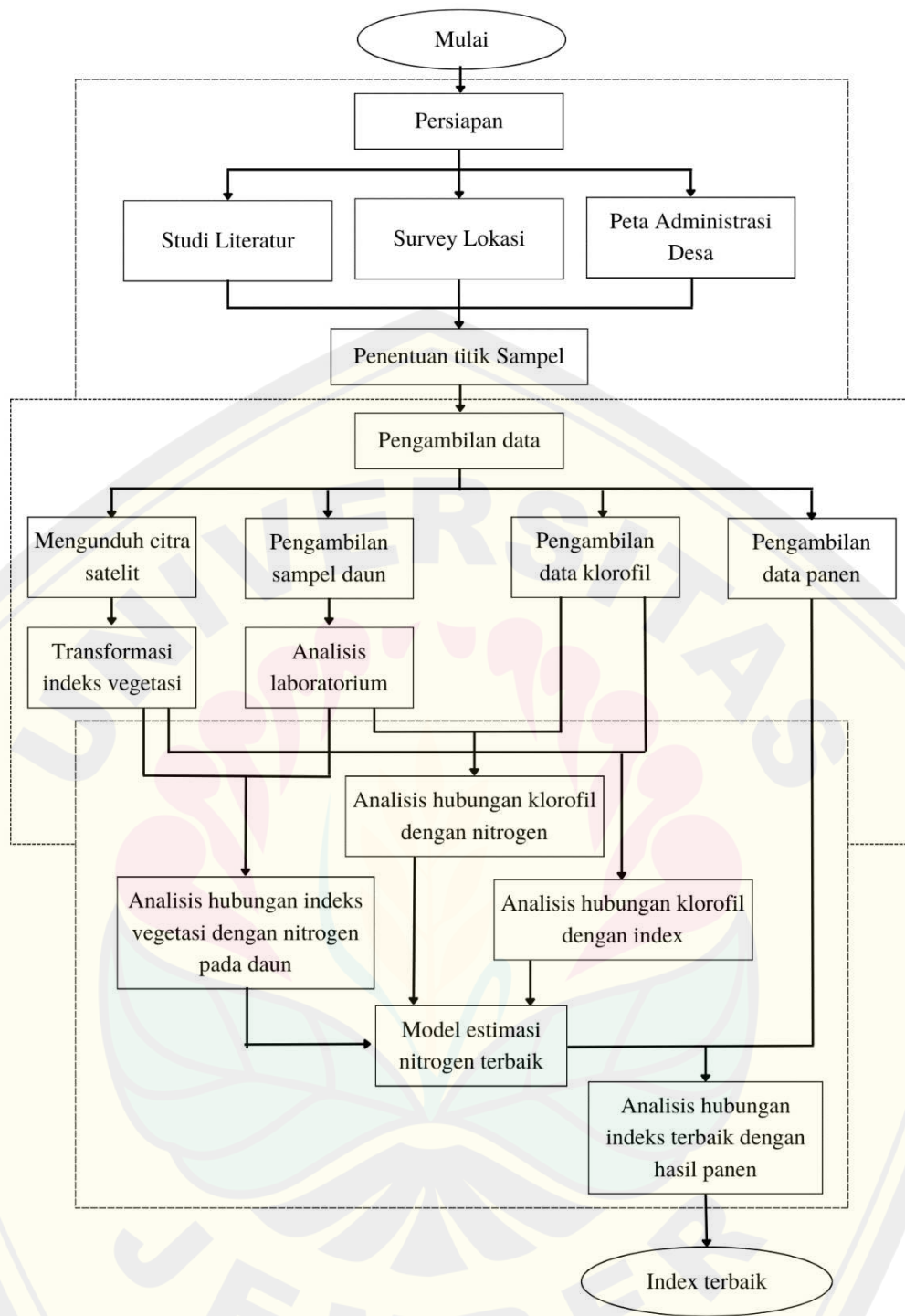
3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu *chlorophyll meter* SPAD, *Global Positioning System* (GPS), kamera, laptop yang dilengkapi *software* QGIS 3.16, RapidMiner, dan *Microsoft Excel*, petak bambu dengan ukuran 1 x 1 m, timbangan, serta alat-alat untuk pengukuran kadar nitrogen dengan metode Kjeldahl.

Bahan yang digunakan yaitu Peta Administrasi Desa, hasil akuisi citra satelit Sentinel-2, sampel daun tanaman padi, gabah padi, dan bahan-bahan untuk analisis kadar nitrogen dengan metode Kjeldahl.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dibagi menjadi tiga tahap utama yaitu, persiapan, pengambilan data, dan analisis data.



Gambar 3. 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian

3.3.1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan dimulai dengan studi literatur. Studi literatur merupakan langkah awal dalam penelitian, untuk mencari informasi tentang penelitian yang sejenis (Zed, 2014). Studi literatur yang digunakan berupa jurnal, maupun informasi lainnya sesuai dengan topik penelitian.

Lahan yang digunakan yaitu lahan tanaman padi di Kelurahan Antirogo dan Kelurahan Tegalgede, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember. Tahap survey lapangan dimulai dari melakukan wawancara dengan petani untuk memperoleh informasi terkait kondisi lahan. Informasi mengenai kondisi lahan digunakan untuk menentukan titik sampel berdasarkan hasil literatur yang didapatkan.

Penentuan titik sampel dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling* karena adanya perbedaan kondisi lahan. *Purposive sampling* merupakan metode pemilihan sampel dengan objek yang lebih spesifik sesuai dengan masalah dan tujuan penelitian yang dianggap mewakili keseluruhan sampel (Campbell *et al.*, 2020). Pemilihan titik sampel ditentukan berdasarkan pertimbangan umur tanam sesuai dengan kebutuhan peneliti. Titik sampel yang didapatkan sebanyak 15 titik. Titik sampel yang sudah ditentukan dipastikan titik koordinat lokasinya dengan menggunakan GPS untuk pengambilan data.

3.3.2. Tahap Pengambilan Data

a. Mengunduh Citra Satelit

Proses pengambilan citra satelit dilakukan pada web Copernicus Open Access Hub: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> dengan cara membuat akun terlebih dahulu, kemudian mengatur lokasi dan tanggal pengambilan. Citra satelit yang digunakan yaitu Level 2A. Resolusi spasial yang digunakan yaitu 10 m.

b. Pengolahan Indeks Vegetasi

Hasil citra satelit yang sudah diolah dihitung nilai indeks vegetasi dengan *software* QGIS 3.16 menggunakan *tool raster calculator*, lalu memasukkan rumus algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), dan *Visible Atmospherically Resistant index* (VARI). Hasil citra yang telah diolah diekstrak nilai indeksnya. Nilai

indeks yang didapat diklasifikasikan nilainya menjadi 5 kategori dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Mencari nilai minimum dan maximum dari keseluruhan nilai masing masing indeks
- 2) Menghitung nilai rata-rata atau *mean*

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Keterangan:

\bar{x} : nilai rata-rata

x_i : nilai data ke-i

n : banyaknya data

- 3) Menghitung nilai simpangan baku atau standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Keterangan:

s : standar deviasi

x : nilai setiap data

\bar{x} : nilai rata-rata

n : banyaknya data

- 4) Mengklasifikasi nilai menjadi lima kategori dengan rumus rentang nilai sebagai berikut

$$x < \bar{x} - 1,5s$$

$$\bar{x} - 1,5s < x \leq \bar{x} - 0,5s$$

$$\bar{x} - 0,5s < x \leq \bar{x} + 0,5s \quad (\text{Azwar, 2012})$$

$$\bar{x} + 0,5s < x \leq \bar{x} + 1,5s$$

$$\bar{x} + 1,5s < x$$

Keterangan :

s : standar deviasi

\bar{x} : nilai rata-rata

Nilai klasifikasi yang didapatkan digunakan untuk mengelompokkan area penelitian untuk mempermudah proses analisis secara spasial dan dibandingkan dengan kondisi lapangan secara visual.

c. Pengukuran Data *Chlorophyll Meter* SPAD

Pengukuran nilai *Chlorophyll Meter* SPAD diukur pada titik daun yang berada di $\frac{3}{4}$ tinggi tanaman dari pangkal dan mendekati ujung daun, karena menurut Turner dan Jund (1994) nilai *Chlorophyll Meter* SPAD paling stabil di titik tersebut, dan nilai *Chlorophyll Meter* SPAD akan menurun apabila mendekati pangkal daun. Pengambilan dilakukan 3 kali dan diambil nilai rata-rata supaya pengukuran lebih akurat.

d. Pengambil Sampel Daun

Sampel daun yang akan diuji diambil pada setiap titik sampel. Daun yang diambil tidak terlalu muda dan tidak terlalu tua dan mengambil sebanyak 2 daun per rumpun dengan jumlah 10 rumpun.

e. Analisis Laboratorium

Analisis di laboratoium untuk mengukur kandungan nitrogen pada daun yang dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember. Metode yang digunakan yaitu Kjeldhal. Metode Kjeldhal merupakan metode yang paling akurat dalam mengukur kandungan nitrogen yang ada pada jaringan tanaman. Pengukuran dengan metode destruktif di dalam laboratorium (Syafii dkk., 2021).

f. Estimasi Bobot Panen

Perhitungan panen menggunakan metode ubinan. Metode ubinan dilakukan dengan menggunakan petak bambu ukuran 1 m² (100 x 100 cm). Pengambilan dilakukan pada titik sampel. Padi yang berada pada ubin dipotong, kemudian dipisahkan gabah padi pada batangnya. Gabah yang sudah terpisah ditimbang dan bisa menjadi acuan untuk memperkirakan produksi padi per hektar berupa gabah kering panen (GKP) dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Gabah Kering Panen (GKP) (ton/ha)} = \frac{\text{hasil berat bulir (gram)} \times 10.000 \text{ m}^2}{\text{luas ubinan (1 m}^2) \times 1.000.000}$$

Hasil Perhitungan GKP dikonversi ke Gabah Kering Giling (GKG), lalu ke Beras dengan acuan nilai konversi menurut BPS tahun 2018 untuk wilayah Jawa Timur sebagai berikut :

- GKP ke GKG = 83,17%

$$\text{Gabah Kering Giling (GKG)} \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) = \text{GKP} \times 83,17\%$$

3.4 Variabel Pengamatan

Variable yang diamati dalam penelitian yaitu :

3.4.1. Wawancara

Wawancara dilakukan untuk melalui petani sebagai pemilik lahan tentang varietas tanaman padi, waktu pemupukan, jenis pupuk, dan dosis pupuk yang digunakan.

3.4.2. Klorofil Daun

Pengamatan klorofil daun diambil dari pengukuran menggunakan *chlorophyll meter* SPAD pada titik sampel, untuk mengetahui hubungan klorofil daun dengan index vegetasi.

3.4.3. Kandungan Nitrogen

Kandungan nitrogen didapatkan dari analisis laboratorium pada titik sampel yang sudah ditentukan

3.4.5. Gabah Padi

Pengamatan gabah padi dilakukan untuk estimasi bobot panen gabah kering giling (GKG) dalam satu ton per hektar.

3.5. Analisis Data

Data hasil transformasi dari citra satelit ke indeks vegetasi, *chlorophyll meter* SPAD data analisis laboratorium, dan data panen di analisis secara statistik deskriptif menggunakan software *Microsoft Excel*.

3.5.5. Analisis Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui kekuatan hubungan antara variabel. Jenis variabel ada dua yaitu variabel bebas atau predictor (*independent*) dan variabel tidak bebas atau terikat (*dependent*). Variabel X merupakan

variabel yang keberadaannya tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya, sedangkan variabel Y keberadaannya dipengaruhi variabel lain. Hasil kolerasi dikatakan kuat apabila memperoleh nilai koefisien korelasi $(r) \geq 0,60$ (Hanafiyanto dan Wahono, 2021).

Rumus koefisien korelasi yang digunakan yaitu sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2)(n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2)}} \quad (\text{Brahmantara, 2015})$$

r_{xy} = koefisien korelasi

n = jumlah sampel

x_i = variabel bebas

y_i = variabel terikat

Kuatnya kekuatan hubungan antar variabel dari hasil perhitungan koefisien korelasi (r) mengacu pada tabel berikut:

Tabel 3. 1. Tingkat kekuatan hubungan

No	Koefisien korelasi (r)	Kekuatan hubungan
1	0,00-0,199	Sangat rendah
2	0,20-0,399	Rendah
3	0,40-0,599	Sedang
4	0,60-0,799	Kuat
5	0,80-1,00	Sangat Kuat

Sumber : Sugiyono (2013)

3.5.6. Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui pengaruh antara variabel X dan Y. Tujuan dari analisis regresi untuk membuat model persamaan yang mendekati persebaran data (Hanafiyanto, 2021). Koefisien determinasi (R^2) untuk menunjukkan sejauh mana kontribusi variabel bebas dalam model regresi mampu menjelaskan variasi dari variabel terikatnya. Koefisien determinasi dihitung dengan mengkuadratkan koefisien korelasi (r) .

$$R^2 = r^2 \quad (\text{Sugiyono, 2013})$$

- R = koefisien determinasi
 r = koefisien korelasi

Hasil dari model didapatkan bisa digunakan untuk menghitung estimasi kandungan nitrogen. Hasil analisis regresi akan mendapatkan persamaan:

$$y = \alpha + \beta x + \epsilon \text{ (Sungkawa, 2013)}$$

- x = variabel bebas
 y = variabel terikat
 α, β = koefisien regresi
 ϵ = residual

3.5.7. Evaluasi Model Prediksi

Hasil persamaan model prediksi yang telah didapatkan dievaluasi untuk mengetahui tingkat keakuratannya dengan menghitung nilai RMSE dan *machine learning* algoritma yaitu *decision tree*. Nilai RMSE menghitung tingkat kesalahan (*error*) dari selisih perbedaan hasil estimasi dan nilai actual. Semakin kecil nilai RMSE artinya semakin kecil tingkat kesalahan, sehingga data yang dihasilkan akurat. Rumus perhitungan RMSE sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \text{ (Fakthuroji dkk., 2019)}$$

RMSE = *Root Mean Square Error*

y_i = Nilai prediksi indeks vegetasi

\hat{y}_i = Nilai aktual penilaian kadar nitrogen di laboratorium

n = jumlah sampel

Evaluasi selanjutnya yaitu menggunakan mengevaluasi dengan *machine learning* algoritma *decision tree* untuk mengetahui bagaimana kinerja suatu model apabila diaplikasikan di lapangan. Proses evaluasi dilakukan dengan tahap berikut :

1. *Input Data*

Data yang diinput merupakan data hasil prediksi serapan nitrogen dari transformasi indeks vegetasi (*attribute*) dan tingkat kehijauan (*special attribute*)

2. *Split Data*

Metode *split data* menggunakan metode *shuffled sampling* dengan sistem acak. Data dibagi menjadi dua yaitu data uji dan data latih dengan rasio perbandingan 60:40.

3. *Decision Tree*

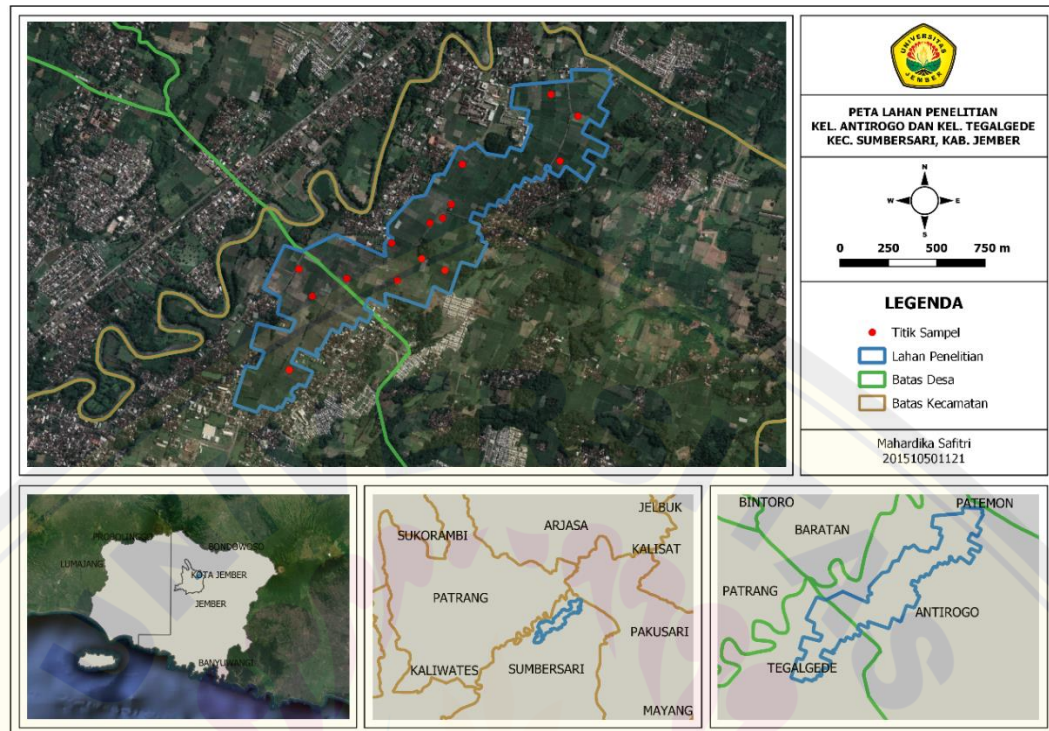
Decision tree merupakan proses klasifikasi atribut yang mirip satu sama lain. Proses klasifikasinya dengan membagi data ke dalam sub bagian yang lebih kecil berdasarkan kriteria yang telah dibuat dari setiap cabang.

4. *Performance*

Analisis performance digunakan untuk mengetahui akurasi data yang diklasifikasikan. Pengujian akurasi menggunakan *overall accuracy* untuk mengetahui jumlah sampel yang terklasifikasi dengan benar pada setiap kelas yang digunakan untuk uji akurasi

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian



Gambar 4. 1. Lahan penelitian

Lokasi lahan penelitian berada di Kelurahan Tegalgede dan Antirogo, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Luas lahan yang digunakan untuk penelitian sebesar 87,54 ha. Kawasan lahan penelitian berada di area pemukiman penduduk. Jumlah titik sampel yang diamati yaitu 15 titik sampel. Pengamatan nitrogen, klorofil, dan indeks vegetasi dilakukan sebanyak 3 kali pengamatan, yaitu pada saat padi berumur 30-35 HSS, 60-65 HSS, dan 90-95 HSS, sehingga mendapatkan hasil 45 sampel. Titik sampel yang sudah ditentukan juga digunakan untuk pengamatan hasil panen saat padi berumur 120 HSS. Titik pengambilan sampel yaitu titik berwarna merah. Titik koordinat X sebagai latitude dan Y sebagai longitude (Tabel 4.1.).

Tabel 4. 1. Titik koordinat sampel

Sampel	Koordinat	
	X	Y
1	800926,254	9098191,752
2	800807,522	9097810,008
3	802163,768	9099236,516
4	801602,764	9098596,673
5	801646,818	9098667,233
6	801494,364	9098386,056
7	802210,180	9098891,658
8	801614,037	9098326,151
9	801704,571	9098873,663
10	801536,005	9098570,871
11	802303,566	9099124,101
12	801105,584	9098284,053
13	800856,729	9098331,878
14	801338,133	9098466,777
15	801366,969	9098273,735

Pola tanam yang diterapkan oleh petani selama setahun yaitu padi-padi-palawija. Pengukuran lahan dilakukan dengan *tools measure line* pada QGIS 3.16, kemudian divalidasi dengan wawancara kepada petani secara langsung. Hasil pengukuran didapatkan, rata-rata luas lahan yang diamati yaitu 100 – 200 m² setiap petak. Lahan yang diamati merupakan milik perorangan. Jarak tanam yang diterapkan yaitu 25x25 cm. Selama kegiatan budidaya, rata-rata pemupukan dilakukan sebanyak 3 kali. Pemupukan pertama saat pengolahan lahan menggunakan pupuk organik. Pemupukan kedua saat padi umur 30 HSS dan pemupukan ketiga saat padi umur 60 HSS menggunakan pupuk anorganik jenis urea dan phonska. Pengendalian hama dan penyakit tanaman (HPT) dilakukan jika terdapat serangan. Pengendalian HPT dilakukan dengan cara manual atau kimia tergantung kondisi tanaman yang terserang. Varietas padi yang ditanam yaitu Inpari 32 telah mendapatkan SK Menteri Pertanian 4996/Ktps/SR.120/12/2013. Umur tanam ±120 hari setelah sebar. Varietas padi Inpari 32 memiliki tinggi tanaman ±97 cm, berat 1000 butir ±27,1 gram, rata-rata hasil yang didapat ±6,30 ton/ha GKG dengan potensi hasil ±8,42 ton/ha GKG.

Tabel 4. 2. Data sekunder hasil wawancara petani

Sampel	Luas Lahan (m ²)	Pupuk			
		Organik		Anorganik	
		Jenis	Dosis	Jenis	Dosis
1	114,93	-	-	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
2	178,289	-	-	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
3	103,376	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
4	136,847	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
5	121,346	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
6	172,837	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
7	205,488	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
8	120,252	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
9	170,788	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
10	154,359	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
11	190,557	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
12	142,042	-	-	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
13	125,366	-	-	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
14	169,549	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha
15	135,118	Kotoran sapi	5 kw/ha	Urea	2,5 kw/ha
				Phonska	2,5 kw/ha

Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2020) merekomendasikan pemupukan urea spesifik lokasi Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember yaitu sebesar 300 kg/ha.. Hasil wawancara petani pada tabel 4.2 rata-rata pemberian dosis urea sebesar 250 kg/ha, sehingga jumlah pupuk yang diaplikasikan masih dibawah standar kebutuhan untuk tanaman padi.

4.2 Hasil Pengolahan Citra Satelit

Citra satelit diunduh sebanyak 3 kali, yaitu pada tanggal 20 Januari, 15 Februari, dan 16 Maret 2023. Citra satelit Sentinel-2 terdiri dari 12 *band* dan 3 resolusi yaitu 10 m, 20 m, dan 60 m. *Band* yang digunakan dalam proses pengolahan indeks vegetasi yaitu Band 2 (*Blue*), Band 3 (*Green*), Band 4 (*Red*), dan Band 8 (*Near Infrared*) dengan resolusi 10 m. Citra satelit yang sudah diunduh kemudian ditransformasikan menjadi indeks vegetasi berdasarkan masing-masing algoritma. Setiap indeks vegetasi memiliki hasil nilai minimal dan maksimum yang berbeda, sehingga perlu diklasifikasikan berdasarkan rentang nilai yang didapat untuk mempermudah dalam analisis spasial. Nilai rata-rata dan standar deviasi keseluruhan nilai indeks vegetasi juga dihitung untuk perhitungan nilai rentang klasifikasi (Tabel 4.3.). Masing-masing indeks diklasifikasikan menjadi 5 rentang nilai dengan kategori wilayah non vegetasi, tingkat kehijauan sangat rendah, tingkat kehijauan rendah, tingkat kehijauan sedang, dan tingkat kehijauan tinggi.

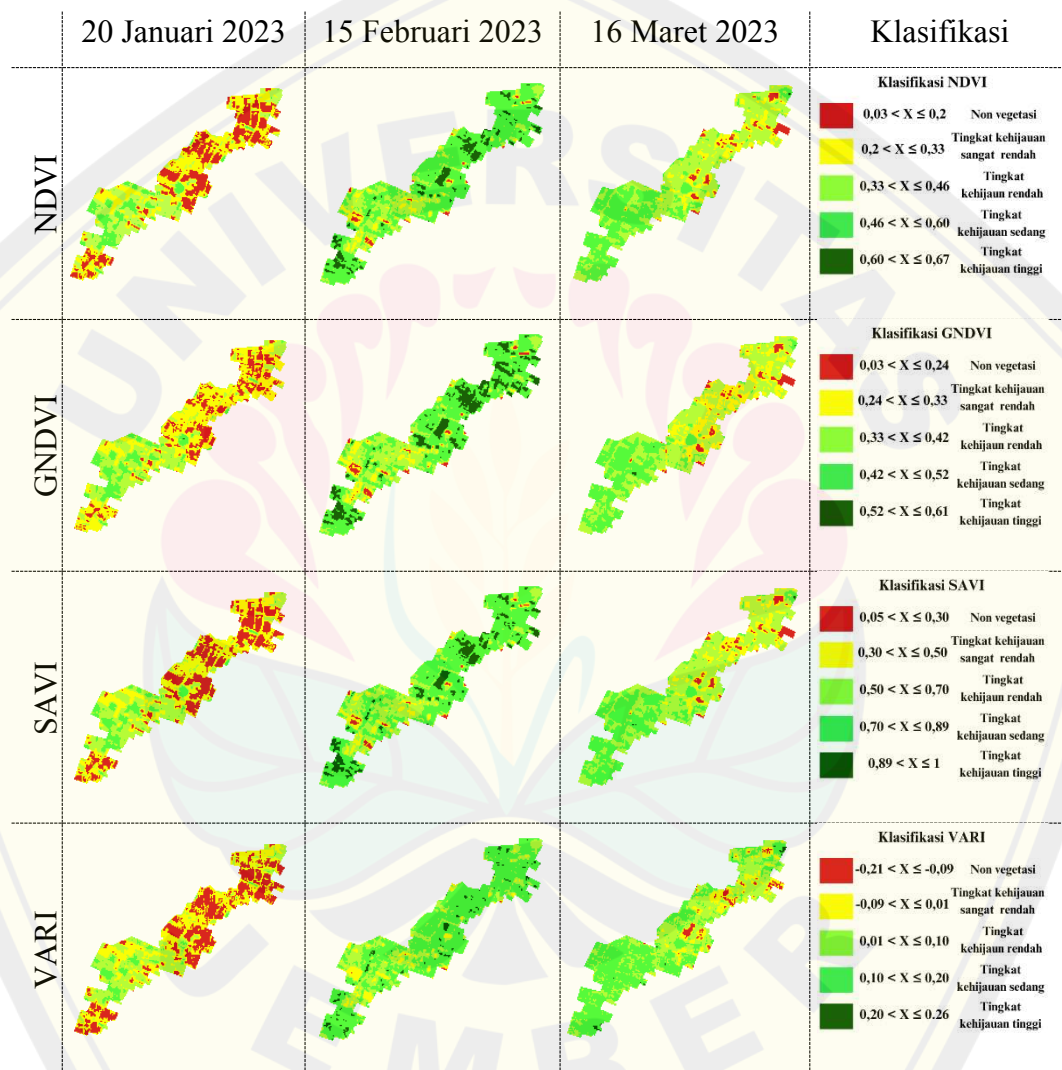
Tabel 4. 3. Nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan standar deviasi indeks vegetasi

Indeks Vegetasi	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
NDVI	0,03	0,67	0,40	0,13
GNDVI	0,03	0,61	0,38	0,09
SAVI	0,05	1	0,60	0,20
VARI	-0,21	0,26	0,06	0,09

Hasil indeks vegetasi yang sudah diolah terlihat pada gambar 4.2. Kondisi umur tanaman heterogen, karena proses penanaman tidak dilakukan secara bersamaan, namun terjadi perubahan yang signifikan pada semua indeks setiap pengamatan. Semakin hijau suatu area menandakan nilai indeks vegetasi tinggi. Daerah yang berwarna merah merupakan lahan yang tidak ada vegetasinya dan masuk rentang nilai indeks vegetasi paling rendah.

Berdasarkan pengamatan langsung di lapangan pada tanggal 20 Januari 2023, kondisi lahan masih banyak yang belum ditanami, dan kondisi tanaman padi yang belum menutupi lahan secara keseluruhan seperti pada gambar 4.3.a. Kondisi lahan pada 15 Februari 2023 berada pada fase puncak vegetasi yaitu berumur 60 – 65 HSS, karena hampir keseluruhan lahan juga sudah ditanami oleh petani, padi sudah

tumbuh lebih tinggi, dan jumlah daun bertambah banyak seperti gambar 4.3.b. Setiap masing-masing indeks mengalami perubahan dan memiliki area hijau yang mendominasi, karena terjadinya peningkatan nilai indeks vegetasi. Berdasarkan hasil pengamatan pada tanggal 16 Maret 2023, padi sudah masuk dalam fase generative seperti keluarnya malai namun daun masih hijau seperti pada gambar 4.3.c, ada daun padi yang sudah mulai menguning yaitu dalam tahap pematangan gabah dan beberapa padi sudah mendekati panen.



Gambar 4. 2. Pola persebaran masing-masing index vegetasi

Berdasarkan hasil analisis spasial sebaran nilai indeks vegetasi, setiap indeks mengalami perubahan pola persebaran setiap fasenya, Menurut Suhardi, dkk (2019), persentase *ground cover* atau tutupan lahan akan terus meningkat seiring

berkembang tanaman padi terutama saat fase vegetative yaitu umur 52, 60, dan 67 HSS yang ditandai dengan pertambahan daun, jumlah anakan, dan pertumbuhan tinggi tanaman, sehingga nilai reflektansi tanaman padi menjadi tinggi.



a) 20 Januari 2023 (30 – 35 HSS)



b) 15 Februari 2023 (60-65 HSS)

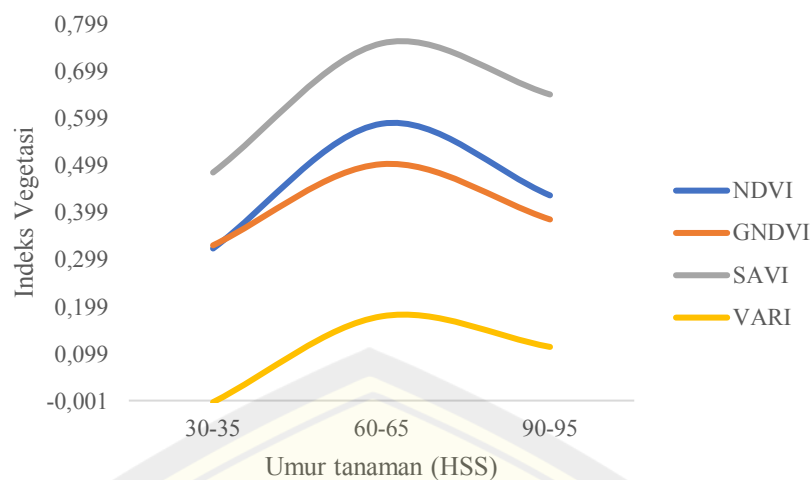


c) 16 Maret 2023 (90-95 HSS)

Gambar 4. 3. Kondisi pertumbuhan padi

Hasil rata-rata nilai indeks vegetasi yang didapatkan memiliki nilai yang berbeda setiap fase umur tanamannya, dan memberikan bentuk kurva yang sama yaitu kurva parabolik (Gambar 4.4). Nilai indeks vegetasi terendah yaitu saat padi berada pada umur 30 - 35 HSS. Kondisi lahan saat awal penanaman masih didominasi oleh kenampakan tanah namun tanah yang tergenang oleh air bukan tanah kering (Gambar 4.3.a).

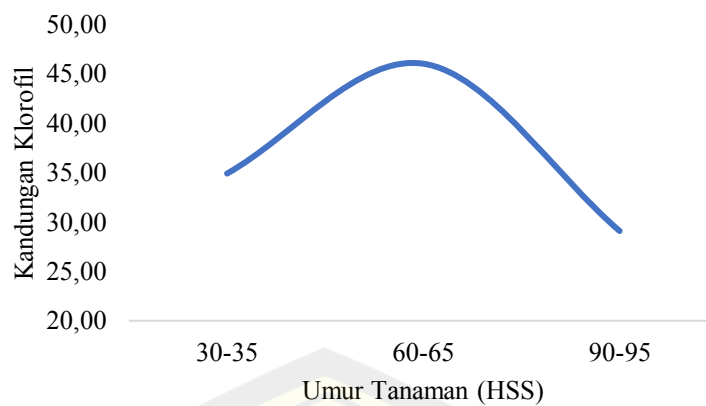
Kombinasi efek tanaman sehat dan latar belakang tanah akan mempengaruhi nilai reflektansi, terutama tanah yang tergenang akan memberikan nilai yang lebih rendah dibandingkan tanah kering (Gnyp *et al.*, 2014).



Gambar 4. 4. Grafik perubahan indeks vegetasi

Nilai indeks vegetasi naik saat berada padi berumur 60 – 65 HSS yaitu pada fase akhir vegetative. Kondisi lahan saat fase vegetative akhir hampir keseluruhan tertutupi oleh tanaman padi daun berwarna hijau (Gambar 4.3.b). Indeks vegetasi menunjukkan penurunan kembali saat fase generatif pada umur 90-95 HSS, karena ada kenampakan bulir padi yang berwarna kuning dan beberapa dalam tahap pematangan (4.3.c). Daun padi juga beberapa lahan ada yang menguning. Hasil penelitian Putra dan Graha (2022) juga membuktikan bahwa, indeks vegetasi akan terus mengalami kenaikan hingga titik puncak dan menurun sampai tanaman padi siap dipanen. Lahan yang tidak tertutupi oleh vegetasi, perairan, lahan kosong, dan kondisi vegetasi rusak tidak akan memiliki nilai tinggi, sedangkan area dengan kondisi vegetasi sehat, rapat, dan hijau akan memiliki nilai indeks yang tinggi.

Menurut Kusumawardani, dkk (2013), fase pertumbuhan padi mempengaruhi nilai indeks vegetasi. Tingkat kehijauan padi saat fase vegetative akhir tinggi karena kandungan klorofil yang tinggi dan kondisi lahan juga hampir keseluruhan tertutupi oleh kanopi tanaman padi, sehingga nilai indeksnya lebih tinggi dibandingkan saat awal tanam. Penurunan indeks vegetasi saat fase generative juga akan terus terjadi hingga panen, karena terjadi penurunan kadar klorofil sehingga daun menjadi menguning.



Gambar 4. 5. Grafik rata-rata kandungan klorofil.

Berdasarkan hasil pengamatan dapat dilihat bahwa klorofil terjadi kenaikan klorofil pada saat fase vegetative akhir dan penurunan saat fase generative, sehingga banyaknya klorofil pada tanaman padi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai indeks vegetasi (Gambar 4.5).

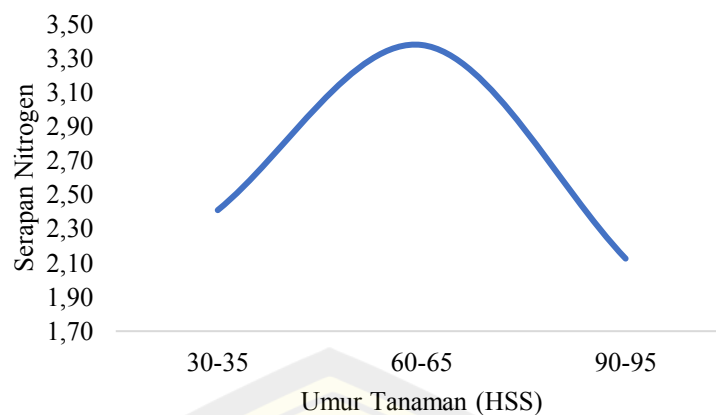
Hubungan yang kuat terjadi antara indeks vegetasi NDVI dengan klorofil (Tabel 4.4). Penelitian yang dilakukan oleh Adzima, dkk (2022) juga membuktikan bahwa, nilai indeks NDVI memiliki hubungan selaras dengan klorofil pada tanaman padi, karena berhubungan dengan kapasitas fotosintesis tanaman. Indeks NDVI bisa menjadi indeks yang perlu dipertimbangkan untuk mengetahui klorofil pada tanaman yang akan diteliti.

Tabel 4. 4. Koefisien korelasi indeks vegetasi dengan klorofil

No	Indeks Vegetasi	Koefisien korelasi (r)	Keterangan
1	NDVI	0,631	Kuat
2	GNDVI	0,630	Kuat
3	SAVI	0,602	Kuat
4	VARI	0,554	Sedang

4.3 Hubungan Klorofil dengan Nitrogen

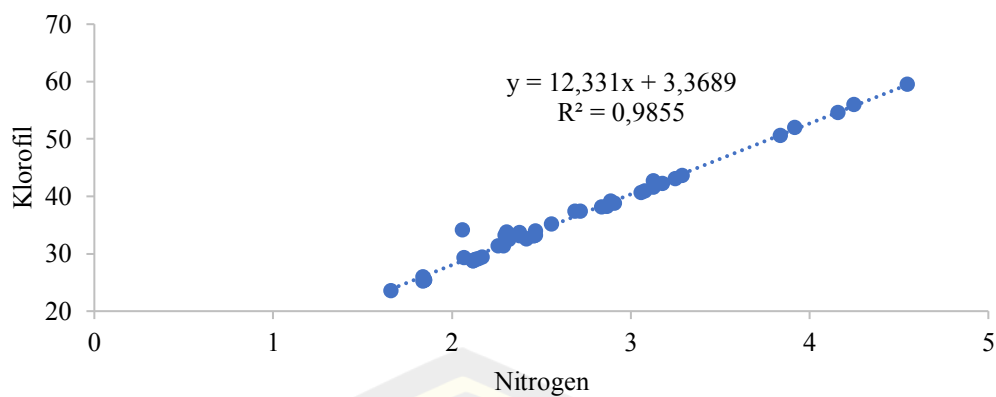
Nitrogen merupakan salah satu unsur penting yang dibutuhkan oleh tanaman. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, serapan unsur hara nitrogen tertinggi saat tanaman berada pada fase vegetative akhir (60-65 HSS) (Gambar 5) dan diikuti juga peningkatan kandungan klorofil. Serapan nitrogen yang rendah terjadi saat fase generative dan terjadi penurunan kandungan klorofil.



Gambar 4. 6. Grafik rata-rata serapan nitrogen

Unsur nitrogen merupakan unsur hara yang penting untuk tanaman. Menurut Suharno, dkk (2007), selama fotosintesis membutuhkan kandungan nitrogen dalam jumlah besar. Fotosintesis terjadi pada daun sehingga daun memiliki hubungan penting dengan nitrogen. Laju fotosintesis pada daun akan meningkat apabila nitrogen kandungan nitrogen optimal. Nitrogen mempengaruhi dalam pembentukan jaringan baru, karena hasil fotosintesis ditranslokasikan ke seluruh tumbuhan. Semakin optimal kandungan nitrogen, semakin baik pertumbuhan tanaman.

Klorofil dan nitrogen menjadi bagian tak terpisahkan, pemberian nitrogen yang cukup akan mengakibatkan pertumbuhan vegetatif yang subur dan warna hijau daun yang gelap (Tando, 2018). Menurut Patty, dkk (2013), klorofil berkaitan dengan proses fotosintesis terutama saat fase vegetatif. Klorofil mampu mensintesis karbohidrat untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Serapan nitrogen maksimal saat fase vegetative akhir dan banyak ke daun tanaman yang digunakan untuk proses pembentukan malai. Saat fase generative terjadi penurunan serapan nitrogen terjadi karena nitrogen diperlukan untuk pengisian gabah dan daun padi juga jadi menguning. Kekuatan hubungan nitrogen dan klorofil dapat dilihat pada gambar 4.7. Berdasarkan hasil analisis regresi linier memperoleh nilai R^2 sebesar 0,9855, sehingga nilai koefisien korelasinya (r) yaitu sebesar 0,99. Artinya nitrogen dengan klorofil memiliki hubungan yang sangat kuat.



Gambar 4. 7. Hubungan Nitrogen dengan klorofil

4.4 Estimasi Serapan Nitrogen Menggunakan Citra Satelit

Melihat pentingnya nitrogen untuk tanaman, sehingga perlu diperhatikan kandungan unsur nitrogen supaya tanaman bisa tumbuh maksimal. Berdasarkan hasil penelitian yang didapat, banyaknya jumlah klorofil mempengaruhi indeks vegetasi dan klorofil berhubungan dengan serapan nitrogen. Citra satelit merupakan salah satu teknologi yang bisa digunakan untuk estimasi kandungan nitrogen pada tanaman padi. Estimasi serapan nitrogen dilakukan dengan cara memanfaatkan pantulan gelombang yang diterima oleh citra satelit, nilai pantulan gelombang kemudian dihitung dengan algoritma indeks vegetasi.

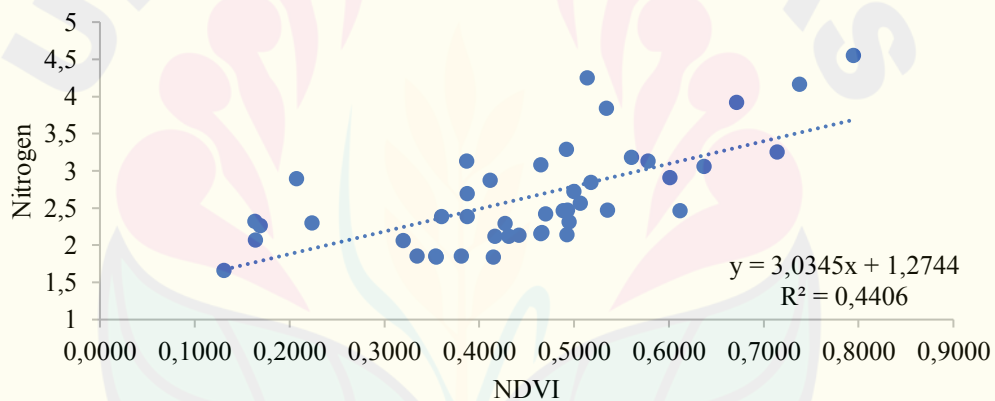
Tabel 4. 5. Koefisien korelasi indeks vegetasi dengan nitrogen

No	Indeks Vegetasi	Koefisien korelasi (r)	Keterangan
1	NDVI	0,66	Kuat
2	GNDVI	0,65	Kuat
3	SAVI	0,63	Kuat
4	VARI	0,59	Sedang

Berdasarkan hasil tiga kali pengamatan fase umur berbeda secara keseluruhan, indeks vegetasi yang paling baik untuk estimasi serapan nitrogen pada tanaman padi yaitu NDVI yang memiliki koefisien korelasi tertinggi, dan yang paling rendah yaitu indeks VARI (Tabel 4.5). Algoritma NDVI membandingkan *visible red* dan *near infrared* yang bisa membedakan tingkat kehijauan tanaman, atau dengan kata lain semakin aktif proses fotosintesis nilai NDVI akan semakin tinggi (Harfian dkk., 2020). Nilai indeks NDVI yang tinggi digambarkan reflektansi

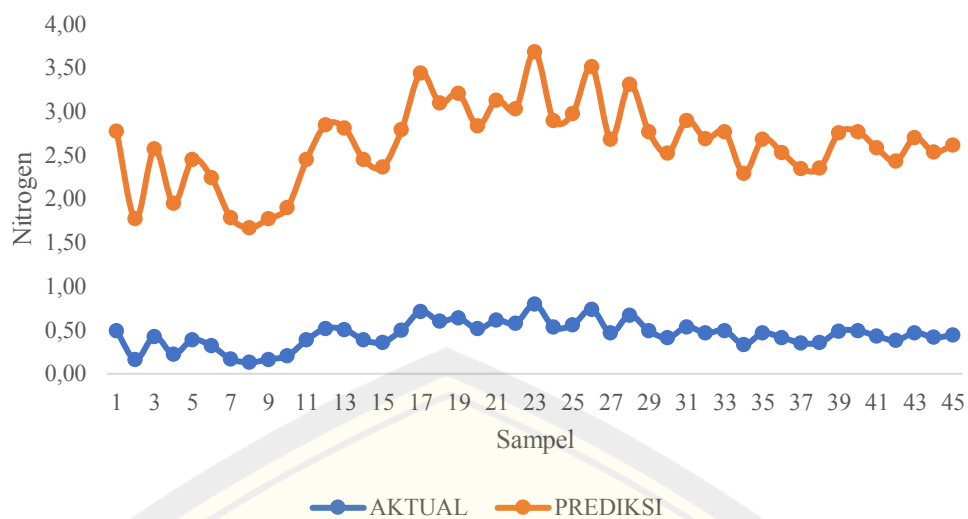
rendah oleh radiasi *visible red* karena diserap oleh klorofil, sedangkan reflektansi *near infrared* yang tinggi dipantulkan oleh daun (Hardianto, 2021). Hasil spektrum yang ditangkap dan dihitung dengan algoritma NDVI mampu memperkirakan serapan nitrogen pada tanaman berdasarkan tingkat kehijauan yang dipancarkan oleh daun tanaman, sehingga dapat memantau kandungan nitrogen pada tanaman secara lebih efisien (Didal *et.al.*, 2022).

Indeks vegetasi VARI dalam algoritmanya hanya memperhitungkan *visible light*, sehingga kurang optimal dalam estimasi serapan nitrogen. Daun yang stress akibat aplikasi nitrogen yang rendah lebih kompak memantulkan cahaya *near infrared* lebih sedikit daripada daun yang sehat, sehingga kombinasi algoritma *visible light* dan *near infrared* menunjukkan performa lebih baik dalam mendeteksi tingkat kehijauan pada tanaman padi dari pada hanya menggunakan algoritma *visible light* (Gynp *et al.*, 2014). Hasil indeks vegetasi yang terbaik kemudian dibuat model persamaan dan koefisien determinasi (R^2) (Gambar 4.8).



Gambar 4. 8. Hasil analisis regresi NDVI dengan nitrogen

Hasil persamaan dari analisis regresi yang didapatkan yaitu $y = 3,0345x + 1,2744$ dengan R^2 sebesar 0,4406, yang berarti 44,06% nilai serapan nitrogen dapat dijelaskan oleh indeks vegetasi NDVI. Persamaan yang didapat digunakan untuk menghitung estimasi serapan nitrogen, kemudian dilakukan perbandingan antara hasil aktual dengan nilai prediksi (Gambar 4.9).



Gambar 4. 9. Perbandingan nilai aktual dan prediksi serapan nitrogen

Berdasarkan perhitungan hasil estimasi (Gambar 4.9), kurva antara nilai aktual dan nilai prediksi tidak saling berhimpitan, artinya masih ada selisih nilai antara hasil aktual dengan hasil prediksi. Selisih nilai disebabkan oleh faktor lain, salah satunya yaitu faktor latar belakang tanah tergenang yang dapat mempengaruhi nilai indeks. Komponen piksel pada citra yang diambil juga mempengaruhi nilai indeks (Huang *et al.*, 2021). Resolusi citra yang digunakan dalam penelitian yaitu berukuran 10 x 10 m artinya luasan pixelnya sebesar 100 m². Keberagaman objek yang ada dalam satu pixel ikut mempengaruhi nilai indeks yang didapat (Yanti dkk., 2022). Setiap pixel hanya diambil satu sampel dengan umur tanam yang diinginkan, sedangkan dalam satu pixel ada lahan lain yang memiliki umur tanam berbeda. Sampel yang terlalu sedikit kurang mewakili dalam satu pixel.

Tabel 4. 6. Uji akurasi hasil estimasi nitrogen

No	Indeks Vegetasi	RMSE
1	NDVI	0,5108
2	GNDVI	0,5175
3	SAVI	0,5299
4	VARI	0,5525

Model persamaan yang didapat diuji tingkat akurasinya dengan perhitungan nilai *root mean square error* (RMSE) untuk mengetahui tingkat error dari hasil estimasi yang ada pada tabel 9. Berdasarkan hasil Perhitungan RMSE, indeks NDVI memiliki nilai *error* yang paling rendah. Semakin kecil nilai RMSE artinya semakin

bagus, karena tingkat kesalahannya semakin sedikit. Dapat disimpulkan bahwa indeks vegetasi yang terbaik untuk estimasi serapan nitrogen pada tanaman padi yaitu NDVI (Tabel 4.6).

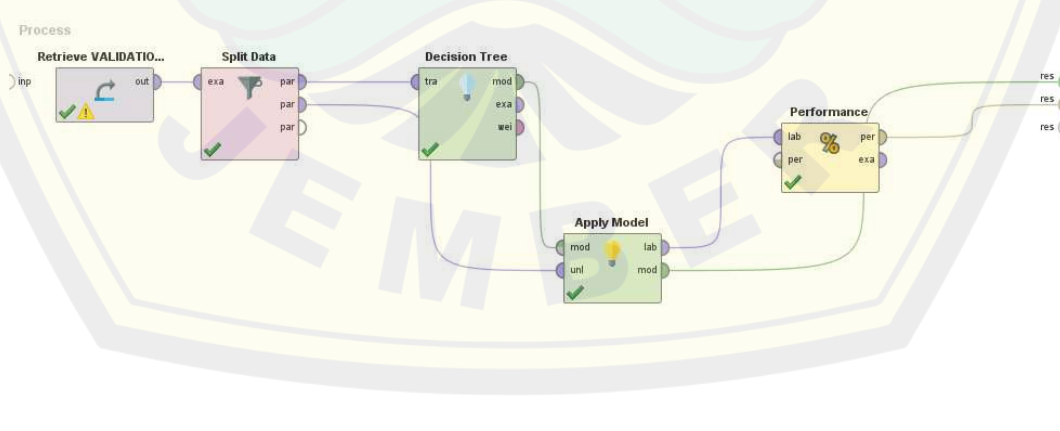
Hasil indeks vegetasi terbaik juga akan berbeda apabila dilakukan pengamatan pada masing-masing fase umur. Jumlah total sampel yang diamati setiap fase umur yaitu 15 sampel (Tabel 4.7). Berdasarkan hasil koefisien korelasinya, hasil indeks terbaik saat tanaman berumur 30-35 yaitu GNDVI, sedangkan indeks terbaik pada umur 60-65 dan umur 90-95 yaitu SAVI. Menurut hasil penelitian Putra dan Graha (2022), indeks vegetasi memiliki keunggulan tersendiri pada setiap fase pertumbuhan, sehingga umur tanaman padi penting diketahui untuk melihat kondisi tanaman padi di lapangan karena akan memberikan pengaruh terhadap hasil rata-rata indeks vegetasi yang didapatkan. Indeks vegetasi NDVI, GNDVI, SAVI, dan VARI pada dasarnya dapat digunakan untuk mengestimasi nitrogen. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa masing-masing membentuk pola kurva yang sama yaitu kurva parabolik dengan nilai rata-rata tertinggi pada fase vegetative, oleh karena itu persamaan secara keseluruhan fase pertumbuhan dipilih karena adanya persamaan bentuk kurva pada masing-masing indeks vegetasi. Hasil persamaan model prediksi secara keseluruhan, indeks vegetasi NDVI menjadi indeks terbaik untuk estimasi serapan nitrogen pada tanaman padi.

Fase pertumbuhan tanaman padi memiliki pengaruh yang kuat terhadap kepekaan terhadap panjang gelombang dan kinerja indeks vegetasi untuk memperkirakan kondisi biofisik suatu tanaman (Gnyp *et al.*, 2014). Akibat dari usia tanaman yang berbeda pada lahan yang diamati mengakibatkan adanya interaksi antara daun tanaman yang memiliki nilai serapan nitrogen berbeda dan juga efek latar belakang tanah saat awal pengamatan yang masih mendominasi lahan pengamatan, sehingga dapat mempengaruhi kinerja indeks vegetasi. Pentingnya data yang mewakili kondisi lahan sepenuhnya saat mengembangkan suatu model prediksi jika digunakan untuk pengelolaan untuk memandu pengelolaan tanaman pada suatu lahan,

Tabel 4. 7. Hubungan indeks vegetasi dengan hasil analisis laboraorium dalam setiap fase

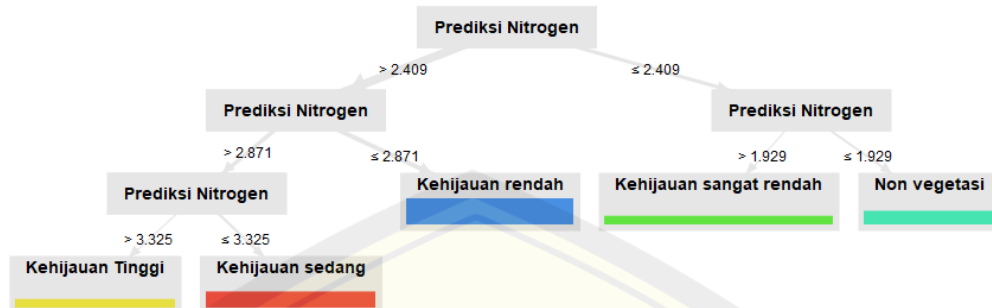
Umur (HSS)	Indeks Vegetasi	Hubungan Indeks Vegetasi dengan Nitrogen				
		Koefisien korelasi		R2	Persamaan	RMSE
		r	Kekuatan hubungan			
30-35	NDVI	0,4751	Sedang	0,2258	$y = 1,2851x + 1,9939$	0,3135
	GNDVI	0,4848	Sedang	0,2350	$y = 2,0975x + 1,7171$	0,3116
	SAVI	0,4751	Sedang	0,2258	$y = 0,8568x + 1,9939$	1,2142
	VARI	0,4401	Sedang	0,1937	$y = 1,5951x + 2,4148$	0,3199
60-65	NDVI	0,4891	Sedang	0,2392	$y = 2,7884x + 1,7374$	0,5195
	GNDVI	0,5333	Sedang	0,4927	$y = 1,9448x + 2,4009$	0,5038
	SAVI	0,8972	Sangat Kuat	0,8050	$y = 4,2955x + 0,1169$	0,2630
	VARI	0,6353	Kuat	0,4037	$y = 3,895x + 2,6807$	0,4599
90-95	NDVI	0,8856	Sangat Kuat	0,7843	$y = 3,6251x + 0,5446$	0,1092
	GNDVI	0,8280	Sangat Kuat	0,6855	$y = 4,3673x + 0,4441$	0,1319
	SAVI	0,8897	Sangat Kuat	0,7916	$y = 2,3163x + 0,6185$	0,1074
	VARI	0,8644	Sangat Kuat	0,7472	$y = 4,9773x + 1,5575$	0,1183

Pemilihan metode yang paling sesuai juga bergantung pada faktor-faktor seperti ukuran kumpulan data. Hasil prediksi estimasi nitrogen dengan indeks vegetasi NDVI dievaluasi kembali dengan algoritma *Machine learning*. Algoritma *machine learning* merupakan alat penting untuk menilai dan membandingkan kinerja prediksi pada model. Model dievaluasi kembali tidak hanya pada kinerja prediktifnya tetapi juga pada dampak praktisinya saat digunakan untuk pengambilan keputusan di lapangan. Proses evaluasi menggunakan algoritma *decision tree* (Gambar 4.10).



Gambar 4. 10. Proses evaluasi model

Hasil dari model prediksi diklasifikasikan dengan algoritma *decision tree* dan dapat dilihat pada Gambar 4.11. Estimasi serapan nitrogen diklasifikasikan kembali berdasarkan tingkat kehijauan dari nilai indeks vegetasi NDVI.



Gambar 4. 11. Hasil model *decision tree*

Dari hasil *apply model* yang sudah dibuat oleh algoritma *decision tree* dilakukan uji akurasi untuk mengetahui tingkat akurasi dari model yang sudah dibangun didapatkan nilai accuracy sebesar 94,44%, artinya tingkat error hasil prediksi yang telah dilatih yaitu sebesar 5,56%.

4.5 Estimasi Produktivitas Padi dengan Indeks Terbaik

Nilai yang digunakan untuk menghitung produktivitas yaitu gabah kering kering (GKG) dengan satuan ton per hektar. Nilai GKG diperoleh dengan mengkonversi nilai bobot bulir setiap ubinan. Rata-rata produktivitas pada diperoleh sebesar 6,10 ton/ha GKG. Varietas Inpari 32 sendiri memiliki hasil rata-rata secara umum sebesar $\pm 6,30$ ton/ha, sehingga hasil produksinya masih dibawah standar dengan presentase pencapaiannya sebesar 96,8% dari rata-rata secara umum. Salah satu faktor yang menyebabkan kurang tercapainya persentase produktivitas karena pemberian pupuk belum memenuhi standar dari Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2020).

Nitrogen berperan penting dalam pertumbuhan dan hasil pada tanaman padi. Pemberian nitrogen yang optimal dapat memperbaiki hasil dan kualitas gabah, seperti pembentukan gabah, pengisian gabah, dan sintesis protein (Tando, 2018). Analisis regresi linier berganda digunakan untuk mengetahui bagaimana hubungan serapan nitrogen pada pengamatan pertama, kedua, dan ketiga terhadap

produktivitas padi. Berdasarkan hasil didapatkan bahwa serapan nitrogen memiliki hubungan yang kuat dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,66 dan koefisien determinasinya sebesar (R^2) 0,45 dengan persamaan regresi sebagai berikut:

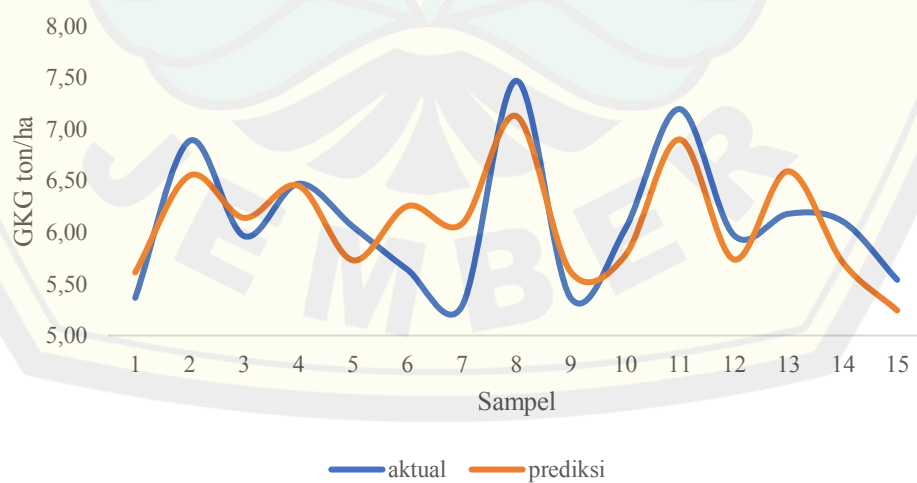
$$y = 0,1x_1 + 0,65x_2 - 0,81x_3 + 5,38$$

- y : Hasil bobot panen ton/ha GKG
 x_1 : Serapan nitrogen pengamatan ke-1
 x_2 : Serapan nitrogen pengamatan ke-2
 x_3 : Serapan nitrogen pengamatan ke-3

Analisis regresi linier berganda juga digunakan untuk mengetahui hubungan indeks terbaik yaitu NDVI dari pengamatan pertama, kedua, dan ketiga dengan hasil produktivitas, dan didapatkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,8 yang berarti memiliki hubungan yang sangat kuat. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,65. Hasil persamaan regresi linier berganda antara indeks vegetasi NDVI dengan produktivitas padi dapat dilihat sebagai berikut:

$$y = 0,76x_1 + 4,96x_2 - 1,8x_3 + 3,73$$

- y : Hasil bobot panen ton/ha GKG
 x_1 : Nilai indeks NDVI pengamatan ke-1
 x_2 : Nilai indeks NDVI pengamatan ke-2
 x_3 : Nilai indeks NDVI pengamatan ke-3



Gambar 4. 12. Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi produktivitas

Model persamaan yang didapat digunakan untuk menghitung estimasi produktivitas tanaman padi pada Gambar 4.10. Hasil estimasi produktivitas padi dari model persamaan analisis regresi linier berganda divalidasi dengan menghitung nilai RMSE untuk mengetahui tingkat kesalahannya pada tabel 4.7. Berdasarkan hasil uji validasi nilai RMSE, indeks vegetasi NDVI memiliki nilai RMSE paling rendah. Nilai RMSE yang mendekati 0 akan semakin kecil tingkat kesalahannya. Hasil yang didapat didukung dengan penelitian Fajri, dkk (2021) dalam estimasi produksi menggunakan indeks NDVI dengan nilai R^2 yang cukup kuat yaitu sebesar 0,6362, Padilah dan Adam (2019) dengan nilai sebesar 0,8046, dan Sinaga (2020) dengan nilai R^2 sebesar 0,9682. Dapat disimpulkan bahwa, nilai estimasi produktivitas menggunakan indeks vegetasi NDVI merupakan nilai yang paling mendekati dengan nilai aktual produktivitas tanaman padi.

Tabel 4. 8. Uji akurasi estimasi bobot panen

No	Indeks Vegetasi	RMSE
1	NDVI	0,1421
2	GNDVI	0,5258
3	SAVI	0,4701
4	VARI	0,5030

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang didapat dapat disimpulkan bahwa:

1. Rata-rata masing-masing indeks vegetasi dari hasil transformasi citra satelit sebagai berikut: NDVI 0,40; GNDVI 0,38; SAVI 0,60; dan 0,06. Masing-masing indeks memiliki rentang nilai yang berbeda yaitu NDVI 0,03-0,67; GNDVI 0,03-0,61; SAVI 0,05-1; dan VARI -0,21-0,26.
2. Koefisien korelasi dari indeks vegetasi dengan analisis laboratorium yaitu sebagai berikut, NDVI 0,66 (kuat); GNDVI 0,65 (kuat); SAVI 0,63 (kuat); dan VARI 0,59 (sedang).
3. Berdasarkan hasil koefisien korelasi, bahwa indeks terbaik untuk estimasi serapan nitrogen pada tanaman padi yaitu NDVI, dengan nilai RMSE yang paling mendekati 0 yaitu sebesar 0,5108 dan dievaluasi kembali dengan algoritma *decision tree* yang mendapatkan persentase sebesar 94,44% artinya hanya 5,56% kesalahan dari data yang telah dilatih. Indeks vegetasi NDVI juga memiliki persebaran data spasial yang sesuai dengan kondisi lapang, memiliki hubungan yang kuat dengan klorofil daun, dan dapat digunakan untuk estimasi produksi.

5.2 Saran

Indeks vegetasi lain perlu dipertimbangkan yang memiliki koefisien korelasi lebih baik dibandingkan NDVI. Jumlah sampel setiap pixel perlu ditambah supaya dapat meningkatkan akurasi pengamatan. Memperhatikan kondisi cuaca sebelum proses pengambilan data terutama saat kondisi musim hujan, supaya lokasi pengamatan tidak tertutup oleh awan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, D. D., I. Lubis, Sugiyanta & Suwarto. (2021). Efisiensi penggunaan nitrogen pada padi gogo varietas IPN 9G. *Agronomi Indonesia*, 49(1): 23-28
- Adzima, A. A., Rismaneswati, S. Laban, M. Jayadi, M. F. Anshori, H. Mubarak, E. Noviyanti, N. Q. Z. Muharram & A. D. Mallarangen. (2022). Analisis indeks vegetasi berbasis drone untuk menduga kandungan nitrogen pada pertanaman padi. *Agritechno*, 15(2): 132-140
- Arhatin, R. A. & P. I. Wahyuningrum. (2013). Algoritma indeks vegetasi mangrove menggunakan satelit landsat ETM+. *Buletin PSP*, 21(2):215-228
- Azwar, S. 2012. *Penyusunan Skala Psikologi edisi 2*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar
- Badan Pusat Statistik. (2018). Angka Konversi GKP ke GKG dan GKG ke Beras, 2018. Jakarta: Badan Pusat Statistik
- Badan Pusat Statistik. (2022). Statistik Indonesia 2022. Jakarta: Badan Pusat Statistik
- Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2020). Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Spesifik Lokasi untuk Tanaman Padi, Jagung dan Kedelai pada Lahan Sawah (Per Kecamatan). Buku II Jagung. Jakarta: Kementerian Pertanian
- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian. (2009). Budidaya Tanaman Padi. Badan Ketahanan Pangan dan Penyuluhan Pertanian Aceh dan Balai Pengkajian Teknologi Pertanian NAD
- Brahmantara, R. P., Kustiyo & S. E. Siwi. (2015). Pengujian metode korelasi pearson untuk image registration pada Citra SPOT-6 Ortho. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 146-153
- Cahyono, Y., Y. Wijayanto & B. Hermiyanto. (2019). Prediksi hasil tanaman padi berdasarkan input nitrogen dengan simulasi model cropsyst di Kecamatan Mayang. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 21(2):58-65
- Campbell, S., M. Greenwood, S. Prior, T. Shearer, K. Walkem, S. Young, D. Bywaters & K. Walker. (2020). Purposive sampling: complex or simple? research case examples. *Journal of Research in Nursing*: 0(0):1-10
- Didal, V. K., G. Ch. Vidyasagar, R. M. Kumar, K. Surekha, S. N. Reddy & Brijbhooshan. (2022). Effect of nitrogen management practices on SPAD

- values and NDVI readings of rice crop. *The Pharma Innovation*, 11(2):367-371.
- Fakthuroji, S. Santosa & R. A. Premunendar. (2019). Prediksi harga kedelai local dan kedelai impor dengan metode *support vector machine* berbasis forward selection. *Teknologi Informasi*, 15(1):61-77
- Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman & M. N Merzlyak. (1996). Use of green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing Environment*, 58(3):289-298
- Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, R. Stark & D. Rundquist. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 80:76-77
- Gnyp, M. L., Y. Miao, F. Yuan, S. L. Ustin, K. Yu, Y. Yao, S. Huang & G. Bareth. (2014). Hyperspectral canopy sensing of paddy rice aboveground biomass at different growth stages. *Field Crops Research*, 155: 42-55
- Hanafiyanto, F. & Wahono. (2021). Perbandingan akurasi pengukuran klorofil dan kadar nitrogen antara SPAD dengan NDVI pada tanaman jagung (*Zea mays*). *Agro Indragiri*, 8(2):11-21
- Hanim, L. M., W. Anurogo & E. Heldayani. (2022). Pengaruh koreksi atmosferik untuk mendeteksi *Sea Surface Temperature* (SST) dengan menggunakan data penginderaan jauh (studi kasus: Perairan Tanjung Piayu). *Jurnal Swarnabhumi*, 7(2):150-158
- Hardianto, L. M. G. Jaya, Nurgiantoro & N. H. Khairisa. (2021). Perbandingan metode indeks vegetasi NDVI, SAVI, dan EVI terkoreksi atmosfer iCOR. *Jurnal Geografi Aplikasi dan Teknologi (JAGAT)*, 5(1): 53-62
- Harfian, I., N. Fadhilah & A. F. Amalia. (2020). Teknik penggunaan drone dengan sensor kamera RGB dan algoritma VARI untuk mengidentifikasi tingkat stress tanaman jagung. *Buletin Teknik Pertanian*, 25(2):85-88
- Huang, S., L. Tang, J. P. Hupy, Y. Wang & G. Shao. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1):1-6.
- Huang, S., Y. Miao, F. Yuan, M. L. Gnyp, Y. Yao, Q. Cao, H. Wang, V. I. S. Lenz-Wiedemann & G. Bareth. (2017). Potential of RapidEye and WorldView-2

- satellite data for improving rice nitrogen status monitoring at different growth stages. *Remote Sensing*, 9(227):1-23
- Huang, S., Y. Miao, G. Zhao, F. Yuan, X. Ma, C. Tan, W. Yu, M. L. Gny, V. I. S. Lenz-Wiedemann, U. Rasher & G. Bareth. (2015). Satellite remote sensing-based in season diagnosis of rice nitrogen status in Northeast China. *Remote Sensing*, 7(10646-10667)
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3):295-309
- Ishizuka, Y. (1971). Physiology of the rice plant. *Advances in Agronomy*, 23: 241-315
- Jackson, R. D., P. N. Slater & P. J. Pinter. (1983). Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sensing of Environment*, 13(3):187-208
- Keputusan Direktur Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian Nomor 47/KPTS/RC.210/B/12/2019. (2019). Petunjuk Teknis Pemetaan Geospasial Cetak Sawah Tahun Anggaran 2020. Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian
- Kizilgeci, F., M. Yildirim, M. S. Islam, D. Ratnasekera, M. A. Iqbal & A. E. Sabagh. (2021). Normalized difference vegetation index and chlorophyll content for precision nitrogen management in durum wheat cultivars under semi-arid conditions. *Sustainability*, 13(3725):2-11
- Kusumawardani, R., S. Widjojo & I. Nahib. (2013). Inventarisasi produksi padi dengan menggunakan data Citra Modis di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. *Globe*, 15(1):12-22
- Lu, J., D. Cheng, C. Geng, Z. Zhang, Y. Xiang & T. Hu. (2020). Combining plant height, canopy coverage and vegetation index from UAV-based RGB images to estimate leaf nitrogen concentration of summer maize. *Biosystems engineering*, 202(2021):42-54
- Moharana, S. & S. Dutta. (2016). Spatial variability of chlorophyll and nitrogen content of rice from hyperspectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 122:17-29

- Ngadirin, Widiyanto & Z. Kusuma. (2013). Intruksi Kerja Pengambilan Sampel Tanah. Universitas Brawijaya. Malang.
- Padilah, T. N. & R. I. Adam. (2019). Analisis regresi linier berganda dalam estimasi produktivitas tanaman padi di Kabupaten Karawang. *Pendidikan Matematika dan Matematika*, 5(2): 117-128
- Patty, P. S., E. Kaya & Ch. Silahoy. (2013). Analisis status nitrogen tanah dalam kaitannya dengan serapan N oleh tanaman padi sawah di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. *Agrologia*, 2(1):51-58.
- Pettorelli, N. (2013). *The Normalized Difference Vegetation Index*. United Kingdom : Oxford University Press
- Putra, M. A. B. & I M. S. Graha. (2022). Pemantauan pertumbuhan padi menggunakan citra satelit Landsat 8. *Jurnal Litbang Sukowati: Media Penelitian dan Pengembangan*, 6(1): 43-53
- Rouse, J. W., R. H. Hass, J. A. Schell & D. W. Deering. (1974). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. NASA Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp., Vol. 1, Sect. A , 309-317
- Saputra, D. H & M. Kamal. (2017). Perbandingan model estimasi kandungan nitrogen padi menggunakan citra hiperspektral dan multispectral sebagian wilayah Kabupaten Sleman. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(3):1-10
- Saputra, J., M. Kamal & P. Wicaksono. (2020). Perbandingan biaya dalam pendugaan kandungan hara nitrogen perkebunan karet dengan menggunakan beberapa jenis citra penginderaan jauh. *Warta perkaretan*, 39(2):137-146.
- Sinaga, F. J. (2020). Pendugaan produksi padi dengan menggunakan citra Landsat 8 di Kabupaten Tabanan. *Agroekoteknologi Tropika*, 9(1): 96-105
- Sudiana, D. & E. Diasmara. (2008). Analisis indeks vegetasi menggunakan data satelit NOAA/AVHRR dan TERRA/AQUA-MODIS. *Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*, 423-428
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Suhardi, D. Useng & N. P. Johan. (2019). Pendugaan produktivitas padi sawah berdasarkan reflektansi (indeks vegetasi), warna, dan kerapatan tanaman. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Agrokompleks*. 1(2):17-26

- Suharno, I. Mawardi, Setiabudi, N. Lunga & S. Tjitrosemito. (2007). Efisiensi penggunaan nitrogen pada tipe vegetasi yang berbeda di Stasiun Penelitian Cikaniki, Taman Nasional Gunung Halimun Salak, Jawa Barat. *Biodiversitas*, 8(4): 287-294.
- Sungkawa, I. (2013). Penerapan analisis regresi dan korelasi dalam menentukan arah hubungan antara dua faktor kualitatif pada tabel kontingensi. *Mat Stat*, 13(10):33-41
- Syafii, M., M. H. Rozik, A. F. Torimania & J. N. N. Indriana. (2021). Review teknologi simple phenotyping sebagai database pengembangan robot pendeteksi dan pemupuk nitrogen padi, *Journal of Science and Technologi*, 14(2): 175-182.
- Tando, E. (2018). Review: Upaya efisiensi dan peningkatan ketersediaan nitrogen dalam tanah serta serapan nitrogen pada tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.). *Buana Sains*, 18(2):171-180.
- Tian, Y. C., X. Yao, J. Yang, W.X. Cao, D. B. Hannaway & Y. Zhu. (2011). Assessing newly developed and published vegetation indices for estimationg rice leaf nitrogen concetration with ground and space based hyperspectral reflectance. *Field Crops Research*, 120(2):299-310
- Turner, F. T. & M. F. Jund. (1994). Assessing the nitrogen requirements of rice crops with chlorophyll meter. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34(7):1001-1005
- United States Departemen of Agriculture (USDA). (2022). Natural Resource Conservation Service. Diakses dari <https://www.usda.gov/>
- Vian, A. L., C. Bredemeier, M. A. Turra, C. P. S. Giordano, E. Fochesatto, J. A. Silva & M. A. Drum. (2018). Nitrogen management in wheat based on the normalized difference vegetation index (NDVI). *Ciencia Rural*, 48(9):1-9
- Vitasari, W., Daniel & A. Munir. (2017). Pendugaan produksi dan indeks vegetasi tanaman padi menggunakan data citra platform unmanned aerial vehicle (UAV) dan data citra satelit landsat 8. *AgriTechno*, 10(2):203-2016
- Wahyunto, Widagdo & B. Heryanto. (2006). Pendugaan produktivitas tanaman padi sawah Melalui analisis citra satelit. *Informatika Pertanian*, 15:853-869

- Widodo, T.W. (2021). Pengaruh dosis nitrogen terhadap pembentukan tunas dan pertumbuhan padi ratun (*Oryza sativa* L.). *Ilmiah Inovasi*, 21(1):50-53
- Widyatmanti, W., S. H. Murti & P. Widayani. (2020). *Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Untuk Pemodelan dan Pemetaan Data Biofisik*. Sleman: UGM Press
- Withall, C., C. Daughtry, E. Brown de Colstun, J. E. McMurtrey, & M. S. Kim. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74(2): 229-239
- Xue, L., W. Cao, W. Luo, T. Dai & Y. Zhu. (2004). Monitoring leaf nitrogen status in rice with canopy spectral reflectance. *Agronomy Journal*, 96(1):135-142
- Yanti, D., W. A. Putri & Rusnam. (2022). Analisis fase tumbuh padi Kecamatan Sungai Tarab menggunakan NDVI (*normalized difference vegetation index*). *Teknologi Pertanian Andalas*, 26(2): 228-238.
- Zed, M. (2014). *Metode Penelitian Kepustakaan*. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil transformasi indeks vegetasi

Tabel 1. Hasil transformasi NDVI

Sampel	Umur tanaman (HSS)		
	30-35	60-65	90-95
1	0,495	0,500	0,536
2	0,164	0,714	0,466
3	0,427	0,601	0,493
4	0,224	0,637	0,335
5	0,387	0,514	0,465
6	0,320	0,612	0,415
7	0,169	0,578	0,354
8	0,131	0,795	0,355
9	0,164	0,535	0,489
10	0,208	0,561	0,493
11	0,387	0,738	0,431
12	0,518	0,465	0,381
13	0,507	0,672	0,470
14	0,388	0,492	0,416
15	0,361	0,412	0,442
Rata-rata	0,323	0,588	0,436

Tabel 2. Hasil transformasi GNDVI

Sampel	Umur tanaman (HSS)		
	30-35	60-65	90-95
1	0,442	0,347	0,471
2	0,247	0,569	0,411
3	0,388	0,549	0,414
4	0,275	0,550	0,313
5	0,365	0,757	0,404
6	0,309	0,550	0,383
7	0,260	0,523	0,325
8	0,195	0,730	0,304
9	0,229	0,472	0,413
10	0,252	0,157	0,431
11	0,358	0,774	0,373
12	0,456	0,405	0,351
13	0,458	0,349	0,417
14	0,361	0,428	0,380
15	0,357	0,380	0,386
Rata-rata	0,330	0,502	0,385

Tabel 3. Hasil transformasi SAVI

Sampel	Umur tanaman (HSS)		
	30-35	60-65	90-95
1	0,742	0,650	0,803
2	0,245	0,802	0,699
3	0,641	0,671	0,740
4	0,335	0,756	0,502
5	0,581	0,971	0,698
6	0,480	0,518	0,622
7	0,254	0,667	0,532
8	0,197	0,992	0,532
9	0,246	0,802	0,733
10	0,311	0,841	0,739
11	0,580	0,807	0,647
12	0,777	0,698	0,520
13	0,760	0,857	0,705
14	0,581	0,738	0,625
15	0,541	0,618	0,663
Rata-rata	0,485	0,759	0,651

Tabel 4. Hasil transformasi VARI

Sampel	Umur tanaman (HSS)		
	30-35	60-65	90-95
1	0,115	0,120	0,161
2	-0,145	0,110	0,129
3	0,081	0,143	0,181
4	-0,091	0,238	0,043
5	0,045	0,334	0,133
6	0,023	0,174	0,068
7	-0,151	0,148	0,061
8	-0,110	0,374	0,108
9	-0,114	0,150	0,171
10	-0,078	0,157	0,143
11	0,057	0,353	0,120
12	0,143	0,132	0,066
13	0,111	0,046	0,122
14	0,055	0,143	0,080
15	0,008	0,066	0,125
Rata-rata	-0,003	0,179	0,114

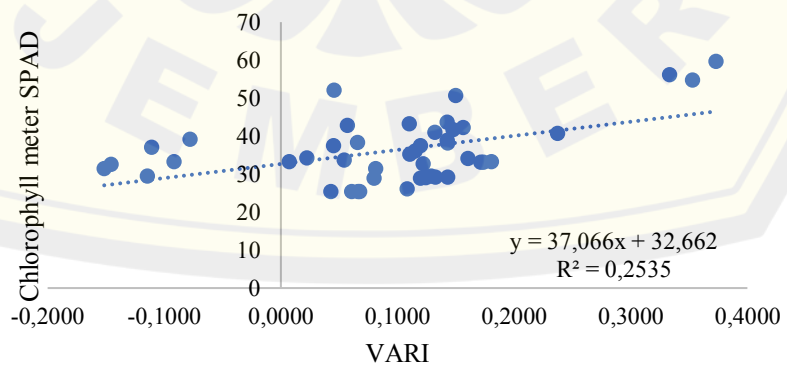
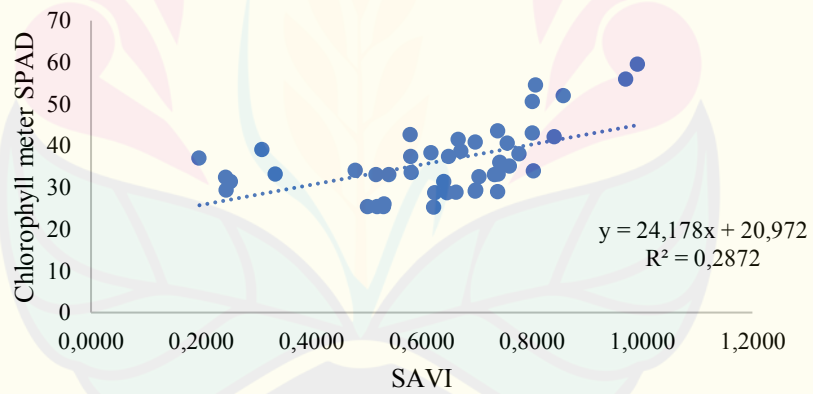
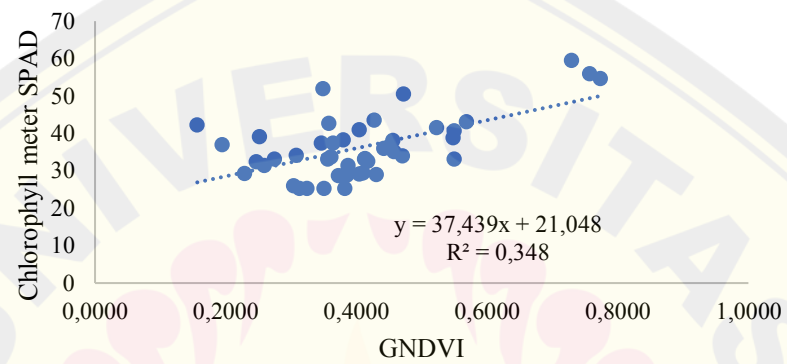
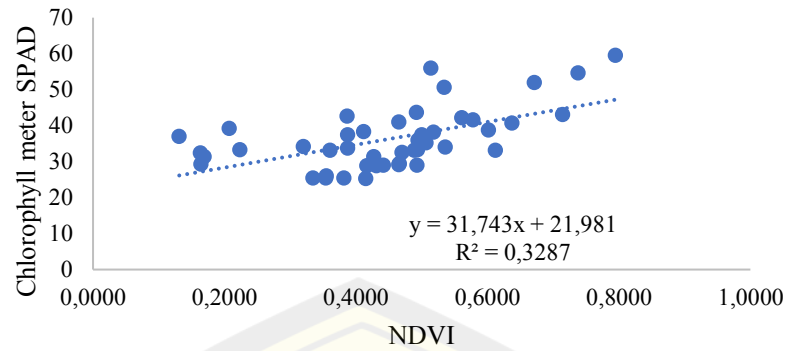
Lampiran 2. Hasil pengamatan klorofil dan serapan nitrogen

Sampel	Umur Tanaman (HSS)					
	30-35		60-65		90-95	
	Klorofil	Nitrogen	Klorofil	Nitrogen	Klorofil	Nitrogen
1	36,00	2,31	51,00	2,72	34,00	2,47
2	34,00	2,32	43,09	3,25	29,42	2,17
3	32,00	2,29	45,00	2,91	27,00	2,47
4	33,20	2,3	40,68	3,06	25,37	1,85
5	37,40	2,69	56,00	4,25	29,16	2,15
6	34,15	2,06	33,09	2,46	25,24	1,84
7	31,40	2,26	41,57	3,13	30,00	1,85
8	34,00	1,66	59,54	4,55	26,00	1,84
9	29,34	2,07	50,56	3,84	33,09	2,46
10	39,13	2,89	48,00	3,18	29,04	2,14
11	42,67	3,13	54,61	4,16	28,78	2,12
12	38,13	2,84	33,00	3,08	25,37	1,85
13	35,17	2,56	52,00	3,92	36,00	2,42
14	33,65	2,38	43,59	3,29	28,78	2,12
15	33,12	2,38	38,28	2,87	28,91	2,13
Rata-rata	34,89	2,41	46,00	3,38	29,08	2,13

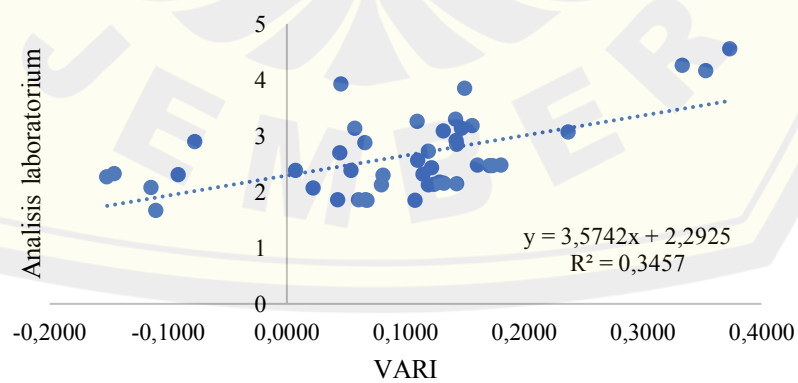
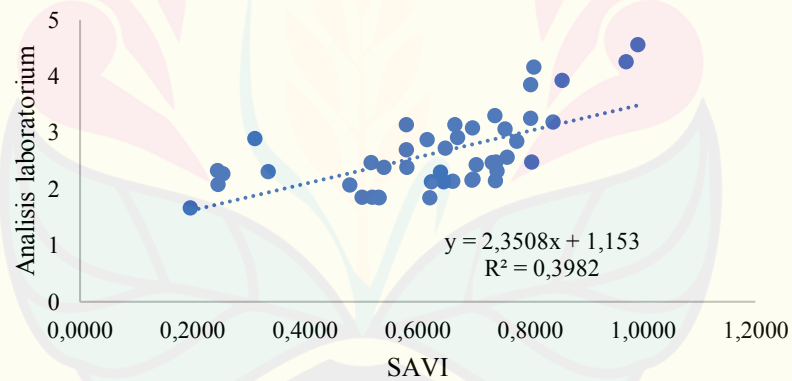
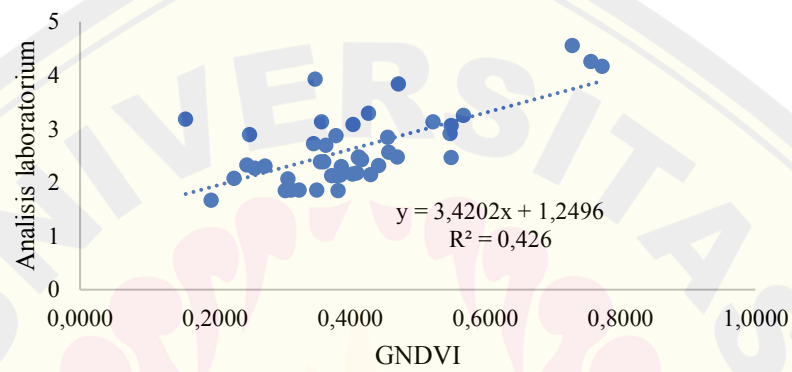
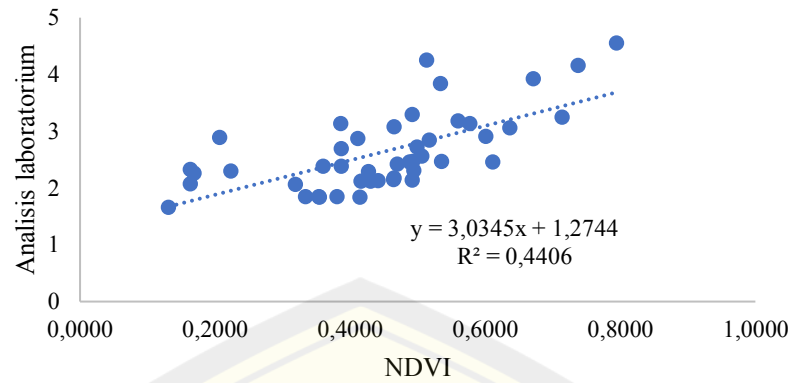
Lampiran 3. Hasil pengamatan panen

Sampel	Bobot gabah/m² (gram)	Bobot panen/ha (ton) GKP	Bobot panen/ha (ton) GKG
1	645	6,45	5,36
2	828	8,28	6,89
3	717	7,17	5,96
4	778	7,78	6,47
5	728	7,28	6,05
6	678	6,78	5,64
7	635	6,35	5,28
8	898	8,98	7,47
9	645	6,45	5,36
10	725	7,25	6,03
11	865	8,65	7,19
12	718	7,18	5,97
13	743	7,43	6,18
14	734	7,34	6,10
15	666	6,66	5,54
Rata-rata	733,53	7,34	6,10

Lampiran 4. Model persamaan indeks vegetasi dengan klorofil



Lampiran 5. Model persamaan indeks vegetasi dengan analisis laboratorium



Lampiran 6. Hasil perhitungan model persamaan estimasi nitrogen

Tabel 1. Perhitungan estimasi serapan nitrogen dengan NDVI

Sampel	Aktual (y_i)	Prediksi (\hat{y}_i)	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	2,31	2,775728026	-0,46573	0,216903
2	2,32	1,770984001	0,549016	0,301419
3	2,29	2,571631857	-0,28163	0,079317
4	2,3	1,953007354	0,346993	0,120404
5	2,69	2,449776197	0,240224	0,057707
6	2,06	2,244976028	-0,18498	0,034216
7	2,26	1,788298751	0,471701	0,222502
8	1,66	1,672393708	-0,01239	0,000154
9	2,07	1,772335863	0,297664	0,088604
10	2,89	1,904109725	0,98589	0,97198
11	3,13	2,448213439	0,681787	0,464833
12	2,84	2,846361644	-0,00636	4,05E-05
13	2,56	2,81199311	-0,25199	0,063501
14	2,38	2,450788196	-0,07079	0,005011
15	2,38	2,368798032	0,011202	0,000125
16	2,72	2,79102788	-0,07103	0,005045
17	3,25	3,44192409	-0,19192	0,036835
18	2,91	3,09872427	-0,18872	0,035617
19	3,06	3,207965592	-0,14797	0,021894
20	4,25	2,83442096	1,415579	2,003864
21	2,46	3,131496666	-0,6715	0,450908
22	3,13	3,028354652	0,101645	0,010332
23	4,55	3,686503271	0,863497	0,745627
24	3,84	2,896324376	0,943676	0,890524
25	3,18	2,975827783	0,204172	0,041686
26	4,16	3,513841293	0,646159	0,417521
27	3,08	2,686034831	0,393965	0,155209
28	3,92	3,312351744	0,607648	0,369236
29	3,29	2,767965823	0,522034	0,27252
30	2,87	2,523993537	0,346006	0,11972
31	2,47	2,899662305	-0,42966	0,18461
32	2,17	2,688158968	-0,51816	0,268489
33	2,47	2,7716072	-0,30161	0,090967
34	1,85	2,289731591	-0,43973	0,193364
35	2,15	2,685427935	-0,53543	0,286683
36	1,84	2,533400429	-0,6934	0,480804
37	1,85	2,349814318	-0,49981	0,249814
38	1,84	2,351028111	-0,51103	0,26115
39	2,46	2,757345139	-0,29735	0,088414
40	2,14	2,769179615	-0,62918	0,395867
41	2,12	2,582559024	-0,46256	0,213961
42	1,85	2,431441861	-0,58144	0,338075
43	2,42	2,700903789	-0,2809	0,078907
44	2,12	2,53795215	-0,41795	0,174684
45	2,13	2,615634868	-0,48563	0,235841
			$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$	11,74488086
RMSE			$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$	0,510879

Tabel 2. Perhitungan estimasi serapan nitrogen dengan GNDVI

Sampel	Aktual (y_i)	Prediksi (\hat{y}_i)	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	0,4423	2,762464	-0,45246	0,204724
2	0,2473	2,095454	0,224546	0,050421
3	0,3877	2,575736	-0,28574	0,081645
4	0,2747	2,188994	0,111006	0,012322
5	0,3646	2,496767	0,193233	0,037339
6	0,3085	2,304796	-0,2448	0,059925
7	0,2597	2,137837	0,122163	0,014924
8	0,1948	1,915861	-0,25586	0,065465
9	0,2287	2,031903	0,038097	0,001451
10	0,2519	2,111279	0,778721	0,606406
11	0,3582	2,474809	0,655191	0,429276
12	0,4559	2,808839	0,031161	0,000971
13	0,4577	2,815029	-0,25503	0,06504
14	0,3611	2,484772	-0,10477	0,010977
15	0,3568	2,469913	-0,08991	0,008084
16	0,3466	2,435069	0,284931	0,081186
17	0,5686	3,19436	0,05564	0,003096
18	0,5486	3,125956	-0,21596	0,046637
19	0,5503	3,13177	-0,07177	0,005151
20	0,7570	3,838732	0,411268	0,169142
21	0,5499	3,130402	-0,6704	0,449439
22	0,5229	3,038056	0,091944	0,008454
23	0,7296	3,745017	0,804983	0,647997
24	0,4721	2,864308	0,975692	0,951975
25	0,1565	1,784883	1,395117	1,946351
26	0,7737	3,89585	0,26415	0,069775
27	0,4045	2,6331	0,4469	0,199719
28	0,3488	2,442594	1,477406	2,18273
29	0,4277	2,71245	0,57755	0,333564
30	0,3798	2,548621	0,321379	0,103285
31	0,4707	2,85952	-0,38952	0,151726
32	0,4105	2,653622	-0,48362	0,23389
33	0,4137	2,664567	-0,19457	0,037856
34	0,3130	2,320149	-0,47015	0,22104
35	0,4043	2,632416	-0,48242	0,232726
36	0,3829	2,559223	-0,71922	0,517282
37	0,3247	2,360166	-0,51017	0,260269
38	0,3041	2,289709	-0,44971	0,202238
39	0,4128	2,661488	-0,20149	0,040598
40	0,4307	2,722711	-0,58271	0,339552
41	0,3730	2,525363	-0,40536	0,164319
42	0,3507	2,449092	-0,59909	0,358911
43	0,4174	2,677221	-0,25722	0,066163
44	0,3802	2,549989	-0,42999	0,18489
45	0,3858	2,569142	-0,43914	0,204724
			$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$	12,63487742
		RMSE	$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$	0,529882113

Tabel 3. Perhitungan estimasi serapan nitrogen dengan SAVI

Sampel	Aktual (y_i)	Prediksi (\hat{y}_i)	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	0,7421	2,897429	-0,58743	0,345073
2	0,2454	1,729912	0,590088	0,348204
3	0,6412	2,660282	-0,37028	0,137109
4	0,3354	1,94149	0,35851	0,12853
5	0,5810	2,518686	0,171314	0,029348
6	0,4797	2,280714	-0,22071	0,048715
7	0,2540	1,750114	0,509886	0,259983
8	0,1967	1,615432	0,044568	0,001986
9	0,2461	1,731562	0,338438	0,11454
10	0,3113	1,88467	1,00533	1,010689
11	0,5802	2,516881	0,613119	0,375915
12	0,7770	2,979492	-0,13949	0,019458
13	0,7600	2,939567	-0,37957	0,144071
14	0,5815	2,519855	-0,13985	0,019559
15	0,5409	2,424597	-0,0446	0,001989
16	0,6497	2,680278	0,039722	0,001578
17	0,8018	3,037829	0,212171	0,045017
18	0,6714	2,731289	0,178711	0,031937
19	0,7559	2,929929	0,130071	0,016919
20	0,9711	3,435813	0,814187	0,662901
21	0,5180	2,370683	0,089317	0,007978
22	0,6669	2,720711	0,409289	0,167518
23	0,9923	3,485649	1,064351	1,132843
24	0,8017	3,037594	0,802406	0,643856
25	0,8410	3,129979	0,050021	0,002502
26	0,8069	3,049818	1,110182	1,232505
27	0,6978	2,793349	0,286651	0,082169
28	0,8574	3,168531	0,751469	0,564706
29	0,7383	2,888555	0,401445	0,161158
30	0,6177	2,605053	0,264947	0,070197
31	0,8033	3,041355	-0,57135	0,326446
32	0,6987	2,795465	-0,62547	0,391207
33	0,7400	2,892552	-0,42255	0,17855
34	0,5020	2,33307	-0,48307	0,233357
35	0,6975	2,792644	-0,64264	0,412992
36	0,6223	2,615867	-0,77587	0,60197
37	0,5315	2,402418	-0,55242	0,305165
38	0,5321	2,403828	-0,56383	0,317902
39	0,7332	2,876566	-0,41657	0,173528
40	0,7388	2,889731	-0,74973	0,562096
41	0,6465	2,672755	-0,55276	0,305539
42	0,5200	2,375384	-0,52538	0,276028
43	0,7051	2,81051	-0,39051	0,152498
44	0,6246	2,621274	-0,50127	0,251275
45	0,6627	2,710838	-0,58084	0,337372
			$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$	12,63487742
		RMSE	$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$	0,529882113

Tabel 4. Perhitungan estimasi serapan nitrogen dengan VARI

Sampel	Aktual (y_i)	Prediksi (\hat{y}_i)	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	0,1153	2,704501	-0,3945	0,155631
2	-0,1451	1,773718	0,546282	0,298424
3	0,0815	2,583669	-0,29367	0,086241
4	-0,0912	1,966601	0,333399	0,111155
5	0,0452	2,453891	0,236109	0,055747
6	0,0225	2,372913	-0,31291	0,097915
7	-0,1515	1,751122	0,508878	0,258957
8	-0,1104	1,89802	-0,23802	0,056654
9	-0,1141	1,884757	0,185243	0,034315
10	-0,0776	2,015184	0,874816	0,765304
11	0,0574	2,497448	0,632552	0,400122
12	0,1434	2,804855	0,035145	0,001235
13	0,1108	2,688484	-0,12848	0,016508
14	0,0546	2,487456	-0,10746	0,011547
15	0,0076	2,319569	0,060431	0,003652
16	0,1197	2,720294	-0,00029	8,64E-08
17	0,1101	2,685982	0,564018	0,318116
18	0,1429	2,803215	0,106785	0,011403
19	0,2375	3,141331	-0,08133	0,006615
20	0,3337	3,485166	0,764834	0,584971
21	0,1737	2,913299	-0,4533	0,20548
22	0,1476	2,820013	0,309987	0,096092
23	0,3735	3,627418	0,922582	0,851157
24	0,1501	2,828949	1,011051	1,022225
25	0,1565	2,851823	0,328177	0,1077
26	0,3534	3,555577	0,604423	0,365327
27	0,1323	2,765328	0,314672	0,099018
28	0,0457	2,455805	1,464195	2,143866
29	0,1426	2,802142	0,487858	0,238005
30	0,0660	2,528361	0,341639	0,116717
31	0,1608	2,867192	-0,39719	0,157762
32	0,1290	2,753534	-0,58353	0,340512
33	0,1806	2,937961	-0,46796	0,218987
34	0,0430	2,446155	-0,59616	0,355401
35	0,1328	2,767116	-0,61712	0,380832
36	0,0679	2,535152	-0,69515	0,483236
37	0,0608	2,509775	-0,65978	0,435304
38	0,1084	2,679906	-0,83991	0,705442
39	0,1714	2,905079	-0,44508	0,198095
40	0,1434	2,805002	-0,665	0,442227
41	0,1198	2,720651	-0,60065	0,360782
42	0,0664	2,529791	-0,67979	0,462115
43	0,1222	2,729229	-0,30923	0,095623
44	0,0801	2,578757	-0,45876	0,210458
45	0,1246	2,737807	-0,60781	0,36943
			$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$	12,63487742
			RMSE $\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$	0,529882113

Lampiran 7. Hasil perhitungan model persamaan estimasi produksi

Tabel 1. Perhitungan estimasi serapan nitrogen dengan NDVI

Sampel	Aktual (y_i)	Prediksi (\hat{y}_i)	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	5,36	5,61	-0,25	0,06106
2	6,89	6,55	0,34	0,11299
3	5,96	6,14	-0,18	0,03116
4	6,47	6,45	0,02	0,00039
5	6,05	5,73	0,33	0,10633
6	5,64	6,25	-0,61	0,37794
7	5,28	6,08	-0,80	0,6385
8	7,47	7,13	0,34	0,11713
9	5,36	5,62	-0,25	0,06409
10	6,03	5,77	0,26	0,06571
11	7,19	6,90	0,29	0,08646
12	5,97	5,74	0,23	0,05517
13	6,18	6,59	-0,41	0,1695
14	6,10	5,71	0,40	0,15716
15	5,54	5,24	0,30	0,08789
$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$				2,131497318
RMSE				$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$ 0,142099821

Tabel 2. Perhitungan estimasi serapan nitrogen dengan GNDVI

Sampel	Aktual (y_i)	Prediksi (\hat{y}_i)	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	5,36	5,566454	-0,20199	0,0408
2	6,89	6,23128	0,655196	0,429282
3	5,96	6,08261	-0,11932	0,014238
4	6,47	6,371299	0,099327	0,009866
5	6,05	6,491845	-0,43707	0,19103
6	5,64	6,206159	-0,56723	0,321754
7	5,28	6,310372	-1,02908	1,059
8	7,47	6,77051	0,698156	0,487422
9	5,36	6,068061	-0,7036	0,495047
10	6,03	5,449962	0,579863	0,336242
11	7,19	6,588737	0,605468	0,366592
12	5,97	5,898001	0,073605	0,005418
13	6,18	5,664528	0,515003	0,265228
14	6,10	5,95285	0,151828	0,023052
15	5,54	5,859282	-0,32016	0,102503
$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$				4,14747068
RMSE				$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$ 0,525830814

Tabel 3. Perhitungan estimasi serapan nitrogen dengan SAVI

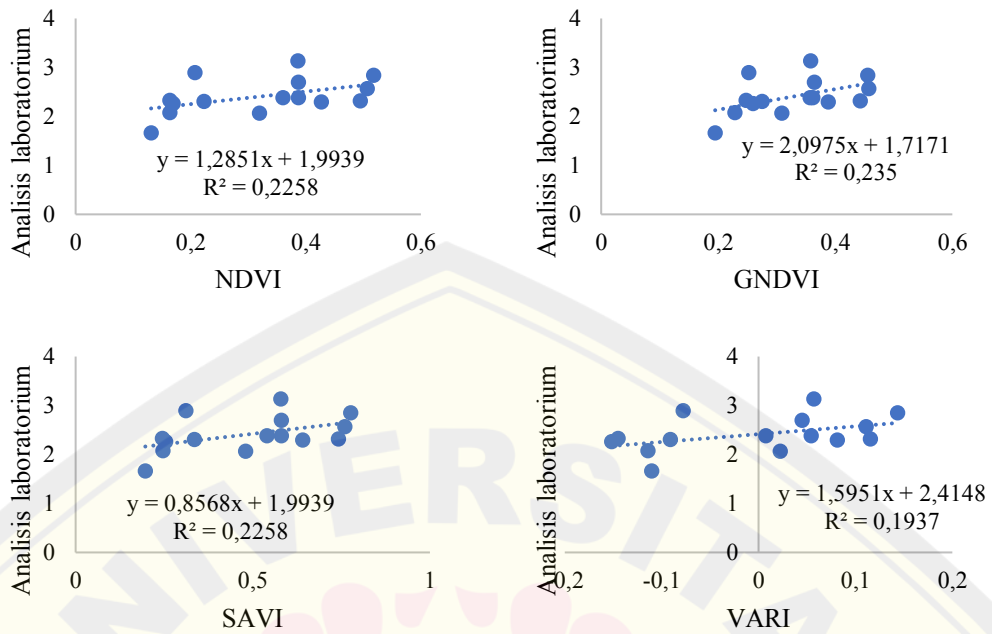
Sampel	Aktual (y_i)	Prediksi (\hat{y}_i)	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	
1	5,36	5,444728	-0,08026	0,006442	
2	6,89	6,117923	0,768553	0,590674	
3	5,96	5,641563	0,321726	0,103507	
4	6,47	6,395916	0,07471	0,005582	
5	6,05	6,682741	-0,62796	0,39434	
6	5,64	5,391993	0,246933	0,060976	
7	5,28	6,044089	-0,76279	0,581855	
8	7,47	7,075738	0,392928	0,154392	
9	5,36	6,044316	-0,67985	0,462198	
10	6,03	6,162065	-0,13224	0,017487	
11	7,19	6,267908	0,926297	0,858027	
12	5,97	6,202568	-0,23096	0,053344	
13	6,18	6,316483	-0,13695	0,018756	
14	6,10	6,095966	0,008712	7,59E-05	
15	5,54	5,627953	-0,08883	0,007891	
$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$				3,315546252	
RMSE				$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$	0,470145102

Tabel 4. Perhitungan estimasi serapan nitrogen dengan VARI

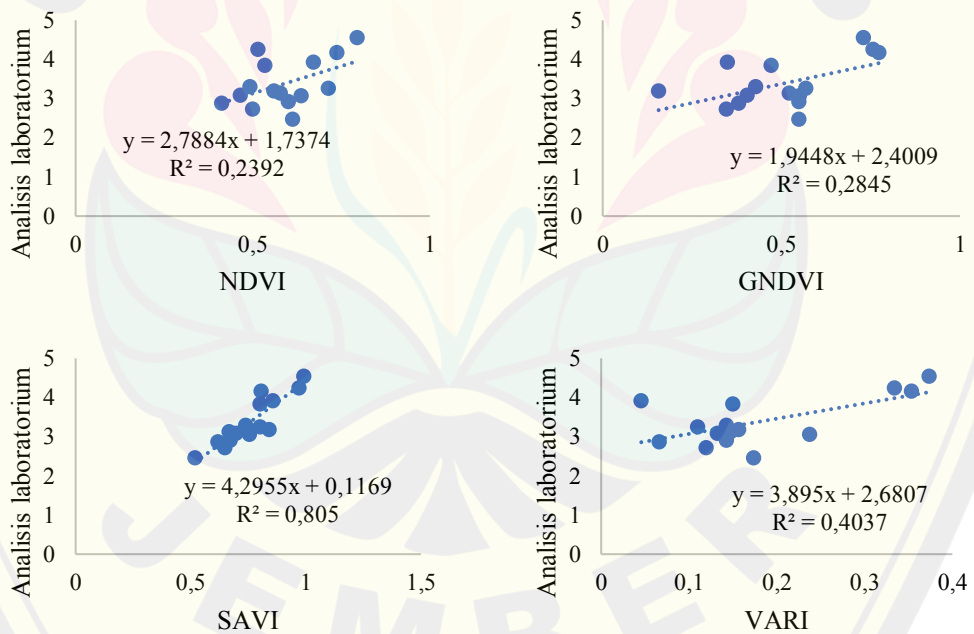
Sampel	Aktual (y_i)	Prediksi (\hat{y}_i)	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	
1	5,36	5,808808	-0,444343414	0,197441	
2	6,89	5,863898	1,022577837	1,045665	
3	5,96	5,90439	0,058898542	0,003469	
4	6,47	6,389157	0,08146934	0,006637	
5	6,05	6,696327	-0,641550761	0,411587	
6	5,64	6,089258	-0,450332064	0,202799	
7	5,28	6,041964	-0,760668574	0,578617	
8	7,47	6,913204	0,555462403	0,308538	
9	5,36	5,997655	-0,633190329	0,40093	
10	6,03	6,022641	0,007183916	5,16E-05	
11	7,19	6,776236	0,417969464	0,174698	
12	5,97	5,886784	0,084822435	0,007195	
13	6,18	5,529479	0,650051987	0,422568	
14	6,10	5,950329	0,154348615	0,023823	
15	5,54	5,641821	-0,102699397	0,010547	
$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$				3,794567468	
RMSE				$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$	0,502962389

Lampiran 8. Persamaan model prediksi serapa nitrogen setiap fase umur tanaman

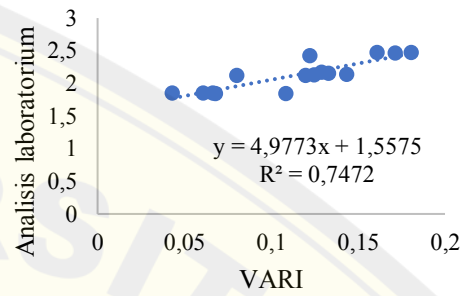
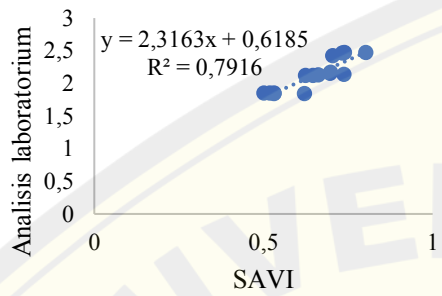
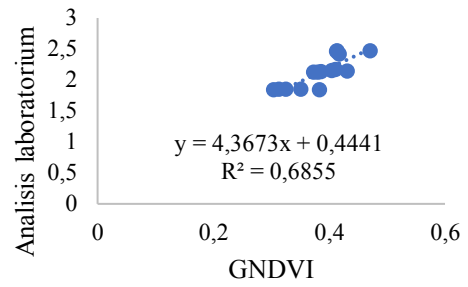
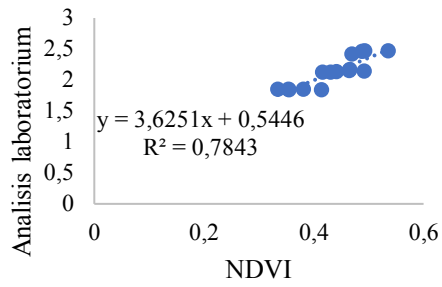
Tanaman padi umur 30-35 HSS



Tanaman padi umur 60-65 HSS



Tanaman padi umur 90-95 HSS



Lampiran 9. Proses evaluasi model dengan RapidMiner

accuracy: 94.44%

	true Kehijauan rendah	true Non vegetasi	true Kehijauan sangat r...	true Kehijauan Tinggi	true Kehijauan sedang	class precision
pred. Kehijauan rendah	11	0	0	0	0	100.00%
pred. Non vegetasi	0	2	0	0	0	100.00%
pred. Kehijauan sangat ...	0	0	1	0	0	100.00%
pred. Kehijauan Tinggi	0	0	0	1	0	100.00%
pred. Kehijauan sedang	1	0	0	0	2	66.67%
class recall	91.67%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	

PerformanceVector

PerformanceVector:

accuracy: 94.44%





ConfusionMatrix:





```

True:  Kehijauan rendah      Non vegetasi      Kehijauan sangat rendah      Kehijauan Tinggi      Kehijauan sedang
Kehijauan rendah:      11      0      0      0      0
Non vegetasi:      0      2      0      0      0
Kehijauan sangat rendah:      0      0      1      0      0
Kehijauan Tinggi:      0      0      0      1      0
Kehijauan sedang:      1      0      0      0      2
root_mean_squared_error: 0.236 +/- 0.000
correlation: 0.810
    
```





Prediksi Nitrogen	Tingkat Kehijauan	confidence (Kehijauan rendah)	confidence (Non vegetasi)	confidence (Kehijauan sangat rendah)	confidence (Kehijauan Tinggi)	confidence (Kehijauan sedang)	prediction (Tingkat Kehijauan)
3,3	Kehijauan sedang	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	Kehijauan sedang
2,8	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,5	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,9	Kehijauan sedang	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	Kehijauan sedang
2,7	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,8	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,3	Kehijauan sangat rendah	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	Kehijauan sangat rendah
2,7	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,5	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,3	Kehijauan sangat rendah	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	Kehijauan sangat rendah
2,4	Kehijauan sangat rendah	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	Kehijauan sangat rendah
2,8	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,8	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,6	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,4	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,7	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,5	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah
2,6	Kehijauan rendah	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kehijauan rendah

Lampiran 10. Dokumentasi lokasi pengamatan sampel





Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
1	1	 A photograph showing a field of young rice seedlings planted in rows in a muddy, water-saturated soil. The seedlings are small and green, with their roots visible in the dark brown mud.
	2	 A photograph showing a field of young rice seedlings. The seedlings are more densely packed and appear slightly taller than in the first image. The water level is higher, reflecting the sky.
	3	 A photograph showing a field of young rice seedlings. The seedlings are arranged in neat rows, and the water level is consistent with the previous images.
	4	 A photograph showing a field of young rice seedlings. The seedlings are well-developed and the water level is high, creating clear reflections of the plants and the sky.





Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	5	
	6	
	7	
	8	



Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	9	
	10	
	11	
	12	



Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	13	
	14	
	15	
2	1	

Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	2	
	3	
	4	
	5	

Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	6	
	7	
	8	
	9	

Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	10	
	11	
	12	
	13	

Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	14	
	15	
3	1	
	2	

Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	3	
	4	
	5	
	6	

Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	7	
	8	
	9	
	10	

Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	11	
	12	
	13	
	14	

Pengamatan	Sampel	Dokumentasi
	15	